	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES) NOMBRES Y APELLIDOS

NOMBRES(S): JHONATAN CAMILO **APELLIDOS:** PRIETO AYALA

FACULTAD: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PLAN DE ESTUDIO: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR(ES) PROFESOR - ASESOR DEL TRABAJO ACADÉMICO

NOMBRES(S): KARLA CECILIA **APELLIDOS:** PUERTO LOPEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL PARA UN CONTROL INTELIGENTE DE PRESIÓN EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.

La empresa Aguas Kpital cuenta con estaciones reguladoras de presión (ERP), ubicadas debajo de las calles, en cámaras de concreto reforzado, la cual tienen como acceso una tapa de hierro. Las ERP utilizan tecnología i2O en el sistema de agua, que presenta fallas de conexión. Se analizó el sistema de comunicación actual donde el 41% del sistema presenta fallas de conexión, trabajando a una frecuencia de 1900Mhz en la red GSM/GPRS. Para dar solución al problema planteado se recopilación de información de la red, se diseñó e implementación un sistema de comunicación móvil y se evaluó el nuevo sistema de red de comunicación móvil. Se diseña una antena de parche y se adquieren cinco antenas con el doble de potencia y mayor eficiencia. Se evalúa nuevamente el sistema con las antenas instaladas, mejorando la comunicación de los equipos y pérdida de comunicación. Se concluye en la investigación que el problema radica dentro de las ERP debido a la interferencia de señal debido a su estructura y ubicación.

PALABRAS CLAVE: Antena, Comunicación, Diseño, y Comunicación.

PÁGINAS: 90

PLANOS:

ILUSTRACIONES:

CD ROOM:

SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL PARA UN CONTROL INTELIGENTE DE
PRESIÓN EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.

JHONATAN CAMILO PRIETO AYALA

MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO: PASANTIA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL PARA UN CONTROL INTELIGENTE DE
PRESIÓN EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.

Presentado Por:

JHONATAN CAMILO PRIETO AYALA

CÓDIGO: 1161298

Anteproyecto para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director:

KARLA CECILIA PUERTO LOPEZ

M. Sc. Ingeniería en telecomunicaciones

Codirector:

OSCAR LEONARDO ESLAVA VILLAMIZAR

Ingeniería electromecánica

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha: CÚCUTA, 22 DE SEPTIEMBRE DE 2022

Hora: 12:00

Lugar: SALON AG 103

Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Título del trabajo de grado: "SISTEMA DE COMUNICACIÓN MÓVIL PARA UN CONTROL INTELIGENTE DE PRESIÓN EN LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P"

Jurados: IE PhD. BYRON MEDINA DELGADO
IE MSc. ELMER ALEJANDRO PARADA PRIETO

Director: IE.MSc. KARLA CECILIA PUERTO LOPEZ

Codirector: IE. OSCAR ESLAVA VILLAMIZAR

Nombre del Estudiante:	Código:	Calificación:	
		Número	Letra
JHONATAN CAMILO PRIETO AYALA	1161298	4,4	Cuatro,cuatro

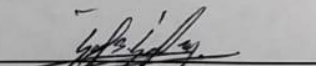
APROBADA



BYRON MEDINA DELGADO



ELMER ALEJANDRO PARADA PRIETO



SERGIO SEPÚLVEDA MORA
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Descripción del problema.	14
1.1. Título	14
1.2. Planteamiento del problema	14
1.3. Formulación del problema	17
1.4. Justificación	17
1.4.1. Impacto esperado	19
1.4.2. Beneficios tecnológicos	19
1.4.3. Beneficios ambientales	19
1.4.4. Beneficios económicos	20
1.4.5. Beneficios institucionales	20
1.4.6. Beneficios académicos	20
1.5. Alcances	21
1.6. Limitaciones y delimitaciones	21
1.6.1. Limitaciones	21
1.6.2. Delimitaciones	22
1.7. Objetivos	22
1.7.1. Objetivo general	22
1.7.2. Objetivos específicos	22
2. Marco referencial	23

2.1.	Antecedentes	23
2.2.	Marco teórico	26
2.2.1.	Tecnología i2O	26
2.2.2.	Tecnología móvil 2G	31
2.2.3.	Tecnología GPRS	31
2.2.4.	Tecnología móvil 3G	32
2.2.5.	Comparación entre generaciones de telefonía celular.	33
2.2.6.	Tecnología NB-IoT	33
2.3.	Marco legal	34
3.	Diseño metodológico	36
3.1.	Recopilar información acerca de la capacidad de red de los equipos y fallas que se generan en el actual sistema de control inteligente de presión.	36
3.1.1.	Actividad	36
3.1.2.	Metodología	36
3.2.	Diseñar un sistema de red de comunicaciones móviles que se adapte a las necesidades del sistema de control inteligente de presión.	37
3.2.1.	Actividad	37
3.2.2.	Metodología	37
3.3.	Implementar el diseño de red al sistema de control inteligente	38
3.3.1.	Actividad	38
3.3.2.	Metodología	38

3.4. Evaluar el diseño de red de comunicación móvil de los dispositivos i2O mediante la plataforma i2O.	38
3.4.1. Actividad	38
3.4.2. Metodología	38
4. Resultados	39
4.1. Capacitación sobre el software configurator i2O y entrega un logger.	39
4.2. Capacitación de la plataforma i2O Water.	41
4.3. Recopilación de información de los logger.	42
4.4. Visita a las ERP.	44
4.5. Registro de coberturas.	48
4.6. Diagnóstico de la comunicación.	49
4.7. Sistema actual de comunicación móvil del sistema i2O.	50
4.7.1. Módulo UG96 [30]	51
4.7.2. Módulo GE910 [31]	51
4.7.3. Módulo GC864-QUAD [32]	51
4.7.4. Antena internar logger	52
4.8. Diseño del sistema de red de comunicaciones móvil	53
4.8.1. Patrones de radiación de la antena Toaglas FXUB63	53
4.8.2. Mapa de cobertura claro y movistar de Cúcuta	55
4.9. Seleccionar los equipos más viables que cumplan con el diseño de red	56
4.9.1. Diseño de una antena de tipo parche	59

4.9.2. Búsqueda de nuevo proveedor de productos	69
4.10. Logística para el montaje de los equipos.	72
4.10.1. Material de sellado	74
4.11. Montaje de los equipos	74
4.11.1. Ubicación A	74
4.11.2. Ubicación B	74
4.12. Diagnóstico de comunicación	76
4.12.1. Comunicación de los equipos a principio del proyecto	76
4.12.2. Comunicación de los equipos con las nuevas antenas instaladas	78
4.13. Conclusiones y recomendaciones a la empresa de Aguas Kpital	81
Conclusiones	82
Recomendaciones	84
Referencias	85

Lista de Tablas

Tabla 1. Comparativo entre tecnologías de telefonía celular [7].	33
Tabla 2. Registro de datos de una semana en la zona de los puntos de interés.	43
Tabla 3. Fortaleza de las señales en dBm	49
Tabla 4. Diagnóstico de comunicación de los equipos.	50
Tabla 5. Propiedades de la antena Taoglas FXB63 [33].	52
Tabla 6. Frecuencias y bandas usadas en Colombia [34].	53
Tabla 7. Operadores en Colombia [34].	53
Tabla 8. Propiedades del dieléctrico FR4.	61
Tabla 9. Valores calculados para el diseño de la antena de parche.	66
Tabla 10. Valores calculador para el diseño de las microcintas.	66
Tabla 11. Dimensiones optimas de una antena de parche.	67
Tabla 12. Comparación entre ANT-5GW-MMG2-SMA-1 y ANT-5GW-MMG1-SMA-1.	70
Tabla 13. Estación 08-Macro.	77
Tabla 14. Estación 40-ERP.	77
Tabla 15. Estación 2006-P4.	77
Tabla 16. Estación 35-Macro.	77
Tabla 17. Estación 3701-ERP.	77
Tabla 18. Diagnóstico de comunicación de la ubicación A.	78
Tabla 19. Diagnóstico de comunicación de la ubicación B.	78

Lista de Figuras

Figura 1. Representación del Sistema i2O [13].	26
Figura 2. Válvula Piloto avanzada [14].	27
Figura 3. Dispositivo i2O (Logger) [15].	27
Figura 4. Conexión de mangueras para controlar el registrador de presiones [16].	28
Figura 5. Registro de datos del logger de las presiones registradas [19].	29
Figura 6. Esquema en general del sistema de alarma i2O [15].	30
Figura 7. Conexión del sistema de control inteligente de presión [16].	30
Figura 8. Software Configurator i2O.	40
Figura 9. Plataforma i2O Water.	41
Figura 10. Registro de todas las zonas del sistema de acueducto.	43
Figura 11. Estaciones reguladores de presión (ERP) por dentro y fuera.	45
Figura 12. Estaciones piezométricas.	46
Figura 13. Lectura del dispositivo por dentro ERP.	47
Figura 14. Lectura del dispositivo por fuera ERP.	47
Figura 15. Registro de la estación piezométrica.	48
Figura 16. Registro de cobertura.	49
Figura 17. Antena interna del logger.	52
Figura 18. Patrón de radiación a 850 MHz [33].	54
Figura 19. Patrón de radiación a 1950 MHz [33].	54
Figura 20. Mapa de cobertura Claro [35].	55
Figura 21. Mapa de cobertura de Movistar [36].	56
Figura 22. Antena AMKT0018.	57

Figura 23. Antena PEAN0008.	58
Figura 24. Antena PEAN0007.	58
Figura 25. Antena de parche $\lambda/4$.	60
Figura 26. Parámetros de la antena de parche.	61
Figura 27. Herramienta web Microstrip Line Calculator.	63
Figura 28. Parámetro de la microcinta del transformador $\lambda/4$ y de la entrada de 50Ω .	65
Figura 29. Parámetros de la antena en CST Studio.	66
Figura 30. Montaje de la antena en CST Studio.	67
Figura 31. Resultado parámetro S11 en CST Studio.	68
Figura 32. Diagrama de irradiación 3D en CST Studio	68
Figura 33. Diagrama de irradiación polar en CST Studio.	69
Figura 34. Antenas serie MMG1 y MMG2.	70
Figura 35. Conector MCX female.	71
Figura 36. Adaptador SMAF-MCXM.	72
Figura 37. Localización de los logger.	73
Figura 38. Ubicación de las antenas.	73
Figura 39. Parámetros del agujero.	75
Figura 40. Apertura y sellado de las antenas de la ubicación B.	76
Figura 41. Zona occidental, estación 08 PRV.	79
Figura 42. Zona occidental, estación 40-P3.	79
Figura 43. Zona norte, estación 2006-P4.	80
Figura 44. Zona sur, estación 35-Macro.	80
Figura 45. Zona sur occidente, estación 3701-P4.	81

Introducción

Actualmente es importante para la sociedad contar con un sistema de acueducto. Es de mencionar que el término “acueducto” proviene del latín “aquaeductus” integrado por “aqua” que significa en español “agua” y “ductus” que se originó en el verbo “ducere” con el significado de “guiar”, por consiguiente, esto quiere decir que el acueducto es el sistema que transporta agua de un punto a otro, además se encuentra intrínsecamente relacionado al tema hídrico, por tanto, el suministro del agua es considerado como el servicio público básico más vital para que el ser humano pueda subsistir. Por otro lado, la Constitución Política Colombiana de 1991 establece que los servicios públicos domiciliarios (SDP) son fundamentales para la finalidad social del estado, de igual modo, estos deben prestarse en condiciones de eficiencia y equidad, por lo que hacen parte de las oportunidades que le brinda una ciudad a sus habitantes; por ende, es fundamental que este servicio se preste con calidad, con cantidad suficiente, con continuidad y con cobertura total, además que su costo permita que todos tengan accesibilidad a éste [1].

La ciudad de Cúcuta dispone con la empresa de AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P., la cual fue constituida mediante escritura pública No. 1.252, otorgada el 21 de abril de 2006, en la Notaria 3ª del Círculo de Cúcuta, con matrícula mercantil No. 00150449 de la Cámara de Comercio de Cúcuta y con NIT No. 900080956-2, empresa que actúa como operadora de los servicios de acueducto y alcantarillado de la ciudad [2]. La empresa de AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P. cuenta con sistemas de control de presión hidráulico denominado estación reguladora de presión, las cuales están por toda la ciudad, localizadas debajo de las calles, en cámaras de concreto reforzado con tapa de seguridad en hierro fundido a nivel del piso. Estas estaciones reguladoras de presión están conectadas a dispositivos i2O de medición de presión y

caudal, los cueles presentan fallas de conexión debido a su localización, esto presenta un problema para la empresa y los ciudadanos que cuentan con este servicio.

La empresa tiene como principal objetivo el mejoramiento de la calidad de vida de cada uno de los cucuteños, mediante la optimización de un servicio público esencial para la comunidad: El Agua. Por otro lado, busca la garantía de atender la operación, ampliación, rehabilitación, mantenimiento y gestión comercial de la infraestructura de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado de la ciudad de San José de Cúcuta. Todas estas condiciones juntas hacen que sea necesario el mejoramiento de las señales de los registradores de presión y caudal.

Dando seguimiento a esta introducción, se prosigue con la presentación del proyecto “Mejoramiento de la comunicación en equipos del sistema de control inteligente de presión en la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P”

1. Descripción del problema.

En este capítulo se detalla el título, planteamiento del problema, justificación, alcances, tipo de proyecto, limitaciones y delimitaciones y los objetivos del desarrollo de este trabajo de grado.

1.1. Título

Sistema de comunicación móvil para un control inteligente de presión en la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P.

1.2. Planteamiento del problema

La empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A. E.S.P se encarga de ofrecer servicios de acueducto y alcantarillado para el departamento Norte de Santander. El sistema actual del acueducto de la ciudad de Cúcuta cuenta con dos fuentes de suministros de aguas; los dos sistemas operan uno por gravedad, el río Pamplonita y el otro por bombeo, desde el río Zulia, con una capacidad de tratamiento de 1600 y 1000 litros por segundo respectivamente [3]. La planta de tratamiento El Pórtico, se encuentra ubicada al Sur de la ciudad de Cúcuta, en el Corregimiento de San Pedro, Vereda el Pórtico, su fuente de abastecimiento es del Río Pamplonita, que nace en el Páramo de Fontibón a 3200 msnm, desemboca en el Río Zulia cerca de Puerto Villamizar a una altura de 150 msnm en un recorrido aproximado de 145 kilómetro y la planta de tratamiento El Carmen de Tonchala, se encuentra ubicada en la Vereda SAN ISIDRO del municipio de SAN CAYETANO en la cota 347.70 msnm, su fuente río Zulia [4], en las cuales las aguas son tratadas, luego se almacenan en tanques, y a su vez, distribuida por toda la ciudad.

El área de distribución y bombeo de AGUAS KPITAL CÚCUTA cuenta con un sistema con diversas partes que hacen posible el recorrido del agua mediante tuberías, así como también el

acopio eventual de agua [5], el sistema de presión está diseñado para controlar la presión en el sistema de agua con el fin de lograr un caudal de agua y una presión suficientes para los consumidores. Los sistemas de presión del agua en general consisten en una o más bombas que están instaladas en un sistema de presión [6]. Su principal función es suministrar presión en toda la instalación sin importar el número de servicios en uso. Esto significa que el equipo acelera y desacelera acorde, según sea el porcentaje de utilización de la red hidráulica.

Además, el área de distribución y bombeo cuenta con un sistema de presión hidráulico, denominadas estaciones reguladoras de presión, localizadas en distintas partes de la ciudad de Cúcuta; las estaciones reguladoras de presión utilizan tecnología (sistema i2O) empleada para el control inteligente del sistema de presiones, siendo posible gestionar el servicio en cuanto a presión y control de caudales en cada sector de la red de acueducto. De acuerdo con las necesidades de presión algunos sectores hidráulicos cuentan con su estación reguladora de presión. A nivel general cada una posee un macromedidor, su válvula reguladora de presión (VRP), dispositivo i2O (transmite datos al software, dos modelos existentes) y algunas estaciones tienen piloto inteligente (ayudan a controlar la reguladora). La transmisión de datos desde el dispositivo i2O al software se realiza las 24 horas [7].

Los dispositivos i2O, llamados Logger, los cuales se pueden utilizar en válvulas reductoras de presión, para supervisar el caudal y la presión “aguas arriba”, “aguas abajo” y la presiones en la cámara de control. La precisión del equipo es de $\pm 0,1$ % FS y Deriva mejor que $\pm 0,2$ % FS, sin tener que recalibrar durante la vida útil. Estos son compatibles con tarjetas SIM. Además, tiene almacenamiento de datos no volátiles hasta un año, sin pérdida de datos por interrupciones en el suministro eléctrico. Cuenta con una antena interna de alto rendimiento que puede convertirse en externa in situ, en áreas con recepción deficiente de red móvil. El Logger ofrece

comunicación segura de datos, un modelo con TLS V1.2 en la red GPRS de su elección, y el otro modelo en la red 2G, 3G o NB-IoT elegida, los dos modelos dan la posibilidad de configurar la frecuencia de la transmisión de datos, igualmente, la posibilidad de establecer los límites de cada entrada de canal y de configurar alertas SMS y la transmisión de datos más reciente cuando se superen los límites. Estos dispositivos a su vez tienen intervalos de muestreo de datos: > 1 min e intervalos de registro de datos: > 5 min. Los Logger vienen con un sistema de alarma donde se le pueden configurar límites para cada canal de caudal y presión. Las alarmas envían un SMS y/o un correo electrónico con información de la alarma, por ende, se puede definir un periodo de caudal nocturno con el fin de configurar límites alternativos para un canal de caudal y detectar de forma exacta si se superan los límites o se producen fallas de tuberías. Cuando se dispara una alarma, se activa el proceso decreciente, con datos enviados en los intervalos indicados arriba. Cuando se elimina la alarma, se cancela el proceso decreciente. En ese punto se transmiten datos, y se vuelven a transmitir al cabo de dos horas para realizar un análisis posterior [8].

Las estaciones reguladoras de presión están ubicadas debajo de las calles, en cámaras de concreto reforzado, la cual tiene como acceso una tapa de seguridad de hierro fundido, debido la ubicación de los equipos se suele perder la comunicación con la plataforma en la nube, la cual controla el algoritmo de control, lo que significa que no se ejecutaría la alarma y podría causar una ruptura de tubería.

Para solventar esta novedad la empresa requiere la mejora de las comunicaciones de los registradores, el cual ofrece un sistema de control inteligente de presión, que opera en la red GPRS, 2G y 3G, realizando el respectivo estudio de la variable de la propuesta con costos y logística necesaria para el mejoramiento de la señal.

1.3. Formulación del problema

Teniendo en cuenta estas consideraciones se plantea dar respuesta al siguiente interrogante, ¿Cómo mejorar la comunicación en equipos del sistema de control inteligente de presión en la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P?

