

# **TRANSMISIÓN DE DATOS EN HF**



**JOSÉ MANUEL PAZ AGUILAR**  
**JOSÉ MANUEL RIVERA CARDENAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES**  
**GRUPO I+D GNTT NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES**  
**POPAYÁN**  
**2003**

# **TRANSMISIÓN DE DATOS EN HF**



**JOSÉ MANUEL PAZ AGUILAR**  
**JOSÉ MANUEL RIVERA CARDENAS**

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

**DIRECTOR**  
**ING. VICTOR MANUEL QUINTERO FLOREZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**  
**DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES**  
**GRUPO I+D GNTT NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES**  
**POPAYÁN**

**2003**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

A mi Madre,  
A quien tuvo un día  
un sueño que podía  
ser.

A mi Esposa y mis  
hijos M-D-N-J

José M. Paz A.

A Dios.  
A mis padres con  
amor, a mis abuelos y  
mis a hermanos.

A mi novia Tatiana y  
a mis amigos Daniel,  
Angel y Juan Jose.

José M Rivera.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

**Victor Manuel Quintero Florez**, Ingeniero Electrónico y director del trabajo de grado por su orientación en el desarrollo del trabajo con lo cual pudimos alcanzar los objetivos fijados, por la participación en la clarificación de inquietudes y motivación.

**Gustavo Adolfo Ramírez**, Ingeniero Electrónico, por su ayuda en la concepción del trabajo de grado.

**Luis Alfredo Guerrero**, Ingeniero Electrónico, por su colaboración en la prestación de equipos de trabajo.

**Alejandro Toledo Tovar**, Ingeniero Electrónico, por su colaboración en la prestación de equipos de trabajo.

**Tirso Mazabuel**, Operario calificado, por su valiosa colaboración.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA RADIO HF.....</b>	<b>3</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO .....	3
1.3 ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA.....	4
1.4 FORMAS DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO.....	6
1.4.1 ONDA TERRESTRE.....	6
1.4.2 ONDA CELESTE.....	7
1.5 GENERALIDADES DE LA BANDA HF .....	8
1.5.1 LA IONÓSFERA .....	8
1.5.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PROPAGACIÓN EN HF .....	9
1.5.3 CARACTERÍSTICAS DEL ENLACE DE HF.....	11
1.5.4 BANDAS EXISTENTES O UTILIZADAS EN HF.....	13
1.6 GENERALIDADES DEL HF DIGITAL.....	16
1.6.1 COMPONENTES DE UNA ESTACIÓN DE HF DIGITAL .....	17
1.6.2 EFECTOS SOBRE LAS SEÑALES DE HF DIGITAL .....	19
1.6.3 NORMAS DE REGULACIÓN DE LA ITU PARA HF Y FSK.....	22
<b>2 FUNDAMENTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>23</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	23
2.2 VELOCIDAD DE UNA TRANSMISIÓN DIGITAL .....	24
2.3 MÉTODOS DE MODULACIÓN DIGITAL UTILIZADOS EN RADIO HF .....	25
2.4 MODOS TOR.....	26
2.5 PROTOCOLO G-TOR.....	27
2.5.1 CÓDIGO GOLAY .....	27
2.5.2 MÉTODO CÍCLICO DE DETECCIÓN DE ERRORES .....	28
2.5.3 ESQUEMA ARQ HÍBRIDO.....	29
2.5.4 ESTRUCTURA DE LA TRAMA DE DATOS.....	34
2.5.5 ESTRUCTURA DE UNA SEÑAL DE CONTROL .....	35
2.5.6 ESTRUCTURA DE LA TRAMA DE CONMUTACIÓN (TRAMA BK).....	36
2.5.7 FORMACIÓN DE LAS TRAMAS DE CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN .....	37
2.5.8 FORMATO DE DATOS EN LAS TRAMAS .....	38
2.5.9 CAMBIOS DE VELOCIDAD.....	38
2.5.10 CODIFICACIÓN RUN LENGHT (RLEN) .....	39
2.5.11 CODIFICACIÓN HUFFMAN.....	40

