



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Electricidad y Electrónica

SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN EN RADIOS DE DOS VÍAS

Tesis para optar al título de:
Ingeniero en Electrónica.

Profesor Patrocinante:
Sr. Franklin Castro Rojas.
Ingeniero Electrónico,
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería,
Diplomado en Ciencias de la Ingeniería.

MAURICIO GUSTAVO ZAPATA ABURTO
VALDIVIA - CHILE
2008

Resumen.

El presente trabajo de titulación analiza y describe en detalle los distintos sistemas de señalización que utilizan los radios de dos vías en modo convencional, entregando información técnica relativa al funcionamiento de cada uno de los sistemas, y de esta manera lograr evaluar cual es el tipo de señalización que resulta conveniente para una situación en particular. Debido a que gran parte de la información relativa a estos sistemas de señalización posee restricciones en cuanto a derechos de propiedad intelectual, se han utilizado medios de investigación basados en el estudio de las patentes asociadas a los productos comerciales.

El trabajo consta de una introducción en la que se enumeran los objetivos, alcances, restricciones y metodología del estudio, tres capítulos de investigación en las que se analizan los distintos tipos de radios de dos vías, los sistemas de señalización en general y los sistemas de señalización utilizados en radio, para finalizar con las conclusiones y evaluación de objetivos.

Se finaliza con un anexo relativo a los sistemas de despacho asistido por computador (C.A.D. por sus siglas en inglés), sistemas que han jugado un rol importante en la evolución de los sistemas de señalización ocupados en los radios de dos vías.

Abstract.

This work analyzes and describes in detail the different signalling systems which use two-way radios in conventional manner, delivering technical information on the functioning of each system, and thus evaluate which is the kind of signalling that it is appropriate for a specific situation. Due to the fact that much of the information concerning these signalling systems have restrictions regarding intellectual property rights, the means of investigation used are based on the study of patents associated with commercial products.

The work consists of an introduction which sets out the objectives, scope, methodology and restrictions of the study, three chapters of research in which analyses the different types of two-way radios, signalling systems in general and signalling systems used in radio, to finish with the conclusions and objectives evaluation.

It concludes with an annex on computer aided dispatch systems (C.A.D.), systems that have played an important role in the evolution of signalling systems employed in the two-way radios.

Índice general

I. Introducción.	3
I.1. Antecedentes Generales.	3
I.2. Objetivos.	4
I.2.1. Objetivo General.	4
I.2.2. Objetivos Específicos.	4
I.3. Alcances, Límites y Metodología.	4
I.3.1. Alcances y Límites.	4
I.3.2. Metodología y Descripción de los Capítulos.	4
II. Sistemas de Radios de Dos Vías.	6
II.1. Historia.	6
II.2. Clasificación de los Sistemas de Radios de Dos Vías.	8
II.2.1. Sistema Convencional y Sistema Trunked.	8
II.2.2. Canales Simplex y Canales Duplex.	11
II.2.3. Sistemas Analógicos y Digitales.	13
II.2.4. Comunicación de Datos en Radios de Dos Vías.	13
II.2.5. Sistemas Normalizados.	15
III. Sistemas de Señalización	18
III.1. Tipos de Señales.	19
III.2. Clasificación de los Sistemas de Señalización.	20
III.2.1. Según Banda Utilizada.	20
III.2.2. Según el Tipo de Canal Utilizado.	20
III.2.3. Según Clase.	20
III.2.4. Forma de Sucesión.	21
III.2.5. Nivel de Aplicación.	21

III.2.6. Ejemplos de Clasificación.	21
III.3. Normalización de los Sistemas de Señalización.	22
III.4. Servicios en Radios de Dos Vías.	23
IV. Sistemas de Señalización en Radios de Dos Vías	26
IV.1. Sistema de Silenciador.	26
IV.2. Tono Simple.	27
IV.3. CTCSS.	29
IV.3.1. Inicios.	30
IV.3.2. Estandarización.	31
IV.3.3. Detalles de Funcionamiento y Utilización Actual.	33
IV.3.4. Nombres de los Fabricantes.	34
IV.4. DCS	34
IV.4.1. Código Golay y DCS.	35
IV.4.2. Detalles de Funcionamiento.	37
IV.5. Llamadas Selectivas y Sistemas CAD.	39
IV.6. MDC-600 y MDC-1200.	40
IV.6.1. MDC-600.	40
IV.6.2. MDC-1200	40
IV.6.3. Tipos de Llamada en MDC-1200	41
IV.6.4. Fabricantes y Especificaciones.	44
IV.7. Sistemas Multitonos	45
IV.7.1. DTMF	49
V. Conclusiones.	52

Capítulo I

Introducción.

I.1. Antecedentes Generales.

En la actualidad, las radios de dos vías se presentan como una solución de comunicaciones para distintos servicios que requieren una infraestructura de telecomunicaciones confiable, económica y basada principalmente en comunicados de voz de punto a multipunto. Desde su aparición en 1933 hasta nuestros días estos aparatos han aumentado su complejidad y cantidad de opciones, al mismo tiempo que su costo ha disminuído sustancialmente. Este mayor número de opciones incluyen sistemas de señalización que permiten una serie de servicios que las primeras generaciones de equipos no incluían, como llamadas selectivas, transmisión de datos, aumento en la confiabilidad del silenciador, mejoramiento de la calidad de la comunicación, etc. Muchas de estas tecnologías han sido implementadas mediante arquitecturas propietarias, por lo cual resulta difícil obtener información sobre este tipo de protocolos, así como lograr un cabal conocimiento sobre sus fortalezas y debilidades. Esta falta de información de los sistemas de señalización y sus potencialidades provoca una sub-explotación de los recursos existentes, lo que finalmente, reduce la calidad de servicio que reciben los usuarios finales.

I.2. Objetivos.

I.2.1. Objetivo General.

Analizar y describir en detalle los sistemas de señalización utilizados en radios de dos vías convencionales con modulación FM, con el objeto de evaluar sus fortalezas y debilidades y así lograr discriminar cual es el más adecuado para una situación particular.

I.2.2. Objetivos Específicos.

- Generar una metodología de investigación que permita analizar adecuadamente los distintos tipos de señalización presentes en los sistemas de radios de dos vías, en particular, establecer la metodología necesaria para el estudio de arquitecturas propietarias.
- Presentar el estado actual del funcionamiento de los sistemas de radio de dos vías, y sus elementos distintivos en relación con otros sistemas de telecomunicaciones.
- Documentar los distintos tipos de señalización en este tipo de sistemas, intentando mantener un orden cronológico, con el fin de mostrar la evolución tecnológica involucrada en el desarrollo de éstos.

I.3. Alcances, Límites y Metodología.

I.3.1. Alcances y Límites.

El presente trabajo de titulación involucra a *todos los sistemas de señalización* utilizados por sistemas de radios convencionales de dos vías que utilizan modulación 16K0F3E y que transmiten en las bandas VHF alto (136 - 174 Mhz) y UHF (408 - 512 Mhz). Se ha escogido este tipo de modulación por ser el sistemas más utilizado en comunicaciones terrestres con radios de dos vías en Chile y debido a que es sobre este tipo de modulación sobre la cual se definen gran parte de sistemas de señalización en las radios de dos vías en general.

I.3.2. Metodología y Descripción de los Capítulos.

La metodología utilizada en este trabajo es del tipo exploratoria descriptiva.

El capítulo II se centra en las características principales de los sistemas de radios de dos vías a nivel mundial, así como las clasificaciones de los sistemas utilizados en la actualidad. El

capítulo III incluye información relativa a los sistemas de señalización en general, basándose en el sistema telefónico, para concluir con un paralelo entre la señalización del sistema telefónico y el de radios de dos vías. En el capítulo IV se analizan en detalle los sistemas de señalización en radios de dos vías así como detalles de funcionamiento de los servicios asociados. El capítulo V entrega las conclusiones y la evaluación de los objetivos. La bibliografía ha sido dividida por capítulos y finalmente se incluye información relativa al despacho asistido por computador, ya que no se relaciona de forma directa con el tema tratado.

Capítulo II

Sistemas de Radios de Dos Vías.

Una radio de dos vías es un aparato radio que posee la capacidad de transmitir y recibir información (un tranceptor¹), a diferencia de los equipos receptores (o transmisores) que sólo reciben (o transmiten) información en una sola vía. Un botón de “presionar para hablar”² es frecuentemente utilizado para activar el transmisor. Los aparatos de radio de dos vías tradicionalmente son clasificados en bases, móviles y portátiles desde el punto de vista de portabilidad, características y capacidades.

II.1. Historia.

La instalación de receptores y transmisores en el mismo punto físico con la finalidad de intercambiar mensajes de forma bidireccional inalámbrica fue uno de los primeros usos de las ondas hertzianas. Ya en 1907 existía un sistema comercial de telegrafía que cruzaba el océano Atlántico. En 1912 las embarcaciones comerciales y militares eran equipadas con transmisores y receptores, permitiendo una comunicación de dos vías de características cercanas a tiempo real con otras embarcaciones o a tierra. Del éxito de estas primeras experiencias se extrajo el conocimiento necesario para fabricar equipos de mayor potencia, más compactos y de fácil utilización. La instalación de equipos de radio de dos vías en la aviación de exploración militar permitía una observación en tiempo real, que disminuía el tiempo de respuesta de las

¹Tranceptor es un acrónimo formado por las palabras *transmisor* y *receptor*.

²Push-to-Talk en inglés, se denomina comúnmente PTT, nomenclatura que se seguirá utilizando en esta investigación. El sistema VOX (“Transmisión Operada por Voz”, *Voice Operated tX* en inglés) es utilizado como sustituto al botón PTT para los usuarios que no pueden presionar el botón ya que necesitan ambas manos libres.

comunicaciones entre los encargados de observar el entorno y los tropas de tierra.

En 1933 el departamento de policía de New Jersey instaló el primer sistema de radio de dos vías entre una central fija y transeptores ubicados en los vehículos de flota, lo que permitía una mayor coordinación y un sustancial aumento en la rapidez para atender las llamadas a emergencias. Estos aparatos fueron los primeros transeptores fabricados en serie comercialmente, es decir, un transmisor y un receptor en un mismo aparato. Durante la segunda guerra mundial los transeptores portátiles fueron ampliamente utilizados tanto por las tropas aéreas y terrestres.

Se puede concluir que, aún cuando el hecho científico sobre el cual se basa la teoría de funcionamiento de los radios de dos vías es principalmente el descubrimiento de las ondas hertzianas, su evolución a un producto explotado comercialmente se encuentra marcado principalmente por hechos políticos y sociales, como son ambas guerras mundiales y la aplicación de la ley seca en EE.UU.

Los primeros sistemas de radios de dos vías permitían que sólo una estación transmita a la vez, dado que todas las señales se transmitían en la misma frecuencia, este esquema de transmisión se denomina modo *simplex*. Al transmitir de esta manera, se hace necesario un protocolo de comunicación simple que permita a todas las estaciones cooperar en la buena utilización de este único canal de comunicación, y que asegure principalmente que las transmisiones de una estación no será interferida por otra. Con el uso de receptores y transmisores sintonizados en diferentes frecuencias, y resolviendo los problemas técnicos introducidos por operar un transmisor y un receptor físicamente muy cercanos, se hace posible la transmisión simultánea bidireccional, o *full-duplex*³.

Los primeros sistemas de radios de dos vías requerían operadores altamente entrenados y con un buen manejo del código Morse. En las estaciones marinas el operador generalmente no tenía otros deberes aparte de transmitir y recibir mensajes. Cuando los sistemas hicieron posible la transmisión de voz, los operadores dedicados dejaron de ser necesarios y el uso de los radios de dos vías comenzó a ser más común. En la actualidad la utilización de los sistemas móviles de dos vías es casi tan simple como la utilización de un teléfono desde el punto de vista del operador, y se han convertido en una valiosa herramienta de comunicaciones en variadas actividades como comunicación personal, comercial, servicios de emergencia, gubernamental y militar.

³Se profundizará en los canales y modos simplex y duplex en la página 11.

II.2. Clasificación de los Sistemas de Radios de Dos Vías.

Como una manera de profundizar en el conocimiento de las radios de dos vías, a continuación se enumeran algunas clasificaciones de los sistemas existentes en la actualidad. La finalidad de estas descripciones es incorporar algunos conceptos claves para la comprensión del trabajo posterior en su contexto, por lo cual no pretende ser una clasificación exhaustiva.

II.2.1. Sistema Convencional y Sistema Trunked.

Sistema Convencional.

Las radios convencionales operan en canales fijos de radiofrecuencia. En el caso de radios con canales múltiples, éstas pueden operar en sólo un canal por vez, el que es seleccionado por el operador. Es el usuario el responsable de operar el selector o los botones del transceptor para escoger el canal deseado. En los sistemas de varios canales cada canal puede ser utilizado para propósitos distintos. Un canal puede ser reservado para una función específica o para una región geográfica determinada. Por ejemplo en comunicaciones marítimas existe un canal para comunicaciones a tierra, otro para comunicaciones entre embarcaciones, para comunicaciones con la autoridad marítima y uno exclusivamente para situaciones de emergencia.

Rastreo en Radios Convencionales. Algunas radios convencionales tienen la posibilidad de recibir transmisiones de más de un canal. Esto implica que el receptor busca en más de un canal una transmisión válida. Una transmisión válida puede ser un canal con información o una combinación de información con señalización de canal.

En este sentido existen una variedad de configuraciones de rastreo⁴ que pueden variar de un sistema a otro. Algunas radios tienen características de rastreo en las que reciben el canal primario a volumen completo y los canales restantes a volumen reducido. Esto permite distinguir entre el canal primario y los restantes sin la necesidad de acudir al panel de la radio. Las listas de rastreo pueden ser cerradas o abiertas:

- Una lista de canales de rastreo es *cerrada* cuando es definida y preestablecida antes de su uso. Cuando la radio entra en el modo de rastreo, una lista predeterminada de

⁴El sistema de rastreo se denomina *scan* en lengua inglesa y se utiliza con frecuencia en idioma español. En lo sucesivo se utilizarán ambas acepciones.

canales es rastreada. La lista de canales a escanear no presenta la posibilidad de edición por parte del usuario.

- Las listas *abiertas* son las que presentan algunas radios que permiten la opción de selección del usuario de los canales incluidos en la lista de rastreo, de esta manera el operador puede añadir o excluir canales según sean sus necesidades particulares en un momento determinado.

En los sistemas de radios profesionales las características de las listas de rastreo son programables y presentan múltiples opciones. La utilización de listas de rastreo pueden afectar la latencia del sistema. Como ejemplo, una radio con sistemas de señalización y una lista de rastreo de veinte canales puede demorar varios segundos en realizar una búsqueda de señal en la lista completa. La radio debe detenerse en cada canal y buscar la señalización apropiada antes de reasumir la búsqueda, lo que puede provocar una pérdida de mensajes. Por esta razón se recomienda que en sistemas de emergencia las características de rastreo no sean utilizadas y en el caso de ser inevitables, las listas se deben mantener intencionalmente con un número reducido de canales. Existen estudios que concluyen que un tiempo de exploración por canal mayor de 400 milisegundos no es recomendable para sistemas de emergencia, y el óptimo se sitúa entre 230 y 350 milisegundos dependiendo del tipo de señalización utilizada y del número de canales en la lista de rastreo.

Retorno de Voz en Modo de Rastreo. Algunas radios convencionales utilizan, o tiene la opción para, una función de retorno de voz⁵ en el modo de rastreo. Si el operador transmite mientras una radio se encuentra en modo de rastreo, ésta transmitirá en el último canal en el que se ha recibido una señal válida. Esta función permite a los usuarios de radios multicanales responder al último mensaje sin la necesidad de ver en el panel que canal se encuentra activo. Sin esta opción, el operador debería seleccionar mediante el selector el canal en el cual fue recibida el último mensaje.

