



**Facultad de Ciencias
de la Electrónica**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
ELECTRÓNICA**

**«Sistema alternativo de radio de dos vías sobre la
red telefónica convencional, celular y VoIP»**

TESIS

Que para obtener el grado de

Licenciado en Electrónica

Presenta: **Enrique Martínez González**

Asesor: **M.C. Ricardo Álvarez González**

Puebla, Puebla a Marzo 2024

Índice general

Índice de figuras	v
1. Antecedentes históricos	9
1.1. Comunicación a distancia	9
1.2. Origen de las radiocomunicaciones	10
1.3. Una visión moderna	10
1.4. Inicio de las telecomunicaciones en México	11
2. Conceptos básicos	13
2.1. Señales en el espectro radioeléctrico	13
2.1.1. Modulación de señales en los sistemas de radio	14
2.1.2. Ruido en un sistema de comunicación	15
2.1.3. Amplificación de señales	17
2.2. Transmisión de voz por radio	19

3. Programación de equipos de radio	21
3.1. Operación de funcionamiento	21
3.1.1. Simple Banda (RA), Bi-Directional Repeater	21
3.2. Características técnicas de programación	22
3.2.1. Programación básica de radios	22
3.2.2. Menú básico de programación	22
3.2.3. Algoritmo general de programación de un radio	23
3.2.4. Algoritmo General para programar radios Motorola	23
3.2.5. Procedimiento para alinear la frecuencia del oscilador de referencia	23
4. Diseño del sistema de Radio de dos vías sobre telefonía convencional, celular y VoIP	25
4.1. Planteamiento del problema	25
4.1.1. Propuesta de solución	26
4.1.2. Desarrollo del proyecto	26
4.2. Protocolo VoIP	28
4.3. Conexión con la telefonía convencional y celular	28
4.4. Conexión de radio bases a larga distancia a través de VoIP	28
4.5. Análisis de las tecnologías a utilizar	29
4.6. Diagrama a bloques	30

4.7. Análisis de zonas geográficas	30
4.8. Diseño del sistema	32
4.8.1. Estación central Puebla	33
4.8.2. Estaciones foráneas	33
4.9. Selección de frecuencias y tonos	34
4.9.1. Consideraciones legales	34
4.9.2. Banda de programación	34
4.9.3. Selección de frecuencias	36
4.9.4. Regiones y canales propuestos	36
4.9.5. Interconector telefónico	38
4.10. Intercomunicador con internet	38
4.11. Selección de componentes de radiocomunicación	39
4.11.1. Antena para estaciones base y repetidores	39
4.11.2. Antena para móviles	40
4.11.3. Conectores	41
4.12. Cálculos y programación de equipos	42
4.12.1. Características técnicas esperadas de recepción del equipo	42
4.12.2. Características técnicas de recepción del equipo portátil	42
4.12.3. Programación de radiocomunicaciones	43

4.13. Programación del intercomunicador telefónico	45
4.13.1. Programación del equipo Smartrunking y LTR	45
4.13.2. Secuencia de programación con TP163MGR	46
4.13.3. Programación del intercomunicador gateway VoIP NXU-2	51
5. Costos y viabilidad	59
5.0.1. Análisis de costos de radiocomunicaciones	59
6. Conclusiones	61
Bibliografía	63

Índice de figuras

2.1. Diagrama a bloques para transmisión half-duplex. [37]	20
3.1. Comunicación por radio utilizando un single band (RA), bi-directional repeater, de banda base. Esquema provisto por [18].	22
4.1. Diagrama a bloques del sistema de comunicación entre dos radios bases a través de internet. Elaboración propia usando drawio.	31
4.2. Esquema general de cuatro zonas conectadas para brindar un sistema de comunicaciones. Elaboración propia usando drawio.	35
4.3. Estructura de conexión JPS communication NXU-2. La figura de la izquierda estructura de conexión, mientras que la figura de la derecha muestra un equipo intercomunicador Tcp/IP. Imagen provista por [31].	38
4.4. Menú que muestra la programación de canales y tonos a través de puertos.	45
4.5. Menú de ajustes de parámetros o calibración.	46
4.6. Menú de acciones en el software TP163MGR.	47
4.7. Buscador de líneas autorizadas, así como los parámetros globales para el enlace en el software TP163MGR.	48

4.8. Parámetros de comunicación durante el enlace con los radios en el software TP163MGR.	49
4.9. Parámetros del repetidor en el software TP163MGR.	49
4.10. Asignación de códigos DPL y TPL en el software TP163MGR.	50
4.11. Diagrama a bloques de intercomunicación entre la base, trunking y el gateway.	51
4.12. Conexión serial de entrada de audio. Elaboración propia usando drawio. . .	54
4.13. Conexión para salida de audio. Elaboración propia usando drawio.	55
4.14. Placa del NXU para localizar el transistor de salida y entrada de audio. . .	56
4.15. Transistor Q252 de audio.	57

Dedicatoria

A Dios todopoderoso Por darme la oportunidad de ser mí camino.

A mis Padres: María Elena y Enrique Javier †

Por apoyarme en todo momento y ser el ejemplo de mi vida.

A mi Hermano: Sergio Martínez González

Por ser mí amigo y hermano que quiero mucho.

A mi Tío: Héctor Soriano

Por ser mi maestro y todo su apoyo incondicional.

A mi familia. Martínez González

A mis Hijos: Luis Ángel e Ingrid Patricia Martínez Salas

A mis Maestros:

Por todas sus enseñanzas y ejemplos que marcaron mi camino.

A mi Asesor: Ricardo Álvarez González Por su ayuda y paciencia en este trabajo.

Objetivo

Diseñar un sistema de comunicación de radio de dos vías que integre tecnologías existentes, como la conexión a redes convencionales telefónicas, celulares e Internet mediante la tecnología VoIP, con el objetivo de lograr la interoperabilidad entre diferentes regiones geográficas. Esto permitirá superar las limitaciones de las comunicaciones tradicionales por radio, especialmente en casos de emergencias y desastres naturales.

Motivación

En el actual panorama de las comunicaciones, donde la conectividad es fundamental, surge la necesidad de una solución integral y eficiente. Este proyecto se motiva por la búsqueda de una alternativa que supere las limitaciones y costos de las tecnologías convencionales. La propuesta de un sistema de radiocomunicaciones avanzado, capaz de integrar radio bases analógicas y digitales con redes LAN, WAN, Wi-Fi o 5G, promete una conectividad más amplia, calidad de señal mejorada y costos reducidos. Con la inclusión de radios de dos vías, redes telefónicas, celulares y VoIP, esta solución se posiciona como una respuesta versátil para diversas aplicaciones. Su potencial impacto en la eficiencia, seguridad y escalabilidad lo convierte en una propuesta atractiva para organizaciones de diversos sectores, promoviendo una comunicación más efectiva a largas distancias y destacando su utilidad en situaciones críticas, como emergencias por desastres naturales. En resumen, este proyecto se fundamenta en la búsqueda de una solución avanzada y accesible para las crecientes demandas de conectividad en la sociedad actual.

Justificación

Hoy en día contamos con comunicaciones sumamente avanzadas, como la telefonía convencional y celular. El problema radica en los altos costos que se generan al utilizar estos sistemas, especialmente en el caso de la telefonía celular. Estos sistemas están muy bien desarrollados y permiten transmitir voz, datos y video, pero cuentan con infraestructuras muy costosas, lo que hace que los usuarios finales tengan que pagar una renta mensual elevada. Además, su cobertura es limitada, pues no llega a áreas montañosas o poblaciones rurales. Por ello, se propone una alternativa de comunicación a bajo costo, con una gran tecnología y beneficios que se pueden adaptar a las necesidades de cada empresa.

Este proyecto consiste en el minucioso análisis y diseño para implementar un sistema de radiocomunicaciones basado en tecnologías de redes. Conecta radio bases de comunicaciones analógicas y digitales a redes LAN, WAN, Wi-Fi o 5G a larga distancia, incluyendo radios de dos vías, red telefónica, red celular y protocolos VoIP. Ofrece mayor cobertura, calidad de señal y un costo bajo, facilitando la comunicación eficiente a largas distancias. La solución proporciona beneficios como facilidad de uso, seguridad, simplicidad de configuración y utilidad en casos de emergencias y desastres naturales. La interfaz intuitiva y amigable permite a los usuarios administrar la red fácilmente, convirtiendo el sistema en una excelente opción para organizaciones de todos los sectores que necesiten comunicarse de manera segura y eficiente.

Capítulo 1

Antecedentes históricos

1.1. Comunicación a distancia

La telegrafía con banderas de colores, introducida por los griegos, fue innovadora y aún persiste en uso. Los romanos emplearon torres y antorchas para la telegrafía óptica. La electricidad se incorporó al telegrafo con Francisco Salva Campillo siendo el pionero en instalar uno eléctrico. Samuel Morse perfeccionó el sistema con su alfabeto de señales cortas y largas. La comunicación transcontinental se hizo posible en 1865 con los cables submarinos [13].

En 1867, Maxwell conectó electricidad, magnetismo y luz, abriendo la puerta a la comunicación omnidireccional [25]. En 1887, Hertz confirmó la teoría de ondas electromagnéticas, también conocidas como hertzianas o de radio [17]. Popov desarrolló un sistema efectivo para radiar y captar estas ondas, y en 1895 se creó la antena metálica [30]. Marconi logró la primera radiotelegrafía en 1896 [20]. Las válvulas de vacío en 1904 permitieron la radiotelefonía y la radiodifusión.

1.2. Origen de las radiocomunicaciones

En 1920, Marconi introdujo la radiodifusión sonora [20]. En 1927, se establecieron los Comités Consultivos Internacionales de Radiocomunicaciones (CCIR), Telefonía (CCIF) y Telegráfico (CCIT). Estos coordinaron estudios y asignaron frecuencias en la Conferencia Radiotelegráfica Internacional de 1927 [36].

En la Conferencia de Madrid de 1932, se fusionaron los Convenios de Telegrafía e Internacional de Radiotelegrafía en el Convenio Internacional de Telecomunicaciones. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) nació en 1934 para abordar todos los medios de comunicación alámbricos e inalámbricos [36].

1.3. Una visión moderna

Después de la Segunda Guerra Mundial, en 1947, la UIT expandió y modernizó su estructura en una conferencia en Atlantic City. A través de un acuerdo con la recién creada Organización de las Naciones Unidas, la UIT se convirtió en un organismo especializado el 15 de octubre de 1947, trasladándose de Berna a Ginebra en 1948. Simultáneamente, se estableció la Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB) para coordinar la gestión del espectro de frecuencias, y el Cuadro de Atribución de Frecuencias, introducido en 1912, se volvió obligatorio. En 1956, el CCIT y el CCIF se fusionaron para formar el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT), respondiendo eficazmente a las necesidades de desarrollo de ambas formas de comunicación. Un año después, en 1957, se lanzó el primer satélite artificial, Sputnik 1, marcando el inicio de la era espacial [36]. En 1963, el primer satélite de comunicaciones geoestacionario, Syncom 1, fue lanzado, materializando la idea propuesta por Arthur C. Clarke en 1945 sobre el uso de satélites para la transmisión de información [4].

Para abordar los desafíos de los nuevos sistemas de comunicación espacial, en 1959, el CCIR estableció una comisión de estudio. En 1963, se celebró una Conferencia Administrativa Extraordinaria de Radiocomunicaciones Espaciales en Ginebra para asignar frecuencias a servicios espaciales. Conferencias posteriores continuaron asignando frecuencias y estableciendo normas. En 1992, se realizaron asignaciones para satisfacer las necesidades de un nuevo tipo de servicio espacial, las comunicaciones personales móviles

mundiales por satélite (GMPCS). Ese mismo año, se asignaron porciones de espectro para IMT-2000, una norma mundial para la nueva generación de telefonía móvil digital. La norma IMT-2000, con aplicación comercial prevista a principios del nuevo milenio, armonizará sistemas móviles actualmente incompatibles y será la base técnica para el desarrollo de nuevos dispositivos inalámbricos de alta velocidad [12]

1.4. Inicio de las telecomunicaciones en México

Durante el Porfiriato en México, las telecomunicaciones experimentaron avances significativos. La telegrafía llegó al país en 1849, siendo clave para la comunicación durante las guerras del siglo XIX. Los cables submarinos se desplegaron para conectar México con el mundo en 1879, facilitando la comunicación internacional. La telefonía comenzó a tomar relevancia en 1878, con las primeras llamadas telefónicas y la instalación de redes gubernamentales. En 1903, se otorgaron contratos para el servicio telefónico a empresas precursoras de Teléfonos de México (Telmex), fomentando la competencia y la mejora en los servicios [1].

Además, durante el Porfiriato se experimentó con la radiotelegrafía, financiando el gobierno la construcción de estaciones para conectar regiones remotas. México participó en la Convención Internacional Radiotelegráfica en 1906 en Berlín, influenciado por consideraciones militares, lo que sentó las bases para la política de radiocomunicación en el país [1].

En 1977, se solicitó a la SCT de México una concesión para instalar un sistema de radiotelefonía móvil en el Distrito Federal, iniciándose su comercialización en 1981 bajo el nombre de Teléfono en el Auto [32], brindando servicio a algunos cientos de usuarios en pocos meses. En 1989, la empresa Iusacell, fundada por el poblano Alejo Peralta, fue la primera en ofrecer servicios celulares en el Distrito Federal. Ese mismo año, surge la marca Telcel en Tijuana, expandiéndose rápidamente por el país. Para 1991, el servicio de telefonía celular ya enlazaba con Estados Unidos [10].

Capítulo 2

Conceptos básicos

2.1. Señales en el espectro radioeléctrico

El objetivo principal en las comunicaciones por radio es transferir información o entre dos o más puntos espacialmente separados, comúnmente denominados estaciones. Este proceso se logra al transformar las señales eléctricas en fuentes de energía electromagnética que se propagan en el espacio libre y pueden ser transferidas a uno o más puntos. Además de las ondas de radio, existen diversas formas en las que la energía electromagnética puede transmitirse, ya sea en forma de voltaje, corriente o luz visible, como en el caso de las fibras ópticas.

