

**SISTEMA DE MONITOREO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y AMBIENTALES
DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE UNICAUCA ESTÉREO**



**JHONATAN DURAN ALVEAR
DIEGO FERNANDO LIZALDA ROSERO**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo de Radio e Inalámbricas GRIAL
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Radio
Popayán
2015**

**SISTEMA DE MONITOREO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y AMBIENTALES
DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE UNICAUCA ESTÉREO**



**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**JHONATAN DURAN ALVEAR
DIEGO FERNANDO LIZALDA ROSERO**

**Directora:
Mag. Claudia Milena Hernández Bonilla**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo de Radio e Inalámbricas GRIAL
Señales de Acceso y Difusión Radio
Popayán
2015**

CONTENIDO

pág.

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	MOTIVACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO	2
2	GENERALIDADES	3
2.1	SISTEMAS DE MONITOREO	3
2.1.1	Características de los sistemas de monitoreo	4
2.1.2	Ventajas de los sistemas de monitoreo	4
2.1.3	Desventajas de los sistemas de monitoreo	5
2.2	ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE MONITOREO	6
2.2.1	Nodo sensor.....	6
2.2.2	Nodo coordinador	8
2.2.3	Interfaz de visualización	9
2.3	ESTÁNDARES DE COMUNICACIÓN ORIENTADOS A LAS WSN	9
2.3.1	Características de las WPAN.....	10
2.3.2	Topologías de red	11
2.3.3	Arquitectura de las WPAN.....	12
2.3.4	Capa de enlace de datos	13
2.3.5	Capa Física	14
2.4	CANAL DE COMUNICACIÓN	14
2.4.1	WiFi en largas distancias	16
3	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO	18
3.1	PROCESO DE DESARROLLO	18
3.1.1	Análisis de requerimientos.....	20
3.1.2	Diseño	23
3.1.3	Implementación.....	30
4	ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO	52
4.1	INTRODUCCIÓN	52
4.2	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO	52

4.2.1	Cobertura de la red de sensores.....	52
4.2.2	Evaluación de la Tasa de error de trama (FER).....	58
4.2.3	Integridad de la información.....	61
4.2.4	Desempeño del enlace radioeléctrico.....	66
4.3	PRUEBA DE MONITOREO.....	68
5	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	80
5.1	INTRODUCCIÓN.....	80
5.2	CONCLUSIONES.....	80
5.3	TRABAJOS FUTUROS.....	82
6	REFERENCIAS.....	83
	ANEXO A. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	86
	A.1 PRESENTACIÓN.....	86
	A.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES.....	86
	A.3 OPERACIÓN DE LOS NODOS SENSORES.....	87
	A.3.1 Nodo Sensor de Temperatura y Humedad.....	87
	A.3.2 Nodo Sensor de Corriente AC.....	88
	A.4 SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO.....	89
	ANEXO B. MANUAL DE CONFIGURACIÓN DE LAS UBIQUITI NANOSTATION PARA REALIZAR UN ENLACE PUNTO A PUNTO.....	97
	B.1 PRESENTACIÓN.....	97
	B.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES.....	97
	B.2.1 Configuración NanoStation 1.....	98
	B.2.2 Configuración NanoStation 2.....	100
	ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS SENSORES.....	104
	C.1 PRESENTACIÓN.....	104
	C.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES.....	104
	ANEXO D. CARACTERÍSTICAS PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ELENOS ET5000.....	109
	D.1 SISTEMA ELÉCTRICO.....	109
	D.2 PROCEDIMIENTO AUTOMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA.....	109
	D.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	110
	ANEXO E. RECOMENDACIONES PARA EL TRANSMISOR DE UNICAUCA ESTÉREO UBICADO EN LA REJOYA.....	111

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 2.1 Arquitectura básica de un sistema de telemetría.....	6
Figura 2.2 Componentes del nodo sensor.....	7
Figura 2.3 Esquema básico de una WPAN.....	10
Figura 2.4 Ejemplos de las topologías estrella y punto a punto	12
Figura 2.5 Arquitectura de un dispositivo WPAN.....	13
Figura 2.6 Tipos de línea de vista	15
Figura 3.1 Modelo lineal secuencial	19
Figura 3.2 Modelo del sistema de monitoreo.....	24
Figura 3.3 Componentes del sistema de monitoreo	30
Figura 3.4 Arduino Ethernet del nodo coordinador.....	31
Figura 3.5 Módulo RF para comunicación inalámbrica.....	31
Figura 3.6 Modo maestro-esclavo.....	32
Figura 3.7 Paquete con carga útil	32
Figura 3.8 Campo de control de paquetes	33
Figura 3.9 Campo carga útil.....	33
Figura 3.10 Campo payload para el nodo de corriente.....	33
Figura 3.11 Campo carga útil para el nodo de humedad y temperatura	34
Figura 3.12 Diagrama circuital del nodo coordinador	34
Figura 3.13 Versión final del nodo coordinador	35
Figura 3.14 Sensor de humedad y temperatura	35
Figura 3.15 Unidad de procesamiento Arduino Pro Mini	36
Figura 3.16 Nodo sensor de humedad y temperatura	37
Figura 3.17 Versión final del nodo de temperatura y humedad	37
Figura 3.18 Etapa de regulación de voltaje	38
Figura 3.19 Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013	39
Figura 3.20 Nodo sensor de corriente	39
Figura 3.21 Versión final nodo sensor de corriente	40
Figura 3.22 Imagen satelital del radioenlace	42
Figura 3.23 Resultados del radio enlace en 2.4GHz	43
Figura 3.24 Resultados del radio enlace en 900MHz	44
Figura 3.25 Interfaz de visualización local.....	44
Figura 3.26 Dispositivo privado “Sistema de monitoreo-Unicauca” en Xively	46
Figura 3.27 Xively Feed ID y API Key	46
Figura 3.28 Canales para las variables a medir	47
Figura 3.29 Gráficas de las variables medidas en Xively	48
Figura 3.30 Componentes de la aplicación de escritorio	49
Figura 3.31 Menú principal de la interfaz gráfica.....	50
Figura 3.32 Ejemplo de la gráfica de corrientes	50
Figura 4.1 Escenario de pruebas	53
Figura 4.2 Segundo escenario de pruebas	54
Figura 4.3 Plano 3D del segundo escenario.....	55
Figura 4.4 Tercer escenario de pruebas	56
Figura 4.5 Cuarto escenario de pruebas	57
Figura 4.6 Plano 3D del escenario 4	58
Figura 4.7 Escenario real de pruebas	59

Figura 4.8 Plano 3D del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.....	59
Figura 4.9 Tramas correctas e incorrectas.....	60
Figura 4.10 Temperatura en el transmisor de Unicauca Estéreo.....	62
Figura 4.11 Humedad en el transmisor de Unicauca Estéreo	64
Figura 4.12 Corriente en el transmisor de Unicauca Estéreo	65
Figura 4.13 Configuración del enlace.....	66
Figura 4.14 Prueba de conectividad del enlace radioeléctrico.....	67
Figura 4.15 Temperatura del sistema monitoreado entre el 16 y 19 de abril	69
Figura 4.16 Humedad del sistema monitoreado entre el 16 y 19 de abril	70
Figura 4.17 Corriente del sistema monitoreado entre el 16 y 19 de abril.....	71
Figura 4.18 Temperatura del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril	72
Figura 4.19 Humedad del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril	73
Figura 4.20 Corriente del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril.....	74
Figura 4.21 Corriente del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril.....	74
Figura 4.22 Temperatura del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril	75
Figura 4.23 Humedad del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril	76
Figura 4.24 Corrientes del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril	77
Figura 4.25 Caída amperaje del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril	78
Figura A.1 Componentes del sistema de monitoreo.....	86
Figura A.2 Conexión del nodo coordinador	87
Figura A.3 Conexión del nodo sensor de humedad y temperatura.....	88
Figura A.4 Conexión del nodo sensor de corriente.....	89
Figura A.5 Visualización local	90
Figura A.6 Página web de <i>Xively</i>	91
Figura A.7 Ingreso de usuario a <i>Xively</i>	91
Figura A.8 Plataforma de desarrollo.....	92
Figura A.9 Datos en la plataforma web <i>Xively</i>	93
Figura A.10 Paso 1	94
Figura A.11 Paso 2	95
Figura A.12 Aplicación de escritorio.....	96
Figura B.1 Esquema de instalación.....	98
Figura B.2 Cambio de IP del dispositivo NanoStation 1	99
Figura B.3 Configuración punto de acceso WDS	100
Figura B.4 Cambio de IP del dispositivo NanoStation 2	101
Figura B.5 Configuración Estación WDS.....	102
Figura B.6 Estado del dispositivo enlazado.....	103
Figura D.1 Parámetros para la instalación	109
Figura E.1 Especificaciones del transmisor Elenos.....	112

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 3.1 Sensores de temperatura y humedad	24
Tabla 3.2 Sensores de corriente	25
Tabla 3.3 Unidades de procesamiento para los nodos sensores	26
Tabla 3.4 Módulos de comunicación radio	28
Tabla 3.5 Dispositivos de radiofrecuencia en la banda de 2.4GHz.....	29
Tabla 3.6 Dispositivos de radiofrecuencia en la banda de 900MHz	29
Tabla 3.7 Parámetros del enlace en 2.4GHz.....	41
Tabla 3.8 Parámetros del enlace en 900MHz	41
Tabla 4.1 Valores de potencia de transmisión.....	53
Tabla 4.2 Resultados del primer escenario	54
Tabla 4.3 Resultados del segundo escenario.....	55
Tabla 4.4 Resultados del tercer escenario	56
Tabla 4.5 FER de los dispositivos sensores del sistema de monitoreo	61
Tabla 4.6 Resultados de conectividad.....	67
Tabla 4.7 Lista de las fallas registradas por el sistema de monitoreo.....	78
Tabla C.1 Media de las muestras.....	105
Tabla C.2 Porcentajes de error de los nodos sensores del sistema	106
Tabla C.3 Correlación entre las muestras	106
Tabla C.4 Resultados de significancia	107

LISTA DE ACRÓNIMOS

AP	“ <i>Access Point</i> ” – Punto de Acceso.
BR	“ <i>Bit Rate</i> ” – Tasa de Bit ó Velocidad de Transmisión de Datos.
BW	“ <i>BandWidth</i> ” – Ancho de Banda.
CCK	“ <i>Complementary Code Keying</i> ” – Modulación por Complementación de Código.
CRC	“ <i>Cyclic Redundancy Code</i> ” – Código de Redundancia Cíclica.
CSMA/CD	“ <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detecion</i> ” – Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones.
CT	“ <i>Current Transformer</i> ” – Transformador de Corriente.
DBPSK	“ <i>Differential Binary Phase Shift Keying</i> ” – Modulación por Desplazamiento Diferencial Binario de Fase.
DL	“ <i>DownLink</i> ” – Enlace de Bajada.
DLL	“ <i>Data Link Layer</i> ” – Capa de Enlace de Datos.
DQPSK	“ <i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i> ” – Modulación por Desplazamiento Diferencial Cuadrático de Fase.
DSSS	“ <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> ” – Espectro Ensanchado por Secuencia Directa.
FER	“ <i>Frame Error Rate</i> ” – Tasa de Error de Tramas.
FPGA	“ <i>Field Programmable Gate Array</i> ” – Arreglo de Puertas de Campos Programables.
GPRS	“ <i>General Packet Radio Service</i> ” – Servicio General de Paquetes Vía Radio.
GSM	“ <i>Global System for Mobile Communications</i> ” – Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.

HDL	<i>"Hardware Description Language"</i> – Lenguaje de Descripción Hardware.
IEEE	<i>"Institute of Electrical and Electronics Engineers"</i> – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
ISM	<i>"Industrial, Scientific and Medical"</i> – Industrial, Científica y Médica.
LAN	<i>"Local Area Network"</i> – Red de Área Local.
LCD	<i>"Liquid Crystal Display"</i> – Pantalla de Cristal Líquido.
LLC	<i>"Logical Link Control"</i> – Control de Enlace Lógico.
LOS	<i>"Line of Sight"</i> – Línea de Vista.
MAC	<i>"Media Access Control"</i> – Control de Acceso al Medio.
MCPS-SAP	<i>"MAC Common Part Sublayer-Service Access Point"</i> – Punto de Acceso al Servicio - Subcapa MAC de Parte Común.
MLME-SAP	<i>"MAC Layer Management Entity-Service Access Point"</i> – Punto de Acceso al Servicio – Entidad de Gestión de Capa MAC.
NIC	<i>"Network Interface Card"</i> – Tarjeta de Interfaz de Red.
OSI	<i>"Open System Interconnection"</i> – Interconexión de Sistemas Abiertos.
PAN	<i>"Personal Area Network"</i> – Red de Área Personal.
PCS	<i>"Personal Communication Service"</i> – Servicio de Comunicación Personal.
PHY	<i>"Physical Layer"</i> – Capa Física.
PIC	<i>"Peripheral Interface Controller"</i> – Control de Interfaz Periférica.
PID	<i>"Packet IDentity"</i> – Identificador de Paquete.
RTC	<i>"Real Time Clock"</i> – Reloj de Tiempo Real.
SAP	<i>"Service Access Point"</i> – Punto de Acceso al Servicio.
SD	<i>"Secure Digital"</i> – Seguridad Digital.
SPI	<i>"Serial Peripheral Interface"</i> – Interfaz Periférica Serial.

UHF	<i>“Ultra High Frequency”</i> – Frecuencia Ultra Alta.
UPS	<i>“Uninterruptible Power Supply”</i> – Fuente de Alimentación Ininterrumpida.
WBAN	<i>“Wireless Body Area Network”</i> – Red Inalámbrica de Área Corporal.
WLAN	<i>“Wireless Local Area Network”</i> – Red Inalámbrica de Área Local.
WMAN	<i>“Wireless Metropolitan Area Network”</i> – Red Inalámbrica de Área Metropolitana.
WPAN	<i>“Wireless Personal Area Network”</i> – Red Inalámbrica de Área Personal.
WSN	<i>“Wireless Sensor Networks”</i> – Redes de Sensores Inalámbricos.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente se han hecho grandes esfuerzos en investigación y desarrollo de sistemas electrónicos para el monitoreo de variables físicas en lugares de difícil acceso, principalmente motivados por los últimos avances tecnológicos en micro y nanotecnología. La miniaturización de los sensores y los dispositivos de comunicación están apoyando los continuos avances en esta línea de investigación [1].

En el monitoreo de variables, se emplean diferentes dispositivos que con una adecuada configuración y articulación, son capaces de tomar diferentes mediciones para un rápido diagnóstico de equipos y eventos. Estas mediciones son entregadas a un nodo coordinador y a su vez a una aplicación móvil o de escritorio con la intención de analizar la información obtenida. Estos dispositivos son la base para el desarrollo de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN, *Wireless Sensor Networks*) siendo identificada como una de las tecnologías más prometedoras en la adquisición y tratamiento de datos por diversos analistas tecnológicos y revistas especializadas entre las que pueden citarse el observatorio tecnológico del MIT y la revista Dinero [1].

El monitoreo de variables remotamente haciendo uso de las WSN y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's), se conoce como telemetría, la cual es utilizada en diversos campos, tales como exploración científica con naves tripuladas o no, agricultura de precisión, plantas químicas, redes de suministro eléctrico, entre otros [2].

Este documento presenta el proceso de diseño e implementación de un sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales para el sistema de transmisión de la emisora Unicauca Estéreo.

1.1 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Actualmente, la emisora de la Universidad del Cauca "Unicauca Estéreo", cuenta con una estación de transmisión de alta potencia ubicada en la vereda la Rejoja de la ciudad de Popayán. Dicha estación de transmisión presenta fallas en su funcionamiento, la estación no cuenta con un sistema de monitoreo de las condiciones ambientales, por lo tanto es necesario diseñar e implementar un sistema que permita realizar el seguimiento de las condiciones ambientales bajo las cuales está operando dicho sistema.



1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema que monitoree las condiciones técnicas y ambientales del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los sensores, las tecnologías inalámbricas y los procesadores de información a emplear en el sistema de monitoreo.
- Diseñar e implementar la red de sensores inalámbricos de monitoreo de variables técnicas y ambientales.
- Implementar la interfaz gráfica requerida para la visualización de los datos recibidos de la red de sensores.
- Evaluar el desempeño del sistema de monitoreo de variables técnicas y ambientales.

1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE GRADO

El trabajo está organizado de la siguiente manera:

El capítulo 2 presenta una descripción de las generalidades de los sistema de monitoreo remoto.

En el capítulo 3 se presenta el proceso de diseño e implementación del sistema de monitoreo.

En el capítulo 4 se muestran y analizan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al sistema.

En el capítulo 5 se resumen las conclusiones y los trabajos futuros.

2 GENERALIDADES

En este capítulo se detallan las generalidades de los sistemas de monitoreo, tales como características, ventajas y desventajas, posteriormente, se describen los elementos que conforman la arquitectura de un sistema de monitoreo y finalmente se definen las redes inalámbricas de área personal.

2.1 SISTEMAS DE MONITOREO

Los sistemas de monitoreo permiten la medición de variables físicas en un sitio remoto o de difícil acceso con el objetivo de enviar unidades de información hasta un centro de operaciones donde serán almacenadas e interpretadas por sistemas automáticos o personal técnico. Por lo general, esta información se envía utilizando sistemas de comunicación inalámbricos a través de grandes distancias.

Los sistemas de monitoreo, están constituidos básicamente por tres bloques principales: el nodo sensor, el nodo coordinador y el centro de visualización. El nodo sensor, se encarga de capturar la información del medio físico y transmitirla al nodo coordinador, el cual cumple la función de enviar los datos recolectados al centro de visualización, que puede ser por medio de una plataforma web y una aplicación de escritorio o móvil, con la finalidad de mostrar en tiempo real el estado del objeto en estudio.

Durante la última década, los sistemas que utilizan sensores para el monitoreo y control, han evolucionado gracias a los avances de la electrónica. Los sensores cuentan con capacidad de procesamiento, autonomía y comunicación inalámbrica. Este tipo de dispositivos abre un abanico de oportunidades para diseñar y crear todo tipo de aplicaciones, protocolos y sistemas capaces de reducir tiempo y costos de producción [3].

El monitoreo constante permite obtener beneficios en diversas disciplinas, tales como, medicina, agricultura e industria, debido a que se logran mejores resultados en los procesos de medición y monitoreo de variables físicas.



2.1.1 Características de los sistemas de monitoreo

Los sistemas de monitoreo cuentan con las siguientes características:

- **Seguridad:** estos sistemas brindan seguridad y coherencia en los datos recopilados, ya que cuentan con dispositivos certificados por diferentes estándares internacionales, asegurando un alto grado de confiabilidad en cuanto a su desempeño cuando se requiere obtener y procesar información.
- **Interoperabilidad:** los elementos utilizados en este tipo de sistemas, permiten una fácil integración con otras tecnologías desplegadas, ahorrando costos en implementación y facilitando el intercambio de información entre sistemas, para lograr una convergencia de las redes de comunicación.
- **Bajo consumo de energía:** debido a la ausencia de fuentes de electricidad en el área donde se recopilan los datos, es necesario el uso de baterías para el funcionamiento de los dispositivos, generando una dependencia de las mismas. Por ello la telemetría cuenta con sistemas de ahorro de energía que permiten operar a niveles muy bajos de potencia, extendiendo su vida útil.

2.1.2 Ventajas de los sistemas de monitoreo

- **Recolección de datos en tiempo real:** los sistemas de monitoreo permiten medir y recolectar datos en puntos remotos o inaccesibles, para después transmitirlos fácilmente sobre largas distancias en tiempo real. La posibilidad de observar los procesos y/o eventos a medida que ocurren, permite tener un mayor control sobre el proceso que está siendo monitoreado.
- **Reducción de costos de operación:** cuando los datos son recolectados y transmitidos automáticamente desde lugares lejanos, se reducen los gastos en la ejecución de dichas tareas, pues se requieren menos esfuerzos logísticos. Por ejemplo, no sería necesario el desplazamiento del personal a estos lugares. Por lo anterior, la telemetría puede ayudar a cualquier organización a minimizar costos operacionales substancialmente.
- **Reducción de riesgos en la vida humana:** en ocasiones las personas tienen que trabajar en situaciones altamente peligrosas, esto podría incluir



el estudio de un volcán activo o hacer el seguimiento de un tornado. Los sistemas de monitoreo remoto, no requieren de personas presentes en dichas situaciones, pues los datos pueden ser recopilados desde un laboratorio que se encuentre a cientos de kilómetros de distancia.

- **Reducción del impacto de desastres naturales:** los sistemas de monitoreo son ampliamente utilizados en la gestión de desastres. Por ejemplo, el monitoreo del nivel de agua de un río o de deslizamientos de montaña. Además es posible reducir el impacto que pueden provocar, ya que la información se obtiene en tiempo real y con ellos se pueden generar alarmas tempranas.
- **Monitoreo de objetos en movimiento:** esta tecnología puede ser usada para recopilar datos de objetos que estén en constante movimiento como seguir la ubicación exacta de un tren sobre una red ferroviaria o monitorear el hábitat de un animal.

2.1.3 Desventajas de los sistemas de monitoreo

- La mayoría de las veces, no es posible suministrar energía eléctrica al equipo de monitoreo, puesto que las estaciones se encuentran en lugares de difícil acceso y no cuentan con fuentes de alimentación. Es por ello que los sistemas de monitoreo requieren del uso de baterías.
- Se necesita de una conexión inalámbrica confiable, ya que si se está utilizando un enlace vía radio, se puede afectar la integridad de la información por los diferentes fenómenos que se presenten en el enlace de comunicación (pérdidas de espacio libre, pérdidas por lluvia, desvanecimientos de la señal).



2.2 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE MONITOREO

La arquitectura básica de un sistema de monitoreo está conformada por tres bloques comunicados entre sí, como se muestra en la Figura 2.1

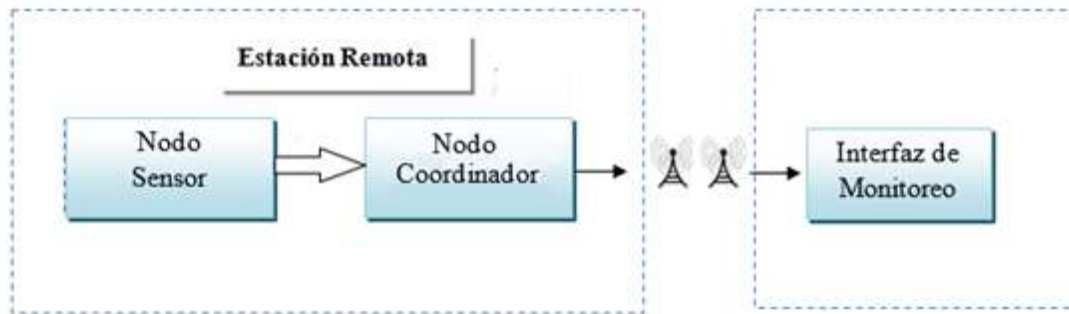


Figura 2.1 Arquitectura básica de un sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo está constituido por un nodo sensor, el cual capta las variables del medio físico y adecua la señal para ser enviada al nodo coordinador. Este se encarga de procesar la información que será transmitida a través de un radio enlace hasta la estación de visualización, con el fin de monitorear los datos recolectados.

Los sistemas de monitoreo envían información desde un punto remoto a un centro de monitoreo. A diferencia de los sistemas de telecontrol, que recolectan información del medio físico y toman decisiones de acuerdo a los datos recopilados, para realizar una tarea específica.

A continuación se explican detalladamente los bloques que conforman el sistema de monitoreo.

2.2.1 Nodo sensor

Un nodo sensor es un conjunto de dispositivos con capacidad de procesamiento, memoria e interfaz de comunicación; este nodo puede contener uno o más sensores. Los componentes brindan la opción de comunicación (enviar/recibir información), ejecutar tareas que requieren procesamiento más allá de efectuar funciones de sensado [1].

En la Figura 2.2, se muestran los componentes de un nodo sensor:

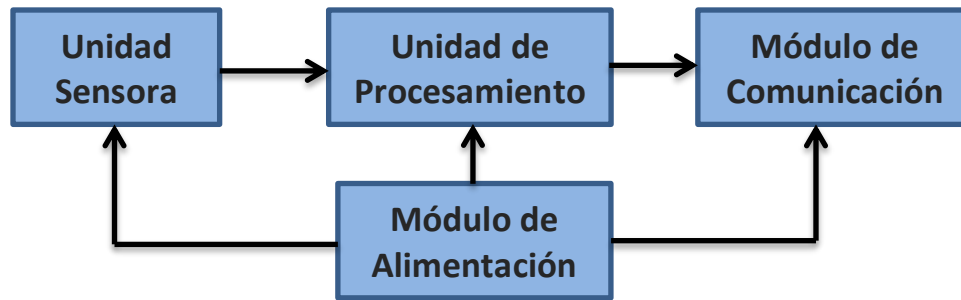


Figura 2.2 Componentes del nodo sensor

2.2.1.1 Unidad sensora

Los sensores son dispositivos que toman señales del medio físico y las entregan a las unidades de procesamiento para su posterior tratamiento. Estos funcionan como intermediarios entre el objeto de estudio y los sistemas electrónicos encargados de entregar información de manera inteligible para el ser humano. Actualmente, los sensores son ampliamente utilizados en las áreas de salud, la industria, la meteorología, la domótica, entre otras, debido a las grandes ventajas que estos presentan, como por ejemplo, aumentar la productividad de una empresa, reduciendo trabajo mediante la automatización de tareas.

2.2.1.2 Unidad de procesamiento

La función principal de la unidad de procesamiento del nodo sensor es recibir los datos que entrega la unidad sensora, procesarlos y enviarlos a otra estación. Además, cuenta con la capacidad de almacenarlos en su memoria interna. Por último, se encarga de gestionar la conexión fija o inalámbrica entre el nodo sensor y el nodo coordinador.

Hay diferentes tipos de productos disponibles en el mercado para ser integrados en un nodo, tales como, Arreglos de Puertas de Campos Programables (FPGA, *Field Programmable Gate Array*), microprocesadores y microcontroladores, no obstante, hoy en día aún son muy utilizados los microcontroladores. Es por ello que se hace una breve descripción de este tipo de unidad de procesamiento.

Microcontrolador: es un circuito integrado programable con el objetivo de responder a las funciones que se registran en su memoria interna. Un microcontrolador tiene tres unidades funcionales que conforman su sistema de cómputo: periféricos de entrada y salida, unidad central de procesamiento y memoria. Los microcontroladores son ampliamente utilizados en aplicaciones que dependen del uso de baterías, pues tienen incorporadas funciones que les permiten entrar en estados de bajo consumo de potencia [4].



2.2.1.3 Módulo de comunicación

Es un dispositivo empleado para la comunicación inalámbrica, es el encargado de recibir la información que entrega el procesador y transmitirla hasta el nodo coordinador para su posterior tratamiento. Generalmente emplea la banda de frecuencia reservada para las actividades relacionadas con la Industria, la investigación Científica y Médica (ISM, *Industrial, Scientific and Medical*).

Las tareas de enviar y recibir información se combinan sobre un mismo dispositivo llamado transceptor. Por lo regular, estos dispositivos operan en diferentes estados que les permiten ahorrar energía almacenada en las baterías. Por otro lado, es importante mantener una comunicación bidireccional que garantice la integridad y la privacidad de los datos, utilizando mecanismos de detección y corrección de errores.

2.2.1.4 Módulo de alimentación

Frecuentemente el nodo sensor utiliza baterías; la energía que demanda depende del consumo de los sensores, el módulo de comunicación y el procesador, siendo el transceptor el dispositivo que más energía consume.

Las baterías utilizadas pueden ser o no recargables, las no recargables se utilizan en sistemas donde la probabilidad de reemplazo es mínima. Las recargables permiten implementar energías renovables, como la energía solar que a través de fotoceldas genera energía eléctrica almacenable en las baterías.

2.2.2 Nodo coordinador

Al igual que el nodo sensor, el nodo coordinador es un conjunto de dispositivos con capacidad de procesamiento, memoria, interfaz de comunicación, entre otros. La diferencia radica en que este nodo administra la comunicación inalámbrica hasta el centro de monitoreo. Para establecer dicha comunicación pueden emplearse diversas tecnologías inalámbricas para largo alcance [1].

El dispositivo encargado del procesamiento en el nodo coordinador, tiene la tarea de gestionar, organizar y empaquetar la información que será transmitida por el enlace de radio frecuencia, así como los datos que se reciben desde la estación de monitoreo.



2.2.3 Interfaz de visualización

En los sistemas de monitoreo pasivo, la interfaz de visualización remota permite observar los datos medidos por la red de sensores en tiempo real. Existen diversas formas de implementar la interfaz de visualización, tales como, una plataforma web, aplicación de escritorio o móvil.

En esta interfaz se pueden observar los registros estadísticos obtenidos por los sensores en las últimas horas, días y meses. La información es almacenada en bases de datos, las cuales pueden ser consultadas en el momento que se requiera, para efectuar análisis de la información.

Existen diversas aplicaciones software denominados gestores de bases de datos, que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada.

Finalmente, las interfaces de monitoreo sirven para realizar gestión en empresas o instituciones educativas, así mismo, son ampliamente utilizadas en entornos científicos con el objetivo de almacenar información experimental [5].

2.3 ESTÁNDARES DE COMUNICACIÓN ORIENTADOS A LAS WSN

Algunos sistemas de monitoreo incluyen un conjunto de nodos sensores comunicados entre sí de manera inalámbrica, la interconexión de estos conforman una red, por consiguiente, se requiere emplear tecnologías que permitan establecer las comunicaciones. Las WSN emplean diversos estándares orientados a la interconexión de nodos sensores, éstos varían según las distancias de separación entre cada nodo, tales como, Redes de Área Personal (WPAN, *Wireless Personal Area Network*) para redes que no superan los 20 m de separación entre nodos, Redes de Área Corporal (WBAN, *Wireless Body Area Network*) para redes no superiores a los 10 metros, entre otros. Los protocolos más adecuados para ser usados en WSN son Bluetooth y ZigBee entre los cuales se puede encontrar diferencias como [6]:

- Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 máximos de una subred Bluetooth.
- ZigBee tiene un menor consumo de potencia que el Bluetooth.



- ZigBee tiene una velocidad de hasta 250 kbps, mientras que Bluetooth es de hasta 3 Mbps.

Con el propósito de definir los conceptos necesarios para interconectar dispositivos que se encuentran alrededor del espacio personal, como sensores, dispositivos móviles y demás se describen algunas características de las WPAN. En la Figura 2.3 se muestra un esquema básico de una WPAN.

