

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Decodificación selectiva en un sistema básico de paging

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presentado por:

José Santiago Sacón Yanchaguano

Billy Roberto Bustamante Chávez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023-2024

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mis padres, Amalín y Roberto, a mis hermanos y mis abuelos por el apoyo brindado en todo momento, también dedico este logro a Catherine por el ánimo y la superación de siempre.

Billy Roberto Bustamante Chávez

Dedicado a Ana y Gustavo, por el amor y la confianza que me han brindado durante toda mi vida. Para Fanny y Gilberto, por el cariño y confianza durante todos estos años. Este proyecto es por y para ustedes. A la vida, que es movimiento.

José Santiago Sacón Yanchaguano

Agradecimientos

Nuestros más sinceros agradecimientos para todas las personas que han sido parte de este camino, para amigos y familiares, siempre presentes en esta importante etapa y siempre estar pendientes de cada logro.

Agradecemos de manera especial al Ph.D. Juan Carlos Avilés por compartir con nosotros sus conocimientos y ser una guía en este trabajo de diseño, brindándonos su experiencia y por despejar dudas en el desarrollo del proyecto.

Y agradecemos también a todos los profesores y compañeros con quienes se ha compartido experiencias y conocimientos a lo largo de toda la carrera en la ESPOL.

Declaración Expresa

Nosotros José Santiago Sacón Yanchaguano y Billy Roberto Bustamante Chávez acordamos y reconocemos que la titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, información no divulgada y cualquier otro derecho o tipo de Propiedad Intelectual que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, incluyendo cualquier derecho de participación de beneficios o de valor sobre titularidad de derechos, pertenecerán de forma total, perpetua, exclusiva e indivisible a LA ESPOL, sin limitación de ningún tipo. Se deja además expresa constancia de que lo aquí establecido constituye un “previo acuerdo”, así como de ser posible bajo la normativa vigente de transferencia o cesión a favor de la ESPOL de todo derecho o porcentaje de titularidad que pueda existir.

Sin perjuicio de lo anterior los alumnos firmantes de la presente declaración reciben en este acto una licencia de uso gratuita e intransferible de plazo indefinido para el uso no comercial de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, sin perjuicio de lo cual deberán contar con una autorización previa expresa de la ESPOL para difundir públicamente el contenido de la investigación, desarrollo tecnológico o invención.

Así también autorizamos expresamente a que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra o invento, por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Guayaquil, 22 de septiembre del 2023

Billy Bustamante Ch.

José Sacón Y.

Evaluadores

María Antonieta Álvarez, Ph.D.

Profesor de Materia

Juan Carlos Avilés, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

En la actualidad, existen negocios que podrían mejorar su operatividad con la incorporación de un sistema de comunicaciones inalámbrico sencillo unidireccional tal como un sistema de paging, mediante el cual se envía mensajes hacia receptores particulares. En el presente trabajo se propone el diseño e implementación de un sistema básico de paging basado en una versión simplificada del protocolo de comunicaciones POCSAG. Para este efecto, en la sección transmisora se codifican mensajes usando una propuesta de formato que incluye un preámbulo seguido de una trama que contiene bits de sincronización, dirección, mensaje y fin de transmisión. Así mismo, en la parte receptora se realiza la decodificación selectiva de mensajes. El diseño actual que fácilmente puede ser ampliado considera un máximo de 64 pagers, un solo mensaje por transmisión y 12 caracteres tipo ASCII por mensaje. El sistema ha sido implementado en el software LabVIEW para el procesamiento de los mensajes utilizando también el USRP 2920 como elemento de hardware para realizar la transmisión y recepción inalámbrica. Los resultados mostraron la decodificación selectiva de los mensajes enviados a los pagers, permitiendo concluir sobre la factibilidad de la implementación del proyecto en sistemas tales como alerta de servicios en patios de comida.

Palabras Clave: Paging, POCSAG, terminal de paging, pager, LabVIEW, USRP 2920, codificación, decodificación, trama, comunicaciones inalámbricas.

Abstract

Currently, there are businesses that could improve their operations by incorporating a simple one-way wireless communication system, such as a paging system, through which messages are sent to specific receivers- In this paper, we propose the design and implementation of a basic paging system based on a simplified version of the POCSAG communication protocol. For this purpose, in the transmitter section, messages are encoded using a proposed format that includes a preamble followed by a frame containing synchronization bits, address, message, and end of transmission. Likewise, in the receiver section, selective message decoding is performed. The current design, which can easily be expanded, considers a maximum of 64 pagers, a single message per transmission, and 12 ASCII characters per message. The system has been implemented using LabVIEW software for message processing, and the USRP 2920 has been used as a hardware element for wireless transmission and reception. The results demonstrated selective decoding of messages sent to the pagers, allowing us to conclude the feasibility of implementing the project in systems such as food court service alerts.

Keywords: *Paging, POCSAG, paging terminal, pager, LabVIEW, USRP 2920, encoding, decoding, frame, wireless communications.*

Índice general

Resumen.....	I
Abstract	II
Índice general.....	III
Abreviaturas	IV
Simbologías	V
Índice de figuras	VI
Índice de tablas.....	VII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción a los sistemas de paging.....	1
1.1. Descripción del Problema.	2
1.2. Justificación de la Solución	3
1.3. Objetivos	4
1.4. Marco Teórico	4
CAPÍTULO 2	13
2. Diseño de solución.....	13
2.1 Estructura del sistema.....	13
2.2 Codificación y formato	15
2.3 USRP 2920	19
2.4 Implementación del terminal de paging.....	21
CAPÍTULO 3	28
3. Resultados y Análisis	28
3.1 Prueba de decodificación selectiva de sistema de paging.....	28
3.2 Potencia de la señal recibida en diferentes modulaciones	32
CAPÍTULO 4	39
4. Conclusiones y recomendaciones	39
4.1 Conclusiones	39
4.2 Recomendaciones	40
Referencias	41

Abreviaturas

USRP.....Universal Software Radio Peripheral

LabVIEW.... Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

POCSAG...Post Office Code Standardization Advisory Group

SDR..... Software Defined Radio

FSK..... Frequency-Shift Keying

PSK..... Phase-Shift Keying

BPSK..... Binary Phase-Shift Keying

QPSK..... Quadrature Phase-Shift Keying

OQPSK..... Offset Quadrature Phase Shift Keying

Simbologías

dB.....Decibelio

dBm...Decibelio-milivatio

kHz.....KiloHertz

MHz...MegaHertz

GHz...GigaHertz

Índice de figuras

Figura 1.1 Estructura básica de un sistema de paging. Fuente: Paging Fórum	7
Figura 1.2 Dispositivos pagers. Fuente: GlobalSpec	9
Figura 1.3 Topología simple.	9
Figura 1.4 Topología duplex	10
Figura 1.5 Topología de bus.	10
Figura 1.6 Topología de anillo.	11
Figura 1.7 Topología de estrella.....	11
Figura 2.1 Diagrama de bloques de la solución propuesta	13
Figura 2.2 Estructura del preámbulo y de la trama de datos	15
Figura 2.3 Estructura de una palabra clave de dirección.....	17
Figura 2.4 Estructura de una palabra clave de mensaje.....	18
Figura 2.5 Estructura de una palabra clave de sincronización.	18
Figura 2.6 Estructura de una palabra clave inactiva.....	19
Figura 2.7 Estructura de los bloques de codificación y generación de tramas en LabVIEW.....	22
Figura 2.8 Estructura del bloque de conversión de texto a bits en LabVIEW	22
Figura 2.9 Estructura del bloque de conformación de trama en LabVIEW	23
Figura 2.10 Estructura del SDR para iniciar transmisión en USRP 2920	23
Figura 2.11 Estructura del SDR con parámetros de transmisión del USRP 2920	23
Figura 2.12 Estructura del SDR que recibe tramas a ser transmitidas en USRP 2920.....	24
Figura 2.13 Estructura del SDR que finaliza la transmisión del USRP 2920.....	24
Figura 2.14 Estructura del SDR para iniciar la recepción del USRP 2920	25
Figura 2.15 Estructura del SDR con parámetros en recepción del USRP 2920.....	25
Figura 2.16 Estructura del SDR que recibe las tramas enviadas al USRP 2920.....	25
Figura 2.17 Estructura del SDR que finaliza la recepción del USRP 2920.....	26
Figura 2.18 Estructura del decodificador.....	26
Figura 2.19 Conversión del mensaje a texto por pantalla.....	27
Figura 3.1 Potencia de la señal recibida a 2 metros para la modulación BPSK.	35
Figura 3.2 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros para la modulación BPSK.	35
Figura 3.3 Potencia de la señal recibida a 2 metros para la modulación 8-PSK.	36
Figura 3.4 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros para la modulación 8-PSK.	36
Figura 3.5 Potencia de la señal recibida a 2 metros en la modulación QPSK.	37
Figura 3.6 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros en la modulación QPSK.	37
Figura 3.7 Potencia de la señal recibida a 2 metros en la modulación OQPSK.	38
Figura 3.8 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros en la modulación OQPSK.	38

Índice de tablas

Tabla 2.1 Modos de operación de bloques de transmisión y recepción	15
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de transmisor USRP 2920.....	20
Tabla 2.3 Especificaciones técnicas de receptor USRP 2920.....	21
Tabla 3.1 Decodificación selectiva del primer pager receptor	29
Tabla 3.2 Decodificación selectiva del segundo pager receptor	30
Tabla 3.3 Decodificación selectiva del tercer pager receptor	31
Tabla 3.4 Decodificación de un mensaje con más caracteres.....	32
Tabla 3.5 Gráficos de constelación de las diferentes modulaciones usadas.....	33
Tabla 3.6 Potencia de señal y ruido promedio de cada modulación.	34

CAPÍTULO 1

1. Introducción a los sistemas de paging

Las comunicaciones inalámbricas han revolucionado la manera en la que intercambiamos información, permitiendo una comunicación y conectividad casi sin interrupciones entre varios dominios. Dentro de los componentes más importantes de las comunicaciones inalámbricas encontramos a los sistemas de paging, los cuáles juegan un rol fundamental al enviar mensajes hacia sus respectivos receptores. Los sistemas de paging han ido evolucionando y cambiando con el paso del tiempo, implementando tecnología y técnicas avanzadas para lograr una transmisión confiable y eficiente del mensaje.

Las redes de comunicaciones inalámbricas permiten la comunicación entre varios dispositivos utilizando ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio para llevar la información de un lugar a otro. El uso de diferentes protocolos y mecanismo de comunicación permiten el intercambio de información estableciendo reglas para garantizar una transmisión confiable y certera. [1]

Las comunicaciones móviles están reflejadas en el progreso económico de América Latina como región, generando el 3.7% del PIB de esta en el año 2012, favoreciendo principalmente al empleo y el sector bancario. [2] En el Ecuador, según datos proporcionados por el Banco Central del Ecuador-BCE, durante el año 2019 el sector de las comunicaciones representó un 1.8% del Producto Interno Bruto-PIB del país, mientras que durante los años 2011 y 2019 se presentó una tasa de variación anual del 0.6%. De acuerdo con el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información las cifras positivas reflejan buenos pilares de las telecomunicaciones en el país, el acceso a tecnologías de información y el desarrollo de la industria. Esto representa una inversión de 7 mil millones de dólares entre el sector público y privado, reduciendo el analfabetismo digital. [3]

Los sistemas de paging, utilizados como un componente crítico de comunicaciones inalámbricas, han sido sujetos a procesos de investigación y desarrollo a través del tiempo. Es importante resaltar la importancia que tienen estos sistemas para lograr una comunicación confiable y certera. El uso de la técnica correcta, como paging de difusión y el paging secuencial, determinarán el consumo de energía y la eficiencia en la transmisión del mensaje tomando en cuenta las limitaciones existentes. [4]

En sistemas de comunicaciones móviles es importante también considerar el movimiento y ubicación del usuario puesto que existen situaciones en las que ciertos recursos como el ancho de banda y la cobertura radial son limitados, como también si el sistema entero está sobrecargado y no puede funcionar adecuadamente. [5] En la actualidad los sistemas de paging utilizan tecnología de redes celulares para su funcionamiento, donde los dispositivos emisores y receptores se comunican con una estación base para el intercambio de información evitando al mismo tiempo el uso de recursos radiales innecesarios o ineficientes. [6]

El presente trabajo se centra en el diseño e implementación de un sistema básico de paging capaz de transmitir mensajes a múltiples receptores, permitiendo una recepción selectiva de mensajes.