1.4. Justificación

Según indicadores técnicos operativos de servicios de acueducto de 2019, indican que para diciembre del año mencionado anteriormente, AGUAS KPITAL CÚCUTA tenía la red de distribución del sistema de acueducto en el área urbana del Municipio de Cúcuta dividida en sectores hidráulicos definidos con respecto, Estaciones Reguladoras de Presión (ERP) y macromedición de la siguiente manera: aquellos que ya se encontraban materializados en su totalidad, y ocupan el 67.07% del área urbana de la ciudad. De igual modo, sectores intervenidos que se encontraban en proceso de materialización, en los cuales se estaban adelantando diversas obras y corresponden al 18.71% del área urbana de la ciudad y sectores por intervenir en los que no se habían adelantado labores de materialización con el 14.22% del área urbana de la ciudad de Cúcuta [3]. Teniendo en cuenta estos datos, en el periodo del año 2019 AGUAS KAPITAL CÚCUTA tuvo daños en la red de distribución del sistema de acueducto en el área urbana del Municipio de Cúcuta de 1803 daños, con relación a las causas, el 37% de los daños son ocasionados debido a fuga en las uniones, 21% por antigüedad de tuberías, 16% falla en tubería por esfuerzo, 11% por sobrepresión, 7% daños por terceros, y el 8% por calidad de accesorios. Con respecto a daños causados en las acometidas, hubo daños de 11378, se deben principalmente a fuga en las uniones con 32%, antigüedad de tuberías 26%, daños por terceros con el 21%, calidad de accesorios 13%, falla en collarín 3%, por esfuerzo 3%, y por sobrepresión 2% [3].

Para el año del 2020 se realizaron un total de 11.562 reparaciones de daños, principalmente en los sectores de la Ciudad que aún no contaban con válvulas reguladoras de presión, fue el otro factor que contribuyó al incremento de daños reparados [4]. Las válvulas reguladoras de presión (VRP) son el componente hidráulico principal de las estaciones reguladoras de presión (ERP), ya que es la válvula que genera la pérdida o disminución de presión de las tuberías principales que viene con altas presiones, estableciendo claramente dos niveles de presión, uno de valor alto, “aguas arriba” (líneas primarias), y uno de bajo valor, “aguas abajo” [5]. La VRP debe mantener constante, en un valor definido y prefijado, la presión en la línea “aguas abajo”, sin importar las variaciones de presión en la línea “aguas arriba” de la válvula [6]. Las VRP están conectadas a los dispositivos i2O, los cuales transmiten los datos al software para llevar un registro y control de las presiones suministradas a las aguas abajo.

AGUAS KPITAL CÚCUTA con el ánimo de seguir brindando un servicio de acueducto de calidad a sus usuarios de la ciudad de Cúcuta, ha detectado un problema en las estaciones reguladoras de presión con respecto a los dispositivos i2O, el cual tiene problemas de comunicación en la red, debido a la ubicación de las ERP, por consiguiente, no llegan los registros de datos al software cuando se pierde la comunicación; y llegado al caso de haber una alta presión en la tuberías de “agua abajo” la alarma no se activaría y habrían altas posibilidad de una ruptura en las tuberías, lo que conllevaría a la suspensión del servicio de aguas, lo que para la empresa son pérdidas en cuanto a presupuesto por reparaciones y desperdicio de agua.

Por las razones mencionadas anteriormente, se plantea el mejoramiento de la comunicación del sistema de control inteligente de presión de las estaciones reguladoras de presión para controlar y monitorear la entrada de “aguas arriba”, así como las “aguas abajo” de las válvulas

reguladoras de presión, de esta manera ofertando un excelente servicio y manteniendo los índices de conformidad en los usuarios.

1.4.1. Impacto esperado

Gracias al mejoramiento de comunicación del sistema de control inteligente de presión, se podría solucionar la pérdida de comunicación en las estaciones reguladoras de presión; de los dispositivos i2O y el software, los cuales monitorean y controlan las válvulas reguladoras de presión de las aguas bajas, mejorando de esta manera la prestación del servicio del sistema de acueducto de la empresa AGUAS KPITAL CÚCUTA , de igual manera evitando daños causados por sobrepresión y esfuerzo de las tuberías.

1.4.2. Beneficios tecnológicos

- Trabajar en el área de las comunicaciones móviles GPRS, 2G, 3G y NB-IoT, mejoró la pérdida de comunicación en lugares donde el servicio de las redes de comunicación es de baja calidad, así se avanzó de manera eficaz en el campo de las telecomunicaciones móviles y las posibles aplicaciones de dicho sistema.
- La mejora de la señal de los dispositivos i2O permitió una comunicación continua hacia el software, el cual controla y activa la alarma de las VRP.

1.4.3. Beneficios ambientales

- El arreglo de las comunicaciones de los dispositivos i2O evitó una fuga de agua y el desperdicio de grandes cantidades de aguas, ya que el mantenimiento y arreglo de las tuberías lleva tiempo y se pierden varios litros de agua; dependiendo del daño causado por la presión.

- Al evitar estos daños causados por las rupturas de tuberías, se previene el deterioro del medio ambiente, ya que el desperdicio del agua es una gran problemática en la actualidad por las sequías de ríos y el mal gasto de agua que la sociedad le da a ésta.

1.4.4. Beneficios económicos

- La realización de este proyecto evitó grandes pérdidas económicas en la empresa, por lo que reparar las tuberías requiere de tiempo y dinero.

1.4.5. Beneficios institucionales

- Aportar con la práctica, investigación y desarrollo tecnológico de los estudiantes, asimismo, le brinda reconocimiento tanto al programa de Ingeniería Electrónica como a la Universidad Francisco de Paula Santander en el sector empresarial a nivel regional como nacional.
- El desarrollo de este proyecto permitió que el estudiante pudiera destacar el compromiso y la alta calidad del programa de Ingeniería Electrónica, y a su vez, aportar al proceso de una re-acreditación, a una alta calidad y al compromiso tanto a nivel institucional como del programa.

1.4.6. Beneficios académicos

- El desarrollo del presente proyecto permitió la aplicación de los conocimientos y herramientas adquiridas durante la formación académica en la empresa AGUAS KPITAL CÚCUTA.
- Se contribuyó al beneficio de ambas partes, puesto que a su vez permitió al estudiante tener la oportunidad de obtener el título como Ingeniero Electrónico; asimismo, adquirir más experiencia y habilidades en su labor.

1.5. Alcances

La ejecución de este proyecto pretende la mejora de comunicación de las estaciones reguladoras de presión, entre los dispositivos i2O (logger) y el software, el cual controla el algoritmo de control de las alarmas, además establecen los límites de presión, solucionando el problema con el que cuenta la empresa de AGUAS KPITAL CÚCUTA, basándose en un estudio preliminar y una de etapa de evaluación que permita el diagnóstico y recopilación de la información necesaria para el desarrollo de las especificaciones propias, con el objetivo de mejorar la comunicación del sistema de control de inteligente de presión actual. Teniendo en cuenta las especificaciones de los dispositivos y la obstrucción de la señal por la ubicación del ERP, las cuales se encuentran en cámaras reforzadas de cemento, bajo la superficie del suelo. Esta mejora permitió una comunicación más estable, que la que poseen los dispositivos i2O actualmente, la cual no contó con interrupciones de comunicación y otorgó una mayor estabilidad en cuanto a comunicaciones móviles.

1.6. Limitaciones y delimitaciones

1.6.1. Limitaciones

- La instalación de antenas o de los dispositivo i2O por fuera de las cámaras reforzadas de cemento en las que se encuentran las estaciones reguladoras de presión, las cuales con anterioridad se habían instalado algunas antenas conectadas a los dispositivos i2O en postes de energía eléctrica y se los habían robado.
- Debido a que son demasiados los dispositivos i2O instalados por toda la ciudad, tomar y revisar cada uno de ellos tomaría demasiado tiempo, por tanto, se tomó un muestreo de la ubicación de algunos dispositivos.

1.6.2. Delimitaciones

Este proyecto se realizó a principio del año 2022 y terminó a mitad del año 2022, en la ciudad de Cúcuta, en la empresa de AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A E.S.P en el área de Distribución y Bombeo, en las estaciones reguladoras de presión, ubicadas en distintas zonas de Cúcuta; se abordó sobre la tecnología de comunicaciones móviles GPRS, comunicaciones de segunda y tercera generación. Este proyecto se ejecutó en tres (3) fases principales; iniciando con el diagnóstico y recopilación de información necesaria para el mejoramiento de las comunicaciones móviles ya mencionadas, en esta etapa también se comprobó la conexión y eficacia de los dispositivos i2O y de la SIM Card.

Seguidamente se realizó los requerimientos técnicos necesarios de la propuesta para el mejoramiento de señales GPRS, 2g y 3g, para instalación de antenas y mejoramiento de la potencia. Finalmente, en la tercera fase se especificó los equipos técnicos a utilizar y los costos con sus ventajas y desventajas; ya con esto se evaluó la comunicación de los dispositivos a través del software del sistema i2O, comprobando la propuesta de la comunicación que debió cumplir con las características exigidas por la empresa.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de comunicación móvil para un control inteligente de presión en la empresa AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.

1.7.2. Objetivos específicos

- Recopilar información acerca de la capacidad de red de los equipos y fallas que se generan en el actual sistema de control inteligente de presión.

- Diseñar un sistema de red de comunicaciones móviles que se adapte a las necesidades del sistema de control inteligente de presión.
- Implementar el diseño de red al sistema de control inteligente.
- Evaluar el diseño de red de comunicación móvil de los dispositivos i2O mediante la plataforma i2O.

2. Marco referencial

Con el objetivo de elaborar el marco referencial, se tomaron antecedentes prácticos y teóricos relacionados con el tema de las técnicas para la transmisión de datos a través de las comunicaciones móviles.

2.1. Antecedentes

Diego Martínez y Heiner Londoño (2016) quienes realizaron el trabajo: “Estudio de generaciones de tecnología celular para el envío de datos tomados de una plataforma robótica”, en Bogotá, el cual nos habla de la telefonía celular y sus generaciones: primera (1G), segunda (2G), generación 2.5 G (GPRS, HSCSD, EDGE, IS-136B e IS-95Bm entre otros), tercera (3G) y cuarta generación (4G). El cual desarrolla e implementa plataformas robóticas con el fin de establecer diferentes medidas y comportamientos por medio de diversos sensores. Los valores arrojados se envían hacia la tarjeta madre del dispositivo y de allí hacia un router el cual entrega datos a una interfaz gráfica desarrollada por LABVIEW. La comunicación fue inalámbrica con modulo celular a través de las redes celulares, donde se pudieron comparar las variables de

velocidad, cobertura y costos en las redes de tecnología celular 2G, 3G y 4G para averiguar cuál es la más apropiada para el proyecto.

En el cual se concluyó que el operador móvil claro es el operador que tiene una conexión más equilibrada, dadas las operaciones de señal a ruido y la conexión más estable fue la tercera generación, dado los niveles de potencia alcanzados, con bajos niveles de ruido [7].

Mario Rangel y Geovanny Enríquez en el año 2017 de la ciudad de Guayaquil, Ecuador realizaron el proyecto “Diseño, implementación e instalación de lámparas led alimentadas con sistema fotovoltaico con monitoreo remoto vía gprs en la unidad educativa particular Franciscana Salitre”. El objetivo de este proyecto desarrollar un equipo de bajo costo y ahorro de energía que permita el monitoreo permanente de las variables energéticas. El equipo desarrollado capturara la información a través de circuitos electrónicos y sensores, esta información es convertida en datos digitales para ser enviadas a una aplicación web mediante arduino y un módulo GSM/GPRS.

Este proyecto se relaciona con el monitoreo a través de internet por tecnología GSM/GPRS, permitiendo que el sistema pueda ser observado desde la aplicación web para un análisis en tiempo real [8].

Diego Fonseca y Andrés García (2017) en su trabajo “Implementar un prototipo para el control de acceso, incorporado en un vehículo de transporte escolar, basados en las tecnologías móviles GPRS” en Bogotá, realizo un prototipo de control de acceso y salida para estudiantes, con tecnología GPRS, la cual se comunica con un servidor que almacena información a través de la red de comunicación celular, en el cual un dispositivo físico ubicado en el interior del vehículo escolar, registra el ingreso o salido utilizando un carnet de identificación, el cual brindara la fecha, hora y lugar de acceso y salida. En este trabajo se puede observar que a pesar de que la

tecnología GPRS es un poco antigua frente a las tecnologías móviles actuales, aún sigue siendo muy útil y utilizada, asimismo, sus funciones pueden ser ilimitadas como es el monitoreo a través de la red GPRS, teniendo en cuenta que es únicamente limitado por la cobertura y el plan de datos del operador móvil [9].

El trabajo de fin de master, presentador por David Sánchez (2019), el cual nos habla de “NB-IoT. Tecnologías celulares narrow-band. Análisis práctico de las soluciones de Telefónica y Vodafone”, en Madrid, España, el objetivo principal del proyecto es mostrar el estado de madurez de la tecnología de comunicación celular NB-IoT, englobada en las soluciones para las redes LPWAN. Describiendo las bases técnicas que soportan NB-IoT, su situación dentro del espectro licenciado de radiofrecuencias, así como su relación con otras tecnologías de espectro no licenciado (LoRa y LoRaWAN). Mostrando test reales, donde se identificaron los elementos hardware y software para el envío de datos entre un nodo-IoT (Pycom) y un servidor en la nube (Microsoft Azure). A través de operadores telefónicos como Vodafone y Telefónica, que proporcionaron tarjetas de conectividad NB-IoT, realizando pruebas de campo.

Este trabajo aportó conocimiento sobre las tecnologías NB-IoT, como su funcionamiento y modo de operar. Gracias a las pruebas de campo se observó la latencia de subida y bajada, bytes por segundo de cada operador y una comparativa de NB-IoT frente a LoRaWAN [10].

Jhon Reinoso en su proyecto “Desarrollo y construcción de un sistema de monitoreo de alarmas a través de GPRS y arduino para el nodo Buenos Aires (BUGA)”, Colombia, abril del 2019, consistió en el monitoreo de la red eléctrica del nodo Buenos Aires, cerca al municipio de Buga, mediante una tarjeta de arduino y un módulo de comunicaciones GPRS, donde se escogió el protocolo MTQ, el cual permitió el envío de señales de alarmas a través de la internet a un

nodo en la ciudad de Cali, mediante el desarrollo de un software, para verificar el estado de la red eléctrica [11].

2.2. Marco teórico

Con el objetivo de elaborar el marco referencial, se tomaron antecedentes prácticos y teóricos relacionados con el tema de las técnicas para la transmisión de datos a través de radio enlaces.

2.2.1. Tecnología i2O

El registro de datos i2O permite monitorear de manera rentable el flujo y la presión en toda la red. Los registradores de datos son precisos, confiables y robustos, con transmisión de datos altamente configurable y ajustes de alarma de umbral. La plataforma de registro de datos es capaz de ingerir datos de registradores i2O o no i2O, haciendo que los datos de todo el estado del registrador estén disponibles en un solo lugar. A través de una API, los datos recopilados en la plataforma i2O se pueden exportar o integrar a otros sistemas [12].

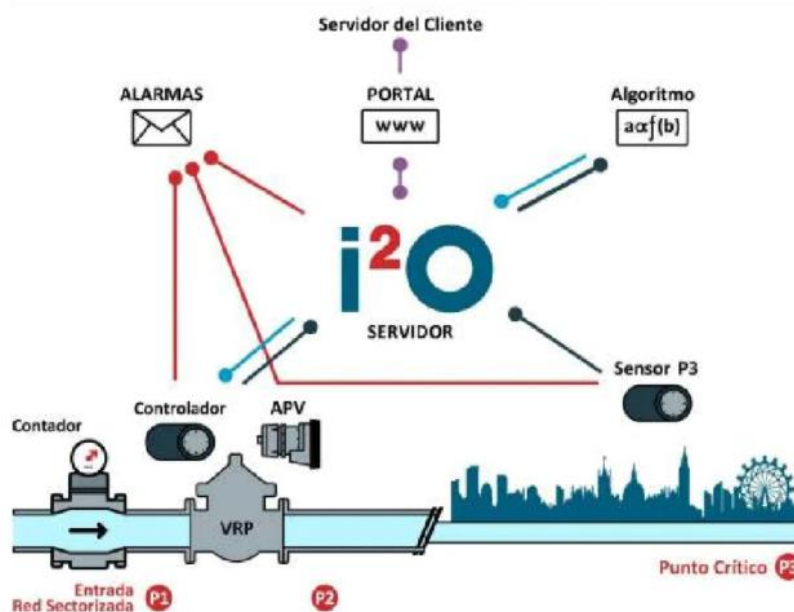


Figura 1. Representación del Sistema i2O [13].

2.2.1.1. Válvula de presión avanzada (APV).

Las válvulas de presión avanzadas se utilizan en la solución para controlar las VRP, que permite controlar la presión de forma remota, o para proporcionar automáticamente las presiones deseadas en un punto crítico. La APV funciona en cualquier válvula reductora de presión (VRP) de tipo globo accionada por diafragma, mayor de 50 mm [14].



Figura 2. Válvula Piloto avanzada [14].

2.2.1.2. Logger.

Diseñados para funcionar en condiciones medioambientales extremas, se encargan de registrar los datos y transferirlos a la plataforma i2O (software).



Figura 3. Dispositivo i2O (Logger) [15].

2.2.1.3. Registro de datos.

Los Loggers son precisos, resistentes, y transfieren datos y avisos a la plataforma i2O con la frecuencia asignada. Registra los datos de presión “aguas arriba” (rojo), presión “aguas abajo” (azul) y la presión es Espacio de control (opcional, verde) como se observa en la figura 4. La plataforma puede ingresar datos de otros loggers, reúne todos los datos procedentes de estos en un solo lugar.



Figura 4. Conexión de mangueras para controlar el registrador de presiones [16].

2.2.1.4. Plataforma i20 (software).

Recopila datos de la red suministrada por los Logger, para reunir el máximo de información útil en un solo lugar. Además, los datos recopilados en la plataforma i2O se pueden exportar o integrar con otros sistemas [17]. También ofrece la gama más amplia de funciones analíticas y la forma más fácil de analizar la información y de sacarle partido. Como se puede observar en la figura 5, se ven los datos registrados de presión mencionados anteriormente [18].

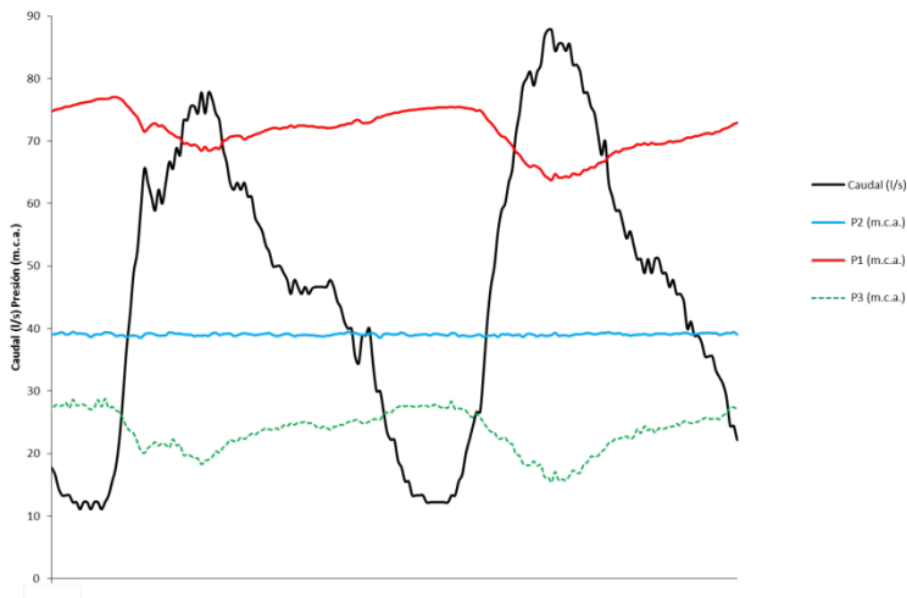


Figura 5. Registro de datos del logger de las presiones registradas [19].