La energía electromagnética abarca un rango de frecuencias casi infinito, desde señales de onda corta hasta microondas, infrarroja, luz visible, rayos X y rayos gamma. Existe una normativa internacional, adoptada por la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos (FCC, por sus siglas en inglés), que distribuye y ubica el espectro de frecuencias en intervalos de décadas, denominados bandas, que se describen brevemente a continuación [16, 33]:

- Banda de Muy Bajas Frecuencias (VLF): 3 a 30 kHz, empleada en sistemas de audio.
- Banda de Bajas Frecuencias (LF): 30 a 300 kHz, utilizada para enlaces de radio a

larga distancia y en navegación marítima y aérea.

- Banda de Frecuencias Medias (MF): 0.3 a 3 MHz, utilizada para la radio de amplitud modulada (AM).
- Banda de Alta Frecuencia (HF): 3 a 30 MHz, también conocida como Banda Civil, utilizada como banda libre para enlaces por radio.
- Banda de Very High Frequency (VHF): 30 a 300 MHz, utilizada para usos gubernamentales, transmisión de televisión (TV) y frecuencia modulada (FM).
- Banda de Ultra High Frequency (UHF): 0.3 a 3 GHz, utilizada en las bandas altas de TV, telefonía celular y en la región baja de microondas.
- Banda de Super High Frequency (SHF): 3 a 30 GHz, empleada en enlaces de microondas.
- Banda de Extremely High Frequency (EHF): 30 a 300 GHz, con aplicaciones en comunicaciones por satélite y en radar.

2.1.1. Modulación de señales en los sistemas de radio

En las comunicaciones con ondas de radio, surge la pregunta de por qué una señal que lleva información (la señal moduladora) debe ser utilizada para modular una onda de alta frecuencia en lugar de ser transmitida directamente. Según la experiencia en comunicaciones electrónicas, la transmisión de señales de alta frecuencia por radio es más económica y eficiente que las señales de muy baja frecuencia. Es decir, se requiere mucha potencia para transmitir una señal de baja frecuencia, y esta señal no puede ser transmitida a largas distancias [6].

De manera más general, una señal de información de baja frecuencia en relación con una portadora se sobrepone o modula con una señal de alta frecuencia conocida como portadora de radiofrecuencia (RF) [6]. Esta portadora de RF es apropiada para las transmisiones por radio. Es importante señalar que el término radiofrecuencia no especifica ni determina algún intervalo de frecuencia en particular; simplemente indica que la señal tiene una frecuencia lo suficientemente alta para ser transmitida por radio.

2.1.2. Ruido en un sistema de comunicación

En términos generales, el ruido en un sistema de comunicación eléctrica se refiere a cualquier señal no deseada que se introduce o genera, ya sea directa o indirectamente, en la red eléctrica del sistema. El ruido, siendo el enemigo natural de cualquier sistema de comunicación, nunca puede eliminarse por completo, solo minimizarse [29]. Los efectos principales del ruido en una señal eléctrica incluyen principalmente distorsión y la introducción de frecuencias adicionales a las originales. Es fundamental comprender qué es el ruido, conocer sus orígenes y entender sus efectos en los circuitos, aunque profundizar en demasiados detalles está más allá de los propósitos de nuestro proyecto.

Hasta donde sabemos, el ruido eléctrico está presente en todas partes: en el espacio exterior, en la Tierra y en los propios circuitos electrónicos.

El movimiento térmico aleatorio de electrones en una resistencia R provoca una tensión aleatoria a través de sus terminales. Esta tensión $n(t)$ se conoce como ruido térmico. Su densidad espectral de potencia $S_0(f)$ es prácticamente plana sobre un ancho de banda muy grande (hasta 1000 GHz a temperatura ambiente) y se define como [24]:

$$S_n(f) = 2kTR \tag{2.1}$$

Donde:

- $S_n(f)$ es la densidad espectral de potencia del ruido térmico.
- k es la constante de Boltzmann.
- T es la temperatura absoluta en kelvin.
- R es la resistencia en ohms.

Entre las fuentes de ruido eléctrico en un circuito de comunicaciones, el generado en la red, debido al tipo de material utilizado o a la naturaleza de los dispositivos que operan en ella, es de interés para nuestro proyecto. Para una temperatura ambiente típica de 17°C (290 K) y un ancho de banda del sistema de 1 Hz, la densidad de potencia de ruido

N_0 es de aproximadamente 4×10^{-21} W/Hz. En términos de N_0 en dBm a 17°C , esto se expresa como $N_0(\text{dBm}) = -174$ dBm [7].

Un resultado importante sugiere que, si bien el ancho de banda de un sistema puede tener límites, el ruido térmico no los tiene. Para la mayoría de los propósitos prácticos, el ruido térmico es directamente proporcional al producto del ancho de banda del sistema, Δf , y la temperatura absoluta de la fuente. La ecuación $N(\text{dBm}) = N_0 + \log(\Delta f)$ expresa la densidad de ruido de la fuente a temperatura ambiente y la densidad de ruido determinada por el ancho de banda del sistema [3, 24, 38]. Esto significa que en un sistema con un ancho de banda más estrecho, la contribución de la densidad de ruido al valor total del ruido del sistema a temperatura ambiente es menor [29].

La densidad de ruido se puede expresar en mW, de manera que en el caso de un filtro ideal [24]

$$N(\text{mW}) = 10 \left(\frac{N(\text{dBm})}{10} \right) \simeq R^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} S_n(f) df. \quad (2.2)$$

En un circuito de comunicaciones, donde las señales son esencialmente corrientes o voltajes que transmiten información al variar alguna de sus características, siempre hay un cierto nivel de ruido presente. Aunque no se puede eliminar por completo, el ruido no afecta la información siempre y cuando la señal sea lo suficientemente fuerte en comparación [7].

En el estudio teórico de las señales de radio, es crucial entender cómo el ruido afecta las señales de Frecuencia Modulada (FM). Cuando el ruido térmico afecta una señal de FM, provoca una desviación no deseada en la frecuencia de la portadora, cuya magnitud depende de la amplitud relativa del ruido en comparación con la portadora [6].

La desviación no deseada demodulada se convierte en ruido si tiene componentes de frecuencia dentro del espectro de información. La forma espectral del ruido demodulado varía según el tipo de demodulador utilizado. Los receptores de FM separan eficazmente el ruido de la información, ya que en una señal de FM, la información se representa mediante variaciones de frecuencia, mientras que el ruido se manifiesta como variaciones de amplitud. Eliminar las variaciones de amplitud antes de la modulación suprime cualquier

ruido que haya afectado la señal de FM en términos de amplitud [29].

Otro aspecto de los efectos del ruido en las ondas de FM es la introducción de pulsos de ruido en la portadora, lo que provoca estrechamiento y ensanchamiento de la forma de onda del ruido. Estos cambios en la desviación de frecuencia de la portadora dependen de los índices de modulación de la señal y del ruido. Un mayor índice de modulación de la señal en comparación con el ruido facilita la atenuación del ruido, minimizando sus efectos [27].

Otro tipo de ruido, más perjudicial en los sistemas de radio, es el generado por estática atmosférica. Este ruido, producto de variaciones térmicas en la atmósfera debido a la radiación solar, se propaga en la atmósfera de manera similar a las ondas de radio y se detecta con mayor intensidad en áreas urbanas o lugares con gran actividad industrial [8].

2.1.3. Amplificación de señales

La instrumentación de las comunicaciones electrónicas se basa principalmente en la amplificación de señales y en el manejo adecuado de estas en función de los conceptos teóricos que rigen las formas de transmitir y procesar la información.

La amplitud de una señal es una característica crucial, ya que, aunque una señal pueda tener una forma de onda específica o frecuencia, si no tiene la amplitud necesaria para superar el ruido que la acompaña, los dispositivos del circuito no funcionarán correctamente a menos que las señales tengan niveles de amplitud específicos. Por ejemplo, en un receptor de radio, si la señal recibida en la antena no se procesa de manera que su amplitud sea lo suficientemente grande como para ser remodulada, el receptor no cumplirá su función.

En muchas aplicaciones, las señales obtenidas no tienen la amplitud adecuada para realizar su función y es estrictamente necesario aumentar su amplitud de manera que sus demás características no se vean alteradas. Este proceso se llama amplificación, y los circuitos que lo realizan se llaman amplificadores [2].

Existen tres parámetros muy importantes que debemos considerar al manejar las seña-

les del sistema de comunicación: la ganancia, el ancho de banda y la distorsión en los amplificadores [26].

- **Ganancia:** en un amplificador indica cuánto se amplifica la señal de entrada en la salida, es decir, el factor de incremento.
- **Ancho de Banda:** es el rango de frecuencias en que la ganancia del amplificador permanece constante, comprendido entre dos puntos en la curva de respuesta en frecuencia donde la ganancia es el 70.7% de su valor máximo.

Cuando el rango de frecuencia es amplio, se dice que el amplificador tiene un ancho de banda grande; cuando es estrecho, se dice que tiene un ancho de banda angosto.

El ancho de banda de un amplificador se determina por la forma de la curva de respuesta en frecuencia del amplificador en cuestión. Esto implica que las señales procesadas por el amplificador, incluso aquellas con amplitudes iguales pero frecuencias diferentes, serán amplificadas y desfasadas de manera distinta debido a la respuesta en frecuencia del amplificador [26].

En la práctica, la salida de un amplificador nunca es idéntica a la señal de entrada. Además de los cambios de amplitud, siempre se observan ciertos cambios en las formas de onda de la salida. Este cambio se conoce como “distorsión” y, en general, es indeseable ya que afecta la señal de información y, por ende, el mensaje. Todos los amplificadores distorsionan en cierto grado la señal de entrada, pero cuando la distorsión es considerable, se puede perder información de la señal portadora [34].

La distorsión es una característica inherente a los sistemas no ideales y cuantifica la fidelidad del sistema en el procesamiento de señales de entrada y salida. Esta medida nos ayuda a evaluar en qué medida la señal de salida se asemeja a la señal de entrada original. La distorsión en los sistemas depende de diversos factores, desde la elección de dispositivos para la instrumentación hasta el diseño empleado, las formas de acoplamiento de señales en la entrada y salida, y la distribución adecuada de dispositivos, su polarización y su estabilidad térmica. Aunque la distorsión siempre está presente en la práctica, se trabaja constantemente para minimizarla a un nivel aceptable, asegurando que los resultados obtenidos se aproximen lo más posible a los esperados [34].

2.2. Transmisión de voz por radio

El proceso de transmitir la palabra hablada por radio implica convertir la voz humana en señales eléctricas, que luego se utilizan para modular una onda portadora de alta frecuencia. Esto se logra mediante la modulación de amplitud o la modulación de frecuencia. En la modulación de frecuencia (FM), una señal de audiofrecuencia modula una portadora de alta frecuencia, generando una onda modulada con amplitud constante y variaciones de frecuencia que corresponden a las variaciones de la señal original [14].

La frecuencia de una portadora de FM es igual a la frecuencia central cuando la señal moduladora tiene una amplitud cero. A medida que aumenta la magnitud de la señal moduladora positivamente, la frecuencia de la portadora aumenta hasta un máximo positivo determinado por la máxima amplitud positiva de la moduladora. Al disminuir, la portadora regresa a su valor de reposo. En el proceso inverso, cuando la señal moduladora crece en su valor máximo negativo, la portadora disminuye su frecuencia, volviendo a la frecuencia central cuando el medio ciclo negativo retorna a su valor cero. Después de obtener la portadora modulada, se le proporciona potencia a través de varios amplificadores y se acopla a través de una línea de transmisión hasta la antena, que convierte la señal eléctrica en ondas electromagnéticas que se propagan en el aire [35].

En nuestro proyecto de comunicación, emplearemos equipos VHF con capacidad en el rango de frecuencia de 132-174 MHz y cinco canales de radio, aprovechando las bandas asignadas por la FCC: VHF (132-174 MHz), UHF (450-470 MHz) y UHF (806-947 MHz).

En transceptores de FM de dos vías, la desviación de frecuencia es ± 5 kHz desde el centro de la portadora, y la frecuencia máxima de la señal modulante es 3 kHz. Esto da una relación de desviación de 1.67 y un ancho de banda de Bessel de alrededor de 24 kHz, asignado por la FCC a 30 kHz. Algunos equipos admiten anchos de banda de canal de 12.5 kHz y 25 kHz.

En la transmisión Half-Duplex, solo un lado puede transmitir a la vez, controlado por un interruptor PTT (oprimir para hablar). Durante períodos inactivos, el transmisor está apagado y el receptor encendido para monitorear el canal.

Es crucial que el índice de modulación de FM dependa de la relación entre la amplitud de la señal modulante y su frecuencia. La desviación ΔF se define para cada sistema de

transmisión-recepción de FM. Por ejemplo, estaciones de radio FM en el rango de 88 a 108 MHz utilizan una desviación de +75 y -75 kHz [15].

Sistemas de televisión por FM tienen una desviación máxima de +25 y -25 kHz. Otros sistemas de FM, como servicios privados de radiocomunicación y el sistema SCA (Subsidiary Communications Authorization), utilizan una $\Delta F = +15$ y -15 kHz en sus transmisores [21].

La siguiente etapa presenta un diagrama a bloques de un radio de dos vías con seis etapas para la transmisión Half-Duplex (Figura 2.1).

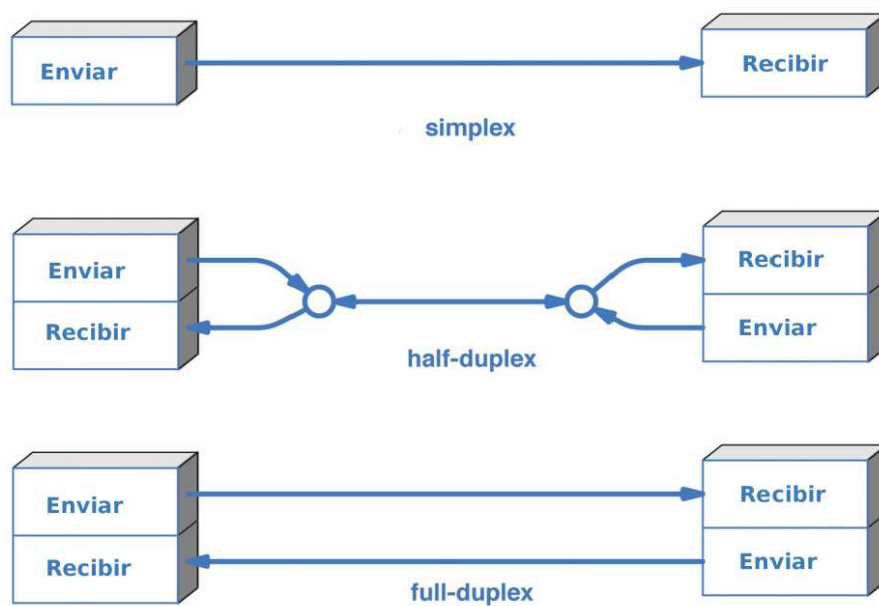


Figura 2.1: Diagrama a bloques para transmisión half-duplex. [37]

El diseño de enlaces de comunicación implica factores controlados, como la relación costo/rendimiento y el método de modulación, así como factores no controlados, siendo en enlaces terrestres no guiados la naturaleza del canal de transmisión el aspecto más crucial [11].