1.1. Descripción del Problema.

En lugares como un patio de comidas o establecimientos similares dentro de un centro comercial, a menudo existe la necesidad de comunicarse con varios tipos de personas como clientes y miembros del personal. Esta comunicación generalmente implica la transmisión de información de tipo operativa, como una alerta de pedido listo a clientes que no se encuentran en la cercanía, un aviso de mesas disponibles dentro del local como también una acción para el personal que se encuentra fuera del establecimiento. Los métodos tradicionales de comunicación, tanto verbales como mediante señas, pueden llegar a ser perturbadores, provocar malentendidos y demoras, con la consecuente insatisfacción del cliente o usuario.

Algunas de estas situaciones se presentan como un desafío para el presente trabajo ya que se pueden solucionar mediante un sistema de comunicación sencillo y de bajo costo.

1.2. Justificación de la Solución

En el presente trabajo, se ha desarrollado un sistema básico de paging (comunicación unidireccional) que tiene como objetivo proporcionar una solución eficiente para abordar los desafíos que pueden tener ciertos establecimientos de comida. El uso del sistema implica equipar a los miembros del personal y clientes con dispositivos portátiles de paging conectados inalámbricamente a una estación transmisora, que incluye un bloque conocido como terminal de paging desde la cual se envían los mensajes de alerta. Cuando se requieren acciones determinadas, como tomar un pedido o entregar alimentos, el sistema puede enviar alertas específicas al miembro del personal o el cliente.

El sistema propuesto ha sido diseñado para que se envíe un mensaje individual a cada pager específico, que alertará a su portador para realizar una acción dependiendo del contenido del mensaje. Dado este tipo de aplicación, que considera un mensaje breve para una tarea o información específica dentro de un patio de comidas, el diseño soporta inicialmente un máximo de 64 dispositivos receptores y una transmisión de 12 caracteres por mensaje en una trama de datos, siendo suficiente para el número de clientes que manejan estos lugares. Sin embargo, para un tipo de aplicación que requiera mayor alcance, el número de pagers disponibles puede aumentarse eventualmente hasta 1 048 576 y la cantidad de caracteres en el mensaje también puede incrementarse sostenidamente agregando más tramas de datos al diseño del protocolo usado. Por otro lado, la cobertura de radiofrecuencia (RF) dependerá de las características técnicas particulares del transmisor y receptores (pagers), cuyos diseños no son tratados en este trabajo.

Para aquellas aplicaciones de alerta de comida lista, se considera que la solución propuesta puede reducir las posibilidades de errores en la entrega de pedidos lo que conducirá

a una mayor satisfacción del cliente y facilita una expansión del negocio. Así mismo, permite mejorar la comunicación entre los miembros del personal para mejorar la eficiencia y calidad el servicio.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema básico de paging para la transmisión de mensajes a múltiples receptores mediante un único transmisor con decodificación selectiva de mensajes individuales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el protocolo de la capa física del sistema de paging que incluya el preámbulo y la trama de transmisión, esta última que a su vez considera las secciones de sincronización, direccionamiento, mensajería y fin de transmisión siguiendo un formato de mensajería previamente establecido.
- Desarrollar algoritmos de codificación y decodificación para el envío y recepción de mensajes individuales, tomando como base un sistema clásico de mensajería POCSAG con una trama de transmisión dividida en 8 lotes de 32 bits.
- Implementar un mecanismo de identificación específico de receptores para la decodificación selectiva de mensajes, ya que se requiere transmitir un mismo mensaje a todos los pagers y sea procesado correctamente sólo por el receptor establecido.
- Utilizar QSPK como técnica de modulación obteniendo una transmisión eficiente en un entorno con presencia de ruido.

1.4. Marco Teórico

A continuación, se detallan conceptos básicos de los sistemas de paging para poder comprender cómo ha ido cambiando la tecnología de los pagers, los componentes de su

estructura básica, el funcionamiento de cada uno de los elementos que constituye el sistema básico, distintas topologías de interconexión y los protocolos más usados y más importantes que este tipo de sistemas usa para la comunicación inalámbrica.

1.4.1 Orígenes de los sistemas de paging

Los sistemas de paging surgieron a mediados del siglo 20 como una solución de comunicación en respuesta a la creciente necesidad de mensajería instantánea y entrega eficiente de mensajes. Estos sistemas fueron implementados inicialmente en industrias relacionadas a la salud, seguridad pública y las telecomunicaciones en general. Estos sistemas con el tiempo fueron objeto de avances e innovación en lo que refiere a protocolos de comunicación, técnicas de transmisión, y en los diseños y actualizaciones de transmisores y receptores. [7]

La evolución de los sistemas de paging se ve reflejada como un elemento fundamental dentro del desarrollo de las comunicaciones inalámbricas. Se establecen los orígenes de los sistemas de paging desde la aparición de los primeros sistemas telegráficos, establecidos en un inicio como tecnologías alámbricas, cambiando posteriormente a comunicación inalámbrica con el desarrollo de los sistemas de radio frecuencia haciendo posible la comunicación inalámbrica. Algunos de los hitos claves en el desarrollo de los sistemas de paging fueron la introducción de la cobertura de área amplia, la mejora notable de los métodos de codificación de los mensajes transmitidos y la integración de los sistemas de paging en redes inalámbricas de mucho mayor tamaño. [8]

Los primeros modelos introducidos al mercado no contaban con ningún tipo de pantalla que mostraba la información enviada, después en la década de los 80 aparecen los primeros modelos con pantallas LED capaces de mostrar caracteres numéricos únicamente y con capacidad de reproducir tonos. Con la aparición de ciertas regulaciones y protocolos adoptados

internacionalmente, los sistemas de paging han permitido el desarrollo y evolución de todo tipo de tecnologías de comunicación inalámbrica que han sido introducidas hasta nuestros días. [9]

1.4.2 Estructura básica de un sistema de paging

Un sistema de paging consta de tres componentes que conforman su estructura básica: un transmisor, un receptor y una red inalámbrica. Estos elementos hacen posible la transmisión y recepción de mensajes en un sistema de paging en diferentes dispositivos. [10] A continuación, se muestra una descripción general de la estructura básica del sistema:

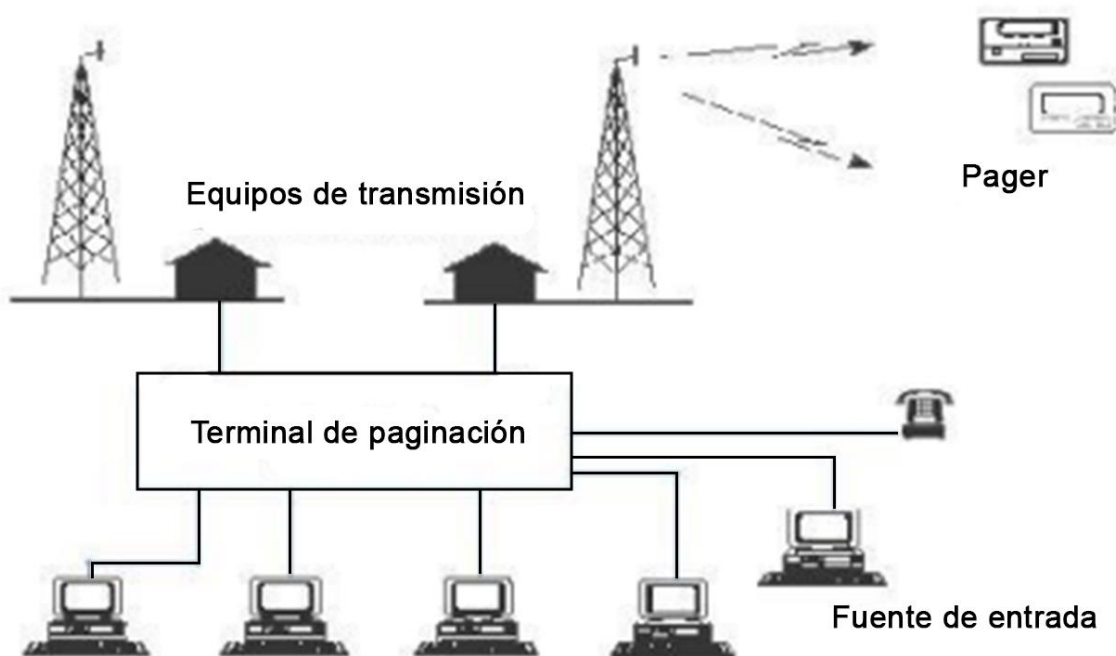
Transmisor: El transmisor es el dispositivo encargado de la codificación y transmisión de los mensajes enviados a través del sistema de paging. Toma los mensajes a enviar y los transforma a formatos de señal apropiados para la transmisión inalámbrica. El dispositivo transmisor es capaz de utilizar diferentes técnicas de modulación para enviar el mensaje a través de una red inalámbrica al ser introducido en una señal portadora.

Receptor: El dispositivo receptor se encarga de recibir y decodificar las señales transmitidas por el transmisor. Está compuesto de circuitos y elementos de demodulación que extraen el mensaje transmitido de la señal portadora recibida que la contenía. El receptor decodifica el mensaje utilizando algoritmos de decodificación acorde a la modulación utilizada por el transmisor y lo entrega a su respectivo destinatario. En el caso de haber múltiples receptores, cada receptor necesita decodificar su respectivo mensaje mientras no toma en cuenta los otros mensajes recibidos.

Red inalámbrica: La red inalámbrica es la infraestructura que permite la conexión y comunicación entre el transmisor y el receptor. Es formada por varios dispositivos y recursos, como estaciones base, controladores de paging y canales de comunicación. Dicha red habilita a los dispositivos terminales para la transmisión de mensajes entre sí, procurando lograr la transmisión y recepción precisa y confiable de los mensajes. [11]

El funcionamiento general de un sistema de paging, Figura 1.1, está condicionado a la correcta codificación de los mensajes por parte del transmisor y su emisión a través de la red inalámbrica. Los receptores reciben las señales transmitidas, las decodifican y muestra a los destinatarios el mensaje enviado. Las redes de paging tienen una tarea fundamental en la comunicación entre el transmisor y los múltiples receptores a los que se envían mensajes utilizando dichas redes. [12]

Figura 1.1 Estructura básica de un sistema de paging. Fuente: Paging Fórum



Nota. La figura muestra la estructura de un sistema de paging básico compuesto de terminales de transmisión y recepción, terminales de paginación en las radio-bases de transmisión y recepción.

1.4.3 Principio básico de funcionamiento

El principio de funcionamiento básico en un sistema de paging está relacionado con la transmisión de mensajes desde una fuente o dispositivo central hacia múltiples dispositivos receptores utilizando una red inalámbrica generalmente dedicada exclusivamente a una red de paging. A continuación, se detalla el principio de funcionamiento de dicha red:

Transmisión del mensaje: La operación del sistema inicia con la codificación y transmisión del mensaje desde el dispositivo emisor. Existen varias formas de introducir los mensajes en el transmisor que van desde la forma de texto, números o caracteres alfanuméricos. El transmisor se encarga de convertir los mensajes en un formato adecuado para su transmisión por el medio inalámbrico, utilizando técnicas de modulación para introducir la información codificada en una señal portadora.

Propagación de señal: Las señales transmitidas son propagadas a través de la red inalámbrica hacia uno o varios dispositivos receptores. Dicha red generalmente se constituye de estaciones base, controladores de paging y canales de comunicación inalámbricos.

Recepción de mensajes: Las señales transmitidas a través de la red inalámbrica son recibidas por los dispositivos receptores para su decodificación. Los dispositivos utilizan antenas y circuitos receptores para detectar y obtener las señales transmitidas mediante ondas electromagnéticas. Los receptores generalmente están diseñados para tener un área de cobertura específica donde tienen cierta sensibilidad para operar y detectar las señales transmitidas en el medio.