2.5.12	INTERCALAMIENTO Y CODIFICACIÓN GOLAY.....	44
2.5.13	TRANSMISIONES FEC.....	45
<b>3</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1</b>	<b>DEFINICIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>APLICACIÓN.....</b>	<b>46</b>
3.2.1	CONFIGURAR PUERTO.....	46
3.2.2	ABRIR PUERTO.....	46
3.2.4	ABRIR ARCHIVO.....	46
3.2.4	ENVIAR ARCHIVO.....	47
3.2.5	RECIBIR ARCHIVO.....	47
<b>3.3</b>	<b>MODEM.....</b>	<b>47</b>
3.3.1	DIAGRAMA EN BLOQUES.....	48
3.3.2	INTERFAZ RS-232.....	48
3.3.3	MODULADOR FSK.....	51
3.3.4	DEMULADOR FSK.....	54
3.3.5	CIRCUITO PUSH TO TALK.....	58
<b>3.4</b>	<b>DIAGRAMA CIRCITAL TOTAL.....</b>	<b>61</b>
<b>3.5</b>	<b>CARACTERISTICAS DEL SISTEMA.....</b>	<b>62</b>
<b>3.6</b>	<b>RESTRICCIONES DEL SISTEMA.....</b>	<b>62</b>
<b>4</b>	<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>64</b>
<b>4.1</b>	<b>PRUEBAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>64</b>
4.1.1	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE DOS COMPUTADORES.....	64
4.1.2	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE DOS COMPUTADORES UTILIZANDO EL MODEM FSK.....	64
4.1.3	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN UTILIZANDO EL MODEM FSK Y EL PROTOCOLO G-TOR.....	65
<b>4.2</b>	<b>PRUEBAS DE CAMPO.....</b>	<b>66</b>
4.2.1	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE VOZ.....	66
4.2.2	PRUEBAS DE INTEGRACIÓN DEL SISTEMA.....	66
4.2.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA COMPLETO.....	67
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>
	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>71</b>
	<b>ACRÓNIMOS.....</b>	<b>72</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA .....	4
FIGURA 1.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO .....	4
FIGURA 1.3. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS TERRESTRES .....	7
FIGURA 1.4. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS CELESTES .....	7
FIGURA 1.5. CAPAS DE LA IONÓSFERA .....	9
FIGURA 1.6. LA IONÓSFERA DURANTE EL DÍA .....	10
FIGURA 1.7. LA IONÓSFERA DURANTE LA NOCHE.....	10
FIGURA 1.8. COMPONENTES DE UNA ESTACIÓN DIGITAL .....	17
FIGURA 2.1. MODULACIÓN FSK.....	25
FIGURA 2.2. MODULACIÓN AFSK.....	25
FIGURA 2.3. CICLOS ARQ DE LOS MODOS TOR.....	27
FIGURA 2.4. ESQUEMA ARQ .....	30
FIGURA 2.5. SINCRONIZACIÓN EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS.....	33
FIGURA 2.6. SINCRONIZACIÓN DE UNA TRAMA DE CONMUTACIÓN.....	34
FIGURA 2.7. ESTRUCTURA DE UNA TRAMA G-TOR ANTES DEL INTERCALAMIENTO.....	34
FIGURA 2.8. ESTRUCTURA DE UNA TRAMA DE CONMUTACIÓN G-TOR .....	36
FIGURA 3.1. SEÑALES EXTERNAS QUE INTERACTÚAN CON EL MODEM .....	47
FIGURA 3.2. DIAGRAMA EN BLOQUES DEL MODEM.....	48
FIGURA 3.3. ESQUEMA INTERNO DEL MAX-232 .....	49
FIGURA 3.4. REPRESENTACIÓN DEL CARÁCTER 'C' EN EL PUERTO .....	49
FIGURA 3.5. INTERFAZ RS-232.....	50
FIGURA 3.6. REPRESENTACIÓN DEL CARÁCTER 'C' TRANSMITIDO POR LA INTERFAZ RS-232 .....	50
FIGURA 3.7. ESQUEMA INTERNO DEL XR-2206.....	52
FIGURA 3.8. MODULADOR FSK.....	53
FIGURA 3.9. SEÑAL FSK .....	53
FIGURA 3.10. ESQUEMA INTERNO DEL XR-2211 .....	55
FIGURA 3.11. DEMODULADOR FSK.....	57
FIGURA 3.12. CIRCUITO PUSH TO TALK .....	59
FIGURA 3.13. DIAGRAMA CIRCUITAL TOTAL .....	61