Capítulo 3

Programación de equipos de radio

3.1. Operación de funcionamiento

El análisis de la operación de un equipo de radio comunicación es esencial para comprender el funcionamiento electrónico de un radio convencional de dos vías.

Uno de los modos de comunicación comercial por radio más frecuentes incluye la comunicación directa de radio a radio, estaciones base y repetidores de radio en las bandas de VHF y UHF.

3.1.1. Simple Banda (RA), Bi-Directional Repeater

En este tipo de repetidor de banda base, se utilizan dos radios con una interfaz configurada para operar en el modo RA. La operación requiere al menos tres frecuencias de radio y dos antenas independientes, con condiciones específicas de separación de frecuencias y aislamiento entre las antenas (Figura 3.1).

En este tipo de repetidor, un usuario utiliza una frecuencia de enlace para acceder al equipo de repetición, enlazando a este usuario con otra repetidora u otro usuario a través de frecuencias ascendentes. La señal transmitida es capturada por el repetidor,

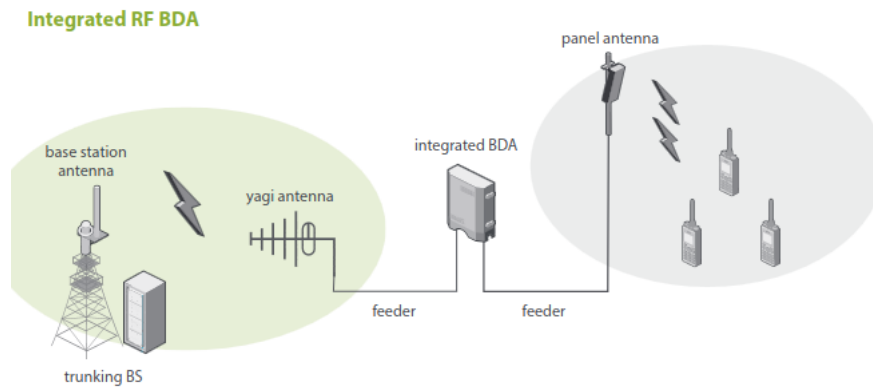


Figura 3.1: Comunicación por radio utilizando un single band (RA), bi-directional repeater, de banda base. Esquema provisto por [18].

amplificada y retransmitida en otra frecuencia.

3.2. Características técnicas de programación

3.2.1. Programación básica de radios

El proceso de programación de radios inicia con la necesidad de establecer una comunicación eficiente. Al considerar la comunicación por radios de dos vías, es esencial tener en cuenta aspectos como quién se comunica con quién, el área de cobertura, estudio del espectro radioeléctrico, tipo de transmisión y equipo adecuado, modelo de radio, frecuencias de transmisión y recepción, número de canales, especificaciones del sistema y características del canal de comunicación. La programación implica especificar paso a paso cada instrucción de programación.

3.2.2. Menú básico de programación

La programación de radios se realiza a través de una interfaz de datos en serie. Es esencial considerar quién se comunica con quién, el área de cobertura, estudio del espectro radioeléctrico, tipo de transmisión, modelo de radio, frecuencias de transmisión y recepción, número de canales, especificaciones del sistema y características del canal de

comunicación [9].

3.2.3. Algoritmo general de programación de un radio

El proceso de programación de un radio incluye la verificación del equipo a utilizar, instalación del programa en la PC, conexión de la interfaz serie, acceso al menú de SETUP, conexión de la interfaz de programación al equipo de radio, encendido del radio, actualización de características, ejecución de rutina de obtención de información, impresión de información disponible, revisión y evaluación de cambios en la programación, reprogramación del equipo, verificación detallada de características y ejecución de rutina de programación.

3.2.4. Algoritmo General para programar radios Motorola

El algoritmo general para programar radios Motorola incluye la necesidad de programar, verificación de marca, modelo y versión de software, instalación y acceso al programa en PC, conexión de la interfaz serie, acceso al menú de SETUP, conexión de la interfaz de programación al equipo de radio, encendido del radio, actualización y confirmación de características, ejecución de rutina de obtención de información y configuración, impresión de información, revisión de información almacenada, evaluación de cambios, reprogramación del equipo, verificación detallada de características, impresión de archivos de configuración y verificación de parámetros de transmisión y recepción.

3.2.5. Procedimiento para alinear la frecuencia del oscilador de referencia

La rutina de servicio para alinear el oscilador de referencia usa el siguiente procedimiento general:

1. Tener acceso a la rutina principal de servicio y entrar al menú de alineación de parámetros.

2. Conectar la interfaz de programación al puerto serial correspondiente, conectar la interfaz al conector de entrada RJ45 del radio.
3. Alimentar el radio a 13.7 V a 10 A.
4. De un monitor de servicio preferentemente, conectar un contador de frecuencia al conector de la antena del radio.
5. Elegir la opción en la rutina del programa de transmisor encendido por software o manualmente.
6. Utilizando las funciones de ajuste de la alineación de la frecuencia de referencia del oscilador, habilitar los cambios de manera manual en el sector del oscilador de referencia variando las bobinas o capacitores de ajuste o bien por las teclas de alineación en el radio a ± 100 Hz de la frecuencia desplegada en la pantalla, del monitor de servicio y de la computadora, pues estos datos deben coincidir en ambos lados, de esta manera la posición relativa de los ajustes será desplegada en la escala y en el mensaje de la pantalla, con la prueba de la frecuencia en MHz, esperar de 20 a 30 segundos antes de respaldar y registrar estos cambios, si por alguna razón estas correcciones de frecuencia y la posición relativa mínima o máxima no pueden realizarse dirigirse al manual de procedimientos de reparación para revisar las alternativas de alineación y las formas de onda permisibles.
7. Desactivar la opción de alineación que en su caso corresponda para dejar al equipo operando en condiciones normales.
8. Salvar los nuevos valores de calibración y retornar al menú de calibración desactivando la función de transmisión.
9. Tomar notas de la medición realizada y supervisarla 15 a 30 minutos después.

Capítulo 4

Diseño del sistema de Radio de dos vías sobre telefonía convencional, celular y VoIP

4.1. Planteamiento del problema

Hoy en día, los costos en las comunicaciones, especialmente en la telefonía celular y convencional, resultan excesivos para usuarios individuales, empresas y dependencias. Los servicios de telefonía imponen tarifas elevadas y plazos forzosos, lo cual se vuelve prohibitivo, especialmente para grupos de usuarios en empresas, dependencias gubernamentales y servicios de emergencia.

A pesar de existir un sistema de comunicación basado en radiocomunicaciones de 2 vías en el mercado durante más de 20 años, utilizado por empresas y organismos gubernamentales, aún enfrenta desafíos. La interoperabilidad en regiones lejanas y la falta de alternativas de comunicación con otros sistemas son limitaciones importantes. A pesar de ello, los radios de dos vías siguen siendo vitales en corporaciones policíacas, de emergencia y empresariales.

4.1.1. Propuesta de solución

Este proyecto propone un sistema de comunicación de radio de dos vías que, aprovechando los avances tecnológicos recientes, pueda integrarse a la red convencional telefónica, celular e internet a través de VoIP en diferentes regiones lejanas.

La solución radica en conectar las bases de radio a través de internet mediante el protocolo VoIP, evitando la necesidad de repetidores a largas distancias y reduciendo el análisis geográfico de la señal en diferentes zonas.

Existen dos formas de conexión a la red telefónica y celular: a través de un intercomunicador telefónico o utilizando exclusivamente VoIP, aunque esta última opción implica un prepago por internet, ya que el protocolo VoIP es propietario.

4.1.2. Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del proyecto, se realizó un análisis de los sistemas de comunicación existentes, su funcionamiento y operatividad, enfocándose principalmente en las radiocomunicaciones de dos vías. También se llevó a cabo un análisis de costos y viabilidad para implementar este diseño como una propuesta y solución real en el área de comunicaciones. Las partes que comprenden el desarrollo incluyen:

Análisis de sistemas de comunicación

Se analizaron los sistemas de comunicación existentes, centrándose en las radiocomunicaciones de dos vías, su funcionamiento y operatividad.

Análisis de costos y viabilidad

Se evaluaron los costos asociados con la implementación del diseño propuesto, considerando la viabilidad económica del proyecto en el contexto de las comunicaciones.

De manera detallada, los pasos seguidos son los siguientes:

- Análisis de las zonas geográficas.
- Diseño del sistema
- Selección de frecuencias y tonos.
- Interconector telefónico
- Intercomunicador con internet
- Antenas, cables, conectores, duplexer.
- Antena para estaciones base y repetidores
- Antena para móviles
- Conectores
- Cálculos y programación de equipos.
- Características técnicas esperadas de recepción del equipo.
- Características técnicas de recepción del equipo portátil
- Programación de radiocomunicaciones
- Programación del intercomunicador telefónico
- Programación del intercomunicador gateway VoIP NXU-2
- Potencia
- Alcance del sistema
- Costos
- Costos de radiocomunicaciones
- Costos en telefonía celular y radio AT&T
- Viabilidad

4.2. Protocolo VoIP

Este proyecto utilizará Voice Over Internet Protocol (VoIP) como medio de voz por internet, ahorrando costos a corto plazo, ya que contamos con nuestros propios gateways en cada extremo de las zonas planeadas. A largo plazo, esta solución también permitirá eliminar la renta telefónica y los interconectores, permitiendo ahorrar aún más costos. Por el momento, usaremos VoIP para conectar nuestras bases a través de internet en vez de necesitar repetidores. Sólo en regiones donde no tengamos acceso a red de ETHERNET, utilizaremos temporalmente estaciones móviles como repetidores, especialmente en casos de emergencia.

4.3. Conexión con la telefonía convencional y celular

Para este diseño se propone el protocolo SmarTrunk II y LTR, debido a sus características de interoperabilidad y al alto rendimiento dentro de la infraestructura de la red. El sistema troncal digital de SmarTrunk II y LTR está diseñado para brindar una interconexión telefónica y troncal sofisticada, mediante la utilización de económicos equipos de radio de dos vías, que operan en frecuencias inferiores a los 800 MHz.

Este protocolo propietario brinda adquisición automática de canal y llamadas privadas, para sistemas de hasta 16 canales. Soporta una variedad de llamadas, incluyendo móvil a línea telefónica, móvil a móvil, línea telefónica a móvil, llamadas de grupo, llamadas de emergencia, entre otras. Su mayor ventaja es el costo relativamente bajo tanto de la base como del equipo de radio móvil, lo que hace que el SmarTrunk II y LTR sean una solución ideal para aplicaciones troncales.

4.4. Conexión de radio bases a larga distancia a través de VoIP

El proceso de instalación consiste en la configuración del equipo basado en la programación de redes, definiendo los parámetros digitales como la compresión de sonido, la

velocidad de conexión y el direccionamiento IP. Para la operación con frecuencias analógicas se utiliza el software de configuración, el cual no presenta problemas para operar con radio bases, ya que este dispositivo es un gateway con un conversor analógico digital y viceversa.

El NXU2 es un equipo gateway que conecta una red de internet de alta velocidad con un equipo de comunicaciones llamado radio de dos vías, usando protocolo VoIP (Voz sobre IP) [31]. Esta unidad autónoma interconecta audio en Full Dúplex, un puerto RS232 y cuatro bits de status con una red de Ethernet. Un par de NXU2 permite formar un sistema que ofrece comunicaciones transparentes entre dos sistemas de radios, ya sean servidor o cliente. El audio, el RS232 y los bits de status pueden ser extendidos entre el servidor y el cliente, según sea necesario. La conexión RS232 permite velocidades de transferencia diferentes entre el servidor y el cliente, mientras que indicadores frontales en la pantalla de la unidad muestran el estado actual. La configuración inicial se realiza a través del puerto serial, pero una vez operando, cualquier navegador de red sirve para monitorear y cambiar los ajustes y diagnosticar el desempeño. El NXU2 también ofrece varios ajustes de compresión para acomodar un amplio rango de aplicaciones, desde voz hasta señalización con tonos.

4.5. Análisis de las tecnologías a utilizar

Los sistemas de comunicación dependen de un análisis de los equipos que se van a integrar. En general, pueden ocuparse diferentes marcas, como Motorola, Kenwood, YAESU, ICOM y Vertex, siempre y cuando sean compatibles con el protocolo que se va a utilizar: Smartrunking II y LTR para el enlace a una red convencional telefónica. Es importante que los equipos móviles, portátiles y radió bases cuenten con DTMF, que consiste en un sistema de tonos que nos permitirá hacer la señalización a través de un teclado que tiene el equipo.

Para este proyecto se propone utilizar las tecnologías de ICOM y Kenwood, debido a su fácil operatividad con el usuario y su bajo costo, como radios portátiles, móviles y bases con compatibilidad en la etapa de programación, además de un mantenimiento sencillo gracias al centro de distribución de componentes en la República Mexicana.

En cuanto al intercomunicador telefónico y los controladores Trunking II y LTR, se utilizará la marca CSI, porque ofrece ventajas de comunicación en simplex, semiduplex y full duplex, que resulta interesante para recibir y transmitir al mismo tiempo.

Para el Gateway (intercomunicador con internet), se utilizará la marca Raytheon JPS Communications, debido a su operatividad con grupos de radios, llamada selectiva, y porque a través de este equipo se puede hacer el enlace de los radios a través de internet.

Para la alimentación, podemos construir una fuente de 13,5 volts a 10 ampères o utilizar fuentes especiales hechas específicamente para equipos con estas características. Es muy importante analizar la manera de proveer de energía a nuestros equipos en zonas alejadas, ya que es de vital importancia considerar que puedan sufrir daños debido a descargas eléctricas, atmosféricas o a desastres naturales.