2.2.1.5. Alarma.

Se pueden configurar límites de alarmas para cada canal de caudal y presión. Las alarmas desencadenan las siguientes acciones:

- Enviar un SMS y/o un correo electrónico con información de la alarma.
- Conectarse con una periodicidad mayor. Se puede definir un periodo de caudal nocturno con el fin de configurar límites alternativos para un canal de caudal y detectar de forma exacta si se superan los límites o se producen fallas de tuberías.

Cuando se dispara una alarma, se activa el proceso decreciente, con datos enviados en los intervalos indicados arriba. Cuando se elimina la alarma, se cancela el proceso decreciente. En ese punto se transmiten datos, y se vuelven a transmitir al cabo de dos horas para realizar un análisis posterior.

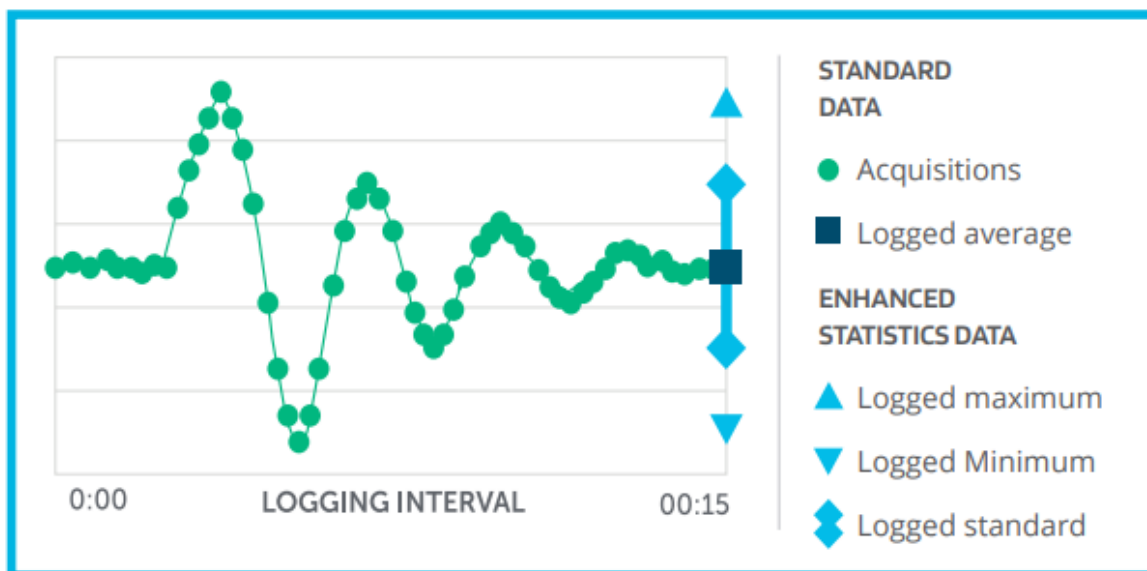


Figura 6. Esquema en general del sistema de alarma i2O [15].

2.2.1.6. Conexión del sistema i2O.

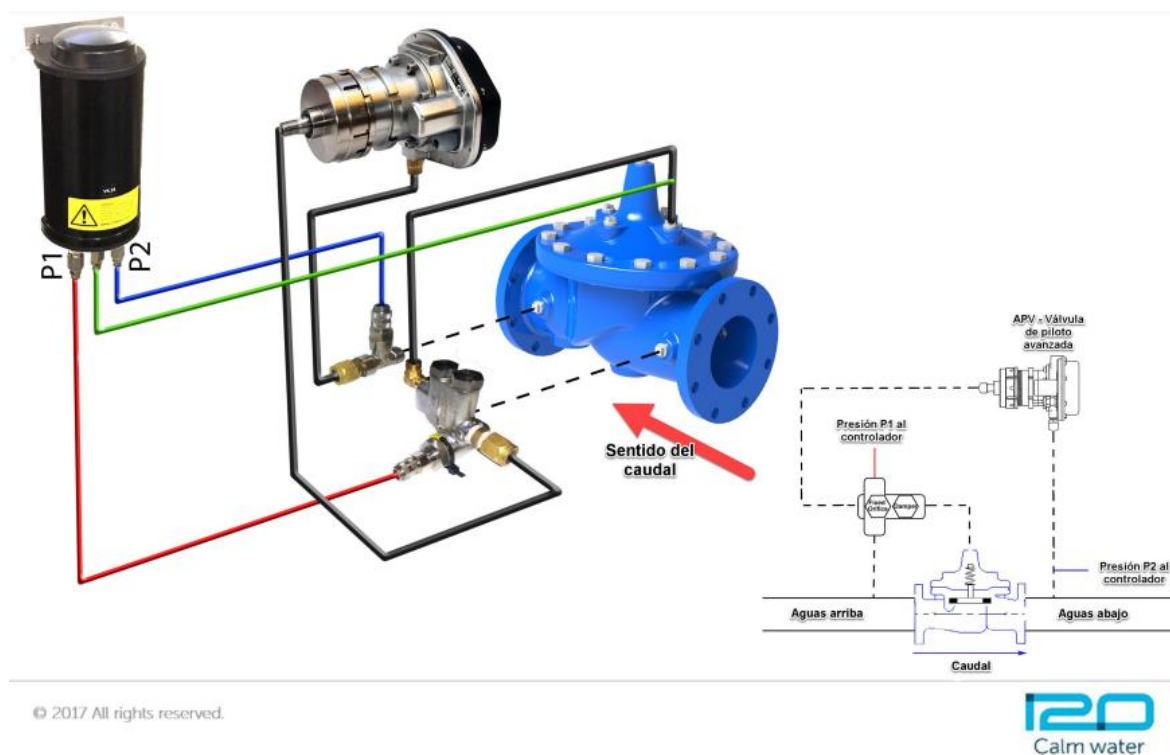


Figura 7. Conexión del sistema de control inteligente de presión [16].

2.2.2. Tecnología móvil 2G

La telefonía móvil 2G, es el término empleado para referirse a la segunda generación de los mecanismos de telecomunicación para dispositivos móviles. El aspecto más resaltante de esta segunda generación de telefonía móvil es que permitió reemplazar los dispositivos analógicos de telecomunicación por un sistema totalmente digital, mucho más eficiente y versátil que se han convertido en la matriz de las comunicaciones actuales [20].

La telefonía móvil 2G no es un estándar o un protocolo sino que es una forma de marcar el cambio de protocolos de telefonía móvil analógica a digital. Tuvo como principal ventaja la posibilidad de integrar dentro de una misma señal voz y otros servicios, como mensajes de texto, y mejor velocidad en datos [21].

2.2.3. Tecnología GPRS

GPRS significa General Packet Radio Service (servicio general de paquetes vía radio) y es una extensión mejorada del GSM, la cual permite la mensajería instantánea, los servicios de mensajes cortos (SMS) y multimedia (MMS) y de correo electrónico, y que se esté "siempre conectados", entre otras cosas. Proporciona una cobertura inalámbrica completa y velocidades de transferencia de entre 56 a 114 kbps (kilobits por segundo). Por ejemplo, permite enviar 30 SMS por minuto [22].

Este estándar de comunicación se caracteriza por enviar la información en grupos de paquetes. Fue creado en los años 90 ganando gran aceptación entre los usuarios, se convirtió en un excelente medio donde se podían transmitir datos pesados vía web que la 2G no podía realizar. Este sistema actualizó los servicios de Internet de la red 2G y hacerlos compatibles con WAN, LAN e Internet. Su principal objetivo es ser el acceso a redes de datos estándar (TCT/IP) convirtiéndose en una especie de subred [23].

El GPRS sirve para encapsular los datos en paquetes cortos cuando son enviados por los usuarios. La cabecera indica las direcciones de origen y destino, cada grupo de datos puede seguir rutas distintas a través de la red hasta llegar a su destino. Esta acción se intercala con la de otros usuarios, no es que sean enviados a intervalos de tiempo, sino cuando la red es liberada. Por lo tanto, los costes se realizan de acuerdo al número de Mbps transferidos y no al tiempo de conexión [23].

2.2.4. Tecnología móvil 3G

La 3G es la abreviación de tercera generación de transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil mediante UMTS (Universal Mobile Telecommunications System o servicio universal de telecomunicaciones móviles). Los servicios asociados con la tercera generación proporcionan la posibilidad de transferir voz y datos no-voz (como la descarga de programas, intercambio de correos electrónicos, y mensajería instantánea) [24].

Aunque esta tecnología estaba orientada a la telefonía móvil, desde hace unos años las operadoras de telefonía móvil ofrecen servicios exclusivos de conexión a Internet mediante módem USB, sin necesidad de adquirir un teléfono móvil, por lo que cualquier computadora puede disponer de acceso a Internet. Existen otros dispositivos como algunos ultraportátiles (netbooks) y tabletas que incorporan el módem integrado en el propio equipo. En todos los casos requieren una tarjeta SIM para su uso, aunque el uso del número de teléfono móvil asociado a la tarjeta para realizar o recibir llamadas pueda estar bloqueado o estar asociado a un número con contrato 3G. La mayoría de móviles 3G soportan su uso como módem USB (soportado por todos los teléfonos inteligentes con Android y con iOS) y algunos permiten su uso vía Wi-Fi o Bluetooth [24].

2.2.5. Comparación entre generaciones de telefonía celular.

Para realizar este comparativo se muestran diferentes características las generaciones 2G, 2.5G y 3G de telefonía celular, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Comparativo entre tecnologías de telefonía celular [7].

Tecnología / Características	2G	2.5G	3G
Inicio / Implementación	1980 / 1991	1985 / 1999	1990 / 2002
Ancho de banda para Datos	14,4Kbps	14,4Kbps	2Mbps
Estándar	TDMA, CDMA, GSM	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA-2000
Tecnología	Celular digital	Celular digital	CDMA, IP
Servicio	Voz y mensajes de texto cortos	Mayor capacidad de datos.	Integración de alta calidad de audio y video.
Switching	Circuitos.	Circuitos para acceso a la red y paquetes para acceso a datos.	Paquetes e interfaz aérea Circuitos.
Core Network	PSTN	PSTN y paquetes de red.	Paquetes de red.

2.2.6. Tecnología NB-IoT

Narrow Band IoT (NB-IoT) es la apuesta de 3GPP para dar respuesta a las necesidades de comunicación IoT, en lo que denominan extended Machine Type Communications (eMTC). NB-IoT aparece como respuesta al auge de las Low Power Wide Area Networks (LPWAN) por ejemplo como lo son las tecnologías LoRaWAN, Telensa o Sigfox entre otras. Las LPWAN se caracterizan por ser tecnologías de largo alcance, dando cobertura hasta 15km en entornos abiertos y hasta 2km en entornos urbanos. Estas tecnologías se han diseñado para dar acceso a un número potencialmente alto de dispositivos que tienen que transmitir pocas cantidades de datos (pocos bytes) de forma esporádica (ej. cada varios minutos), mayoritariamente en uplink. Las

LPWAN se usan en aplicaciones como la tele-lectura de contadores, el control del alumbrado público, las alarmas de robo o los sistemas de control en infraestructuras entre muchas otras [25].

El NB-IoT es una tecnología que proporciona una mejor cobertura de red para las comunicaciones entre diversas cosas, así como grandes cantidades de conexiones simultáneas y lo más importante, todo con un consumo de energía muy bajo. Además, tomando en cuenta que no se necesitan grandes velocidades de conexión, sino conexiones estables, el estándar permite transferencias de hasta 250 kbit/s y una latencia de entre 1.6 y 10 segundos, su cobertura es mayor y dependiendo del uso, la batería de los chips puede alargarse hasta los 10 años [26].

2.3. Marco legal

Para el desarrollo de este proyecto es importante tener presente las normativas por las cuales se rige las telecomunicaciones en Colombia, las cuales se mencionan a continuación:

La “Ley 80 de 1993, artículo 33” se entiende por actividad de telecomunicaciones el establecimiento de una red de telecomunicaciones para uso exclusivo y particular y exclusivo, a fin de satisfacer necesidades privadas de telecomunicaciones, y sin conexión a las redes conmutadas del Estado o a otras redes privadas de telecomunicaciones. Para todos los efectos legales las actividades de telecomunicaciones se asimilan a servicios privados.

Se entiende por servicios de telecomunicaciones aquellos que son prestados por personas jurídicas, públicas o privadas, debidamente constituidas en Colombia, con o sin ánimo de lucro, con el fin de satisfacer necesidades específicas de telecomunicaciones a terceros, dentro del territorio nacional o en conexión con el exterior [27].

La “Ley 37 de 1993” según el artículo 1 se dice que la telefonía móvil celular es un servicio público de telecomunicaciones, no domiciliario, de ámbito y cubrimiento nacional, que

proporciona en sí mismo capacidad completa para la comunicación telefónica entre usuarios móviles y, a través de la interconexión con la red telefónica pública conmutada (RTPC), entre aquellos, y usuarios fijos, haciendo uso de una red de telefonía móvil celular, en la que la parte del espectro radioeléctrico asignado constituye su elemento principal. Seguidamente en el artículo 2 se define que las redes de telefonía móvil celular son las redes de telecomunicaciones, que interconectadas entre ellas o a través de la red telefónica, pública conmutada, permiten un cubrimiento nacional, destinadas principalmente a la prestación al público del servicio de telefonía móvil celular, en las cuales el espectro radioeléctrico asignado se divide en canales discretos, los cuales a su vez son asignados en grupos de células geográficas para cubrir un área. Los canales discretos son susceptibles de ser reutilizados en diferentes células dentro del área de cubrimiento [28].

En cuanto al “Decreto 1900 de 1990” se comenta acerca del modo por el cual se reforman las normas y estatutos que regulan las actividades y servicios de telecomunicaciones y afines [29].

3. Diseño metodológico

Teniendo en cuenta el objetivo general del proyecto de mejorar la comunicación en equipos del sistema de control inteligente de presión en la empresa Aguas Kpital Cúcuta S.A E.S.P, se planteó la metodología a desarrollar en la ejecución del proyecto que permitió el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos del mismo.

3.1. Recopilar información acerca de la capacidad de red de los equipos y fallas que se generan en el actual sistema de control inteligente de presión.

3.1.1. Actividad

Hacer un análisis y un muestreo en general de todos los dispositivos que están funcionando actualmente en varias zonas de la ciudad de Cúcuta, para saber en qué zonas de la ciudad se trabaja para la mejora de comunicación de los equipos i2O.

Realizar visitas presenciales a las estaciones reguladoras de presión (ERP) que fueron seleccionadas a trabajar, donde se encuentran el sistema de control inteligente i2O instalado, para revisar las conexiones y el correcto funcionamiento de los dispositivos i2O en las ERP.

Realizar un diagnóstico de las coberturas disponibles en las redes de comunicación que se trabajan en las ERP, asimismo, se revisa la potencia y calidad de la señal, haciendo un análisis de las coberturas registradas, como las deficiencias y eficiencias de la señal.

3.1.2. Metodología

En esta primera etapa se debe realizar el proceso de selección, el cual se basa en un muestreo de todos los lugares donde se encuentra las ERP, en la que están instalados los sistemas i2O, en el cual se trabaja en el transcurso de este proyecto, teniendo en cuenta el acceso y el peligro a la zona.

Una vez elegidas las ERP en el que se trabaja, se le hace una visita presencial para verificar el funcionamiento de los equipos, correctas conexiones y ubicación de los logger referente a la antena de comunicación más cercana.

A través de un medidor de señal brindado por la empresa se realiza un diagnóstico en cada ERP seleccionada, para revisar la cobertura de los operadores móviles y de las redes de comunicación dentro y por fuera de las ERP que se encuentran en cámaras de cemento reforzado bajo en nivel del piso para hacer un análisis del problema.

3.2. Diseñar un sistema de red de comunicaciones móviles que se adapte a las necesidades del sistema de control inteligente de presión.

3.2.1. Actividad

Realizar el diseño de un sistema de red de comunicaciones móviles para resolver la problemática de la empresa en la comunicación del sistema i2O, basado en los resultados del objetivo anterior.

Seleccionar los equipos más viables que cumplan con el diseño de red, y hacer un estudio comparativo entre los equipos y marcas disponibles en el mercado.

3.2.2. Metodología

Se toman medidas de cuál es la mejor red y operador al que se deben conectar los logger, dependiendo del modelo.

En esta etapa se seleccionan los equipos a utilizar para el diseño de red de comunicación y su configuración, teniendo en cuenta que la empresa Aguas Kpital es quien toma la decisión final basada en lo que se sugiera con el desarrollo del proyecto.

3.3. Implementar el diseño de red al sistema de control inteligente

3.3.1. Actividad

Definir la logística necesaria para el montaje de los equipos en las ERP.

Realizar el montaje de los equipos del diseño del sistema de red de comunicación móvil, dando así solución al problema de comunicación del sistema inteligente de control de presión.

3.3.2. Metodología

Se define la logística necesaria para el montaje de los equipos en las ERP, de esta manera se realiza el montaje de los equipos.

Instalar los equipos seleccionados que cumplan con el diseño de red, para mejorar la comunicación, teniendo en cuenta la localización ERP y su infraestructura.

3.4. Evaluar el diseño de red de comunicación móvil de los dispositivos i2O mediante la plataforma i2O.

3.4.1. Actividad

Realizar un diagnóstico de la comunicación del sistema i2O con la ayuda del software que nos ofrece el sistema i2O.

Destacar las conclusiones y recomendaciones que se entrega a la empresa Aguas Kpital Cúcuta, en el momento de rectificar el correcto funcionamiento del sistema i2O.

3.4.2. Metodología

En la etapa final se realiza el proceso de verificar una comunicación continua, sin pérdidas de señal o incomunicación por parte del sistema i2O, a través de la plataforma que tiene por defecto el sistema i2O.

4. Resultados

En este capítulo se describen los resultados obtenidos una vez desarrollada la metodología para cumplir con los objetivos propuestos.

4.1. Capacitación sobre el software configurator i2O y entrega un logger.

Para dar inicio a la ejecución de la pasantía con la primera actividad se recibió por parte del codirector del proyecto un dispositivo “logger”, un cable conector de entrada especial al logger y una memoria USB que contenía el instalador del software “Configurator i2O”, prosiguiendo a la instalación en el computador personal que se trabajó en el transcurso del proyecto.