Como ejemplos de sistemas de radios convencionales que se utilizan en la actualidad se pueden citar al Sistema de Radio marítima VHF, el Servicio de Radio Familiar (FRS) y el Sistema de Radio Aérea AM.

⁵Talk-back en inglés.

Sistema Trunked.

En los sistemas de radio trunked, existe un sistema lógico de control que automáticamente escoge la frecuencia física que ocupará un canal determinado para su transmisión. En este tipo de transmisión se define un protocolo que define la relación entre las radios y el sistema de control asociado que las soporta. Este protocolo permite que la asignación de cada canal sea realizada automáticamente, y casi por norma general, de forma dinámica.

Los sistemas digitales de radio trunked pueden transmitir simultáneamente conversaciones sobre un único canal físico. La función de trasladar conversaciones simultáneas sobre un canal simple es llamada multiplaje.⁶

En vez de canales, las radios de este sistema se relacionan por medio de grupos de conversación que a su vez pueden ser divididos por jerarquías. Estos grupos de conversación se comunican mediante canales virtuales físicos que aparecen y desaparecen cuando una solicitud de conversación así lo requiera.

Los sistemas realizan la señalización asociada con la distribución y conexión entre las radios por uno de los siguientes métodos:

- Una unidad lógica de control asigna canales sobre un *canal de control* dedicado. Esta unidad lógica de control generalmente se refiere a un computador con el software adecuado. El canal de control envía un flujo continuo de datos. Todas las radios en el sistema monitorizan el flujo de datos de este canal de control, hasta que sean requeridas por la unidad lógica a unirse a una conversación sobre un canal asignado.
- Una unidad lógica de control que se encuentra incluida en cada radio, comunica la señalización correspondiente al canal de control para establecer un conversación.

Si todos los canales físicos disponibles para cursar las comunicaciones se encuentran ocupados, algunos sistemas incluyen un protocolo para generar colas o pilas de solicitudes de comunicación pendientes hasta que un canal se encuentre disponible. Otros protocolos darán prioridad a las comunicaciones del grupo que posea una mayor jerarquía. Estas opciones dependen del tipo de sistema trunked que se utilice y de los parámetros de configuración de la red.

⁶El multiplaje se refiere a la posibilidad de transmitir múltiples mensajes sobre un canal de comunicaciones, generalmente por división de tiempo o de frecuencia. También se denomina *multiplexación*, pero se prefiere multiplaje ya que corresponde a la terminología utilizada en el Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico vigente en el país.

II.2.2. Canales Simplex y Canales Duplex.

Tradicionalmente, los sistemas de telecomunicaciones se dividen en *simplex*, *half-duplex* (o semi-duplex) y *full-duplex*. Los sistemas simplex corresponden a los que sólo transmiten en una dirección, los half-duplex transmiten en ambas direcciones pero sólo una dirección puede ser utilizada a la vez, y los sistemas full-duplex tienen la capacidad de recibir y transmitir al mismo tiempo. Las radios de dos vías por definición pueden establecer comunicaciones en dos direcciones, y son citadas como el ejemplo típico de sistemas half-duplex en varios textos. Sin embargo al utilizar las palabras simplex y duplex en relación a la utilización de los canales de las radios de dos vías, estos vocablos se emplean con otros significados levemente distintos como se muestra a continuación.

Canales Simplex.

Los canales simplex utilizan sólo un canal para transmitir y recibir. Ejemplos de este sistema son los sistemas típicos aéreos de VHF AM y radios marinas. Los sistemas simplex frecuentemente son sistemas heredados que han existido por años o décadas. Este tipo de arquitectura permite a radios antiguas y nuevas trabajar en una misma red. Este es el caso de todas las embarcaciones o todas las estaciones aéreas repartidas alrededor del mundo, en las que dado el alto número de radios instaladas, una actualización podría demorar décadas. Los sistemas simplex generalmente utilizan *arquitecturas abiertas* o *arquitecturas semi-abiertas con codificación restringida*⁷, lo que permite que prácticamente cualquier radio cumpla con los requisitos básicos de compatibilidad del sistema completo.

Entre las ventajas de los sistemas basados en canales simplex destacan por ser los de más simple configuración, partiendo del hecho que sólo son necesarias dos radios para establecer la comunicación entre ellas. Otra ventaja importante de este tipo de sistemas tiene relación con los costos. Dada la utilización de arquitecturas abiertas (o semi-abiertas) y la utilización de economías de escala para su producción (este tipo de radios ocupa aproximadamente el 80 % del mercado mundial) los dispositivos compatibles con este sistema son considerablemente más económicos que las demás alternativas.

Las desventajas de este sistema se centran que ofrecen bajo rango de cobertura ya que

⁷Se entiende por arquitectura abierta a los tipos de sistemas en los cuales se hacen públicas sus especificaciones, dando lugar a que cualquier empresa interesada en fabricar y comercializar dispositivos compatibles pueda entrar en el mercado. Las arquitecturas semi-abiertas con codificación restringida mantienen restricciones (a nivel de información y patentes) en los métodos de codificación, pero dejan libre acceso a las especificaciones de decodificación.

cada unidad móvil debe encontrarse en el rango efectivo de propagación de las demás para hacer posible una comunicación. Otra desventaja de este tipo de comunicación tiene relación con que no ofrece la posibilidad de realizar conversaciones simultáneas, dado que el tiempo “muerto” de las transmisiones no puede ser fácilmente utilizado para proveer comunicaciones adicionales.

Canales Duplex.

Los sistemas basados en canales duplex transmiten y reciben en distintos canales discretos. Esta característica define el sistema, dado que los equipos no son capaces de comunicarse directamente sin que intervenga una infraestructura mayor, como un repetidor o una estación base. La configuración más común consta de un repetidor en el cual una estación base es configurada para re-transmitir la información recibida de las distintas unidades móviles. Esto permite a las unidades móviles o portátiles comunicarse con otra unidad que se encuentre en el rango de recepción de la estación base o repetidor. La configuración de la estación base o repetidor es la variable de mayor importancia en este tipo de comunicación, ya que determina el rango total de cobertura, por lo que generalmente se sitúan en localidades de gran altura y con equipos de alta potencia.

Los sistemas duplex se pueden dividir en dos tipos. El término *half-duplex* se refiere que el uso de un botón PTT es necesario para comunicarse. Por *full duplex* se entienden los sistemas como teléfonos móviles con la capacidad de simultáneamente transmitir y recibir información.

La principal ventaja de las comunicaciones duplex radica en que extiende el radio de cobertura, especialmente en sistemas que involucran equipos portátiles. Como desventaja, si una radio no se encuentra en el radio de cobertura del repetidor, no se puede comunicar con ninguna otra estación, aun cuando ésta se encuentre dentro de su radio de cobertura.

Sistemas Híbridos Simplex/Duplex.

Algunos sistemas utilizan una mezcla de sistemas duplex y simplex, en los cuales el sistema duplex se utiliza por defecto, pero puede comunicarse con sistema simplex en situaciones en las que se encuentre fuera del rango de cobertura del repetidor. Dependiendo del fabricante este sistema posee varias denominaciones como *modo directo*, *móvil-móvil*, A/B-B/A, etc. y consiste básicamente en un botón con el cual se invierten las frecuencias de transmisión y recepción para un canal dado.

II.2.3. Sistemas Analógicos y Digitales.

La diferencia entre estos sistemas radica en el tipo de modulación utilizada. Los equipos con modulación analógica son generalmente menos complejos que los digitales. La principal ventaja de los sistemas analógicos radica en que con equipos de buena calidad, se logra una mayor capacidad de comunicación en condiciones adversas, como los que se presentan cuando la señal es marginal o ruidosa. La desventaja de este tipo de modulación es que sólo se puede cursar una conversación por canal.

Las modulaciones digitales poseen la ventaja de posibilitar distintas rutas de comunicación, e información como identificadores, mensajes de texto o de estado pueden ser incluidas con facilidad en un solo canal. En contra de este tipo de modulación se encuentra que los radios deben ser compatibles con el sistema, se tornan obsoletas rápidamente y los costos de adquisición y de mantenimientos son considerablemente más altos.

Un ejemplo de radios de dos vías con modulación análoga es el servicio de radios aéreo de AM que se utiliza para comunicar las torres de control con los controladores de tráfico aéreo. Un sistema que utiliza comunicación digital es el APCO Project 25, que es un estándar para los radios de servicios de emergencia.

En el atentado a las torres gemelas del 11 de septiembre de 2001, el Departamento de Bomberos de Nueva York utilizaba radios de un proyecto piloto, en banda UHF con modulación digital. Desde 1995 hasta esa fecha los sistemas con modulaciones digitales se encontraban ganando terreno rápidamente en los sistemas de radios de dos vías, pero debido a los problemas de comunicación experimentados en este evento, y a la importancia del mercado estadounidense a nivel global, actualmente las modulaciones digitales se encuentran en retirada del mercado, y en los servicios de emergencia norteamericanos se encuentran completamente prohibidos para sistemas que involucren equipos portátiles.

II.2.4. Comunicación de Datos en Radios de Dos Vías.

En algunos casos, los radios de dos vías son utilizadas para comunicar datos analógicos o digitales. Los sistemas pueden ser basados en canales simplex o duplex y pueden emplear distintos tipos de señalización.

Datos Analógicos.

Los sistemas analógicos pueden transmitir una información simple, como el nivel de agua en un estanque. Un transmisor en el lugar del transmisor puede constantemente enviar una

señal con un tono determinado. El tono puede cambiar de frecuencia para indicar el nivel de agua dentro del tanque. Un medidor en el extremo de recepción puede indicar la cantidad de agua presente en el tanque. Este tipo de enlace radial cumple un propósito equivalente al lazo de corriente de 4-20 mA, y existen productos comerciales que cumplen la función de interfaz entre ambos sistemas. Estos sistemas utilizan un rango de frecuencias VHF de 72–76 Mhz y en UHF de 450–470 Mhz en los países en donde se encuentra normado como servicio independiente, aunque puede utilizar cualquier frecuencia y ser tratado como servicio privado normal en los países en los que no está regulado. Algunos sistemas multiplexan los datos telemétricos de varias entradas analógicas, limitando cada una en distintos rangos de frecuencia de tonos.

Datos Digitales.

Los sistemas digitales pueden comunicar texto desde o hacia una central equipada con un sistema de despacho asistido por computador⁸. Por ejemplo, el display de en un equipo de flota puede desplegar la ubicación del equipo en forma textual o cualquier otra información relacionada. Este sistema puede ser utilizado para enviar información analógica previamente cuantizada y convertida en palabras de datos, como por ejemplo el nivel del estanque de agua mencionado en el punto anterior. Los sistemas digitales utilizan usualmente velocidades de transmisión de 1.200 a 19.200 bit/seg y pueden emplear distintos tipos de modulaciones, como modulación por desplazamiento de frecuencia en audio-frecuencia, modulación por desplazamiento de frecuencia o modulación de fase por desplazamiento en cuadratura (cuatro estados),⁹, siendo más popular la primera en sistemas simples, ya que es la alternativa más económica tanto desde el punto de vista del transmisor como el receptor. Los equipos modernos son compatibles con los protocolos utilizados en Internet, por lo que virtualmente cualquier tipo de datos puede ser trasladado por éstos sistemas.

⁸En inglés *Computer Assisted Dispatch* (CAD). Se refiere al método de despacho de móviles de flota asistidos por computador y que es utilizado tanto para enviar la información de despacho como para guardar la información asociada a éste. Utiliza sistemas de software y de hardware propios para su función y deben ser compatibles con la señalización asociada al sistema de radios. En el anexo A se tratan los sistemas CAD con mayor detalle.

⁹AFSK — Audio Frequency Shift Keying, FSK — Frequency Shift Keying y QPSK — Quadrature Phase Shift Keying.

II.2.5. Sistemas Normalizados.

Los sistemas normalizados son diseñados para cumplir una determinada especificación o estándar. Estos sistemas son diseñados de forma tal que todo los equipos son escogidos para proporcionar la mejor capacidad de trabajo en conjunto. Por ejemplo, en algunas localidades un sistema de radios de dos vías gubernamental puede ser diseñado para cubrir un 95 % del área urbana. Los diseñadores del sistema utilizan modelos de radiofrecuencia, modelos de terreno y modelos de propagación de señal con el fin de intentar estimar con exactitud como se comportará el sistema de radio en un área geográfica determinada. Los modelos ayudan a los diseñadores en la elección de los equipos, su ubicación, características de las antenas y a estimar de forma aproximada cuanto penetraran las señales en las construcciones. Estos modelos serán contrastados con mediciones de campo y mediciones de nivel de señal. Con esto, los diseñadores podrán ajustar los patrones de las antenas, agregar o mover equipos, y realizar todo los ajustes necesarios para cumplir con los niveles deseados de rendimiento.

Algunos sistemas son realizados sin seguir ninguna especificación o norma. Los sistemas heredados son los sistemas existentes que nunca fueron diseñados para cumplir con un determinado nivel de rendimiento. Estos pueden haber comenzado con una estación base y un grupo de radios móviles. Con el paso de los años este sistema puede haberse ampliado, agregando estaciones base, repetidores o equipos móviles. Un sistema heredado puede tener un rendimiento adecuado a pesar de no haber sido diseñado profesionalmente como un sistema coherente. Un usuario puede adquirir una estación base contando con que dado que aparatos similares han funcionado en el pasado, su nuevo aparato trabajará de manera aceptable en la red ya existente. En este esquema de utilización de las radios de dos vías se encuentra gran parte de los sistemas existentes en Chile.

Opciones, Ciclo de Trabajo y Configuraciones.

En 1940 los móviles terrestres a tubos tenían generalmente un canal y silenciador por portadora. Dado que las radios eran costosas y existían pocos usuarios no existían mayores inconvenientes en cuanto a problemas de saturación del espectro radioeléctrico ni de un canal en particular. Se utilizaba un cristal para transmisión y uno para recepción, que le indicaba a la radio a que frecuencia transmitir (recibir), y después de instalados se debía alinear o ajustar el equipo para trabajar en el canal deseado. El consumo de los equipos móviles a tubos era del orden de amperes de corriente en modo standby y del orden de decenas de amperes en transmisión (en equipos alimentados con 13.8V). La vida útil de los equipos era

reducida debido a la degradación de los tubos a través del tiempo. En las radios con opciones, estos se configuraban mediante puentes cableados y la adición de componentes discretos.

En la actualidad se ha incrementado el nivel de complejidad de los equipos. Las radios modernas tienen capacidades de sobre cien canales y son sintetizadas, toda la electrónica interna de las radios modernas les permite operar sobre un amplio rango de frecuencias sin la necesidad de alineación. Las radios actuales basadas en microprocesadores generalmente consumen unos 200 mA en recepción y hasta decenas de amperes en transmisores de 100 watts (en equipos alimentados con 13.8V). Los modelos de mayor calidad tienen varios cientos de opciones que se configuran mediante un computador y el software apropiado. Generalmente, los controles de la radio también son programables, por lo que dos radios del mismo modelo y físicamente idénticas al ser configuradas de diferente forma pueden presentar comportamientos completamente distintos, situación que muchas veces produce confusión a los operadores. Cambiando las opciones de configuración un diseñador de sistema puede escoger, por ejemplo, que un determinado botón en el panel de control realice alguna de las siguientes funciones:

- Encender o apagar el sistema de rastreo.
- Alertar a otros móviles.
- Prender o apagar el parlante externo.
- Seleccionar un repetidor.
- Activar o desactivar un sistema de señalización.
- Etc.