Decodificación y presentación: Una vez recibidas las señales transmitidas, los dispositivos receptores proceden a decodificar los mensajes habidos en las señales obtenidas. El proceso de decodificación conlleva la demodulación de las señales para lograr extraer el mensaje original codificado en el interior de la señal portadora. Cada receptor filtra y decodifica su respectivo mensaje, utilizando diversos mecanismos de identificación o códigos de dirección correspondientes a dicho receptor.

Entrega de mensajes: Después del proceso de decodificación, los receptores presentan los mensajes obtenidos a los destinatarios a través de pantallas donde pueden ser visualizados, salidas de audio u otros medios que hacen posible entender el mensaje transmitido. En la Figura 1.2, se muestra un ejemplo de un dispositivo de pager donde se entregan los mensajes. Los

destinatarios recibirán e interpretarán su respectivo mensaje sin tener la necesidad de recibir o interpretar otros mensajes transmitidos en el mismo medio. [13]

Figura 1.2 Dispositivos pagers. Fuente: GlobalSpec



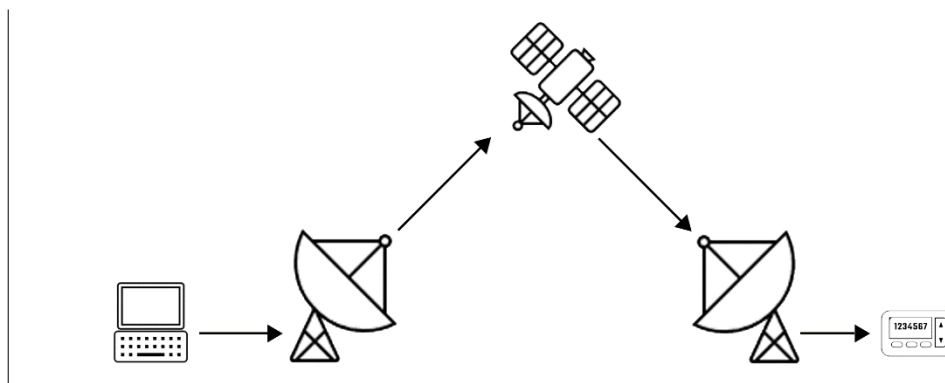
Nota: La figura muestra diferentes tipos de pagers donde se visualizan los mensajes recibidos.

1.4.4 Topologías en los sistemas de paging

Las redes de paging utilizan varios tipos de topologías que permiten la comunicación entre las terminales de paging, esto es entre centros de control. La topología utilizada depende de varios factores, entre ellos la cobertura, la escalabilidad de la red como también de su arquitectura. A continuación, se detallan las topologías más comunes utilizadas:

Topología simple: Existe un solo centro de control al cual se conectan todas las estaciones de base. Estas estaciones pueden ser conectadas mediante enlaces RF, fibra óptica o enlaces satelitales tal como se indica en la Figura 1.3. [19]

Figura 1.3 Topología simple.



Topología dúplex: En esta configuración dos terminales de paging están conectadas entre sí a través de un canal de comunicaciones; ambos equipos pueden iniciar la conversación como

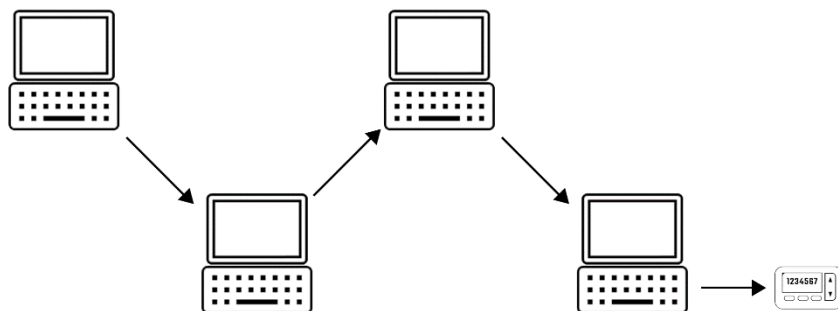
también recibir los mensajes enviados desde el otro equipo. Permite la comunicación inalámbrica directa a largas distancias sin la necesidad de equipos intermediarios. [19]

Figura 1.4 *Topología duplex*



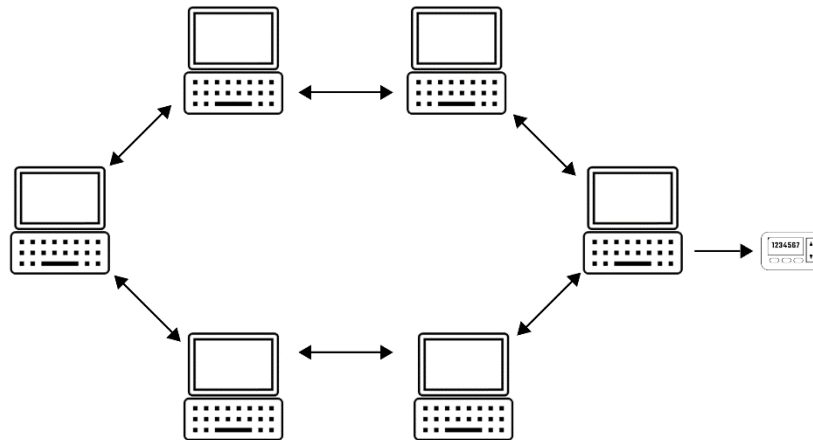
Topología de bus: En este caso la comunicación entre los dispositivos se da sucesivamente entre ellos. Si un terminal envía un paquete este irá de terminal en terminal hasta llegar a su destino. Generalmente se direcciona hacia todos los terminales de la red hasta encontrar el dispositivo destinatario (roaming). [19]

Figura 1.5 *Topología de bus.*



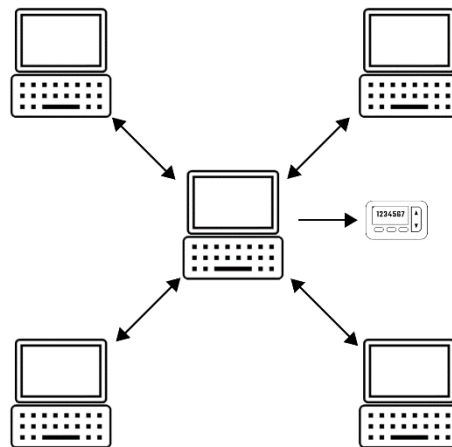
Topología de anillo: Podría considerarse una topología de bus en la que los extremos de la red han sido unidos para evitar la caída total de la comunicación si uno de los nodos falla. [19]

Figura 1.6 *Topología de anillo.*



Topología de estrella: En una topología en estrella, el terminal de paginación sirve como elemento central y todos los dispositivos están conectados directamente a este. El terminal transmite mensajes a todos los pagers al mismo tiempo. Esta topología simplifica la estructura de red y permite una distribución eficiente de los mensajes. [19]

Figura 1.7 *Topología de estrella.*



1.4.5 *Protocolos de transmisión*

Los sistemas de paging emplean varios protocolos para facilitar la transmisión de mensajes entre el terminal de paging y los dispositivos receptores. Estos protocolos definen las reglas y procedimientos para el formato, codificación, transmisión y recepción de mensajes.

POCSAG: Este uno de los protocolos más utilizados en los sistemas de paging tradicionales. Es un protocolo de comunicación unidireccional que utiliza modulación de cambio de frecuencia (FSK). POCSAG admite varios tipos de paging, como el paging numérico, paging alfanumérico y de sólo tono. Proporciona una transmisión eficiente con un consumo de energía relativamente bajo. [20]

FLEX (Protocolo inalámbrico flexible): Se trata de un protocolo de comunicación unidireccional que introduce mejoras y ventajas frente a los primeros protocolos utilizados que eran unidireccionales. Su estructura bidireccional permite a los usuarios recibir y enviar mensajes cortos desde el mismo dispositivo. Este protocolo también ofrece nuevos mecanismos, y técnicas de detección y corrección de errores durante la transmisión. [21]

POCSAG Enhanced Paging (POCSAGE): Este protocolo es la versión mejorada del primer POCSAG. Mantiene la compatibilidad con los sistemas POCSAG existentes al mismo tiempo de ofrecer nuevas características y capacidades. Esta nueva versión es capaz de trabajar con mensajes más extensos, mejora la velocidad de transmisión y mejora notablemente la detección y corrección de errores. [20]

ReFLEX (Protocol for Remote Flexible): ReFLEX es un protocolo bidireccional flexible desarrollado a partir de su versión anterior, FLEX. Permite la localización y comunicación entre una terminal de paging y los pagers conectados a esta. Esta nueva versión introduce direccionamiento selectivo, almacenamiento y reenvío de mensaje como también técnicas avanzadas para la detección y corrección de errores. [21]

Es importante tener en cuenta que la elección del protocolo depende de varios factores, incluidos los requisitos específicos del sistema de paging, las características requeridas, la compatibilidad con la infraestructura existente y el presupuesto que define el costo económico de la implementación de la red.

CAPÍTULO 2

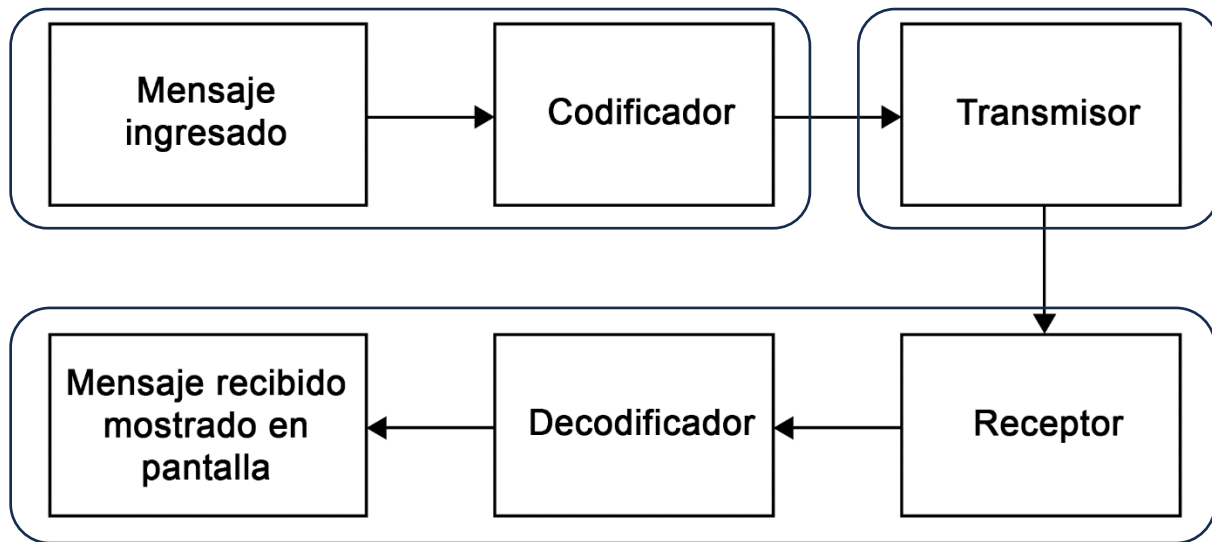
2. Diseño de solución

En el siguiente capítulo, se detalla el diseño de solución propuesto para el sistema básico de paging junto a todas las herramientas utilizadas para su implementación. El sistema básico de paging se basa en una versión simplificada del protocolo de comunicaciones POCSAG en el que particularmente se transmite un solo mensaje por pager.

2.1 Estructura del sistema

Para el efecto, se ha diseñado una estructura de datos que el receptor puede decodificar fácilmente. El mensaje alfanumérico se genera con un formato particular usando una aplicación de software que simula un terminal de paging y donde también se selecciona la frecuencia central de transmisión-recepción. La Figura 2.1 muestra el diagrama de bloques del sistema propuesto.

Figura 2.1 Diagrama de bloques de la solución propuesta



Nota. La figura muestra la estructura de bloques del sistema de paging básico propuesto. Este sistema se implementa mediante el software LabVIEW en combinación con USRP 2920 trabajando como transmisor y receptores.