El ayudante del codirector realizó una capacitación sobre el logger, la manera de abrirlo y mirar los componentes que lo conforman internamente que son: un módulo, una antena, una batería, una ranura para una tarjeta SIM, los cuales están conectados a una tarjeta electrónica, que es la encargada de controlar el logger y toma los registros de las ERP (Estación Reguladora Presión) y los envía a la plataforma web.

También se dio una capacitación del software Configurator i2O (figura 8), para que el programa funcione se debe tener el logger conectado a la computadora que contenga el software, cuando se conecta un Logger, aparece automáticamente la página de Inicio de Configurator. El botón de “Conectar” nos conecta a la red del logger y nos irá mostrando los diferentes mensajes de estado según se vayan completando las diferentes etapas del proceso de comunicación.

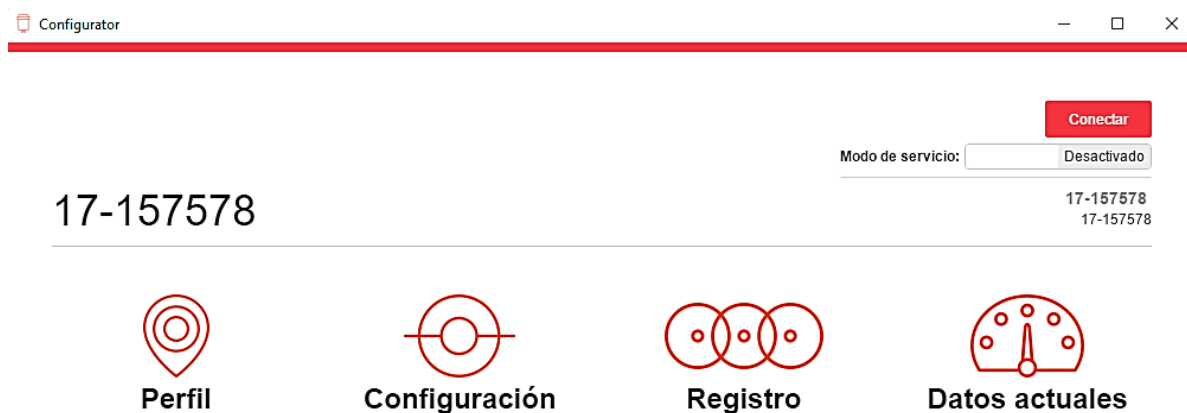


Figura 8. Software Configurator i2O.

La herramienta del software “Datos actuales”, es la visualización de datos en tiempo real, la cual nos muestra el comportamiento del Logger; como la visualización de información, la intensidad de la señal, el nombre y número de serie del Logger, la presión y el caudal, además de la lectura del voltaje de la batería durante el proceso de activación.

La herramienta “configuración” nos permite desactivar el logger si no se seguiría utilizando o si se ha colocado temporalmente en el almacén.

Y por último las herramientas de “perfil” que nos muestra el nombre del logger y la versión de firmware y “registro”, la cual nos permite configurar la compensación de presión, escala de flujo y el tipo de contador de flujo.

4.2. Capacitación de la plataforma i2O Water.



Figura 9. Plataforma i2O Water.

El codirector del proyecto realizó una capacitación sobre la plataforma que manejan los ingenieros y demás trabajadores de la empresa para revisar el registro y control del agua en todo el sistema de acueducto de la empresa. Se hizo la entrega de un usuario para poder acceder a la plataforma en el transcurso del proyecto. La plataforma i2O Water nos muestra una lista de todos los dispositivos en funcionamiento categorizados por las zonas de Cúcuta: puntos de interés, norte, occidente, oriente, plantas de Carmen de Tonchala y el pórtico, sur, sur oriente y valle Norte, además de las estaciones piezométricas y estaciones de bombeo.

La plataforma cuenta con tres herramientas principales: “centro de control”, es la que nos muestra las alarmas que activan los logger; van desde alarmas críticas, advertencia, seguimiento e informativas. La segunda herramienta es la de “monitoreo”, la cual nos registra los datos enviados por los logger y nos los suministra en forma de gráfica; nos muestra el voltaje, tasa de caudal, volumen del caudal y la intensidad de la señal GSM en dBm, dicha grafica se puede

ajustar en semanas días o meses y justar si solo se quiere ver cualquier datos como puede ser el caudal o voltaje. La ultima herramienta es “configuración”, que permite ajustar y mostrar el área asignada donde se encuentra la ERP en el mapa de Cúcuta; también muestra las alarmas, como cuando se fuerza una comunicación por pérdida de señal, la calibración de los equipos y configurar el tiempo de registro de los datos, además de eso nos muestra el número de serie del logger con sus respectivos datos.

Las herramientas más utilizada es la del monitoreo, ya que por medio de ellas se puede ver la intensidad de la señal en dBm; y la de configuración para poder ver la ubicación de cada dispositivos instalado en las ERP por la ciudad de Cúcuta y las plantas de tratamiento.

4.3. Recopilación de información de los logger.

A través de la plataforma i2O Water, se utiliza la herramienta de monitoreo para poder realizar un muestreo de las últimas dos semanas de los logger en funcionamiento. Esta tarea no fue muy sencilla, ya que todos los dispositivos no manejan el mismo tiempo de muestreo por día; unos registran datos cada 12 horas, otros cada 24 horas y algunos no tienen muestreos exactos, sino muestreos de 8 veces al día. Se tuvo que hacer un promedio al día individual de cada logger y registrarlo en una tabla en Excel.

Como se puede observar en la tabla 2, es un ejemplo del trabajo que se estuvo realizando en el registro de datos de los logger durante una semana, los recuadro en rojo con las “x”, significa que hubo pérdida de la señal durante el día, algo muy común en equipos con mala calidad de señal. Los logger que tuvieron muestreos superiores a las 24 horas, se les tuvieron que hacer un promedio en general de la intensidad de la señal al día, para poder realizar el promedio de la señal al día se tuvo que anotar cada registro de dato durante el día y sacarle un promedio de dicho día, así hasta completar el promedio de todos los días durante toda la semana.

Tabla 2. Registro de datos de una semana en la zona de los puntos de interés.

ESTACIONES - PUNTOS DE INTERES	muestreo de datos	Intensidad de la señal dBm						
		30-mar	31-mar	1-abr	2-abr	3-abr	4-abr	5-may
Línea 24 - Col. Santo Ángel	2h	-92	-92,5	-91	-92	-93,5	-92	-93
Cerro norte	24h	-89	-89	-89	-87	-87	-89	-89
Estación indio	2h	-55	-55	-54	-54	-54	-55	-56
Santander	24h	-99	-105	-105	x	-103	x	-101
Torres centrales Belén	30min	x	x	-69	-92,5	-93	-88,5	-89

Solo se recopiló información del registro de la intensidad de la señal de los logger y se categorizaron por zonas (figura 10). Ya que se cuenta con 278 dispositivos en funcionamiento, entonces tomar y registrar el promedio de todos los equipos toma mucho tiempo, se decide tomar un muestreo de dos semanas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Estaciones Piezometricas	INTENSIDAD DE LA SEÑAL EN dBm													
2		30-mar	31-mar	1-abr	2-abr	3-abr	4-abr	5-abr	6-abr	7-abr	8-abr	9-abr	10-abr	11-abr	12-abr
3	Tag 01 - Tucunare	-55	-61	-53	-53	-56	-55	-55	-53	-53	-53	-57	-53	-51	-53
4	Tag 02 Panamericano	-51	-51	-53	-51	-51	-52	-52	-51	-53	-53	-52	-51	-54	-55
5	Tag 03 El salado	-81	-79	-77	-77	-79	-79	-79	-79	-78	-77	-77	-79	-77	-77
6	Tag 04 La victoria	-68	-67	-69	-67	-69	-69	-71	-69	-67	-69	-69	-67	-67	-67
7	Tag 05 Atalaya 1 etapa	-69	-69	-71	-69	-67	-65	-63	-65	-63	-63	-64	-64	-63	-63
8	Tag 07 Niña ceci	-71	-72	-72	-71	-71	-72	-74	-72	-71	-69	-73	-69	-67	-69
9	Tag 08 Santa barbara	-58	-59	-57	-59	-61	-57	-59	-57	-57	-57	-57	-57	-59	-57
10	Tag 09 Pinar del rio	-56	-55	-60	-62	-57	-55	-57	-57	-60	-59	-57	-57	-57	-57
11	Tag 11 ICBF	-76	-74	-75	-73	-71	-71	-71	-73	-71	-73	-73	-73	-75	-73
12	Tag 12 Zona industrial	-73	-73	-73	-75	-73	-73	-75	-75	-77	-75	-75	-77	-75	-73
13	Tag 14 Pizarro	-59	-59	-61	-61	-61	-65	-57	-65	-61	-61	-57	-59	-59	-57
14	Tag 15 Ceiba	-71	-71	-69	-71	-69	-71	-71	-71	-69	-69	-71	-69	-71	-73
15	Tag 16 Unicentro	-59	-59	-61	-59	-57	-55	-57	-57	-55	-57	-57	-57	-59	-57
16	Tag 22 Centro	-55	-55	-57	-59	-59	-59	-57	-59	-57	-59	-59	-59	-63	-57
17	Tag 23 CC Bolivar	-57	-59	-59	-59	-59	-59	-59	-59	-59	-58	-59	-59	-60	-59
18	Tag 25 la libertad	-71	-69	-69	-67	-67	-69	-69	-69	-69	-73	-77	-71	-69	-73
19	Tag 27 aniversario	-73	-73	-77	-73	-77	-77	-75	-75	-75	-75	-77	-75	-75	-75
20	Tag 28 santa ana	-73	-73	-71	-71	-71	-71	-73	-71	-69	-73	-71	-71	-75	-73
21	Tag 24 Torrescentrales	-73	-75	-81	-83	-73	-75	-77	-75	-77	-75	-75	-75	-75	-73

Figura 10. Registro de todas las zonas del sistema de acueducto.

4.4. Visita a las ERP.

Ya con la información recopilada de todos los dispositivos durante dos semanas de funcionamiento, se procedió a seleccionar las estaciones que se trabajaron, en base al trabajo del muestreo que se realizó para hacerles las visitas presenciales, teniendo en cuenta factores como:

- Calidad de la señal de las ERP.
- Accesos a la zona.
- Peligro de la zona.

Se seleccionaron cuatro ERP y una estación piezométrica, y se programaron con la empresa las visitas a las estaciones para poder conocer el terreno y cómo son las ERP por dentro y por fuera. Una vez aprobados los permisos y establecido el día de las visitas, se procedió a ir a las ERP seleccionadas.

Por lo general, las ERP se encuentran señalizadas dentro de un recuadro amarillo; hay algunas que no, por lo que se encuentran a un lado de la carretera y solo se identifican por un recuadro de cemento reforzado y las gruesas tapas metálicas que dan acceso al interior de las ERP.



Figura 11. Estaciones reguladores de presión (ERP) por dentro y fuera.

Las ERP por dentro están conformadas por un juego de tuberías como se ve en la figura 11, que tiene por acceso una tapa de metal y una escalera que nos lleva al fondo de la estación. El acceso a las ERP es de cuidado, ya que es posible enredarse con los cables que conectan al logger con la válvula reguladora de presión (VRP) y el fondo de las estaciones suele estar lleno de agua.

No todos los loggers se encuentran por dentro de ERP, estos otros dispositivos se encuentran en pequeñas cajas de metal cubiertas de cemento sobre el suelo, pintadas de líneas en diagonal de amarillo y negro; éstas son las estaciones piezométricas. Como se puede observar en la figura 12, estas estaciones cuentan con excelentes coberturas de señal por la ubicación de los loggers, ya que no se encuentran en las cámaras bajo el nivel del piso reforzado de cemento grueso.



Figura 12. Estaciones piezométricas.

Se había acordado tomar medidas de la señal mediante un medidor de señal en las ERP, pero se decide utilizar el software Configurator i2O. Una vez conectado el logger al computador se abre la pantalla de inicio del software y se utiliza la herramienta de “Datos Actuales” y se toma una lectura de la señal en tiempo real, una lectura con el dispositivo por dentro y otra lectura por fuera de ERP, como se observa en las figuras 13 y 14. Estas imágenes son de unas de las ERP escogidas de la parte Occidental de Cúcuta, la estación “013 PRV – ERP”

Igualmente se toma una lectura de la estación piezométrica, ubicada también en la zona Occidental de Cúcuta, cerca de la estación ERP 013 PRV – ERP. La estación a la que se le toma la lectura es “0213 PRV – ERP” (figura 15).

ERP, 13 / Datos actuales

GPRS listo

Modo de servicio: ERP, 13
17-157093

Datos actuales

Datos actuales

Extraer datos

Presión 1

39,40 m

Presión 2

13,55 m

Presión 3

-0,28 m

Flujo 1

0,00 l/s

Objetivo del Control de Presion

15,00 m

Acción de control

Adquiriendo Medidas

Fecha y hora en el logger

2022-05-28 09:31:01 (UTC -05)

Batería interna

3,79 V

Energía Externa

RSSI

-93,00 dBm (Movistar)

Figura 13. Lectura del dispositivo por dentro ERP.

ERP, 13 / Datos actuales

Conectando con el servidor

Modo de servicio: ERP, 13
17-157093

Datos actuales

Datos actuales

Extraer datos

Presión 1

38,81 m

Presión 2

15,03 m

Presión 3

-0,27 m

Flujo 1

19,99 l/s

Objetivo del Control de Presion

15,00 m

Acción de control

Esperando Tiempo de Estabilización

Fecha y hora en el logger

2022-05-28 09:28:53 (UTC -05)

Batería interna

3,79 V

Energía Externa

RSSI

-77,00 dBm (Movistar)

Figura 14. Lectura del dispositivo por fuera ERP.

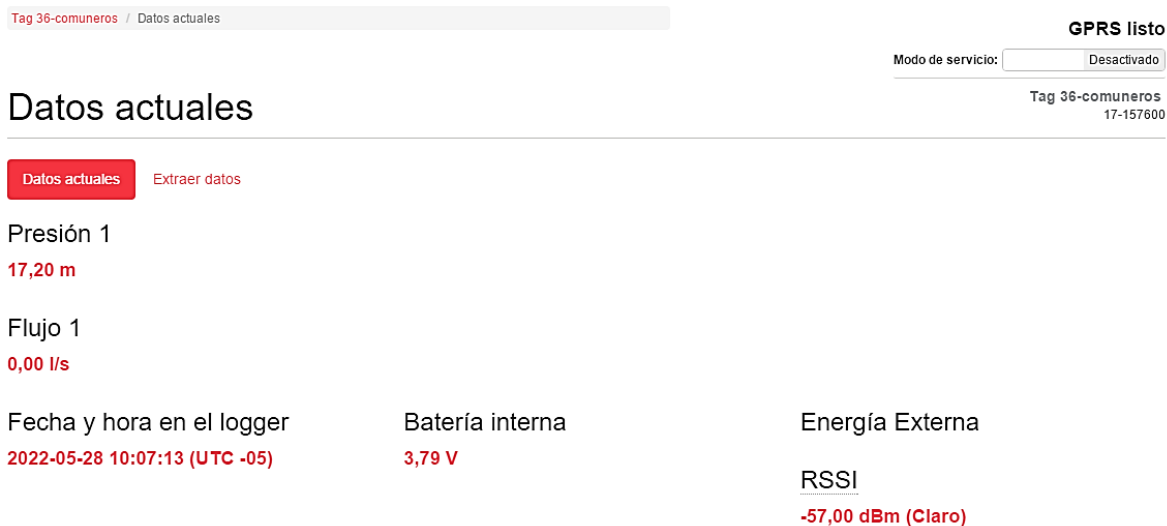


Figura 15. Registro de la estación piezométrica.

Se puede observar de las figuras 13 y 14, que con el simple hecho de sacar el dispositivo por fuera de las ERP hace que la calidad de la señal cambie drásticamente, de una mala intensidad de señal de -93 dBm a una intensidad de señal considerada buena de -77 dBm, esto demuestra que el problema puede estar dentro de las ERP y su interferencia de señal y no en las antenas de los dispositivos.

4.5. Registro de coberturas.

Para obtener el operador de cada logger se utilizó de nuevo la plataforma i2O Water; y uno a uno cada equipo se revisó de nuevo, mediante la herramienta de monitoreo. Se dirigió a gráfica, se ajustó los parámetros que se requerían y se anotaron los operadores en las tablas de Excel en donde se anotaron las intensidades de las señales de todas las zonas para tener un conteo de los operadores. La mayoría de operadores pertenecen a Claro, seguido de Movistar, y por último Tigo.

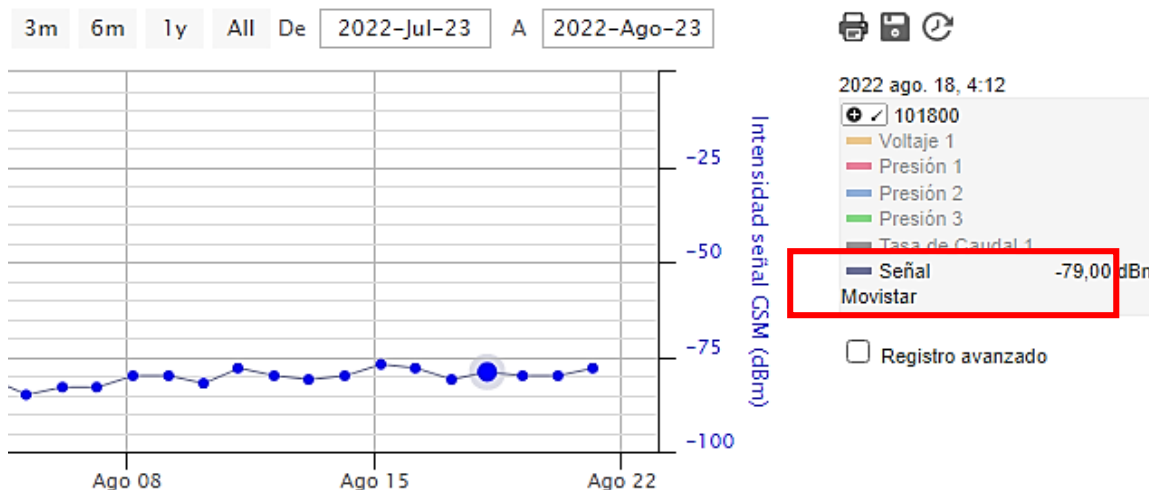


Figura 16. Registro de cobertura.

4.6. Diagnóstico de la comunicación.

Esta tarea se realizó después de completar el muestreo de los loggers de todas las zonas y clasificar en nivel de intensidad y el estado en el que se encuentra cada dispositivo referente a la señal. La clasificación de estos niveles de señal se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Fortaleza de las señales en dBm

Fortaleza de la señal	Intensidad dBm
Excelente	-51 a -78
Buena	-79 a -87
Regular	-88 a -94
Mala	-95 a -104
Débil	>-104
Pérdida de señal	-----

Con el muestreo de datos de todas las zonas de la intensidad de la señal, se realizó otro promedio de la señal de las dos semanas ya mencionadas, pero esta vez fue por cada logger. Todos los datos registrados de los promedios de todos los días se guardaron en un documento Excel, dividido por cada zona de la ciudad y se le realizó un resumen de todas las zonas en una

sola tabla (tabla 4). Se pudo observar que alrededor del 20% de los dispositivos no cuentan con una señal estable, y otro 20% con una señal bastante regular, estos dispositivos que solían tener señales por encima de los 88 dBm solían perder la comunicación por un día o varios días seguidos. El otro casi 60% no suele tener problemas de conexión como la pérdida de la comunicación de los logger.