Las especificaciones de las estaciones bases, móviles y portátiles incluyen con frecuencia datos como el *ciclo de trabajo*, expresado generalmente por tres números de la forma 10/10/80 que significa que la radio está diseñada para pasar un 10% del tiempo en modo de recepción, otro 10% del tiempo en transmisión y un 80% en modo de espera. Un repetidor debería tener un ciclo de trabajo de 0/100/0, que por abreviar generalmente se denota 100 a secas. También se utiliza el ciclo de trabajo para definir la duración de las baterías en los equipos móviles, ya que cada una de estas tareas (recepción, transmisión y espera) poseen distintos niveles de consumo energético.

Las radios profesionales de dos vías son uno de los equipos electrónicos que presentan mayor vida útil estimada por sus fabricantes, que ronda por lo general para equipos de gamma alta entre los ocho y doce años.

Frecuencias en Radios de Dos Vías.

Las radios de dos vías operan en diferentes frecuencias, y estas frecuencias son asignadas de manera diferente según el país en el cual van a ser utilizadas. La asignación de estas frecuencias en Chile corresponde a la Subsecretaría de Telecomunicaciones dependiente del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, y se realiza mediante la obtención de un permiso con vigencia de diez años renovables. La normativa completa a nivel técnico para la solicitud de este permiso se encuentra en el documento “Marco Técnico Relativo a los Servicios Limitado”, Resolución Exenta N° 391 de 1985 y sus modificaciones posteriores.

La selección de una frecuencia para operar un sistema de radio de dos vías está afectada entre otros por:

- Regulaciones gubernamentales.
- Congestión local o disponibilidad de frecuencias.
- Situación del Terreno, dadas las distintas propiedades de propagación.
- La presencia de ruido, interferencia o intermodulación.
- Cercanía de fronteras nacionales, regionales o federales según corresponda.
- En algunos países, parte del espectro de frecuencia requiere la aprobación de un comité de coordinación de frecuencias.

Un número de canal es solo un mnemotécnico para identificar de forma abreviada una frecuencia. Por ejemplo es más fácil recordar *canal 1* que *26.965 Mhz* (canal 1 en banda ciudadana), o *462.5625 Mhz* (canal 1 en FRS/GMRS), o *156.05 Mhz* (canal 1 en VHF marítimo). Es necesario identificar de que servicio de radio se está discutiendo para relacionar de manera acertada un número de canal con una frecuencia específica. Organizaciones, como una empresa distribuidora de electricidad o departamentos de policía, pueden tener varias frecuencias asignadas en las que de manera arbitraria pueden asignar sus números de canales. Por ejemplo, el *canal 1* de un departamento de policía puede ser conocido como *canal 3* en otro departamento o simplemente no estar disponible. Los servicios públicos y de emergencia generalmente se interesan en mantener algunas frecuencias comunes para coordinación inter-áreas o inter-servicios.

El servicio de radioaficionados utiliza a menudo las frecuencias en vez de denominaciones por canal, dado que no hay regulación o requisitos gubernamentales para operar en canales fijos dentro de los rangos asignados de utilización del espectro radioeléctrico.

Capítulo III

Sistemas de Señalización

Se entiende por *señalización* al conjunto de informaciones que deben intercambiar los diferentes elementos de una red de telecomunicación para establecer, supervisar, mantener y liberar una conexión. Supone la utilización de señales de uso exclusivo para estos fines. Los primeros intentos de estandarización de los sistemas de señalización datan de 1934, cuando el CCITT¹ recomienda el primer sistema de señalización telefónico (conocido actualmente como *SS#1*). En el diseño de este sistema el CCITT incorporó a ingenieros encargados de diseñar sistemas de control ferroviario, especialidad que contaba con un mayor grado de madurez, protocolos de utilización bien definidos y de comprobada efectividad. La similitud entre los desafíos técnicos, telefónico y ferroviario, de lograr la mejor explotación de las líneas existentes, hizo posible el traspaso de conocimientos de un área a otra. El uso masivo del término en telecomunicaciones se produce a mediados de los años '60s con la aparición del *SS#5*, que surge como una respuesta al aumento de la complejidad de las redes telefónicas, a la necesidad de automatizar las tareas y realizar un mayor control de la red.

En una determinada red de telecomunicaciones, señalización se refiere al intercambio de información destinada al mantenimiento de la red, y la destinada al establecimiento y control de la conexión. El término *información de señalización* se utiliza en contraste con la información de usuario, que es la información a transmitir propiamente dicha. Generalmente se hace la analogía que la señalización es el “sistema nervioso” de la red, y es la encargada de manejar la información que se traslada desde y hasta los distintos elementos para completar una comunicación, así como también la necesaria para proveer servicios especiales.

Dado que los sistemas de señalización normados (antes del *SS#1* ya existían sistemas

¹Comité Consultivo Internacional Telefónico y Telegráfico. A partir de 1992 cambia de nombre al sector de estandarización de la Organización Internacional de Telecomunicaciones, ITU-T.

de señalización, como por ejemplo los telegráficos) fueron concebidos para las redes telefónicas, las definiciones y conceptos relacionados se explican mejor en relación con los elementos de telefonía, por lo que a continuación se hace una referencia a estos sistemas. Como ventaja adicional, los sistemas de señalización de telefonía han sido diseñados para redes de comunicación de voz, por lo que serán de mayor utilidad estos conceptos para ilustrar los sistemas de señalización de las radios de dos vías que los que se lograría al analizar sistemas de telecomunicaciones netamente digitales.

III.1. Tipos de Señales.

La información de señalización fluye a través de la red con diversos fines. Según esto se pueden distinguir cuatro finalidades:

- *Señales de Supervisión*, que son las que informan sobre el estado de “colgado/descolgado” en una línea telefónica. Por ejemplo cuando se levanta el auricular de un aparato telefónico una señal le informa a la central local la presencia de una solicitud de tono de marcar. Si la línea se encuentra en la base de datos como un usuario autorizado, se procesa la solicitud y se obtiene el tono deseado. Cuando el teléfono se cuelga, se envía una señal para ser removido del servicio. Una red siempre se encuentra monitorizando la presencia de señales de supervisión para determinar cuando algún dispositivo necesita activar o desactivar el servicio.
- *Señales de Direccionamiento*, que tienen que ver con el número marcado y esencialmente consiste en los dígitos de país, ciudad, área, prefijos y el número de abonado. Esta cadena de dígitos, conocido como el número telefónico es, en resumidas cuentas, una instrucción de ruta en la jerarquía de la red.
- *Señales de Control*, también llamadas de *información*, que son las asociadas con la activación y entrega de varios servicios especiales. Por ejemplo, la señalización asociada con servicios “nunca ocupado”, seguimiento de llamadas, etc. se relacionan con las señales de control.
- *Señales de Alerta*, que son los tonos de ring, tonos de ocupado y cualquier alerta específica usada para indicar congestión de red o red no disponible. Algunas veces este tipo de señales no es tratada como un tipo especial de información de señalización, y se incluye entre las señales de supervisión.

III.2. Clasificación de los Sistemas de Señalización.

Los sistemas de señalización se pueden clasificar de acuerdo a sus propiedades principales. A continuación se analizan las principales divisiones de los tipos de señalización:

III.2.1. Según Banda Utilizada.

Se puede clasificar el tipo de señalización considerando si ésta se incorpora dentro o fuera de la banda en la que se está transmitiendo la información de usuario. La señalización *en banda* se refiere al envío de la información de control en el mismo canal utilizado por los datos. En contrapartida, la señalización *fuera de banda* se realiza en un canal que es dedicado exclusivamente para estos propósitos, que se encuentra separado del (o los) canal (canales) de información de usuario.

Como ejemplos de señalización fuera de banda se pueden citar el *SS#7* utilizado en sistemas telefónicos. Entre los sistemas de señalización en banda, se pueden citar el *SS#5* y el sistema DTMF.

III.2.2. Según el Tipo de Canal Utilizado.

La señalización por *canal asociado* (CAS)² emplea un canal de comunicación para transmitir información relacionada con el mismo canal que la contiene, en contraste con la señalización por *canal común* (CCS)³ que transporta información relativa a múltiples canales portadores. Estos canales portadores tienen sus canales de señalización en común.

La señalización por canal común ofrece mayor seguridad que la que se cursa por canal asociado, ya que al manejarse la información de señalización en un canal distinto al que el usuario necesariamente tiene acceso, se torna más difícil su interceptación o modificación.

III.2.3. Según Clase.

La señalización *de línea* es la transmisión de información referente al estado de la línea o canal. Por ejemplo, en comunicaciones telefónicas se refiere al estado de línea (colgado-descolgado), alerta de llamada, etc. Incluye las señales de supervisión y alerta.

La señalización *de registro* es la información que se relaciona con el direccionamiento, ya sea de origen, destino, ruteo o tiempo de duración. Parte de este tipo de información

²CAS por sus siglas en inglés, *Channel Associated Signalling*.

³CAS por sus siglas en inglés, *Commun Channel Signalling*.

se relaciona con la tarificación en los sistemas que lo requieran. Incluye los tipos señales de direccionamiento y de control que se mencionan en el punto anterior.

III.2.4. Forma de Sucesión.

El concepto de *señalización obligada* o *forzada* se refiere los sistemas en los cuales el emisor de cada señal requiere confirmación explícita de la correcta recepción de la señal enviada antes que la próxima señal sea transmitida, “forzando” u “obligando” al receptor a acusar recibo para continuar con la transmisión.

III.2.5. Nivel de Aplicación.

La *señalización de suscriptor* se realiza entre el teléfono y la central telefónica, también es llamada señalización de circuito o de loop. La *señalización troncal* o *interoficinas* se realiza entre centrales telefónicas.

III.2.6. Ejemplos de Clasificación.

Los sistemas de señalización se pueden clasificar respecto a cada una de las características mencionadas, por ejemplo:

- La señalización basada en DTMF en el sistema telefónico corresponde a una señalización en banda, por canal asociado, no forzado y de suscriptor. Incorpora señales de direccionamiento y de información.
- La señalización basada en el *SS#7* se puede definir como fuera de banda, por canal común y que maneja todo tipo de señales (de supervisión, direccionamiento, información y alerta). Es troncal y no obligada.
- Los pulsos de medición son pulsos que dependiendo del país pueden ser de 50 Hz, 12 KHz o 16 KHz que son enviados por la central a los teléfonos monederos o cajas de tarificación corresponden a un sistema de señalización fuera de banda (debido a que estos pulsos no se encuentran en el rango utilizado por la señal telefónica que es de 300 Hz a 3.400 Hz) y asociado al canal. Dependiendo del sistema, la información que transmite puede ser de registro, o de línea y de registro.

Aún cuando la señalización por canal común es por definición fuera de banda, y los sistemas en banda son por norma general asociados al canal, en el ejemplo de clasificación de

los pulsos de medición se observa que puede existir un sistema asociado al canal que opere fuera de banda.

III.3. Normalización de los Sistemas de Señalización.

Como se observa en el apartado anterior, el sistema telefónico presenta sistemas de señalización completamente normados e independientes del fabricante. Entidades como ITU-T, ANSI⁴ o EIA⁵ se han encargado de normar cada uno de los parámetros de los distintos tipos de señalización y se puede decir que este tipo de emisiones funciona principalmente con estándares abiertos.

En el caso de las radios de dos vías la situación difiere completamente, encontrándonos con un escenario mucho más heterogéneo. Si bien los algunos sistemas de señalización se encuentran completamente normados, existen sistemas que se encuentran normados parcialmente y algunos en los cuales el proceso de estandarización llegó demasiado tarde, con lo cual existe una norma que los rige, pero los fabricantes no la adoptan completamente, o incorporan funciones adicionales que no se encuentran normadas y varían de un fabricante a otro.

En el caso de las radios convencionales existe un mayor grado de control por parte de los organismos normativos, aunque sin llegar a representar mayoría. Todavía existen muchos sistemas que son compatibles entre sí sólo en sus funciones básicas, no así en la explotación de servicios más avanzados. También se observa que a través de tiempo, las normativas europeas y estadounidenses se han ido acercando principalmente debido a la influencia en el mercado de proveedores japoneses, que pese a tener en su país de origen normativa distinta, se esforzaban en lanzar al mercado aparatos compatibles globalmente, incorporando también en estos sus propios adelantos y funciones. Estas nuevas características introducidas por los fabricantes japoneses forzaban a la industria europea y estadounidense a incorporarlas en sus equipos, logrando una serie de acuerdos comerciales (principalmente a nivel de intercambio de patentes) que finalmente derivaban en la adopción de un estándar. En la actualidad los fabricantes chinos también influyen en la estandarización del mercado de las radios convencionales, ya que al presentar una actitud más relajada con respecto a los convenios internacionales de propiedad intelectual, disminuyen el valor real de las patentes,

⁴Instituto Nacional Americano de Estándares, ANSI por sus siglas en inglés, American National Standards Institute

⁵Asociación de Industrias Electrónicas, EIA por sus siglas en inglés, Electronic Industries Association.

lo que favorece a los fabricantes que desean adquirir licencias para sus equipos.

En los sistemas trunking la escasez de estándares es mayor, fijando estos casi solamente los parámetros de modulación para las distintas emisiones. Esto se debe a que tradicionalmente estos sistemas no han sido diseñados para ser compatibles entre sí, lo que genera una reducción de las dinámicas de mercado, ya que al momento de seleccionar un determinado sistema, se pierde la posibilidad de adquirir equipos de otros fabricantes. También en este caso se observa la influencia que generan en el mercado los fabricantes chinos, ya que provocan un mayor celo en el resguardo de la información técnica de los distintos sistemas por parte de sus inventores, y una disminución en el tiempo de obsolescencia de los distintos sistemas trunking, con el fin de evitar que estos sean copiados.

III.4. Servicios en Radios de Dos Vías.

Para realizar la descripción de los sistemas de señalización de las radios de dos vías se utilizarán los parámetros vistos en los sistemas telefónicos. Sin embargo, dado que el servicio convencional basado en transmisiones 16K0F3E es más simple que el servicio de telefonía, existen algunas características que no se utilizan. Por ejemplo, las transmisiones en radios de dos vías no poseen señalización por canal común, dado que al no presentar multiplaje de canales, no existe información relativa a múltiples canales portadores. Del mismo modo, no existe señalización troncal en el sistema convencional. También se puede observar que no existe una línea divisoria tan marcada entre los distintos tipos de señales (de supervisión, direccionamiento, control y alerta) como en el sistema telefónico.

La señalización en las radios de dos vías se utiliza en la explotación de una serie de servicios o funciones del sistema. A continuación se definen de manera general algunos de ellos:

- *Silenciador*. El sistema de silenciador ⁶ se utiliza para suprimir la salida de audio de la etapa de recepción en ausencia de una señal deseada a la entrada. Existen varios tipos de sistemas de silenciador, entre los que se pueden mencionar los manejados por nivel de señal, por presencia de portadora y los que involucran distintos tipos de señalización. Este tipo de servicio involucra información de línea, más específicamente de supervisión.
- *Identificación de llamada*. Se utiliza para identificar al aparato de radio en particular que se encuentra ocupando el canal en un determinado instante. En el momento en el

⁶Squelch en inglés

que se establece la comunicación (o en el momento en que termina) se envía la información de identificación correspondiente al aparato, que se ha definido con anticipación. Para implementar este servicio se utilizan señales de direccionamiento.