Una de las diferencias más notable del sistema de paging desarrollado frente a sistemas de paging comerciales es el tipo de modulación utilizado. Los sistemas comerciales utilizaban

generalmente modulaciones FSK, mientras que el presente proyecto utiliza técnicas de modulación PSK ofreciendo una mejor eficiencia de bits/s/Hz. Tanto el proceso de modulación y demodulación PSK se pueden implementar eficientemente mediante SDR (Software Defined Radio) que en el desarrollo de este proyecto corresponde a LabVIEW.

El sistema consta de dos subsistemas principales: el primer subsistema es una sección transmisora desde donde se envían mensajes a múltiples receptores y el segundo subsistema es una sección que consta de varios dispositivos receptores que siempre están en modo de escucha, esperando a recibir y decodificar un mensaje enviado específicamente a uno de ellos. La sección de transmisión del sistema de paging propuesto consta del transmisor RF propiamente dicho y del bloque generador del mensaje en un formato particular. En igual forma, en la sección receptora cada receptor maneja la parte de RF y los bloques que permiten la sincronización y decodificación, y de la unidad de despliegue visual. Particularmente, el diseño e implementación de los circuitos electrónicos que se utilizarían para mostrar dichos mensajes y alertar al usuario queda como un desarrollo futuro.

El sistema desarrollado utiliza el NI USRP 2920 como elemento de hardware para la transmisión y recepción de mensajes. Estos dispositivos facilitan las pruebas del sistema de paging propuesto en instalaciones interiores o áreas geográficas de tamaño reducido debido a su versatilidad en el manejo de los parámetros de potencia y de recepción buscados.

Los componentes del sistema implementados mediante SDR, así como los de hardware (USRPs) trabajan de forma independiente y condicionada de acuerdo con el rol que están desempeñando. La Tabla 2.1 muestra las funciones de las secciones transmisora y receptora.

Tabla 2.1 Modos de operación de bloques de transmisión y recepción

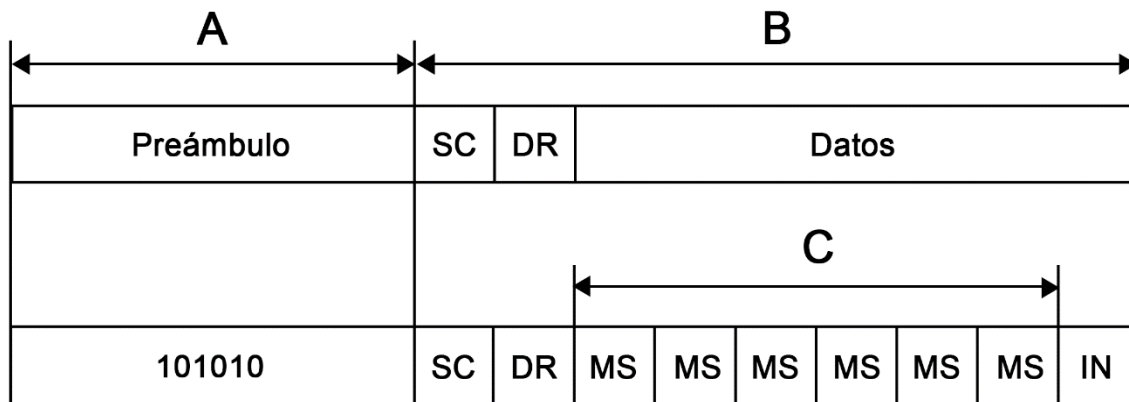
Sección transmisora	Sección Receptora
Conversión digital-analógica	Conversión analógica digital
Conversión ascendente	Conversión descendente
Modulación	Demodulación

Nota: Datos tomados de National Instruments (2023)

2.2 Codificación y formato

Para transmitir un mensaje utilizando el sistema básico de paging propuesto se sigue un formato particular que corresponde a una versión simplificada del protocolo POCSAG. El formato consiste en un preámbulo seguido de una trama que contienen una palabra de sincronización y un número determinado de lotes. La estructura de la trama es la que se muestra en la Figura 2.2 y se describe en las siguientes subsecciones. Cada lote contiene los bits de dirección (palabra clave de dirección) y bits de mensaje (palabra clave del mensaje) junto a los bits de control y corrección de errores. El sistema transmite una sola trama que contiene el mensaje enviado desde el terminal. En los casos en que no existan símbolos adicionales por enviar dentro de la trama, esta se completa con palabras que tienen un formato especial denominadas palabras claves inactivas. El proceso de transmisión por pager termina cuando se envía la trama:

Figura 2.2 Estructura del preámbulo y de la trama de datos



Nota. La figura muestra la estructura y el orden en el que se ubica el preámbulo durante la transmisión del mensaje. La sección A de la figura corresponde al preámbulo, la sección B indica la trama conteniendo a los bits de sincronización (SC), un lote de dirección del receptor (DR) y los bits de mensaje en la sección C, contenidos en lotes (MS). Un lote de mensaje inactivo (IN) se transmite siempre al final del mensaje.

2.2.1 Preámbulo

Cada transmisión comienza con un preámbulo que ayuda a los pagers a lograr la sincronización de bits y, por lo tanto, ayuda a adquirir las palabras y la sincronización por lotes. El preámbulo es un patrón de reversiones, 101010... de al menos 32 bits, que se genera cada vez que se transmite un mensaje.

2.2.2 Tramas

Las tramas están formadas por una palabra clave de sincronización seguida de un lote de dirección, 6 lotes de datos y un último lote de palabra clave inactiva, cada uno de los cuales contiene 32 bits de información. De los 32 bits de información, 20 corresponden a las palabras claves del mensaje y 12 bits son asignados a la corrección y detección de errores. Este formato ayuda al receptor a recuperar el mensaje durante la transmisión y detectar si alguna de ellas se ha perdido.

Las palabras clave correspondientes al mensaje pueden transmitirse en cualquiera de los 6 lotes dentro de una trama siempre después de la palabra clave de sincronización y de la dirección. Un mensaje puede estar formado por un número determinado de caracteres ASCII transmitidos consecutivamente y puede abarcar uno o más lotes. La terminación del mensaje es indicada cuando todos los símbolos del mensaje ingresados han sido codificados y ordenados en una trama, agregando una palabra clave inactiva a los lotes que no han sido llenados en caso de ser necesario. La última palabra clave transmitida (lote 7) debe ser siempre una palabra clave inactiva.

Dado que sólo 6 lotes pueden tener hasta (6x20=) 120 bits para mensajería, es posible enviar hasta (120/7=) 17.14 caracteres por mensaje. Por temas de simplificación de la programación del software en el presente proyecto se ha diseñado para que se pueda enviar un máximo de 2 caracteres ASCII (2x7=14 bits) en cada lote, quedando los 6 bits restantes de cada lote para una futura aplicación. En consecuencia, el diseño propuesto puede enviar un máximo de 12 caracteres por mensaje que resulta suficiente para alertar a los usuarios o clientes de algún negocio que use este sistema de paging. En el caso de que se envíe un número impar de caracteres (1, 3, 5, 7, 9, 11), el sistema simplemente llena los restantes bits con ceros.

2.2.3 Tipos de palabras clave

Las palabras clave de dirección contienen 32 bits de cuales, 20 bits son para asignar la dirección del pager, 12 bits para corrección y detección de errores. La estructura de la palabra clave dirección se muestra en la Figura 2.3. Las direcciones que identifican cada pager son caracteres numéricos representados por 6 bits, por lo que para el presente proyecto las direcciones pueden tomar un valor dentro del rango de 1 a 64. La trama de la palabra clave dirección ocupa 18 bits de información, en los cuales se repite 3 veces los 6 bits correspondientes a la dirección elegida, con la finalidad de que el pager pueda asegurar, con 2 de 3 oportunidades, que la dirección enviada en la trama se refiera a su dirección asignada. Este diseño de validación de dirección deja 2 bits restantes de información que pueden tomarse en cuenta para una futura aplicación.

Figura 2.3 Estructura de una palabra clave de dirección

N° Bit	1-6	7-12	13-18	19-20	21-31	32
Bits	D	D	D	I	E	P

Nota. La figura muestra la estructura de una palabra clave de dirección. La sección D corresponde a los 6 bits de la dirección, estos se repiten 3 veces; la sección E corresponden a los bits de corrección de errores y la sección P indica el bit de paridad. La sección I contiene bits inactivos que no se usarán en esta trama.

Las palabras clave de mensaje contienen 32 bits que se transmiten primero con el bit más significativo. Como se detalló en la subsección 2.2.2, la palabra clave de mensaje contiene tanto los bits propios de la codificación del mensaje como un número de bits para detección y corrección de errores. La estructura de una palabra clave de mensaje se ilustra en la Figura 2.4.

Figura 2.4 Estructura de una palabra clave de mensaje

N° Bit	1-14	15-20	21-31	32
Bits	M	I	E	P

Nota. La figura muestra la estructura de una palabra clave de mensaje. La sección M corresponde a los bits del mensaje; la sección E corresponden a los bits de corrección de errores y la sección P indica el bit de paridad. La sección I contiene bits inactivos que no se usarán en esta trama.

La palabra clave de sincronización es un código único que se utiliza para identificar el inicio de cada trama. Se conforma de un conjunto de 32 bits específicos mostrado en la Figura 2.5 correspondientes al código 0x7CD215D8.

Figura 2.5 Estructura de una palabra clave de sincronización.

Bit No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Bit	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
Bit No.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Bit	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0

Nota. La figura muestra la estructura de una palabra clave de sincronización.

La palabra clave inactiva es una palabra clave única y reservada utilizada para tomar el lugar de una palabra clave de mensaje en cualquier trama que de otro modo no se llenaría e indica el final de una transmisión, completando la codificación del mensaje a enviarse. La palabra clave inactiva consta de 32 bits y se muestra en la Figura 2.6. Si una trama no contiene los 256 bits completos (8 lotes x32 bits), se agrega una o varias palabras clave inactiva (de 32 bits cada una) para completarla. Si no existe ninguna palabra clave de mensaje, se transmitirá solo palabras claves inactivas (8) en su lugar.

Figura 2.6 Estructura de una palabra clave inactiva

Bit No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Bit	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
Bit No.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Bit	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1

Nota. La figura muestra la estructura de una palabra clave inactiva.

2.3 USRP 2920

El USRP 2920 es un producto desarrollado por Ettus Research, una compañía que se especializa en soluciones de SDR. El término "USRP" significa Universal Software Radio Peripheral, y se refiere a una familia de dispositivos diseñados para permitir sistemas de comunicación de radio flexibles y programables. El USRP 2920 es parte de esta familia y está diseñado para proporcionar una plataforma para que los investigadores, ingenieros y aficionados experimenten y desarrollen diversas aplicaciones de comunicación inalámbrica.

El USRP 2920 ofrece un amplio rango de frecuencias lo que lo hace adecuado para una variedad de protocolos de comunicación inalámbrica a través de diferentes bandas de frecuencia. Utiliza un diseño modular, lo que permite a los usuarios elegir y cambiar diferentes placas hijas para admitir rangos de frecuencia y aplicaciones específicas. Estas especificaciones hacen que

el USRP 2920 sea versátil y adaptable a diversos escenarios, desde comunicación celular hasta sistemas de radar definidos por software.

Una de las características clave del USRP 2920 es su capacidad para ser controlado y programado utilizando software. Esta flexibilidad permite a los usuarios definir e implementar sus propias formas de onda de radio personalizadas, esquemas de modulación y algoritmos de procesamiento de señales. Esta adaptabilidad hace que el USRP 2920 sea una herramienta valiosa para la investigación, la educación y la creación de prototipos en el campo de las comunicaciones inalámbricas.