Tabla 4. Diagnóstico de comunicación de los equipos.

Zonas	Excelente	buena	regular	mala	débil	sin señal	total
Estaciones-puntos de interés	1	1	2	1	0	0	5
Estaciones de bombeo-AKC	7	3	4	1	0	0	15
Estaciones piezometricas	31	1	1	0	0	0	33
Occidental	12	22	25	18	2	0	79
Norte	6	3	2	4	0	0	15
Oriental	11	15	13	16	1	0	56
Sur	7	13	2	2	0	1	25
Sur occidental	1	2	2	3	1	0	9
Valle del norte	9	15	6	5	0	0	35
Planta Carmen tonchala	0	1	1	0	0	0	2
Planta pórtico	2	1	0	1	0	0	4
Total	87	77	58	51	4	1	278
Total %	31,29%	27,7%	20,86%	18,35%	1,44%	0,36%	100%

También se encontraron 38 estaciones en las que no hubo conexión, como se puede observar en la tabla 2 señalizadas con una X. En éstas la mayoría tuvieron pérdida de comunicación mayor a dos días donde no se encontró comunicación.

4.7. Sistema actual de comunicación móvil del sistema i2O.

Se decidió conocer el sistema actual que maneja el sistema i2O porque para mejorar un sistema de comunicación es necesario primero conocer el sistema actual que lo conforma. El

sistema actual móvil de comunicación está en la red GSM/GPRS en la banda de los 1900Mhz llamada PCS1900.

Se recolectó información de la tarjeta electrónica que poseen los logger y sus componentes. La tarjeta consta de un módulo y una antena de parche, pero no todos los logger comparten los mismos módulos, ya que hay varios modelos de logger. Por ende, se buscó información de los módulos que poseen los equipos y se destacó lo más importantes de ellos y son los siguientes:

4.7.1. Módulo UG96 [30]

Es un módulo Penta-banda, es compatible con GSM / GPRS / EDGE y redes UMTS / HSPA / HSUPA.

- Cobertura mundial UMTS/HSPA y GSM/GPRS/EDGE
- 800/850/900/1900/2100 MHz en UMTS
- 850/900/1800/1900 MHz a GSM

4.7.2. Módulo GE910 [31]

El GE910 es un módulo celular 2.5G, de cuatribandas GPRS clase 10 incluido voz y SMS, con soporte PBCCH

- 4 bandas GSM/GPRS: 850/900/1800/1900 Mhz
- Cuatribandas GPRS clase 10
- Voz y SMS

4.7.3. Módulo GC864-QUAD [32]

Es un módulo pequeño y liviano de bajo consumo de energía, incluye caracteres como GPRS clase 10, voz y SMS

- GSM 850, 900, DCS 1800 o PCS 1900.

4.7.4. Antena interna logger

La antena que poseen los equipos es la LTE Wide Band Flex Antenna 698MHz -3000 MHz, es una antena flexible de banda ultra ancha FXUB63, cubre todas las frecuencias de trabajo del espectro 698-3000 Mhz, cubriendo Wi-Fi de 2.4 Ghz, ISM y AGPS. La antena es de cuerpo flexible, independiente de tierra, con cable y con un conector de fácil instalación [33].

Tabla 5. Propiedades de la antena Taoglas FXB63 [33].

Banda	750/850/900	1575	1700/1800/1900	2100	2400	2600
VSWR máx.	2:1	2:1	1.8:1	1.7:1	1.7:1	2.3:1
Pérdida máx. de retorno (dB)	-10	-10	-11	-12	-12	-8
Ganancia máx. (dBi)	1	2.5	3.5	5	5	4.5
Eficiencia (%)	50	75	78	--	75	75
Radiación	omnidireccional					
Potencia de entrada máx.	5					
Impedancia (Ω)	50					



Figura 17. Antena interna del logger.

4.8. Diseño del sistema de red de comunicaciones móvil

Para diseñar un sistema móvil es necesario conocer un poco de las bandas de comunicaciones permitidas en Colombia de preferencia GSM/GPRS por los módulos de los equipos. La tabla 6 nos muestra las bandas de frecuencia usadas en Colombia. Y también cómo funciona la antena Toaglas FXUB63 en las bandas de operación que son permitidas usar en Colombia independiente del operador.

Tabla 6. Frecuencias y bandas usadas en Colombia [34].

Cobertura	Bandas y Frecuencias
2G	B2 (1900), B5 (850)
3G	B2 (1900), B5 (850)
4G	B2 (1900), B4 (1700/2100), B7 (2600)
5G	No

Los operadores de telefonía móvil de Colombia también manejan sus propias bandas de frecuencias asignadas en las distintas generaciones de telefonía móvil.

Tabla 7. Operadores en Colombia [34].

Operador	2G	3G	4G
Claro	B2 (1900), B5 (850)	B2 (1900), B5 (850)	B7 (2600)
Movistar	B2 (1900), B5 (850)	B5 (850)	B2 (1900), B4 (1700/2100)
Tigo -UNE	B2 (1900), B5 (850)	B2 (1900)	B4 (1700/2100)
Avantel	–	B5 (850)	B4 (1700/2100)
ETB	B2 (1900)	B2 (1900)	B4 (1700/2100)

4.8.1. Patrones de radiación de la antena Toaglas FXUB63

Solo se toma en cuenta los patrones de radiación de las bandas de frecuencias de 850 y 1900 MHz de la antena, basado en la tabla 5 y 6 de las bandas de frecuencias usadas en Colombia. Los

patrones de radiación se obtuvieron de los documentos proporcionados por la empresa de la antena de los equipos.

La banda de frecuencia de 850 MHz tiene una ganancia promedio de -3 dB y una ganancia máxima de 1 dBi y la banda de frecuencia de 1950 MHz tiene una ganancia promedio de -2 dB y una ganancia máxima de 3.5 dBi [33].

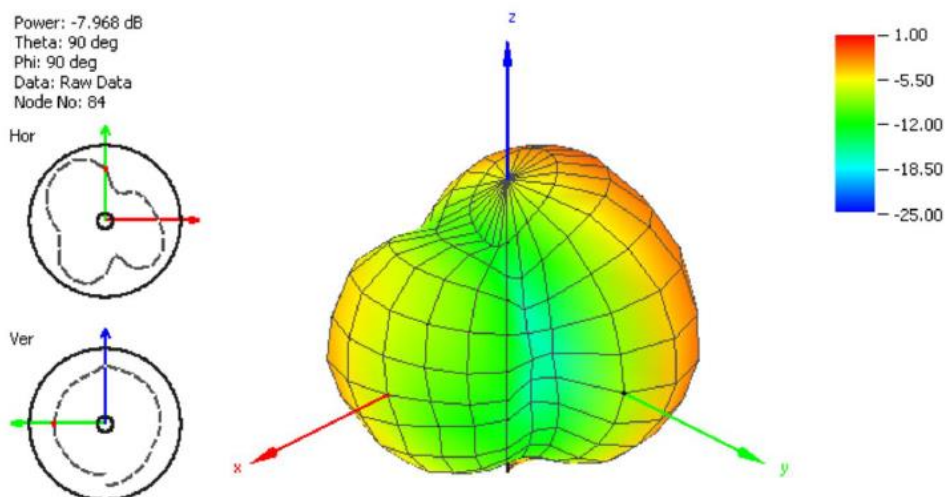


Figura 18. Patrón de radiación a 850 MHz [33].

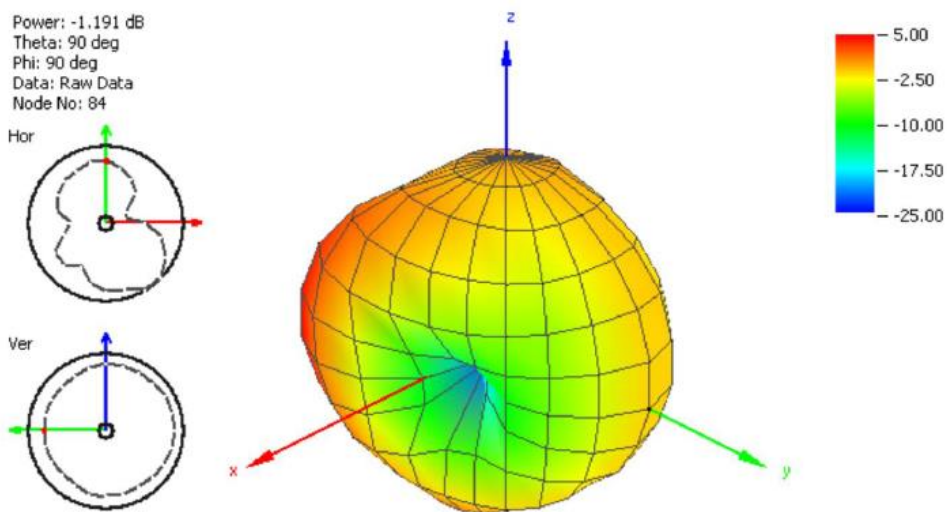


Figura 19. Patrón de radiación a 1950 MHz [33].

4.8.2. Mapa de cobertura claro y movistar de Cúcuta

También se optó en buscar los mapas de cobertura de los operadores Claro y Movistar en donde comprenden más del 90% de los operadores usados en el sistema de comunicación i2O de la red GSM, solamente por la compatibilidad de los módulos de los equipos. Los mapas de cobertura se obtuvieron de las páginas web oficiales de las empresa Claro y Movistar.

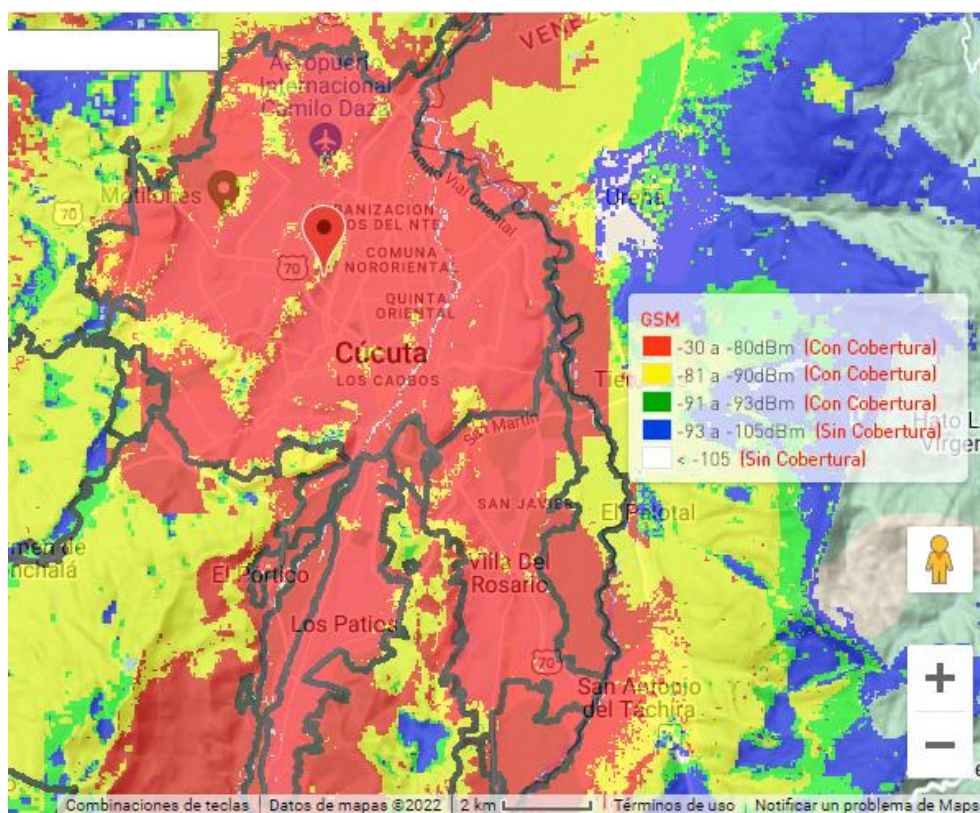


Figura 20. Mapa de cobertura Claro [35].

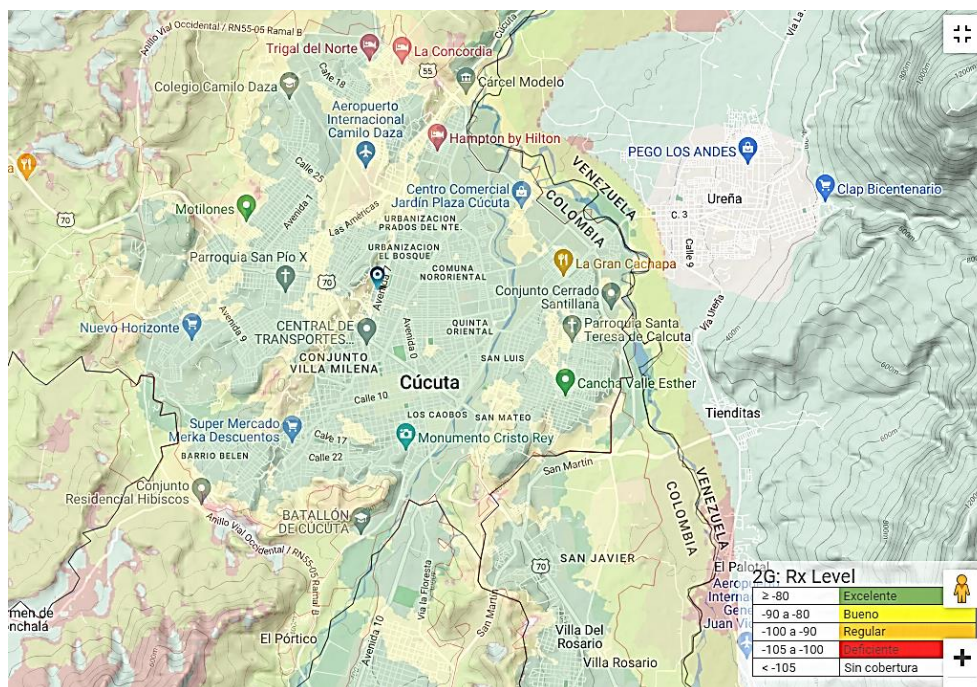


Figura 21. Mapa de cobertura de Movistar [36].

Se puede observar de las figuras 20 y 21 que la mayoría de zonas de Cúcuta cuenta con buena cobertura de telefonía móvil por parte de ambos operadores.

Se decidió acoplarse al actual sistema de comunicación i2O en la banda de frecuencia de 1900 MHz. Como se puede observar que la red GSM/GPRS funciona bien y no es necesaria cambiarla, esto se puede verificar en la tabla 4 en las estaciones piezométricas, las cuales se pueden observar en la figura 12, cuyos resultados fueron excelentes. Todas las estaciones, a excepción de una, cuentan con una intensidad menor a -88 dBm, lo cual es muy buena razón de que hay buena señal de comunicación.

4.9. Seleccionar los equipos más viables que cumplan con el diseño de red

La cantidad de antenas varía dependiendo de los precios de los productos, por el presupuesto que Aguas Kpital da para el proyecto.

Basado en las investigaciones y resultados del primer objetivo que se han realizado hasta ahora en el proyecto, se puede afirmar que el problema radica en el interior de las ERP, y la gran interferencia que existen dentro de las ERP; por ende, se escogieron antenas de mayor calidad y potencia.

Se indagó en los documentos de la empresa de Aguas Kpital acerca de la empresa i2O Water, la cual es la misma empresa que suministra los logger a Aguas Kpital, y se encontraron algunos equipos que permitieron ayudar en la solución del problema; son tres antenas que la misma empresa Calm Water recomendó.

- Antena AMKT0018 [37].



Figura 22. Antena AMKT0018.

Es una antena LTE/4G de banda ancha para montaje en pared de red GSM, 3G y LTE (4G). Con frecuencia: LTE700, LTE800, GSM850, GSM900, DCS1800 - LTE1700, PCS1900, UMTS2100, LTE2300/2500/2600. Longitud del cable de 5 m (AMKT0019 - 10m), con conector SMA. Ganancia de 2 dBi.

- Antena PEAN0008 [37]



Figura 23. Antena PEAN0008.

Es una antena con montaje magnético de cuarto de onda multibanda. Frecuencia: GSM850, GSM900, GSM1800, GSM1900, UMTS 2,1 GHz (3G), longitud del cable de 2,5 m RG174. Conector SMA estándar y ganancia: 1,0 dBi.

- Antena PEAN0007 [37]



Figura 24. Antena PEAN0007.

Es una antena dipolo multibanda impermeable y flexible con frecuencias de GSM850, GSM900, GSM1800, GSM1900, UMTS 2,1GHz (3G), de montaje almohadilla adhesiva de doble cara, resistente al agua. Longitud del cable de 2,5 m RG58 y conector SMA estándar, con ganancia de 2dBi.

Cualquiera de las tres antenas funcionaron, ya que son ideales porque todas ellas comparten las bandas de frecuencias de 850 y 1900 MHz y no tienen mucha ganancia como la antena Toaglas del logger, son omnidireccionales, pero se escogió la antena AMKT0018, dado que las otras dos antenas sirvieron más para el interior de la cámara por sus montajes y largor del cable. Se decidió instalar las antenas por fuera de las ERP para no seguir sufriendo de la mala señal e interferencia por dentro ERP, se colocaron en sitios altos y no muy visibles a la vista de las personas, y se le colocaron soportes de seguridad para evitar el problema de hurtos, donde se mencionó el problema en las limitaciones del proyecto.

Lastimosamente, se informa que las antenas pedidas a la empresa i2O Water iban a llegar hasta el mes de julio junto a otros productos pedidos por la empresa de Aguas Kpital. Se decidió optar por diseñar una antena de tipo parche por su fácil fabricación y diseño, para solucionar el problema de la llegada de las antenas AMKT0018.

4.9.1. Diseño de una antena de tipo parche

Se decidió diseñar una antena de tipo parche por su fácil instalación por fuera de las ERP, por su tamaño, apariencia y bajo costo de producción.

Se encontraron varios documentos de técnicas de alimentación de antenas parche, pero se escogió la alimentación de $\lambda/4$ por su fácil implementación referente a las demás. Al igual que se encontraron técnicas de alimentación de antena de tipo parche, también se encontraron varios métodos y modelos matemáticos de diseño, pero casi todos comparten las mismas fórmulas y llegan a un resultado bastante similar. Antes del diseño la antena, primero se dio a conocer las dimensiones de una antena de tipo parche de $\lambda/4$ (figura 25).