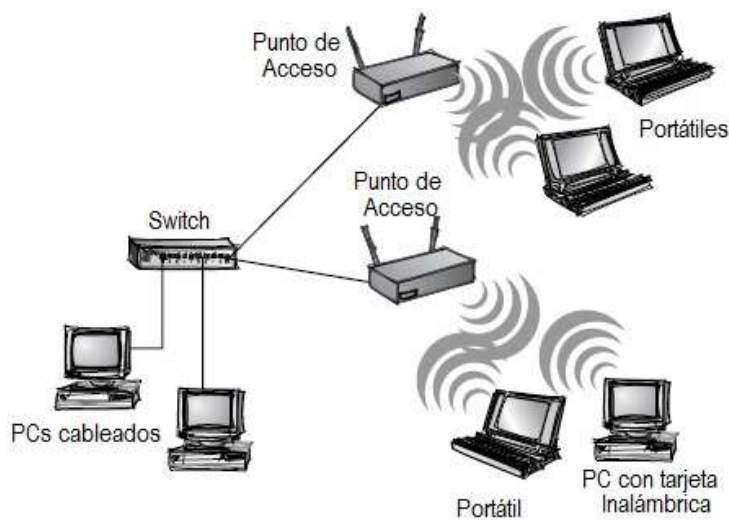


Figura 2.3 Esquema básico de una WPAN [7]

Tradicionalmente se utilizaron cables para interconectar diferentes tipos de dispositivos, sin embargo esto hace que los sistemas sean mucho más complejos generando muchas dificultades, tales como, su despliegue debido al aumento del peso o volumen de los dispositivos y reducción de la escalabilidad. Surge la necesidad de interconectar los dispositivos de forma inalámbrica como una solución eficiente, rápida y confiable para compartir información entre dispositivos dentro de los límites de un área personal, es decir una WPAN.

Las redes inalámbricas de área personal son redes que no superan distancias de 75 metros, no generan grandes cantidades de flujo de información y emplean tecnologías de corto alcance.

2.3.1 Características de las WPAN

Las redes WPAN tienen las siguientes características:



- **Arquitectura:** una WPAN está conformada por tres tipos de nodos, el nodo sensor y/o actuador, cuya función es recopilar información del medio y actuar sobre el sistema, este tiene capacidad de comunicación con el nodo coordinador; este último se encarga de controlar la red y los caminos que deben seguir los diferentes nodos sensores. Finalmente un nodo enrutador que funciona para interconectarse con una u otras WPAN.
- **Despliegue y densidad:** la cantidad de sensores distribuidos en una red dependen del tipo de aplicación, además de varios factores, tales como, presupuesto y cobertura del sensor. Las redes WPAN pueden estar conformadas por mínimo dos sensores y como máximo 65.535 nodos, cuando se implementan las tecnologías y configuraciones adecuadas.
- **Tasas de transmisión:** las WPAN enfocadas al monitoreo, se emplean para transmitir datos recopilados por medio de un sensor con una regularidad de tiempo constante, generando así tasas de flujo constante. Sin embargo las WPAN pueden soportar una velocidad de transmisión ideal de hasta 4Mbps.
- **Potencia:** las WPAN son ampliamente utilizadas para tareas de telemetría, debido a que cuentan con características que le permiten tener una larga duración de sus baterías. Dadas las bajas tasas de transmisión de datos, los tiempos de inactividad, así como las cortas distancias que soportan entre los nodos sensores, el nodo coordinador y los mecanismos utilizados para ahorro de energía, las WPAN demandan un bajo consumo de potencia.

2.3.2 Topologías de red

El estándar IEEE 802.15.4 [7] define dos tipos de topología, la topología en estrella o la topología punto a punto, ambas se muestran en la Figura 2.4.

En la topología estrella, se establece la comunicación entre dispositivos y un controlador central único llamado el coordinador WPAN. Un dispositivo normalmente tiene una aplicación asociada y puede ser el punto de inicio o el punto de finalización de la red de comunicaciones [7].

El coordinador WPAN es el controlador primario de la red. Todos los dispositivos que funcionan en cualquiera de las dos topologías tienen direcciones únicas.

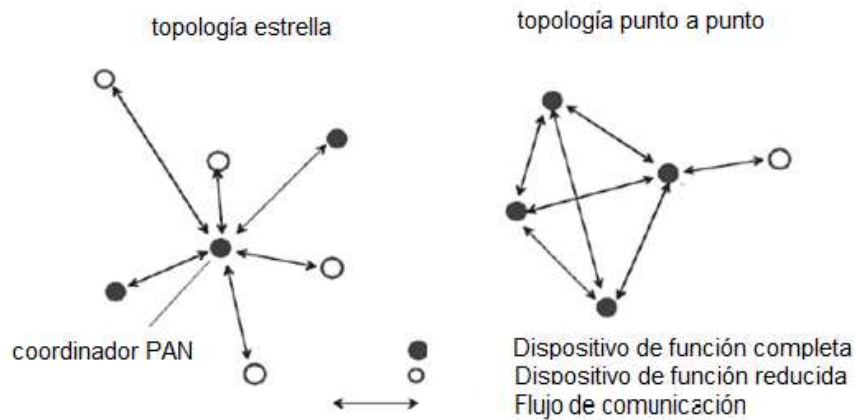


Figura 2.4 Ejemplos de las topologías estrella y punto a punto [7]

La topología punto a punto también cuenta con un coordinador WPAN, sin embargo se diferencia de la topología en estrella, ya que cualquier dispositivo es capaz de comunicarse con otro, siempre y cuando pertenezcan a la topología. Esta topología permite constituir redes mucho más complejas, como la topología de red en malla, las aplicaciones como el control industrial, agricultura de precisión, seguridad y demás, se ven beneficiadas con este tipo de topología.

2.3.3 Arquitectura de las WPAN

La arquitectura del estándar IEEE 802.15.4 se define en términos de un número de bloques con el fin de simplificar el estándar. Estos bloques son llamados capas. Cada capa es responsable de una parte de la norma y ofrece servicios a las capas superiores [7]. Las interfaces entre las capas sirven para definir los vínculos lógicos que se describen en esta norma.

Un dispositivo de una WPAN comprende por lo menos un enlace con la Capa Física (PHY, *Physical Layer*), el cual contiene el transceptor de radio frecuencia, junto con su mecanismo de control de bajo nivel y una subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC, *Media Control Access*) que proporciona acceso al canal físico para todos los tipos de transferencia, la Figura 2.5 muestra esos bloques.

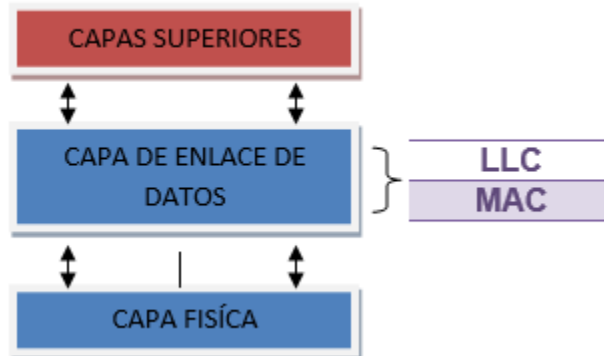


Figura 2.5 Arquitectura de un dispositivo WPAN

2.3.4 Capa de enlace de datos

El proyecto IEEE 802 [8] divide a la Capa de Enlace de Datos (DLL, *Data Link Layer*) en dos subcapas, la subcapa MAC y la subcapa de Control de Enlace Lógico (LLC, *Logical Link Control*). La subcapa LLC es común a todos los estándares 802, mientras que la subcapa MAC depende del hardware y varía respecto a la implementación física de esta capa.

Las características de la MAC IEEE 802.15.4 son: la asociación y la disociación, reconocimientos de entrega de trama, mecanismos de acceso al canal y validación de trama. La subcapa MAC proporciona dos tipos de servicio hacia capas superiores que se acceden a través de dos Puntos de Acceso al Servicio (SAP, *Service Access Point*). Los servicios de datos MAC se acceden por medio de la Parte Común de la Subcapa MAC (MCPS-SAP, *MAC Common Part Sublayer-Service Access Point*), y el manejo de servicios MAC se accede por medio de la Capa Mac de Manejo de Identidades (MLME-SAP, *MAC Layer Management Entity-Service Access Point*). Estos dos servicios proporcionan una interface entre las subcapas de LLC y las capas físicas.



2.3.5 Capa Física

La capa física se ocupa de la transmisión a nivel de bits entre los diferentes dispositivos y soporta interfaces eléctricas o mecánicas conectándolas al medio físico para una comunicación serial síncrona.

El IEEE 802.15.4 ofrece dos opciones, que combinadas con la MAC permiten un amplio rango de aplicaciones en red. Estas se basan en métodos de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS, *Direct Sequence Spread Spectrum*). La principal diferencia entre ellas radica en la banda de frecuencias. La de 2.4GHz, especifica la operación en la banda ISM, que prácticamente está disponible a nivel mundial, mientras que la de 868/915MHz especifica operaciones en la banda de Europa y Estados Unidos respectivamente.

2.4 CANAL DE COMUNICACIÓN

Según la *ATIS Telecom Glossary 2011* un canal de comunicación es una única ruta de acceso proporcionada por un medio de transmisión que puede ser con separación física o con separación eléctrica. En este trabajo de grado se empleará el canal con separación eléctrica, ya que se utilizará un radio enlace para conectar los puntos de transmisión y recepción.

A continuación es importante nombrar los distintos fenómenos que afectan la propagación de ondas en el entorno terrestre: atenuación, reflexión, refracción, dispersión y multitrayectoria. Otros problemas que afectan la señal debido al canal de transmisión son la distorsión, la interferencia, el desvanecimiento y el ruido. Además, entre el transmisor y el receptor, no siempre existe lo que se conoce como Línea de Vista (LOS, *Line Of Sight*) [9].

Actualmente los enlaces radioeléctricos punto a punto, son ampliamente utilizados para enlazar entidades, sistemas de telemonitoreo y demás servicios. Antes de implementar estos enlaces es necesario realizar un estudio de viabilidad sobre la zona, con el objetivo de determinar parámetros, tales como, las alturas adecuadas de las antenas, las orientaciones, las potencias y el presupuesto de implementación [10]. Para realizar el estudio de viabilidad existen diferentes modelos de propagación, los cuales son un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características radio de un ambiente dado [11].

Habitualmente los modelos de propagación se pueden clasificar en empíricos, los cuales se basan en mediciones de campo, o modelos estadísticos que se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio.



Los modelos también pueden ser teóricos o determinísticos o una combinación de estos dos (semi-empíricos).

La predicción del nivel de señal necesita tener en cuenta los mecanismos de reflexión y difracción que sufre la señal desde el transmisor hasta el receptor. El modelado de la propagación depende de muchos parámetros, como el entorno, la altura de los transmisores, la frecuencia y la información disponible sobre el escenario de despliegue [12].

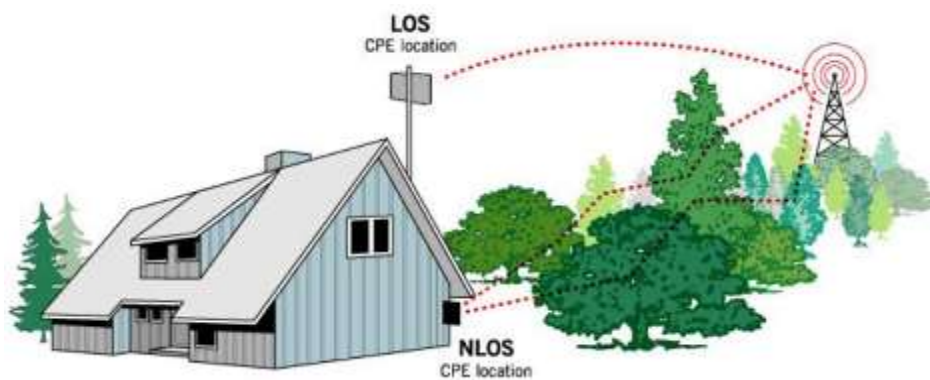


Figura 2.6 Tipos de línea de vista [13]

A continuación se presentan algunos de los modelos de propagación utilizados hasta la fecha.

- **Okumura-Hata:** es un método clasificado como empírico el cual se aplica a enlaces en la gama de 150MHz a 2GHz. Recomendado para servicios móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.
- **Longley-Rice:** es un modelo matemático, que permite realizar cálculos de propagación para enlaces punto a punto y punto a zona. Este modelo ha sido diseñado para operar a frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y puede ser utilizado cuando el transmisor y receptor se encuentran alejados desde 1 a 2000Km.
- **Walfisch-Ikegami:** este es un modelo más complejo y se indica en entornos urbanos densos. Es un modelo híbrido para sistemas celulares de Servicio de Comunicación Personal (PCS, *Personal Communication Service*) de corto alcance, y puede ser utilizado en las bandas UHF y SHF.



Este modelo se emplea para predicciones en micro células para telefonía celular.

Hoy en día, existen programas de simulación que utilizan modelos de propagación, lo que facilita el análisis del enlace que se desea implementar. En seguida se presentan dos de los programas más usados para la simulación de radiopropagación.

- **RadioMobile:** es un programa de simulación de radio propagación gratuito, para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de comunicaciones. El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20MHz y 20GHz y se basa en el modelo de propagación Longley-Rice.
- **Xirio:** es un software que permite realizar simulaciones de cobertura radioeléctrica en entornos rurales y urbanos utilizando cartografía de alta resolución y puede aplicarse al diseño de tecnologías inalámbricas. Xirio incluye los métodos de cálculo más habituales, especialmente para entorno urbano, como por ejemplo, Rec. UIT-R P.530, Rec. UIT-R P.1411 y Okumura-Hata.

2.4.1 WiFi en largas distancias

Por lo general en los sistemas de monitoreo remoto, la información se envía de manera inalámbrica hasta un centro de operaciones, por ello es necesario hablar de una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizada hoy en día, conocida como WiFi. El estándar IEEE 802.11 o WiFi especifica normas de funcionamiento para Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, *Wireless Local Area Network*), este trabaja en las capas 1 y 2 del modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, *Open System Interconnection*) como lo hace para la Red de Área Local (LAN, *Local Area Network*) el protocolo Ethernet [14].

En una WLAN se deben identificar dos elementos, la estación inalámbrica o Tarjeta de Red Inalámbrica (STA, *Station IEEE802.11*) y el Punto de Acceso (AP, *Access Point*). El último elemento está incluido en la concepción de STA, pero el AP añade la funcionalidad de conectarse a una red cableada como Ethernet.

WiFi comprende varios estándares propuestos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*), estos manejan características diferentes en la capa física, el 802.11a usa frecuencias sobre los 5GHz, el 802.11ah emplea 900MHz y el 802.11b/g utiliza



2.4GHz. De igual manera las velocidades de transmisión varían de acuerdo con la modulación y codificación que se use, en el caso de 802.11b se presentan 4 velocidades, 1Mbps con Modulación por Desplazamiento Diferencial Binario de Fase (DBPSK, *Differential Binary Phase Shift Keying*), 2Mbps con Modulación por Desplazamiento Diferencial Cuadrático de Fase (DQPSK, *Differential Quadrature Phase Shift Keying*), 5.5Mbps y 11Mbps con Modulación por Complementación de Código (CCK, *Complementary Code Keying*). En los últimos años y en especial en países con poca penetración de redes de datos cableadas, se ha hecho necesario adaptar WiFi para comunicaciones que superan los 100 metros de distancia.

Para implementar la tecnología WiFi en transmisiones de larga distancia es necesario diseñar un enlace que permita, teniendo en cuenta la potencia transmitida, las ganancias y las pérdidas, obtener en recepción una potencia de señal apropiada para una determinada sensibilidad; para esto se utiliza la ecuación 2.1, donde P_{rx} es la potencia recibida, P_{tx} la potencia transmitida, G_{tx} y G_{rx} las ganancias de las antenas, L_{cctx} y L_{ccrx} las pérdidas por conectores y cable en transmisión y recepción, y L_p es la pérdida por propagación. La potencia y las ganancias hacen parte de los equipos como el transmisor, los conectores y las antenas por lo que el interés se centra en las pérdidas por propagación. En el espacio libre estas pérdidas pueden ser calculadas utilizando la ecuación 2.2 de pérdidas de propagación que está en función de la distancia y la frecuencia de uso.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} - L_{cctx} - L_{ccrx} - L_p + G_{rx} \quad (2.1)$$

$$L_p(dB) = 92.45 + 20 \log(F(GHz)) + 20 \log(d(Km)) \quad (2.2)$$

Para alcanzar los requerimientos de un enlace estable y de calidad en conexiones punto a punto de larga distancia, es necesario garantizar LOS con un despeje de 60% de la zona Fresnel. Además para mejorar la señal en recepción se necesita asegurar una potencia de recepción óptima, para lo cual se puede aumentar la potencia de transmisión, aumentar la ganancia de las antenas y disminuir la pérdida en cables.

El aumento de la potencia de transmisión no es posible debido a las normas establecidas por el país. Por lo tanto, para mejorar el alcance del enlace se pueden trabajar las ganancias de las antenas escogiendo antenas directivas y disminuyendo las pérdidas introducidas por conectores y cables.



3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

A continuación se presenta el desarrollo de la metodología usada para diseñar e implementar el sistema que permite monitorear las condiciones técnicas y ambientales del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.

Se presentan las características principales y los requerimientos del sistema, seguido del diseño, en donde se especifican los diferentes dispositivos electrónicos que lo componen, como sensores, unidades de procesamiento y módulos de comunicación inalámbrica, y se realiza una explicación detallada del proceso de implementación del sistema de monitoreo.

Finalmente, se hace un estudio básico del radio enlace a utilizar, se especifica la plataforma de visualización utilizada para monitorear local y remotamente la información, y se proponen las pruebas a realizar para evaluar el desempeño del sistema.

3.1 PROCESO DE DESARROLLO

Para cumplir con los objetivos planteados con el trabajo de grado, se utiliza una metodología, la cual emplea un Modelo Lineal Secuencial o Modelo en Cascada [15]. Este modelo permite un progreso firme mediante un seguimiento ordenado y encadenado de sus fases, favoreciendo el desarrollo, diseño e implementación del problema planteado. En la Figura 3.1 se observan las cuatro etapas de desarrollo.

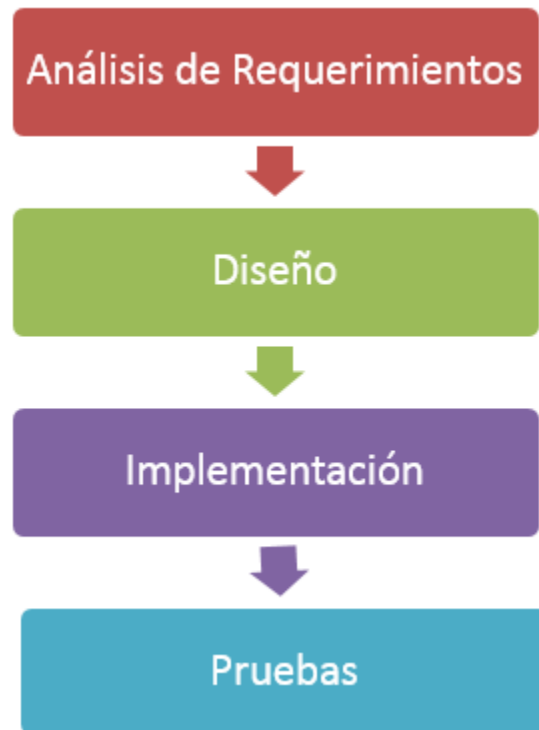


Figura 3.1 Modelo lineal secuencial

A continuación se explica el desarrollo de cada fase.

- **Análisis de requerimientos:** en esta fase se realiza un estudio del problema, con el propósito de establecer los requerimientos indispensables del sistema de monitoreo.
- **Diseño:** se define cómo estará conformado el sistema de monitoreo. Especialmente se procede a investigar los dispositivos que se adaptan a los requerimientos del trabajo de grado.
- **Implementación:** se realiza el desarrollo hardware y software del sistema de monitoreo, configurando cada dispositivo electrónico.
- **Pruebas:** se elabora un plan de pruebas, el cual permite corroborar y validar el funcionamiento del sistema de monitoreo.



3.1.1 Análisis de requerimientos

3.1.1.1 Problema de estudio

Unicauca Estéreo es un medio de comunicación institucional, adscrito a la Vicerrectoría de Cultura y Bienestar de la Universidad del Cauca, de carácter universitario, regido por los principios constitucionales y legales de la República de Colombia. Como emisora de Interés Público orienta su programación a elevar el nivel educativo y cultural de los habitantes de su zona de influencia; de la misma manera, promover y difundir los valores humanos, la formación ciudadana y el debate público.

El sistema de transmisión de Unicauca Estéreo se encuentra ubicado en la vereda La Rejoja, en el interior de la finca de la Universidad del Cauca. Está constituido por un transmisor marca Elenos, el cual tiene una capacidad de radiar en Frecuencia Modulada (FM, *Modulated Frequency*) a una potencia máxima de 5KW. Además cuenta con un regulador de voltaje trifásico marca Everest de 220V. Para lograr amplia cobertura, la antena a través de la cual se radia la señal, está ubicada en una torre a 45m de altura.

El transmisor Elenos y el regulador de voltaje Everest se encuentran ubicados en el interior de un cuarto de equipos de 4 metros de ancho por 4 metros de largo. Las paredes están construidas a base de ladrillos y un techo con de tejas de zinc; estos materiales, sensibles a almacenar y transferir temperatura, provocan que con la ayuda del sol, el interior del cuarto alcance temperaturas superiores a los 30°C. Por otro lado, este cuarto de equipos no cuenta con un sistema de ventilación ni de refrigeración haciendo difícil mantener o conservar las condiciones ideales para el funcionamiento de los equipos del sistema transmisor.

Hace algunos años el sistema de transmisión de Unicauca Estéreo presenta irregularidades en su funcionamiento, debido a que el módulo encargado de la alimentación deja de funcionar o interrumpe el suministro de energía eléctrica provocando que la emisora quede fuera de servicio.

Según una visita realizada al lugar de operación del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo por la comisión técnica y asesora del Departamento de Telecomunicaciones de la FIET¹, las posibles causas que pueden estar ocasionando la interrupción del suministro eléctrico del transmisor de alta potencia,

¹ Revisar Anexo E



son básicamente las altas temperaturas y la falta de ventilación en el lugar, pues en una de las visitas realizadas, se pudo constatar que el ambiente alcanza una temperatura de 30°C. Sin embargo, no se descarta la posibilidad que las fallas en el suministro de energía sean generadas en el operador de red eléctrico de la zona.

De acuerdo al fabricante del equipo transmisor, la temperatura ideal debe estar entre 10 y 30°C para garantizar un óptimo desempeño. Por esto, es importante realizar un seguimiento exhaustivo a dicha variable, pues conservar las condiciones recomendadas por los fabricantes, contribuye a obtener un buen funcionamiento de los mismos.

El equipo de trabajo encargado de la gestión y administración de la emisora, no cuenta con un sistema que le permita llevar registro detallado de las horas de funcionamiento y de falla que presenta el sistema, para poder calcular el porcentaje de disponibilidad real de dicha emisora.

Para mejorar las condiciones de operación del sistema, una primera solución planteada es rediseñar el cuarto de equipos, de tal manera que las características de los materiales utilizados no permitan acumular la energía calórica radiada por el sol y así garantizar las condiciones requeridas por los fabricantes. Dicha solución está lejos de ser posible, pues es una emisora de interés social, sin ánimo de lucro y financiada cien por ciento por los recursos de la Universidad del Cauca. Una segunda solución es diseñar e implementar un sistema que permita monitorear y controlar las variables que están afectando el funcionamiento.

Por lo anterior, el presente trabajo de grado, pretende abordar una primera fase de la segunda solución planteada, que consiste en implementar un sistema que permita realizar seguimiento a la temperatura, como variable central de monitoreo, con el propósito de verificar si ésta afecta o no el funcionamiento del mismo. Como complemento, éste desarrollo permitirá monitorear el sistema de alimentación eléctrica con la intención de registrar cuándo se presentan fallas en el sistema, si son provocadas por el operador de red o en el interior del sistema transmisor y la duración de las mismas; información que servirá para poder realizar el cálculo de disponibilidad que ofrece la emisora. Finalmente se plantea monitorear el comportamiento de la humedad en el cuarto de equipos, pues Popayán es una ciudad que presenta un 77.75% de humedad relativa, y esto puede estar contribuyendo al deterioro de los equipos de telecomunicaciones.



3.1.1.2 Requerimientos

Luego de comprender el problema de estudio, se presenta la definición de los requerimientos para la implementación del sistema de monitoreo.

- **Requerimiento 1:** Monitorear temperatura y humedad en el interior de la case de operación y las corrientes de línea² a la salida del regulador de voltaje del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.
- **Requerimiento 2:** Emplear sensores y demás dispositivos que soporten las condiciones climáticas de la zona.
- **Requerimiento 3:** Permitir la visualización local, remota y en tiempo real de la información captada por los sensores.
- **Requerimiento 4:** Usar sensores de corriente no invasivos.
- **Requerimiento 5:** Evitar las densidades de cableado y facilitar la movilidad del sistema.
- **Requerimiento 6:** Utilizar dispositivos eficientes y de bajo costo.
- **Requerimiento 7:** Utilizar la banda ISM para establecer la comunicación entre los nodos inalámbricos.
- **Requerimiento 8:** Comunicar continuamente los nodos sensores y el nodo coordinador.
- **Requerimiento 9:** Identificar si las fallas de suministro de energía ocurren en el regulador de voltaje o en el operador de red eléctrica de la zona.

² Sistema de corriente trifásico.



3.1.2 Diseño

Esta etapa tiene como finalidad plantear la solución que permita construir un sistema de monitoreo para brindar una solución al problema planteado. Para ello es necesario especificar las tareas a desempeñar por cada componente y seleccionar los que mejor se adapten a los requerimientos del sistema de monitoreo.

3.1.2.1 Definición del sistema de monitoreo pasivo

A continuación, se define el modelo básico del sistema de monitoreo pasivo³, formado por un nodo coordinador, el cual actúa como maestro y los nodos sensores como esclavos.

El sistema medirá corrientes de línea del regulador de voltaje, así mismo, temperatura en grados centígrados y porcentaje de humedad relativa.

Por último, es necesario que la información recopilada por la red de sensores se pueda visualizar. Para ello se plantean tres formas distintas de hacerlo, estas son:

- **Local:** Una pantalla de visualización ubicada en el sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.
- **Remota:** Una plataforma web a la cual es posible acceder desde cualquier dispositivo conectado a Internet.
- **Aplicación de escritorio:** Esta aplicación permite observar gráficamente todos los datos obtenidos y almacenados previamente por el sistema de monitoreo, durante el tiempo de funcionamiento del mismo.

En la Figura 3.2 se observa el modelo básico del sistema de monitoreo, en esta se especifican los sensores, el coordinador de la red, el enlace y la conexión a la plataforma web a través de Internet.

³ Se caracteriza solo por recolectar información y transmitirla, no se realiza ningún tipo de control sobre el sistema.

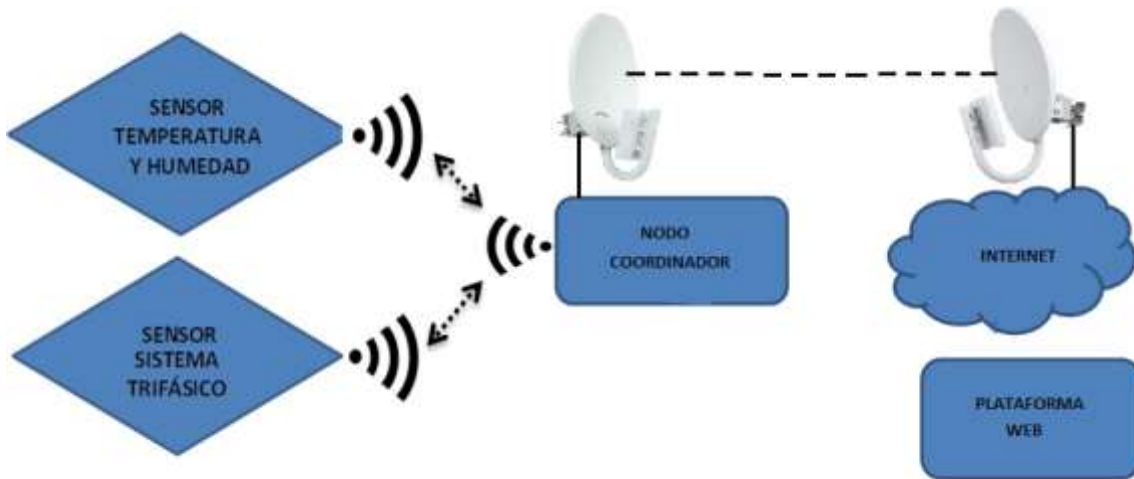


Figura 3.2 Modelo del sistema de monitoreo

3.1.2.2 Dispositivos sensores

El sistema de monitoreo pasivo se compone por tres tipos de sensores, estos son: sensor de temperatura, humedad relativa y corriente AC. A continuación, se muestran los diferentes sensores que se ajustan a las necesidades y requerimientos del sistema, teniendo en cuenta parámetros como: frecuencia de operación, consumo de potencia, resistencia frente al ambiente y costo.

I. Sensor de Temperatura y Humedad

Para reducir costos, los sensores de humedad y temperatura se incorporan en un solo dispositivo. En la Tabla 3.1 se muestran las características de los sensores que se ajustan a las necesidades del sistema.

Sensor	R. Precisión Temperatura	R. Precisión Humedad	Rango		Consumo Potencia	Costo
			T	H		
SHT11	± 0.4 °C	± 0.3 %	- 40/254	0-100	Bajo	Alto
HC2S3	± 0.1 °C	± 0.8 %	- 40/100	0-100	Medio	Medio
HMP60	± 0.6 °C	± 3 %	-40/60	0-100	Alto	Medio
DHT22	± 0.1 °C	± 1 %	-40/80	0-100	Bajo	Bajo

Tabla 3.1 Sensores de temperatura y humedad



Los sensores HC2S3 y HMP60 son dispositivos que tienen un amplio rango de medición, tanto para temperatura como para humedad, además cuentan con un conversor analógico/digital que entrega la señal medida en bits. El primero es mucho más preciso que el segundo, haciéndolo útil para aplicaciones que demandan bastante precisión. Sin embargo, presentan dos desventajas, la primera es el mediano y alto consumo de potencia respectivamente y la segunda es su costo, esta última gran limitante del trabajo de grado.

El sensor de temperatura y humedad SHT11 es un sensor de muy buenas prestaciones, pero fue descartado por ser de elevado costo.

El dispositivo DHT22 es el más apropiado para el sistema de monitoreo, porque presenta buenos rangos de medición, buena precisión, bajo consumo de potencia y bajo costo en el mercado. Así mismo, estos sensores están calibrados por lo que no es necesario añadir ningún circuito de tratamiento de señal.

II. Sensor de corriente

En la actualidad hay gran cantidad de sensores para medir corriente alterna, sin embargo, los más aptos de acuerdo a los requerimientos del trabajo de grado se muestran en la Tabla 3.2.