- *Llamada selectiva.* Consiste en realizar una comunicación dirigida a un aparato en particular, sin que los aparatos restantes en el sistema sean interrumpidos. Más que por razones de privacidad o seguridad, esta característica se utiliza para no molestar al resto de los usuarios con información no deseada. Este servicio involucra señales de direccionamiento.
- *Llamada Selectiva Grupal.* Se utiliza para realizar una llamada en un canal a sólo un grupo de usuarios que utilizan dicho canal.
- *Selección de Repetidoras.* Es un tipo especial de llamada selectiva que se utiliza para seleccionar un determinado repetidor en la zona. Por ejemplo, se puede utilizar sólo una frecuencia para todas las repetidoras disponibles en un área geográfica, pero con distintos tipos de señalización.
- *Comunicación con Prioridad.* Se utiliza en el caso de encontrarse ocupado un canal, se cursa la comunicación que posee mayor prioridad, sin importar que exista una transmisión en curso. La configuración de prioridades es configurada con anticipación y se encuentra asociada a cada aparato o al tipo de requerimiento del sistema.
- *Llamada de emergencia.* Envía una señal de alerta de emergencia a la central de despacho. Generalmente se utiliza para informar problemas de seguridad en aparatos de flota. Puede ser configurado para ser realizado en forma silenciosa. Este tipo de transmisión utiliza generalmente el mayor grado de prioridad.
- *Bloqueo por canal ocupado.* Esta característica consiste en la imposibilidad de ocupar un canal mientras se esta cursando una conversación. Esto evita que dos estaciones ocupen el canal a la vez, solapándose las conversaciones. En los canales de servicios de emergencia es obligatorio activar esta función en algunos países, mientras en otros países se encuentra normada su no utilización. Utiliza señales de línea.
- *Verificación de radio.* Consiste en una petición de información para verificar que un aparato de radio en particular se encuentra activo en el sistema. Esto se realiza sin la intervención del usuario y sin encender la etapa de audio resultando un proceso

transparente. Con esto se verifica que el móvil está operativo y que se encuentra dentro del área de cobertura. Utiliza señales de registro y de línea.

- *Bloqueo de radio.* Se utiliza para inutilizar remotamente una radio que ha sido extraviada o robada. Involucra información de registro y de línea. En la primera oportunidad que el aparato se comunica al sistema, éste envía una señal que puede inhabilitar la capacidad de transmisión o bloquear completamente el aparato (transmisión y recepción).

Capítulo IV

Sistemas de Señalización en Radios de Dos Vías

A continuación se describen las principales formas de señalización en radios de dos vías, intentando seguir un orden cronológico en cuanto a su desarrollo y evolución. En la medida que sea necesario profundizar sobre los servicios asociados a los distintos tipos de tecnología, estos serán tratados como temas aparte explicando sus características genéricas, para profundizar en los detalles de explotación en los sistemas de señalización correspondientes.

IV.1. Sistema de Silenciador.

Como se explica en el capítulo anterior, el sistema de silenciador se utiliza para suprimir la salida de audio de la etapa de recepción en ausencia de una señal deseada a la entrada. En el caso que no exista alguna señalización, el sistema de silenciador opera como una compuerta accionada por ruido, y funciona bajo la lógica de la potencia de audio recibida, del mismo modo que en la actualidad un televisor enmudece el audio y lleva la pantalla a negro en los canales “vacíos”. En el caso del televisor el umbral del silenciador se encuentra preestablecido, pero en las radios de dos vías el receptor generalmente ofrece la posibilidad de variar el umbral del silenciador al usuario, y de esta manera adaptarse de mejor forma a las condiciones cambiantes del entorno, como un cambio en la ubicación geográfica o la presencia de señales intermitentes de alta potencia que produzcan intermodulación. Bajando el umbral del silenciador (o desactivándolo completamente) el operador escucha el ruido blanco en el caso que no exista una señal presente. La operación usual de un sistema silenciador controlado por nivel de señal consiste en ajustar el umbral de la unidad a un nivel mínimo de

forma tal que se requiera sólo una pequeña señal para activar la etapa de audio de salida. De esta manera, si alguna señal indeseada es percibida, el operador puede ajustar el silenciador a niveles más altos de forma que sólo las señales más potentes sean recibidas.

Un sistema de silenciador típico consiste en un circuito que extrae parte del componente de voz del receptor mediante un filtro pasa altos. La frecuencia de corte es generalmente alrededor de los 2.000 Hz. El control del umbral del silenciador ajusta la ganancia de un amplificador que varía el nivel de señal de audio que se encuentra presente a la salida del filtro. Esta señal a la salida del amplificador es rectificada y produce un nivel de voltaje continuo proporcional a la señal de audio presente a la entrada del receptor. Mediante la comparación de este nivel con un nivel fijo se controla el encendido o apagado de la etapa de audio.

Este sistema todavía se encuentra presente en gran parte de los transceptores actuales, lo cual da cuenta de su utilidad. Sin embargo, en entornos urbanos en los cuales hay uso intensivo del espectro radioeléctrico, existe la posibilidad que este sistema falle debido principalmente a la presencia de intermodulación, situación que se agrava al utilizar aparatos de bajo costo con poca selectividad. Como una forma de subsanar estos problemas nacieron algunos de los sistemas de señalización que se analizan a continuación.

IV.2. Tono Simple.

El sistema de *tono simple*¹ corresponde al método automatizado más antiguo para señalar las transmisiones en radios de dos vías y también el menos complejo. Se basa en la utilización de un tono de audio frecuencia al principio de cada transmisión, cuya duración podía oscilar en sus inicios entre 1 y 3 segundos. Este sistema comenzó a ser utilizado en los '50s con la finalidad de activar el sistema de silenciador. En un receptor o en la etapa de recepción de un transceptor, la salida al parlante se activa cuando detecta la presencia del tono específico y sigue activo mientras exista señal portadora.

Al inicio de su utilización los tonos más utilizados eran de 1.800 Hz, 2.000 Hz, 2.200Hz, 2.400 Hz y 2.552 Hz, sin embargo dado que no existía un estándar para estas frecuencias era usual que los sistemas operaran con tonos diferentes entre los rangos de 800 Hz a 2.600 Hz. Los equipos podían incorporar unidades codificadoras y/o decodificadoras como tarjetas opcionales que eran añadidas al equipo, lo que agregaba costo adicional. Como una forma de

¹En inglés se denomina *Tone Burst*, que suele ser traducido como “ráfaga de tono” en algunos manuales de equipos. Se ha optado por “Tono Simple” para hacer notar sus semejanzas a los sistemas tonos múltiples.

asegurar compatibilidad, varios fabricantes, principalmente japoneses, incorporaban en sus diseños una unidad decodificadora de tonos que involucraba de una a tres unidades de tonos que podían ser ajustadas a distintas frecuencias, al mismo precio al que se comercializaban equipos sin ellas, con lo que buscaban entrar al mercado europeo y norteamericano. Los equipos de gamma alta incorporaban tanto detectores como generadores, y filtros para reducir el volumen del tono sobre el parlante, situación que se mantiene hasta la actualidad.

A medida que el sistema se hacía popular comenzó a utilizarse para otros fines, como agrupar usuarios y seleccionar repetidoras. Esto resultó particularmente útil dado que los transceptores de este tiempo poseían un rango de frecuencias de trabajo relativamente bajo o un limitado número de canales, entonces, al hacer mejor uso del espectro radioeléctrico se lograban mayores posibilidades de comunicación.

A mediados de los años 60s, la FCC² en Estados Unidos recomienda que previo a la transmisión, se debe realizar una escucha del canal sin el decodificador activado, con el fin de asegurar que no se van a superponer las transmisiones.

A fines de los años '70s, Motorola definió para sus equipos las especificaciones de este tipo de señalización, reduciendo el período de emisión a un rango de 0,5 a 1,5 segundos y utilizando sólo las frecuencias de 1.350 Hz, 1.500 Hz, 1.650 Hz, 1.800 Hz y 1.950 Hz. Se esperaba con esto sentar un precedente en el mercado y terminar con la utilización de múltiples frecuencias, sin embargo, dado el largo tiempo que llevaba en uso el sistema este intento de normalización fue infructoso.

En la actualidad este sistema todavía sigue en uso en varios países, pero su utilización se reduce sólo a la selección de repetidoras. Los actuales equipos de gamma alta generalmente incluyen la opción de codificación y decodificación de tonos simples, y en la mayoría de los aparatos se ofrece como opción.

FRECUENCIAS EN HZ				
1.600	1.800	2.000	2.250	2.450
1.650	1.850	2.100	2.300	2.500
1.700	1.900	2.150	2.350	2.550
1.750	1.950	2.200	2.400	2.552

Tabla IV.1: Frecuencias más utilizadas en señalización por Tono Simple.

²*Federal Communications Commission*, o Comisión Federal de las Comunicaciones en castellano, es la entidad encargada de regular las telecomunicaciones interestatales e internacionales en Estado Unidos.

El sistema de tono simple nunca fue normado debido principalmente a la cantidad de tonos en uso al momento de diseñar una norma, a la comercialización de aparatos con unidades ajustables y a la irrupción de otros sistemas de señalización. A pesar de ésto, la mayoría de los equipos actuales incluyen características similares en lo relativo a las especificaciones de tono simple, y entre ellas se pueden citar una desviación de frecuencia de entre un 60% a un 66% de la desviación total del sistema y un período de transmisión de 0.1 a 1 segundo. También se nombran a las frecuencias listadas en la Tabla IV.1 como las más usadas, a pesar que se pueden utilizar frecuencias desde 600 a 3.000 Hz en incrementos de 50 Hz o, menos frecuentemente, 25 Hz.

El sistema de tono simple puede clasificarse como una señalización asociada al canal, en banda y que maneja información de línea.

IV.3. CTCSS.

El desarrollo del sistema de *Silenciamiento por Tono Codificado Continuo*³ se basó en la experiencia adquirida por la industria después de años de utilizar el sistema de tono simple. El sistema fue diseñado con la misma finalidad principal de manejar el sistema de silenciador, pero se le otorga un mayor énfasis a la posibilidad de utilizarlo con el fin de agrupar usuarios y seleccionar o activar repetidoras.

El principio de operación en líneas generales es muy similar al de tono simple, excepto por dos grandes diferencias. En primer término, la frecuencia del tono no se encuentra dentro del rango de la voz utilizado en las radios de dos vías (de 300 a 3.400 Hz), si no que se utilizan frecuencias más bajas en el rango de los 67 a 260 Hz. Esto permite la segunda diferencia, que consiste en que los tonos se transmiten *durante toda la transmisión*, en conjunto con la información de voz, y no sólo al principio de ésta como en el caso del sistema de tonos simple. Es común que los tonos sean referidos generalmente como *tonos subaudibles* o *sub-tonos* debido a que se encuentran bajo las frecuencias de voz.

Este sistema fue diseñado por Motorola y comenzó a utilizarse a fines de los años '60s. Involucra una serie de 55 tonos generados a partir de los 67 Hz con una proporción armónica de $2^{0,05}$ a 1 (aproximadamente 1,035265) hasta los 100 Hz, y de $10^{0,015}$ a 1 (aproximadamente 1,035142) hasta los 260 Hz. De esta serie se utilizaron al principio sólo 15 tonos⁴ entre los cuales se selecciona uno que es transmitido en conjunto con la voz durante todo el tiempo

³Continuous Tone-Coded Squelch System, CTCSS por sus siglas en inglés

⁴En la Tabla IV.2 corresponden a las primeras quince frecuencias del grupo A.

mientras se realiza la transmisión. Con esto se logra realizar el mismo objetivo inicial del sistema de tono simple (controlar el silenciador) y los usos alternativos de ese sistema, es decir, la selección de grupos de usuarios y activación de repetidoras. Como ventajas adicionales sobre el sistema anterior se logró ampliar la cantidad de grupos que podían ocupar un canal determinado de forma independiente, y se llevo la información de señalización fuera de la banda de voz, de forma tal que el sistema resultaba transparente para el usuario. Para asegurar esta ultima característica, se incorpora a la entrada del amplificador de audio del parlante un filtro pasa alto, que rechaza las frecuencias bajo los 300 Hz. Una ventaja adicional consiste en que se puede utilizar en conjunto con el sistema de tono simple, o alguna de sus evoluciones, ya que no comparten la misma banda.

IV.3.1. Inicios.

En los primeros aparatos que incorporaban la utilización del CTCSS tenían la capacidad de manejar sólo un sub-tono (generalmente de 100 Hz en países donde la frecuencia de línea es de 60 Hz) para codificación o decodificación. Posteriormente el sistema era incluido como una característica opcional y se comercializaban por separado módulos de codificación o decodificación para un sub-tono determinado. Así, los equipos poseían de uno a cinco zócalos en los cuales incluir estas tarjetas opcionales. Algunas de estas tarjetas consistían en una unidad codificadora (o decodificadora) y sobre ésta se insertaban módulos para los sub-tonos que se iban a utilizar. En estos sistemas se evitaba la utilización de tonos adyacentes, ya que su utilización podía desembocar en una falsa activación. Dado que cada módulo con un sub-tono en particular involucraba un costo adicional al del equipo, las entidades reguladoras del espectro radioeléctrico utilizaron un esquema de asignación de tonos por zona geográfica. Este consistía en que para una zona en particular sólo se utilizaban una cierta cantidad de tonos (entre tres y cinco).

Los circuitos de decodificación de esta época utilizaban dispositivos resonantes mecánicos para detectar los sub-tonos, debido a los problemas técnicos y de costos que involucraba utilizar elementos electrónicos en tan baja frecuencia. Estos dispositivos mecánicos incluían resortes que resonaban en presencia de la frecuencia deseada, lo que provocaba diversos problemas, como falsas activaciones en los aparatos instalados en vehículos, limitada durabilidad y muchas veces el sistema de silenciador se mantenía activo hasta que el resorte dejara de vibrar, lo que podía durar varios segundos. Para solucionar este último problema, los equipos Motorola utilizaban una inversión de fase de 180° en el sub-tono al final de la transmisión,

lo que provocaba que el resorte dejara de vibrar abruptamente. Dado que este sistema se encontraba patentado, otros fabricantes como General Electric utilizaban un desfase de 270° con los mismos fines.

En los equipos de bajo costo de estos años (y aún en la actualidad), no se incluía el filtro pasa altos con frecuencia de corte en 300 Hz o éste no cumplía con su finalidad completamente, lo que provoca que en el caso de utilizar sub-tonos de las frecuencias más altas, se escuchara el zumbido de fondo que muchas veces se puede confundir con un problema de filtrado en la fuente de poder.

Los dispositivos opcionales para incorporar sub-tonos a las primeras radios Motorola que utilizaban el sistema, usaban un sistema de código alfanumérico con el fin de proteger la información relativa a las frecuencias utilizadas y evitar de este modo que otros fabricantes copiaran la tecnología. Este código alfanumérico todavía está en uso en la actualidad y muchas veces es utilizado en vez de la frecuencia para entregar la información sobre el sub-tono utilizado, por lo que en la Tabla IV.2 se incluye junto con las frecuencias estandarizadas.

IV.3.2. Estandarización.

El sistema de silenciamiento por tono codificado continuo fue estandarizado por la Asociación de Industria Electrónicas⁵ en marzo del año 1979 mediante la norma EIA-220-A. Entre las características normadas para transmisiones sobre los 100 MHz se incluyen:

- Se definen 38 sub-tonos como estándar agrupados en tres grupos, con el grupo A sugerido para ser el más utilizado. Las frecuencias en cursiva en la tabla IV.2 son permitidas, pero no recomendadas.
- El sistema debe ser capaz de decodificar un sub-tono de 100 Hz en 250 ms. No especifica tiempo de decodificación para el resto de las frecuencias.
- En sistemas de repetidoras el periodo de decodificación máximo se establece en 400 ms.
- La tolerancia máxima de variación de frecuencia corresponde a ± 0.5 Hz.
- La desviación en frecuencia del sub-tono debe ser un 15% de la desviación total del sistema, estableciéndose un rango de 400 a 800 Hz como máximos.
- Incorpora la reglamentación estadounidense en relación a la obligación del usuario a deshabilitar la decodificación del CTCSS antes de transmitir.