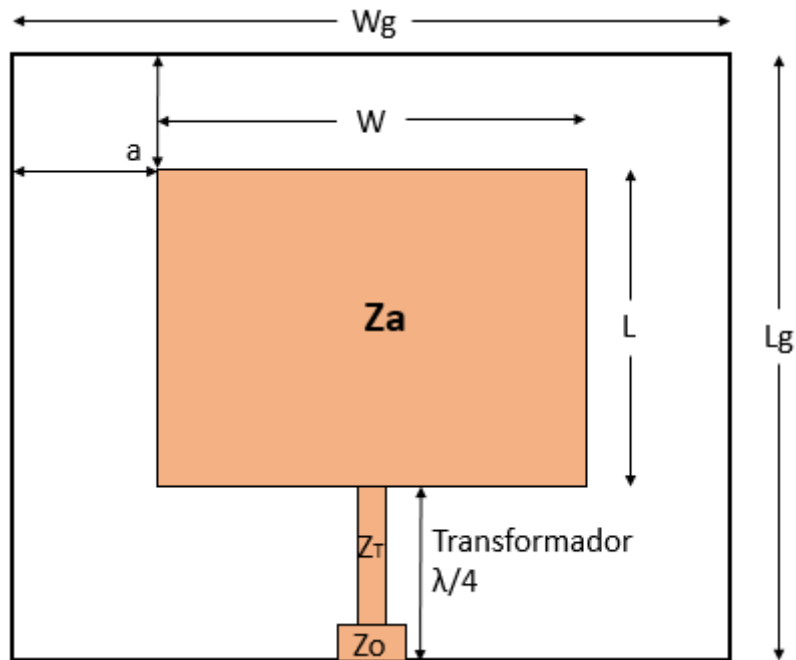


Figura 25. Antena de parche $\lambda/4$.

Donde:

- ✓ W : ancho del parche.
- ✓ L : longitud del parche.
- ✓ W_g : ancho de la antena.
- ✓ L_g : largo de la antena.
- ✓ a : distancia entre el parche y el ancho o largo de la antena.
- ✓ Z_a : impedancia del parche.
- ✓ Z_t : impedancia de la microcinta $\lambda/4$.
- ✓ Z_o : impedancia de entrada.

4.9.1.1. Material de fabricación de la antena.

El sustrato que se escogió es fibra de vidrio epóxico FR4 de doble cara, un material muy común y usado en el diseño de antenas de parche por su bajo costo y fácil acceso en la que se

trabajó para una frecuencia de operación de 1900MHz, que es en la que están programados los logger a trabajar y una impedancia de entrada de 50Ω , al igual que la antenna característica de los logger. Las dimensiones del dieléctrico FR4 se ven en la tabla 8. Una antenna de parche queda terminada como se muestra en la figura 26.

Tabla 8. Propiedades del dieléctrico FR4.

Sustrato	Altura del sustrato (h)	Constante dieléctrica (ϵ_r)	Tangente de pérdida (δ)	Grosor del cobre (h_c)
FR4	1.56 cm	4.4	0.017	0.035 cm

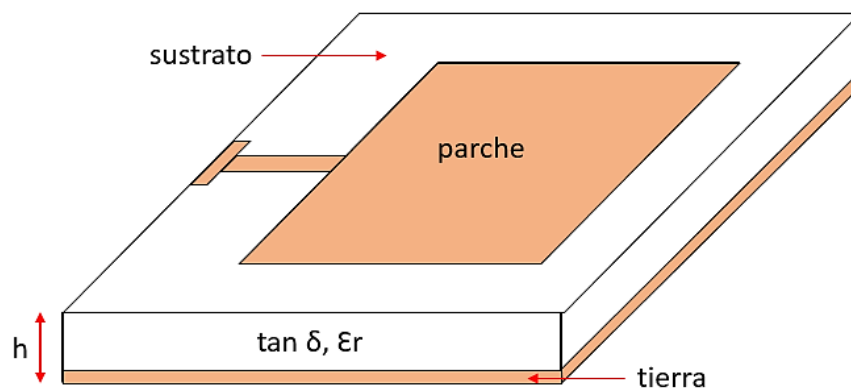


Figura 26. Parámetros de la antena de parche.

4.9.1.2. Modelo matemático

Las ecuaciones para obtener las dimensiones físicas de una antena de parche son estimaciones que entregan resultados aproximados para su construcción. Hay diferentes ecuaciones para calcularlas, aquí se muestran algunas que sirven para una primera aproximación:

Para determinar el valor de W, se utiliza la ecuación que se representa a continuación:

$$w = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Seguidamente se obtiene la permisividad eléctrica efectiva mediante la ecuación:

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

A seguir, se determina el valor de la longitud efectiva de la franja para posteriormente determinar la longitud real de la antena parche mediante la ecuación (4):

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_{eff} + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\varepsilon_{eff} - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (3)$$

La longitud real del parche se obtiene mediante la ecuación:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (4)$$

Donde L_{eff} es igual a:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (5)$$

4.9.1.2.1. Impedancias de la antena.

La resistencia de entrada de la antena Z_0 será de 50 ohm.

Para calcular la resistencia del parche Z_a se utiliza la ecuación:

$$Z_a = \frac{90\varepsilon_r^2}{\varepsilon_r - 1} \left(\frac{L}{w} \right)^2 \quad (6)$$

Para conocer el valor de la impedancia de la microcinta “ Z_T ” se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z_T = \sqrt{Z_a * Z_0} \quad (7)$$

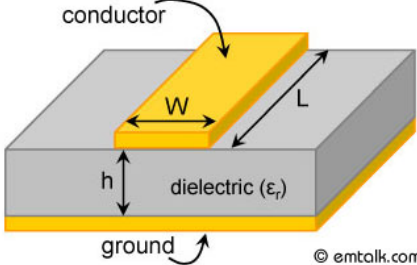
4.9.1.2.2. Parámetros Transformador de $\lambda/4$.

Para el diseño de la microcinta utilizamos una herramienta web “Microstrip Line Calculator” (figura 27), en la que solo se tiene que introducir los parámetros del sustrato dieléctrico FR4,

frecuencia de operación y el valor de impedancia Z_t . Del mismo modo se calcula el ancho de la microcinta de entrada de 50Ω .

Microstrip Line Calculator

* Enter values for ϵ_r , h, f, W, and L.



© emtalk.com

Substrate Parameters

Dielectric Constant (ϵ_r):

Dielectric Height (h): mm

Frequency: GHz

Electrical Parameters	Synthesize	Physical Parameters
Zo: <input type="text"/> Ω	<input type="button" value="Synthesize"/>	Width (W): <input type="text"/> mm <input type="button" value="v"/>
Elec. Length: <input type="text"/> deg	<input type="button" value="Analyze"/>	Length (L): <input type="text"/> mm <input type="button" value="v"/>

Figura 27. Herramienta web Microstrip Line Calculator.

4.9.1.2.3. Parámetros de la Tierra

Para calcular la tierra de la antena de parche, se encontraron varios métodos de hacerlo, pero se utilizó solo uno; la ecuación que se empleó es la siguiente:

$$\lambda_{eff} = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (8)$$

Seguidamente se calcula los límites de la antena median la siguiente ecuación:

$$a = \frac{\lambda_{eff}}{4} \quad (9)$$

Donde:

$$Lg \geq a * 2 + L$$

$$Wg \geq a * 2 + W$$

4.9.1.3. Cálculos matemáticos

Para calcular los resultados, solo se necesita remplazar los valores de las ecuaciones ya mencionadas.

Cálculo de W:

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 * 1.9 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{4.4 + 1}} = 48 \text{mm} \quad (6)$$

Cálculo de la permitividad eléctrica efectiva:

$$\epsilon_{eff} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \left[1 + \frac{12 * 1.56}{48} \right]^{-1/2} = 4.14 \quad (7)$$

Cálculo de la longitud efectiva:

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 * 1.9 \times 10^9 \sqrt{4.14}} = 38.8 \text{mm} \quad (8)$$

Cálculo de ΔL :

$$\Delta L = 0.412(1.56 \times 10^{-3}) * \frac{(4.14 + 0.3) \left(\frac{48}{1.56} + 0.264 \right)}{(4.14 - 0.258) \left(\frac{48}{1.56} + 0.8 \right)} = 0.72 \text{mm} \quad (9)$$

Cálculo de L

$$L = L_{eff} - 2\Delta L = 37.35 \text{mm} \quad (10)$$

Ya con los valores de la longitud y ancho del parche se puede calcular la resistencia del parche Z_a .

$$Z_a = \frac{90 * (4.4)^2}{4.4 - 1} \left(\frac{37.35}{48} \right)^2 = 309.45 \Omega \quad (11)$$

Cálculo de Z_t

$$Z_t = \sqrt{309.56 * 50} = 124.39\Omega \quad (12)$$

Procedemos a calcular los parámetros de la tierra:

Cálculo de λ_{eff}

$$\lambda_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{1.9 \times 10^9 \sqrt{4}} = 78.94 \text{mm} \quad (13)$$

Cálculo de a

$$a = \frac{78.94 \times 10^{-3}}{4} = 19.7 \text{mm} \quad (14)$$

Para calcular los parámetros del transformador de $\lambda/4$ se usa la herramienta web, obteniendo los siguientes resultados:

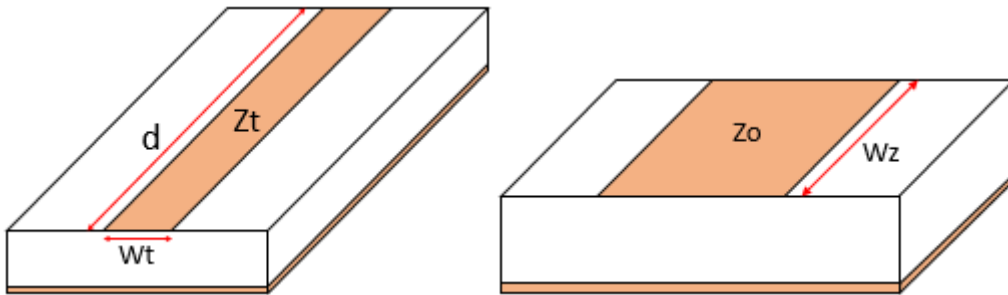


Figura 28. Parámetro de la microcinta del transformador $\lambda/4$ y de la entrada de 50Ω .

- ✓ $d = 23 \text{ mm}$
- ✓ $W_t = 0.36 \text{ mm}$
- ✓ $W_z = 3 \text{ mm}$

4.9.1.3.1. Parámetros de las antenas

Los parámetros de las antenas se puede observar en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Valores calculados para el diseño de la antena de parche.

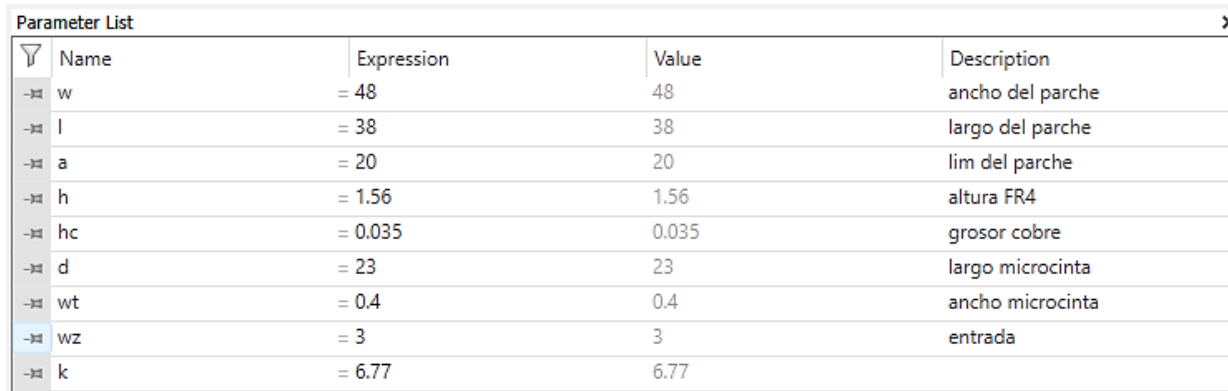
W(mm)	L(mm)	a(mm)	Wg(mm)	Lg(mm)	ϵ_{eff}	ΔL (mm)	Leff(mm)
48	37.35	19.7	87.4	83.05	4.14	0.72	38.8

Tabla 10. Valores calculador para el diseño de las microcintas.

Za (Ω)	Zt (Ω)	Zo (Ω)	d (mm)	Wt (mm)	Wz (mm)
309.45	124.39	50	23	0.035	3

4.9.1.4. Simulación

La simulación de la antena se realizó mediante el software “CST Studio”, un software especializado en el diseño de antenas, el cual brinda una herramienta de diseño de antenas planas. Para ello, antes de montar los parámetros de las antenas de las tablas 9 y 10, primero se debe poner los puntos de referencia en el software.



Name	Expression	Value	Description
w	= 48	48	ancho del parche
l	= 38	38	largo del parche
a	= 20	20	lim del parche
h	= 1.56	1.56	altura FR4
hc	= 0.035	0.035	grosor cobre
d	= 23	23	largo microcinta
wt	= 0.4	0.4	ancho microcinta
wz	= 3	3	entrada
k	= 6.77	6.77	

Figura 29. Parámetros de la antena en CST Studio.

Para simular en CST Studio se ingresaron los valores de las dimensiones inicialmente calculadas, el tipo de material de substrato, así como el plano a tierra; en la figura 30 se puede apreciar la antena de parche.

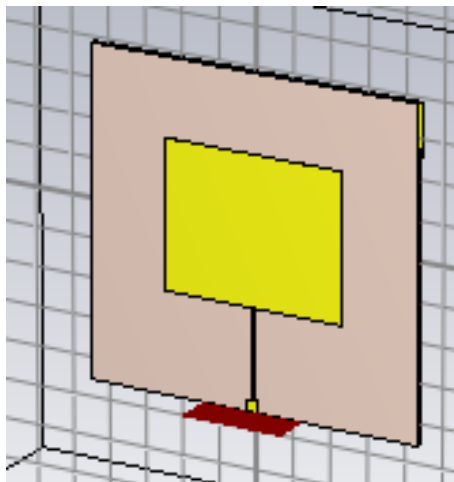


Figura 30. Montaje de la antena en CST Studio.

Una vez diseñado y simulado la antena, las dimensiones de éste son optimizadas en el software para de esta manera obtener la frecuencia de resonancia e impedancia de entrada adecuadas. Ya que la antena mostrada de la figura 30 no era óptima, no bajaba de los -10 dB y no resonaba en la frecuencia de 1900 MHz en el parámetro S11; en la Tabla 11 se muestran las nuevas dimensiones, las cuales no presentaron notables cambios.

Tabla 11. Dimensiones optimas de una antena de parche.

W	L	Wg	Lg	d	Wt	Wz
30	37.4	69.4	83.1	23	0.6	3

Con la simulación y optimización de la antena en CST Studio se pudo representar los resultados de diversos formatos. En la figura 31 se representa el comportamiento de S11 en dB como función de la frecuencia. La antena quedó resonando en la frecuencia de 1.9 GHz con un valor S11 de -17 dB.

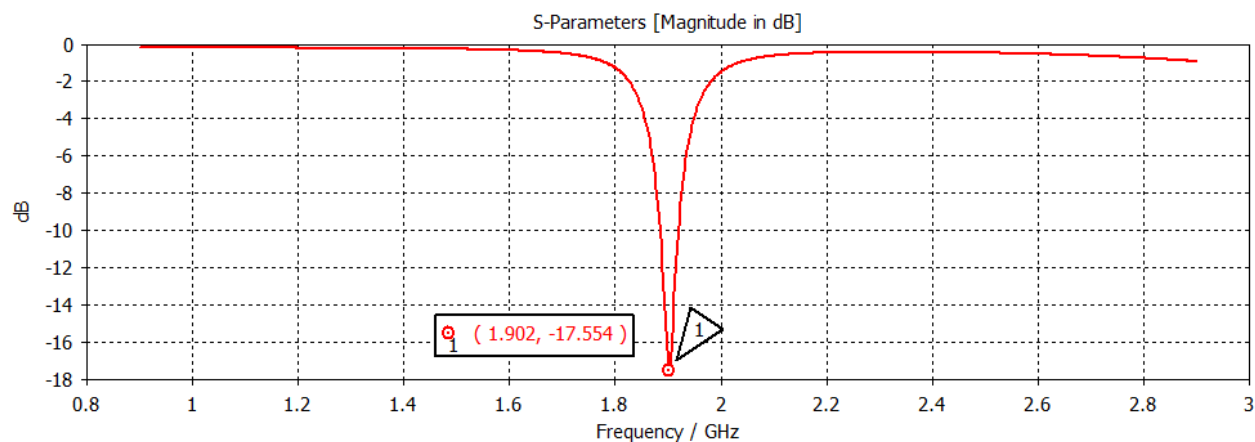


Figura 31. Resultado parámetro S_{11} en CST Studio.

La figura 32 muestra el diagrama de irradiación 3D de la simulación, como se puede observar se tiene una ganancia de 0.2dB, además se observa que es omnidireccional.

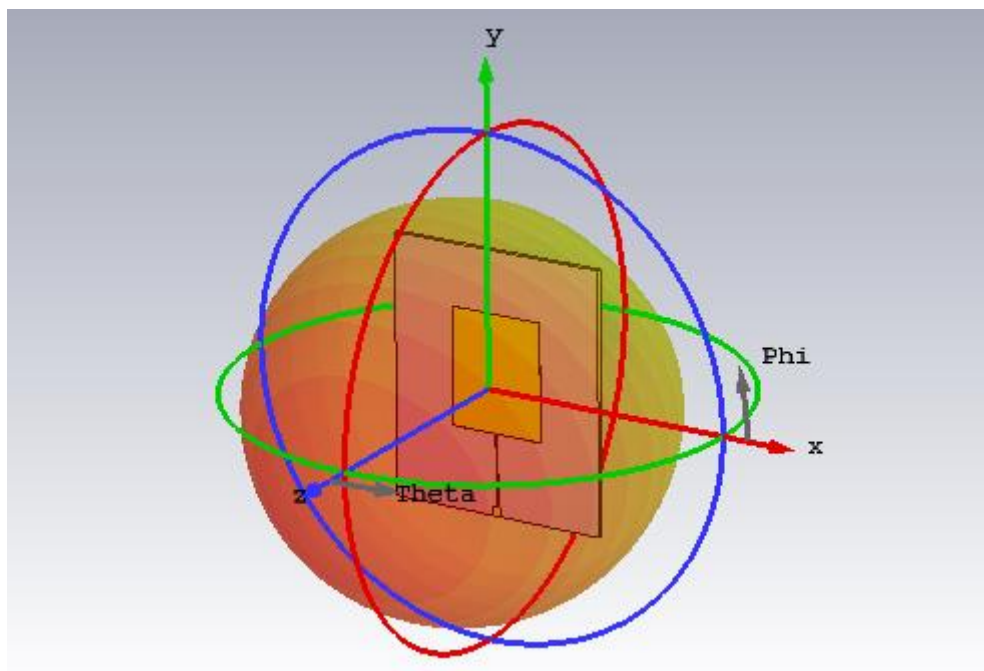


Figura 32. Diagrama de irradiación 3D en CST Studio

La figura 33 muestra el diagrama de irradiación de forma polar de la simulación.