Sensor	Costo	Linealidad en el rango de medición	Capacidad de medición de alta corriente	Consumo de Potencia
ACS712	Bajo	Pobre	muy bajo	Medio
SCT013	Medio	Buena	Alto	Bajo
TA12-100	Alto	Buena	Alto	Bajo

Tabla 3.2 Sensores de corriente

El sensor ACS712 está constituido de un circuito integrado que se basa en el efecto Hall [16] para medir la intensidad de corriente. Cuando fluye una corriente a través de este circuito, se genera un campo magnético que es convertido por el dispositivo en un voltaje proporcional de salida. Sin embargo, la capacidad de medición de corriente es muy baja y es un sensor de tipo invasivo.

Los sensores SCT013 y TA12-100 son Transformadores de Corriente (CT, *Current Transformer*), usan el principio de un transformador para convertir la alta corriente primaria a una corriente secundaria más pequeña. Son dispositivos pasivos que no necesitan circuitos adicionales de control. Al mismo tiempo, pueden medir niveles



de amperajes muy altos, consumen poca potencia y son no invasivos, esto es una gran ventaja, ya que no implica abrir la circuitería del sistema para medir la corriente.

3.1.2.3 Unidades de procesamiento

Las unidades de procesamiento se ubican en cada uno de los nodos sensores y en el nodo coordinador, dependiendo de ello, varían las funciones que deben desempeñar. Se pueden dividir en dos clases las unidades de procesamiento, como se describe a continuación.

- Una unidad de procesamiento que se emplea en los nodos sensores, recibe y si es el caso digitaliza la información brindada por los sensores. También, debe administrar la interfaz de comunicación que permitirá enviar datos hasta el nodo coordinador.
- La otra unidad que se encuentra en el nodo coordinador, se encarga de operar en modo maestro respecto a la comunicación con los nodos sensores. Por otro lado, debe gestionar el envío de datos a través del enlace punto a punto hasta la plataforma web.

I. Unidades de procesamiento de los nodos sensores

En la Tabla 3.3 se muestran las opciones disponibles en el mercado que pueden ser articuladas al trabajo de grado.

Microcontrolador	Procesador	Velocidad Reloj	Voltaje	Costo
Arduino Uno	ATmega328	16MHz	5V	Medio
Arduino Mega	ATmega2560	16MHz	5V	Medio
Arduino Leonardo	ATmega32u4	16MHz	5V	Medio
Arduino Pro Mini	ATmega168	8MHz	3.3V	Bajo

Tabla 3.3 Unidades de procesamiento para los nodos sensores

Los nodos sensores tienen que realizar tareas muy básicas, de manera que no es necesario implementar un procesador de alto rendimiento. Teniendo en cuenta los requerimientos y otros factores del trabajo de grado, el Arduino Pro Mini es un dispositivo óptimo para utilizar en los nodos sensores.

El Arduino Pro Mini contiene un microcontrolador ATmega168, con versiones de 3.3V y 8MHz o 5V y 16MHz. Contiene 14 pines de E/S digitales. Además a la flexibilidad y precio bajo, también se añade su reducido tamaño.



II. Unidades de procesamiento para el nodo coordinador

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida.

Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8 por su sencillez y bajo costo, lo que permite el desarrollo de múltiples diseños [17].

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida de bajo costo, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas. El diseño incluye un procesador central ARM1176JZF-S a 700 MHz, un procesador gráfico VideoCore IV, y 512 MB de memoria RAM. El diseño no incluye un disco duro ni unidad de estado sólido, ya que usa una tarjeta de Seguridad Digital (SD, *Secure Digital*) para el almacenamiento permanente de la información. Soporta un sistema operativo de las distribuciones de Linux para controlar el Hardware [18].

De lo anterior, queda claro que el microcontrolador Raspberry PI está diseñado para proyectos que demandan gran cantidad de procesamientos de información, aunque se podría usar para este trabajo de grado, no se aprovecharía su capacidad eficientemente. A diferencia, el microcontrolador Arduino está diseñado para aplicaciones enfocadas más a hardware que a software por su alta densidad de pines de entrada y salida. Por lo tanto, se opta por utilizar Arduino como el microcontrolador para el nodo coordinador.

El Arduino Ethernet es una tarjeta basada en el microcontrolador ATmega328. Este tiene 14 pines digitales de entrada/salida, 6 entradas analógicas, operación a 5V y un oscilador de cristal de 16MHz. Además cuenta con un puerto RJ45 que brinda conexión Ethernet [18]. Este último se implementa en el nodo coordinador, puesto que se encarga de enviar los datos hacia la plataforma web.

3.1.2.4 Módulos de comunicación Inalámbrica

A través de estos módulos es posible intercambiar la información entre los nodos sensores y el nodo coordinador. En la Tabla 3.4 se muestra una comparación entre diferentes módulos radio que trabajan en la banda de 2.4GHz.



Módulo 2.4GHz	Tasa Tx Mbps	Sensibilidad Rx DBm	Frecuencia Operación	Modo de Operación	Costo
NRF24L01	2	-90	2.4 GHz	Maestro/esclavo	\$ 8.000
HC-05	3	-80	2.4 GHz	Maestro/esclavo	\$ 30.000
XBee	250	-92	2.4 GHz	Maestro/esclavo	\$ 30.000
CC2500	50	-104	2.4 GHz	Maestro/esclavo	\$ 50.000

Tabla 3.4 Módulos de comunicación radio

El módulo XBee es una solución integrada que brinda un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación de dispositivos. Estos dispositivos utilizan el protocolo 802.15.4 para crear redes punto a multipunto, además es un dispositivo creado para aplicaciones que requieren un alto tráfico de datos. Su costo es elevado si se compara con el costo del NRF24L01. Debido a que el sistema de monitoreo no requiere grandes tasas de transmisión se descarta el uso de dicho dispositivo.

El módulo HC-05 es un dispositivo que brinda la posibilidad de una conexión maestro/esclavo, en la cual el maestro envía peticiones de transmisión y los esclavos están a la escucha de las mismas. Presenta una tasa de transmisión baja e igual que los dispositivos listados trabajan en la banda de frecuencia ISM. La desventaja frente a las limitantes del presente trabajo de grado es su costo.

El módulo NRF24L01 es un transceptor diseñado para aplicaciones inalámbricas que demanden un bajo tráfico de datos, consume baja potencia y trabaja en la banda de frecuencia mundial ISM. Este dispositivo se configura y opera a través de la Interface Periférica Serial (SPI, *Serial Peripheral Interface*). Posee un protocolo basado en comunicación por paquetes. Por último, este módulo permite la comunicación maestro/esclavo, presenta un bajo costo y una buena sensibilidad en la recepción, por lo anterior se ajusta a los requerimientos del trabajo de grado.

3.1.2.5 Equipos para el enlace radioeléctrico

Para realizar el enlace radio eléctrico entre la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca (FIET) y el sistema de transmisión es indispensable el uso de equipos de radiofrecuencia que operen en la banda de 2.4GHz o 900MHz. En las Tablas 3.5 y 3.6 se observan los dispositivos de 2.4GHz y 900MHz que se ajustan al trabajo de grado.



Antena	Throughput	Polarización	Potencia de salida	Sensibilidad	Ganancia de antena
AG-HP-2G16	>150Mbps	vertical/horizontal	28dBm	-97dBm	16dBi
NanoStation M2	>150Mbps	vertical/horizontal	26dBm	-97dBm	17dBi
NanoStation Loco M2	>150Mbps	vertical/horizontal	23dBm	-83dBm	8.5dBi
PBE-M2-400	>150Mbps	vertical/horizontal	28dBm	-97dBm	18dBi

Tabla 3.5 Dispositivos de radiofrecuencia en la banda de 2.4GHz

Antena	Throughput	Polarización	Potencia de salida	Sensibilidad	Ganancia de antena
Rocket M900	>150Mbps	vertical/horizontal	28dBm	-96dBm	16dBi
NanoStation Loco M9	>150Mbps	vertical/horizontal	28dBm	-96dBm	8dBi
NanoBridge M9	>150Mbps	vertical/horizontal	28dBm	-96dBm	10.6-11.3dBi
BaseStation Sector Antenna	>150Mbps	vertical/horizontal	30dBm	-97dBm	13.2-13.8dBi

Tabla 3.6 Dispositivos de radiofrecuencia en la banda de 900MHz

Los anteriores equipos se adaptan a los requerimientos del trabajo de grado, ya que, el Departamento de Telecomunicaciones de la FIET cuenta con dos equipos NanoStation M2 y dos equipos NanoBridge M9, estos se utilizan para el desarrollo del trabajo de grado.



3.1.3 Implementación

En la Figura 3.3 se observan los componentes que conforman el Sistema de Monitoreo del Sistema de Transmisión de Unicauca Estéreo. También se especifica cada dispositivo sensor utilizado y los microcontroladores. Existen dos tipos de comunicación inalámbrica. La primera se establece entre los nodos sensores y el nodo coordinador y es una comunicación de corta distancia. La segunda se establece entre la Finca “La Rejoya” y la FIET y cubre una distancia de 7.5 kilómetros.

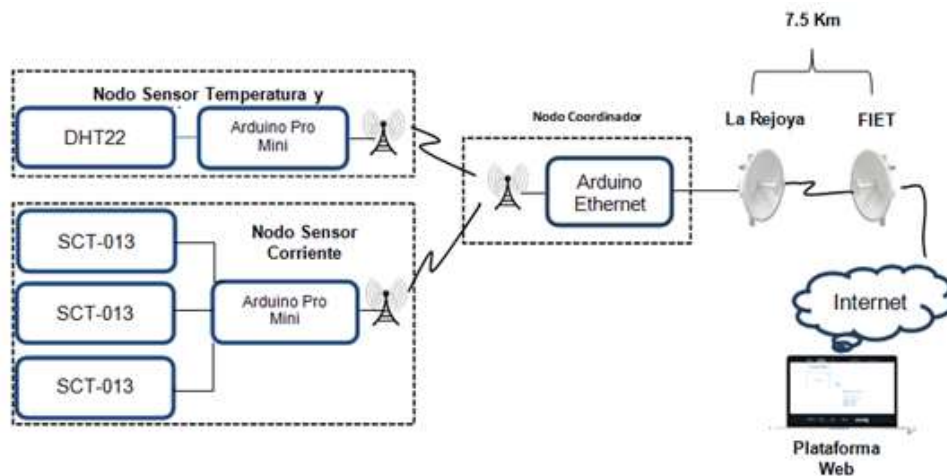


Figura 3.3 Componentes del sistema de monitoreo

3.1.3.1 Nodo coordinador y nodos sensores

I. Nodo coordinador

Para las tareas de procesamiento de información que se deben realizar en el nodo coordinador, se seleccionó el Arduino Ethernet, dadas sus capacidades, su bajo consumo de potencia y costo. Adicionalmente, este dispositivo trae incorporado un módulo que le permite comunicarse con una red Ethernet. En la Figura 3.4 se puede observar el módulo de Arduino a utilizar.



Figura 3.4 Arduino Ethernet del nodo coordinador [19]

El módulo que soporta la comunicación inalámbrica y que permite intercambiar información con los nodos sensores es el NRF24L01. Este dispositivo fue seleccionado debido a que permite hacer una comunicación maestro-esclavo, haciendo uso del protocolo de comunicaciones *Enhanced Shockburst™*, el cual permite conectar máximo 6 esclavos con un maestro. Además estos módulos traen una función para la corrección de errores y el reenvío de paquetes, lo que garantiza la calidad de la comunicación. En la Figura 3.5 se observa el módulo seleccionado y en la Figura 3.6 el modo maestro-esclavo

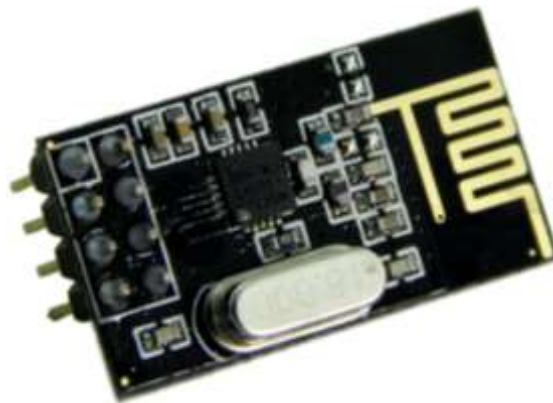


Figura 3.5 Módulo RF para comunicación inalámbrica [20]

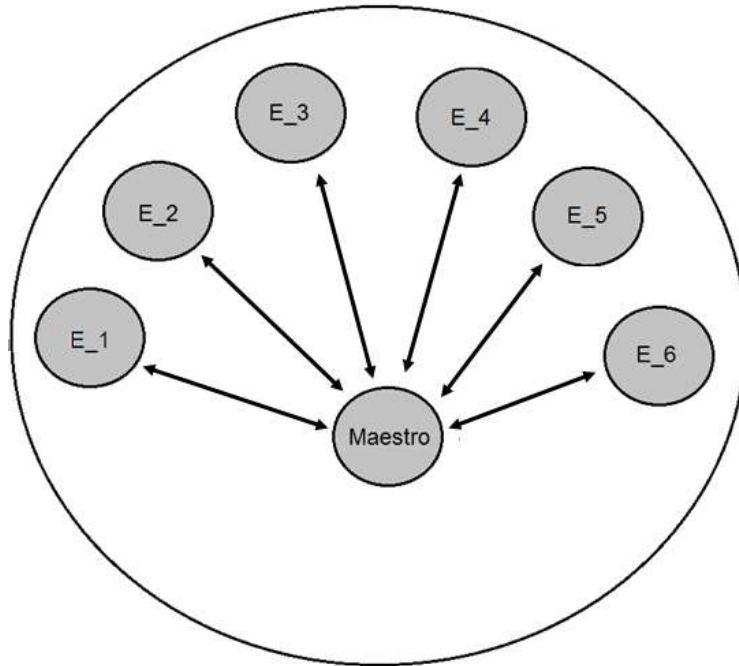


Figura 3.6 Modo maestro-esclavo

3.1.3.2 Formatos de trama de comunicación

El sistema de monitoreo implementa la trama de datos de la Figura 3.7 para establecer la comunicación entre los nodos sensores y el nodo coordinador.

Preámbulo (1byte)	Dirección (3-5bytes)	Campo de Control de Paquetes (9bits)	Carga Util (0-32bytes)	CRC (1-2bytes)
-------------------	----------------------	--------------------------------------	------------------------	----------------

Figura 3.7 Trama de datos

El campo preámbulo tiene un tamaño de 1 byte, es una secuencia de bits utilizada para la sincronización con el receptor e indica que una trama de datos inicia allí.

El campo Dirección, corresponde a la dirección asignada al receptor y es utilizada para asegurar que un paquete es detectado y recibido por el receptor correcto, este campo puede tener una longitud de 3, 4 o 5 bytes según como sea configurado.

El tercer campo contiene nueve bits de información y se conforma como se muestra en la Figura 3.8.



Longitud de Carga Útil (6bits)	Identificador de paquete (2bits)	NO_ACK (1bit)
--------------------------------	----------------------------------	---------------

Figura 3.8 Campo de control de paquetes

Los primeros 6 bits de información indican la longitud en bytes de la carga útil, el siguiente tiene un tamaño de 2 bits y corresponden al Identificador de Paquete (PID, *Packet IDentity*) y finalmente una bandera de un bit.

El campo carga útil, representa la información captada por el sensor y puede tener un ancho de hasta 32 bytes.

Finalmente para garantizar la integridad de la información se añade a la trama un Código de Redundancia Cíclica (CRC, *Cyclic Redundancy Code*) de uno o dos bytes, según la configuración del dispositivo.

La anterior trama de comunicación es empleada por los módulos inalámbricos para coordinar el envío de información. En el campo carga útil, viaja la información captada por los sensores y la dirección del nodo que envía información. En la Figura 3.9 se puede observar cómo está conformado el campo carga útil.

Node_Address	Dato_Sensores	Bandera
--------------	---------------	---------

Figura 3.9 Campo carga útil

El nodo de temperatura y humedad se identifica como el Node_Address²⁴ y el nodo de corriente se identifica como el Node_Address3. El nodo coordinador como Node_Address1. Los datos enviados por el nodo de corriente contienen datos captados por tres sensores empleados para la medición de corriente en el sistema trifásico. Un ejemplo de la carga útil enviada por el nodo sensor de corriente es:

3	21.221.321.2	t
---	--------------	---

Figura 3.10 Campo payload para el nodo de corriente

Según la Figura 3.10, la trama de datos llega desde el nodo tres que corresponde al nodo de corriente y las corrientes de línea asociadas a los datos son:

$$I_{rms_1} = 21.2$$

⁴ La asignación se realiza una sola vez al iniciar el sistema a través de una comunicación serial.



$$I_{rms_2} = 21.3$$

$$I_{rms_3} = 21.2$$

Para el nodo de temperatura y humedad la carga útil se muestra en la Figura 3.11.

2	25.0576.23	t
---	------------	---

Figura 3.11 Campo carga útil para el nodo de humedad y temperatura

La Carga útil que corresponde al nodo 2 contiene los siguientes datos:

- Temperatura: 25.05 °C.
- Humedad: 76.23%.

En la Figura 3.10 y 3.11, se observa que tanto el nodo de corriente como el nodo de temperatura y humedad tienen la misma bandera para indicar la finalización de la carga útil.

Al determinar los dispositivos que conforman el nodo coordinador, se implementa el diagrama circuital que reúne los diferentes módulos. En la Figura 3.12 se observa el diagrama circuital.

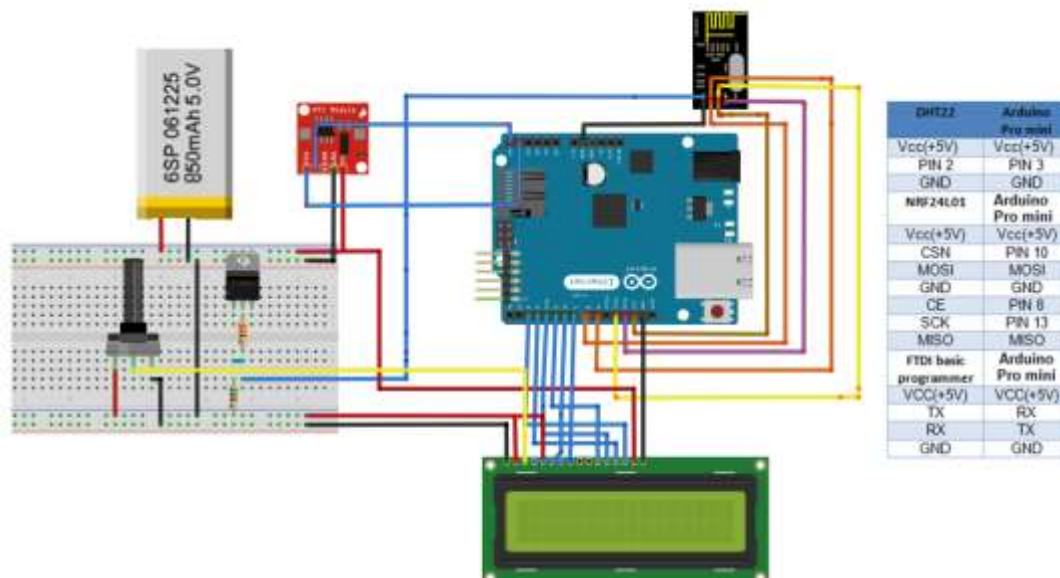


Figura 3.12 Diagrama circuital del nodo coordinador



En la Figura 3.13, se observa la versión final desarrollada para el nodo coordinador.



Figura 3.13 Versión final del nodo coordinador

II. Nodo sensor de temperatura y humedad

Para este nodo sensor fue seleccionado el dispositivo DHT22 mostrado en la Figura 3.14, debido a la sensibilidad, el bajo consumo de potencia y costo, pues el sensor que se requiere para este proyecto no demanda altos niveles de sensibilidad y precisión. Este brinda valores de temperatura y humedad en secuencias binarias, facilitando las tareas de procesamiento de la información.

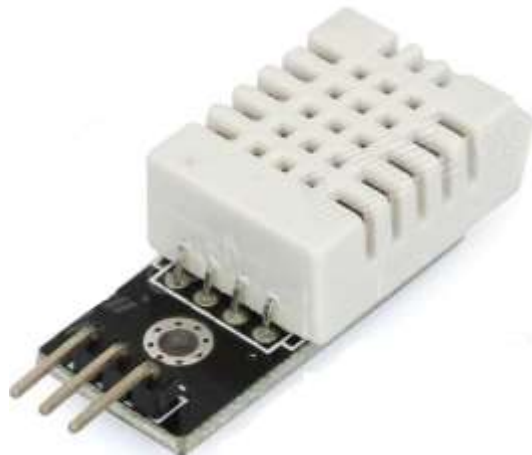


Figura 3.14 Sensor de humedad y temperatura [21]



La unidad de procesamiento que utiliza el nodo sensor de temperatura es el Arduino Pro Mini, este fue seleccionado de una familia de microcontroladores Arduino debido a que presenta bajo consumo de potencia, tamaño reducido, pines de entrada y salida suficientes y un reducido costo en el mercado, el Arduino Pro Mini se observa en la Figura 3.15.

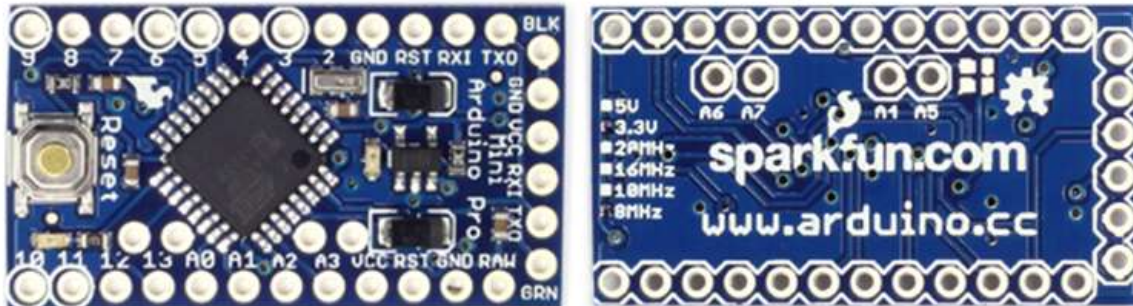


Figura 3.15 Unidad de procesamiento Arduino Pro Mini [22]

El nodo sensor de temperatura y humedad hace uso del módulo de comunicación inalámbrica NRF24L01 que se utilizó en el nodo coordinador, configurado en modo esclavo.

En la Figura 3.16 se detalla el diagrama circuital de la interconexión de estos elementos, teniendo en cuenta los dispositivos seleccionados para el nodo sensor de temperatura y humedad. La versión final del nodo sensor de temperatura y humedad se muestra en la Figura 3.17.

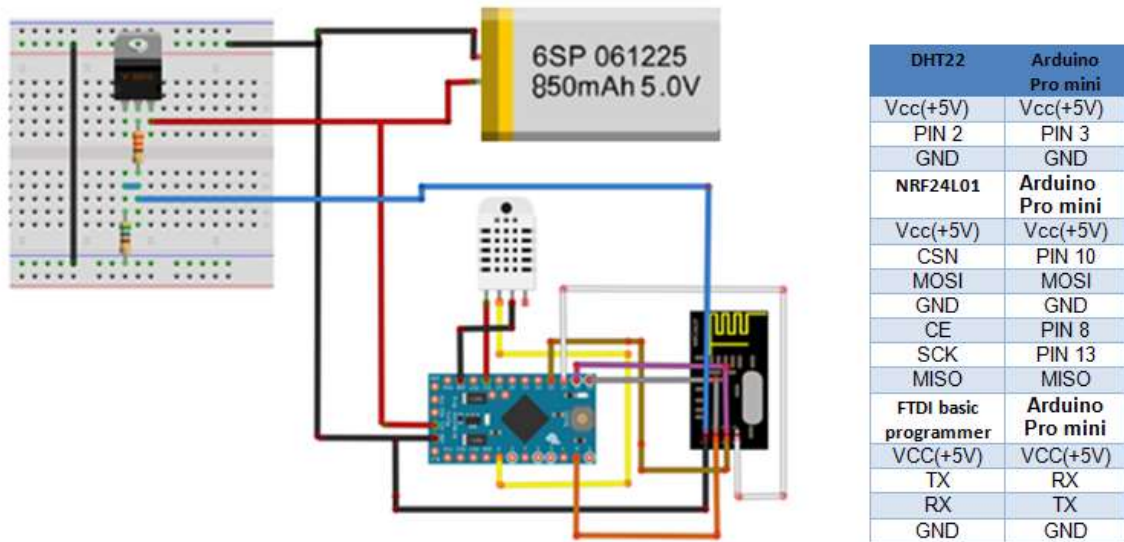


Figura 3.16 Nodo sensor de humedad y temperatura



Figura 3.17 Versión final del nodo de temperatura y humedad



Debido a que el módulo de radio frecuencia NRF24L01 funciona con 3.3 voltios, es necesario implementar una etapa de regulación de voltaje, para ello, se utiliza el regulador ajustable de voltaje LM317, en la Figura 3.18 se muestra dicha etapa de regulación.

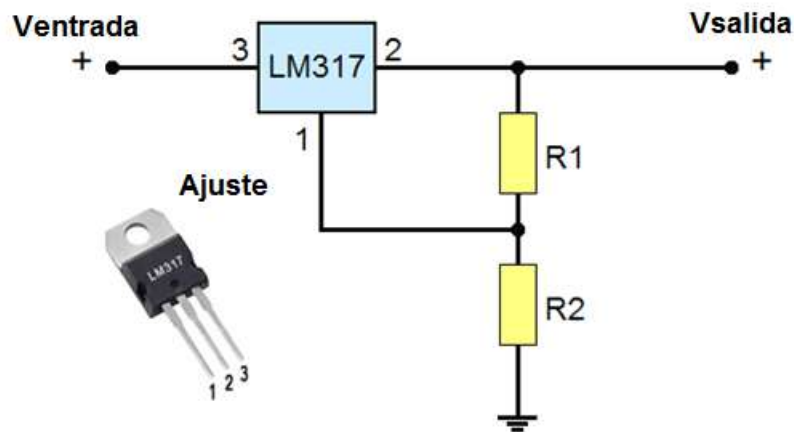


Figura 3.18 Etapa de regulación de voltaje [23]

Dónde,

- Ventrada: 5V.
- Vsalida: 3.3V.
- R1: 330Ω.
- R2: 560Ω.

III. Nodo sensor de corriente

El sensor de corriente seleccionado fue el SCT013, mostrado en la Figura 3.19, este sensor utiliza un transformador de corriente para transformar las altas corrientes primarias en corrientes secundarias más pequeñas.



Figura 3.19 Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013 [24]

El nodo sensor de corriente emplea el Arduino Pro Mini, debido a que las características de este dispositivo se adaptan a los requerimientos del nodo, además se utiliza el módulo de comunicación inalámbrica NRF24L01 en modo esclavo, para establecer la comunicación con el nodo coordinador, en la Figura 3.20 se observa la conexión de estos elementos.

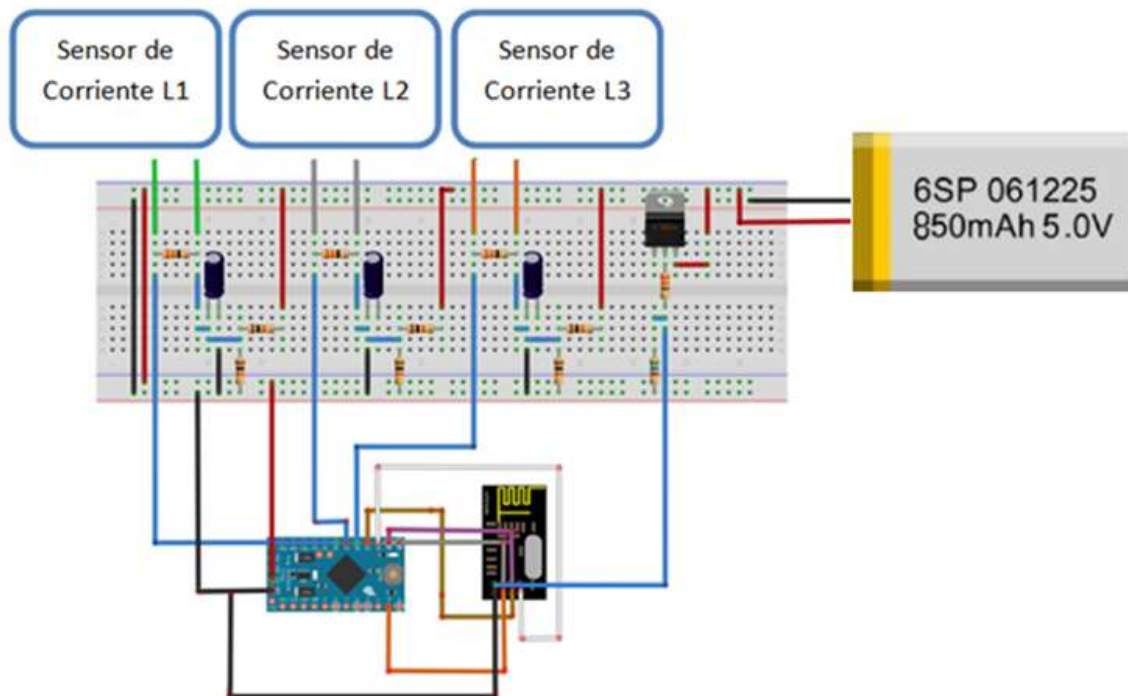


Figura 3.20 Nodo sensor de corriente



En la Figura 3.21, se presenta el nodo sensor de corriente ya implementado, en él, se observan los tres sensores utilizados para medir las corrientes de línea del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.