4.6. Diagrama a bloques

Este diagrama (Figura 4.1), a continuación, muestra el diseño en general de la intercomunicación entre las etapas de radio, telefónica y celular cabe mencionar que nosotros solo estamos operando la etapa de radio comunicación sin meternos con la parte telefónica y celular solo conectaremos nuestros equipos a un PBX (Línea telefónica) a través de un cable RJ11 por el momento y en la parte de Red solo utilizaremos una conexión de internet y una IP estática.

4.7. Análisis de zonas geográficas

Es importante realizar un análisis de las zonas geográficas en las que se instala un sistema de radiocomunicación, debido a las pérdidas que existen en la zona de cobertura, principalmente en zonas urbanas y rurales. Esto con el fin de evitar problemas similares a los que han tenido los sistemas de radiocomunicación tradicionales, como la utilización de repetidores durante grandes distancias, desde los 800 km hasta los 1500 km, lo que genera daños como pérdidas de señal, íntermodulación, trámite de permisos y falta de

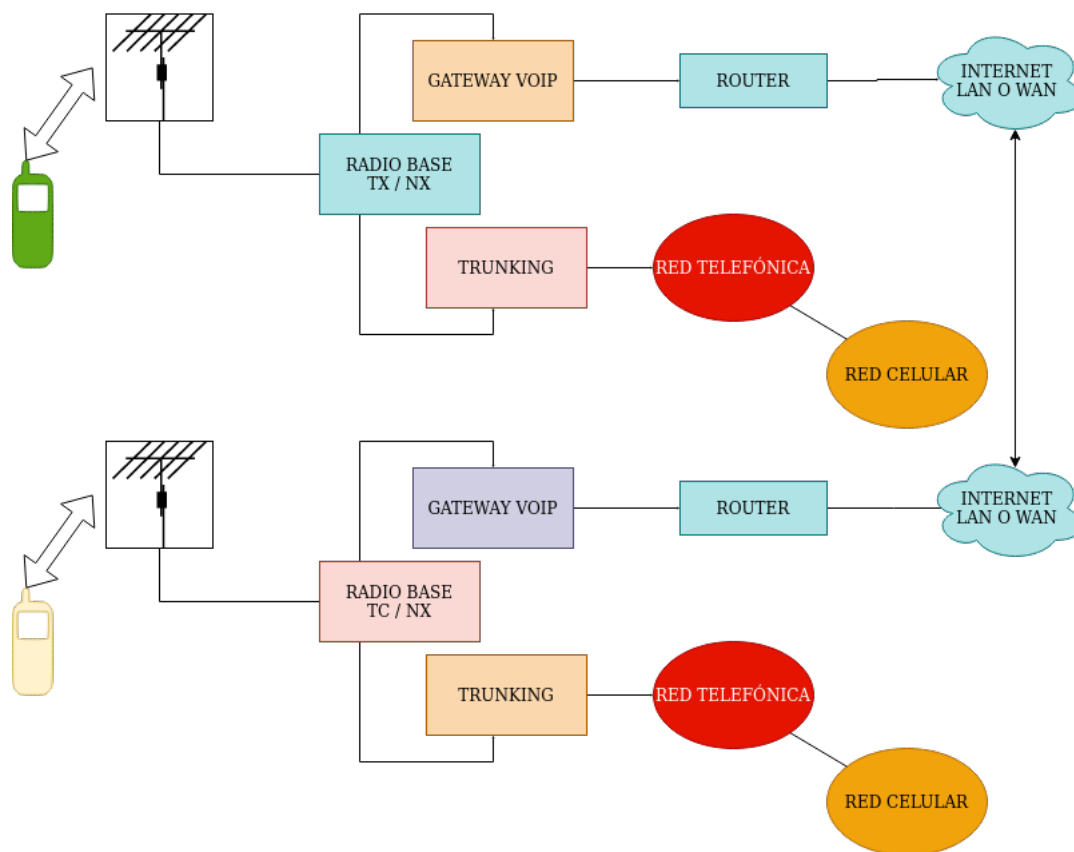


Figura 4.1: Diagrama a bloques del sistema de comunicación entre dos radios bases a través de internet. Elaboración propia usando drawio.

lugares para su instalación.

Por ello, se tomó en consideración la realización de un diseño de radiocomunicación tomando en cuenta cuatro zonas con diferentes distancias, con lo cual se pudieron evidenciar las ventajas de no instalar repetidores.

Zonas:

- Puebla como región de base central.
- Guadalajara como región base externa.
- Monterrey como región base externa.
- Ciudad de México como región base externa.

Distancias entre la estación base central y las zonas externas:

- Puebla - Guadalajara: Distancia 571 Km. en línea recta.
- Puebla - Monterrey: Distancia 808 Km. en línea recta.
- Puebla - Ciudad de México: Distancia 139 Km. en línea recta.
- Guadalajara - Puebla: Distancia 571 Km. en línea recta.
- Guadalajara - Monterrey: Distancia 657 Km. en línea recta.
- Guadalajara - Ciudad de México: Distancia 467 Km. en línea recta.
- Monterrey - Puebla: Distancia 808 Km. en línea recta.
- Monterrey - Guadalajara: Distancia 657 Km. en línea recta.
- Monterrey - Ciudad de México: Distancia 734 Km. en línea recta.
- Ciudad de México - Puebla: Distancia 139 Km. en línea recta.
- Ciudad de México - Guadalajara: Distancia 467 Km. en línea recta.
- Ciudad de México - Monterrey: Distancia 734 Km. en línea recta.

Además de estas distancias, debemos considerar que no tenemos línea de vista entre las estaciones base y la orografía a lo largo de estas zonas es muy difícil debido a las cadenas montañosas y a la curvatura de la Tierra. Más aún, podemos observar con estas características que nuestro sistema es muy viable.

4.8. Diseño del sistema

El diagrama de bloques muestra la planificación del sistema, como se ilustra en la Figura 4.5.1, con dos enlaces que conectan cuatro zonas a través de una red LAN o WAN.

El diseño incluye estaciones con diferentes distancias, conectadas mediante una red LAN o WAN. Los componentes principales son las estaciones base, trunking (acoplador telefónico), gateway (acoplador VoIP), duplexer (filtro de bandas), antenas, radios móviles

(instalados en automóviles) y radios portátiles (usuarios). La primera etapa consta de las siguientes estaciones:

4.8.1. Estación central Puebla

Compuesta por una radio base, dos repetidores, cada uno con tres móviles y dos portátiles, trunking, gateway y, finalmente, un duplexer.

4.8.2. Estaciones foráneas

Las estaciones foráneas, ubicadas en Guadalajara, Ciudad de México y Monterrey, comparten una estructura común. Cada estación está compuesta por una radio base, móviles y portátiles, así como los elementos esenciales del sistema, como trunking, gateway y duplexer.

En detalle:

Guadalajara

Consta de una radio base, un repetidor con cuatro móviles y cuatro portátiles, además de trunking, gateway y duplexer.

Ciudad de México

Incluye una radio base con tres móviles y dos portátiles, junto con trunking, gateway y duplexer.

Monterrey

Cuenta con una radio base, tres móviles y dos portátiles, así como trunking, gateway y duplexer.

Estas estaciones son ejemplos de un análisis propuesto para un sistema de radiocomunicación en cuatro zonas. El número de equipos, como radios móviles, bases, portátiles, gateway, duplexer, que ejemplifica la planificación del sistema de radiocomunicación.

Esta planificación es una propuesta para cuatro zonas del país, que puede ajustarse según las necesidades. Puede crecer aumentando el número de extensiones o repetidores móviles en caso de no tener cobertura de red Ethernet. Es importante destacar que se busca reducir el número de repetidores mediante VoIP en internet para abaratar costos. Sin embargo, en ocasiones especiales, esto puede no ser factible debido a la falta de energía eléctrica o conexión a internet.

4.9. Selección de frecuencias y tonos

4.9.1. Consideraciones legales

Para la selección de frecuencias y tonos, es esencial contar con los permisos correspondientes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Cofetel (Comisión Federal de Telecomunicaciones) y cumplir con la legislación vigente.

4.9.2. Banda de programación

La banda de programación para radios puede ser VHF o UHF, permitiendo la interoperabilidad y el uso de diferentes canales para adaptarse a las necesidades específicas de cada región o base.

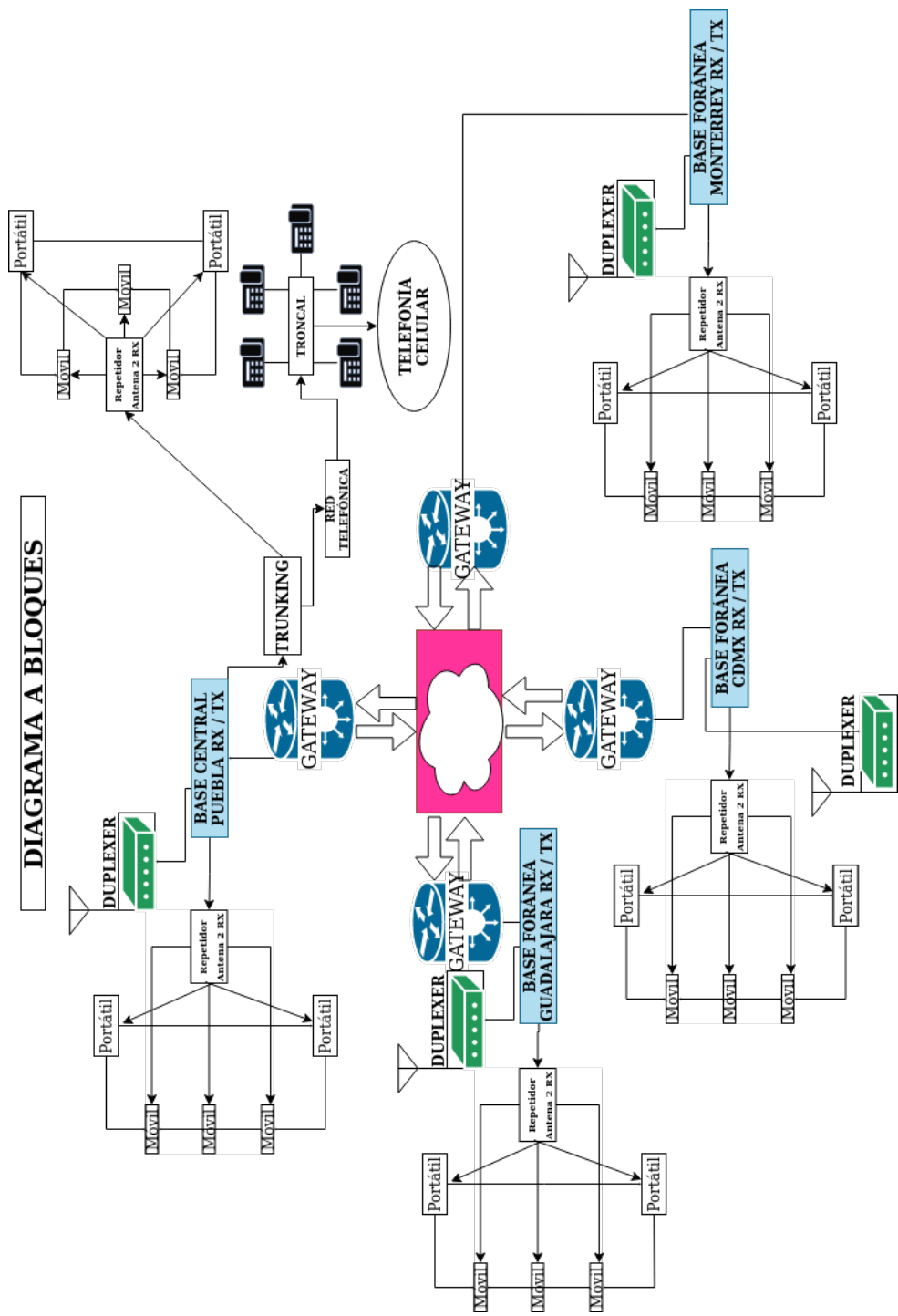


Figura 4.2: Esquema general de cuatro zonas conectadas para brindar un sistema de comunicaciones. Elaboración propia usando drawio.

4.9.3. Selección de frecuencias

Se propone dividir el espectro radioeléctrico en la banda VHF 137.5 a 174.5 MHz [16]. La elección de frecuencias implica una subdivisión para evitar interferencias, similar a la tecnología TDMA.

4.9.4. Regiones y canales propuestos

Región Puebla

- Canal 1: RX - 147.5 Tono 54.5, TX - 147.5 Tono 67.5 DPL (comunicación Puebla)
- Canal 2: RX - 147.5 Tono 87.5, TX - 147.5 Tono 87.0 DPL (enlace Guadalajara)
- Canal 3: RX - 147.5 Tono 67.0, TX - 147.5 Tono 57.5 DPL (enlace Monterrey)
- Canal 4: RX - 147.5 Tono 97.0, TX - 147.5 Tono 97.5 DPL (enlace Ciudad de México)
- Canal 5: RX - 147.5 Tono 100.0, TX - 147.5 Tono 100.5 DPL (smartrunking Puebla)
- Canales 6-8: Enlaces Smartrunking II con otras regiones (siguiendo la misma estructura para cada región)

Región Guadalajara

- Canal 1: RX - 147.5 Tono 87.5, TX - 147.5 Tono 87.0 DPL (comunicación Guadalajara)
- Canal 2: RX - 147.5 Tono 67.0, TX - 147.5 Tono 57.5 DPL (enlace Monterrey)
- Canal 3: RX - 147.5 Tono 97.0, TX - 147.5 Tono 97.5 DPL (enlace Ciudad de México)
- Canal 4: RX - 147.5 Tono 54.5, TX - 147.5 Tono 67.5 DPL (enlace Puebla)
- Canal 5: RX - 152.0 Tono 85.5, TX - 152.0 Tono 67.0 DPL (smartrunking Guadalajara)

-
- Canales 6-8: Enlaces Smartrunking II con otras regiones (siguiendo la misma estructura para cada región)

Región Monterrey

- Canal 1: RX - 147.5 Tono 67.0, TX - 147.5 Tono 57.5 DPL (Comunicación Monterrey)
- Canal 2: RX - 147.5 Tono 87.5, TX - 147.5 Tono 87.0 DPL (enlace Guadalajara)
- Canal 3: RX - 147.5 Tono 97.0, TX - 147.5 Tono 97.5 DPL (enlace Ciudad de México)
- Canal 4: RX - 147.5 Tono 54.5, TX - 147.5 Tono 67.5 DPL (enlace Puebla)
- Canal 5: RX - 143.0 Tono 27.5, TX - 143.0 Tono 30.0 DPL (Smartrunking Monterrey)
- Canales 6-8: Enlaces Smartrunking II con otras regiones (Siguiendo la misma estructura para cada región)

Región Ciudad de México

- Canal 1: RX - 147.5 Tono 97.0, TX - 147.5 Tono 97.5 DPL (comunicación Ciudad de México)
- Canal 2: RX - 147.5 Tono 67.0, TX - 147.5 Tono 57.5 DPL (enlace Guadalajara)
- Canal 3: RX - 147.5 Tono 87.5, TX - 147.5 Tono 87.0 DPL (enlace Puebla)
- Canal 4: RX - 147.5 Tono 54.5, TX - 147.5 Tono 67.5 DPL (enlace Monterrey)
- Canal 5: RX - 152.0 Tono 85.5, TX - 152.0 Tono 67.0 DPL (smartrunking Ciudad de México)
- Canales 6-8: Enlaces Smartrunking II con otras regiones (siguiendo la misma estructura para cada región)

4.9.5. Interconector telefónico

Después de asignar las frecuencias, se conecta el intercomunicador telefónico para enlazar con la red telefónica y celular. Este dispositivo facilita la comunicación en la región base y permite a usuarios externos realizar llamadas. La programación de muestra incluye parámetros operativos asignados vía software, estableciendo la frecuencia de operación determinada en la selección de frecuencias y tonos.