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1. BANDAS DEL ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA .....	5
TABLA 1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS BANDAS.....	5
TABLA 1.3. DISTANCIAS DE SALTO .....	12
TABLA 1.4. CANALES DE LA BANDA CIUDADANA .....	15
TABLA 2.1. CICLOS DE LOS MODOS TOR .....	26
TABLA 2.2. SEÑALES DE CONTROL.....	35
TABLA 2.3. TABLA DEL CÓDIGO RLEN .....	40
TABLA 2.4. TABLA DE HUFFMAN PARA EL CÓDIGO ASCII.....	42
TABLA 2.5. TABLA DE HUFFMAN PARA EL CÓDIGO HUFFMAN .....	43
TABLA 3.1. COMPONENTES DE LA INTERFAZ RS-232 .....	51
TABLA 3.2. COMPONENTES DEL MODULADOR FSK .....	54
TABLA 3.3. COMPONENTES DEL DEMODULADOR FSK .....	58
TABLA 3.4. COMPONENTES DEL CIRCUITO PUSH TO TALK.....	60

## INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones en Alta Frecuencia (HF - High Frequency) han sufrido una revolución tecnológica muy importante durante la última década, por lo que se han convertido en una forma de comunicación muy popular, utilizada por muchas personas que viven y trabajan en sitios remotos. Las nuevas tecnologías han permitido que sectores de la sociedad o comunidades muy apartadas con muy bajas posibilidades de implementar infraestructuras modernas de telecomunicaciones, tengan acceso a la comunicación y hoy en día acceso a las redes mundiales de información.

Debido al desarrollo de los sistemas de comunicación digital, los dispositivos integrados de alta escala de integración, los microprocesadores, los microcontroladores y ahora los procesadores digitales de señales, las telecomunicaciones se han orientado a soportar otro tipo de servicios diferentes al de voz, estos nuevos servicios se encuentran relacionados con la transmisión de datos.

Las comunicaciones en la banda HF se realizan a través de la reflexión y refracción de la señal electromagnética en la Ionósfera, esta capa de la atmósfera se encuentra variando constantemente dependiendo del mes del año, de la hora del día y de las condiciones climáticas reinantes, por ello la utilización de esta banda siempre ha sido considerada como de baja confiabilidad y con un alto nivel de ruido. Esta confiabilidad puede ser incrementada si se utilizan protocolos de comunicación redundantes, con esquemas de modulación digital. Las velocidades de transmisión de datos que se pueden alcanzar no son altas (del orden de los 300bps) con una confiabilidad de igual manera baja, pero una gran ventaja es que gracias a las múltiples reflexiones de la señal en la Ionósfera y en la misma superficie de la tierra, la onda de radio puede alcanzar grandes distancias, llegar a puntos distantes geográficamente donde no existe ningún tipo de infraestructura de telecomunicaciones, ni vías de acceso y donde este tipo de sistemas puede ser utilizado al menos en servicios básicos de comunicación (voz, correo electrónico, facsímil), como es el caso de nuestro país (Colombia) y donde puede ser orientado a aplicaciones en telé-educación, tele-medicina, telé-agricultura, telecomunicaciones y medio ambiente, telecomunicaciones y gobierno, y telecomunicaciones y desarrollo rural.

La utilización de la banda de HF para la transmisión de datos, tiene un gran campo de acción, por lo cual este trabajo de grado ha permitido efectuar una comunicación entre dos estaciones de radio, en una distancia corta y con una transmisión de datos a baja velocidad, de acuerdo a un protocolo de comunicaciones utilizado.