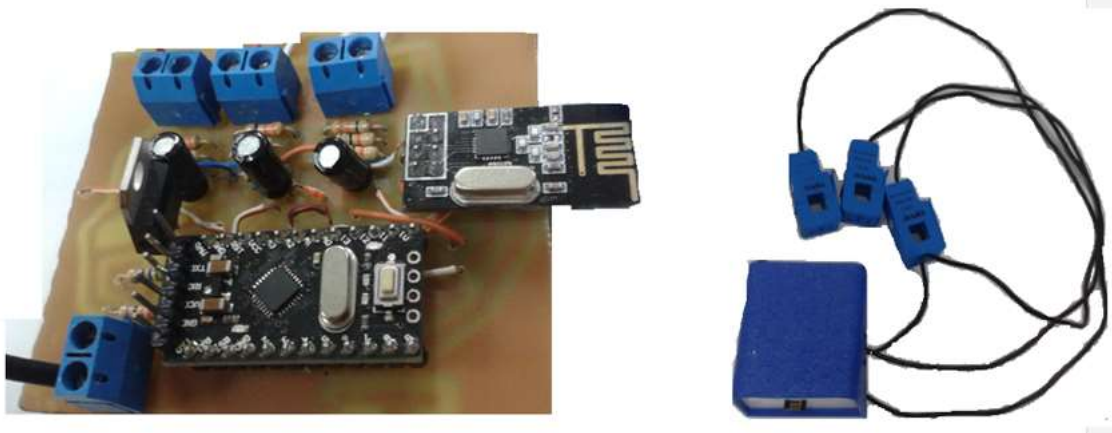


Figura 3.21 Versión final nodo sensor de corriente

IV. Enlace radio eléctrico

Con el propósito de establecer el radio enlace eléctrico, entre las instalaciones del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo y la FIET, se realizó un análisis básico en RadioMobile en 2.4GHz y 900MHz, para determinar su viabilidad. Por consiguiente, se configuraron los siguientes parámetros para 2.4GHz y 900MHz

- **Frecuencia máxima y mínima:** 2412 y 2462MHz, 902 y 928MHz
- **Polarización vertical u horizontal:** vertical.
- **Refractividad de la superficie, conductividad del suelo, y permitividad relativa del suelo:** 301N-unidades, 0.005S/m, 15F/m, respectivamente.
- **Modo de variabilidad:** modo “accidental”, 50% de tiempo, 70% de situaciones. El efecto de los porcentajes de tiempo, localizaciones y situaciones, dependen del modo elegido.
- **Porcentaje de suelo urbano o bosques:** 70% de pérdidas adicionales.



- **Tipo de clima:** templado continental.

A partir de las especificaciones de los equipos, se definió la potencia de transmisión, umbral de recepción, pérdidas de circuito de antena, tipo de antena según su diagrama de radiación y ganancia de antena respecto a la antena isotrópica. Además, se especificó la altura de la torre de antena y las pérdidas del cable. En las Tablas 3.7 y 3.8 se observan los parámetros configurados para el enlace de larga distancia en 2.4GHz y 900MHz respectivamente.

Parámetros del enlace	
	Valor
Potencia de transmisión	0.39 Watt 26 dBm
Umbral de recepción	3.16 uV -97 dBm
Pérdidas de línea	0.5 dB
Tipo de antena	Cardio
Ganancia de antena	17 dBi
Altura de la antena	42 mts

Tabla 3.7 Parámetros del enlace en 2.4GHz

Parámetros del enlace	
	Valor
Potencia de transmisión	0.63 Watt 28 dBm
Umbral de recepción	3.54 uV -96 dBm
Pérdidas de línea	0.5 dB
Tipo de antena	Omni
Ganancia de antena	10 dBi
Altura de la antena	42 mts

Tabla 3.8 Parámetros del enlace en 900MHz

La Figura 3.22, muestra una imagen satelital del radio enlace, en la cual se observa la topografía de la región donde se realiza la comunicación. A la derecha de la imagen se observa la FIET y a la izquierda “La Rejoya”.

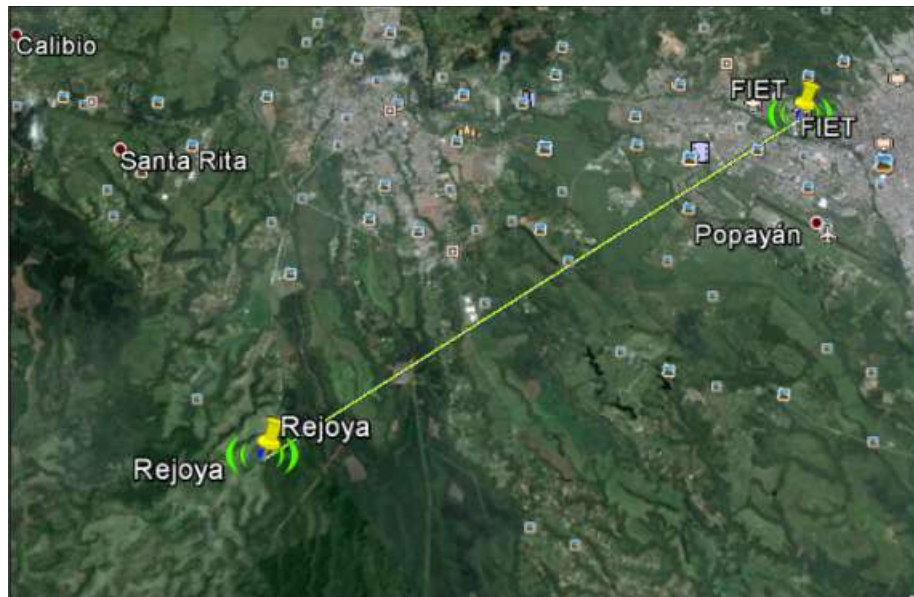


Figura 3.22 Imagen satelital del radioenlace

En la Figura 3.23 se muestran los resultados del radio enlace en 2.4GHz y en la Figura 3.24 los de 900MHz. En ambos, hay línea de vista, la señal no colisiona con alguna obstrucción durante el trayecto de los 7.74Km, aunque a los 2.2 Km se observa un punto crítico en el cual la señal pasa cerca de un obstáculo. Debido a esto, realizar la comunicación en 2.4 GHz es mucho más crítico que si se realiza en 900 MHz, pues la longitud de onda es más grande, la cual le permite sobrepasar el obstáculo sin complicaciones, a diferencia del enlace a 2.4 GHz. Por lo anterior la frecuencia más viable a utilizar en el trabajo de grado es la de 900 MHz, dado que permite obtener mayores niveles de potencia en recepción.

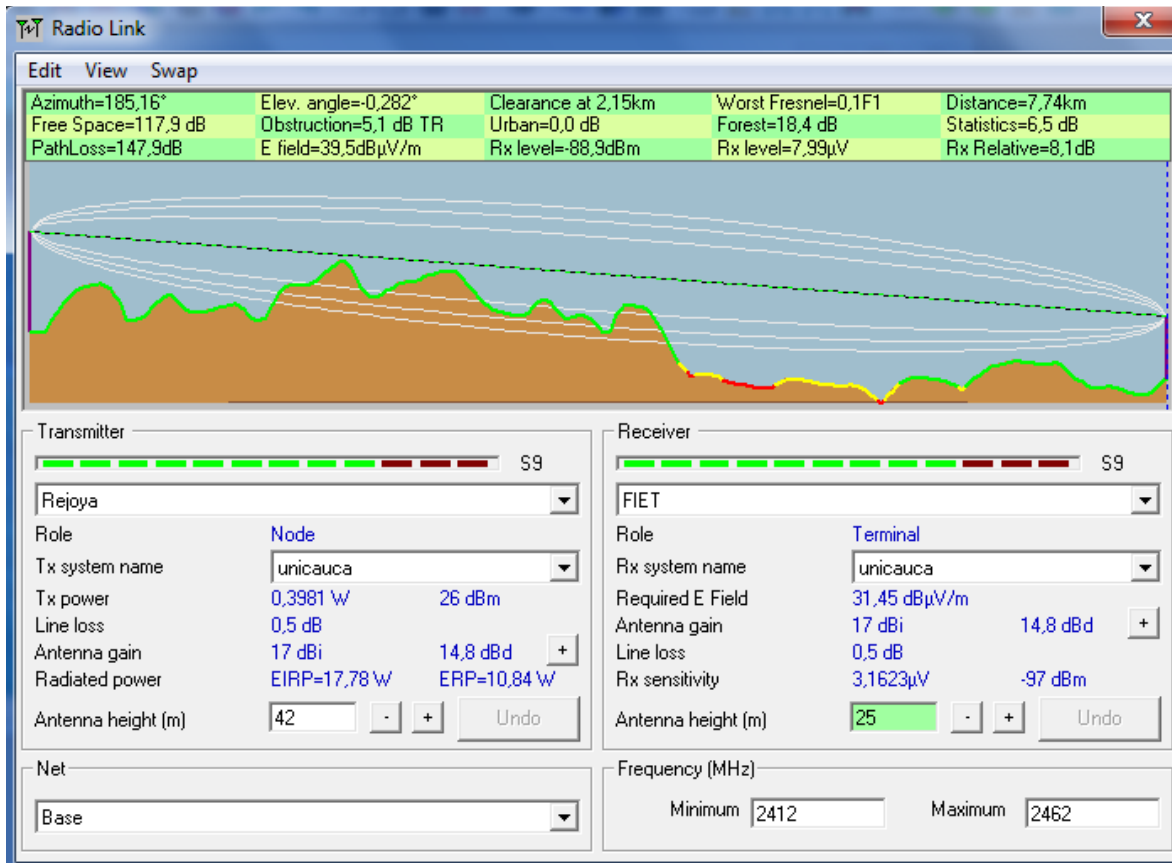


Figura 3.23 Resultados del radio enlace en 2.4GHz

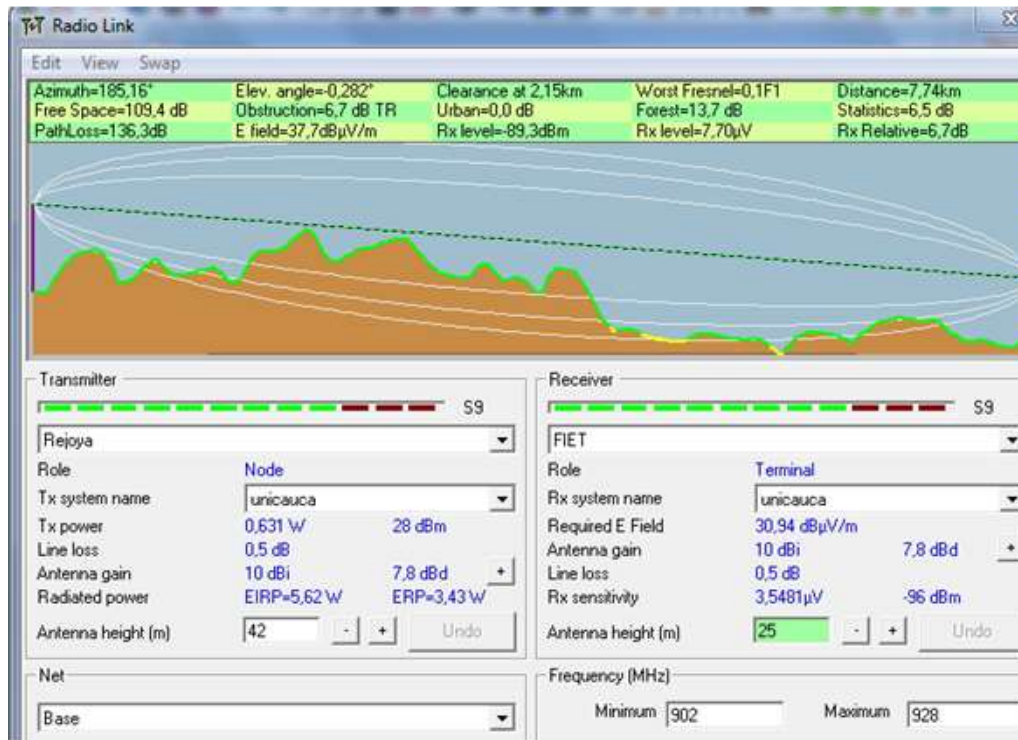


Figura 3.24 Resultados del radio enlace en 900MHz

V. Interfaz de visualización local, remota y aplicación de escritorio

La interfaz de visualización local, cuenta con una Pantalla de Cristal Líquido (LCD, *Liquid Crystal Display*) que hace parte del nodo coordinador, la cual está ubicada en el sistema de transmisión de Unicauca Estéreo, en esta se pueden observar los valores de temperatura, humedad y corrientes de línea en tiempo real. En la Figura 3.25 se observa la interfaz de visualización local.



Figura 3. 25 Interfaz de visualización local



La interfaz de visualización remota se implementa a través de una plataforma Web, la cual permite monitorear los datos recolectados. La plataforma Web utilizada fue desarrollada por *LogMeIn*⁵, una compañía que ha sido galardonada como una de las diez compañías más innovadoras del Internet de las cosas en el mundo. Además, en el *Mobile World Congress*⁶ de Barcelona se ha valorado a *LogMeIn* como una compañía que ayuda a los negocios a usar el Internet de las Cosas para mejorar la conectividad, optimizar operaciones y generar nuevas oportunidades de negocio [25].

Xively es la evolución de la plataforma web antes llamada *Cosm* y anteriormente *Pechube*, y es una plataforma pensada para el Internet de las cosas. La plataforma es esencialmente una nube especializada en recibir y desplegar información de los distintos sensores que se requieran conectar [26].

Esta plataforma tiene una interfaz muy fácil de usar, además brinda un centro de desarrollo integral con guías API, tutoriales, vídeos y bibliotecas que soportan cientos de plataformas, millones de gateways y miles de millones de dispositivos. *Xively*, proporciona el uso de bibliotecas que facilitan la integración con el API de Arduino sin fricción, lo que le permite escribir código para diversos dispositivos, aplicaciones y servicios con una fácil integración a *Xively*. Todas las bibliotecas *Xively* son de código abierto, de modo que se pueden utilizar, aportar y solicitar funciones en ellos libremente [26].

Para la integración de *Xively* con el sistema de monitoreo, primero se creó un nuevo dispositivo privado en la plataforma web, llamado “Sistema de Monitoreo Unicauca” para así determinar quién tiene acceso a la información, tal y como se muestra en la Figura 3.25.

Una vez creado el dispositivo, la plataforma le asigna automáticamente un código de identificación *Feed ID*⁷, el cual sirve para asignar un conjunto de canales al mismo. También es necesario tener en cuenta la *API Key*⁸ generada automáticamente para cada dispositivo, ésta determina los niveles de permisos para leer, actualizar, crear y borrar los registros en *Xively*. En la Figura 3.26 se logra observar la *API Key* y el *Feed ID* asignados al sistema de monitoreo.

⁵ Compañía pública global que proporciona acceso remoto personal o comercial, asistencia técnica o gestión remota.

⁶ Es un congreso de carácter anual sobre las comunicaciones móviles.

⁷ Es un parámetro que identifica un grupo de canales definidos para un dispositivo.

⁸ Es una llave que determina los niveles de permisos para acceder a los recursos en *Xively*.



Device Name
Sistema de Monitoreo - Unicauca

Device Description optional
Tell us more about this device

Privacy You own your data, we help you share it. [more info](#)

Private Device
You use API keys to choose if and how you share a device's data.

Public Device
You agree to share a device's data under the [CC0 1.0 Universal license](#). The Device's data is indexed by major search engines, and its Feed page is publicly viewable.

✓ Add Device Cancel

Figura 3.26 Dispositivo privado “Sistema de monitoreo-Unicauca” en Xively

Activated [Deactivate](#)
at 29-01-2015 15:59:25 [Deploy](#)

Feed ID	633041582
Feed URL	https://xively.com/feeds/633041582
API Endpoint	https://api.xively.com/v2/feeds/633041582

API Keys

Auto-generated Sistema de Monitoreo - Unicauca device key for feed 633041582

mM1A3gKIFLc6X59G8aFRV92j1Lzda8hIUhv0re97ahJTBuax

permissions READ,UPDATE,CREATE,DELETE

private access

Figura 3.27 Xively Feed ID y API Key



Cada parámetro monitoreado representa un canal en la plataforma de *Xively*. Para el sistema de monitoreo se requirieron cinco canales, estos son: temperatura, humedad y tres para el sistema de corrientes trifásicas. En la Figura 3.27 se observan los canales.

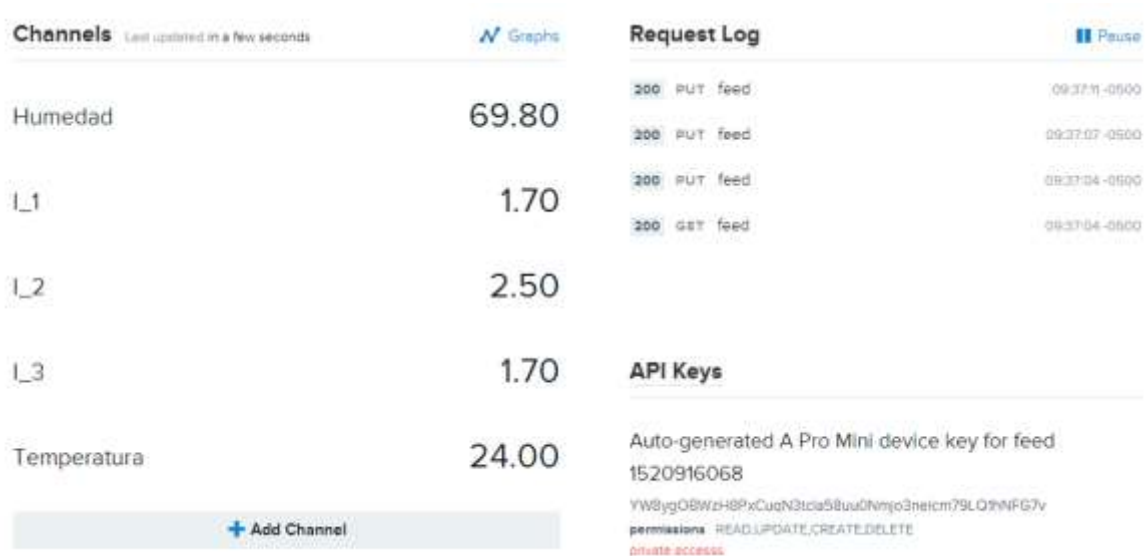


Figura 3.28 Canales para las variables a medir

Gracias a la biblioteca que brinda *Xively* para trabajar con placas de Arduino, la interacción con el sistema se hace mucho más fácil. Los datos son enviados por el Arduino Ethernet a la plataforma de *Xively*. En la Figura 3.28 se presenta los datos sensados y cargados a la plataforma web.



Figura 3.29 Gráficas de las variables medidas en Xively



La aplicación de escritorio, está implementada en el entorno de desarrollo Netbeans⁹ con el lenguaje de programación Java¹⁰. Los requerimientos básicos para el diseño de la aplicación en Java para la visualización local son:

- Implementar una base de datos estática, es decir, de solo lectura.
- Generar gráficas de las variables almacenadas en la base de datos, por meses, semanas y días.

La base de datos se conforma por ficheros con extensión .txt, los cuales se generan en el nodo coordinador y contienen información referente a lecturas realizadas por los nodos sensores, con la fecha y hora de la medición. Para almacenar las lecturas, se utiliza una memoria SD la cual se aloja en el Arduino Ethernet. Al mismo tiempo, se emplea el módulo de Reloj de Tiempo Real (RTC, *Real Time Clock*), con el objetivo de asignar fecha y hora a cada medición.

A continuación, en la Figura 3.29 se ilustran los componentes que conforman la aplicación de escritorio.

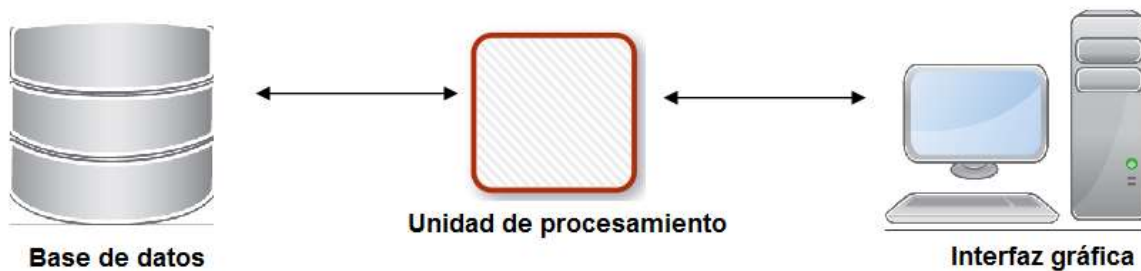


Figura 3.30 Componentes de la aplicación de escritorio

En la Figura 3.30, se observa el menú principal de la interfaz gráfica y en la Figura 3.31 se muestra un ejemplo de la gráfica de corrientes.

⁹ Entorno de desarrollo integrado libre, hecho principalmente para el lenguaje de programación Java.

¹⁰ Lenguaje de programación de propósito general, concurrente y orientado a objetos.



SISTEMA DE MONITOREO
UNICAUCA ESTÉREO

1. Seleccione la fecha de inicio y fin que desea graficar:

Fecha de Inicio: 2015/04/16

Fecha de Fin: 2015/04/19

2. Marque la gráfica que desea ver:

Humedad

Corrientes

Temperatura

GRÁFICAR

3. Fecha de muestra: 1080

Hora: 13:38:43 Fecha: 2015/4/17

Figura 3.31 Menú principal de la interfaz gráfica

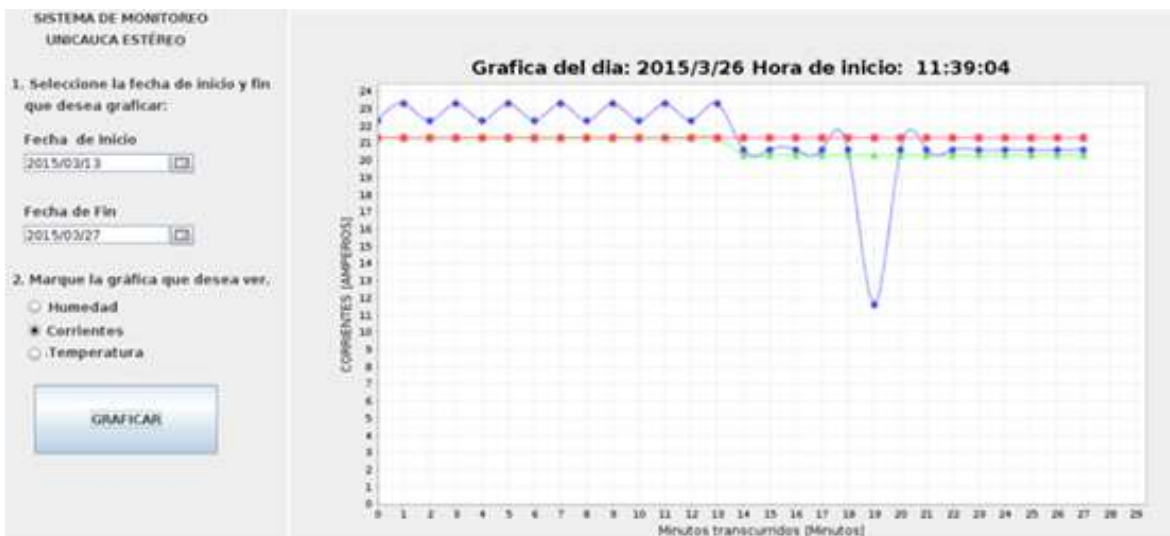


Figura 3.32 Ejemplo de la gráfica de corrientes



VI. Plan de pruebas

Para la evaluación del sistema las pruebas se dividen en dos grupos, como se muestra a continuación:

1) **Evaluación de parámetros técnicos:** se analizan los siguientes parámetros:

- **Cobertura:** tiene como propósito obtener el alcance máximo de comunicación entre los nodos sensores y el nodo coordinador en interiores con y sin línea de vista.
- **Tasa de Error de Tramas (FER):** el objetivo es determinar la cantidad de tramas incorrectas, con relación al número total de tramas enviadas entre los nodos sensores y el nodo coordinador.
- **Integridad de la información:** la finalidad de esta prueba es verificar que la información obtenida por la red de sensores y enviados a través del enlace radioeléctrico, correspondan con los mostrados en la plataforma web.
- **Desempeño del enlace radioeléctrico:** se envían paquetes *IP* mediante el comando ping, con el objetivo de diagnosticar el estado de comunicación. No se realiza análisis de *throughput*, ya que el volumen de información que se envía es mínimo.
- **Prueba de monitoreo:** se pone en funcionamiento el sistema de monitoreo durante 15 días, con el fin de recopilar información y analizar el comportamiento del mismo.

En este capítulo se diseñó y se construyó un sistema de monitoreo, que permite la interconexión de nodos sensores para medir humedad, temperatura y corrientes de línea del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo. En el siguiente capítulo se muestran los resultados de la evaluación del sistema de monitoreo con el fin de verificar que se desempeña correctamente en aspectos técnicos y funcionales.



4 ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrolla el plan de pruebas y se analizan los resultados obtenidos para determinar el desempeño del sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo, para ello se evalúan parámetros técnicos y se pone en funcionamiento el sistema de monitoreo durante quince días, con el fin de analizar la información recolectada.

4.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

A continuación se analizan los parámetros técnicos que permiten determinar el desempeño del sistema de monitoreo, tales como: cobertura, tasa de error de tramas, integridad de la información y desempeño del enlace radioeléctrico.

4.2.1 Cobertura de la red de sensores

El sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales está diseñado para ser puesto en funcionamiento en el cuarto de equipos del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo, sin embargo, no se descarta la posibilidad de ser empleado en diversas aplicaciones que involucren la medición de parámetros tales como temperatura, humedad y corriente; estas aplicaciones puede ser: domótica, monitoreo industrial, telemetría, entre otros. Pues el sistema presenta facilidad de instalación por lo que no está sujeto a condiciones especiales del sitio para su funcionamiento.

Por esta razón, en este apartado se realizan pruebas de cobertura en el entorno real de aplicación y en entornos distintos para el cual fue desarrollado, con el objetivo de determinar el alcance máximo entre nodos, en interiores con y sin línea



de vista y además, concluir si es viable emplear el sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales en otras aplicaciones.

La prueba de cobertura se realiza en cuatro escenarios distintos y empleando cuatro valores de potencia de transmisión, como se muestra en la Tabla 4.1.

Potencia de TX (dBm)
Alta: 0
Media: -6
Baja: -12
Muy baja: -18

Tabla 4.1 Valores de potencia de transmisión

En la Figura 4.1 se muestra el primer escenario, se ubicó el nodo coordinador y los nodos sensores en la caseta del transmisor de Unicauca Estéreo¹¹, el nodo coordinador se colocó en el interior de una gaveta, representando el peor de los casos ya que las paredes de la estructura metálica obstruyen la señal.

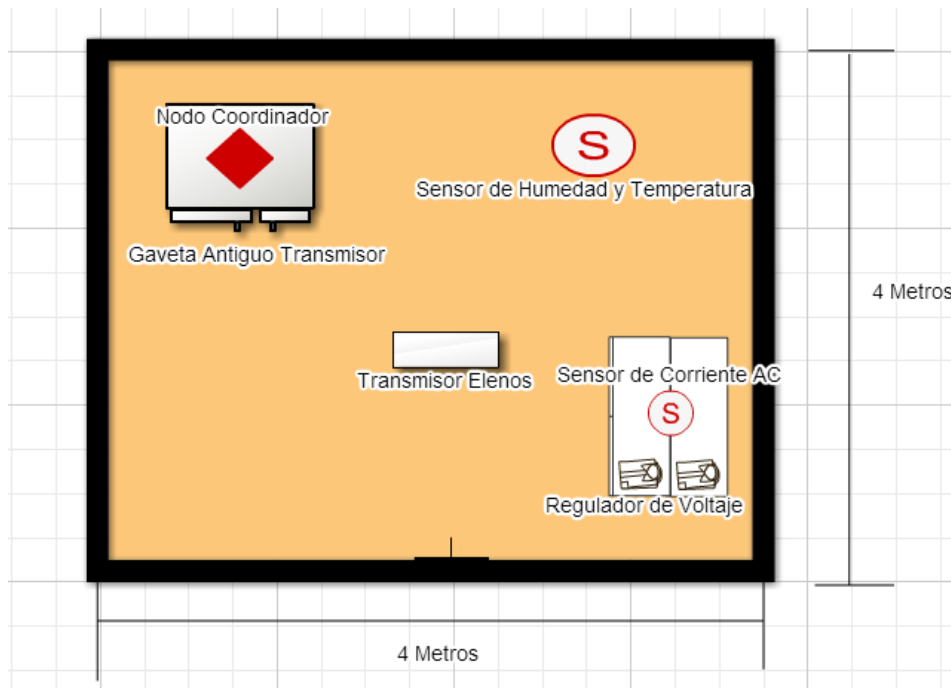


Figura 4.1 Escenario de pruebas

¹¹ Observar Figura 4.1 y 4.2.



En la Tabla 4.2 se observa que es posible establecer la comunicación entre los nodos sensores y el nodo coordinador con las siguientes potencias: alta, media y baja a excepción de la muy baja con la cual los paquetes no llegan a su destino, pues -18dBm no es suficiente para sobrepasar la obstrucción que se presenta entre los nodos.

Potencia de TX	Cobertura
Alta	Si
Media	Si
Baja	Si
Muy baja	No

Tabla 4.2 Resultados del primer escenario

En la Figura 4.2 y 4.3 se observa el segundo escenario de prueba, en este escenario se ubicaron los nodos del sistema en un pasillo bajo condición de línea de vista, variando la distancia de separación entre estos para cada potencia de transmisión. Las distancias máximas alcanzadas, se muestran en la Tabla 4.3.