4.10. Intercomunicador con internet

Este es el equipo que utilizaremos, el cual se muestra en la Figura 4.3 para hacer la conexión de las radio bases a través de internet. Es un gateway y solo necesitaremos conectarlo a una red Ethernet de alta velocidad después del router para enlazarlos. Su programación se muestra en la parte de cálculos y programación.

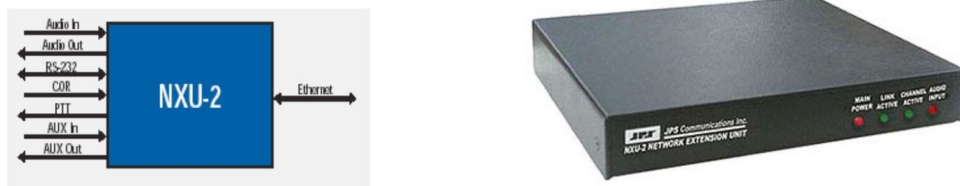


Figura 4.3: Estructura de conexión JPS communication NXU-2. La figura de la izquierda estructura de conexión, mientras que la figura de la derecha muestra un equipo intercomunicador Tcp/IP. Imagen provista por [31].

Las ventajas que tendremos con este equipo son básicamente 5 que a continuación se describen:

1. No requiere de equipos externos para su operación. Este equipo provee una gama de características internas y de programación tanto en Tx como en Rx con la radio base.
2. Auto ajusta sus parámetros automáticamente al existir variaciones en la red, guardando los paquetes sin perder información.
3. Cinco niveles de compresión de Audio (13-64 Kbps).

-
4. Seis niveles de seguridad para restringir el acceso a su configuración. Con esto evitaremos espías no autorizados y puedan escuchar nuestras conversaciones encriptando la voz.
 5. Requiere una IP estática y válida en cada extremo. Solo requiere de un dominio propio rentado o, más recomendable, una conexión debido a que nos proporciona una IP estática, abaratando los costos sin tener que rentar un dominio.

4.11. Selección de componentes de radiocomunicación

En esta etapa, se llevó a cabo la selección cuidadosa de los materiales para el sistema de radiocomunicación, considerando las normas de acoplamiento y la impedancia de 50 ohm. Se tomó especial atención en garantizar un ancho de banda de 3 MHz para asegurar una respuesta efectiva a los sistemas conectados.

4.11.1. Antena para estaciones base y repetidores

La elección recae en la serie G7 VHF Tipo Hustler, especialmente diseñada para aplicaciones fijas o en repetidores. Construida con aluminio de alta resistencia y fibra de vidrio, ofrece un ángulo de radiación bajo para optimizar la señal. Su diseño auto transportable permite una instalación versátil en mástiles o torres, según los recursos disponibles.

Características:

- Potencia máxima de entrada: 600 W
- Ganancia: 7 dB
- VSWR: 60 MHz a 2:1
- Ancho de banda: 3MHz arriba de 1.5:1
- Impedancia: 50 ohms nominal
- Protección contra rayos: Alimentación en paralelo, tierra directa

- Terminal: Conector tipo “N” hembra
- Largo: 4.7 m
- Peso: 5 kg
- Resistencia al viento: 100 km/h
- Montaje: mástil de 2” o torre (5 cm)

4.11.2. Antena para móviles

La antena seleccionada para móviles es la MWB-1322S, con una frecuencia de operación de 148-174 MHz, ganancia de 2.5dB, banda ancha de 3 MHz y potencia de 150 Watts. Esta antena también cumple la función de repetidor móvil.

Cable para conexión de la radio base a la antena

La elección del tipo de cable se ajusta al acoplamiento específico para evitar pérdidas o daños en los equipos. Generalmente, se utiliza cobre con núcleo blindado para prevenir ruido o interferencia. La Tabla 4.1 detalla ejemplos de los calibres de cables con sus características incluyendo RG-58A/U 8219, RG-58A/U 8259 y RG-58A/U 9311. Además se contemplan los cables Belden 9913, RF-400, 7810A, RG-8/U 8214, RG-8/U 8237 y RG-213/U 8267.

Conectores

Se eligieron conectores compatibles con los radios utilizados: PL para Motorola, mini UHF para Kenwood y PL invertido para ICOM. Esta elección asegura la compatibilidad y evita problemas de conexión.

Características	RG-58A/U 8219
Cable	Blindaje de malla de cobre estañada 96 %, Foam polietileno
Impedancia	53.5 ohms
Diámetro exterior	.195 in (4.95 mm)
Factor de velocidad	73 %
Atenuación (30 m., UHF 450 MHz)	10 dB
Conductor interno	Calibre AWG 20 (.037) Cobre trenzado estañado
Aislamiento	Foam polietileno
Blindaje	malla trenzada de cobre estañado 96 %
Peso por metro (kg)	No proporcionado

Características	RG-58A/U 8259
Cable	Blindaje de malla Trenzada de Cobre 95 %, polietileno
Impedancia	50 ohms
Diámetro Exterior	.193 in (4.90 mm)
Factor de velocidad	66 %
Atenuación (30 m., UHF 450 MHz)	12.4 dB
Conductor interno	Calibre AWG 20 (.035) cobre trenzado estañado
Aislamiento	Polietileno
Blindaje	Malla trenzada de cobre 95 %
Peso por metro (kg)	0.052

Características	RG-58A/U 9311
Cable	Blindaje de duobond II +55 % malla trenzada de cobre estañado, foam polietileno
Impedancia	52 ohms
Diámetro exterior	.193 in (4.90 mm)
Factor de velocidad	75 %
Atenuación (30 m., UHF 450 MHz)	8.5 dB
Conductor interno	Calibre AWG 20 (.037) cobre trenzado estañado
Aislamiento	Foam polietileno
Blindaje	Duobond II +55 % malla trenzada de cobre estañado
Peso por metro (kg)	0.031

Tabla 4.1: Características de cables RG-58A/U 8219, RG-58A/U 8259 y RG-58A/U 9311. Proporcionadas por el fabricante Belden.

4.11.3. Conectores

Los conectores se utilizan para conectar los radios con las antenas, pero debido a que Motorola utiliza conectores PL, Kenwood mini UHF y ICOM PL invertido, con estos conectores o acopladores ya no tendremos problemas de compatibilidad.

4.12. Cálculos y programación de equipos

A continuación, se presentan los resultados estimados correspondientes a los equipos móviles y portátiles. En el capítulo III, se detalla la programación y configuración de los equipos de dos vías, junto con las ecuaciones relevantes para el diseño. Muchos de los parámetros están predefinidos por el fabricante y pueden ajustarse o modificarse directamente solamente a través del equipo o mediante el uso de software especializado.

Requerimientos	Parámetros
Separación entre canales adyacentes	25 kHz
Ancho de banda necesario	600 kHz
Naturaleza de la señal	Analógica
Tipo de información	Privada
Tipo de modulación	FM
Patrón de radiación	Omnidireccional
Azimut de máxima radiación	360°
Ángulo de elevación	90°
Modo de operación	Duplex y Full Duplex
Horario de operación	24 horas
Aplicación	Comunicación regional, nacional y enlace con la Cd. de Puebla

Tabla 4.2: *Requerimientos y parámetros del sistema de radiocomunicación.*

4.12.1. Características técnicas esperadas de recepción del equipo

En el contexto de recepción de equipos móviles, la Tabla 4.3 presenta las especificaciones previstas para los modelos ICOM IC-F121, IC-F221 [19] y Kenwood TK-780 / 880 operando como radio bases y repetidores [28]. Estos parámetros, que incluyen la sensibilidad, potencia máxima, distancia de enlace estimada y detalles de la antena, son fundamentales para evaluar la capacidad receptora de los dispositivos en entornos específicos de comunicación.

4.12.2. Características técnicas de recepción del equipo portátil

En la Tabla 4.4 se detallan las características técnicas relacionadas con la recepción de los equipos portátiles de las marcas Kenwood e ICOM. Estos parámetros son fundamentales para comprender el rendimiento y las capacidades de los dispositivos en el contexto de la comunicación bidireccional.

Requerimientos	Parámetros
Marca	ICOM y Kenwood (Equipos móviles operando como radio bases y repetidor)
Modelo(s)	ICOM IC-F121, IC-F221; Kenwood TK-780 / 880
Sensibilidad	0.30 μ V a 12 dB SINAD EIA, para espaciamiento de canales 20/25/30 kHz 0.40 μ V a 20 dB SINAD CEPT84, para espaciamiento de canales 20/25/30 kHz
Impedancia de entrada	50 Ω
Características técnicas del transmisor	Potencia máxima: 45 watts Impedancia de salida: 50 ohms Línea de transmisión tipo: Cable coaxial Belden RG58A/U 8259, 50 ohms, 66 % factor de velocidad, 11.5 dB de atenuación en 30 m, VHF. Conectores tipo: Mini UHF y PL para RG58. Potencia de operación del transmisor: 35 a 40 watts** Altura de la antena sobre el suelo: 10 m. Tipo de polarización de la antena: Vertical. Longitud del alimentador (Long. Cable coaxial): 15.645 m. Distancia estimada de enlace: 62km. Potencia nominal dBW: 11.227 dB. Potencia Radiada esperada (PIREdBm): 45.99 dBm. Potencia mínima de entrada en el receptor dB: -110 dBm. Potencia radial aparente teórica que debe medirse en la antena: 13.264 watts.
Antena modelo	Hustler modelo serie G7 VHF, 3dB, bobina y látigo, 250 watts máximo, (144-174 MHz).
Ganancia de la antena respecto del radiador	151.227 dB.
Margen de desvanecimiento	19.477 dB.
Atenuación de espacio libre	112.05 dB.
Pérdida total de acoplamiento	2.4 dB.
Pérdidas totales externas	0.7 dB.
Pérdidas totales internas	26.6 dB.
Confiabilidad	99.999 %

Tabla 4.3: *Parámetros para equipos móviles y portátiles.*

4.12.3. Programación de radiocomunicaciones

Programación de radios portátiles y móviles

En esta sección, se proporciona una visión general de las pantallas de programación en entorno Windows para radios Kenwood [22], así como las rutinas de menú asociadas. Sin embargo, el capítulo tres ofrece una descripción más detallada de todas las rutinas de programación para radios de dos vías.

La Figura 4.4 muestra un software de programación diseñado para radios Kenwood que se ejecuta en el entorno Windows. Este software facilita la transmisión de datos de operación al radio, la asignación de canales y la activación de tonos. Aunque es poco común que los radios de dos vías se desajusten, en caso necesario, se pueden calibrar técnicamente para prevenir desviaciones de frecuencia o exceso de ruido.

Procedimiento de programación del radio en software KPG-70D o KPG-80D [23, según sea el radio]:

Requerimientos	Parámetros
Marca	Kenwood ICOM
Modelo	TK373GK, TK- 74D, IC-F3G Y IC-F46
Sensibilidad	0.22 μ V a 12dB SINAD EIA, para espaciamento de canales 20/25/30 kHz
Características técnicas del transmisor	Normal. Potencia máxima: 5 watts Potencia de operación del transmisor: 4.5 watts Distancia estimada de enlace: 30 km a la estación más cercana. Potencia nominal dBW: 6.989 dBW. Potencia Radiada Isotrópico esperada (PIREdBm): 41.76 dBm. Potencia mínima de entrada en el receptor dBm: -110dBm.
Antena modelo	Antena Helicoidal Modelo NAD-6502 (136-174 MHz), para radios.
Ganancia de la antena respecto del radiador	3
Pérdida total de acoplamiento	1 dB.
Pérdidas totales externas	0.7 dB.
Pérdidas totales internas	26.6 dB.
Confiablez	99.999 %.

Tabla 4.4: *Parámetros para equipos Kenwood e ICOM.*

1. Programar en Edit_OptionalFeatures de la siguiente manera (ver Figura 4.4).
2. Luego, programe Edit_FunctionPort y habilite lo siguiente: en Port 4, el PTT; y en Port 5, el COR (ver Figura 4.5).
3. Activaciones de funciones extras del radio.
 - Modificación para obtener AFO (Audiofrequency output) (Salida de audio frecuencia). Para obtener AFO en el conector de accesorios es necesario cortar las pistas que se conecta al PIN 1 de CN1 para evitar el paso del discriminador al conector de accesorios y hacer un puente del PIN 13 de IC5 al PIN 1 de CN1. Adicionalmente, el radio debe de suministrar la señal TOR al NXU- 2 para su operación confiable.
 - Activación de la señal TOR (Relay Activado por Tono). Una vez seleccionado el software se presiona ALT para entrar al menú principal y se elige EDIT, se selecciona OPTIONAL FEATURES. Con el cursor se selecciona LOGIC SIGNAL, dentro se elige SQUELCH LOGIC SIGANL y se entra en TOR con la barra espaciadora.
4. Salvar la información al radio y salir del programa.