Este documento esta formado por cuatro capítulos:

En el capítulo 1 se hace una descripción general de las comunicaciones en la banda de HF, resaltando las generalidades de las comunicaciones digitales en HF.

En el capítulo 2 se hace una descripción detallada del protocolo de comunicaciones utilizado en la implementación, así como de los elementos que constituyen una estación de radio HF digital.

En el capítulo 3 se describe las funciones principales de la aplicación y el diseño e implementación del modem utilizado para la transmisión de datos.

El capítulo 4 se describe las pruebas realizadas en todas las fases del proyecto del sistema de transmisión de datos en HF.

# 1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA RADIO HF

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones en Alta Frecuencia (HF - High Frequency) han sufrido una importante revolución tecnológica durante la última década. Han sido conocidas como una forma de comunicación de voz muy popular, utilizada por personas que viven y trabajan en sitios remotos y distantes. Debido al desarrollo de los sistemas de comunicación digital, los circuitos integrados de Alta Escala de Integración (HSI - High Scale Integration), los microprocesadores, los microcontroladores y ahora los Procesadores Digitales de Señal (DSP - Digital Signal Processor), las telecomunicaciones se han orientado a soportar otro tipo de servicios diferentes al de voz, estos nuevos servicios se encuentran soportados en la transmisión de datos. Lo anterior ha permitido que zonas muy distantes o comunidades remotas con bajas posibilidades de implementar infraestructuras modernas de telecomunicaciones, tengan acceso a las redes mundiales de información.

## 1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las ondas de radio son señales electromagnéticas de frecuencia comprendidas entre unas pocas decenas de Hertz (Hz) hasta los Gigahertz (GHz), y están formadas por un campo magnético y un campo eléctrico que se propagan por el espacio formando una onda electromagnética.

Las variaciones del campo magnético (H) generan el campo eléctrico (E) y viceversa, y ambos se encuentran orientados formando un ángulo de  $90^\circ$  entre sí y con la dirección de propagación de la onda electromagnética. En la figura 1.1 se puede observar como se propaga una onda plana en un espacio libre y la relación entre sus distintos parámetros.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $f$ ) son dos características relacionadas entre sí por la velocidad de propagación de la onda electromagnética que es una constante ( $c$ ) igual a la velocidad de la luz en el vacío (300.000 Km/seg).

La frecuencia se define como la variación de los campos E y H en un punto por segundo y se expresa en Hertz (ciclos por segundo).

La longitud de onda se define como la distancia entre dos crestas consecutivas (máximos o mínimos).

La relación que se establece entre la longitud de onda y la frecuencia de propagación está dada por la siguiente expresión:  $\lambda = c / f$

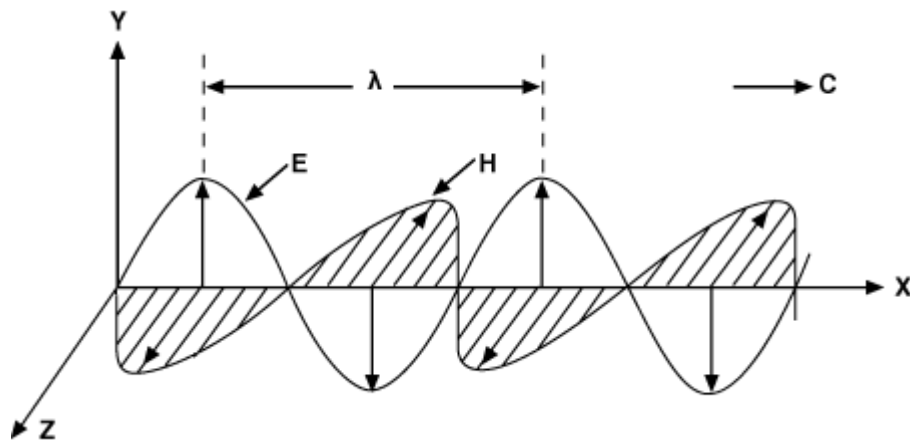


Figura 1.1. Campo Eléctrico y Magnético de una Onda Electromagnética

Las ondas de radio coexisten con otro tipo de ondas electromagnéticas, formando el espectro electromagnético, figura 1.2. El espectro electromagnético está compuesto por las ondas de radio, los infrarrojos, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamas. Todas estas son formas de energía similar, pero se diferencian en la frecuencia y por tanto en su longitud de onda.