2.3.1 Especificaciones técnicas del transmisor

Las capacidades técnicas del equipo USRP 2920, especificadas por el fabricante, son relevantes para el uso del modelo bajo ciertas condiciones de operación. En el presente caso de estudio se han establecido a dichas operaciones en una temperatura ambiental de 25°C y a una altura geográfica idéntica al nivel del mar. La Tabla 2.2 contiene los parámetros de operación del USRP 2920 funcionando como transmisor en las condiciones establecidas como el rango de frecuencia de operación, potencias de salida a diferentes frecuencias y rangos de ganancia.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de transmisor USRP 2920

Rango de frecuencia de operación	50 MHz a 2.2 GHz
Paso de frecuencia	<1 kHz
Potencia de salida máxima (Pout)	
50 MHz to 1.2 GHz	50 mW a 100 mW (17 dBm a 20 dBm)
1.2 GHz to 2.2 GHz	30 mW a 70 mW (15 dBm a 18 dBm)
Rango de ganancia	0 dB a 31 dB
Paso de ganancia	1.0 dB
Precisión de frecuencia	2.5 ppm

Nota: Datos tomados de National Instruments (2023)

2.3.2 Especificaciones técnicas del receptor

De manera similar al transmisor, se ha hecho uso del equipo USRP 2920 bajo ciertas condiciones de operación. En este caso se han establecido dichas operaciones en una temperatura ambiental de 25°C y a una altura geográfica idéntica al nivel del mar. La tabla 2.3 contiene los parámetros de operación del USRP 2920 funcionando como receptor en las condiciones establecidas como el rango de frecuencia de operación, potencias de salida a diferentes frecuencias y rangos de ganancia.

Tabla 2.3 *Especificaciones técnicas de receptor USRP 2920*

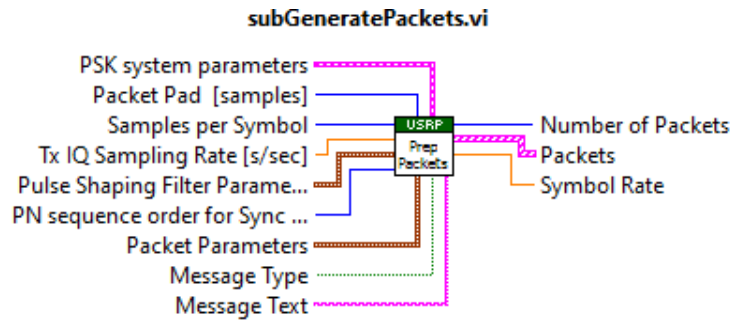
Rango de frecuencia de operación	50 MHz a 2.2 GHz
Paso de frecuencia	<1 kHz
Rango de ganancia	0 dB to 31.5 dB
Paso de ganancia	0.5 dB
Precisión de frecuencia	2.5 ppm
Potencia de entrada máxima (Pin)	0 dBm
Figura de ruido	5 dB a 7 dB

Nota: Datos tomados de National Instruments (2023)

2.4 Implementación del terminal de paging

El mensaje ingresado por el usuario es codificado en la sección transmisora dentro de las tramas de información, modulado de acuerdo con el tipo de modulación seleccionado y enviado utilizando el USRP 2920. Específicamente, el detalle de la estructura de los bloques de codificación y generación de tramas en la sección transmisora se muestran en las Figuras 2.7 – 2.13.

Figura 2.7 Estructura de los bloques de codificación y generación de tramas en LabVIEW

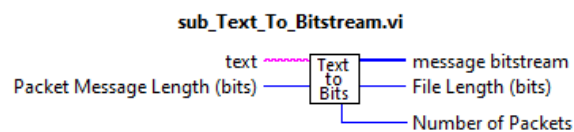


Nota. La figura muestra la implementación de la estructura de los bloques de codificación y generación de tramas en el software LabVIEW donde se puede observar la facilidad de ingreso de mensajes por parte del usuario, los parámetros de transmisión relacionados al tipo de modulación a utilizar, los parámetros de filtros y la cantidad de muestras por símbolos que tomará el transmisor.

Este programa, de la Figura 2.8, toma todos los símbolos del mensaje ingresado y los transforma a su forma binaria, siguiendo el modelo ASCII, para posteriormente ordenarlos e insertarlos en las diferentes tramas creadas utilizando arreglos de datos. Al ingresar los parámetros de transmisión se ingresa también la identificación (dirección) del pager permitiendo enviar la información a un receptor específico que coincidan con la dirección ingresada.

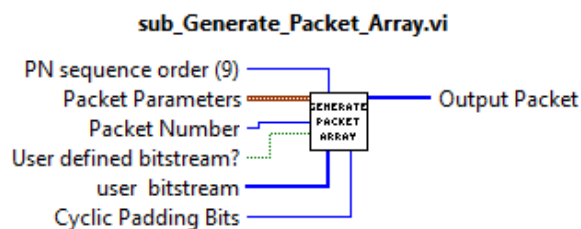
Una vez preparadas las tramas, en la Figura 2.9, y los demás parámetros para la recepción, serán enviadas a varios bloques asociados al funcionamiento del USRP 2920. Estos bloques se encargan de reconocer que exista una sesión activa en la computadora de trabajo para lograr la transmisión. Dichos programas se detallan en las Figuras 2.10 – 2.13, respectivamente.

Figura 2.8 Estructura del bloque de conversión de texto a bits en LabVIEW



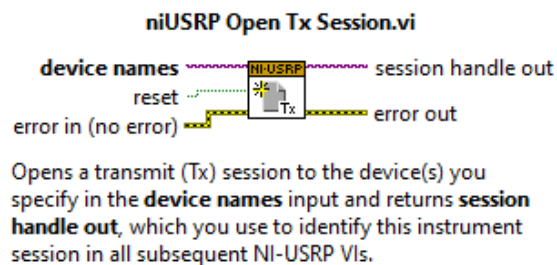
Nota. La figura muestra la implementación del bloque que transforma el mensaje enviado en formato alfanumérico a su respectiva representación binaria. El bloque al realizar esta operación regresa la cadena de bits junto a su respectiva longitud.

Figura 2.9 Estructura del bloque de conformación de trama en LabVIEW



Nota. La figura muestra la implementación del bloque que se encarga de conformar la trama y la prepara para su transmisión. Recibe la cadena de bits del mensaje ingresado, la dirección a enviar y otros parámetros de transmisión. El bloque integra los datos recibidos con los bits de sincronización, el preámbulo y la corrección/detección de errores siguiendo el formato simplificado POCSAG. Una vez conformada la trama será enviada hacia los bloques de transmisión.

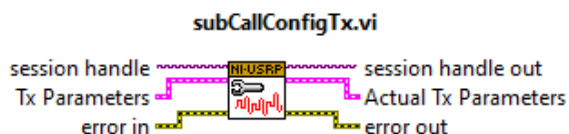
Figura 2.10 Estructura del SDR para iniciar transmisión en USRP 2920



Nota. La figura muestra el programa encargado de validar la sesión del dispositivo USRP 2920.

La Figura 2.10 muestra el programa encargado de validar la sesión del dispositivo USRP 2920 para lograr la transmisión de las tramas utilizando su dirección IP al verificar que se encuentre en el mismo segmento de red del puerto Ethernet de la computadora. En caso de no haber coincidencias, el software no reconocerá el dispositivo USRP 2920 conectado.

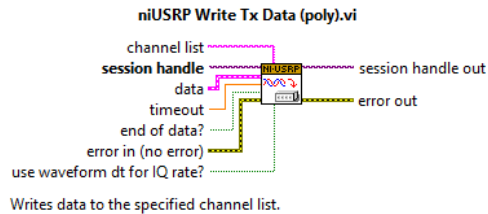
Figura 2.11 Estructura del SDR con parámetros de transmisión del USRP 2920



Nota. La figura muestra el programa encargado de recibir los parámetros para la transmisión.

La Figura 2.11 muestra el programa encargado de recibir y establecer los parámetros de transmisión como ancho de banda, frecuencia central de transmisión, tasa de bits y tipo de modulación a utilizar. Este programa da instrucciones específicas al USRP 2920 para que se desempeñe de acuerdo con las necesidades del sistema.

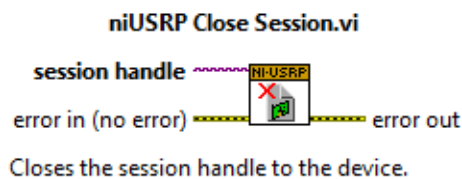
Figura 2.12 Estructura del SDR que recibe tramas a ser transmitidas en USRP 2920



Nota. La figura muestra el programa que recibe la trama generada para su transmisión.

La Figura 2.12 muestra el programa encargado de recibir la trama generada por el codificador una vez se haya validado la sesión y establecido los demás parámetros de transmisión en los otros programas. Este programa identifica el inicio y final de la trama de datos, utiliza la modulación seleccionada y realiza la transmisión.

Figura 2.13 Estructura del SDR que finaliza la transmisión del USRP 2920

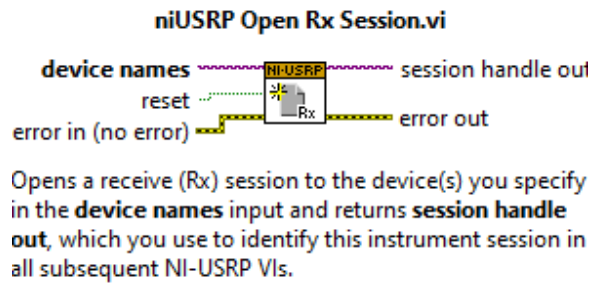


Nota. La figura muestra el programa que se encarga de cerrar la sesión activa.

La Figura 2.13 corresponde al programa que cierra la sesión activa del USRP 2920 una vez que el proceso de transmisión ha sido completado. El USRP 2920 se activará para una nueva transmisión cuando existe una nueva trama para transmitir.

En el receptor se sigue un proceso similar al transmisor en cuanto al USRP 2920 se trata. Siendo necesario establecer programas específicos para que el dispositivo sea capaz de recibir los datos enviados desde el transmisor Figuras 2.14 – 2.19.

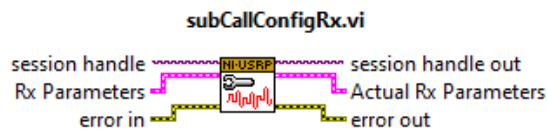
Figura 2.14 Estructura del SDR para iniciar la recepción del USRP 2920



Nota. La figura muestra el programa que se encarga de validar la sesión en el dispositivo receptor.

La Figura 2.14 muestra el programa encargado de validar la sesión del dispositivo USRP 2920 para lograr la transmisión de las tramas utilizando su dirección IP al verificar que se encuentre en el mismo segmento de red del puerto Ethernet de la computadora. En caso de no haber coincidencias, el software no reconocerá el dispositivo USRP 2920 conectado.

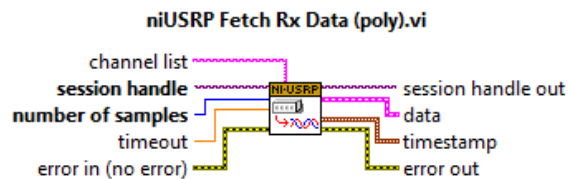
Figura 2.15 Estructura del SDR con parámetros en recepción del USRP 2920



Nota. La figura muestra el programa que se encarga de establecer los parámetros de recepción para el USRP 2920, especialmente la frecuencia central de recepción.

La Figura 2.15 muestra el programa encargado de recibir y establecer los parámetros del receptor, principalmente la frecuencia central de recepción, tasa de bits y tipo de modulación a utilizar. Este programa da instrucciones específicas al USRP 2920 para que se desempeñe de acuerdo con las necesidades del sistema.

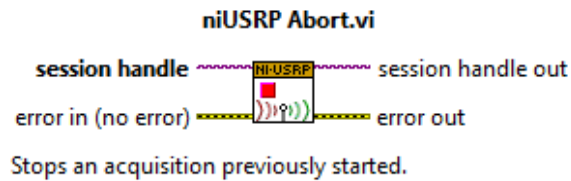
Figura 2.16 Estructura del SDR que recibe las tramas enviadas al USRP 2920



Nota. La figura muestra el programa que se encarga de recibir y almacenar todas las tramas

La Figura 2.16 muestra el programa que recibe y almacena la trama enviada desde el transmisor. Este es el programa que le permite al USRP 2920 registrar todos los datos recibidos en la memoria para ser utilizados posteriormente siempre y cuando se haya validado la sesión y los parámetros de recepción coincidan con los de transmisión.