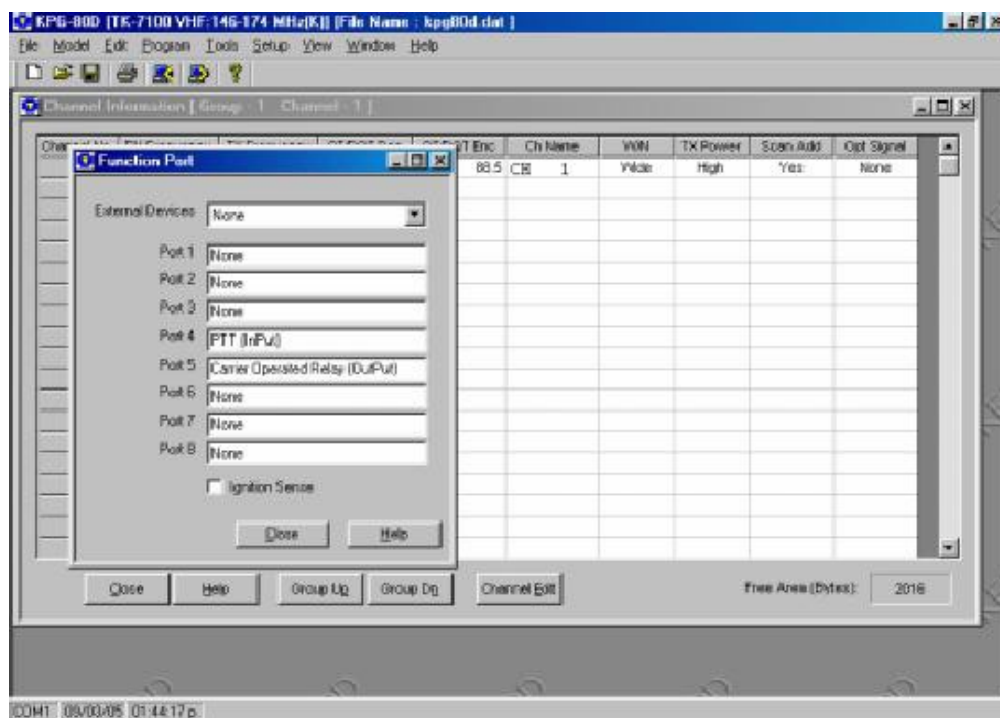


Figura 4.4: Menú que muestra la programación de canales y tonos a través de puertos.

4.13. Programación del intercomunicador telefónico

Se inicia con la programación del sistema de radiocomunicaciones a través de las frecuencias previamente descritas y la planificación. Es crucial tener en cuenta todos los puntos mencionados anteriormente, desde el protocolo Smartrunking II y LTR para garantizar el correcto funcionamiento.

4.13.1. Programación del equipo Smartrunking y LTR

Una vez que se han asignado las frecuencias a los equipos de radiocomunicación, se procede a programar el intercomunicador telefónico. Es importante destacar que este dispositivo opera de manera similar a una radio base, pero es independiente de la misma y se comunica a través de radiofrecuencias. Tanto las radio bases como el intercomunicador telefónico se conectan al Gateway o intercomunicador vía internet para enlazar nuestros dispositivos.

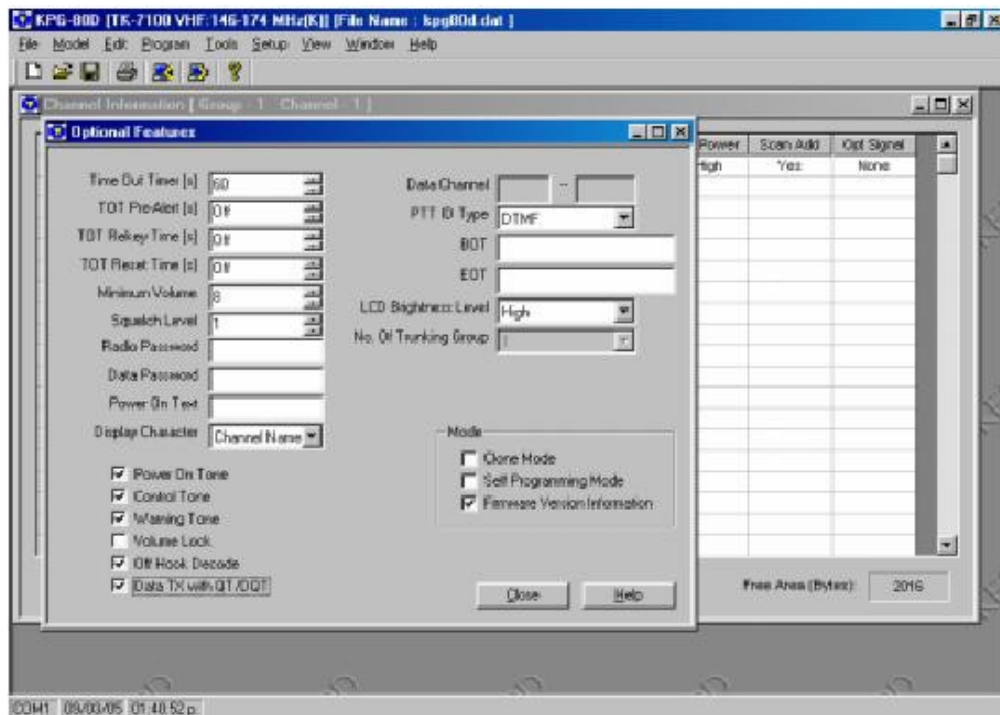


Figura 4.5: Menú de ajustes de parámetros o calibración.

4.13.2. Secuencia de programación con TP163MGR

A continuación, se presenta la secuencia del programa utilizado para configurar el intercomunicador telefónico. El software empleado es el TP163MGR [5], desarrollado por CSI para la configuración de equipos CS-800 semiduplex y fullduplex.

Para llevar a cabo esta acción, es crucial tener el equipo conectado, ya que el programa necesita acceder a la memoria interna para permitir la escritura de las frecuencias asignadas. La primera secuencia consiste en nombrar la estación base para poder acceder al menú de acciones, como se muestra en la Figura 4.6. Este menú exhibe todas las acciones que deben incluirse en la programación de escritura y lectura, así como los cambios guardados dentro de la memoria interna del intercomunicador telefónico.

Estas acciones comprenden la programación de transmisión y recepción, el manejo de tonos, y la gestión de usuarios o códigos autorizados para enlazar al dispositivo.

La siguiente acción es ingresar al menú USER BROWSE para indicar al equipo cómo buscar

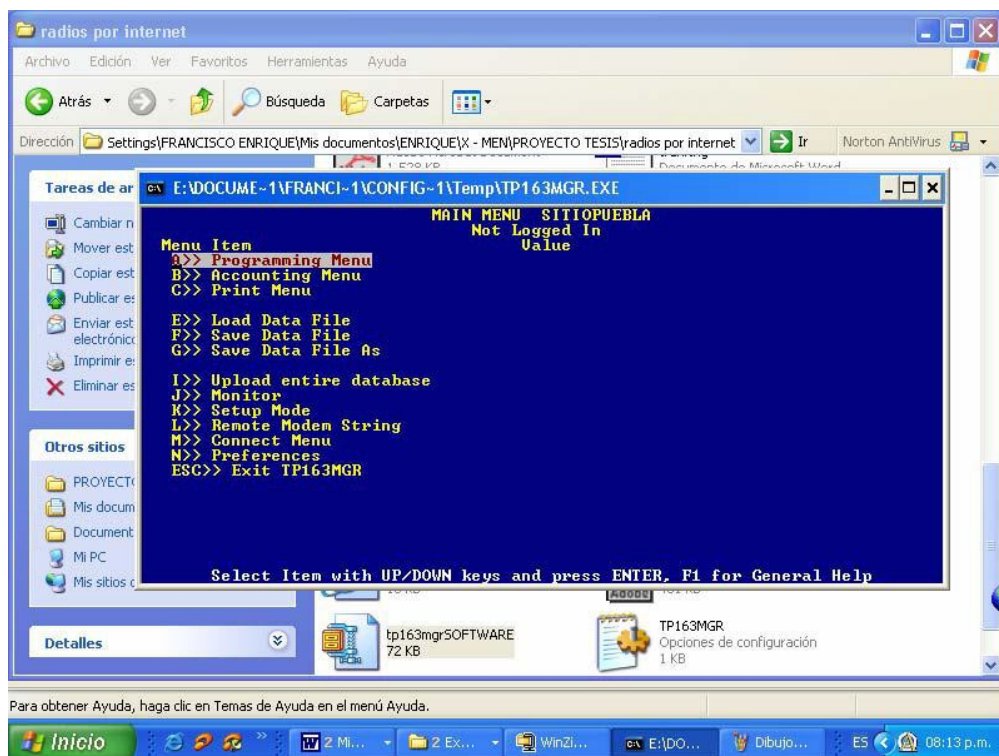


Figura 4.6: Menú de acciones en el software TP163MGR.

a los usuarios autorizados para el enlace con el intercomunicador. Para esto, ya se deben tener los códigos de los móviles o portátiles, así como el tipo de comunicación que se va a establecer, como se muestra en la Figura 4.7.

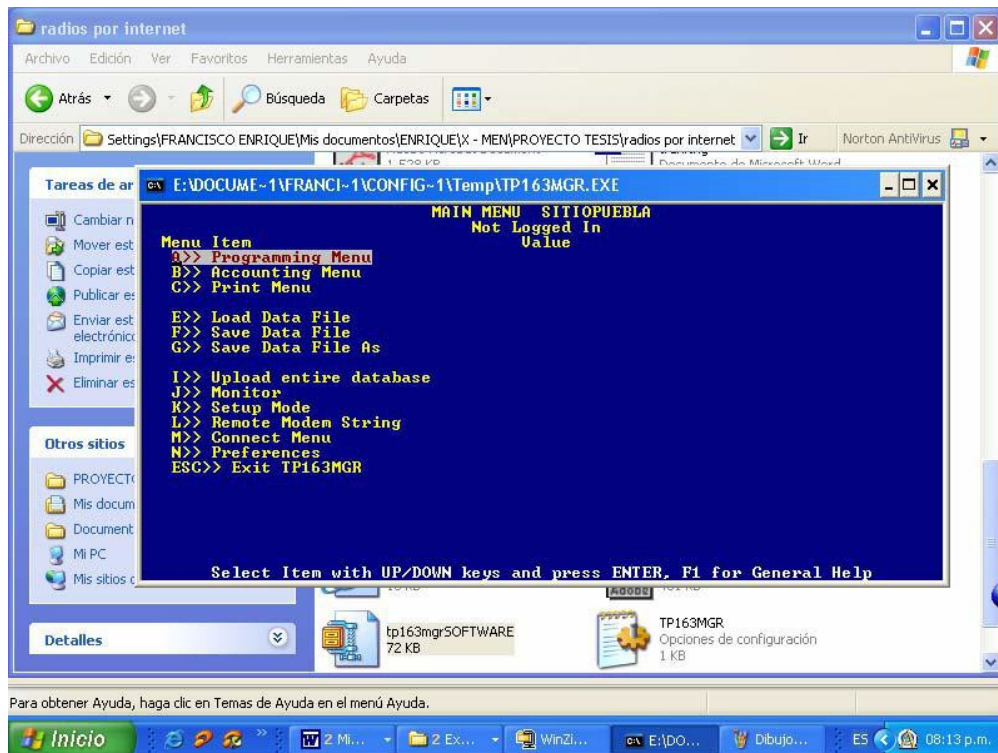


Figura 4.7: Buscador de líneas autorizadas, así como los parámetros globales para el enlace en el software TP163MGR.

En esta pantalla (Figura 4.8) se definen los parámetros de los equipos, tales como la configuración de transmisión y recepción, tonos digitales, squelch, tono reservado, CTSSS/DCS durante el tiempo de llamada.

En la siguiente ventana (Figura 4.9) se definen los parámetros del repetidor. Este punto es crucial, ya que la señal no vendrá directamente del equipo, sino que será retransmitida por el repetidor. En consecuencia, se debe dar acceso solo a los códigos programados.

A continuación (Figura 4.10) se muestran los códigos que serán permitidos y aceptados por el intercomunicador telefónico desde el repetidor, en caso de que exista, como en los sitios de Puebla y Guadalajara. En este caso, como se puede observar en la ventana, los tonos se marcan como cero hasta que sean asignados.

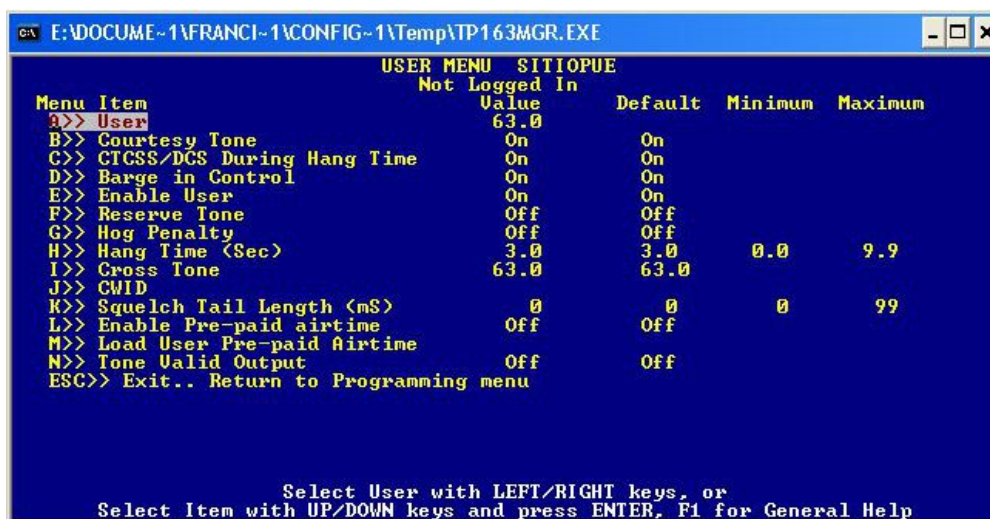


Figura 4.8: Parámetros de comunicación durante el enlace con los radios en el software TP163MGR.