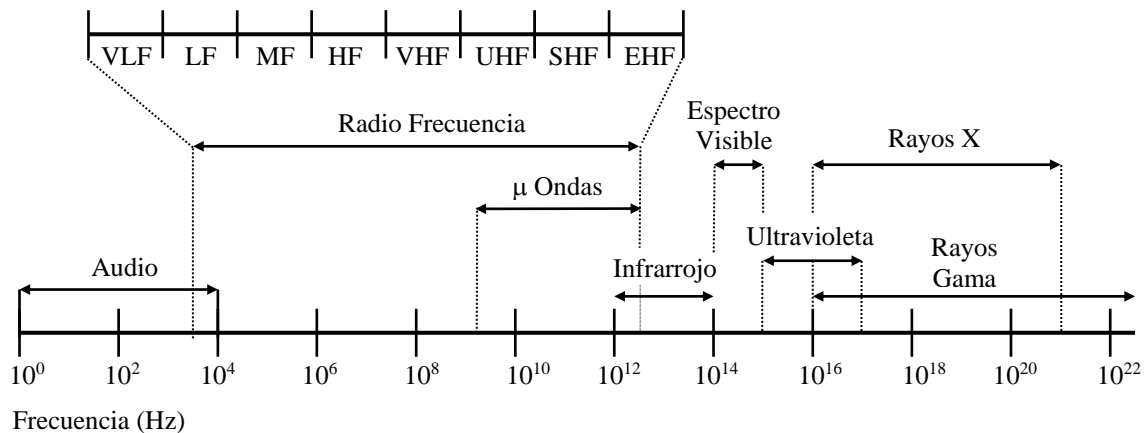


Figura 1.2. Espectro Electromagnético

### 1.3 ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA

Se denomina espectro de radiofrecuencia a la parte del espectro electromagnético ocupado por las ondas de radio, las cuales se utilizan en telecomunicaciones. El espectro de radiofrecuencia se clasifica a su vez en distintas bandas, que engloban frecuencias con propiedades similares. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU - International Telecommunications Union) ha definido las bandas de frecuencia del espectro como se muestra en la tabla 1.1.

<b>Banda No</b>	<b>Designación de Frecuencia</b>	<b>Subdivisión Métrica</b>	<b>Rango de Frecuencia</b>
4	Muy Baja Frecuencia (VLF)	Ondas Miriamétricas	3 - 30 KHz
5	Baja Frecuencia (LF)	Ondas Kilométricas	30 - 300 KHz
6	Media Frecuencia (MF)	Ondas Hectométricas	300 - 3000 KHz
7	Alta Frecuencia (HF)	Ondas Decamétricas	3 - 30 MHz
8	Muy Alta Frecuencia (VHF)	Ondas Métricas	30 - 300 MHz
9	Ultra Alta Frecuencia (UHF)	Ondas Decimétricas	300 - 3000 MHz
10	Super Alta Frecuencia (SHF)	Ondas Centimétricas	3 - 30 GHz
11	Extra Alta Frecuencia (EHF)	Ondas Milimétricas	30 - 300 GHz

Tabla 1.1. Bandas del Espectro de Radiofrecuencia

En la tabla 1.2, se muestran las características de propagación y los usos típicos de las bandas de radiofrecuencia.