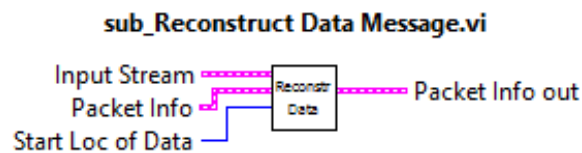
Figura 2.17 Estructura del SDR que finaliza la recepción del USRP 2920



Nota. La figura muestra el programa que se encarga de detectar si la recepción ha finalizado.

La Figura 2.17 muestra el programa que finaliza la fase de recepción en el USRP 2920 una vez se hayan recuperado todos los datos transmitidos. Este programa finaliza también la sesión activa del dispositivo receptor hasta que este se active nuevamente debido a una nueva transmisión.

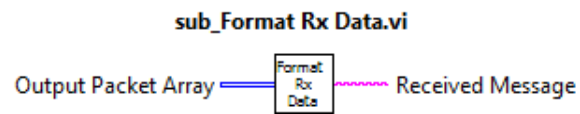
Figura 2.18 Estructura del decodificador



Nota. La figura muestra el programa del decodificador que se encarga de analizar la trama de bits recuperada por el USRP 2920.

En la Figura 2.18, se observan el bloque que recibe la trama de bits de información para analizarla y decidir si se la decodifica. La primera tarea que realiza es leer la dirección encontrada dentro de la trama recibida para compararla con la dirección del pager y aplicar la decodificación selectiva en caso de que las direcciones coincidan. En dicho caso, el programa enviará la trama de bits hacia el bloque de decodificación.

Figura 2.19 Conversión del mensaje a texto por pantalla



Nota. La figura muestra el programa que reconstruye el mensaje y lo muestra en pantalla del receptor.

En la Figura 2.19, se observa el programa que recibe la trama de datos para realizar la decodificación del mensaje. Este bloque sigue el formato establecido en el sistema para reconstruir la información de forma ordenada y posteriormente mostrar el mensaje recuperado en la pantalla del pager.

CAPÍTULO 3

3. Resultados y Análisis

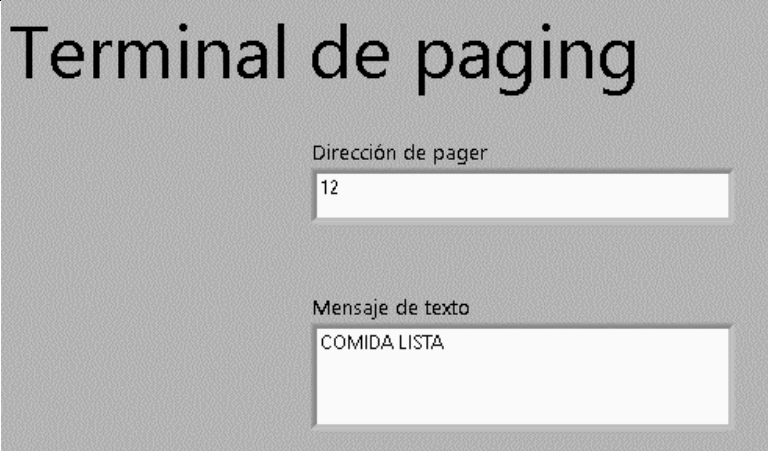

Una vez implementado y simulado el sistema descrito en el capítulo 2, se procede a realizar pruebas con 1 USRP transmisor y 3 USRP receptores para comprobar la correcta implementación del sistema de paging propuesto. De esta forma, cada receptor tomó la función de ser un pager distinto. Dichas pruebas se describen en la sección 3.1. Luego, en la sección 3.2 se muestran pruebas complementarias de medición la potencia de la señal recibida de los USRPs receptores a diferentes potencias de transmisión con distintas distancias desde el transmisor.

3.1 Prueba de decodificación selectiva de sistema de paging

Se configuraron 3 pagers con distintas direcciones (12, 32, 43) y con una frecuencia de recepción de 915 MHz. Luego, desde la interfaz transmisora del terminal de paging se envió un mensaje de 12 caracteres destinado a cada uno de los pagers, que se encuentran en escucha continua, y se verificó en cada prueba que sólo se decodificó el mensaje en el pager correspondiente a la dirección elegida en la transmisión, mientras que los otros dos pagers, con direcciones distintas, no mostraron ningún mensaje.

En la Tabla 3.1, se muestra la transmisión del primer mensaje de 12 caracteres 'COMIDA LISTA' hacia el primer pager con dirección 12 y con la decodificación correspondiente en dicho pager. Mientras que la recepción en los pagers restantes con direcciones 32 y 43 no mostró ningún mensaje, ya que el valor de la dirección apuntada no correspondía con sus direcciones.

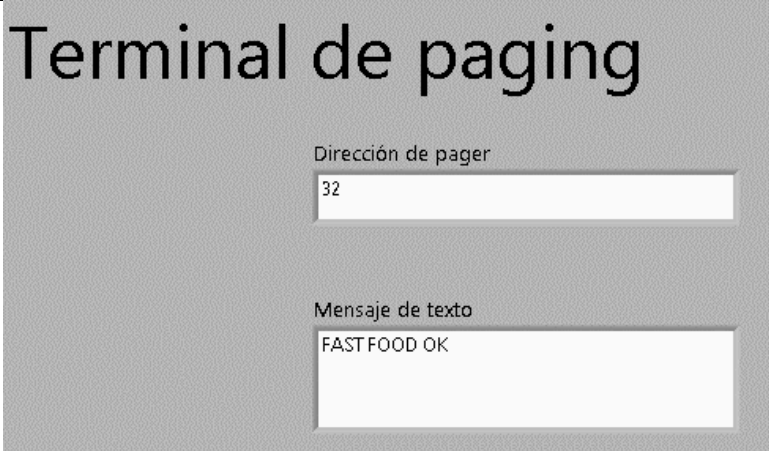

Tabla 3.1 Decodificación selectiva del primer pager receptor

Transmisión al primer pager receptor	
	
Pager receptor 1	
	

Nota: La prueba de envío de mensaje hacia el primer pager resultó con éxito mostrando el mensaje completo mientras que los otros pagers no decodificaron ningún mensaje.

En la Tabla 3.2, las figuras muestran la transmisión y recepción del segundo mensaje de 12 caracteres 'FAST FOOD OK' en el segundo pager con dirección 32 y con la decodificación correspondiente en dicho pager.

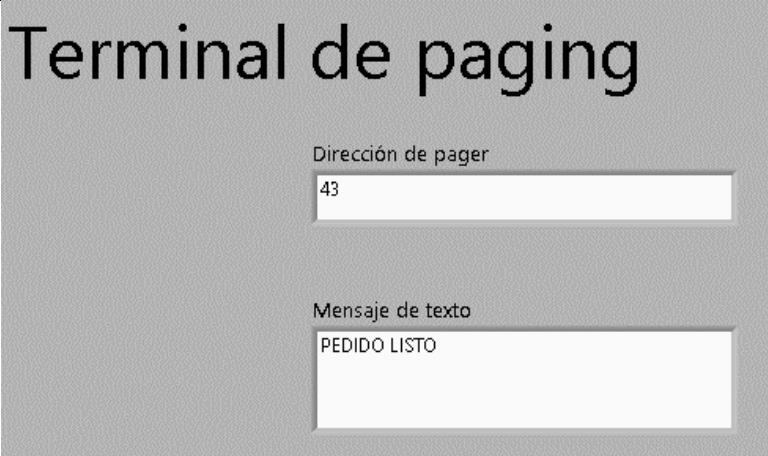

Tabla 3.2 Decodificación selectiva del segundo pager receptor

Transmisión al segundo pager receptor	
	
Pager Receptor 2	
	

Nota: La prueba de envío de mensaje hacia el segundo pager resultó con éxito mostrando el mensaje completo mientras que los otros pagers no decodificaron ningún mensaje.

En la Tabla 3.3, se muestra recepción del tercer mensaje de 12 caracteres 'PEDIDO LISTO' en el tercer pager con dirección 43 y con la decodificación correspondiente en dicho pager.

Tabla 3.3 Decodificación selectiva del tercer pager receptor

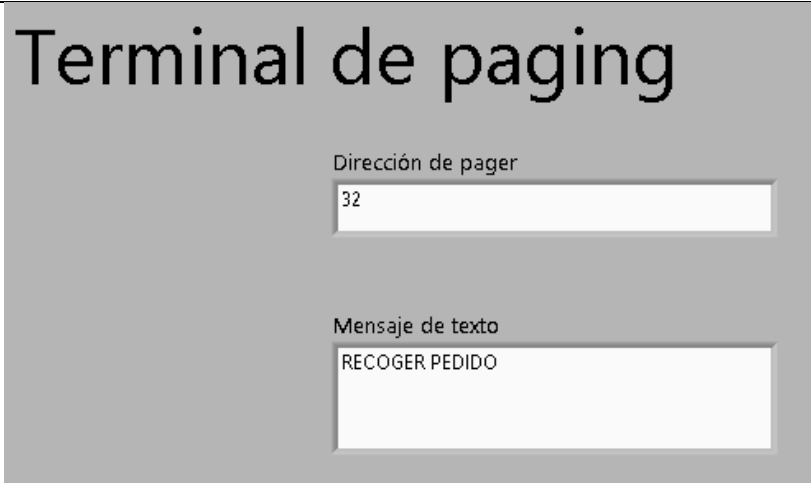
Transmisión al tercer pager receptor	
	
Pager receptor 3	
	

Nota: La prueba de envío de mensaje hacia el tercer pager resultó con éxito mostrando el mensaje completo mientras que los otros pagers no decodificaron ningún mensaje.


También se realizó una prueba para verificar la longitud del mensaje recibido, ya que debe contener como máximo 12 caracteres. En la Tabla 3.4, se muestra que en esta prueba se envió desde el terminal de paging el mensaje 'RECOGER PEDIDO' que contiene 14 caracteres, pero el pager correspondiente sólo mostró el mensaje 'RECOGER PEDI', ajustando el mensaje recibido a la longitud máxima que debe mostrar.