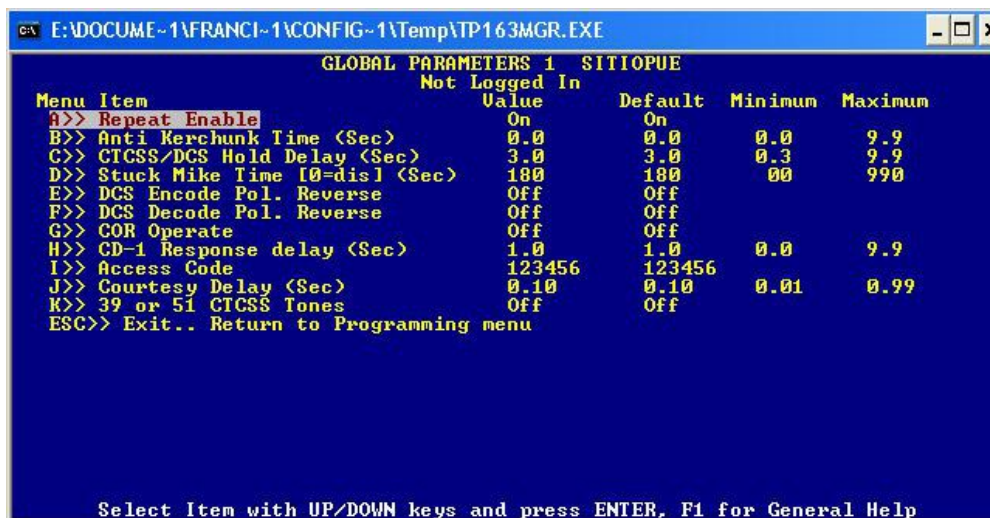


Figura 4.9: Parámetros del repetidor en el software TP163MGR.

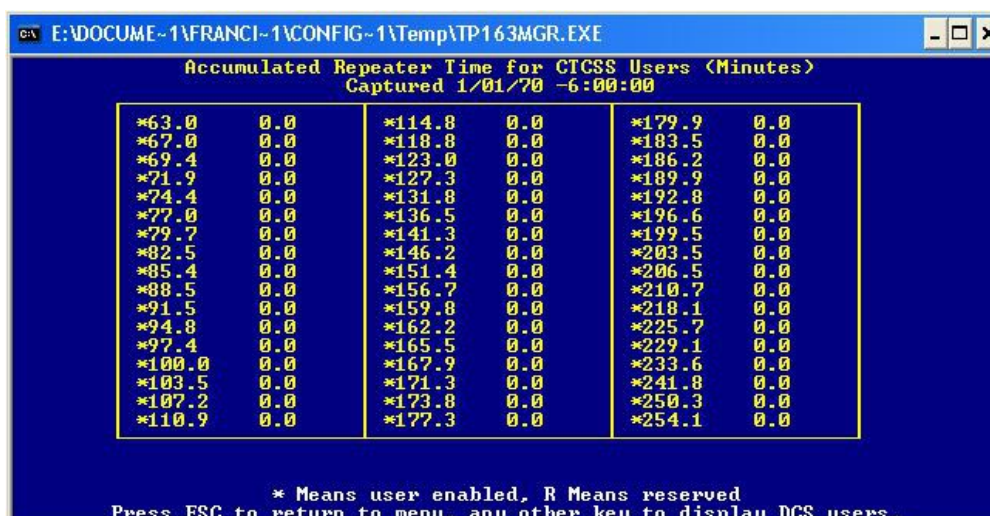


Figura 4.10: Asignación de códigos DPL y TPL en el software TP163MGR.

La Figura 4.11 muestra un esquema básico de la conexión entre el intercomunicador telefónico, la radio base y el intercomunicador de internet.

En la comunicación entre la radio base e intercomunicador se pueden realizar de dos maneras: a través de antenas o mediante un cable PL conectado directamente.

AUDIO IN: El audio de entrada puede conectarse directamente a la parte de salida o a la parte final del control de volumen. Si no se conecta adecuadamente, puede estar fuera de fase y, como consecuencia, podría cortarse.

COS: Puede ser conectada al ruido del squelch para el acarreo de operación o al DPL/CTCSS para los enlaces privados. Cuando el COS está en alto, indica que P2 ha sido propiamente ajustado, y los COS invierten el mando programado adecuadamente. El LED delantero RX se encenderá cuando se reciba una señal. Esta condición es esencial para el funcionamiento apropiado del AutoRemote.

AUDIO OUT: Se conecta al Mic de la línea alta. Si el Mic experimenta un problema exterior, el Audio y JP-3 se cortarán. La resistencia debe ser grande para prevenir daños, pero al mismo tiempo debe lograr la tierra adecuada al móvil de audio con una resistencia de 100 KΩ.

PTT: Se conecta directamente a la línea PTT de la base.

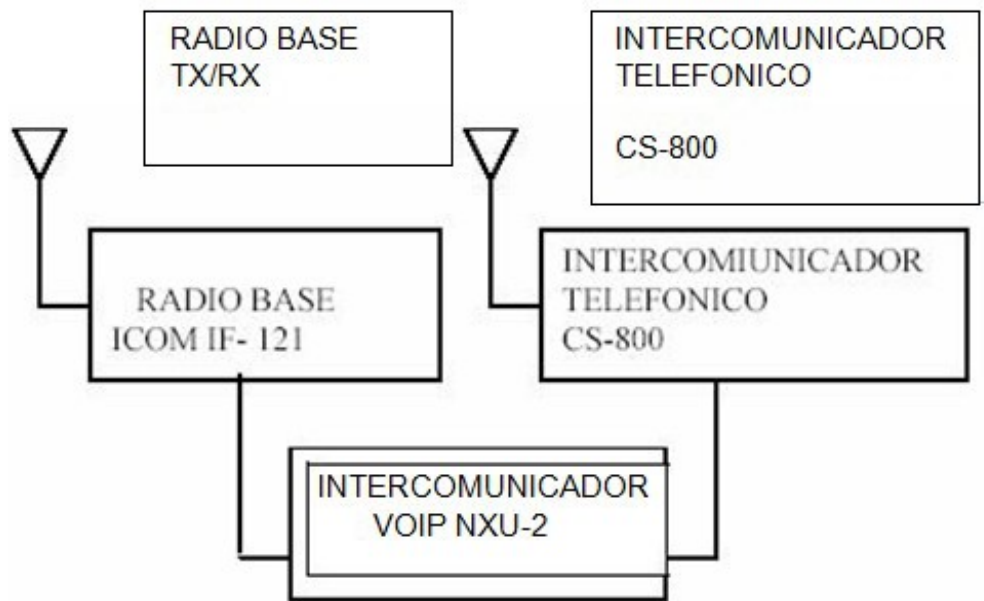


Figura 4.11: *Diagrama a bloques de intercomunicación entre la base, trunking y el gateway.*

MONITOR RELAY: El monitor relay se utiliza en lugar de CTCSS o DPL construido junto al radio para indicar cuándo algún controlador telefónico está apagado. Esto permite monitorear los canales antes de realizar una llamada.

LINE: Se conecta a un PBX a través de un cable RJ-11 (línea telefónica).

4.13.3. Programación del intercomunicador gateway VoIP NXU-2

A continuación, se explican los pasos de conexión y los puntos para conectar el NXU-2 a los radios mencionados anteriormente con el arnés NXU-2.

La unidad de la extensión de red NXU-2 proporciona una manera de transmitir y recibir simultáneamente datos y audio sobre una conexión de Ethernet. Esta nota del uso describe las conexiones y la disposición requeridas para utilizar el NXU-2 con los Doppler buscadores de la dirección de la serie 6000.

Programación del NXU-2 (Serie 6000)

Conectar el cable serial a la unidad con el puerto serial de una PC estándar y del NXU-2 (J4). Utilizando un programa de terminal emulador como HyperTerminal para conectar con el NXU-2. Los ajustes requeridos son:

- Velocidad: 9600
- Databits: 8
- Paridad: ninguno
- Stopbits: 1
- Control de flujo: ninguno en hyperTerminal

Para programar el NXU-2 usando HyperTerminal, primero se ingresa a la configuración de HyperTerminal para una conexión directa al puerto serial (COM1). Configurando el puerto para 9600 baudios para la sincronización de envío y recepción de datos.

Con el cable serial conectado y el NXU-2 activado, después de que la unidad se haya activado por 10 segundos digitando adentro tres signos de más (+++). La unidad debe responder con la autorización con un password que viene de fábrica.

Para las unidades NXU-2 que están en diferentes sitios, se requiere establecer una conexión. Un NXU se debe configurar como un servidor y los otros como clientes. En este caso, Puebla sería el servidor y las demás ciudades serían los clientes. Digitando adentro los siguientes comandos para configurar la unidad del servidor. Se ingresa con cada comando seguido por un código específico como si se estuviera accediendo a un router. Después de cada entrada, el NXU-2 responderá con la autorización.

- Baudio 2400 (para DDF 6000 o 6001)
- Baudio 9600 (para DDF 6100 o 6002)
- Conmode 1
- Raíz 0

-
- Corinh 0
 - MYIP <IP address del servidor >
 - SUBNET <IP address del subnet >
 - GATEIP <IP address de la entrada >
 - Excepto

El IP address del servidor es la dirección que el cliente utilizará para conectar con el servidor y debe ser ingresado en la notación punteada del cuadrángulo (por ejemplo, 192.168.0.1). Asegúrese de incorporar una dirección única a su red, administrada de la red con una dirección única pedida al DNS para verificar que esté libre. El IP address del subnet se introduce de manera similar (usando la máscara de red 255.255.255.0). Si está en un LAN sin una entrada, no ingrese un IP address de la entrada.

Cambie la conexión serial a la unidad que será el cliente y digite los siguientes comandos:

- Baudio 2400 (para DDF 6000 o 6001)
- Baudio 9600 (para DDF 6100 o 6002)
- Conmode 0
- Raíz 0
- Corinh 0
- Conec <IP address del servidor >
- MYIP <IP address del cliente>
- SUBNET <IP address del subnet >
- GATEIP <IP address de la entrada >
- Excepto

El IP address del cliente debe ser diferente al del servidor.

Nota: Después de cambiar los ajustes de la velocidad, se debe configurar de nuevo la conexión de HyperTerminal a esa velocidad para cambiar la configuración del NXU-2.

Instalación del NXU-2s

La unidad del servidor se instalará en el sitio alejado del buscador de la dirección. Se requieren dos cables para conectar el buscador de la dirección con el NXU-2: un cable serial y un cable de audio. El cable serial es un cable nulo estándar del módem (conexión de DCE-a-DCE). El cable de audio se ata con alambre según lo demostrado en la Figura 4.12.

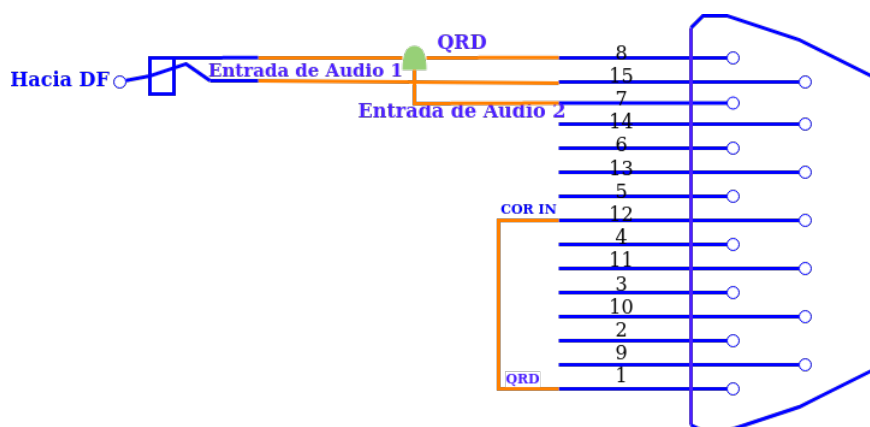


Figura 4.12: Conexión serial de entrada de audio. Elaboración propia usando drawio.

Se tapa el enchufe del teléfono del cable de audio en la salida de audio del buscador de la dirección (J6) y se conecta el conector DB15 con el NXU-2 (J7). Después se conecta el cable serial del módem nulo entre el buscador de la dirección (J1) y el NXU-2 (J4). Utilice un cable de parche de Ethernet RJ-45 de categoría 5 para conectar el NXU-2 (J3) con la red de Ethernet.

La unidad del cliente se instalará en el sitio fijo de la computadora. Conecte un cable estándar RS232 (DTE-to-DCE) de la computadora con J4 en el NXU-2. Se utiliza un cable de parche de Ethernet RJ-45 de categoría 5 para conectar el NXU-2 (J3) con la red de Ethernet. El cable de audio del extremo del cliente se ata con alambre según lo demostrado en la Figura 4.13.

Se conecta el conector DB15 con el NXU-2 (J7). Se requiere un sistema de auriculares o un amplificador para escuchar el audio.

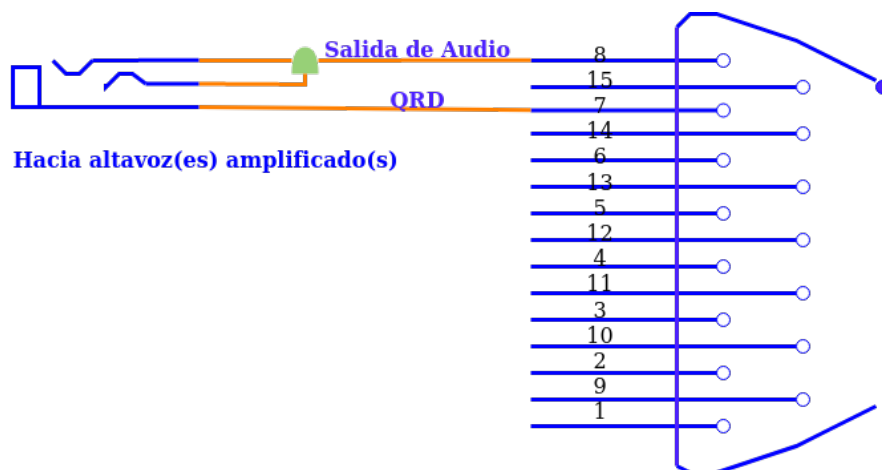


Figura 4.13: Conexión para salida de audio. Elaboración propia usando drawio.

NXU-2 PINOUT 37		PINOUT CN1	
PIN	DESCRIPCIÓN	PIN	DESCRIPCIÓN
1	Ground (negro)	5	Tierra
5	Ground puente al PIN 14	-	N.C.
5	Audio input (verde)	1	RX Audio (AFO)
7	Analog ground	-	N.C.
8	Audio output (azul)	6	TX Audio (micrófono)
12	COR input (naranja)	8	COR
13	PTT out (blanco)	7	PTT
14	Puente al PIN 5	-	N.C.
15	Analog ground	-	N.C.