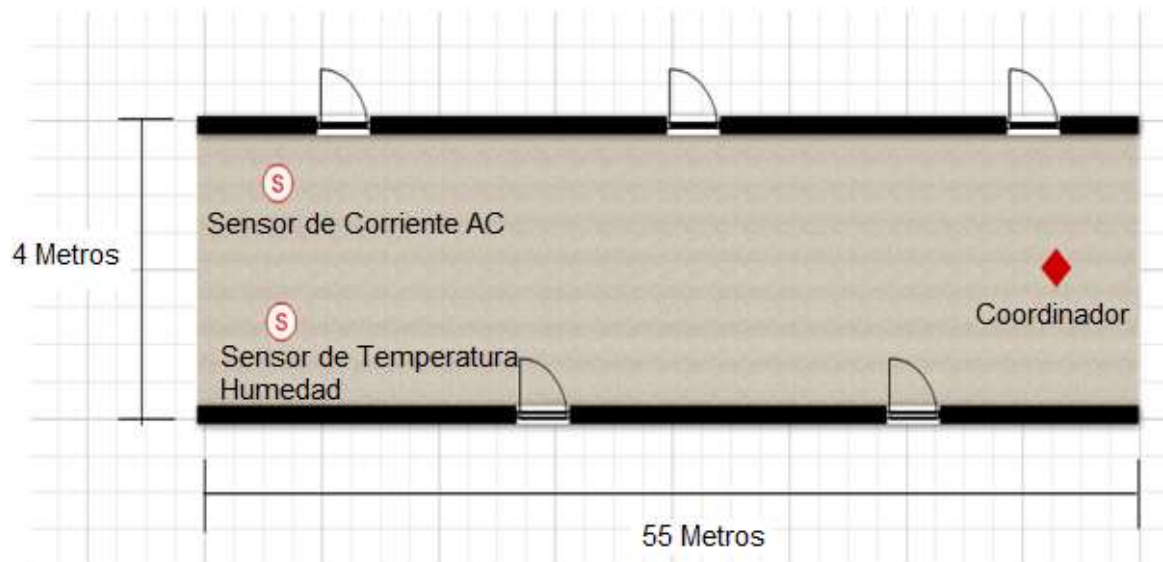


Figura 4.2 Segundo escenario de pruebas

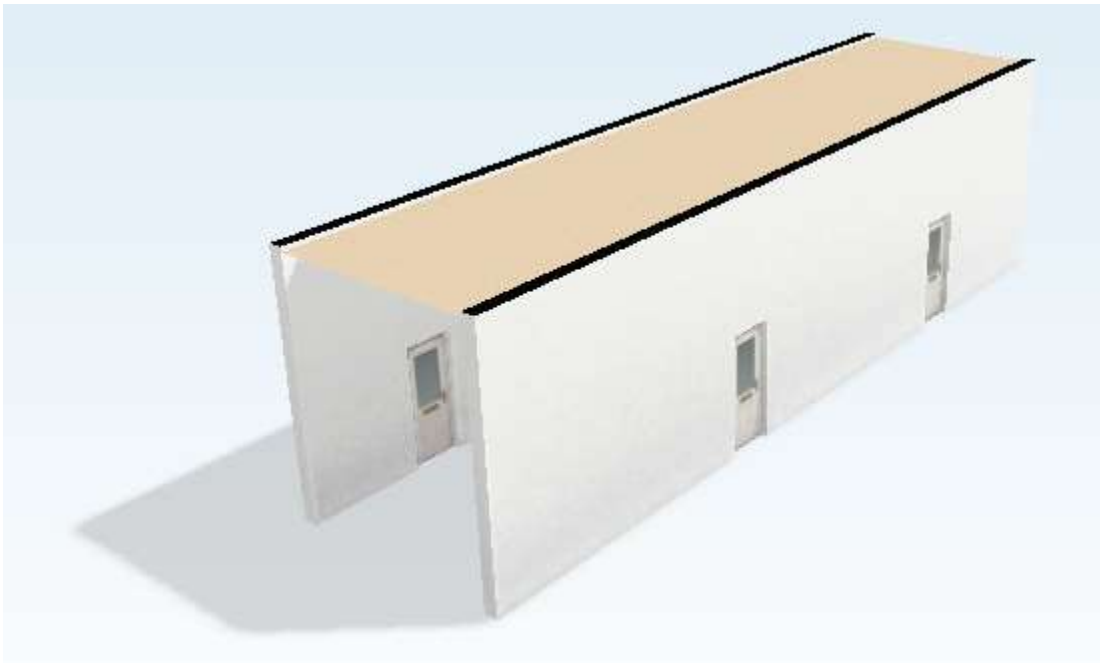


Figura 4.3 Plano 3D del segundo escenario

Potencia de TX	Distancia (m)
Alta	51
Media	43
Baja	35
Muy baja	28

Tabla 4.3 Resultados del segundo escenario

Como se observa en la Tabla 4.3, el sistema consigue un alcance máximo de 51m, este se obtiene, gracias al efecto de guía de onda que genera el pasillo, permitiendo que la señal viaje con pocas pérdidas. Con la potencia media fue posible alcanzar 43m, con la potencia baja 35m y con la muy baja 28m.

En la Figura 4.4 se muestra el tercer escenario. Se ubicó el nodo coordinador en una habitación y los nodos sensores en la habitación contigua sin línea de vista. En la Tabla 4.4, se observa que con las potencias de transmisión baja y muy baja¹² no

¹² Revisar Tabla 4.2 Valores de potencia de transmisión.



es posible establecer la comunicación, sin embargo, con las potencias alta y media sí fue posible realizarla, alcanzando una distancia máxima de 14m y 8m respectivamente.

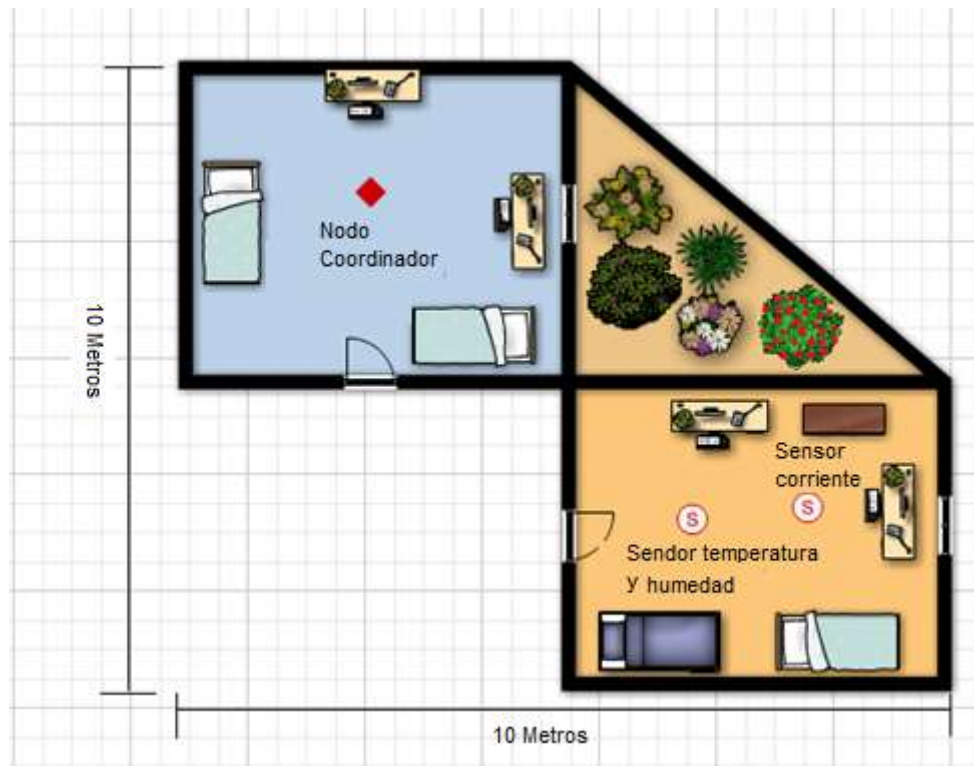


Figura 4.4 Tercer escenario de pruebas

Potencia de TX	Distancia (m)
Alta	14
Media	8
Baja	No fue posible
Muy baja	No fue posible

Tabla 4.4 Resultados del tercer escenario

En la Figura 4.5 se observa el cuarto escenario, se ubicó el nodo coordinador en un piso diferente al de los nodos sensores. Debido a que el grosor de la plancha es de 17cm y está construido con cemento y hierro, fue posible establecer el enlace solo con la potencia alta, alcanzando una distancia máxima de 6m. Esto se logró ya que la plancha era el único obstáculo, pero en casos donde existía gran densidad de



electrodomésticos o artículos de hogar en la zona, la distancia se redujo hasta 2.9m máximo.

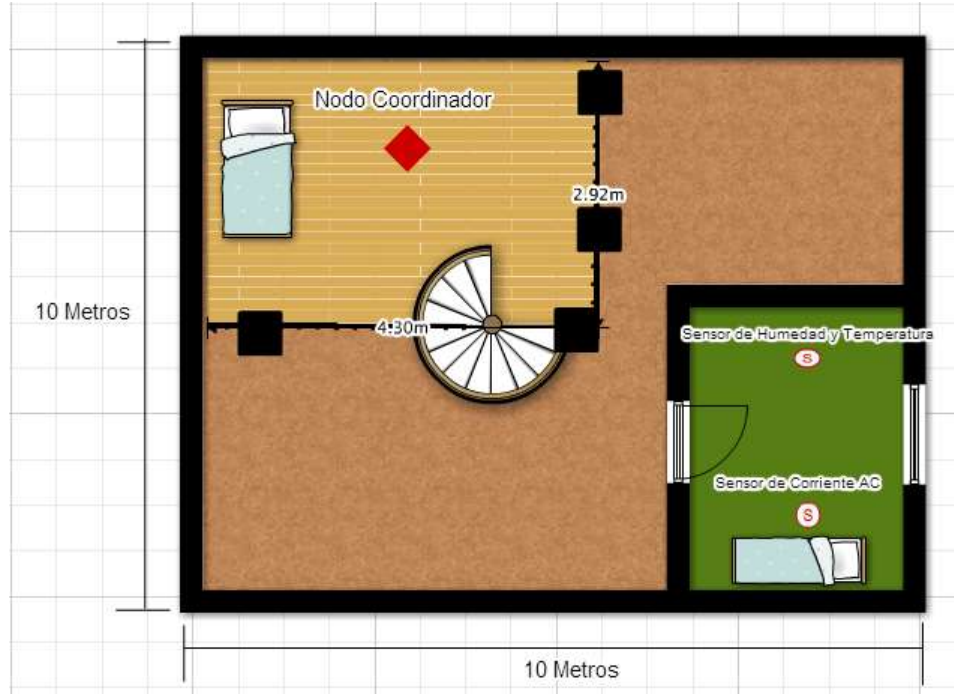


Figura 4.5 Cuarto escenario de pruebas

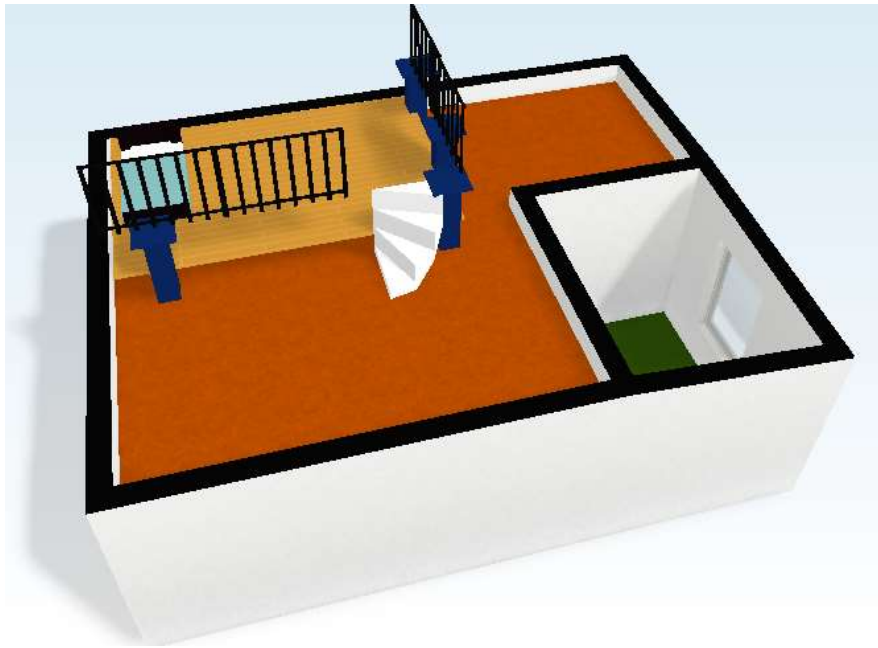


Figura 4.6 Plano 3D del escenario 4

Se concluye que el sistema de monitoreo funciona correctamente en el primer escenario el cual corresponde al entorno real de aplicación. En el segundo escenario se alcanzó una distancia máxima de 51m con la máxima potencia. Para el tercer escenario, el alcance del sistema fue de 14m. Finalmente, el sistema está diseñado especialmente para operar en una sola planta, pero no se descarta la opción de emplearlo entre pisos de un edificio siempre y cuando la distancia no supere los 6m.

4.2.2 Evaluación de la Tasa de error de trama (FER)

La prueba se realizó con la intención de determinar la tasa de error de tramas de la red de sensores. Se llevó a cabo en el escenario real de aplicación, el nodo coordinador se colocó en el interior de un armario a una distancia de 4m respecto a los nodos sensores, tal como se observa en la Figura 4.7.

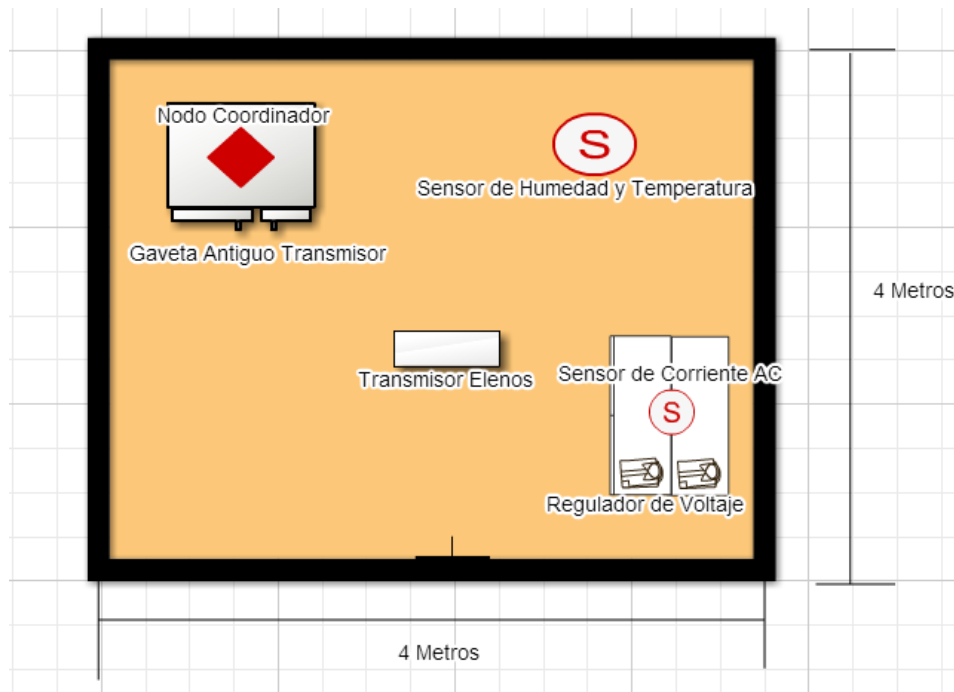


Figura 4.7 Escenario real de pruebas

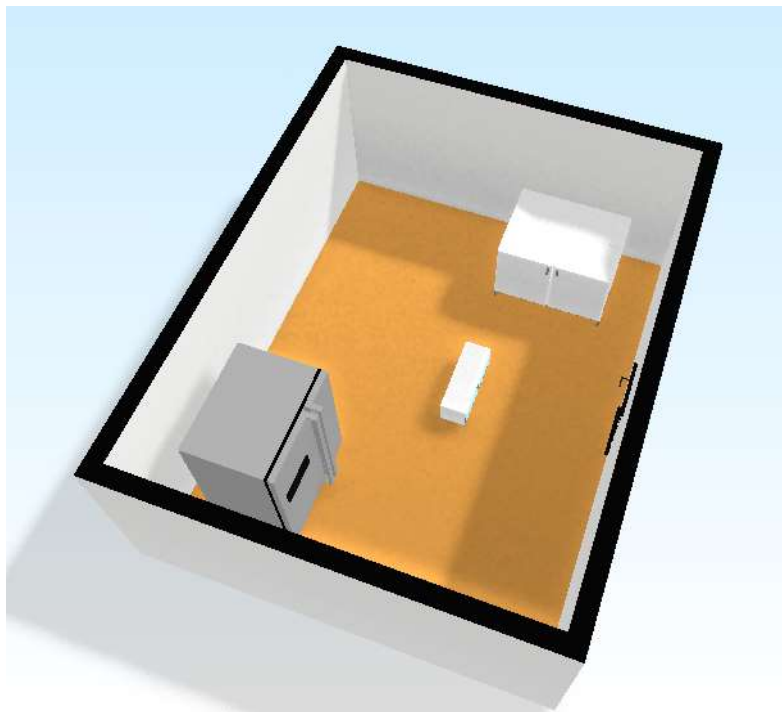


Figura 4.8 Plano 3D del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo



Se configuró un código para que los nodos sensores enviaran 2500 tramas de información al nodo coordinador, este debe recibir un total de 5000 tramas, ya que son dos nodos sensores. En la Figura 4.9 se muestran los resultados de la prueba desplegados a través de la ventana del Monitor Serial del *ARDUINO IDE*.



Figura 4.9 Tramas correctas e incorrectas

A partir de la ecuación 4.1 se calculó la FER, los resultados se observan en la Tabla 4.5¹³.

$$\%FER = \frac{\text{Tramas incorrectas recibidas}}{\text{Tramas totales enviadas}} \times 100 \quad (4.1)$$

¹³ Esta prueba se repitió durante cinco veces y los resultados que se muestran en la Tabla 4.5 corresponden a los promedios.



Nodo	Tramas correctas	Tramas Incorrectas	% FER
Temperatura y Humedad	2500	0	0
Corriente	2498	2	0.08

Tabla 4.5 FER de los dispositivos sensores del sistema de monitoreo

De acuerdo a la tabla 4.5, el nodo sensor de temperatura y humedad presenta una FER de 0% mientras que el nodo sensor de corriente de 0.08%, es decir que de 2500 tramas enviadas, dos no llegaron o llegaron erróneas.

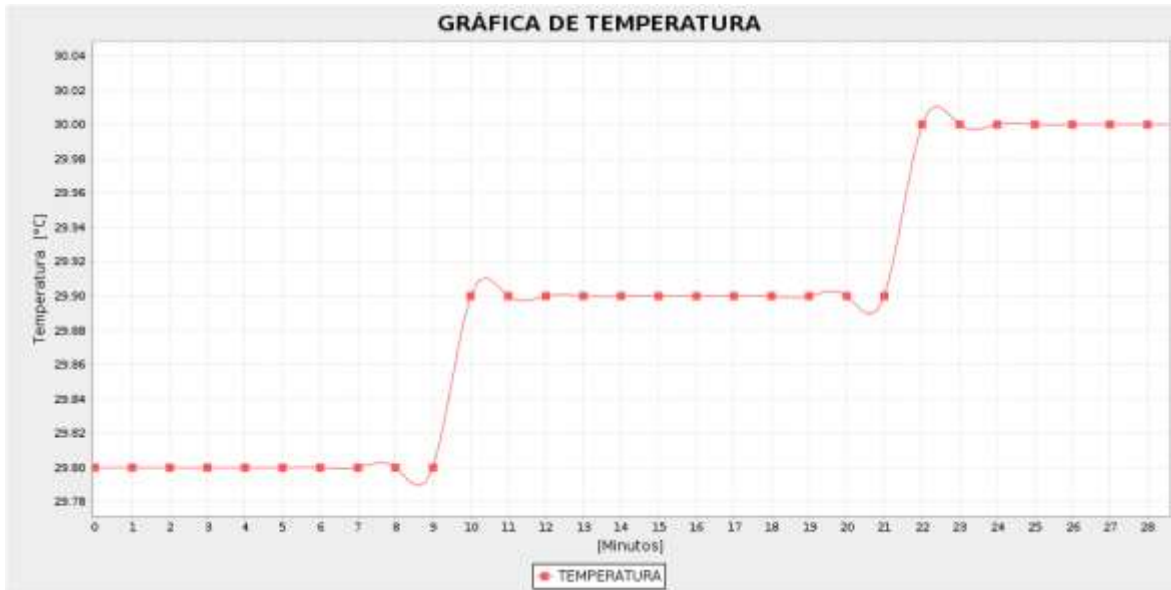
Durante la realización de la prueba, el sistema de monitoreo intercambió un total de 5000 tramas de información, de las cuales se presentaron dos tramas erróneas, por lo que se determina que la FER total del sistema es de 0.04% o 4×10^{-4} , indicando que por cada 10000 tramas se recibirán 4 erróneas.

En general para conexiones inalámbricas en aplicaciones de monitoreo no se especifica un valor de FER máximo permitida, sin embargo la FER obtenida para el sistema garantiza un funcionamiento continuo, teniendo en cuenta que en caso de perderse una trama de información, el sistema realiza un nuevo ciclo de recolección de información en un corto lapso de tiempo.

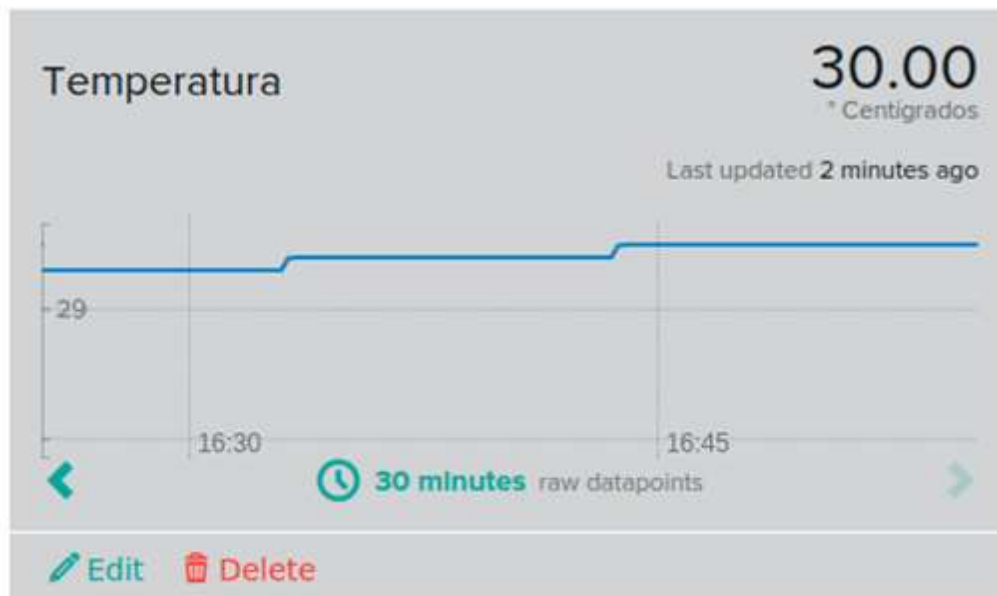
4.2.3 Integridad de la información

Esta prueba tiene como objetivo comprobar que los valores de temperatura, humedad y corriente obtenidos por la red de sensores, correspondan con los mostrados en la plataforma web. Para esto, se comparan los datos almacenados en la memoria SD por el nodo coordinador, con los mostrados en la plataforma web *Xively*.

En la Figura 4.10 se observan dos tipos de gráficas, la Figura 4.10 (A) corresponde a los datos almacenados en la memoria SD y graficados por la aplicación de escritorio; la Figura 4.10 (B) corresponde a los datos subidos a la plataforma web por el sistema de monitoreo. Las dos gráficas presentan un valor inicial de temperatura de 29.8°C, en el minuto 9 ascienden a los 29.9°C hasta el 21 y en este sube hasta los 30°C. Como se puede apreciar, las dos graficas analizadas representan el mismo comportamiento.



(A)

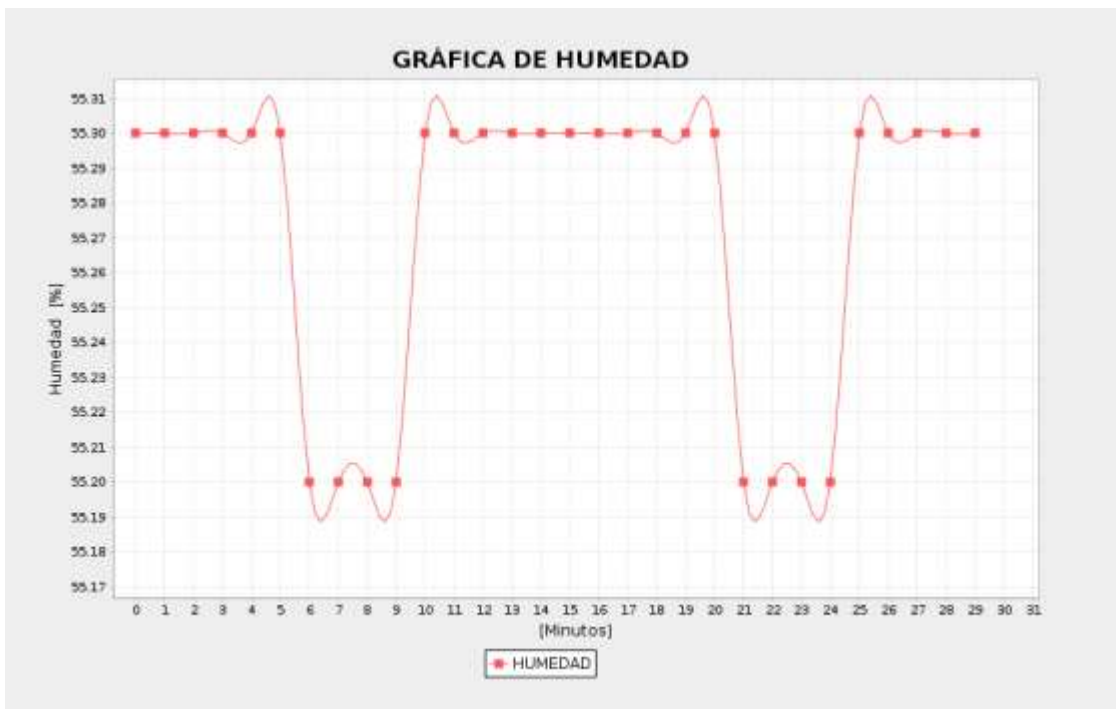


(B)

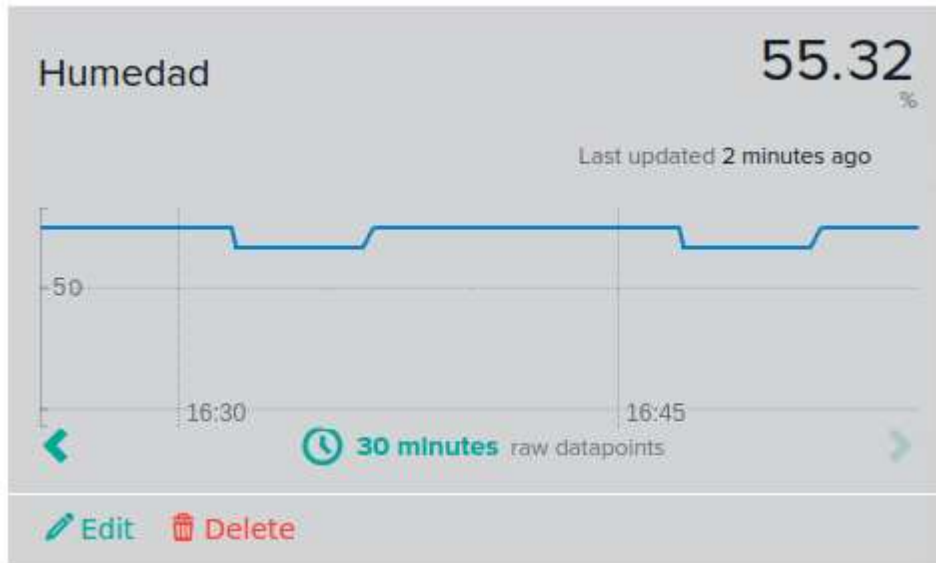
Figura 4.10 Temperatura en el transmisor de Unicauca Estéreo



En la Figura 4.11 se observan dos tipos de gráficas, la Figura 4.11 (A) corresponde a los datos almacenados en la memoria SD y graficados por la aplicación de escritorio; la Figura 4.11 (B) corresponde a los datos subidos a la plataforma web por el sistema de monitoreo. Tanto la gráfica (A) como la gráfica (B) inician con una humedad de 53.3% y presentan dos valores mínimos, el primero de 55.2% inicia en el minuto 6 hasta el 9 y el segundo de igual valor, inicia en el minuto 21 hasta el 24.



(A)



(B)

Figura 4.11 Humedad en el transmisor de Unicauca Estéreo

En la Figura 4.12 se observan dos tipos de gráficas, la Figura 4.12 (A) corresponde a los datos almacenados en la memoria SD y graficados por la aplicación de escritorio; la Figura 4.12 (B) corresponde a los datos subidos a la plataforma web por el sistema de monitoreo. En las dos gráficas se observa un valor constante de 21.3A para la fase 1 y 3, para la fase 2 el valor constante de corriente es de 22.3A.

Como se observó, las gráficas generadas a partir de la aplicación de escritorio y la plataforma web representan de manera similar el comportamiento de las variables en estudio, se concluye que la información mostrada en la plataforma web corresponde con la información recopilada por el sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.

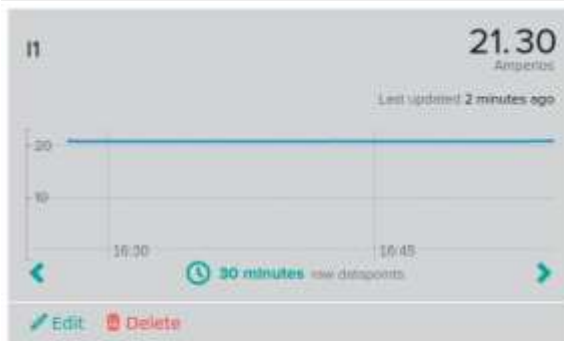
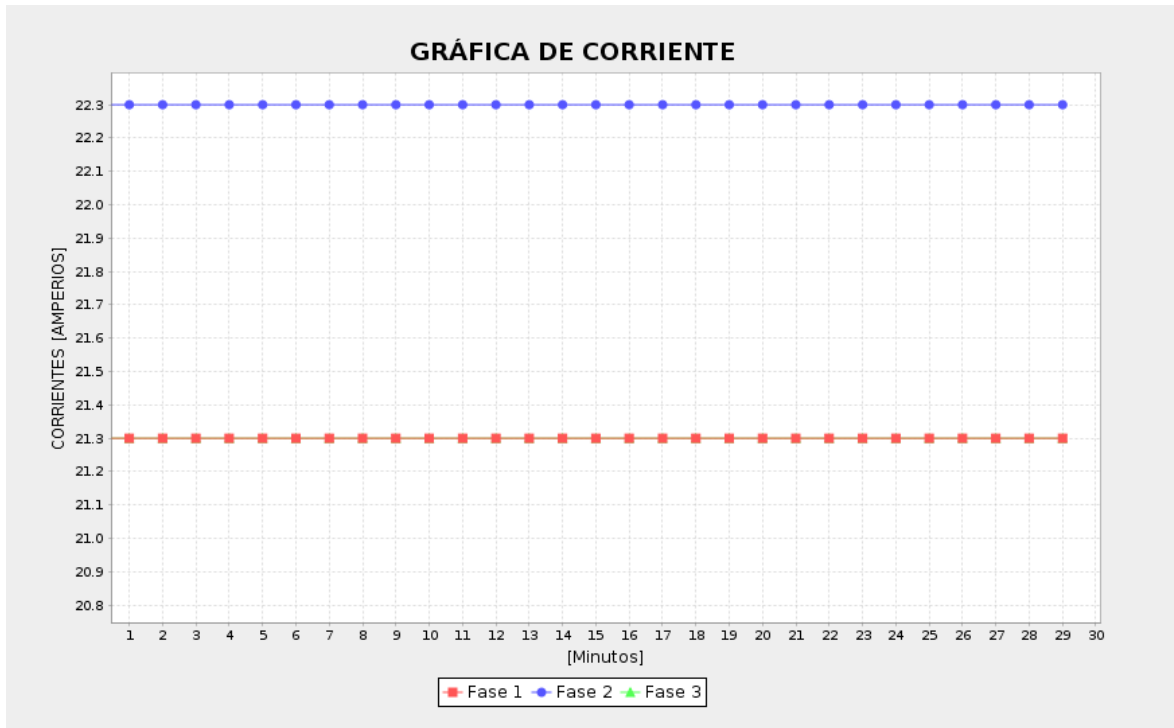


Figura 4.12 Corriente en el transmisor de Unicauca Estéreo



4.2.4 Desempeño del enlace radioeléctrico

Para verificar el funcionamiento del enlace radioeléctrico, el equipo ubicado en la finca la Rejoja se configuró como punto de acceso y el ubicado en la FIET como estación. En la Figura 4.13 se muestra la configuración de la red empleada.