<b>Banda</b>	<b>Características de Propagación</b>	<b>Usos Típicos</b>
VLF	Propagación por onda terrestre, atenuación débil; características estables.	Enlaces por radio para larga distancia.
LF	Similares a las anterior, pero con características menos estables.	Enlaces por radio para larga distancia, asistencia a la navegación aérea y marítima.
MF	Similares a las anteriores, pero con elevada absorción durante el día, propagación ionosférica durante la noche.	Radiodifusión AM.
HF	Propagación ionosférica con fuertes variaciones estacionales durante varias horas del día.	Comunicaciones de todos los tipos para media y larga distancia.
VHF	Propagación por onda directa, esporádicamente propagación ionosférica o troposférica.	Enlaces de radio para corta distancia, televisión, frecuencia modulada comercial, asistencia a la navegación aérea.
UHF	Exclusivamente propagación por onda directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, televisión, radar, comunicaciones satelitales, sistemas celulares.
SHF	Como la anterior.	Enlaces de radio, radar, comunicaciones satelitales.
EHF	Como las anteriores.	Como la anterior

Tabla 1.2. Características de las Bandas

A su vez la ITU dividió al planeta en tres regiones, en las cuales la distribución de las frecuencias para los distintos usos y servicios son similares para los países que integran una región determinada.

- Región 1: Europa, Africa y Norte de Asia.
- Región 2: América del Norte, América del Sur y Groenlandia.
- Región 3: Pacífico y Sur de Asia.

## 1.4 FORMAS DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO

Los sistemas de radio utilizan la propagación de ondas electromagnéticas a través del espacio para enviar información. Existen dos formas de propagación por las cuales las ondas de radio viajan en el espacio: onda terrestre y onda celeste.

### 1.4.1 Onda Terrestre

Son ondas electromagnéticas que viajan a lo largo de la superficie de la tierra. Este tipo de propagación es afectada por las características eléctricas de la tierra y por la difracción que sufren las ondas a lo largo de la tierra. Las pérdidas producidas por la tierra aumentan rápidamente con la frecuencia, lo que limita este tipo de propagación a frecuencias por debajo de los 2 MHz (desde los 15 KHz).

Las ondas terrestres tienen tres componentes (Figura 1.3):

- Onda directa: viaja en línea recta desde la antena transmisora a la receptora. Para que se establezca este tipo de enlace se necesita que haya visibilidad óptica entre el transmisor y el receptor.
- Onda terrestre reflejada: es la parte de las ondas propagadas, que se reflejan en la tierra entre el transmisor y el receptor. Generalmente degradan el rendimiento del sistema por la diferencia de fase con la onda directa, debido a la diferencia de trayectoria.
- Onda de superficie: sigue la curvatura de la tierra, es la parte de la onda terrestre que es afectada por la conductividad y la constante dieléctrica de la tierra.

Desventajas:

- Las ondas terrestres requieren potencias de transmisión relativamente altas.
- Están limitadas a LF y VLF y necesitan antenas muy grandes.

Ventajas:

- Las ondas terrestres se pueden utilizar para comunicar dos puntos cualquiera del planeta (con suficiente potencia).
- Dependen poco de las condiciones atmosféricas.



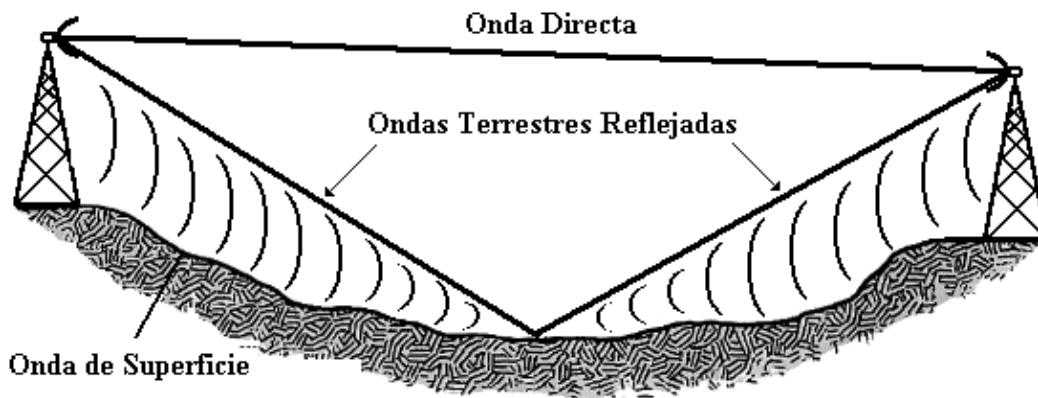


Figura 1.3. Propagación de las Ondas Terrestres

#### 1.4.2 Onda Celeste

En este tipo de propagación la onda de radio que sale de la antena emisora, es refractada en la Ionósfera y regresa a la superficie de la tierra, alcanzando cientos o miles de kilómetros de distancia; dependiendo de la frecuencia, condiciones climáticas y atmosféricas, una señal puede rebotar varias veces, antes de alcanzar el receptor.