Tabla 4.5: Especificación de pines del NXU-2

Operación

En el uso alejado del sitio, sintonice el receptor y ajuste el volumen hasta que vea el indicador de audio parpadeando ocasionalmente en picos de audio.

En el sitio fijo, se debe poder escuchar claramente el audio. Una vez que se escuche el audio, inicie el software del buscador de la dirección y utilícelo normalmente.

Otro método de conexión interno en el equipo

Se conecta el arnés KNXU00 a los puertos CN2 y CN3 del Radio (Figura 4.14).

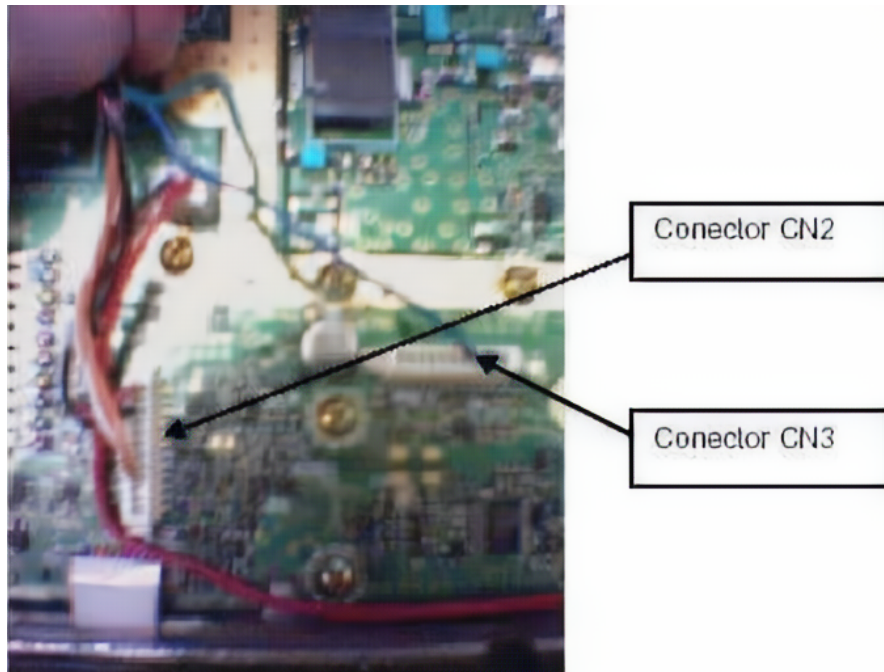
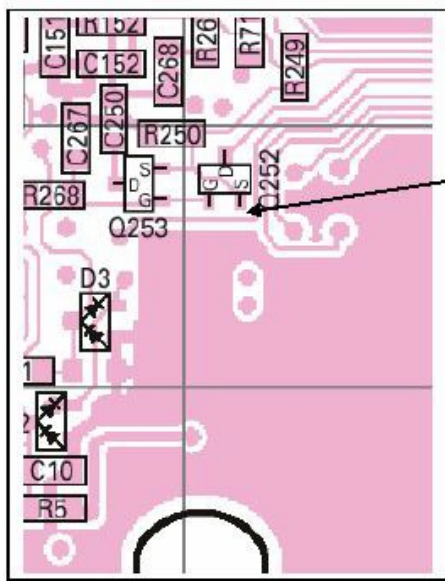


Figura 4.14: *Placa del NXU para localizar el transistor de salida y entrada de audio.*

Se conecta el cable de RX Audio en el punto que se indica en la tablilla del radio como se muestra en la imagen (Figura 4.15).



Aquí se debe de soldar el pin de Rx Audio (Verde). A el pin de Source del componente Q252.

Figura 4.15: *Transistor Q252 de audio.*

Capítulo 5

Costos y viabilidad

5.0.1. Análisis de costos de radiocomunicaciones

En esta sección se presenta un detallado análisis de costos de equipos de radiocomunicación proporcionado por tres distribuidores. Los precios, originalmente en dólares, han sido convertidos a pesos para su consideración en el contexto local.

Se especifican los componentes y materiales que se utilizarán en el proyecto, el cual tiene la flexibilidad de crecer gradualmente, permitiendo una inversión inicial moderada en sistemas de respaldo.

El estudio toma en cuenta cuatro regiones: Puebla, Guadalajara, Monterrey y México. Cada región tiene sus propios requerimientos de equipos, detallados en el diseño del sistema propuesto.

Este diseño, planteado de manera integral, está listo para su implementación una vez que se obtengan los permisos correspondientes de la SCT.

Para la conexión telefónica y de internet, se ha considerado la tarifa comercial de Telmex, aunque existe la posibilidad de optar por otros proveedores de servicios.

Se contempla la conexión telefónica, la cual podría eliminarse junto con el intercomu-

nicador telefónico, ya que se está trabajando en un protocolo de VoIP que permitiría llamadas a la telefonía convencional y celular vía VoIP, con un costo de tarjeta de pre-pago al propietario del protocolo.

Los costos presentados en la Tabla 5.1 son reales y están basados en un presupuesto proporcionado por Syscom, que incluye los equipos descritos en el diseño del sistema para cuatro zonas.

Equipo de Radiocomunicación	Cantidad				Costo	
	PUE	GDL	MTY	CDMX	Pieza	Total
Móviles	3	3	3	3	4000	48000
Repetidores y duplexer	2	1	1	1	3500	17500
Estación base TX-RX	2	2	2	2	15000	40000
Portátiles	3	3	3	3	3500	42000
Intercomunicador VoIP	1	1	1	1	26575.5	106300
Intercomunicador telefónico	1	1	1	1	7077	28308
Antenas Hustler	3	2	1	1	2415	9660
Antenas móviles	3	3	3	3	250	3000
Mástil	3	2	1	1	400	2800
Fuentes de poder 10 A	3	2	1	1	1081.5	7570.5
Conectores	10	10	10	10	60.5	7570.5
Cable coaxial RG58	400 m	200 m	200 m	200 m	15	15000
Cable coaxial RG59	100 m	100 m	100 m	100 m	15	6000
Conexión ethernet	1	1	1	1	400	1600
Conexión telefónica	1	1	1	1	156	624
Protectores atmosféricos	3	2	1	1	1417.5	9922.5
Respaldos de energía	3	2	1	1	1270.5	8893.5
Reguladores de energía	3	2	1	1	651	4557
Generador eólico	2	1	0	0	1393.5	4180
Generador solar	2	1	0	0	8295	24885
Controlador carga/descarga 30 A	2	1	0	0	3108	9324
Totales					\$87,251	\$419,795

Tabla 5.1: *Tabla que contiene el presupuesto de los equipos de comunicación.*

Capítulo 6

Conclusiones

La implementación de este sistema de comunicación integral representa un paso significativo hacia la mejora de las comunicaciones en entornos geográficamente dispersos, como se planteó inicialmente en el problema. Al considerar las tecnologías Smartrunking II, LTR y VoIP NXU-2, se ha logrado una solución robusta y eficiente.

La capacidad de lograr comunicación eficiente a larga distancia sin comprometer la calidad, junto con un costo razonablemente bajo, posiciona este sistema como una opción atractiva para diversas organizaciones. La garantía de facilidad de uso, seguridad y simplicidad de configuración, respaldada por una interfaz intuitiva, fortalece la propuesta y facilita la adopción generalizada.

La gestión de redes sin múltiples repetidores subraya la escalabilidad de la solución, adaptándose a las cambiantes necesidades de empresas y organizaciones con alto tráfico de comunicación. Además, los beneficios para situaciones críticas, como desastres naturales, resaltan la versatilidad y utilidad potencial del sistema en escenarios de emergencia.

En conclusión, este proyecto ofrece una respuesta concreta a los desafíos planteados en el planteamiento inicial del problema. La combinación de hardware, programación y análisis geográfico establece las bases para un sistema de radiocomunicación avanzado y adaptado a las necesidades específicas de comunicación en estas zonas. Se espera que esta solución no solo optimice las operaciones cotidianas, sino que también sirva como un modelo para futuros desarrollos en sistemas de comunicación en áreas geográficas extensas.

Bibliografía

- [1] Álvarez, C. L.: 2015, *Raúl Ávila Ortiz, Eduardo de Jesús Castellanos Hernández y María del Pilar Hernández (coords.), Porfirio Díaz y el Derecho. Balance crítico, Cámara de Diputados, LXIII Legislatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas, México* pp 363–277
- [2] Bode, H. W.: 1940, *Bell Labs Technical Journal* **19(3)**, 421
- [3] Cerda, R. M.: 2006, *RF DESIGN* **29(7)**, 28
- [4] Clarke, A.: 2013, *ELECTRONICS WORLD* **119**, 14
- [5] Connect Systems Inc.: 1996, *Connect Systems Inc. - Model TP-163 Shared Repeater Tone Panel USER'S INSTRUCTION MANUAL*, Connect Systems Inc., 1802 Eastman Ave. Suite 116, Ventura, CA 93003, Made in U.S.A., Copyright (C) 1996 By Connect Systems Inc.
- [6] Curiel, A. y Pozas, M.: s.f., *Comunicaciones en Redes (Apuntes Digitales)*
- [7] Dalke, R. et al.: 1997, in *Wireless Communications Conference, 1997*
- [8] de la Campa Lozano, F. S.: 2011, *Contribución al Estudio de las Radiaciones Electromagnéticas No Ionizantes Generadas y Radiadas en los Buques y Exposición Laboral*, Tesis doctoral defendida por el Doctor en Radioelectrónica Naval. Directores: Prof. Dr. Carlos Mascareñas y Pérez-Iñigo, Prof. Dr. Juan Zafra Mézcua. Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación y Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad de Cádiz.
- [9] Division, M. R.: 1997, *Service Manual: GM300 Mobile Radios*, Hwy 34, West. Mt. Pleasant, IA 52641, 6880902z32-a edition, 136-162 MHz, 146-174 MHz, 403-433 MHz, 438-470 MHz, 465-495 MHz, 490-520 MHz

- [10] Diéguez Favela, M.: 2017, *La llegada del teléfono celular a México*, Memorias del Congreso Estudiantil de Investigación del Sistema Incorporado 2017, UNAM
- [11] Fernández, G. F.: 2015, *Elementos de Sistemas Operativos, de Representación de la Información y de Procesadores Hardware y Software*
- [12] Fernández Begni, F., Bassi, M. d. l. M., y de Comunicaciones, C. N.: 2009, *Gestión Internacional en Materia de Comunicaciones*, Buenos Aires
- [13] Glover, B.: 2020, *History of the Atlantic Cable & Undersea Communications: From the first submarine cable of 1850 to the worldwide fiber optic network*
- [14] González, A. J. P.: 2010, *Modulación y Demodulación en Frecuencia: Diseño y Construcción de Módulos de Entrenamiento para FM*
- [15] González, E. I., Tiznado, J. E. O., López, J. S., Avendaño, L. C., Wilson, C. C., y Ontiveros, J. M. H.: 2010, *Ingeniería e Investigación* **30(2)**, 78
- [16] Guevara, C. E. S.: 2017, *Red Privada de Comunicaciones Aplicada al Área de Transporte y Logística del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua*, ,
- [17] Hertz, H. G. y Doncel, M. G.: 1995, *Archive for History of Exact Sciences* **49(3)**, 197
- [18] Hytera: 2020, *Hytera BDA Brochure*
- [19] INC, I.: 2014, *Manual de Funcionamiento Iç-F29SR*, 1-1-32 Kamiminami, Hirano-ku, Osaka 547-0003, Japan
- [20] Jabbari, B.: 1997, *Proceedings of the IEEE* **85(10)**, 1523
- [21] Jillititez, F. M. S. y Castillo, H. F. V.: 1998, *Proyecto para el Control de Calidad de los Servicios de Radiodifusión Sonora y TV en el Ecuador*
- [22] Kenwood: 1996-5, *VHF FM Transceiver TK-760/762/H Service Manual*, KENWOOD, Cabinet (Upper) (A01-2112-03), Panel Assy Front Glass (A62-0449-13) (810-1230-04)
- [23] Kenwood Corporation: 2007, *Software para Programación de Radios Kenwood, para Modelos TK7102 y TK8102*, Modelo: KPG-70D, Marca: Kenwood, Código SAT: 43232400
- [24] Lathi, B. P. y Ding, Z.: 2010, *Modern digital and analog communication systems*

-
- [25] Maxwell, J. C.: 1867, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **157**, 49
- [26] Miyara, F.: 2005, *Amplificadores Realimentados*, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Escuela de Ingeniería Electrónica, Departamento de Electrónica, segunda edición
- [27] Miyara, F. y Lahoz, L. A.: 2003, *Introducción al Análisis Frecuencial y al Ruido Eléctrico*, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Escuela de Ingeniería Electrónica, Departamento de Electrónica, tercera edición
- [28] Morris, M., Johnson, N., Lichtsinand, S., DeMattia, B., Meister, R., Kincaid, J., y Best, D.: 2005, *Repeater Interface Communications Kit (RICK)*, Motorola Radius
- [29] Moyano, J. M. D.: 2005, *Instrumentación Electrónica de Comunicaciones*, Santander, Tema IV: Ruidos e Interferencias: Técnicas de reducción. 5º Curso Ingeniería de Telecomunicación
- [30] Radovskii, M. I.: 1957, *Alexander Popov, Inventor of Radio*, Foreign Language Pub. House, Moscow
- [31] Raytheon: 2018, *NXU-2A Network eXtension Unit Brochure*
- [32] Sainz López, E.: 2020, *Características del esquema de prepago de telecomunicaciones móviles y sus precios hedónicos en México*, Centro de Estudios del IFT
- [33] Sewell, S. F.: 1990, *Fed. Comm. LJ* **43**, 277
- [34] Steer, M.: 2022, *Diseño de microondas y RF V: Amplificadores y osciladores*
- [35] Tomasi, W.: 2003, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, PEARSON EDUCACIÓN, México
- [36] Unión Telegráfica Internacional: 2000, *Breve historia de la UIT*
- [37] Wikimedia: 2014, *Comunicación simplex y duplex*, Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional
- [38] Ziemer, R. y Tranter, W. H.: 2006, *Principles of communications: system modulation and noise*, John Wiley & Sons