Tabla 3.4 Decodificación de un mensaje con más caracteres

Transmisión al pager receptor


--

Pager receptor 2

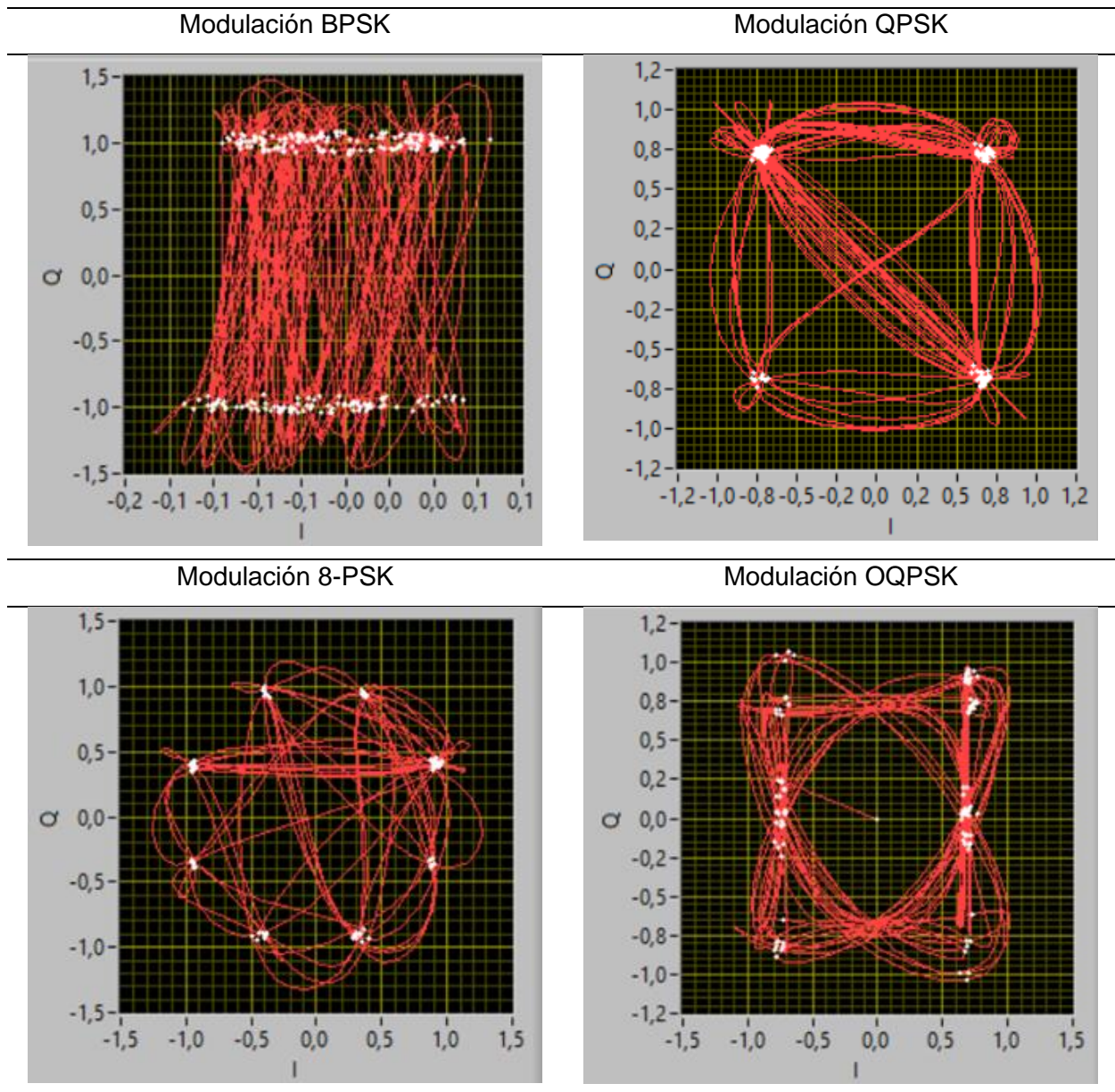


Nota: La prueba de envío de mensaje con más de 12 caracteres a un pager resultó en que se mostró sólo el mensaje parcial de los primeros 12 caracteres.

3.2 Potencia de la señal recibida en diferentes modulaciones

En estas pruebas se usaron diferentes modulaciones para obtener el mensaje decodificado completamente a tres distancias distintas: 2, 5 y 10 metros de separación entre transmisor y receptor. El diseño de cobertura RF no es parte de los objetivos del presente trabajo. Las gráficas de constelación de las 4 modulaciones usadas se muestran en la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Gráficos de constelación de las diferentes modulaciones usadas



Nota: Los gráficos de constelación indican qué tan bien decodificados son los mensajes transmitidos, a la frecuencia central de transmisión de 915 MHz en diferentes modulaciones.

Mientras que la Tabla 3.6 muestra el promedio de la potencia de la señal recibida y el promedio de ruido en el receptor para las distancias de 2, 5 y 10 metros. Estas mediciones fueron tomadas en un intervalo de 10 segundos con el envío consecutivo de un mismo mensaje. Las

relaciones de señal a ruido obtenidas y la eficiencia en el ancho de banda, permitieron escoger QPSK como la alternativa de modulación en el presente trabajo.

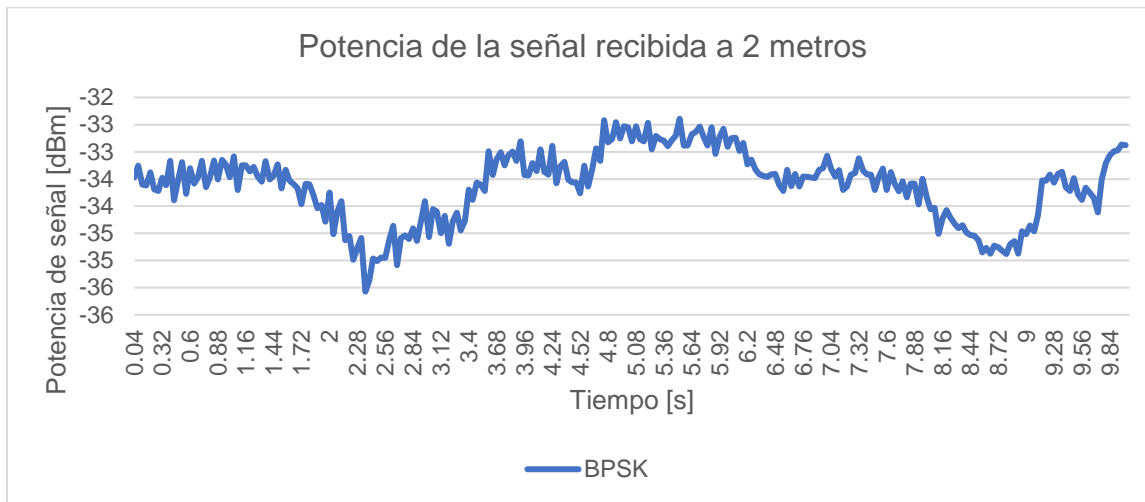
Tabla 3.6 *Potencia de señal y ruido promedio de cada modulación.*

Modulación	Distancia [m]	Potencia promedio de señal [dBm]	Potencia promedio de ruido [dBm]
BPSK	2	-33.57	-60.02
	5	-65.64	-90.17
	10	-66.23	-90.71
QPSK	2	-37.58	-71.10
	5	-66.27	-91.60
	10	-65.80	-91.57
8PSK	2	-33.14	-73.02
	5	-66.42	-91.66
	10	-66.60	-90.95
OQPSK	2	-35.39	-71.53
	5	-65.93	-91.30
	10	-65.78	-90.12

Nota: La tabla muestra los valores de potencia de la señal recibida y el ruido en dBm a diferentes distancias; el primer valor es medido a 2 metros, el segundo a 5 metros y el tercero es a 10 metros

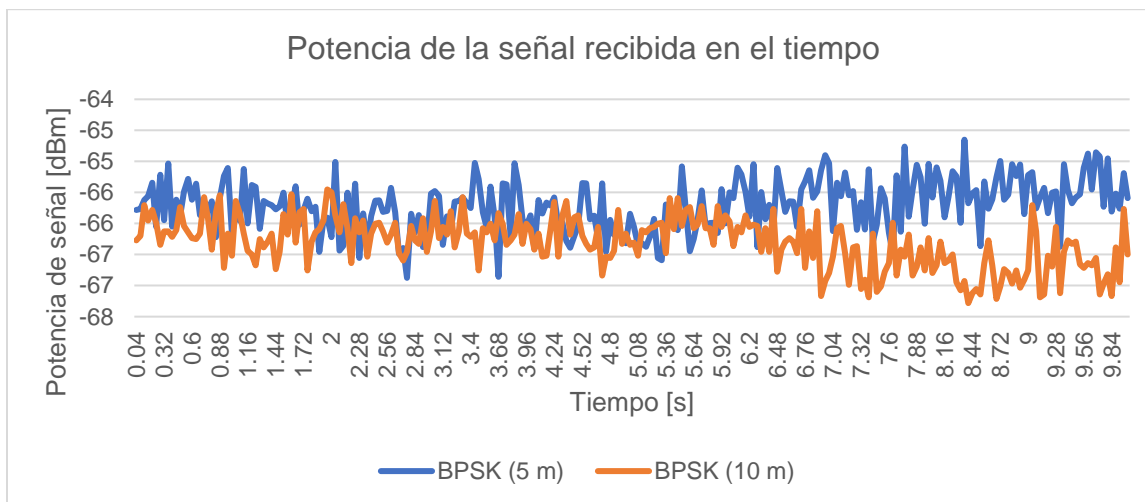
Las Figuras 3.1 y 3.2 muestran las mediciones obtenidas con la modulación BPSK a una distancia de 2, 5 y 10 metros, respectivamente, durante un intervalo de adquisición de datos de 10 segundos. Las mediciones con mayor distancia muestran ligeras variaciones de intensidad en potencia.

Figura 3.1 Potencia de la señal recibida a 2 metros para la modulación BPSK.



Nota: La figura muestra la gráfica de potencia de la señal recibida en modulación BPSK, con una distancia de 2 metros entre transmisor y receptor.

Figura 3.2 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros para la modulación BPSK.



Nota: La figura muestra la gráfica de potencia de la señal recibida en modulación BPSK, con el transmisor y receptor a distancia de 5 y 10 metros.

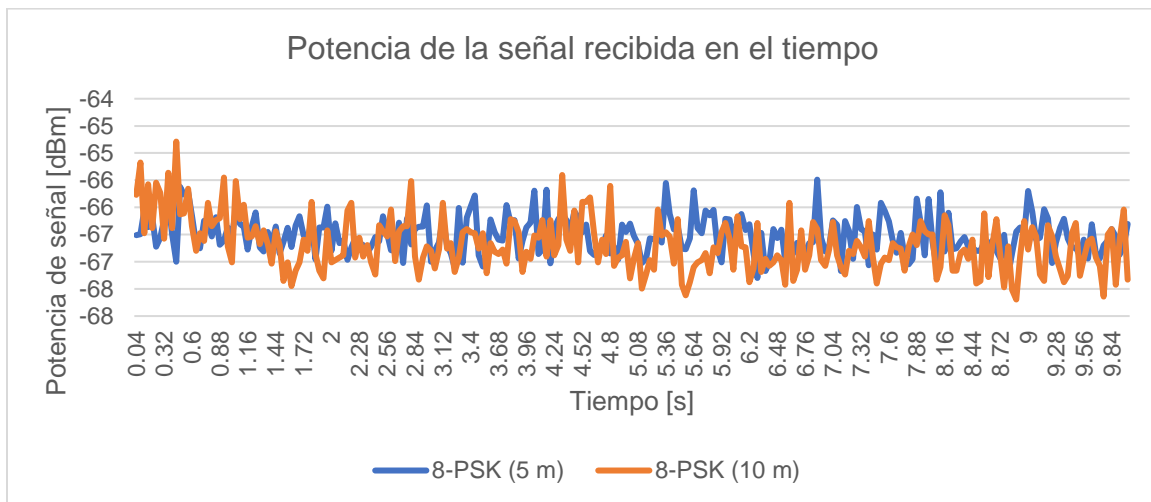
Las Figuras 3.3 y 3.4 muestran las mediciones obtenidas con la modulación 8-PSK en 2 metros, y en 5 y 10 metros, respectivamente, durante un intervalo de 10 segundos. Las mediciones con mayor distancia muestran ligeras variaciones de intensidad en potencia.

Figura 3.3 Potencia de la señal recibida a 2 metros para la modulación 8-PSK.



Nota: La figura muestra la gráfica de potencia de la señal recibida en modulación 8-PSK, con una distancia de 2 metros entre transmisor y receptor.

Figura 3.4 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros para la modulación 8-PSK.



Nota: La figura muestra la gráfica de potencia de la señal recibida en modulación 8-PSK, con el transmisor y receptor a distancia de 5 y 10 metros.

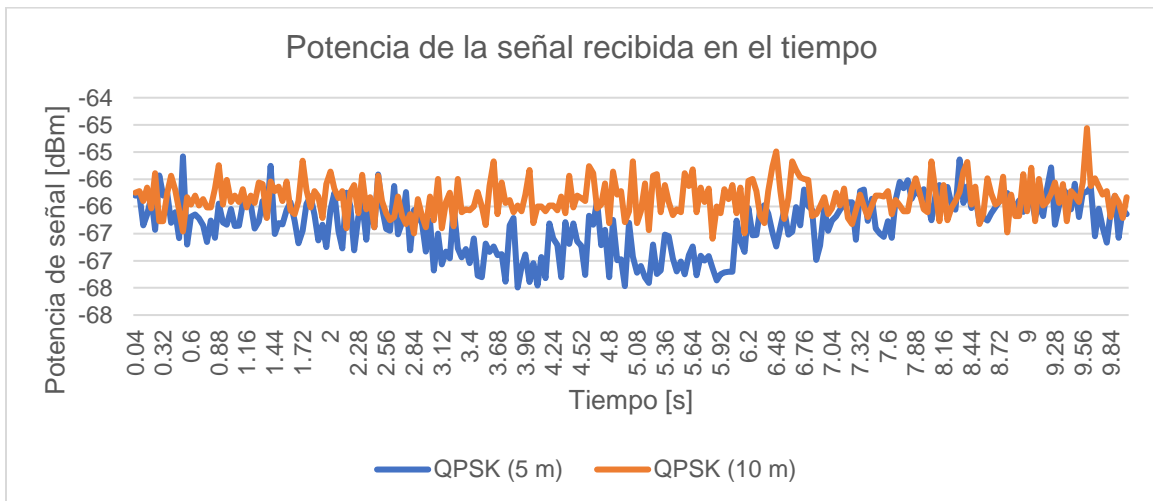
Las Figuras 3.5 y 3.6 muestran las mediciones obtenidas con la modulación QPSK en 2 metros, y en 5 y 10 metros, respectivamente, durante un intervalo de 10 segundos. Las mediciones con mayor distancia muestran ligeras variaciones de intensidad en potencia.