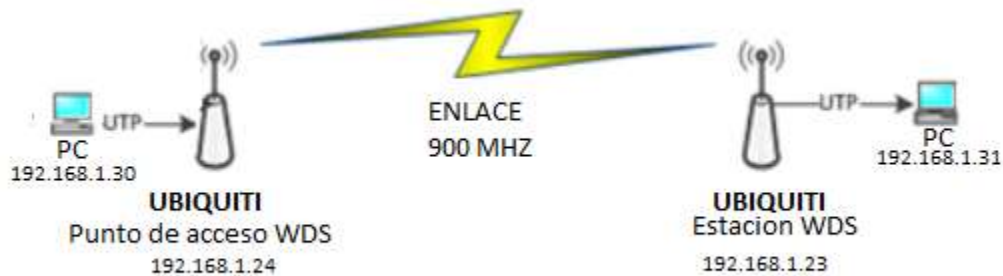


Figura 4.13 Configuración del enlace

La configuración de los equipos empleados en la red se describe en el anexo B. Para esta prueba se envió una solicitud de eco ICMP desde el computador con la dirección IP 192.168.1.30 ubicado en la Rejoja a los demás dispositivos que conforman la red, en la Figura 4.14 se observan las pruebas de conectividad del enlace radioeléctrico.



```

beach@Beach:~$ ping -c 10 192.168.1.24
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=82 ttl=64 time=0.209 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=83 ttl=64 time=0.215 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=84 ttl=64 time=0.218 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=85 ttl=64 time=0.208 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=86 ttl=64 time=0.211 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=87 ttl=64 time=0.201 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=88 ttl=64 time=0.215 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=89 ttl=64 time=0.222 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=90 ttl=64 time=0.209 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=91 ttl=64 time=0.217 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=92 ttl=64 time=0.316 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=93 ttl=64 time=0.219 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=94 ttl=64 time=11.3 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=95 ttl=64 time=0.202 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=96 ttl=64 time=0.213 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=97 ttl=64 time=0.203 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=98 ttl=64 time=4.32 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=99 ttl=64 time=0.203 ms
64 bytes from 192.168.1.24: icmp_seq=100 ttl=64 time=0.213 ms
^C
--- 192.168.1.24 ping statistics ---
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 99806ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.150/0.874/13.767/2.553 ms
beach@Beach:~$

beach@Beach:~$ ping -c 10 192.168.1.23
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=82 ttl=64 time=30.216 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=83 ttl=64 time=39.020 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=84 ttl=64 time=23.213 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=85 ttl=64 time=38.209 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=86 ttl=64 time=30.242 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=87 ttl=64 time=57.239 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=88 ttl=64 time=30.220 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=89 ttl=64 time=30.238 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=90 ttl=64 time=36.221 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=91 ttl=64 time=57.257 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=92 ttl=64 time=36.226 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=93 ttl=64 time=39.325 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=94 ttl=64 time=57.224 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=95 ttl=64 time=31.220 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=96 ttl=64 time=34.236 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=97 ttl=64 time=31.234 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=98 ttl=64 time=34.231 ms
64 bytes from 192.168.1.23: icmp_seq=99 ttl=64 time=67.231 ms
^C
--- 192.168.1.23 ping statistics ---
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 98987ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.189/0.637/9.826/1.702 ms
beach@Beach:~$

beach@Beach:~$ ping -c 10 192.168.1.31
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=82 ttl=64 time=64.238 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=83 ttl=64 time=56.206 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=84 ttl=64 time=64.238 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=85 ttl=64 time=63.226 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=86 ttl=64 time=63.221 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=87 ttl=64 time=63.237 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=88 ttl=64 time=59.208 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=89 ttl=64 time=56.222 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=90 ttl=64 time=63.205 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=91 ttl=64 time=59.156 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=92 ttl=64 time=63.294 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=93 ttl=64 time=59.207 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=94 ttl=64 time=63.203 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=95 ttl=64 time=59.212 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=96 ttl=64 time=63.205 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=97 ttl=64 time=64.189 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=98 ttl=64 time=59.209 ms
64 bytes from 192.168.1.31: icmp_seq=99 ttl=64 time=56.215 ms
^C
--- 192.168.1.31 ping statistics ---
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 98996ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.156/0.428/13.015/1.368 ms
beach@Beach:~$
  
```

Figura 4.14 Prueba de conectividad del enlace radioeléctrico

En la Tabla 4.6 se presentan los resultados de conectividad del enlace radioeléctrico.

Emisor	Receptor	Paquetes transmitidos	Paquetes perdidos	Latencia (ms)
192.168.1.30	192.168.1.24	100	0	6
192.168.1.30	192.168.1.23	100	0	30
192.168.1.30	192.168.1.31	100	0	34

Tabla 4.6 Resultados de conectividad

De acuerdo con la Tabla 4.6, se observa que no se presentaron pérdidas de paquetes, por lo cual se concluye que el radioenlace entre la finca la “Rejoja” y la FIET funciona correctamente.

La carga útil que se envía a través del enlace de comunicaciones cada minuto es de 48 bytes y el equipo de radiofrecuencia está configurado para soportar una tasa de transferencia de 6.5Mbps. Debido a que el volumen de información que se envía



es mínimo comparado con la capacidad del equipo, no se considera necesario realizar análisis de *throughput*.

La fase de implementación y evaluación del enlace radioeléctrico implicó superar una serie de dificultades, pues las leyes vigentes que regulan los trabajos en altura le impedía a los estudiantes efectuar directamente los trabajos¹⁴, por lo cual se hizo necesario recurrir a los servicios que presta la brigada de emergencia de la Universidad del Cauca, quienes amablemente prestaron sus servicios en un principio, pero con el tiempo no se les permitió a ellos apoyar esta clase de labores académicas, por lo cual los estudiantes quedaron sin apoyo para realizar las labores de alturas.

4.3 PRUEBA DE MONITOREO

En esta prueba se puso en funcionamiento el sistema de monitoreo de variables técnicas y ambientales en la estación de transmisión de Unicauca Estéreo durante quince días¹⁵, en la cual, el sensor de temperatura y humedad fue ubicado a una altura media en una de las paredes laterales del cuarto de equipos, los sensores de corriente se ubicaron a la salida del regulador de voltaje y se alimentaron a la entrada, con la intención de determinar si las fallas que ocurren en el interior del regulador o en el operador de red eléctrica.

A continuación se muestra la información recopilada por el sistema de monitoreo durante su funcionamiento. En la Figura 4.15 se observa la gráfica de temperatura, en la Figura 4.16 la de humedad y en la Figura 4.17 la de corriente, las cuales corresponden a la primera semana de monitoreo (16, 17, 18 y 19 de abril).

¹⁴ Es necesario tener aprobado y actualizado curso en alturas, por esto se recomienda que el departamento ofrezca dicho curso a los estudiantes del programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

¹⁵ Inicia desde el día 16 de marzo hasta el día 29 de marzo de 2015.

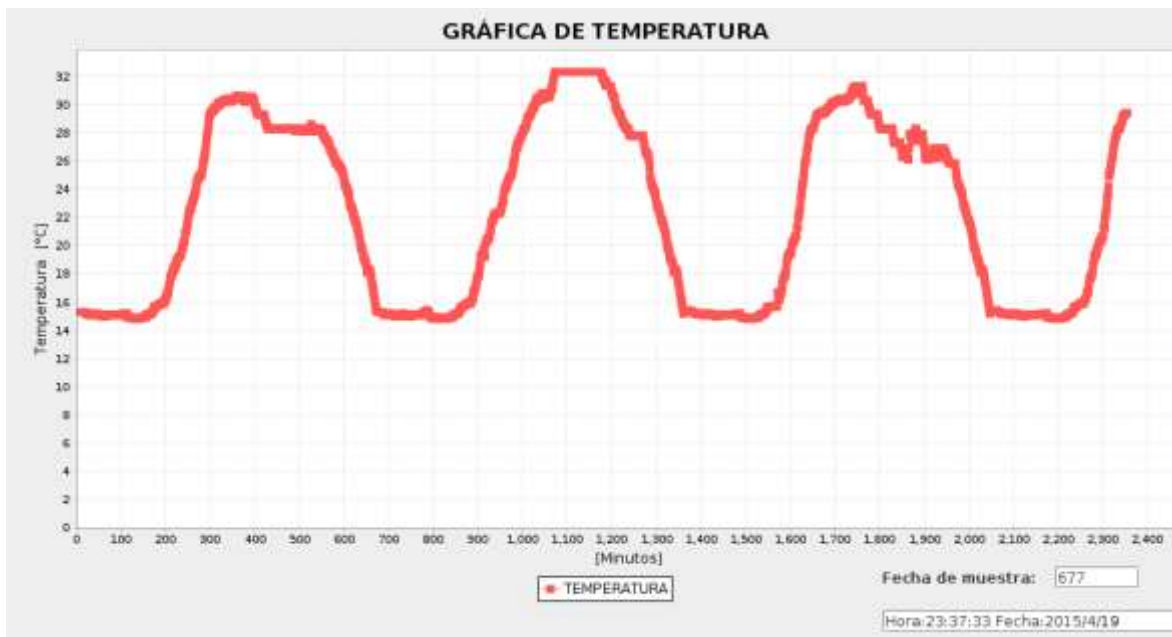


Figura 4.15 Temperatura del sistema monitoreado entre el 16 y 19 de abril

En la Figura 4.15 se puede apreciar que la temperatura del entorno alcanzó un máximo de 32°C entre la 1:33 pm y la 1:45 pm del 17 de abril de 2015. Además todos los días, el cuarto de equipos desciende a una temperatura mínima entre 14 y 15°C en horas de la madrugada. Según recomendaciones del fabricante del transmisor Elenos, la temperatura ambiente del cuarto de operaciones no debe superar los 30°C, para obtener un óptimo rendimiento del equipo.

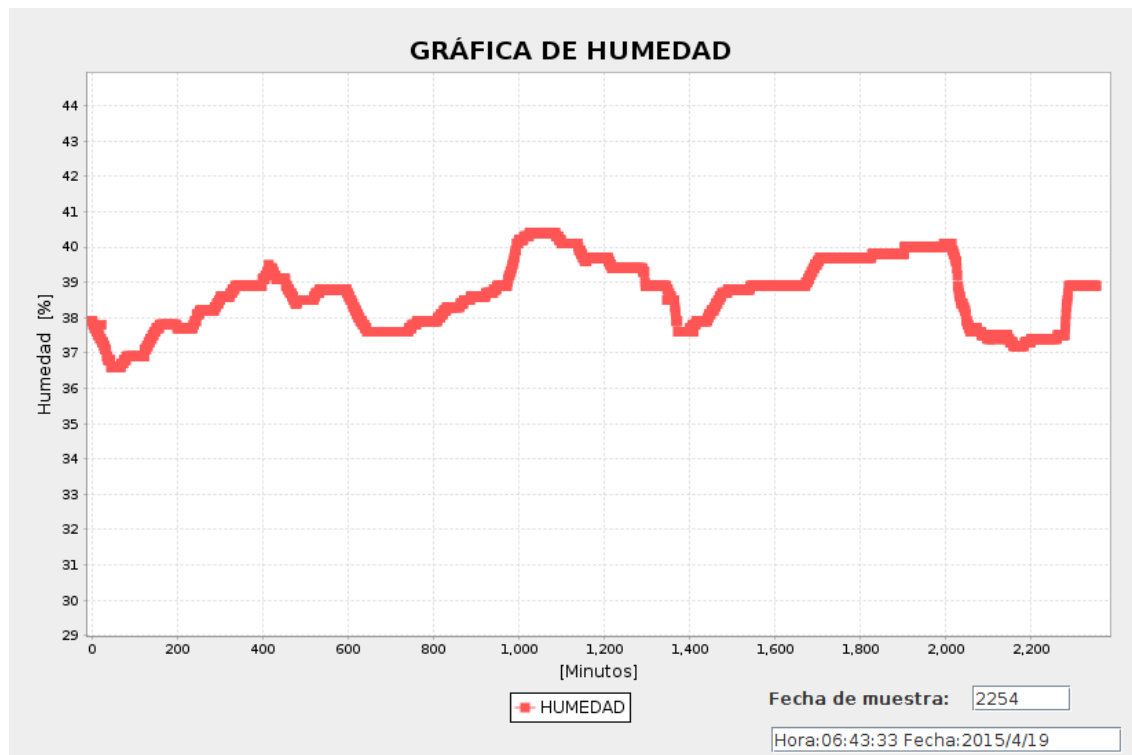


Figura 4.16 Humedad del sistema monitoreado entre el 16 y 19 de abril

En la Figura 4.16 se observa el comportamiento de la humedad, ésta alcanza un valor máximo de 40.5% y un valor mínimo en las madrugadas de 35%. Además, los valores máximos de humedad se alcanzan entre las 8 am y las 10 am, cuando la temperatura se eleva debido a la puesta del sol y con ello se realiza el proceso de evaporación del agua condensada durante la noche. El fabricante del equipo transmisor recomienda una humedad máxima de 95% cuando el equipo está en funcionamiento.

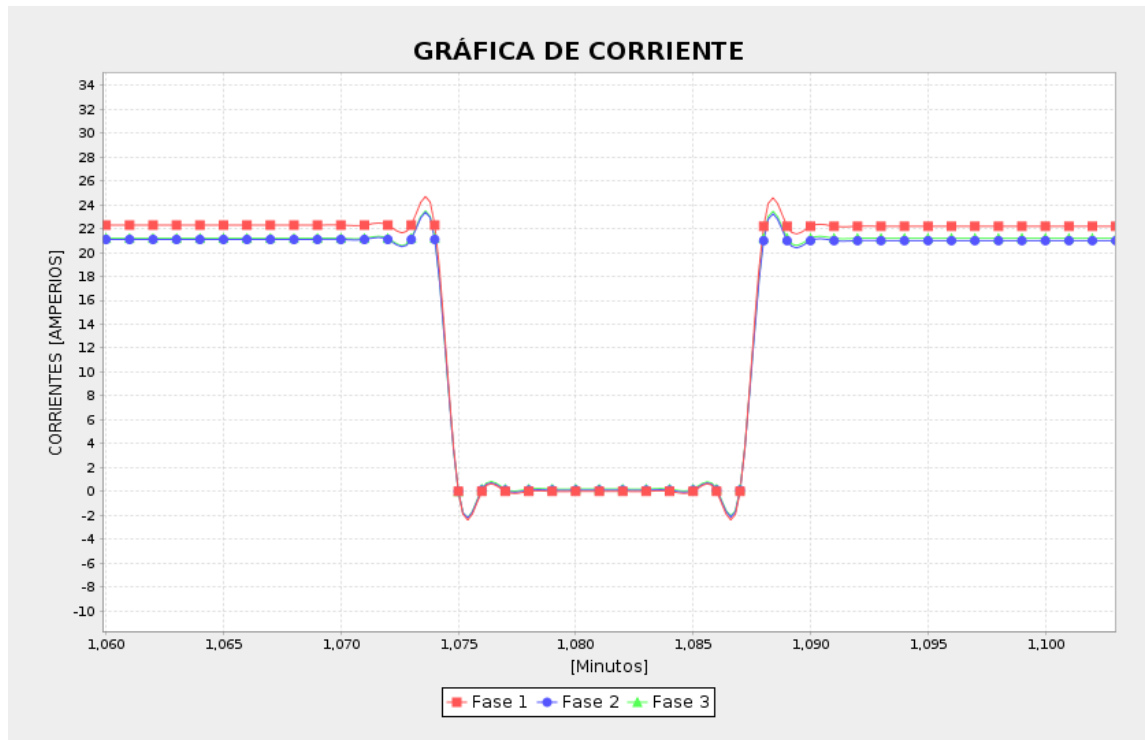


Figura 4.17 Corriente del sistema monitoreado entre el 16 y 19 de abril

La Figura 4.17 representa la gráfica de corrientes, la primera fase oscila alrededor de los 22.1A y las fases 2 y 3 alrededor de 21.1A. Según el fabricante del equipo transmisor, las corrientes de fase deben ser mínimo de 19A, pero no aclara cual es el valor máximo soportado por éste en un sistema trifásico de 220VAC¹⁶.

Las tres fases de corriente presentan una caída brusca de amperaje, decaen de su valor promedio hasta 0A, esto indica que ocurrió una interrupción del flujo de corriente. Dado que los nodos sensores del sistema de monitoreo estaban siendo alimentados a la entrada del regulador, se puede constatar que la falla ocurrió en el interior del regulador de voltaje, pues el sistema de monitoreo seguía operando con normalidad, es decir seguía siendo alimentado, mientras que los sensores a la salida registraban 0A, lo cual indica que no se presentaron fallas en el operador de red eléctrica de la zona sino en el interior del regulador de voltaje trifásico. Dicha caída de amperaje se dio el día 17 de abril a la 1:33 pm y se terminó a la 1:45 pm del mismo día. Además se encontró que la caída de corriente sucedió en la misma hora en que se presentaron los picos altos de temperatura.

¹⁶ Revisar anexo D

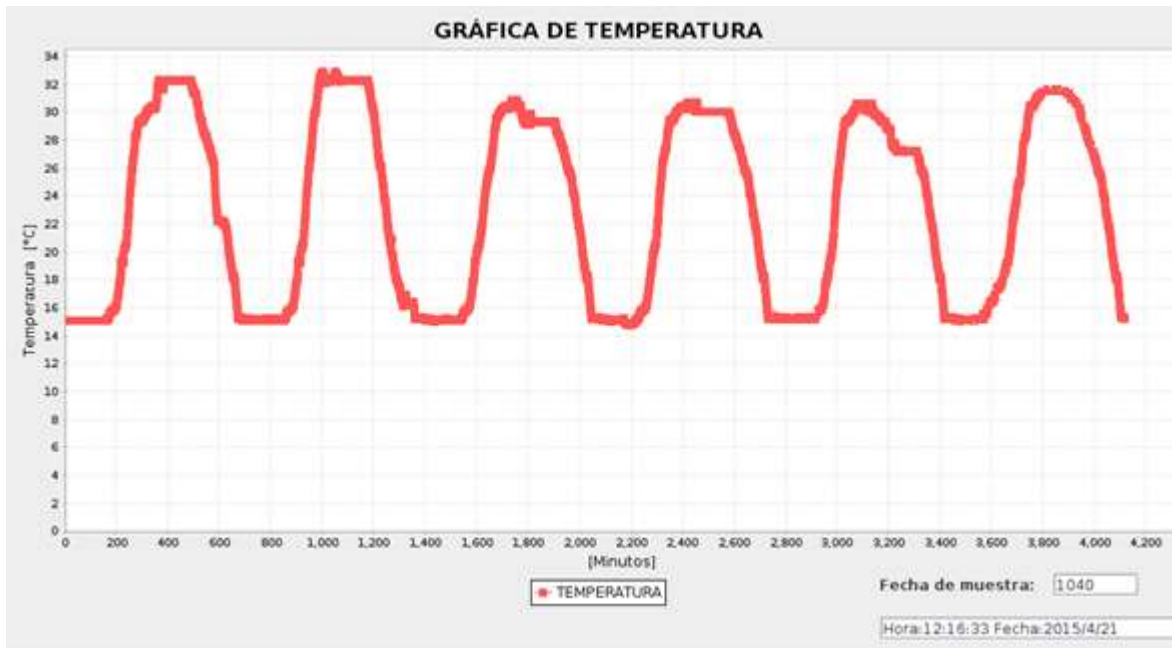


Figura 4.18 Temperatura del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril

En la Figura 4.18 se observa la gráfica de temperatura de la segunda semana de monitoreo. En esta semana los dos primeros días fueron los más calurosos, alcanzando temperaturas máximas de 32°C. Los siguientes días presentan temperaturas más bajas.

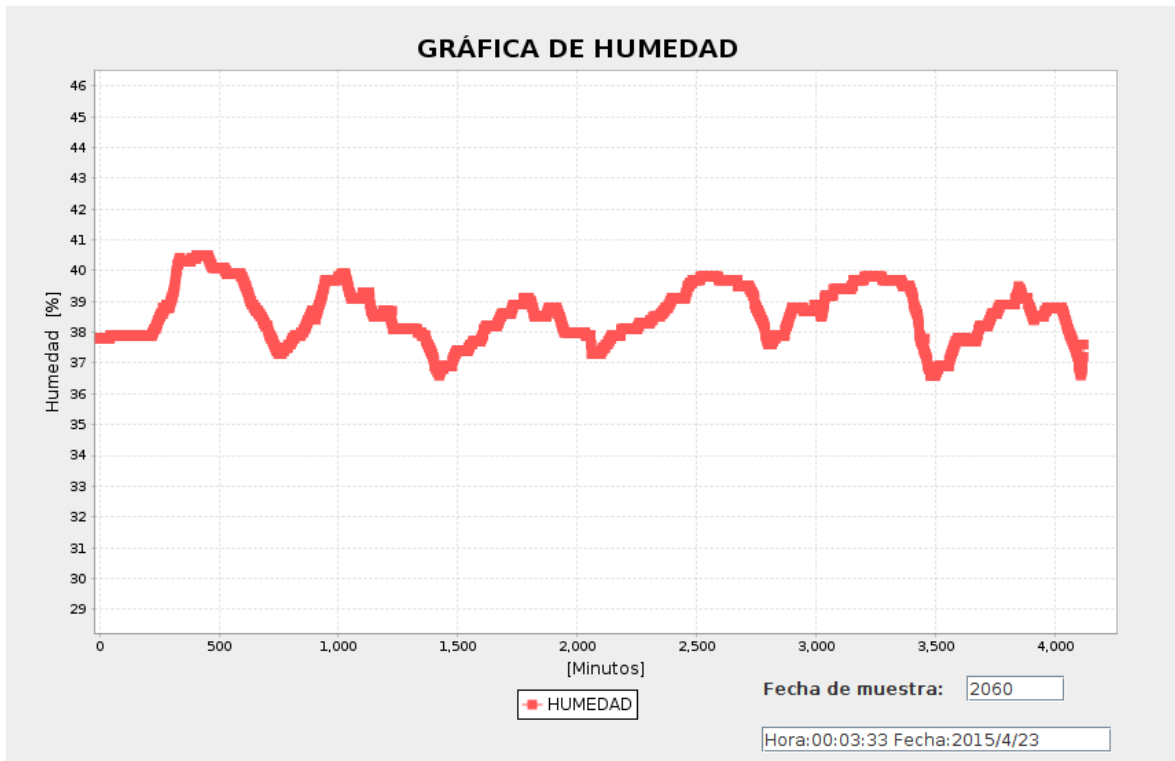


Figura 4.19 Humedad del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril

La Figura 4.19 representa el comportamiento de la humedad en la segunda semana de monitoreo, se observa un valor máximo de 40.7% y un valor mínimo de 36.6%. En la Figura 4.20 se observa la gráfica de corriente correspondiente a la segunda semana de monitoreo, están representadas las tres fases, la fase 2 y 3 sobre los 21.3A con color azul y verde respectivamente y la fase 1 sobre los 22.3A con color rojo. Además se presentan dos caídas a 0A en el primer y séptimo día de la misma semana. La Figura 4.21 muestra una ampliación de la Figura 4.20, resaltando la caída de amperaje que ocurrió el primer día de la segunda semana de monitoreo, se observa una línea de seis puntos sobre los 0A, dado que las muestras se grafican cada minuto se concluye que la caída de amperaje duró 6 minutos.

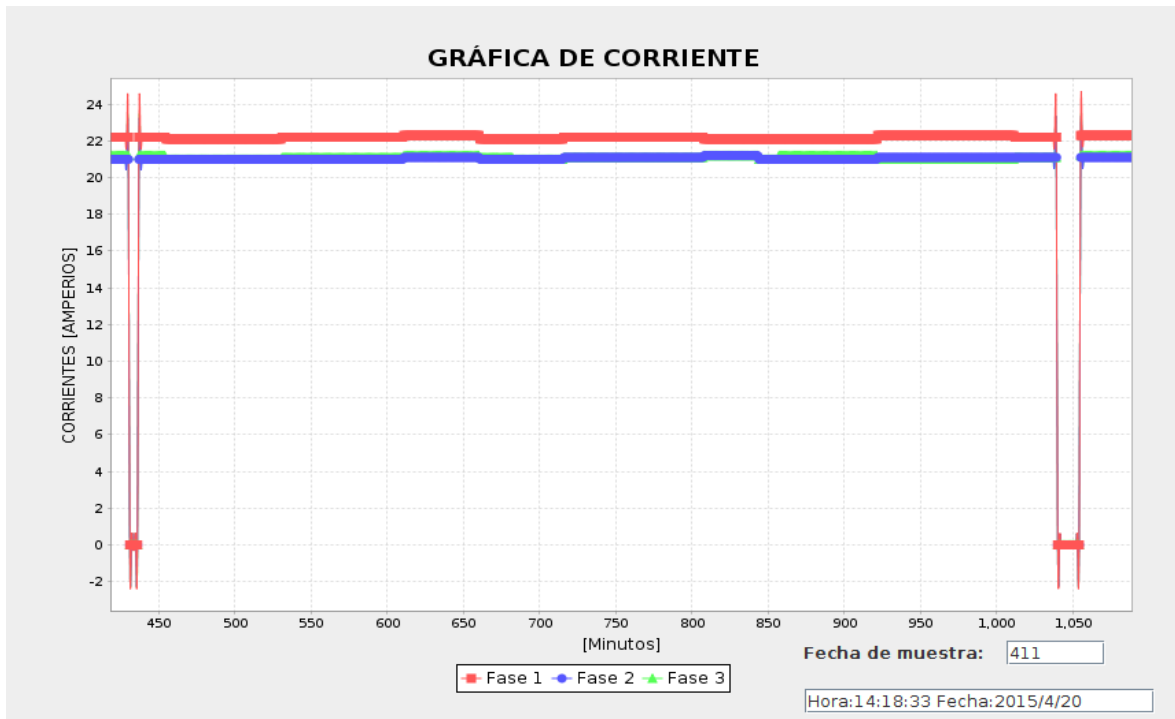


Figura 4.20 Corriente del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril

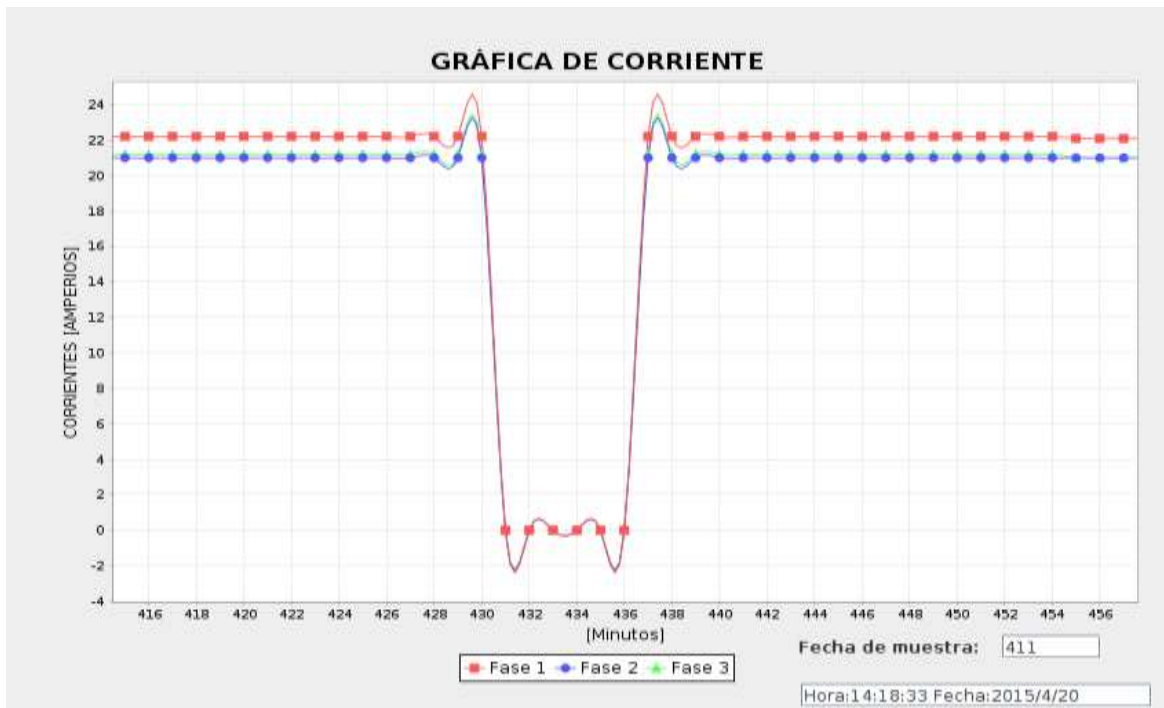


Figura 4.21 Corriente del sistema monitoreado entre el 20 y 26 de abril



La Figura 4.22 representa el comportamiento de la temperatura durante la tercera semana de monitoreo, del mismo modo que en las anteriores semanas, el sistema registra temperaturas máximas de 32°C y mínimas de 15°C durante la madrugada.

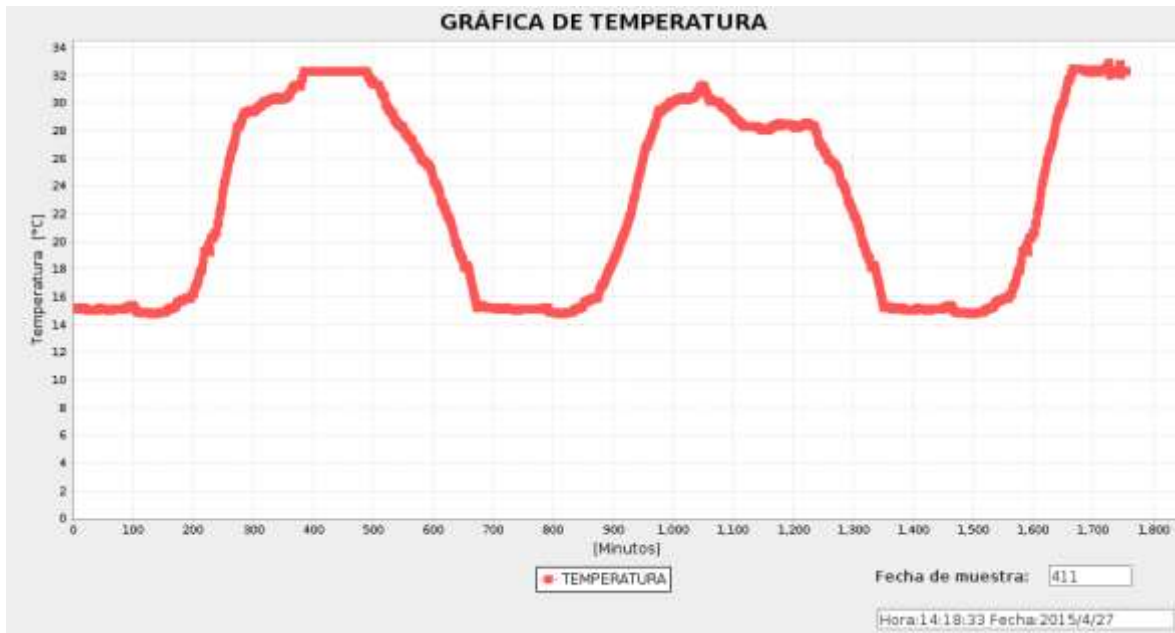


Figura 4.22 Temperatura del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril

En la Figura 4.23 se presenta la gráfica que describe el comportamiento de la humedad en la caseta del transmisor de Unicauca Estéreo, se observa valores de humedad inferiores a 41% y superiores a 36%. Se observa que el día con más humedad fue el 27 de abril que registra un pico de 41% de humedad relativa.