⁵EIA por sus siglas en inglés, Electronic Industries Association.

FRECUENCIAS CTCSS. ESTÁNDAR EIA-220-A						NO ESTÁNDAR
EIA Grupo A		EIA Grupo B		EIA Grupo C		
Código Motorola	Frec. (Hz)	Código Motorola	Frec. (Hz)	Código Motorola	Frec. (Hz)	Frec. (Hz)
XZ	67,0	XA	71,9	WA	74,4	69,4
XB	77,0	YZ	82,5	SP	79,7	159,8
YB	88,5	ZA	94,8	YA	85,4	165,5
1Z	100,0	1A	103,5	ZZ	91,5	171,3
1B	107,2	2Z	110,9	ZB	97,3	177,3
2A	114,8	2B	118,8			183,5
3Z	123,0	3A	127,3			189,9
3B	131,8	4Z	136,5			196,6
4A	141,3	4B	146,2			199,5
5Z	151,4	5A	156,7			206,5
5B	162,2	6Z	167,9			229,1
6A	173,8	6B	179,9			254,1
7Z	186,2	7A	192,8			259,1
M1	203,5	M2	210,7			
M3	218,1	M4	225,7			
M5	233,6	M6	241,8			
M7	250,3					

Tabla IV.2: Frecuencias CTCSS.

Este estándar se actualizó en mayo de 1994 mediante la norma EIA-220-B, incorporando trece frecuencias más que no poseen código Motorola ya que esta empresa no las adoptó. Estas frecuencias se incluyen a la izquierda de la Tabla IV.2 y se denominan como *tonos medios* haciendo relación a que se encuentran entre dos tonos estándar.

Finalmente, en el año 2004 esta norma pasó a formar parte del estándar ANSI/TIA-603-C-2004 que relaja los requisitos en cuanto a desviación en frecuencia situando un mínimo de 10 % y un máximo de 60 % la desviación total del sistema, a petición de varios fabricantes de sistemas trunking, que ya tenían en el mercado sistemas trabajando con valores de desviación de sistema diferentes. También posibilita la incorporación de otras frecuencias bajo 300 Hz y que cumplan con alguna de las dos razones armónicas utilizadas para generar la lista a partir de los 100 Hz.

IV.3.3. Detalles de Funcionamiento y Utilización Actual.

El CTCSS se sigue utilizando en la actualidad y es el sistema de señalización considerado estándar de facto en muchas legislaciones. A modo de ejemplo, en los formularios de solicitud de permiso para Servicio Limitado en la Subsecretaría de Telecomunicaciones de nuestro país es el único servicio de señalización estándar permitido.

Dado que el período es el inverso de la frecuencia, los tonos más bajos demoran más tiempo en ser decodificados. Esto implica que, por ejemplo, un sistema que opere con el sub-tono de 67,0 Hz tomará más tiempo en decodificar como válida la señal que uno que utilice una frecuencia de 203,5 Hz. En algunos sistemas de repetidores este puede ocasionar un retardo de tiempo suficiente como para perder las primeras sílabas de una transmisión, dado que los repetidores deben decodificar en cadena. Es por esto que no todos los sistemas de repetidores utilizan señalización de este tipo en transmisión, observándose distintas configuraciones. Algunos repetidores dejan pasar la información de señalización, mientras otros filtran las señales bajo 300 Hz, pudiendo incorporar una frecuencia propia de CTCSS a la señal retransmitida.

En los sistemas bien diseñados en la actualidad se prefiere (mientras sea posible) la utilización de sub-tonos en el rango de los 123 Hz a los 162,2 Hz como una forma de mantener un equilibrio entre un rápida decodificación, y mantener las frecuencias fuera del rango de audio.

Según la frecuencia de línea del país en donde se opere, se aconseja evitar las frecuencias de 100, 118,8 y 123 Hz, ya que se encuentran en las cercanías al doble de los 50 ó 60 Hz existentes en la línea de alimentación, lo que provoca falsas activaciones en presencia de fuentes de poder mal filtradas.

Entre las posibilidades de utilización cabe destacar que, ya que no comparte la banda con la señalización por tono simple (o alguna de sus evoluciones posteriores), se puede utilizar en conjunto con ella sin inconvenientes.

En el sistema de señalización por tono simple se menciona que la normativa estadounidense sugiere una verificación previa en el canal para asegurar que no se realicen transmisiones simultáneas. En el caso de la señalización CTCSS, el FCC requiere para la homologación de equipos que estos cuenten con un sistema que obligue al operador a realizar esta verificación. Es así como en los equipos base se incorpora un sistema mecánico de bloqueo mediante el cual, antes de transmitir se debe presionar el botón de “monitor” que permite escuchar el canal sin el sistema CTCSS activo. En los equipos móviles esto se realiza mediante circuitos

que detectan cuando el operador saca el micrófono de su soporte, realizando la misma función. Como alternativa, en la programación del equipo se puede activar la opción de *bloqueo por canal ocupado*, que cumple con los mismos requerimientos de evitar cursar dos comunicaciones simultáneas sobre el mismo canal.

Las patentes involucradas en el sistema de señalización CTCSS se volvieron públicas en el año 1997 en Estados Unidos, por lo que en la actualidad cualquier fabricante puede utilizar este tipo de tecnología y comercializar sus productos en el mercado norteamericano.

IV.3.4. Nombres de los Fabricantes.

El sistema CTCSS se conoce con distintos nombres según el fabricante. De esta manera en los equipos Motorola son llamados *Tonos PL*, de *Private Line*; en los equipos Ericsson GE se denominan *CG*, de Channel Guard, *Call Guard* en los productos EF Johnson y *Quiet Channel* en las radios RCA.

Pese a que algunos fabricantes utilizan frecuencias propias, siempre se mantiene compatibilidad con los 38 tonos estándar incluidos en la norma EIA-220-A, situación que se debe tener en cuenta en el caso de diseñar sistemas que utilizan equipos de diversos fabricantes.

IV.4. DCS

El sistema de *Silenciador Codificado Digital*⁶ se basa en un concepto similar al de CTCSS, dado que utiliza frecuencias bajo los 300 Hz, pero utiliza señales digitales en vez de analógicas. Las señales utilizadas son un subconjunto del código Golay {23,12}. Las primeras radios que lo utilizaban salieron al mercado en 1975, pero a partir de los '80s su utilización comenzó a ser más popular, debido principalmente a que las primeras versiones requerían una relación señal a ruido en la recepción que excedía los parámetros típicos de la época. Fue desarrollado por Motorola para reemplazar a los CTCSS y en un principio sólo los equipos de gamma alta incorporaban funciones de codificación y decodificación. En el resto de los equipos se incorporaba como opción, que incluía una unidad codificadora o decodificadora que era capaz de manejar todos los códigos.

⁶DCS por sus siglas en inglés, Digital Coded Squelch. También es denominado CDCSS, sigla de *Continuous Digital Coded Squelch System*.

IV.4.1. Código Golay y DCS.

El DCS utiliza el denominado código binario Golay $\{23,12\}$, que es un código de bloque, generado por polinomio, y capaz de detectar y corregir errores. Posee una distancia mínima de Hamming de 7, lo que implica que es capaz de corregir hasta 3 errores. La longitud de palabra de código es de 23 bits, de los cuales 12 son de información, mientras que los 11 restantes se utilizan para el control y corrección de errores. Entre las características relevantes del código binario Golay $\{23,12\}$ para esta investigación se pueden mencionar:

- Al realizar una rotación de una palabra de código en cualquier dirección y en cualquier número de bits, se obtiene una palabra de código Golay válida, pero distinta de la original.
- Cada palabra de 23 bits puede tener 8, 12 ó 16 cambios de estados de cero a uno o de uno a cero. También existe un máximo de seis ceros o unos consecutivos.
- Dado que un código DCS es un constructo matemático, no reconoce un concepto de polaridad al momento de examinar una palabra DCS válida. Esto implica que al invertir una palabra DCS, se genere otra palabra válida en el código.

Como se menciona con anterioridad, el código presenta 12 bits de información, pero dado que las señales DCS se transmiten durante todo el período que dure la transmisión continuamente, se ocupa una “firma” de tres bits en cada palabra para poder recuperar la información de sincronismo. Esta firma se incorpora en los bits 12, 13 y 14 de cada palabra y corresponde a los bits 100, como se observa en el diagrama. Esto deja disponibles para información sólo 9 bits, que se caracterizan como 3 dígitos octales y corresponden a las 512 combinaciones de 000 a 777. A continuación se muestra como ejemplo la estructura de la palabra 023:

11 Bits de Chequeo	Firma	Código DCS de 9 Bits
C C C C C C C C C C C	- F F F -	D D D D D D D D D
1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1	- 1 0 0 -	0 0 0 0 1 0 0 1 1

Dado que este código se transmite continuamente, el decodificador (que conoce el largo de cada bit) almacena en un buffer una secuencia de 23 bits y realiza rotaciones para buscar la firma 100 en su estructura. Sin embargo, al realizar esta rotación se pueden encontrar otras palabras válidas como se muestra a continuación:

```

11101100011 - 100 - 000 010 011 -- 023 (palabra válida DCS)
11110110001 - 110 - 000 001 001 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
11111011000 - 111 - 000 000 100 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
01111101100 - 011 - 100 000 010 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
00111110110 - 001 - 110 000 001 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
10011111011 - 000 - 111 000 000 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
01001111101 - 100 - 011 100 000 -- 340 (palabra válida DCS)
00100111110 - 110 - 001 110 000 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
00010011111 - 011 - 000 111 000 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
00001001111 - 101 - 100 011 100 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
00000100111 - 110 - 110 001 110 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
00000010011 - 111 - 011 000 111 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
10000001001 - 111 - 101 100 011 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
11000000100 - 111 - 110 110 001 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
11100000010 - 011 - 111 011 000 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
01110000001 - 001 - 111 101 100 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
00111000000 - 100 - 111 110 110 -- 766 (palabra válida DCS)
00011100000 - 010 - 011 111 011 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
10001110000 - 001 - 001 111 101 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
11000111000 - 000 - 100 111 110 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
01100011100 - 000 - 010 011 111 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
10110001110 - 000 - 001 001 111 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
11011000111 - 000 - 000 100 111 -- Rotación derecha de 1 bit, firma no coincide
11101100011 - 100 - 000 010 011 -- 023 (palabra válida DCS) Vuelve al inicio

```

Se observa que al efectuar la rotación se encuentran otras palabras válidas, que pertenecen al código Golay y que concuerdan con la firma en los bits 12, 13 y 14. Procediendo de esta forma con las distintas palabras del código se puede encontrar que existen algunas que coinciden hasta con seis palabras válidas. Por esto se ha optado por utilizar sólo un código DCS en los casos en que existen múltiples códigos DCS posibles. Con esto se reducen a 177 las posibles combinaciones. De esta manera, al referirnos a un canal con señalización DCS código 023, en realidad puede implicar una palabra de código 023, 340 ó 766, ya que el 023 representa al “grupo” de códigos válidos.

Sobre estos 177 códigos que se podrían utilizar potencialmente, se eliminan las palabras que poseen 16 transiciones de cero a uno o de uno a cero ya que su espectro de frecuencia puede escapar del rango inferior a los 300 Hz. También se evitan los códigos que presentan un componente armónico con la posibilidad de interferir con los tonos de señalización CTCSS. Con esto quedan 83 códigos estándar DCS que son los que se listan en la Tabla IV.3.

CÓDIGOS DE SILENCIADOR CODIFICADO DIGITAL							
83 CÓDIGOS ESTÁNDAR UTILIZADOS EN DCS							
Serie Baja	Serie 100	Serie 200	Serie 300	Serie 400	Serie 500	Serie 600	Serie 700
023	114	205	306	411	503	606	703
025	115	223	311	412	506	612	712
026	116	226	315	413	516	624	723
031	125	243	331	423	532	627	731
032	131	244	343	431	546	631	732
043	132	245	346	432	565	632	734
047	134	251	351	445		654	743
051	143	261	364	464		662	754
054	152	263	365	465		664	
065	155	265	371	466			
071	156	271					
072	162						
073	165						
074	172						
	174						

Tabla IV.3: Códigos Estándar DCS.

IV.4.2. Detalles de Funcionamiento.

Las señales DCS se envían con una codificación NRZ⁷ con una longitud de bit de 7,446 ms en conjunto con la transmisión de voz. Dado que algunas palabras de código pueden tener hasta seis ceros o unos seguidos el componente de baja frecuencia puede llegar hasta los 2 Hz. Debido a ésto, este modo de señalización se evita en sistemas que pueden presentar una respuesta deficiente en baja frecuencia, como pueden ser los sistemas modulados por fase, o modulaciones en frecuencia con equipos de baja calidad.

En la Figura IV.1 se observa un diagrama de tiempo de una señal DCS. La longitud temporal completa de este código es de aproximadamente 171,26 ms, período que también es el tiempo mínimo para decodificar un código, suponiendo que el decodificador sea capaz de

⁷Sin retorno a cero, NRZ por sus siglas en inglés, No Return Zero.

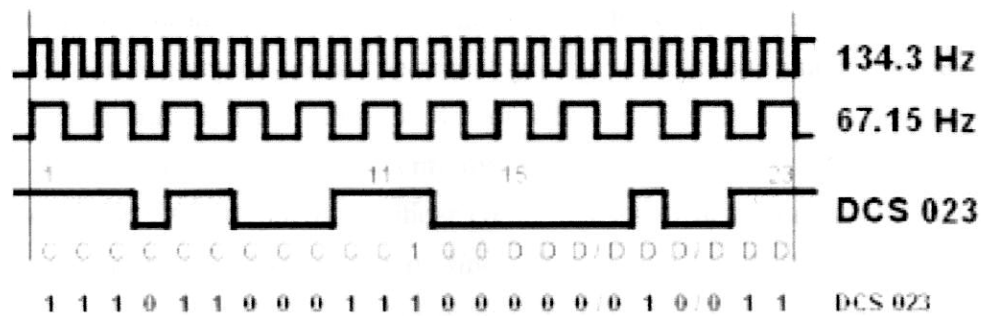


Figura IV.1: Diagrama de Tiempos en Señal DCS

recibir correctamente desde el primer bit y asumiendo también un procesamiento instantáneo. De esto se puede concluir que la velocidad de decodificación es similar a la que se obtiene mediante el sistema CTCSS.

Para informar al receptor que la transmisión ha terminado, al finalizar se incluye una señal de 134,3 Hz de fin de transmisión, que puede variar entre 200ms y 1 segundo de duración. En los equipos actuales el período de decodificación de dicha señal es generalmente de 100 ms. Esta señal de término de transmisión muchas veces puede provocar una falsa activación en equipos que compartan el canal (o uno adyacente) que posean señalización CTCSS de frecuencia 131,8 o 136,5 Hz.

Para evitar que los componentes en frecuencia mayores a 300 Hz lleguen a la salida amplificada del parlante, previo a la transmisión se realiza un filtrado de las frecuencias más altas de la señal. En los equipos actuales los códigos DCS son generados mediante DSP, por lo que este filtrado no es necesario ya que desde su origen son evitados los componentes de alta frecuencia.

También con la finalidad de mantener a esta señalización fuera del espectro de voz, se recomienda una desviación en frecuencia no mayor a un 20% de la desviación total del sistema. La mayoría de los equipos actuales envían esta información a un 15% de desviación, lo que produce que este tipo de señalización no funcione adecuadamente en enlaces marginales.