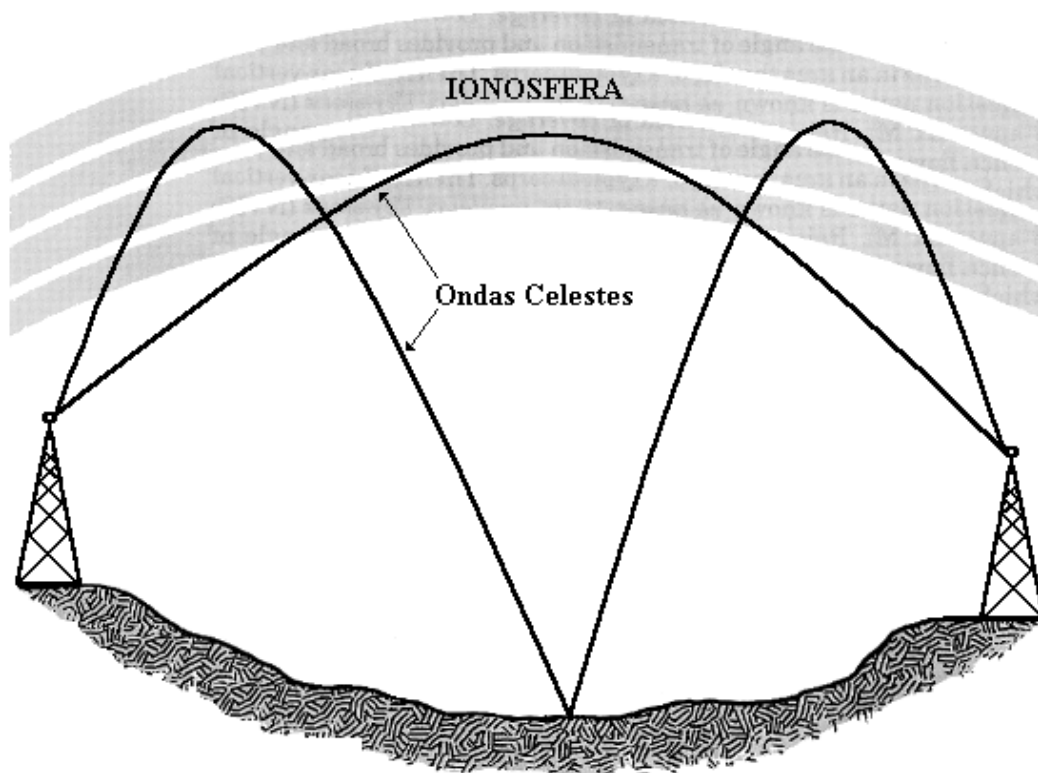


Figura 1.4. Propagación de las Ondas Celestes

## 1.5 GENERALIDADES DE LA BANDA HF

Por convención, la transmisión por ondas de radio en la banda entre 3 MHz y 30 MHz es llamada radio de HF u Onda Corta (SW – Short Wave). Las bandas de frecuencia dentro del espectro de HF son asignadas por tratados internacionales para servicios específicos como: móviles (aeronáutico, marítimo y terrestre), radiodifusión, radioafición, comunicaciones espaciales y radio astronomía. La radio de HF tiene propiedades de propagación que la hacen menos confiable que transmisiones en otras bandas de frecuencias, sin embargo, esta permite comunicaciones a grandes distancias.