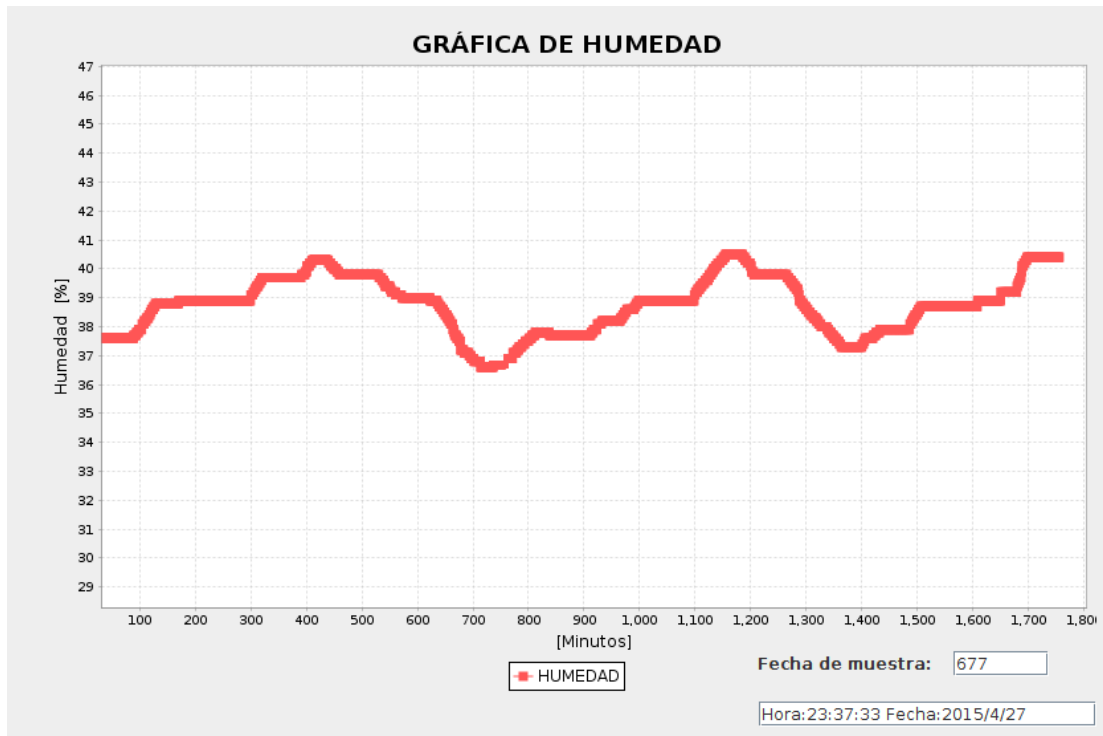


Figura 4.23 Humedad del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril

La Figura 4.24 corresponde a la gráfica de corriente y se observa que las tres fases se mantienen constante entre 21.3A y 22.3A, a diferencia de una caída de amperaje que se registra en el primer día de la semana, el cual presenta valores de 0A en las tres fases durante 15 minutos hasta que regresa nuevamente a sus valores promedio.

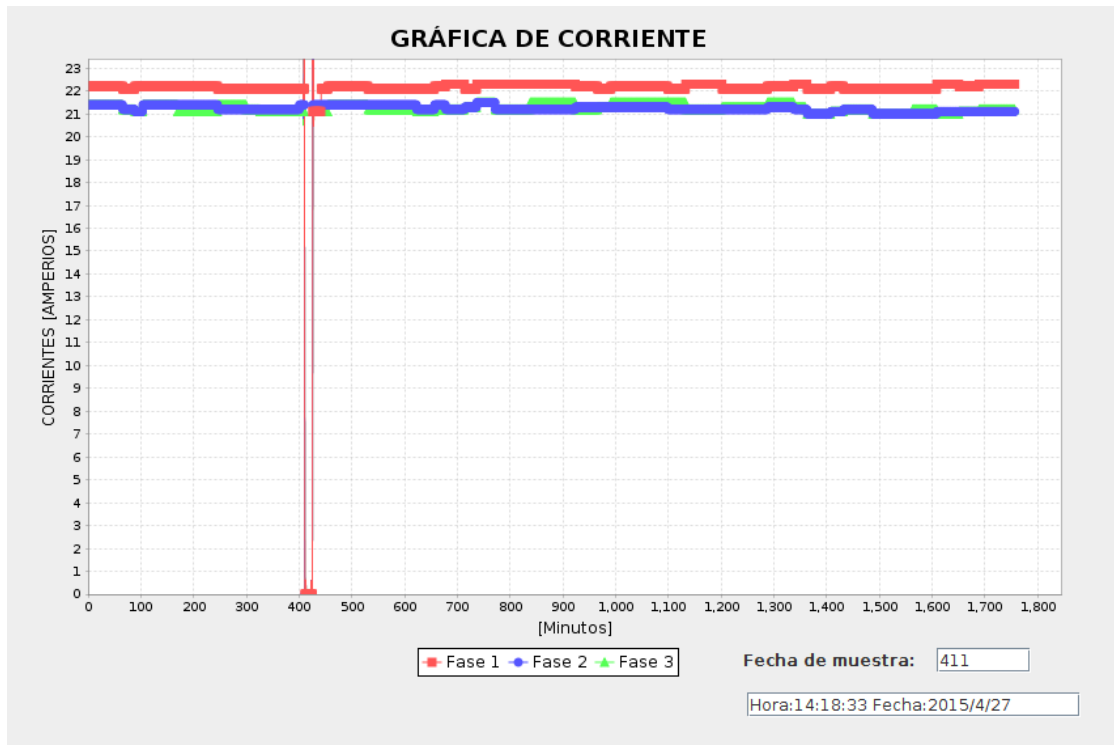


Figura 4.24 Corrientes del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril

La Figura 4.25 muestra una ampliación de la Figura 4.24 que describe el comportamiento de las tres fases de corriente del sistema en la tercera semana y resalta la caída del valor de amperaje para las tres fases. Se nota que las tres fases descienden a 0A y se mantienen allí durante quince muestras seguidas, lo que indica que la caída de amperaje ocasionada tuvo una duración de 15 minutos.

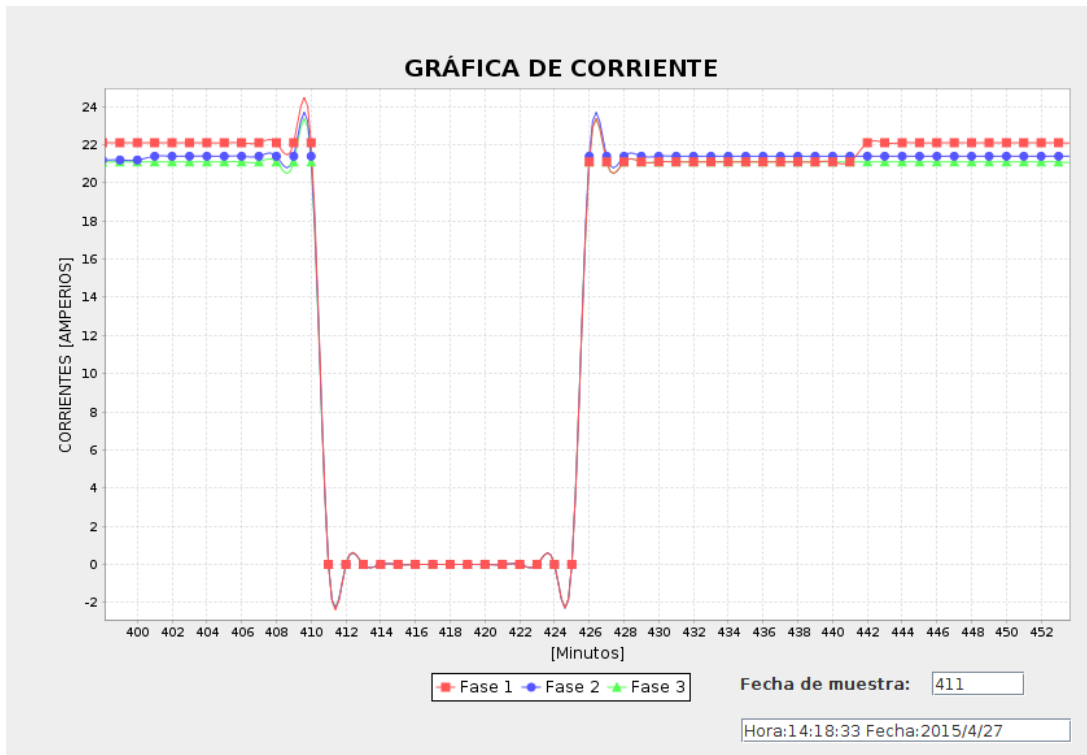


Figura 4.25 Caída amperaje del sistema monitoreado entre el 27 y 29 de abril

En la Tabla 4.7 se muestra un listado de las fallas ocurridas en el sistema de transmisión de Unicauca Estéreo durante el monitoreo que se realizó. Se puede observar la fecha, hora de inicio, duración de la falla y los valores que se registraron para cada una de las variables monitoreadas (temperatura, humedad y corrientes) en este tiempo.

Fecha	Hora	Duración	Corriente (A)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
17/04/2015	1:33 PM	13``	0	32.3	40.5
20/04/2015	2:05 PM	7``	0	32.2	40.6
26/04/2015	1:13 PM	15``	0	32.4	39.5
27/04/2015	2:17 PM	15``	0	32.1	40.7

Tabla 4.7 Lista de las fallas registradas por el sistema de monitoreo

En la Tabla 4.7 se observa que las caídas del flujo de corriente se ocasionaron en días calurosos, cuando la temperatura sobrepasaba los 30°C, estas temperaturas elevadas sobrepasaron el umbral recomendado por el fabricante del equipo de transmisión. Por lo tanto, se concluye que las caídas en el flujo de corriente están



relacionadas con las altas temperaturas que alcanza la caseta de transmisión de Unicauca Estéreo. Por consiguiente, se recomienda a los encargados del control y mantenimiento del transmisor de Unicauca Estéreo, equipar la caseta de transmisión con un sistema de ventilación que garantice mantener los niveles de temperatura recomendados por el fabricante para mejorar su rendimiento, así mismo, se sugiere revisar la circuitería interna del regulador de voltaje, puesto que no mantiene el nivel deseado de corrientes de fase y una de ellas frecuentemente falla.



5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las conclusiones y posibles trabajos futuros derivados de este trabajo de grado, con el fin de ampliar y mejorar el sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.

5.2 CONCLUSIONES

1. Se identificaron satisfactoriamente los sensores de temperatura, humedad y corriente, los procesadores de información y la tecnología inalámbrica que permitió la correcta comunicación entre los distintos nodos inalámbricos del sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales.
2. Se logró la correcta comunicación e intercambio de información a bajas tasas de errores entre los nodos sensores, utilizando módulos inalámbricos en modo maestro-esclavo y haciendo uso de las tarjetas de desarrollo *Arduino*. Con esto se garantiza gran confiabilidad teniendo en cuenta que en caso de perderse una trama de información, cada minuto se realiza un nuevo ciclo de recolección de información.
3. Ahora es posible monitorear las variables técnicas y ambientales tanto en la caseta de transmisión de Unicauca Estéreo como de forma remota, gracias a la implementación de tres interfaces de visualización; la primera es un pantalla *LCD* ubicada en la caseta de transmisión de Unicauca Estéreo, la segunda es una aplicación de escritorio y la tercera una plataforma web, a través de la cual es posible conocer el estado de las variables de forma remota y en tiempo real.
4. Al interior de pasillos, el sistema de monitoreo de condiciones técnicas y ambientales presenta un alcance máximo entre sus nodos inalámbricos de 51m. Además es posible ubicar los nodos sensores en distintas habitaciones, con una separación máxima de 14m y empleando la potencia de transmisión



más alta, por lo cual, el sistema permite una amplia movilidad de los nodos sensores.

5. El sistema de monitoreo diseñado presenta un buen desempeño, ya que se realizó una prueba de monitoreo durante 15 días en la cual fue posible registrar el comportamiento de las variables técnicas y ambientales, enviar la información a una plataforma web, almacenar los datos en una memoria SD y graficar el comportamiento de las variables monitoreadas en la aplicación de escritorio para su posterior análisis.
6. De acuerdo al análisis de la información recopilada por el monitoreo realizado en la caseta de transmisión de Unicauca Estéreo, se encontró que ésta, alcanza una temperatura mínima de 15°C durante la noche y una máxima de 32°C durante las horas más soleadas. La humedad desciende hasta un 36% de humedad relativa y un valor máximo de 41%. Las corrientes de fase que van desde el regulador de voltaje al transmisor de alta potencia, presentan valores entre 21A y 22A; según el fabricante del equipo transmisor, las corrientes de fase deben ser mínimo de 19A, pero no aclara cual es el valor máximo soportado por éste en un sistema trifásico de 220VAC. Al mismo tiempo, ocurrieron cuatro interrupciones en el flujo de corriente con una duración promedio de 12 minutos, en el interior del regulador, pues se comprobó que no fueron fallas del operador de la red eléctrica.
7. Es necesario equipar la caseta de transmisión de Unicauca Estéreo con un sistema de refrigeración que garantice mantener los niveles de temperatura recomendados por el fabricante y así mejorar su rendimiento, pues se encontró que las fallas que ocurren en el transmisor, están relacionadas con la temperatura del ambiente, ya que sucedieron justo en los días más calurosos, cuando se presentaron temperaturas superiores a los 30 °C.



5.3 TRABAJOS FUTUROS

Los desarrollos realizados en el presente trabajo de grado pretenden ser la base de trabajos futuros que busquen ampliar las funcionalidades del sistema de monitoreo, permitiendo brindar una solución más íntegra al problema planteado.

- Ampliar la cantidad de parámetros que se pueden monitorear con la red de sensores.
- Adicionar al sistema de monitoreo una etapa de control que permita verificar las variables ambientales (temperatura y humedad), las cuales afectan el normal funcionamiento del transmisor de Unicauca Estéreo.
- Realizar un estudio estadístico empleando la información recopilada por el sistema monitoreo, con el propósito de determinar el porcentaje de disponibilidad que presenta el sistema de transmisión de Unicauca Estéreo.
- Estudiar la posibilidad de emplear el sistema diseñado en el presente trabajo de grado, en proyectos que requieran monitorear variables técnicas y ambientales, tales como domótica y agricultura de precisión.
- Implementar una aplicación móvil para visualizar los parámetros monitoreados por la red de sensores, haciendo uso de la plataforma de desarrollo Java.



6 REFERENCIAS

- [1] J. Capella, "Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos," D. thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2010.
- [2] In Jong Kim and S. lee, "Development of Telemetry Data Processing Program," IEEE Defense Systems Test Center, pp. 468-473, Oct 2013.
- [3] S. Marato, "Desarrollo de Aplicaciones Basadas en WSN," M.S. thesis, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2010.
- [4] Wikipedia. (2015, Ene 28). Microcontrolador [Online]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- [5] J. Carbonell et al., "A Queuing Model of Visual Sampling," IEEE Transaction on Man-Machine Systems., vol.9, pp. 82-87, Sep. 2012.
- [6] R. M Sebastian, "Desarrollo de Aplicaciones Basadas en WSN", Valencia, España, 2010.
- [7] IEEE Std 802.15.4, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)," IEEE Standard for Information Technology, 2006.
- [8] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 15.4: Low-Rate Personal Area Networks (LR-WPANs), 2011.
- [9] R.R. Harold, "Fundamentos de Radiopropagación Vía Troposfera y Vía Ionosfera", Popayán, Col, 2006.
- [10] J. C. García et al., "Desempeño de Modelos de Propagación en Comunicación Móvil para la zona de Caldas Parte 1: Modelos para áreas urbanas," Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2012.
- [11] Wikipedia. (2015, Ene 14). Radio Propagation Model [Online]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Radio_propagation_model
- [12] Y. Okumura et al., "Field Strenght and its Variability in VHF and UHF," Review of the Electrical Communication Laboratory., pp. 825-873, May. 2011.



- [13] KQvA. (2015, Feb 16). Wireless Broadband [Online]. Disponible en: <http://kqva.net/wireless-faq.aspx>
- [14] F. López Ortiz, “El estándar IEEE 802.11 Wireless LAN”, 2002. Disponible en: <http://web.dit.upm.es/~david/TAR/trabajos2002/08-802.11-Francisco-Lopez-Ortiz-res.pdf>
- [15] R. Pressman, *Ingeniería del Software, un enfoque práctico Quinta edición*, MC Graw Hill, 2002.
- [16] Dynamoelectronics. (2015, Ene 14). Magnético y Corriente [Online]. Disponible: http://www.dynamoelectronics.com/index.php?page=shop.browse&category_id=72?option=com_virtuemart&Itemid=58
- [17] Wikipedia. (2015, Ene 27). Arduino [Online]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [18] Wikipedia. (2015. Feb 3). Raspberry Pi [Online]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- [19] Arduino. Arduino Ethernet [Online]. Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardEthernet>
- [20] Seeed. Nrf24l01+Module [Online]. Disponible en: <http://www.seeedstudio.com/depot/Nrf24l01Module-p-1394.html>
- [21] dzhon. MSP430 and DHT22 sensor [Online]. Disponible en: <http://dzhon.in/msp430-and-dht22-sensor/>
- [22] Arduino. Arduino Pro Mini [Online]. Disponible en: <http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardProMini>
- [23] Secuenciacuatro. (2010, May 14). Fuentes de Poder [Online]. Disponible en: <http://secuenciacuatro.blogspot.com/2010/05/terminales-del-Im317.html>
- [24] elec freaks. Non-invasive AC current sensor SCT-013 100A max [Online]. Disponible en: http://www.elec freaks.com/store/sensors-power-measurement-c-15_18.html
- [25] Xively. Xively Libraries [Online]. Disponible en: <https://xively.com/dev/libraries/>



[26] GitHub. Xively_arduino [Online]. Disponible en:
https://github.com/xively/xively_arduino/blob/master/examples/DatastreamUpload/DatastreamUpload.ino



ANEXO A. MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE MONITOREO

A.1 PRESENTACIÓN

El sistema de monitoreo se diseñó principalmente para medir las variables técnicas y ambientales del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo. Estas variables pueden ser monitoreadas de manera local, remota (a través de una plataforma web) o utilizando una aplicación de escritorio.

Por otro lado, el sistema cuenta con dispositivos sensores para medir temperatura, humedad y corriente AC. A continuación se muestran los elementos que conforman el sistema de monitoreo.



Figura A.1 Componentes del sistema de monitoreo

A.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

Antes de comenzar con el uso de los dispositivos sensores, se debe inicializar el nodo coordinador. Para ello se debe:

1. Conectar el cable Ethernet que conecta el equipo de radiocomunicaciones con el nodo coordinador al puerto RJ45 del mismo (Figura A.2).
2. Conectar el adaptador a la red eléctrica a 120VAC.



Figura A.2 Conexión del nodo coordinador

A.3 OPERACIÓN DE LOS NODOS SENSORES

Luego de inicializado el nodo coordinador, se procede a ubicar los nodos sensores en el sistema de transmisión, como se muestra a continuación.

A.3.1 Nodo Sensor de Temperatura y Humedad

Para que el nodo sensor de temperatura y humedad funcione correctamente, se debe conectar el adaptador a la red eléctrica a 120VAC, como se muestra en la Figura A.3.



Figura A.3 Conexión del nodo sensor de humedad y temperatura

A.3.2 Nodo Sensor de Corriente AC

El nodo sensor de corriente, tiene 3 sensores de corriente no invasivos de AC. Para su correcto funcionamiento, se debe conectar un sensor por cada fase de corriente como se observa en la figura A.4 y posteriormente el adaptador a 120VAC.



Figura A.4 Conexión del nodo sensor de corriente

A.4 SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

EL sistema de monitoreo cuenta con tres sistemas de visualización. El primero, es una pantalla de visualización local ubicada en el sistema de transmisión de Unicauca Estéreo. El segundo, permite un monitoreo remoto por parte del personal técnico mediante la plataforma web *Xively* y el tercero es una aplicación de escritorio en la que se observan gráficamente los datos recolectados.



A.4.1 Visualización local

Para observar las variables en la pantalla ubicada en el sistema de transmisión de Unicauca Estéreo, simplemente se debe conectar el adaptador del nodo coordinador a 120VAC, como se observa en la Figura A.5.



Figura A.5 Visualización local

A.4.2 Plataforma web *Xively*

A continuación se muestran los pasos a seguir para visualizar los datos en la plataforma web *Xively*.

1. Ingrese a la dirección www.xively.com y de clic en LOGIN, como muestra la Figura A.6.



Figura A.6 Página web de Xively

2. Ingrese con Login: picored y Password: unicauca, como se detalla en la Figura A.7

Figura A.7 Ingreso de usuario a Xively



3. Seleccione Sistema de monitoreo – Unicauca Estéreo, tal como se observa en la Figura A.8.

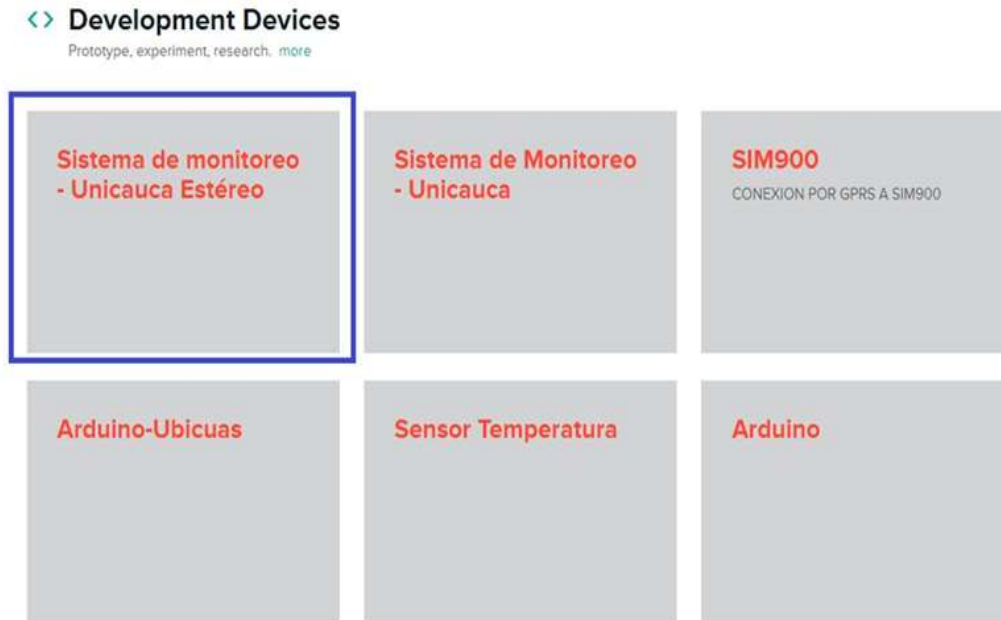


Figura A.8 Plataforma de desarrollo

4. Por último, en la Figura A.9 se observan los datos subidos a la plataforma web Xively. Para ver las gráficas haga clic en Graphs

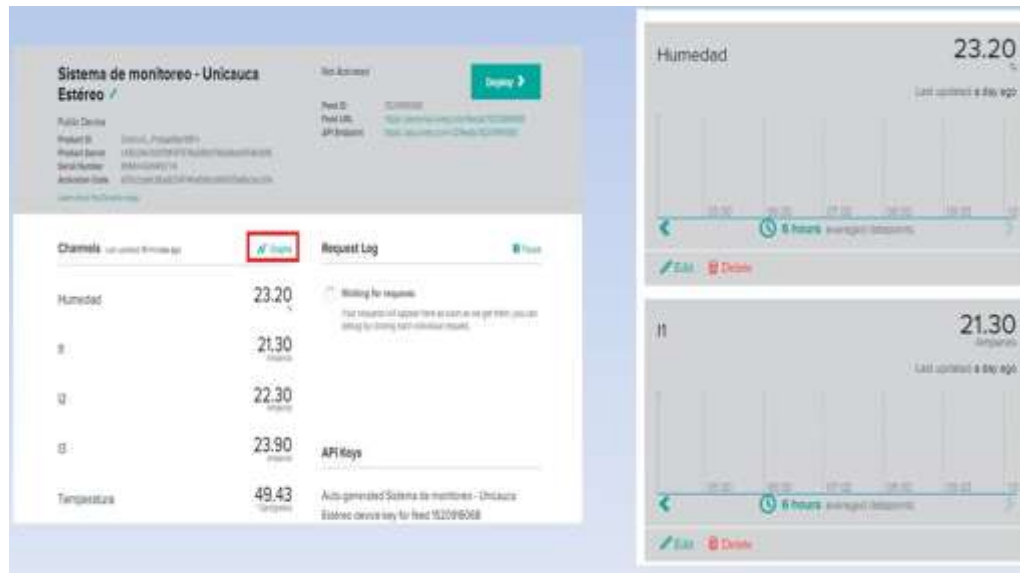


Figura A.9 Datos en la plataforma web *Xively*

A.4.3 Aplicación de escritorio

La memoria SD alojada en el nodo coordinador almacena los datos recopilados. Para visualizar los datos a través de la aplicación de escritorio, es necesario extraer la memoria del nodo coordinador. Antes de seguir los pasos que se detallan a continuación desconecte el nodo coordinador de la fuente de alimentación.

1. Retire los tornillos ubicados en las paredes de la carcasa del nodo coordinador, como se indica en la Figura A.10. (no retirar los tornillos que se observan en la parte superior)



Figura A.10 Paso 1

2. Levante la tapa superior y retire con cuidado la memoria SD.

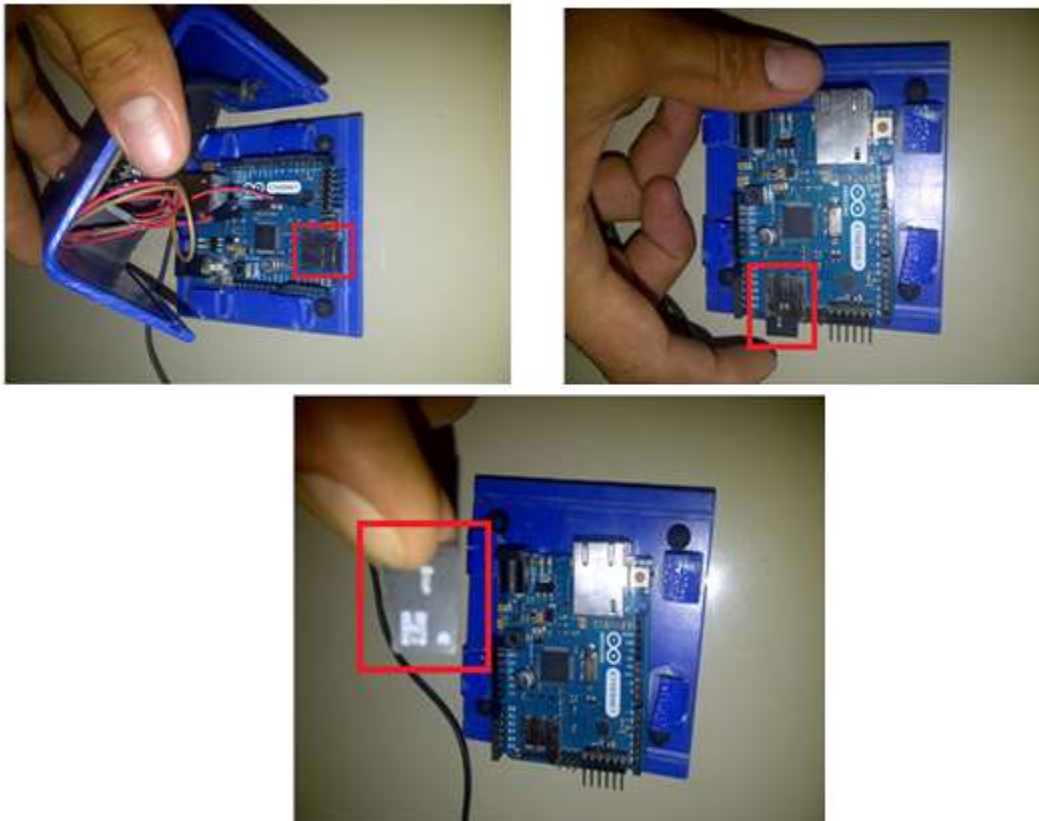


Figura A.11 Paso 2

3. Crear una carpeta en el disco C con el nombre Monitoreo, copiar en esta los datos de la memoria micro SD.
4. Abra la aplicación de escritorio y seleccione la variable que desee graficar, debe escoger la fecha de inicio y de fin para la cual desea analizar, como se muestra en la Figura A.12.