Aún cuando los 83 tonos mencionados se consideran un estándar, algunos fabricantes llegan a utilizar hasta 112 códigos en sus sistemas, que incluyen a los estándar y parte de los eliminados por su componente armónico. Por norma general estos códigos no son recomendables ya que disminuyen la compatibilidad y pueden provocar problemas en el canal en caso que existan usuarios con señalización CTCSS, o por intermodulación en otros canales.

Algunos de los actuales software de programación de equipos⁸ dan la posibilidad de programar cualquier palabra de código de tres dígitos octales, lo que puede generar esquemas de utilización no tradicionales, arriesgando con ello compatibilidad con otros fabricantes y problemas relacionados con el componente armónico.

La señalización DCS se puede clasificar como una señalización fuera de banda, asociada al canal y que transmite información de línea. Pese a que fue diseñada como sucesora de la señalización CTCSS, en la actualidad se prefiere ésta, a menos que sea imprescindible la utilización del mayor número de grupos que permite el DCS. Entre las principales desventajas que presenta este tipo de señalización se encuentra el pobre desempeño en enlaces marginales y el retardo en la decodificación que se produce en equipos de gamma baja.

En 2003 las patentes asociadas a este tipo de señalización fueron liberadas por lo que gran parte de los fabricantes incluye esta tecnología en sus equipos, excluyendo a las líneas de productos más económicas en las que el costo lo hace prohibitivo.

IV.5. Llamadas Selectivas y Sistemas CAD.

En los sistemas de radios de dos vías que operan en modo convencional, se denomina *llamada selectiva* al proceso mediante el cual se cursa una comunicación direccionada a sólo un equipo en particular, o a un grupo de éstos. En las secciones anteriores se ha descrito como se utilizan sistemas de señalización para realizar llamadas selectivas a grupos de usuarios. En las secciones siguientes se analizan sistemas de señalización que permiten realizar llamadas a equipos en particular, entre otras posibilidades de explotación de servicios.

Por norma general, los despachos realizados mediante llamadas selectivas se realizan utilizando sistemas CAD, que son los responsables de realizar la señalización correspondiente. En estos casos, las señales utilizadas se generan completamente en el computador, y los equipos de radio asociados se encargan solamente de transmitirlos. Del mismo modo, al recibir la transmisión un sistema CAD, el equipo de radio no decodifica las señales con la información de señalización, si no que todo el procesamiento se realiza en el computador. Para esto es necesario que el equipo de radio posea una salida de audio que permita manejar señales sin bloquear el rango de frecuencias bajo los 300 Hz. A esta salida de audio, se le denomina *salida plana*⁹ y corresponde a la señal de audio directamente recibida de la etapa de recepción, sin

⁸Se pueden mencionar los software de Alinco, EF Johnson y la mayoría de los fabricantes chinos.

⁹Según el fabricante se puede conocer como *raw data*, *flat data* o términos similares.

aplicar de-énfasis o filtrado.¹⁰

IV.6. MDC–600 y MDC–1200.

IV.6.1. MDC–600.

El sistema de señalización MDC–600 surgió en el año 1983 desarrollado por Motorola como una respuesta a la baja acogida del mercado del sistema DCS. Corresponde a una señalización de 600 baudios con modulación PSK que era utilizado para funciones de identificación de llamadas, monitorizar el estado de la red y realizar llamadas selectivas individuales. Este sistema tenía un alto costo a nivel comparativo con los demás sistemas de señalización puestos en el mercado anteriormente, por lo que sólo era ofrecido como opcional, aún en los equipos de gamma alta. Debido a ésto y al desarrollo, también por parte de Motorola, de la señalización MDC–1200, este sistema no se consolidó masivamente y a partir de 1989 no se fabrican equipos o dispositivos opcionales que lo soporten. Este sistema fue diseñado para funcionar completamente dentro de la banda de voz, y no incluye la posibilidad de realizar llamadas selectivas dirigidas a grupos de usuarios, ya que asumía la utilización de señalización fuera de banda para estos fines.

IV.6.2. MDC–1200

El sistema MDC–1200 corresponde a la evolución del MDC–600 y utiliza una modulación MSK¹¹ de 1.200 baudios para proveer servicios de identificación de llamadas, monitorización del estado de la red, llamadas selectivas y control. Fue lanzado al mercado en 1987 y fue incorporado a todas las radios Motorola lanzadas al mercado desde 1989, situación que se mantiene hasta la actualidad.

La señalización se codifica a 1.200 baudios utilizando MSK con portadoras de 1.200 Hz y 1.800 Hz. Primero se transmiten 56 bits de preámbulo, después una palabra de sincronización de 40 bits (que corresponde a 07092A446F) y finalmente una o dos palabras de código de 112 bits. Con esto se llega a una longitud total de mensaje 208 ó 320 bits con una base de tiempo de 1/1.200 segundos o 833,3 μ s, lo que entrega una duración de 173,333 ms para una palabra de código o de 266.667 ms para dos.

¹⁰En el anexo 2 se entrega mayor información sobre los sistemas CAD.

¹¹En el anexo 3 se encuentra mayor información sobre la modulación MSK

Los 112 bits de palabra de código comienzan con 32 bits de datos que corresponden al monto total de información de señalización, a los que se agregan 8 bits de estado. A estos 40 bits se incorporan 16 bits más, generados para el control y corrección de errores (algoritmo CRC–XOR de orden 16) que se aplica sobre los primeros 32 bits de datos. Con esto se logran 56 bits sobre los que se aplica una codificación convolucional de tasa 1/2, lo que resulta en 112 bits totales de la palabra de código. A continuación se muestra una palabra simple (de 112 bits) que corresponde al envío de identificación de llamada del equipo 1234, en hexagesimal:

01 80 1234 2E3E 00 6580A862DD88088

en ella, se tiene que:

01 corresponde a el código del comando,

80 corresponde a el argumento,

1234 corresponde a el identificador de la unidad,

2E3E corresponde a el código detector y corrector de errores aplicado sobre 01801234,

00 corresponde a los 8 bits de estado y

6580A862DD8808 corresponde a los bits del FEC o código convolucional aplicado sobre los primeros 56 bits de la palabra de código.

En el caso de palabra de código dobles, éstas se transmiten seguidas después de los 56 bits de preámbulo y de los 40 bits de sincronización.

IV.6.3. Tipos de Llamada en MDC–1200

Mediante el sistema de señalización MDC–1200 se pueden transmitir distintos tipos de llamada selectiva hacia aparatos en particular. Dado que el sistema opera dentro de los límites de la banda de voz, se asume la utilización de señalización fuera de banda para realizar las llamadas selectivas destinadas a grupos de usuarios. Entre los principales tipos de llamada que incluye el sistema se pueden mencionar las siguientes:

- IDENTIFICACIÓN DE APARATO O PPT–ID. Con esta información se identifica cada aparato con un número único de cuatro dígitos (en base diez), como por ejemplo 1234 ó 5678. La identificación de llamada puede ser enviada al principio de la transmisión, al final o en ambos casos. Una opción del equipo puede ser configurada para que el parlante emita un tono de la longitud de la identificación, para recordar al usuario que

los datos están siendo enviados antes de la transmisión y de este modo evitar superponer la transmisión de señalización con la voz. La identificación post transmisión es utilizada como fin de llamada en los casos en que sea necesaria, como las interconexiones al sistema telefónico o a equipos de grabación. Las radios con pantalla se pueden configurar para que informen la identificación del equipo que realiza la llamada y en los sistemas CAD se puede incorporar un nombre alfanumérico local para hacer más fácil el reconocimiento (por ejemplo, el equipo 1234 puede ser renombrado como “Móvil 3”).

- **LLAMADA DE EMERGENCIA.** Generalmente va asociado a equipos móviles que se encuentran dentro de vehículos. Puede ir asociado a “botones de pánico”, sensores de mercurio que se activan en caso de volcamiento o sistemas de seguridad que informan en caso de robo. Este tipo de llamada puede ser configurada para que se realice en forma totalmente silenciosa, y que transmita durante un lapso de tiempo determinado sin presionar el botón de PPT. En redes que utilizan más de un canal, esta información es enviada a través de un canal en particular predefinido con antelación y que por lo general es el menos utilizado, como una manera de aumentar las probabilidades de recepción. Es enviado tres veces, con repeticiones en un período de tiempo programado (de uno a cinco minutos) ó hasta recibir confirmación de recepción.
- **BOTONES DE ESTADO.** Algunos equipos pueden poseer botones de estado con alguna función predefinida, de manera que pueden enviar información de estado hacia la estación base. Se utilizan generalmente en vehículos de flota para indicar disponibilidad o cualquier otra información que se requiera y en los sistemas CAD pueden ser etiquetados con un nombre alfanumérico asociado. El sistema MDC-1200 permite hasta ocho botones de estado, sin embargo la mayoría de los equipos poseen hasta cuatro botones en el panel, y la posibilidad de cablear los cuatro restantes desde conectores.
- **BLOQUEO DE RADIO.** En el caso que una radio sea extraviada, robada o que se desee excluir a un usuario de la posibilidad de comunicarse con la red, se envía un mensaje que inhabilita al equipo. Dependiendo de la configuración puede inhabilitar transmisión, recepción, ambas y en algunos casos evitar que la radio sea reprogramada.
- **CHEQUEO DE RADIO.** Se utiliza para determinar si la radio se encuentra encendida, en un determinado canal o si se encuentra dentro del área de cobertura.
- **LLAMADA SELECTIVA.** Se realiza generalmente desde la estación central mediante el sistema CAD, y activa una indicador que puede ser luminoso o mediante tonos en

el equipo destino hasta que sea recibida la llamada. En algunos modelos de radio con teclado numérico puede ser realizado desde el mismo equipo asumiendo que sea conocido el identificador del equipo destino. En algunos equipos se puede programar la opción para que la transmisión realizada inmediatamente después de una llamada selectiva sea otra llamada selectiva hacia el origen de la primera transmisión, lográndose así una mayor privacidad en la comunicación.

Existe la posibilidad de realizar un *acuse de recibo* para cada uno de los tipos de llamada definidos en el sistema, de forma que el sistema CAD mantenga un registro de la correcta recepción de los mensajes. Esta opción se puede deshabilitar dependiendo de las condiciones de congestión de la red ya que prácticamente dobla el tiempo de utilización del canal con información de señalización.

A continuación se entrega una lista de los códigos correspondientes a los tipos de llamada más comunes:

- IDENTIFICACIÓN DE UNIDAD. Originada desde el aparato 1234.
0180 1234 Previo a la transmisión.
0100 1234 Posterior a la transmisión.
- ALARMA DE EMERGENCIA. Llamada hacia la consola originada en el aparato 1234.
0080 1234
- ACUSO DE RECIBO DE ALARMA DE EMERGENCIA. Llamada desde la consola hacia el aparato 1234 como respuesta a su llamada de emergencia.
2000 1234
- CHEQUEO DE RADIO. Petición de información sobre el estado del equipo 5678.
6385 5678
- ACUSO DE RECIBO DE CHEQUEO DE RADIO. Respuesta desde el equipo 5678 a la consola.
0300 5678
- ALERTA DE LLAMADA. Paquete doble con dos palabras de código. el equipo 1234 envía una llamada al equipo 5678.
3589 5678 830D 1234

- ACUSO DE RECIBO DE ALERTA DE LLAMADA. Paquete doble, el equipo 5678 confirma la alerta de llamada generada desde 1234.
3589 1234 A000 5678
- ENVÍO DE ESTADO SIMPLE. La unidad 1234 transmite el estado X.
460X 1234
- RECEPCIÓN DE ENVÍO DE ESTADO SIMPLE. Respuesta de la consola a la recepción correcta del mensaje anterior.
2300 1234
- PETICIÓN DE ESTADO. Desde la consola se solicita informe de estado al equipo 5678.
2206 5678
- RESPUESTA DE ESTADO. El equipo 5678 responde al ser interrogado por el mensaje anterior.
060X 5678
- BLOQUEO SELECTIVO DE RADIO. Bloqueo de transmisión y recepción al equipo 5678.
2B00 5678
- RECEPCIÓN DE BLOQUEO SELECTIVO DE RADIO. Acuso de recibo de bloqueo de radio 5678.
0B00 5678
- CANCELACIÓN DE BLOQUEO SELECTIVO DE RADIO. Elimina el bloqueo selectivo realizado con anterioridad.
2B0C 5678
- ACUSO DE RECIBO DE CANCELACIÓN DE BLOQUEO SELECTIVO DE RADIO. Respuesta al mensaje anterior.
0B0C 5678

IV.6.4. Fabricantes y Especificaciones.

El sistema MDC—1200 está patentado por Motorola y se incluye en todos los equipos que comercializa. Mediante acuerdos comerciales de venta de derechos e intercambios de patentes también es incluido de fábrica o como opcional en equipos de otras marcas como Icom,

Yaesu, EF Johnson o HYT (en este último conocido como HDC-1200). Existen sistemas similares como el GE-STAR que utiliza una modulación PSK, pero por conflictos vinculados con la protección de propiedad intelectual se utiliza sólo para sistemas trunking y fuera de los rangos de frecuencia que manejan las radios convencionales. Algunos fabricantes chinos como FDC o Puxing tienen equipos capaces de manejar señalización MDM-1200 contraviniendo los convenios de propiedad intelectual, por lo que su entrada al mercado norteamericano se encuentra prohibida.

Las especificaciones que entrega Motorola sobre el sistema en codificación son:

- Ventana de Desviación: 3.4kHz +/- 100Hz
- Características de pre-énfasis: Salida de Audio plana (sin aplicar pre-énfasis).

y para decodificación:

- Sensibilidad con Relación de Error de Modulación (MER) 1 % (estática) :
+0dB sobre 12 dB SINAD
- Sensibilidad con Relación de Error de Modulación (MER) = 20 % (estática) :
-2dB sobre 12 dB SINAD
- Rango de Desviación total para decodificación: 1.6kHz a 4.0kHz
- Sin activación en falso por ruido o voz.

IV.7. Sistemas Multitonos

Los sistemas multitonos corresponden a una evolución del sistema de tono simple y consisten básicamente en el envío, antes de la transmisión de voz, de una serie de tonos audibles para realizar la identificación del destinatario y del tipo de llamada (si procede). Este tipo de señalización es muy popular en los mercados europeos y asiáticos, sin embargo en Chile su utilización se encuentra limitada casi exclusivamente a algunos entornos mineros, principalmente debido a la segmentación de mercados que utilizan los fabricantes de estos dispositivos. Es así como en las radios destinadas al mercado de América Latina se encuentra deshabilitado este tipo de señalización, dando prioridad a la utilización del sistema CTCSS, DCS o MDC-1200. De manera inversa, en los mercados asiáticos y europeos se mantienen las señalizaciones CTCSS y DCS, pero el espacio en la memoria del microcontrolador utilizado por el sistema MDC-1200 se utiliza para almacenar la información para codificar y

decodificar la señalización por multitonos. Otra de las razones que puede influir en el que la utilización de este sistema no sea tan difundido como los vistos anteriormente, es que sólo los equipos de gamma alta la poseen, no existiendo aparatos alternativos de bajo costo que incluyan opciones para su explotación.

La señalización multitonos utiliza frecuencias audibles, por lo que se puede utilizar en conjunto con señalización fuera de banda en caso de ser necesario, con equipos que lo permitan. Los sistemas convencionales utilizan señalización multitono en su forma más simple, permitiendo sólo realizar llamadas selectivas. En los sistemas trunking este tipo de señalización es la más utilizada, y cada fabricante posee sus propios esquemas de utilización, variando las frecuencias características entre un modelo y otro.