Figura 3.5 Potencia de la señal recibida a 2 metros en la modulación QPSK.



Nota: La figura muestra las gráficas de potencia de la señal recibida en modulación QPSK, con una distancia de 2 metros entre transmisor y receptor.

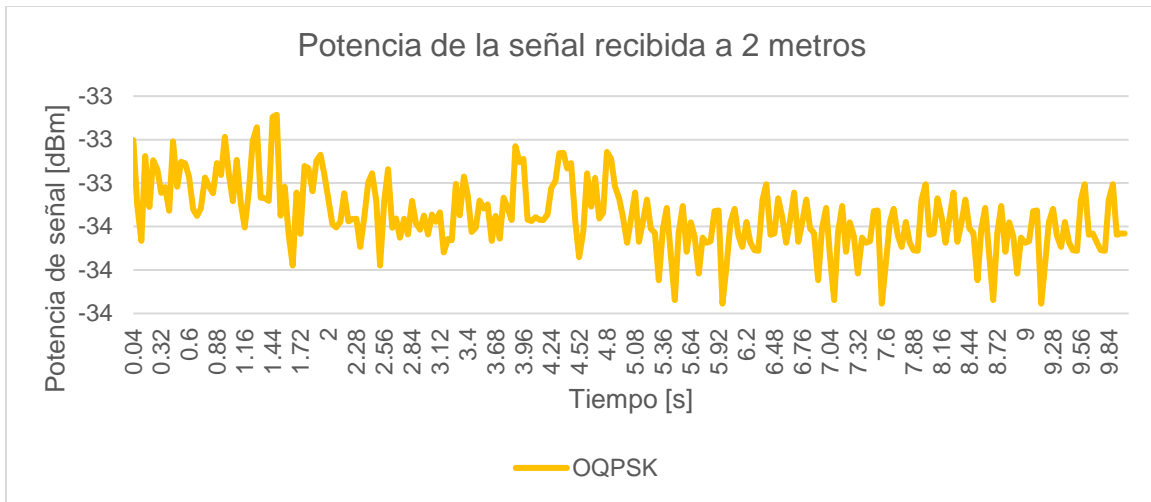
Figura 3.6 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros en la modulación QPSK.



Nota: La figura muestra las gráficas de potencia de la señal recibida en modulación QPSK, con el transmisor y receptor a distancia de 5 y 10 metros.

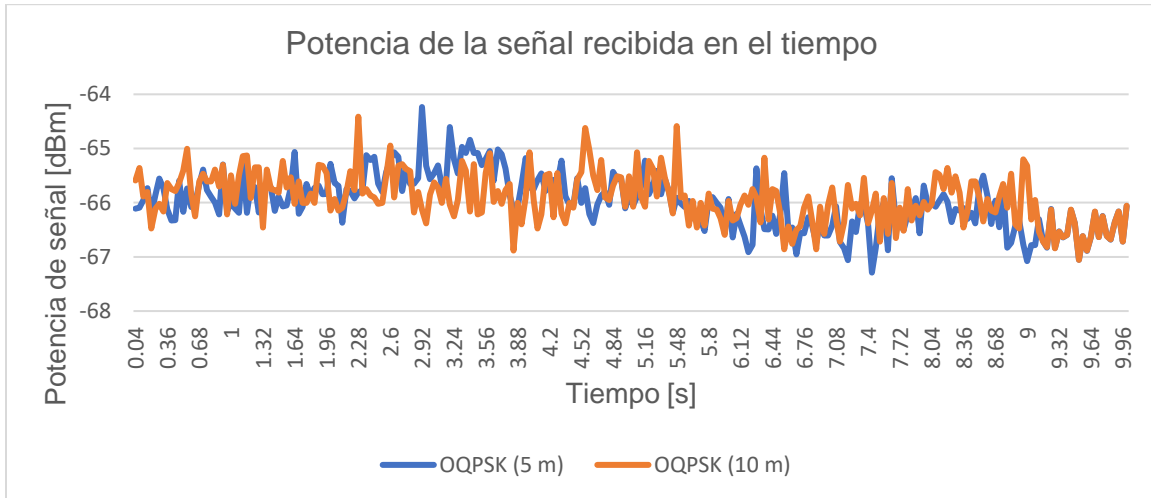
Las Figuras 3.7 y 3.8 muestran las mediciones obtenidas con la modulación OQPSK en 2 metros, y en 5 y 10 metros, respectivamente, durante un intervalo de 10 segundos. Las mediciones con mayor distancia muestran ligeras variaciones de intensidad en potencia.

Figura 3.7 Potencia de la señal recibida a 2 metros en la modulación OQPSK.



Nota: La figura muestra las gráficas de potencia de la señal recibida en modulación OQPSK, con una distancia de 2 metros entre transmisor y receptor.

Figura 3.8 Potencia de la señal recibida a 5 y 10 metros en la modulación OQPSK.



Nota: La figura muestra las gráficas de potencia de la señal recibida en modulación OQPSK, con el transmisor y receptor a distancia de 5 y 10 metros.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones a partir de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas del sistema básico de paging utilizando los equipos USRP 2920 disponibles en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones. Además, se presentan recomendaciones específicas para futuros trabajos con objetivos similares.

4.1 Conclusiones

- El sistema básico de paging propuesto presenta una alternativa práctica de un sistema de comunicación inalámbrico de alerta capaz de enviar mensajería a varios dispositivos, sin embargo, el diseño y técnica aplicados pueden ser ampliamente perfeccionados en futuros proyectos con el incremento de direcciones para los pagers receptores y el aumento de la longitud del mensaje. Este diseño puede ser implementado fácilmente en un patio de comidas para alertar a un usuario particular alejado del establecimiento de que su comida se encuentra lista.
- El funcionamiento del sistema de paging fue satisfactorio en el envío de mensajes individuales a varios receptores comprobándose la correcta codificación de tramas, identificación de pager y decodificación de dichos mensajes.
- En este trabajo, la identificación del pager de destino fue implementada utilizando uno de los lotes de la trama clásica de POCSAG para limitar la transmisión a una sola trama por pager que resulta suficiente para la aplicación considerada. En estas condiciones, el terminal receptor puede realizar una dedicación selectiva (comparación con su dirección asignada) para mostrar el mensaje.
- La cobertura RF depende exclusivamente de la potencia de salida de los sistemas RF de potencia y sensibilidad de receptor.

4.2 Recomendaciones

- Extender la programación para que se puedan utilizar todos los 20 bits disponibles asignados a la palabra clave de mensaje y lograr una mayor eficiencia de desempeño del sistema. Una mejora podría incluir la extensión de caracteres considerando ASCII extendido en lugar del clásico de 7 bits por carácter.
- Aprovechar toda la capacidad de direccionamiento o identificación de pagers que permite los 20 bits disponibles en el primer lote de la trama, en lugar de solo los 6 considerados en el presente proyecto.
- Dejar que las funciones de alerta del pager sean generadas localmente en el propio equipo para aprovechar los bits no utilizados en los lotes en funciones futuras de control de otras aplicaciones.
- Tomar en cuenta en las pruebas de conexión inalámbrica que los dispositivos USRP 2920 pueden verse afectados por elementos como línea de vista entre sus antenas, interferencias ambientales, presencia de objetos extraños entre otros que pueden afectar la confiabilidad de la transmisión.
- Asegurarse que el puerto Ethernet de la computadora utilizada para funcionar tanto como transmisor o receptor se encuentre en el mismo segmento de red de la dirección IP para que el software de simulación pueda reconocer al dispositivo USRP 2920.

Referencias

- [1] E. P. Lilian Chamorro, «Asociación para el Progreso de las Comunicaciones,» 23 Diciembre 2008. [En línea]. Available: https://www.apc.org/sites/default/files/APC_RedesInalambricasParaEIDesarrolloLAC_2008_1223_0.pdf. [Último acceso: 31 Mayo 2023].
- [2] C. . Apolo y M. . Angel, «"EL IMPACTO ECONÓMICO -SOCIAL DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES EN EL ECUADOR PERÍODO 2010-2014",» , 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/2316>. [Último acceso: 31 5 2023].
- [3] T. V. F. M. C. F. Ana María Sánchez, «Telecomunicaciones en Ecuador,» Observatorio Económico y Social de Tungurahua, Ambato, 2019.
- [4] Y.-B. Lin, «Paging Systems: Network Architectures and Interfaces,» *IEEE Network*, vol. 11, nº 4, pp. 56-61, 1997.
- [5] C. c. h. R. Aylin Yener, «Paging Strategies for Highly Mobile Users,» de *Proceedings of Vehicular Technology Conference - VTC*, Atlanta, GA, USA, 1996.
- [6] H.-N. C. Maik Bienas, «METHODS AND APPARATUS FOR OPTIMIZING PAGING MECHANISMS USING DEVICE». USA Patente 19218288.9, 27 Octubre 2010.
- [7] S. Ahson, *Encyclopedia of Wireless and Mobile*, London: CRC Press, 2012.
- [8] M. N. S. S. Ke-Lin Du, *Wireless Communication Systems: From RF Subsystems to 4G Enabling Technologies*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [9] J. E. Katz, *Mobile Music as Environmental Control and Prosocial Entertainment*, Boston: MIT Press, 2008.
- [10] W. Stallings, *Wireless Communications and Networks*, Hoboken: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [11] J. M. Sanchez, «Mobile revolution: From 2G to 5G,» de *IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*, Cali, 2021.
- [12] H. V. P. Xiaodong Wang, *Wireless Communication Systems: Advanced Techniques for Signal Reception*, New York City: Pearson, 2003.
- [13] L. Williams, «GURU 99,» GURU 99, 8 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.guru99.com/paging-in-operating-system.html>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- [14] Lira, «TechEdu,» TechEdu, 5 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://techlib.net/techedu/estacion-base-bs/>. [Último acceso: 5 Junio 2023].

- [15] B. S. Escario, «Library,» 5 Septiembre 2007. [En línea]. Available: <https://1library.co/document/zlj4nn2y-estudio-parametrizacion-desarrollo-herramientas-software-diseno-telefonía-movil.html>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- [16] J. E. Cuenca, «Automatización digital,» 3 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://automatizaciondigital.wordpress.com/codificadores-y-decodificadores/>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- [17] M. Bellis, «ThoughtCo.,» ThoughtCo., 5 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.thoughtco.com/history-of-pagers-and-beepers-1992315>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- [18] Saminator, «Time Toast,» Time Toast, 11 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.timetoast.com/timelines/evolucion-de-los-dispositivos-moviles-su-uso-en-la-nube-y-sus-apps-d32ef83a-acc7-4207-b7a5-35ff43462ff6>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- [19] H. O. N. Y. Ruben Marcelo Miranda Quinde, «Repositorio DsSpace,» 2004. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/42654>. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- [20] A. Hickerson, «THE POCSAG PAGING PROTOCOL,» *RAVEON*, vol. 142, nº A3, pp. 1-6, 2013.
- [21] J. Nelson, «BradDye,» Mensa, 8 Noviembre 2016. [En línea]. Available: https://www.braddye.com/flex_pocsag.html. [Último acceso: 5 Junio 2023].
- [22] G. M. Luna, «CINVESTAV,» CINVESTAV, 9 Mayo 2010. [En línea]. Available: <https://delta.cs.cinvestav.mx/~gmorales/TeoriaDeCodigos/node34.html>. [Último acceso: 5 Junio 2023].