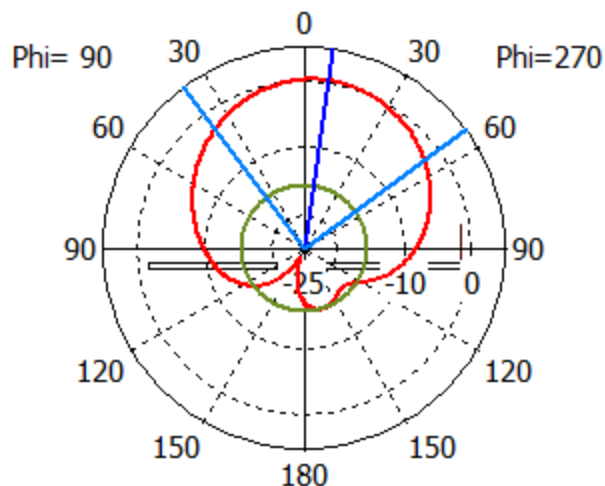


Figura 33. Diagrama de irradiación polar en CST Studio.

La parte resistiva y reactiva de la antena obtuvo un valor de 50.77 en la parte resistiva, mientras que la parte reactiva es un valor cercano a cero por lo tanto es despreciable, considerando de esta manera que la antena se encuentra acoplada.

4.9.2. Búsqueda de nuevo proveedor de productos

Dado que la empresa de Aguas Kpital suele imprimir sus circuitos en ácido, y dicho ácido no funciona en la quema del circuito de la antena, puesto que esta técnica de quemado de circuitos suele dejar imperfecciones en los bordes de los circuitos y se requiere bastante precisión en el grabado de una antena de parche, dado que dichas imperfecciones en el parche y en el transformador de $\lambda/4$ afecta de manera directa la eficiencia y la calidad de la antena. Se recomendó hacer el grabado de la antena de parche mediante una impresora de pcb. Al no contar con una impresora para poder imprimir en el material dieléctrico FR4 la antena diseñada se buscó un nuevo proveedor devolviendo el proyecto a la búsqueda de un nuevo proveedor que nos brindó las herramientas necesarias para darle solución a la problemática de comunicación del sistema i2O. Se volvió a decidir la instalación de las antenas dentro de las estaciones por unos hurtos recientes de materiales de la empresa.

Como ya se conocían los materiales que se necesitaban, encontrar las nuevas antenas no fue un problema. Para poder solicitar los materiales, la empresa de Aguas Kpital necesitó del RUT del nuevo proveedor para agregarlo a su lista de proveedores y poder pagar los materiales.

Se miraron varias antenas, pero solo destacaron dos modelos de antenas del mismo fabricante “Linx Technologies” de las series MMG1 y MMG2 (figura 34), por sus bandas de frecuencias, impedancias y calidad de las antenas. Se compararon ambas antenas (tabla 11) y se seleccionó una.







 Ampliar	<p>N.º de artículo del Fabricante ANT-5GW-MMG2-SMA-1</p> <p>N.º de artículo de Mouser 712-ANT-5GW-MMG2SMA1</p> <p> Nuevo producto</p>	<p>Linx Technologies</p>	<p>Antenas 5G Celular Wideband Dipole Whip Antenna, Magnetic Mount, 1 m Cable, SMA Plug</p> <p>Más información</p>	<p> Hoja de datos</p>	<p>176 En existencias</p>
 Ampliar	<p>N.º de artículo del Fabricante ANT-5GW-MMG1-SMA-1</p> <p>N.º de artículo de Mouser 712-ANT-5GW-MMG1SMA1</p> <p> Nuevo producto</p>	<p>Linx Technologies</p>	<p>Antenas 5G Celular Wideband Dipole Whip Antenna, Magnetic Mount, 1 m Cable, SMA Plug</p> <p>Más información</p>	<p> Hoja de datos</p>	<p>221 En existencias</p>

Figura 34. Antenas serie MMG1 y MMG2.

Se basó en la tabla 12 para seleccionar la antena, solo se tuvo en cuentas los parámetros de las frecuencias de 850 y 1900 MHz. Se escogió la antena ANT-5GW-MMG2-SMA-1 por su mayor eficiencia.

Tabla 12. Comparación entre ANT-5GW-MMG2-SMA-1 y ANT-5GW-MMG1-SMA-1.

ANT-5GW-MMG1-SMA-1				
Range Frequency (MHz)	VSWR (max)	Peak Gain (dBi)	Avg. Gain (dBi)	Efficiency (%)
791 to 803	2.0	2.5	-1.4	78
1695 to 2200	2.7	2.1	-4.4	43

Radiation	Omnidirectional			
Max power	10 W			
Impedance	50 Ω			
ANT-5GW-MMG2-SMA-1				
Range Frequency (MHz)	VSWR (max)	Peak Gain (dBi)	Avg. Gain (dBi)	Efficiency (%)
791 to 894	1.6	3.4	-0.5	93
1695 to 2200	2.5	3.2	-2.7	60
Radiation	Omnidirectional			
Max power	10 W			
Impedance	50 Ω			

La antena ANT-5GW-MMG2-SMA-1 es de montaje magnético y cuenta con un metro de cable RG-174/U con conector SMA male que no es compatible con el conector de la tarjeta del logger, se investigó sobre el conector y se encontró que es un conector MCX female (figura 35).

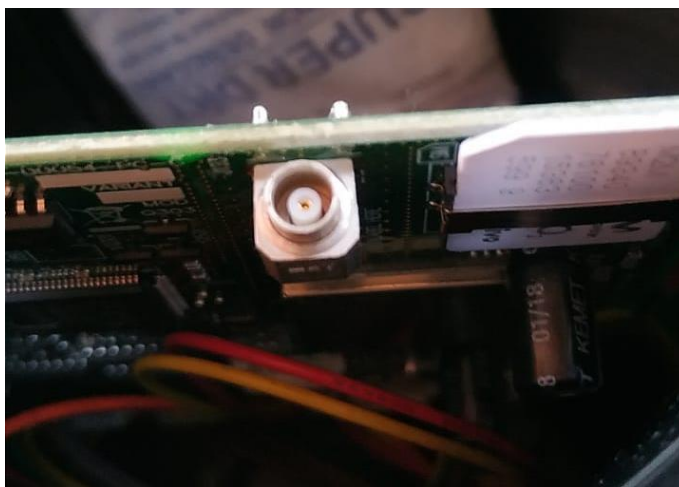


Figura 35. Conector MCX female.

Para unir la tarjeta electrónica del logger al cable de la antena, se buscó un adaptador a la entrada de la tarjeta al conector en este caso fue un SMA female a un MCX male. A través del conector de la antena se logró saber la forma del conector MCX male; dicho adaptador se pudo

encontrar sin problema en la misma empresa del nuevo proveedor y se agregó a la lista de los materiales junto a la antena ANT-5GW-MMG2-SMA-1.



Figura 36. Adaptador SMAF-MCXM.

Se cotizaron cinco antenas y cinco adaptadores para instalar en cinco de las ERP que se visitaron y seleccionaron. El número de antenas y adaptadores dependió del presupuesto establecido para el proyecto.

4.10. Logística para el montaje de los equipos.

Una vez llegadas los materiales, se procedió a realizar la logística para el montaje de las antenas; donde se confirmaron las fechas de instalación de las antenas, los equipos requeridos, el transporte, los equipos de seguridad y la mano de obra para instalarlas. Los materiales encargados y demás, se encontraban guardados en el almacén de la empresa de Aguas Kpital.

Se rehicieron visitas a las ERP para mirar la ubicación de las antenas y se movieron algunos logger a una altura mayor, cerca de las tapas de metal que dan entrada a las ERP, por el motivo del que cable de la antena es un poco corto. La reubicación de algunos de los logger se puede apreciar en la figura 37.



Figura 37. Localización de los logger.

La ubicación de la antena se decidió en dos lugares, ubicación A y B. La ubicación A está por debajo de las tapas metálicas de las ERP con ayuda del montaje magnético que trae la antena por defecto; y la ubicación B está entre la ERP y el suelo, para esto se decidió abrir un agujero en el suelo por encima de las ERP y cubrirlo con una tapa de cubrimiento para proteger la antena, y mediante un material de recubrimiento sellar el agujero donde se instalaron las antenas. Para entender mejor esto, se realizó una ilustración de la ubicación de las antenas (figura 38).

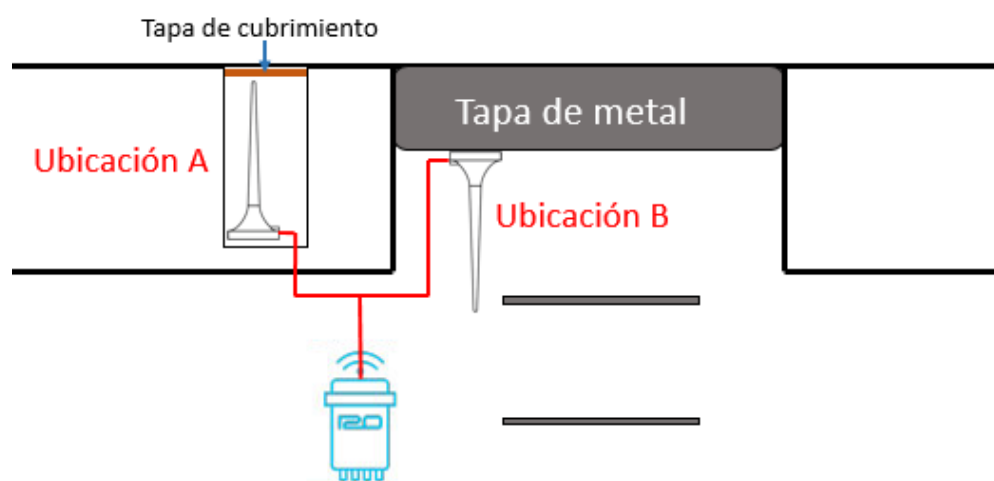


Figura 38. Ubicación de las antenas.

La ubicación de las antenas A y B se decidieron para comparar mediante la plataforma web i2O Water la intensidad de la señal de los dos lugares y decidir qué lugar es más conveniente y proporciona una mejor intensidad de señal.

4.10.1. Material de sellado

El material de sellado es un elemento con el que la empresa de Aguas Kpital ya en ocasiones pasadas había trabajado, y se encuentra disponible en el almacén de la empresa. Se hizo entrega del documento de la ficha técnica del producto el cual es “Epóxido” de Alta Resistencia. El Epóxido se colocó sobre la tapa donde se pusieron por encima de la antena para protegerla del Epóxido.

4.11. Montaje de los equipos

Se realizaron las visitas a las ERP en las fechas establecidas para el montaje de las antenas. A los logger se les tuvo que abrir un orificio en la parte superior de las tapas de sellado para poder conectar la tarjeta electrónica al cable de la antena.

4.11.1. Ubicación A

La instalación de las antenas en la ubicación A, las cuales se montaron por debajo de las tapas metálicas de las ERP, no representó ningún inconveniente; fue un montaje sencillo y rápido, ya que solo consistía en instalar la antena en el lugar A por montaje magnético. Una vez ubicada se conectaron directamente en la tarjeta electrónica del logger mediante el adaptador SMAF-CMXM.

4.11.2. Ubicación B

La instalación de las antenas en la ubicación B por encima de las ERP, fue un poco más complicada por la abertura de los agujeros donde se pusieron las antenas. Con base al tamaño de

las antenas, cuya dimensiones son de base de 1.14 in y de largas de 3.48 in y la tapa protectora es de 11.5 cm de diámetro y altas 2 cm. Se realizó el agujero mediante un taladro para la abertura del piso a una profundidad de 15 cm y el fondo de unos 8 cm de diámetro (figura 39).

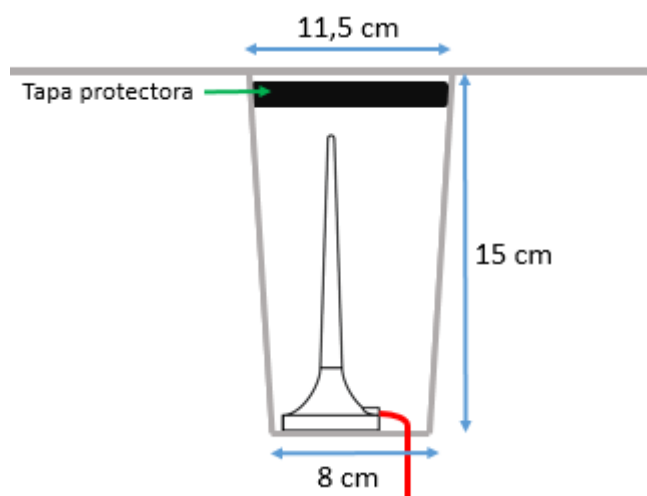


Figura 39. Parámetros del agujero.

Una vez se dieron las especificaciones de la apertura del hueco, se procedió mediante el taladro la abertura que dará espacio a las instalaciones de las antenas, se rectificó el diámetro de la entrada del agujero para que calzara la tapa a presión y del largo hasta el fondo del agujero. Una vez realizado el agujero se perforó una abertura para dar paso al cable de la antena ANT-5GW-MMG2-SMA-1. Con todo terminado se pasó el cable por la perforación, se instaló la antena, se cubrió con la tapa que cubrirá la antena y se selló el agujero con el Epóxido (figura 40).



Figura 40. Apertura y sellado de las antenas de la ubicación B.

Una vez ubicadas e instaladas las antenas de las ubicaciones A y B, se verificó el funcionamiento y la comunicación de las logger mediante el software Configurator i2O. A través de la herramienta de Datos Actuales se verificó que estaban conectadas los equipos a la red GSM/GPRS.

4.12. Diagnóstico de comunicación

De la misma forma que al principio del proyecto se decidió hacer un muestreo de datos de tablas en Excel de dos semanas a través de la plataforma web i2O Water, en las zonas donde se instalaron las antenas. En las cuales solo se pudieron analizar cinco ERP, por el número de antenas compradas e instaladas. Se realizó una tabla comparativa de los dispositivos antes del proyecto y con la instalación de las antenas.

4.12.1. Comunicación de los equipos a principio del proyecto

Antes de mostrar el nuevo diagnóstico de comunicación es necesario saber la calidad de la señal antes de la instalación de las nuevas antenas, para poder demostrar si el nuevo sistema de comunicación es eficaz o no.

Las ERP de las antenas donde se instalaron en la ubicación A, registraron con anterioridad las siguientes intensidades de señal:

a) Zona occidental

- Promedio de señal de la estación 08-Macro Sin ERP: -105,5 dBm

Tabla 13. Estación 08-Macro.

08 PRV	x	x	-103	x	x	-111	x	x	x	x	x	x	x	-85
--------	---	---	------	---	---	------	---	---	---	---	---	---	---	-----

- Promedio de señal de la estación 40-ERP: -94.5 dBm

Tabla 14. Estación 40-ERP.

40-P3	x	-86	-103	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
-------	---	-----	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

b) Zona Norte

- Promedio de señal de la estación 2006-P4: -100,1 dBm

Tabla 15. Estación 2006-P4.

2006-P4	-101	X	x	x	-103	x	-103	x	-101	x	x	-97	-95	-101
---------	------	---	---	---	------	---	------	---	------	---	---	-----	-----	------

c) Zona Sur

- Promedio de señal de la estación 35-Macro: -99,4 dBm

Tabla 16. Estación 35-Macro.

35-Macro	-96	X	x	x	-113	x	x	x	x	-81	-101	-101	-101	-103
----------	-----	---	---	---	------	---	---	---	---	-----	------	------	------	------

d) Zona Sur occidente

- Promedio de señal de la estación 3701-ERP: -106,2 dBm

Tabla 17. Estación 3701-ERP.

3701-P4	x	X	x	-99	x	-107	x	x	-107	x	-111	x	-107	x
---------	---	---	---	-----	---	------	---	---	------	---	------	---	------	---

Cabe recordar que los recuadros en rojo representaron la pérdida de la señal en su respectivo día, y la deficiencia de comunicación que enfrentan los logger en su sistema de comunicación GSM/GPRS anteriormente.

4.12.2. Comunicación de los equipos con las nuevas antenas instaladas

Con las antenas ANT-5GW-MMG2-SMA-1 instaladas en las ubicaciones A y B de las ERP, ya se puede concluir si el nuevo sistema de comunicación es viable o no, mediante los nuevos registros de datos obtenidos durante dos semanas en la plataforma i2O Water. Los datos que registraron los logger en las ERP de las antenas instaladas en la ubicación A fueron los siguientes:

Tabla 18. Diagnóstico de comunicación de la ubicación A.

ERP – Ubicación A		Intensidad de la señal en dBm							Promedio
08 PRV	Semana 1	-81	-79	-81	-82	-81	-72	-77	-77.78
	Semana 2	-79	-77	-72	-79	-75	-78	-76	
40-P3	Semana 1	-81	-82	-85	-79	-79	-83	-79	-80.5
	Semana 2	-79	-79	-80	-80	-79	-81	-81	
2006- P4	Semana 1	-75	-75	-75	-75	-75	-75.5	-81	-78.25
	Semana 2	-81	-81	-81	-80	-80	-81	-80	

Las ERP de la ubicación B registraron las siguientes intensidades de señal:

Tabla 19. Diagnóstico de comunicación de la ubicación B.

ERP – Ubicación B		Intensidad de la señal en dBm							Promedio
35-Macro	Semana 1	-61.5	-61.5	-61.5	-59.5	-61.5	-61	-59	-60.82
	Semana 2	-60	-60	-60.5	-60.5	-59.5	-62.5	-63	
3701-P4	Semana 1	-54.5	-54.5	-52.5	-56	-57	-51.5	-54	-53.53
	Semana 2	-51.5	-53.5	-53	-53.5	-53.5	-52.5	-52	

Efectivamente se pudo mejorar la comunicación de los equipos en la red GSM, mejorando la intensidad de comunicación de los logger en las ERP que registraban señales superiores a los -95 dBm y dejándolos con una intensidad de señal menor a los -81 dBm. Con esto se pudo dar solución en el sistema de comunicación móvil i2O. Para evidenciar los resultados de las tablas 18 y 19 se decidió mostrar evidencia de la plataforma i2O Water. Se empezó en mostrar las gráficas registradas por los logger de las antenas que se instalaron en la ubicación A.