Entre las características comunes a todos los sistemas de este tipo utilizados en radios convencionales se pueden mencionar:

- La información de señalización se realiza al comienzo de la transmisión, utilizando un período de tiempo mayor que el utilizado por los sistemas de señalización vistos con anterioridad.
- Las frecuencias son audibles, por lo que se trata de señalización en banda y permite la utilización simultánea de sistemas fuera de banda.
- Sólo son compatibles con equipos de gamma alta.
- A nivel mundial son menos usados que los sistemas de señalización vistos anteriormente, y en Chile su utilización es casi nula.
- Presentan una gran variabilidad en las frecuencias según la marca y modelo de los equipos, por lo que es incompatible con sistemas que integren varios fabricantes o sistemas heredados.

Estos sistemas pueden utilizar el envío de tonos simples o dobles, que se transmiten en forma secuencial.

Sistemas 2+2.

El funcionamiento de este tipo de sistemas consiste en el envío de dos pares de tonos puros, con una pausa entre ambos. Es decir, se transmiten simultáneamente un par de tonos, se produce una pausa, y después se transmite otro par de tonos, de ahí deriva el nombre de 2+2. Estos sistemas fueron desarrollados de manera simultánea por General Electric y

Motorola a mediados de los años '70s y comercializados con los nombres de Type 99 y Quick Call respectivamente. También Reach y Plectron poseen esquemas similares.

En la tabla IV.4 y IV.5 se observan los distintos grupos de tonos con sus correspondientes frecuencias relacionadas. A cada aparato de radio se le asigna un identificador de cuatro caracteres (o dígitos) de un grupo en particular y de forma tal que no se repita el mismo carácter (o dígito) en un par. Por ejemplo, en un sistema Quick Call de Motorola, un aparato puede tener el identificador NPDJ del grupo B, que se denota NP+DJ/B ó NP+DJ(B). Eso implica que para realizar una llamada selectiva a éste móvil (o a un grupo de móviles que posean ese identificador en recepción) se transmiten dos pares de tonos simultáneos, el primer par con frecuencias de 1.047,1 y 1.161,4 Hz, luego una pausa y finalmente el segundo par con frecuencias de 412,1 y 691,8 Hz.

MOTOROLA QUICK CALL (2+2)					
Serie A		Serie B		Serie Z	
Codigo	Frecuencia	Codigo	Frecuencia	Codigo	Frecuencia
DA	398,1	DB	412,1	DZ	384,6
EA	441,6	EB	257,1	EZ	426,6
FA	489,8	FB	507,1	FZ	473,2
GA	543,3	GB	562,3	GZ	524,8
HA	602,6	HB	623,7	HZ	582,1
JA	668,3	JB	691,8	JZ	645,7
KA	741,3	KB	767,4	KZ	716,7
LA	882,2	LB	851,1	LZ	794,3
MA	912,0	MB	944,1	MZ	881,0
CA	358,9	CB	371,5	CZ	346,7
NA	1011,6	NB	1047,1	NZ	977,2
PA	1122,1	PB	1161,4	PZ	1084,0

Tabla IV.4: Códigos y Frecuencias en Hertz del Sistema Motorola Quick Call.

De manera similar, en un sistema Type 99 de GE, un determinado aparato puede poseer una identificación 5678 del grupo C, que se denota 56+78/C y responderá a una transmisión que transmita los tonos 907,5 y 952,5 Hz como un primer par, y 532,5 y 577,5 Hz en el segundo.

GE TYPE 99 (2+2)			
Grupo	A	B	C
Tono n°	Frec.	Frec.	Frec.
1	592,5	607,5	712,5
2	757,5	787,5	772,5
3	802,5	832,5	817,5
4	847,5	877,5	862,5
5	892,5	922,5	907,5
6	937,5	967,5	952,5
7	547,5	517,5	532,5
8	727,5	562,5	577,5
9	637,5	697,5	622,5
0	682,5	652,5	667,5

Tabla IV.5: N° de Tono y Frecuencias en Hertz del Sistema GE Type 99.

El tiempo que dura la transmisión de los pares de tonos varía de 150 msec hasta 3 segundos dependiendo del fabricante y del año de producción de los equipos involucrados, igual que el período de duración de la pausa, que puede ir de 100 ms a 2 segundos. Pese a que los equipos actuales son capaces de decodificar con efectividad en períodos cortos, por norma general se utilizan períodos de transmisión de 2,5 segundos con una pausa de 500 msec para mantener la compatibilidad con los sistemas heredados.

En la actualidad, el sistema 2+2 en su forma tradicional ha sido casi completamente desplazado por protocolos más nuevos, sin embargo, en sistema de tráfico aéreo se sigue utilizando este esquema con sus propias frecuencias distintivas y en modulación AM.

Con el transcurso del tiempo los sistemas 2+2 han ido evolucionando con el objetivo de lograr un mayor número de combinaciones de identificación o para explotar otros servicios, como llamadas grupales. Si bien en sus inicios se utilizaban solamente frecuencias de un mismo grupo, debido a las limitaciones en el diseño de los circuitos discriminadores, con el fin de prevenir falsas activaciones, en la actualidad los codificadores y decodificadores son más confiables, por lo que se ocupan diversas combinaciones para obtener nuevas palabras de identificación o la utilización de otros servicios. Por ejemplo, para aumentar las posibles combinaciones del sistema Type 99, General Electric utiliza el envío de pares de tonos de distintos grupos de frecuencias, para realizar llamadas selectivas grupales. Estos esquemas

de utilización sin embargo, varían no solamente de acuerdo al fabricante, si no también en relación a la versión del firmware que utilizan los equipos y los parámetros de configuración del sistema.

Sistemas de cinco, seis y siete tonos.

La base de funcionamiento de estos sistemas de señalización consiste en la transmisión de cinco tonos seguidos para indicar el destinatario de una llamada selectiva, sin pausa entre ellos. La diferencia en el número total de tonos radica en que a estos cinco tonos originales se puede agregar uno como preámbulo (generalmente el que designa al dígito 0) que se utiliza para activar el sistema y dar la opción de utilizar técnicas de ahorro de energía. También en algunos sistemas se agrega un tono, o dígito a la información de señalización, para indicar estado de emergencia.

Estos formatos se diseñaron en Europa para su uso dentro de sus fronteras, y cada país cuenta con una o más tablas de frecuencias en particular. En la Tabla IV.6 se muestran las principales a modo de ejemplo, sin embargo, algunos países como Alemania cuentan con hasta trece tablas distintas que se utilizan dependiendo del tipo de transmisión (emergencia, policía, etc), el tipo de modulación y la jerarquía existente entre los servicios.

Cada dígito del 0 al 9 cuenta con su frecuencia característica, y para evitar problemas de sincronismo en el caso que algún número se repita en la secuencia, se utiliza un tono de repetición R que reemplaza al tono que se repite. Por ejemplo, una llamada selectiva al equipo 12234 se transmite direccionada como 12R34. También se puede utilizar un tono de grupo G en el lugar del último o penúltimo tono, para realizar llamadas selectivas en potencias de 10, por ejemplo, una llamada selectiva dirigida a 1234G, será recepcionada por todos los aparatos que posean los identificadores 12340 al 12349.

Estos sistemas se utilizan por lo general en forma secuencial, de forma que se puede enviar una serie de cinco tonos para abrir un repetidor, y posteriormente otra para identificar a un móvil en particular. También son utilizados en conjunto con otros sistemas de señalización fuera de banda.

IV.7.1. DTMF

El sistema de señalización DTMF es similar en cuanto a su utilización a los sistemas de cinco, seis o siete tonos y ocupa como frecuencias características los mismos pares usados en telefonía, como se indica en la Tabla IV.7. Este sistema se utiliza como una alternativa

TONO	CÓDIGO	FRECUENCIAS EUROPEAS EN HZ					MOTOROLA	
Nº	DÍGITO	ZVEI1	CCIR1	EEA	EURO SIGNAL	NATEL	EIA	MODAT
Tono 0	0	2400	1981	1981	979,8	1633	600	637,5
Tono 1	1	1060	1124	1124	903,1	631	741	787,5
Tono 2	2	1160	1197	1197	832,5	697	882	937,5
Tono 3	3	1270	1275	1275	767,4	770	1023	1087,5
Tono 4	4	1400	1358	1358	707,4	852	1164	1237,5
Tono 5	5	1530	1446	1446	652,0	941	1305	1387,5
Tono 6	6	1670	1540	1540	601,0	1040	1446	1537,5
Tono 7	7	1830	1640	1640	554,0	1209	1587	1687,5
Tono 8	8	2000	1747	1747	510,7	1336	1728	1837,5
Tono 9	9	2200	1860	1860	470,8	1477	1869	1987,5
Tonos de Grupo	A	2800	2400	1055	—	1995	2151	—
	B	810	930	930	—	571	2433	—
Tonos de Reset	C	970	2247	2400	—	2205	2010	—
	D	885	991	991	—	2437	2292	—
Tonos de Repetición	E	2600	2110	2110	1062,9	1805	459	487,5
	F	680	1055	2247	—	2694	1091	—
Longitud del tono(ms)		70±15	100±10	40±4	100	70	33±5	40±5
Long. de secuencia(ms)		350	500	200	600–700	350	165	280
ZVEI		Zentralverband der Electrotechnische Industrie, Alemania						
CCIR		Comite Consultatif International de Radio, Francia						
EEA		Electronic Engineering Association, Reino Unido						
EURO SIGNAL		Six Tone Sequential High Power, CEPT						
EIA		Electronics Industries Association, EE.UU.						
MODAT		Motorola Seven Tone ANI Status System.						

Tabla IV.6: Códigos y Tiempos de Sistemas Secuenciales de Tonos Simples.

a los esquemas tradicionales de cinco, seis o siete tonos en situaciones en las cuales se debe interactuar con el sistema público telefónico, o se realiza el envío de información hacia otros elementos externos, como accionar un sistema remoto, recolectar variables de estado, etc. Como ejemplo típico en la utilización de este tipo de señalización se puede mencionar los casos en que un dispositivo de alerta sonora o sirena se encuentra conectado a un sistema de radio, la cual se activa mediante una serie de dígitos. En estos casos se opta por utilizar DTMF en todos el sistema de radio.

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

Tabla IV.7: Tabla de Frecuencias del Sistema DTMF.

Capítulo V

Conclusiones.

Con el desarrollo de este trabajo de investigación queda de manifiesto que la utilización de la radio de dos vías en distintos campos de aplicación se ha convertido con el paso del tiempo en una opción confiable y duradera, tanto desde el punto de vista de la comunicación, como en el sentido que es uno de los sistemas de telecomunicaciones que presenta menor vulnerabilidad a la obsolescencia tecnológica.

Estas dos características de confiabilidad y durabilidad se encuentran muy relacionadas entre sí, ya que tradicionalmente han sido un servicio que se podría denominar estratégico por lo que los aparatos son diseñados ocupando criterios de confiabilidad mayores a los utilizados en productos de consumo masivo. Es por esto también lo que provoca que los sistemas sean creados pensando en un horizonte temporal mayor que se plantea en otros sistemas de telecomunicaciones.

Del mismo modo que los sistemas de radios de dos vías en general, se observa que los sistemas de señalización asociados a éstos poseen una mayor duración a través del tiempo, lo que ha provocado que empresas acostumbradas a realizar rápidos cambios tecnológicos, cuiden y resguarden información relativa a patentes con décadas de antigüedad.

En lo relativo al objetivo general de este trabajo de investigación se ha analizado y descrito en detalle los principales sistemas de señalización utilizados en radios de dos vías convencionales en nuestro país, labor que no se había realizado con anterioridad. Al presentar de forma conjunta la información relativa a los distintos sistemas se puede lograr discernir sobre que tipo de señalización utilizar en base a las particularidades de cada sistema de radio de dos vías que sea evaluado.

Un aspecto importante de destacar a modo de conclusión radica en la generación de la metodología de trabajo investigativo, basándose en la investigación de patentes, reuniendo

información de foros de usuarios y contrastándolos con la información proveída por los fabricantes, tanto de equipos como de circuitos integrados, logrando alcanzar conocimiento a partir de datos dispersos.

Al presentar el desarrollo de los sistemas de radio se ha intentado mostrar la influencia en su evolución de hitos no necesariamente relacionados con la parte técnica, si no que dependen de hechos concernientes a la realidad social, económica y política del momento en el que se gestaron, dando la posibilidad de avances que de otro modo habrían pasado desapercibidos hasta que fueran socialmente necesarios.

Finalmente, se puede señalar que los sistemas de señalización utilizados por las radios de dos vías en modo convencional nacieron con la finalidad de silenciar la salida de audio ante la presencia de una señal no deseada, y se han convertido en sistemas que involucran una serie de servicios adicionales de mayor complejidad que han colaborado a mantener a los sistemas de radio vigentes ante la proliferación de otras alternativas de comunicación.

Bibliografía.

Capítulo II

- M. WILSON, Editor. *The ARRL Handbook For Radio Communications 2007*, 84ª Edición. American Radio Relay League (ARRL), Newington, USA, 2006.
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Two-Way Radio*, Wikipedia, The Free Encyclopedia. Acceso: 05 de Junio de 2007. En línea, disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Two-way_radio
- RADIOREFERENCE. *The RadioReference.com Wiki*. Acceso: 25 de Junio de 2007. En línea, disponible en http://wiki.radioreference.com/index.php/Main_Page.
- S. GIBILISCO, Editor. *The Illustrated Dictionary of Electronics*, 1ª Edición. McGraw-Hill, New York, USA, 2001.

Capítulo III.

- R. BATES. *Broadband Telecommunications Handbook*, 2ª Edición. McGraw-Hill. New York, USA, 2000.
- S. GIBILISCO, Editor. *The Illustrated Dictionary of Electronics*, 1ª Edición. McGraw-Hill, New York, USA, 2001.
- R. ARES. *Manual de Telecomunicaciones*, Junio de 1999. Acceso: 07 de Junio de 2007. Disponible en <http://www.rares.com.ar/telecomunicaciones/homeDocumentos.htm>

- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Signalling (telecommunications)*, Wikipedia, The Free Encyclopedia. Acceso: 05 de Abril de 2007. En línea, disponible en [http://en.wikipedia.org/wiki/Signalling_\(telecommunications\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Signalling_(telecommunications))

Capítulo IV

- F. STREMLER. *Introduction to Communications Systems*, 3ª Edición, Addison–Wesley, Delaware, EE.UU., 1993.
- MIDIAN ELECTRONICS, INC. *Glossary of Terms for: Tone Signaling, Data Signaling, Remote Control, Voice Scrambling and Radiotelephone Interconnect*, 1ª Edición, Midian Electronics Inc., Tucson, EE.UU., 1995.
- W. COLE. *Encoder–Decoder Device for Selective Signaling*, United States Patent N°: US 3.250.997, Chicago, EE.UU., 1966.
- K. KROLIK. *Combined Encoder–Decoder Apparatus Having a Single Active Filter*, United States Patent N°: US 3.946.313, Chicago, EE.UU., 1976.
- K. IWATA. *Tone Signal Decoder*, United States Patent N°: US 4.349.820, Tokyo, Japón, 1982.
- G. HANUS. *Encoder–Decoder Device por Selective Signalling*, United States Patent N°: 3.617.888, Franklin Park, EE.UU., 1969.
- R. PETH. *Communication System*, United States Patent N°: 2.918.571, Chicago, EE.UU., 1959.
- K. WYCOFF. *Selective Call Communication Receiver*, United States Patent N°: US 4.385.398, Lexington, EE.UU., 1983.
- R. BENNETT, R. CHAPMAN. *Continuos Tone Decoder/Encoder*, United States Patent N°: 4.484.354, Schamburg, EE.UU., 1980.
- N. INGRAM. *Fast Settling Tone/Data Processing Circuit for a Radio Receiver*, United States Patent N°: 5.046.126, Lynchburg, 1989.