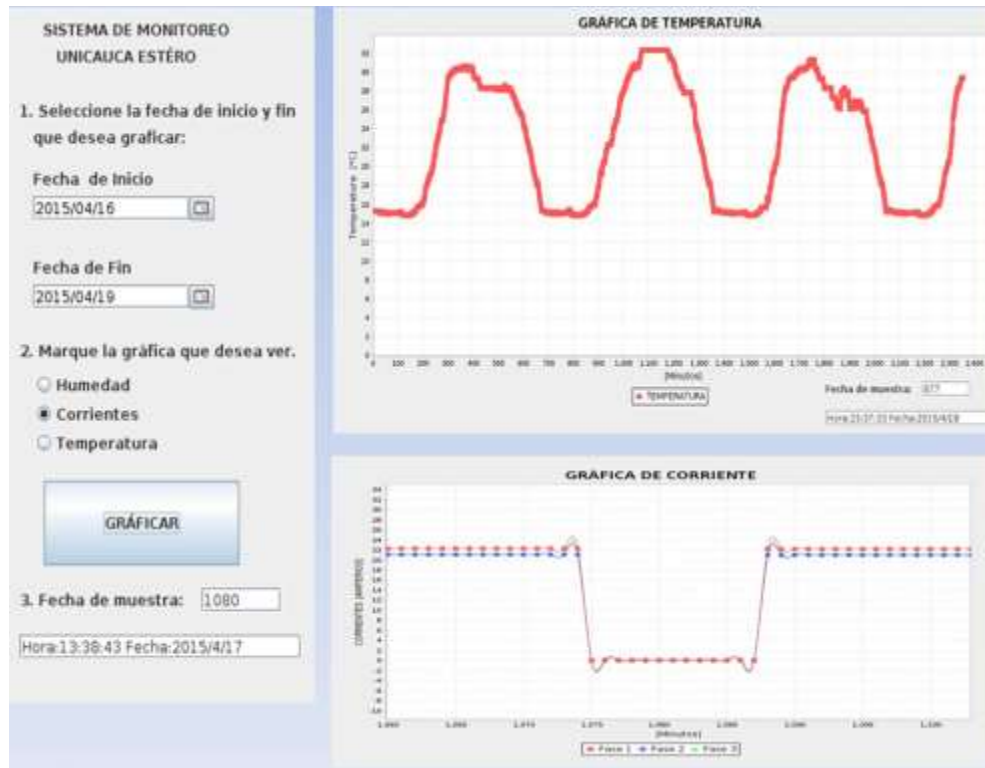


Figura A.12 Aplicación de escritorio



ANEXO B. MANUAL DE CONFIGURACIÓN DE LAS UBIQUITI NANOSTATION PARA REALIZAR UN ENLACE PUNTO A PUNTO

B.1 PRESENTACIÓN

El objetivo de este manual es configurar dos equipos **Ubiquiti Nanostation** en modo **WDS** para hacer un enlace punto a punto. Para comenzar es indispensable que los dos puntos a interconectar tengan línea de vista.

B.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

Por lo anterior, se supone un escenario donde hay dos puntos distantes, en el que uno de ellos tiene conexión a internet y se desea unirlo con otro punto remoto para poder compartir los recursos del primero y poder navegar por internet. En el primer punto se dispone de un modem/router con salida a internet y uno o varios PC's. En el punto remoto hay una serie de PC's y un switch pero sin salida a internet, solo trabajan en LAN. Para este ejemplo en concreto, configuraremos el punto remoto como **Estación WDS** y el otro como **Acceso WDS**, como se muestra en la Figura B.1.

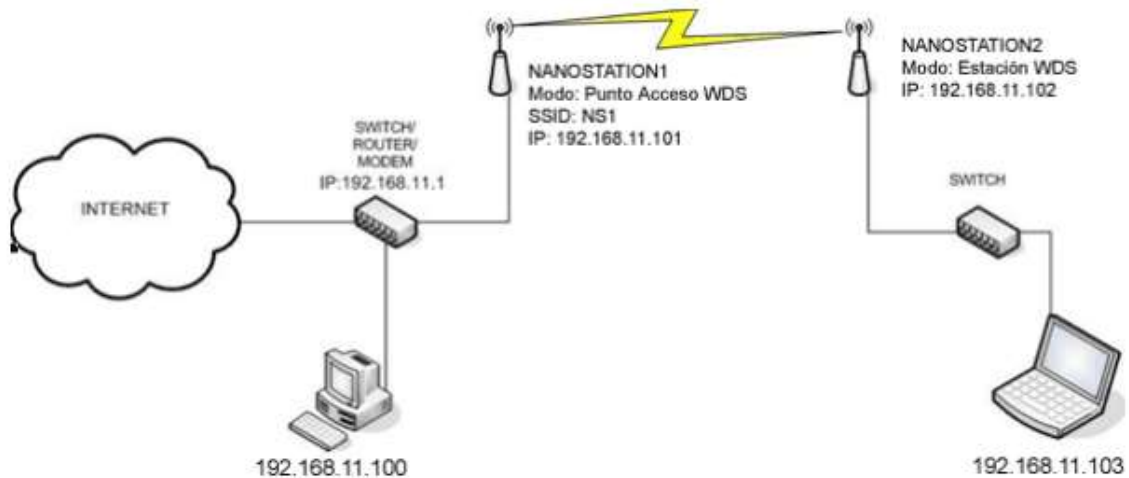


Figura B.1 Esquema de instalación

A continuación se muestran los pasos a seguir para realizar las configuraciones.

B.2.1 Configuración NanoStation 1

- En modo Punto de Acceso WDS
- Tener una IP conocida (para este ejemplo 192.168.11.101)
- Tener un SSID conocido (para este ejemplo NS1)
- Encriptación WEP

Primero, se accede al dispositivo, por defecto este tiene la IP **192.168.1.20**, Login: **ubnt** y Password: **ubnt**.

Al ingresar, se cambia la IP (**Network -> Network Settings**) y se asigna la que se desee, en este caso la 192.168.11.101. Por último, se hace clic en **“CHANGE”** para aplicar los cambios, como se observa en la Figura B.2.

NOTA: Recordar cambiar el rango IP en las propiedades TCP/IP de la tarjeta de red.

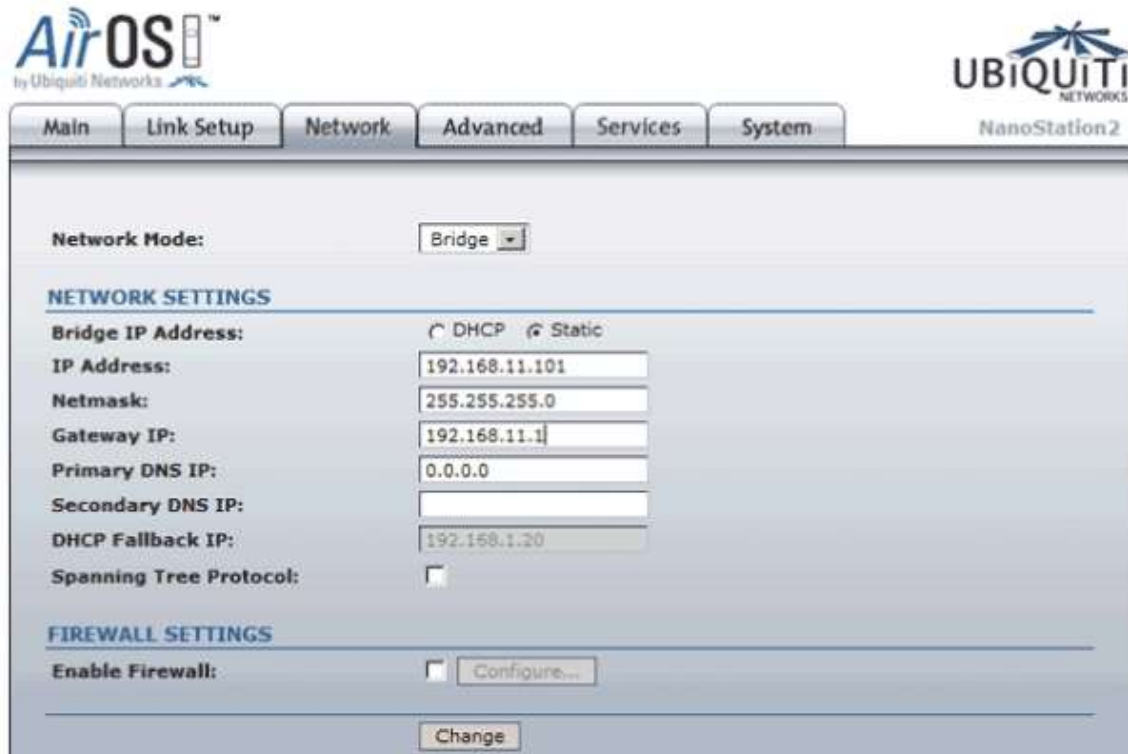


Figura B.2 Cambio de IP del dispositivo NanoStation 1

Una vez cambiada la IP en el rango adecuado, se procede a configurar los parámetros del dispositivo.

En este caso, se accede al menú “**Link Setup**” y se especifican las siguientes opciones:

- Modo inalámbrico: Punto de Acceso WDS
- Conexiones WDS: La dirección MAC del cliente WDS
- SSID: NS1
- Código de país: Seleccione el país donde se encuentre (en este ejemplo: España)
- Modo IEEE 802.11: B/G Mixto
- Anchura del espectro: 20MHz
- Canal: 7
- Seguridad: WEP

En la figura B.3, se observan las especificaciones hechas.



The screenshot shows the AirOS NanoStation2 configuration interface. The top navigation bar includes 'Main', 'Link Setup', 'Network', 'Advanced', 'Services', and 'System'. The 'Network' tab is selected. The main content area is titled 'CONFIGURACION INALÁMBRICA BÁSICA' and contains the following settings:

- Modo Inalámbrico:** Punto de Acceso WD (selected), Auto
- Conexiones WDS:** 00:15:6D:AB:FB:3A (first entry), empty (second entry), empty (third entry)
- SSID:** NS1, Esconder SSID
- Código País:** Spain, Spanish State
- Modo IEEE 802.11:** B/G mixto
- Anchura del espectro de canal:** 20MHz, Vel. máx. de datos: 54Mbps
- Cambio de canal:** Inhabilitado
- Canal:** 7 - 2442 MHz
- Potencia de salida:** 11 dBm, Obedecer potencia reglamentaria
- Velocidad de datos, Mbps:** 54, Auto

The second section is titled 'SEGURIDAD INALÁMBRICA' and contains the following settings:

- Seguridad:** WEP
- Tipo de autenticación:** Abierto, Clave compartida
- Longitud Clave WEP:** 64 bit, **Tipo de Clave:** HEX
- Clave WEP:** 3949000000, **Índice Clave:** 1
- WPA Clave Pre-Compartidas:** (empty field)
- ACL de MAC:** Habilitado, **Política:** Permitir

Buttons for 'Eliminar' and 'Agregar' are visible below the ACL section.

Figura B.3 Configuración punto de acceso WDS

Una vez configurado el primer dispositivo como punto de acceso WDS, se configura el segundo como estación WDS.

B.2.2 Configuración NanoStation 2

- En modo Estación WDS
- Tener una IP conocida (para este ejemplo 192.168.11.102)
- Tener un SSID conocido (para este ejemplo NS1)
- Encriptación WEP



Primero, se accede al dispositivo, por defecto este tiene la IP 192.168.1.20, Login: **ubnt** y Password: **ubnt**.

Al ingresar al sistema, se cambia la IP (**Network -> Network Settings**) y se asigna la que se desee, en este caso la 192.168.11.102. Por último, se hace clic en **“CHANGE”** para aplicar los cambios, como se observa en la Figura B.4



Figura B.4 Cambio de IP del dispositivo NanoStation 2

Una vez cambiada la IP en el rango adecuado, se procede a configurar los parámetros del dispositivo.

En este caso, se accede al menú **“Link Setup”** y se especifican las siguientes opciones:

- Modo inalámbrico: Estación WDS
- ESSID: NS1
- Código de país: Seleccione el país donde se encuentre (en este ejemplo: España)
- Modo IEEE 802.11: B/G Mixto



- Anchura del espectro: 20MHz
- Canal: 7
- Seguridad: WEP

En la figura B.5, se observan las especificaciones hechas.

CONFIGURACION INALÁMBRICA BÁSICA

Modo Inalámbrico: Estación WDS

ESSID: NS1

Vincular al MAC AP:

Código País: Spain, Spanish State

Modo IEEE 802.11: B/G mixto

Anchura del espectro de canal: 20MHz Vel. máx. de datos: 54Mbps

Cambio de canal: Inhabilitado

Lista de exploración de canales: Habilitado

Potencia de salida: 11 dBm Obedecer potencia reglamentaria

Velocidad de datos, Mbps: 54 Auto

SEGURIDAD INALÁMBRICA

Seguridad: WEP

Tipo de autenticación: Abierto Clave compartida

Longitud Clave WEP: 64 bit Tipo de Clave: HEX

Clave WEP: 3949000000 Índice Clave: 1

WPA Authentication: PSK EAP-TTLS MSCHAPV2

WPA Clave Pre-Compartidas:

WPA Identity:

WPA User Name:

WPA User Password:

Cambiar

Figura B.5 Configuración Estación WDS

Una vez configurados los equipos, lo único que se debe comprobar es que se hayan enlazado para su correcto funcionamiento.



Para verificar lo anterior, se accede a la pestaña “MAIN” del NanoStation que se ha configurado como “Estación WDS” y se observa la intensidad de la señal, tal como se muestra en la figura B.6.

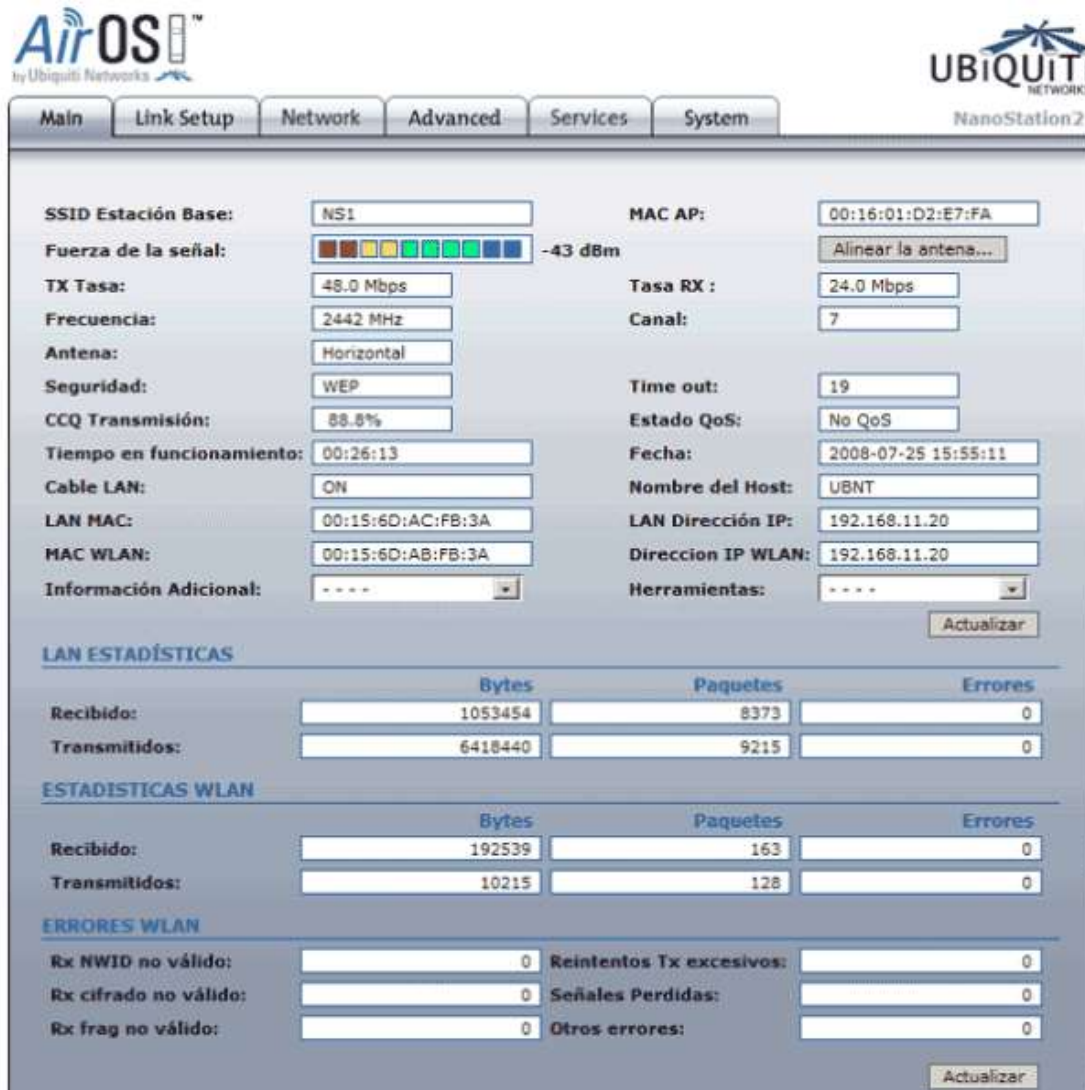


Figura B.6 Estado del dispositivo enlazado

Por último, los valores para establecer un enlace operativo están entre -85 y -65 dBm; valores inferiores a -85dBm causaran una posible caída del enlace; valores por encima de -65dBm indican un exceso de señal y provocaran un comportamiento anómalo en el dispositivo.

Para más información, configuraciones, manuales y problemas, ingrese a la web del fabricante <http://www.ubnt.com>



ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS SENSORES

C.1 PRESENTACIÓN

El propósito en este anexo es determinar si las medidas obtenidas por los sensores del sistema de monitoreo son acordes, en comparación con instrumentos¹⁷ de la Universidad del Cauca que entregan una medición de alto grado de confiabilidad. Para el análisis de los datos se utilizó el software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

C.2 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

Con lo anterior, se procede a realizarse un análisis estadístico, utilizando una prueba T, la cual permite evaluar si dos grupos de datos difieren entre sí de manera significativa. Para llevar a cabo esta prueba se debe proponer dos hipótesis; la hipótesis de investigación (H_i), que sugiere que los grupos difieren significativamente entre sí, y la hipótesis nula (H_n) que propone que los grupos no difieren significativamente.

Para ello, se define un intervalo de confianza, correspondiente al área de no significancia; para este caso es del 95%, es decir que:

- Sí la significancia es mayor a 0.05 (5%), se acepta la hipótesis nula.
- Sí la significancia es menor a 0.05 (5%), se acepta la hipótesis de investigación.

De manera que, para este trabajo se definen las siguientes hipótesis:

¹⁷ instrumentos de los laboratorios de química, electromagnetismo y electrónica básica de la Universidad del Cauca.



- Hi: Existe diferencia significativa entre las mediciones de los sensores utilizados en el sistema de monitoreo y los instrumentos de laboratorio.
- Hn: No existe diferencia significativa entre las mediciones de los sensores utilizados en el sistema de monitoreo y los instrumentos de laboratorio.

Al respecto conviene decir que, lo que se busca a través de los resultados de la prueba T, es alcanzar significancia mayor a 0.05 y así aceptar Hn, lo que definiría que los nodos sensores funcionan correctamente.

En la tabla C.1, se muestra la media de las mediciones usando los sensores del sistema de monitoreo y los instrumentos de laboratorio.

	Media	N
Temperatura <i>DHT22</i>	24,78	100
Temperatura <i>Davis vantage PRO 2</i>	24,62	100
Humedad <i>DHT22</i>	67,00	100
Humedad <i>Davis vantage PRO 2</i>	65,87	100
Corriente <i>YHDC SCT-013-000</i>	21.20	100
Corriente <i>Proskit MT-1270</i>	21.32	100

Tabla C.1 Media de las muestras

De los datos obtenidos anteriormente, se puede calcular los porcentajes de error de cada sensor con respecto a las medidas obtenidas con los instrumentos de laboratorio. Esto con el fin de realizar un sondeo inicial del funcionamiento de los mismos. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%error = \frac{|V_{ip} - V_{sm}|}{V_{sm}} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

- *V_{ip}*: valor medido con los instrumentos de laboratorio.



- V_{sm} : valor medido con los sensores del sistema de monitoreo.

En la Tabla C.2, se observan los porcentajes de error obtenidos. Se muestra también que, los sensores utilizados en el sistema de monitoreo, se comportan de una manera muy similar con respecto a los instrumentos patrones, teniendo en cuenta que, el mayor porcentaje de error es de 1.68%.

Variable de medición	Porcentaje de error
Temperatura	0,64%
Humedad	1,68%
Corriente	0,56%

Tabla C.2 Porcentajes de error de los nodos sensores del sistema de monitoreo

Aun así, para verificar este sondeo inicial, se continúa con el estudio de los resultados obtenidos al aplicar la prueba T.

En la Tabla C.3, se observa el coeficiente de correlación entre las medidas de los sensores y los instrumentos de laboratorio.

	Correlación	N
Temperatura <i>DHT22</i>	0,984	100
Temperatura <i>Davis vantage PRO 2</i>		
Humedad <i>DHT22</i>	0,988	100
Humedad <i>Davis vantage PRO 2</i>		
Corriente <i>YHDC SCT-013-000</i>	0,982	100
Corriente <i>ProsKit MT-1270</i>		

Tabla C.3 Correlación entre las muestras

Este coeficiente determina el grado de relación existente entre dos variables y se clasifica en [27]:

- Correlación entre 0 y 0,25: indica que no existe o es escasa la relación entre las variables.
- Correlación entre 0,26 y 0,50: indica que existe una relación débil entre las variables.



- Correlación entre 0,51 y 0,75: la relación entre las variables está entre moderada y fuerte.
- Correlación entre 0,76 y 1: establece una relación entre fuerte y perfecta para las variables.

De acuerdo a los resultados de correlación obtenidos en la Tabla C.3, se observa que hay una relación directa entre las medidas obtenidas por los sensores del sistema de monitoreo y los instrumentos de laboratorio.

En la Tabla C.4, se observan los resultados finales de la prueba T, donde el parámetro más relevante es la significancia (Sig), que permite determinar el cumplimiento definitivo de una hipótesis.

Diferencias emparejadas							
	Media	Desviación estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		T	gl	Sig.
			Inferior	Superior			
Temperatura DHT22- Temperatura Davis vantage PRO 2	0,19800	0,26645	0,14513	0,25087	7,431	99	0.067
Humedad DHT22- Humedad Davis vantage PRO 2	0,01370	0,20352	- 0,02668	0,05408	0,673	99	0,502
Corriente YHDC SCT-013-000- Corriente ProsKit MT-1270	- 0,01560	0,01479	- 0,01854	- 0,01266	- 10,546	99	0,000

Tabla C.4 Resultados de significancia

Para la temperatura y la humedad, se observa una significancia de 0.067 y 0.502 respectivamente, cumpliendo con la hipótesis nula (H₀) debido que son valores mayores que 0.05, por lo tanto, la diferencia entre los valores obtenidos por el



sistema de monitoreo y los instrumentos de laboratorio no es significativa. Por lo anterior se concluye que los sensores presentan buen desempeño.

Para el caso de la corriente, se puede observar una significancia menor que 0.05, con lo cual se concluye que sí existe diferencia significativa entre la medición de corriente del sensor del sistema de monitoreo y los instrumentos de laboratorio. Lo anterior puede estar relacionado con la calibración de los dispositivos usados para la medición de corriente, debido a que los circuitos de acoplamiento de señal, contienen elementos que no son ideales.



ANEXO D. CARACTERÍSTICAS PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ELENOS ET5000

Para obtener un buen desempeño del amplificador *ELENOS ET5000*, se deben tener en cuenta las siguientes características.

D.1 SISTEMA ELÉCTRICO

El equipo debe ser dimensionado para proporcionar el flujo de corriente necesario, para ello, se recomienda que por cada fase de las tres, fluya una corriente no menor de 19A a 220VAC. Para cumplir con lo anterior, se sugiere que todos los conductores deben ser de tamaño adecuado y estar de acuerdo a las normas técnicas locales. También se recomienda el uso de dispositivos de protección contra descargas eléctricas, tales como, transformador de aislamiento y descargador eléctrico, esto con el fin de garantizar la seguridad de los operarios, en la Figura D.1 se observan las características que tiene el sistema.

Power supply	220, 380 Threephase-singlephase 50-60Hz VAC
Power consumption	7,5 KVA
Overall Efficiency	70%Typ
Current Consumption @220VAC/single phase	33 Amp.
Conductor Size @220VAC/single phase	10 sqrt.mm
Conductor Size @220VAC/single phase	7 AWG
Current Consumption @220VAC/three phase	19 Amp.
Conductor Size @220VAC/three phase	6 sqrt.mm
Conductor Size @220VAC/three phase	9 AWG
Current Consumption @380VAC/three phase	11 Amp.
Conductor Size @380VAC/three phase	4 sqrt.mm
Conductor Size @380VAC/three phase	11 AWG

Figura D.1 Parámetros para la instalación

D.2 PROCEDIMIENTO AUTOMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA

Dado que el amplificador E5000 es capaz de operar en cualquier frecuencia de la gama de 87.5MHz-108MHz y en cualquier nivel de salida menor o igual a 5KW, la



eficiencia de la amplificación de RF podría cambiar dependiendo de las condiciones del lugar. El procedimiento para la optimización de la eficiencia necesariamente debe ser implementado de acuerdo con los métodos descritos para obtener el mínimo el consumo de energía eléctrica, reduciendo el calor que se dispersa en el ambiente y garantizando el correcto funcionamiento del equipo. Un bajo valor de eficiencia, de hecho, podría crear, bajo condiciones extremas, un aumento de la temperatura total, que corresponde a un consumo excesivo de electricidad y a un posible incorrecto funcionamiento del equipo. A continuación se describe el procedimiento a realizar.

D.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

El procedimiento se realiza automáticamente mediante la CPU del equipo, y consiste en buscar la condición de funcionamiento que alcance la salida de potencia deseada con un mínimo voltaje posible, con esta condición se obtiene un alto valor en la eficiencia RF en la etapa de amplificación de potencia.

Los pasos que el operador debe seguir son los siguientes:

1. Sin operar el amplificador E5000, presione el botón en el mando cuando el puntero en la pantalla este "ON AIR".
2. Encienda el excitador para la potencia deseada, establezca la potencia a 0W.
3. Ingrese al menú "Power Setting" y establezca la potencia del E5000 ("Target") a la deseada (presione "Enter" para editar el valor de la potencia, use la perilla para cambiar el valor, presione "Enter" para guardar los cambios).
4. Llevar la potencia de salida del excitador a 110W (recuerde guardar los ajustes de la potencia del excitador).
5. Espere alrededor de 30 segundos para que permita que el microprocesador ajuste los parámetros de operación para la máxima eficiencia.

Ahora el equipo está listo para operar a la potencia de salida deseada bajo condiciones óptimas.

Para obtener una mayor información del E5000, ingrese a la página web <http://www.eleos.com>.



ANEXO E. RECOMENDACIONES PARA EL TRANSMISOR DE UNICAUCA ESTÉREO UBICADO EN LA REJOYA

Popayán, 15 de Agosto de 2014.

Señor

Carlos Alberto Valencia
Jefe División de Comunicaciones
Universidad del Cauca
Popayán

Asunto: Recomendaciones para el transmisor Unicauca estéreo ubicado en la Rejoya.

Presentamos el informe técnico de la visita realizada al transmisor de Unicauca estéreo, ubicado en la Rejoya, realizado el viernes 5 de Agosto de 2014, y las recomendaciones de acuerdo a los aspectos encontrados, para estas se tuvieron en cuenta las especificadas por el fabricante para el correcto funcionamiento del transmisor.

De acuerdo a lo observado y medido, desde el punto de vista eléctrico se tienen los siguientes datos:

- Corrientes de línea: 22, 11, 11 amperios.
- Voltajes de fase: 124.7 voltios.

Esto corresponde a una potencia aproximada de 5600 vatios, entonces como la potencia radiada aparente era de 3900 vatios, se tiene así alrededor de 1700 vatios de potencia en la caseta, que contribuye al calentamiento del ambiente. Así que, de acuerdo con el fabricante, es necesario contar con un mejor sistema de ventilación.

La temperatura del transmisor era de 32° C, en una tarde relativamente fresca con 26°C, así que cuando la temperatura se incrementa en el exterior, la que alcanza el transmisor debe ser mucho mayor. De acuerdo al fabricante, la temperatura óptima debería estar entre y 10°C 30°C.



Extraction air system

During normal operation, the transmitter enters in the environment an amount of heat that can reach to 3.5KW in total. It's almost entirely removed by the air flow, driven by internal fans. The flow of exchanged air is approximately 900 cubic meters per hour, so the station will be designed to ensure the provision of a corresponding flow of fresh air and the extraction of as much air exhausted. To dispose of the air to the outside, it is recommended to use an extraction tube with a diameter not less than that of the flange in this optional hood (about 14 cm). It should be as short as possible (not exceeding 1.0 meters) and possibly with no curves. In cases where the extraction tube should be longer than 1.0 meters and/or have very pronounced curves, shall apply an additional device for extraction, with its own suction blower. It must be able to extract the same airflow under operating conditions laid down.

Air conditioning

For a longer useful life of the apparatus, it is recommended to provide the location of an internal air conditioning system. The optimum working temperature is between 10°C and 30°C. The power dissipated into the environment through the case of the apparatus is negligible in conditions of good adaptation of the antenna system and optimization of efficiency.

Figura E.1 Especificaciones del transmisor Elenos

El módulo de alimentación dañado en el transmisor, ocasiona el desbalance de las corrientes de línea, y hace que una de ellas este sobrecargada, lo que lleva a que el breaker (es de 20 A) de esa fase pueda dispararse si las condiciones ambientales son desfavorables aunque el transmisor se encuentre funcionando correctamente; esto abre todas las fases. En condiciones balanceadas la corriente de línea seria de 15 amperios aproximadamente.

El cable que alimenta el transmisor presenta calentamiento, debería cambiarse al siguiente calibre y con conductores separados (no con 4 conductores encauchetados).

Existe una gran cantidad de polvo, insectos y hojas sobre el transmisor; es importante evitar que todos estos agentes afecten el funcionamiento del equipo.

El sistema de ventilación es insuficiente solo se cuenta con dos ventiladores de baja capacidad. El piso de la caseta es de cemento, sin baldosas y de extrema rugosidad, lo que impide una adecuada limpieza.

Se proponen las siguientes acciones para mejorar las condiciones de funcionamiento del transmisor y garantizar que cumpla su función adecuadamente:



- Instalar los módulos necesarios para que el transmisor pueda trabajar con una potencia de 5000 vatios.
- Cambiar el cable de alimentación del transmisor al siguiente calibre y con conductores separados (no con 4 conductores encauchetados).
- Se requiere un rack para instalar el transmisor, monitor de modulación, monitor de frecuencia y receptor del radioenlace.
- Reorganizar el recinto, colocando el transmisor antiguo en un rincón y disponer de un soporte más bajo y en el centro para los equipos transmisor, que facilite su revisión y lo ubique alejado de las zonas más calientes.
- Programar limpiezas periódicas de la caseta, de tal forma que no se presente acumulación de polvo.
- Se recomienda limpiar el transmisor internamente con un soplete, en el sitio (en la Rejoya).
- Para mejorar el control de la temperatura se recomienda un cieloraso falso con abertura exterior, bajar los extractores e inyectores de aire (por debajo del cieloraso) (tener en cuenta las consideraciones del fabricante) y cubrir la entrada y salida de aire con el algodón especial para bloquear o reducir la entrada de polvo e insectos. Los extractores e inyectores de aire deben ser de mayor capacidad.
- Mejorar el piso de la caseta, ya sea con cerámica o algún material liso que facilite su limpieza.

Comisión Técnica y Asesora
Departamento de Telecomunicaciones
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad del Cauca