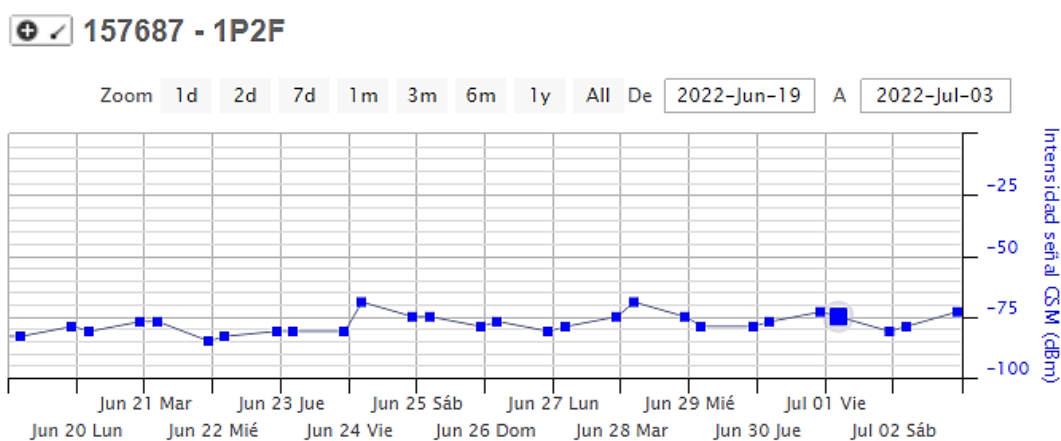


Figura 41. Zona occidental, estación 08 PRV.

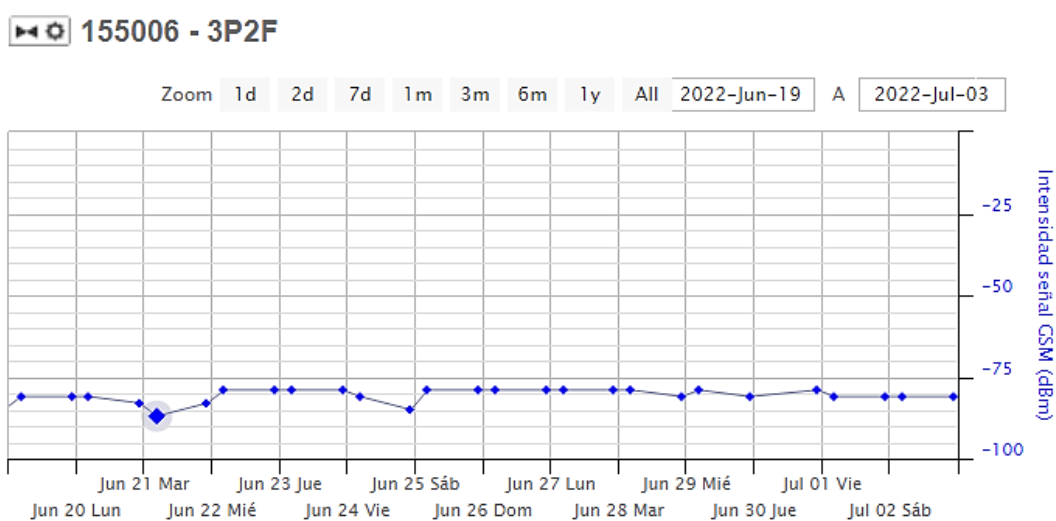


Figura 42. Zona occidental, estación 40-P3.

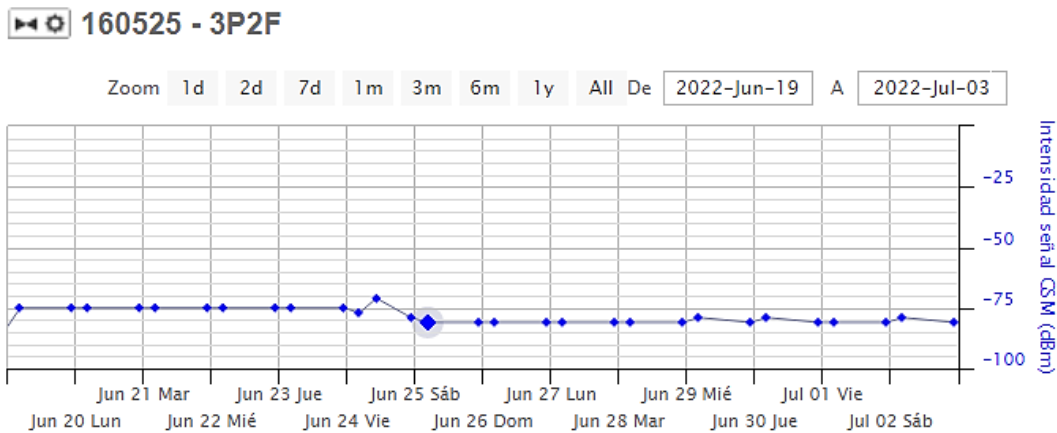


Figura 43. Zona norte, estación 2006-P4.

También las antenas instaladas en la ubicación B en las ERP.

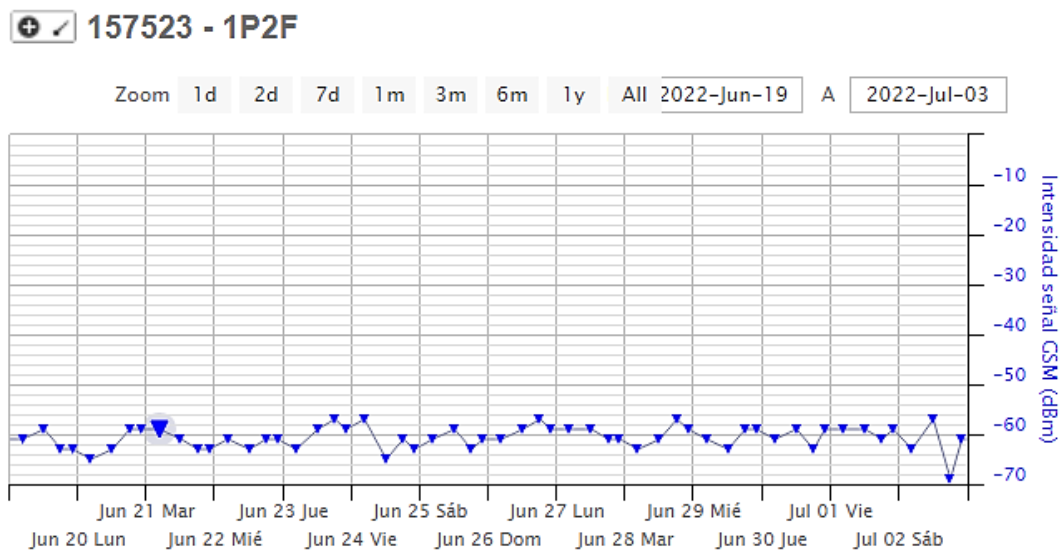


Figura 44. Zona sur, estación 35-Macro.

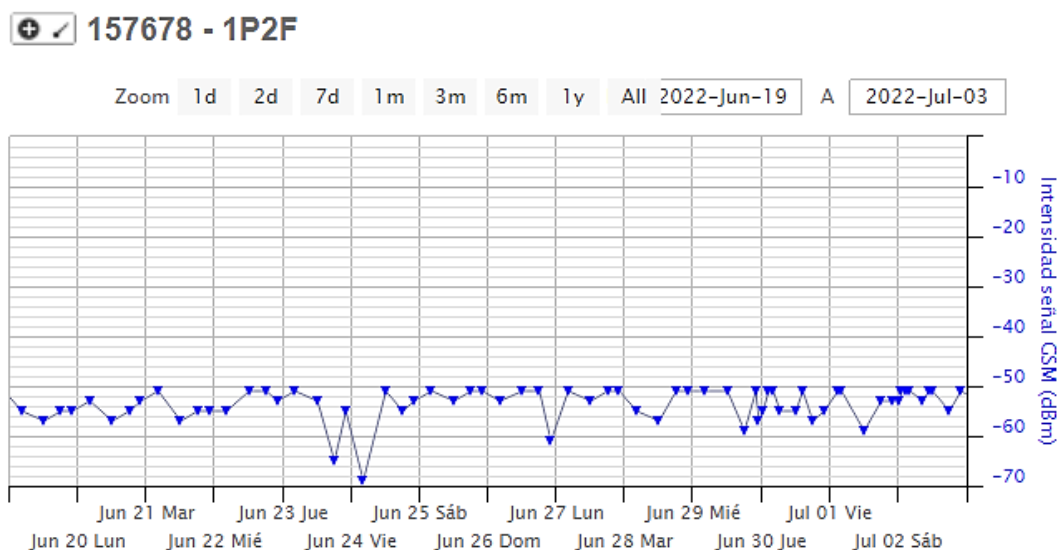


Figura 45. Zona sur occidente, estación 3701-P4.

4.13. Conclusiones y recomendaciones a la empresa de Aguas Kpital

Se entregó un documento en formato PDF a la empresa de Aguas Kpital, donde se concluyó la eficacia del proyecto con las nuevas antenas instaladas, puesto que el objetivo del proyecto era encontrar una manera de mejorar la comunicación de los logger, y más que eso evitar la interrupción de comunicación que presentaban muchos equipos como se puede observar en las tablas de la 13 a la 17. También se recomendó qué punto de instalación es más recomendable referente al otro.

En otro documento PDF, se le entregó a la empresa el diseño detallado de la antena de parche, donde se especificó el material que se debe usar y el diseño recomendado de la antena. Igualmente, se recomendó instalar por fuera de las ERP las antenas, ya que las antenas de parche no tienen mucha potencia y al estar por dentro de la cámara no solucionaría nada.

Conclusiones

El 41 % del sistema actual de comunicación del sistema i2O es demasiado inestable y presenta muchas fallas de comunicación en varios equipos donde se refleja con la pérdida de señal de los dispositivos, incluso varios equipos pierden su comunicación por varios días seguidos; hablamos de 38 dispositivos, forzando una comunicación del equipo.

En la tabla 4 del diagnóstico de comunicación de los equipos, se puede comparar la calidad de la intensidad de señal de los equipos que se encuentran dentro de las ERP y los que no, concluyendo el problemas de comunicación dentro de las ERP.

La mayoría de logger maneja la red de Claro con el 68%, seguido de la red de Movistar con el 30%, y finalmente Tigo con el 2% en total. Estas redes no representaron ningún problema porque independientemente del operador que manejen, los logger registraban problemas de comunicación como pérdida de la señal y muy baja intensidad de señal.

Es de mencionar que hay tres modelos de logger. Dos modelos de los tres equipos tiene módulos compatibles en las bandas de frecuencia 850/900/1800/1900 MHz, pero solo en la generación móvil GSM/GPRS. En cambio, el otro modelo, que cuenta con un módulo UG96, el cual el 87% de los equipos lo posee; al igual que los otros dos módulos es compatibles en las cuatro bandas de frecuencia GSM/GPRS, de igual manera se puede adaptar en la red HSPA/UMTS; lo que facilitaría un traslado a la tercera generación móvil.

El problema de la red de comunicación i2O radica en el interior de las ERP, por sus gruesas capas de cemento reforzado y el lugar donde están construidas, enterradas bajo el nivel del suelo; y las antenas de parche de los logger son de baja potencia, algo muy común en este tipo de

antenas, lo que ocasiona que la señal pierda fuerza y no se transmita la comunicación en ocasiones, por el simple hecho de estar dentro de las ERP.

En cuanto a proporciones de costo económico, lo ideal es implementar la antena de parche diseñada, por su bajo costo de fabricación y su diseño no destaca mucho, lo cual deja la opción abierta de montarla por fuera de las ERP; ya que construir una antena de parche en costos solo se gasta \$35.000: en la lámina FR4 de doble faz, conector SMA Pcb y un cable de 3 metros con conectores incluidos, se ahorra un 36.36% por antena, añadiendo una extensión de cable de 2 metros.

Por tanto, se escogieron antenas de tipo dipolo con el doble de potencia, de baja ganancia y mayor eficiencia en las bandas de frecuencia 850/1900 MHz para garantizar la comunicación de los equipos.

Los dos lugares donde se instalaron las antenas cumplieron con su objetivo de solucionar el problema de comunicación del sistema i2O, donde se pudieron destacar las antenas instaladas en la ubicación B con una mejor intensidad de señal, pero su instalación es mucho más completa. En cambio, las antenas instaladas en la ubicación A, de montaje rápido y sencillo, dieron resultados igual de buenos, solo un poco por debajo de la otra ubicación. Con esto se puede concluir que la opción más viable es la instalación de las antenas en las tapas metálicas de las ERP, pero si se quiere asegurar una mejor comunicación se pueden instalar en la ubicación B.

Recomendaciones

Se recomienda en caso de seguir el proyecto con la fabricación de las antenas de parche, el montaje de las antenas por fuera de las ERP por su baja potencia, porque si se instalan por dentro de las ERP no se está solucionando nada.

De igual manera, se recomienda pasar el sistema de comunicación i2O a la 3G en un futuro, debido a que el sistema 3G está mejor implementado que el 2G, ya que ésta se está volviendo una tecnología menos avanzada, la cual se está quedando atrás en comparación con las nuevas tecnologías móviles.

Referencias

- [1] U. A. Suaza Arboleda, J. A. García Álvarez, y C. F. Amaya Ospina, «Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia.», Thesis, Posgrado, 2017. Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/5433>
- [2] «Reseña Histórica | Aguas Kpital Cucuta S.A ESP». <https://akc.com.co/web/resena-historica> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [3] «Informa-Gestion-y-Resultados-2019.pdf». Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://akc.com.co/akcword/wp-content/uploads/2020/10/Informa-Gestion-y-Resultados-2019.pdf>
- [4] «1.-Informe_Gestión_AKC-2020.pdf». Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: https://akc.com.co/akcword/wp-content/uploads/2021/04/1.-Informe_Gesti%C3%B3n_AKC-2020.pdf
- [5] «NDI-SE-DA-013.pdf». Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.emcali.com.co/documents/107516/125178/NDI-SE-DA-013.pdf>
- [6] R. P. Salazar y F. B. Valderrama, «ESTUDIO DE LA INGENIERIA BASICA, CONCEPTUAL, Y DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL ACTIVO DE PRESIONES EN EL PROCESO DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DE ACUAVIVA S.A. E.S.P. EN LA CIUDAD DE PALMIRA», p. 129, 2006.

- [7] H. D. Londoño Hernández y D. A. Martínez Espitia, «Estudio de generaciones de tecnología celular para el envío de datos tomados de una plataforma robótica», Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en:
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/23555>
- [8] M. A. Rangel Zamora y G. D. J. Enriquez Campoverde, «Diseño, implementación e instalación de lámparas Led alimentadas con sistema fotovoltaico con monitoreo remoto vía GPRS en la Unidad Educativa Particular Franciscana Salitre», ene. 2017, Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14154>
- [9] F. L. D. Fernando y G. I. A. Alfonso, «IMPLEMENTAR UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ACCESO, INCORPORADO EN UN VEHÍCULO DE TRANSPORTE ESCOLAR, BASADOS EN LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES GPRS.», p. 68, 2017.
- [10] D. S. Rosado, «MÁSTER EN INTERNET DE LAS COSAS TRABAJO FIN DE MÁSTER», p. 80, 2019.
- [11] J. F. R. Ojeda, «Una Tesis Presentada Para Obtener El Título De: Ingeniero de Telecomunicaciones Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD», p. 111.
- [12] Breckenridge, «Data Logging | Solutions | i2O Water», 8 de abril de 2020.
<https://en.i2owater.com/solutions/data-logging/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [13] «Regulación inteligente de la presión: método eficaz para el control de pérdidas técnicas, reducción de energía y control de facturación - [PDF Document]», *fddocuments.es*.

- <https://fdocuments.es/document/regulacion-inteligente-de-la-presion-metodo-eficaz-para-el-control-de-perdidas-tecnicas-reduccion-de-energia-y-control-de-facturacion.html>
(accedido 30 de agosto de 2022).
- [14] D. Shaw, «Válvulas de presión avanzadas • i2O Water», 24 de abril de 2020.
<https://es.i2owater.com/valvulas-de-presion-avanzadas/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [15] Breckenridge, «Data Loggers | Smart Water Networks | i2O Water», 9 de abril de 2020.
<https://en.i2owater.com/data-loggers/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [16] «Sistema de Control de VRP (Control Logger)», *i2O Water*.
<https://support.i2owater.com/hc/es/articles/360011551734-Sistema-de-Control-de-VRP-Control-Logger-> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [17] Breckenridge, «Data Logging | Solutions | i2O Water», 8 de abril de 2020.
<https://en.i2owater.com/solutions/data-logging/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [18] Breckenridge, «Intelligent Water Network Analytics | i2O Water», 15 de abril de 2020.
<https://en.i2owater.com/solutions/network-analytics/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [19] «GLMN-Control-remoto-VRP-presion-salida-fija_v2.pdf». Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: http://www.glemans.com/GLEMANS/wp-content/uploads/2013/06/GLMN-Control-remoto-VRP-presion-salida-fija_v2.pdf
- [20] «Telefonía móvil 2G o de segunda generación - TuTelefonia.com», 25 de abril de 2020.
<https://www.tutelefonia.com/2g/> (accedido 30 de agosto de 2022).

- [21] «Telefonía móvil 2G - EcuRed».
https://www.ecured.cu/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_2G (accedido 30 de agosto de 2022).
- [22] «Cuáles son las diferencias entre E, GPRS, 3G, 4G, 5G y esas otras redes a las que se conecta tu celular (y cómo te afectan tu conexión a internet)», *BBC News Mundo*.
Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en:
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-37247130>
- [23] Tarify.Win!, «GPRS ¿Qué es y qué cobertura tiene en telefonía móvil? 2022»,
Tarify.Win, 23 de enero de 2020. <https://tarify.win/definiciones/gprs/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [24] «Telefonía móvil 3G», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 15 de septiembre de 2021.
Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en:
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_3G&oldid=138355447
- [25] «¿Qué es NB-IoT?», *Tecnología++*, 22 de noviembre de 2018.
<https://blogs.uoc.edu/informatica/que-es-nb-iot/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [26] «¿Qué es NarrowBand IoT y Cómo Funciona?»
<https://www.syscomblog.com/2019/03/que-es-narrowband-iot-y-como-funciona.html>
(accedido 30 de agosto de 2022).
- [27] «articles-85593_archivo_pdf4.pdf». Accedido: 30 de agosto de 2022. [En línea].
Disponible en: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85593_archivo_pdf4.pdf

- [28] «Ley 37 de 1993 - Gestor Normativo».
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=290> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [29] «Decreto 1900 de 1990 - Gestor Normativo».
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2581> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [30] «UMTS/HSPA UG96», *Quectel*. <https://www.quectel.com/product/ug96> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [31] «GE910 Datasheet, PDF - Alldatasheet».
<https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=GE910&sField=4> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [32] «GC864-QUAD TELIT - Módulo: GSM | 2G; GPRS; 850MHz,900MHz,1800MHz,1900MHz; 30x37x2,8mm; GC864 | TME - Elektronikka komponentit (WFS)». <https://www.tme.eu/es/details/gc864/modulos-m2m-gprs-hspa-lte/telit/gc864-quad/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [33] T. de, «IPEX MHFI (compatible con U.FL)», p. 15.
- [34] «Frecuencias de bandas 2G, 3G, 4G/LTE y 5G en Colombia - Moviles.info».
<https://moviles.info/frecuencias/colombia/> (accedido 30 de agosto de 2022).

- [35] «Cobertura en soluciones móviles | Claro».
<https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [36] «Mapas de Cobertura». <https://www.movistar.co/web/portal-col/atencion-cliente/cobertura-tecnologia/> (accedido 30 de agosto de 2022).
- [37] «i2O_Antenna Datasheet_2020_ES_antenas recomendadas.pdf».