- GB3FR GROUP. *CTCSS on the Repeaters*, United Kingdom, Lincolnshire Wolds, 2002. Acceso: 13 de Octubre de 2007. En línea, disponible en <http://www.fenlandrepeater.org.uk/ctcss.htm>
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *CTCSS*, Wikipedia, The Free Encyclopedia. 13 de Junio de 2007. En línea, disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/CTCSS>
- MX-COM, INC. *Generation of Non-Standard CTCSS Tones*, Mixed Signals ICs, EE.UU., 1998, disponible en http://www.eetkorea.com/ARTICLES/2003AUG/A/2003AUG29_AMD_AN04.PDF
- K. COLLIER *Decoding the Secrets of CTCSS*, QST Magazine ARRL, EE.UU., Diciembre de 1996, disponible en <http://www.olyham.com/9612055.pdf>
- L. Alder. *Enhancing Signals in a Two-Way Radio System*, United States Patent N°: US 7.096.051 B1, Mountain View, EE.UU., 2006.
- N. Ingram. *Fast Settling Tone/Data Processing Circuit for a Radio Receiver*, United States Patent N°: 5.046.126, Lynchburg, EE.UU., 1989.
- B. LENDER. *DPL / DCS Information*. Oregon, EE.UU., 2006. Acceso: 10 de Enero de 2007. En línea, disponible en <http://www.open.org/blenderm/dcs.html>
- COLABORADORES DE WIKIPEDIA *Código Binario de Golay*. Wikipedia, La enciclopedia libre, Acceso: 5 de Septiembre de 2006. En línea, disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Codigo_Binario_de_Golay
- M. KANEMASU. *Golay Codes*. The MIT Undergraduate Journal of Mathematics, Volumen 1. Massachusetts, EE.UU., 1999. Disponible en www-math.mit.edu/phase2/UJM/vol1/MKANEM~1.PDF
- P. GALLARDO *Códigos Correctores de Errores, Quinielas y Empaquetamientos.*, Instituto Superior de Formación del Profesorado, Madrid, España, 2001. Disponible en http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/gallardo/codigos.pdf
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Error Detection and Correction*, Wikipedia, The Free Encyclopedia. 13 de Junio de 2007. En línea, disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Error_detection_and_correction

- CML MICROSYSTEMS PLC. *CMX7031/CMX7041, The Two-Way Radio Processor*, CML Microsystems, Singapur, 2007. Disponible en http://www.cmlmicro.com/products/datasheets/docs/7031_41_FI3.0ds.pdf
- BATBOARD FORUMS. *MDC Decoding – Info and Info Request*, Batforums, 2004–2007, en línea <http://batboard.batlabs.com/viewtopic.php?f=6&t=36459>
- BATLABS. *MDC1200 Signalling*, en línea: <http://www.batlabs.com/mdc1200.html>
- WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *MDC-1200*, Wikipedia, The Free Encyclopedia. 30 Marzo de 2007. En línea <http://en.wikipedia.org/wiki/MDC-1200>
- T. BURKE, S. NOBLE. *Digital Coherent PSK Demodulator and Detector*, United States Patent N°: 4.457.005, Schaumburg, EE.UU., 1981.
- T. BURKE, S. NOBLE. *Selective Call, Paging and Priority Signalling System*, United States Patent N°: 4.517.561, Schaumburg, EE.UU., 1982.
- T. BURKE, S. NOBLE. *Data Signalling System*, United States Patent N°: 4.590.473, Schaumburg, EE.UU., 1982.
- T. BURKE, S. NOBLE. *Method and Apparatus for Coding Messages Communicated Between a Primary Station and Remote Stations of a Data Communications System*, United States Patent N°: 4,517,669, Schaumburg, EE.UU., 1983.

Anexo: Sistemas CAD.

El despacho asistido por computador¹ consiste en un método de despacho de servicios basados en *tráfico por respuesta de demanda* (en este tipo de servicios se pueden incluir taxis, técnicos de campo, móviles de mensajería, servicios de emergencia, etc.) que involucra una serie de componentes de hardware y software. Los sistemas CAD son una evolución de los métodos de despacho manual que basan su funcionamiento en la utilización de consolas de llamado, que corresponden a dispositivos que facilitan el control de múltiples radios de dos vías y distintas líneas telefónicas, con la finalidad de aumentar la eficiencia de los procesos de despacho. Muchos sistemas basados en consolas de llamado siguen en funcionamiento en la actualidad, así como todavía existen proveedores de este tipo de tecnologías, sin embargo, la tendencia general se inclina a la utilización de sistemas CAD, ya que presentan ventajas adicionales como la generación automática de reportes, presentación instantánea de estadísticas o la capacidad de interconectar diversos medios de comunicación, entre otros. El objetivo principal de un sistema CAD consiste en proveer de las herramientas necesarias a los operadores de las centrales de despacho para que de manera fácil y rápida puedan visualizar el estado de las unidades a su cargo, realizar los despachos de la manera más eficiente posible y guardar un registro de las operaciones realizadas.

En 1967 en Estados Unidos la comisión presidencial de “Aplicación de la Ley y Administración de Justicia”² preocupada por el aumento de los indicadores de percepción de riesgo ante la delincuencia aprueba la entrega de fondos destinados a modernizar los sistemas de comunicaciones de policías y organismos judiciales, así como también adoptar las medidas para aumentar la coordinación entre ambas. Una serie de normas emitidas desde esos días a la fecha, tanto en Estados Unidos como en otros lugares como Gran Bretaña ha proporcionado un fuerte respaldo de recursos para el desarrollo de los sistemas CAD, al nivel que varios de los principales actores del mercado en la actualidad nacieron de recursos públicos de esos

¹CAD por sus siglas en inglés, Computer-Assisted Dispatch.

²En inglés, “Law Enforcement and Administration of Justice”.

países, ya sea en forma de aportes directos o indirectos. Actualmente, la creciente preocupación por la seguridad nacional de algunos países ante ataques terroristas ha significado que este tipo de sistemas mantenga su estatus de tecnología estratégica. Esto ha significado que el mercado de este tipo de sistemas sea muy apetecido por los distintos fabricantes, lo que implica una mayor inversión por parte de éstos en investigación y desarrollo, que finalmente resulta en un beneficio de los distintos servicios basados en tráfico por respuesta y no sólo para los servicios policiales o de emergencia pública.

Los sistemas CAD utilizan en la actualidad distintos medios de comunicación, entre los que se pueden mencionar sistemas de telefonía móvil, pagers (beepers o buscapersonas), radios de dos vías tanto convencionales y trunking, Terminales de Datos Móviles (MDTs por sus siglas en inglés), Computadores de Datos Móviles (MDCs por sus siglas en inglés), etc. Dada la diversidad de medios de comunicación, y las también diversas necesidades de los usuarios, los sistemas CAD poseen una gran variedad de configuraciones, por lo que en este análisis se utiliza a modo de ejemplo una configuración básica que pretende solamente mostrar las principales capacidades de este tipo de tecnologías.

El desarrollo de los sistemas de señalización y de los sistemas CAD se encuentra muy relacionado, ya que por medio de la señalización se logra la explotación de características que resultan cruciales para el correcto funcionamiento de un sistema de despacho, como llamadas selectivas, confirmación de recepción, transmisión de variables de estado, etc. Del mismo modo, los requerimientos de los sistemas CAD han influido en el desarrollo de las nuevas formas de utilización de los sistemas radiales, como por ejemplo los sistemas trunking, así como los sistemas de señalización que éstos involucren.

Despacho Manual y Despacho mediante CAD.

En un proceso de despacho manual se realizan como mínimo las siguientes operaciones:

- El *telefonista* recibe la llamada, solicita la información necesaria, consigna los detalles en un papel y presta asistencia telefónica al emisor de la llamada, en el caso de ser requerida.
- El papel con la información de la llamada es traspasada por algún método físico a al *despachador*.
- El despachador asigna la tarea a uno o más de los móviles disponibles dependiendo de la naturaleza del requerimiento y de las distintas capacidades y ubicaciones de los

móviles.

- El *despachador* informa de los detalles de la tarea a la unidad móvil a través de un sistema de radio de dos vías o de telefonía móvil.
- La *unidad móvil* informa al despachador (y por su intermedio a la oficina central) de su progreso en la tarea hasta que ésta se encuentre finalizada, lo que se consigna en un registro escrito.
- El registro en papel puede ser revisado con posterioridad para dar cuenta de los servicios, realizar estadísticas o investigar problemas relacionados con tiempos de respuesta o temas relacionados.

En un sistema de despacho asistido por computador las operaciones son básicamente las mismas, sin embargo, al ser un proceso automatizado, los registros son generados por el sistema y de manera transparente a los usuarios. Con la utilización de los sistemas CAD también se tiende a utilizar sólo a una persona que se encargue del proceso de despacho, uniendo los procesos que desempeñaban el *telefonista* y el *despachador*.

El Servidor en un Sistema CAD.

En la figura se observa un diagrama de interconexión de los distintos componentes de hardware involucrados en los sistemas CAD. El elemento principal en este diagrama es el servidor CAD que es el encargado de realizar todas las interconexiones entre los distintos servicios, además de realizar la gestión de registros de todo el sistema. En sistemas menos complejos, que involucren sólo radios de dos vías o telefonía móvil, los modems y controladoras de radio pueden ir conectados directamente a la estación de trabajo CAD. La función principal del servidor es guardar registro de las comunicaciones, incluyendo el registro de voz, de direccionamiento, de tiempo y datos afines, para realizar estadísticas o generar informes tarifarios.

Integración con Otros Servicios.

Como una manera de aumentar la funcionalidad de los sistemas CAD, éstos presentan la posibilidad de ser integrados a distintos tipos de servicios adicionales, entre los cuales es posible destacar :

- *GIS*, o Sistemas de Información Geográfica. Es posible realizar un vínculo de la información entre los sistemas para, por ejemplo, obtener la dirección asociada al número telefónico del cual se origina la llamada, desplegado sobre un plano que incluya distintos puntos de interés para el tipo de servicio.
- *AVL*, o Localización Automática de Vehículos. Por medio de esta interconexión se puede obtener la información de localización y estado de cada uno de los móviles disponibles para, en conjunto con el GIS, entregar por ejemplo, la ruta óptima para llegar al lugar del llamado.
- *EDI*, o Interconexión Extendida de Datos. Se refiere al intercambio de información entre niveles jerárquicos, o distintos tipos de servicios. En el ámbito de los servicios de emergencia pública puede intercomunicar sistemas CAD independientes de servicios como ambulancias, policías y bomberos. En el espectro privado puede interconectar el sistema de despacho como un módulo de aplicaciones corporativas mayores, como por ejemplo aplicaciones que manejen el estado total de los procesos productivos.

Referencias.

- *Computer Aided Dispatch (CAD). An overview of the "business", processes, technology, market and potential for Zetron.* Martin Tetloff, Product Management Zetron. Octubre de 2000. Disponible en <http://www.lizardcity.com/CAD.pdf>
- *Standard Functional Specifications for Law Enforcement Computer Aided Dispatch (CAD) Systems.* Law Enforcement Information Technology Standards Council (LEITSC). Julio de 2006. Disponible en http://www.iacptechnology.org/LEITSC/Law_Enforcement_CAD.pdf
- *Computer-assisted dispatch.* Disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-assisted_dispatch
- Páginas de distintos fabricantes de software y hardware relacionado.
 - <http://www.zolldata.com/>
 - <http://www.ortivusna.com/Products/MobiCAD.asp>
 - <http://www.zetron.com>

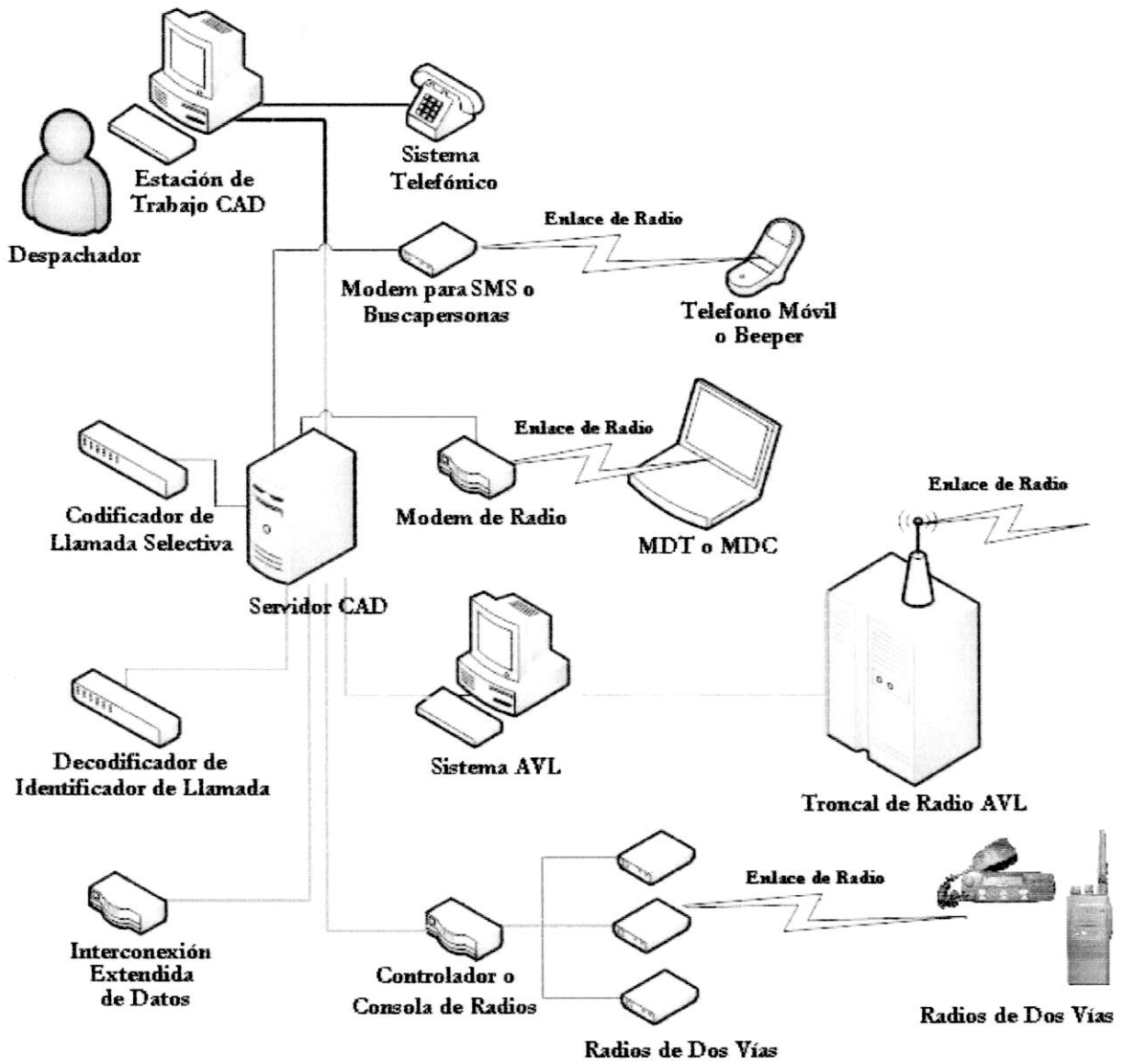


Figura V.1: Diagrama de Interconexión de Sistemas CAD.