La atmósfera es el medio por el que se propagan la mayoría de las ondas de radio, por lo que es importante conocer su estructura básica. La atmósfera alcanza una altura de hasta 600 Km de altura y está compuesta por varias capas. La inferior es la tropósfera, y está situada entre la superficie terrestre y los primeros 10 Km de altitud. Entre los 10 y los 50 Km se encuentra la estratósfera y la ozonósfera. El 99 % de los gases atmosféricos esta contenido entre estas dos regiones. Por encima de los 50 Km y hasta aproximadamente 600 Km se encuentra la ionósfera, la cual se destaca por sus efectos en la propagación de ondas de radio. La magnetósfera comienza alrededor de los 600 Km y se extiende hasta más de 160.000 Km dentro del espacio.

### 1.5.1 La Ionósfera

La ionósfera es la región de las capas altas de la atmósfera (50 - 600 Km de altura) que debido a su ionización, refleja y refracta las señales radioeléctricas de frecuencias no superiores a 30 MHz.

La ionósfera está estratificada y dividida en tres capas o regiones, llamadas la región D, la región E y la región F, que a su vez está formada por dos capas, la capa F1 y la capa F2.

La capa F2 es la capa más alta de la ionósfera, se extiende sobre los 250 Km de altitud desde la superficie terrestre y es la capa encargada de refractar las frecuencias más altas dentro de la banda de HF, por su altitud permite las comunicaciones a mayor distancia y es la más ionizada de todas, su ionización aumenta gradualmente en el día y desaparece en la noche.

La capa F1 se encuentra a una altura entre 150 y 250 Km de la superficie terrestre y existe solamente durante el día. Esta capa permite el paso de algunas ondas que se reflejan en la capa F2 pero también es la encargada de refractar la mayoría de las frecuencias de HF. Durante la noche se va desvaneciendo y se confunde con la capa F2, formando una sola capa llamada F que permanece durante casi toda la noche.

La capa E está a una altura aproximada de 90 Km y su ionización depende directamente del ángulo con que le lleguen los rayos del sol; por lo tanto alcanza su máximo valor de ionización hacia las horas del mediodía. Esta capa desaparece totalmente durante la noche.

Debajo de la capa E está la capa D, a una altura aproximada entre 50 y 90 Km y no interviene en la reflexión de las ondas, sino que por el contrario, produce una absorción de cierto tipo de frecuencias durante algunas horas del día.

Como se puede ver la conformación de estas capas es muy variable y dependiente de las condiciones de la energía del sol y de otros factores climáticos y planetarios.

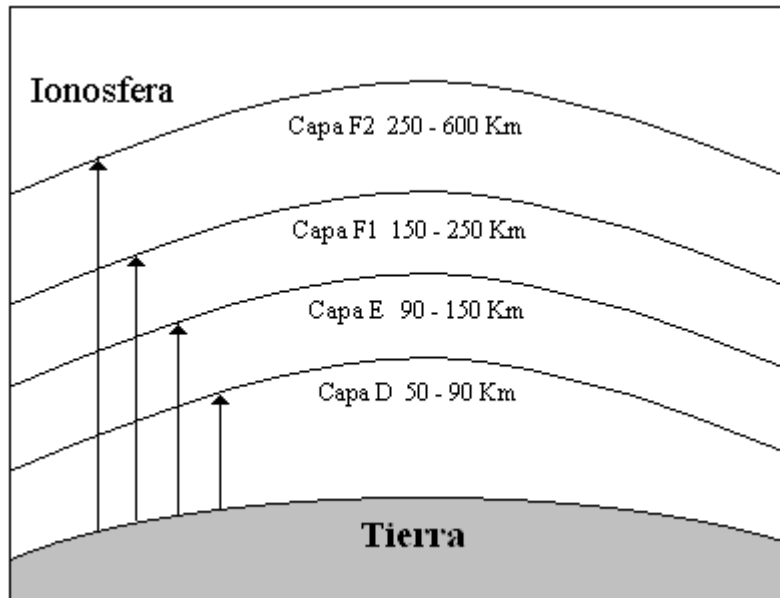


Figura 1.5. Capas de la Ionósfera

## 1.5.2 Características de la Propagación en HF

Las comunicaciones en la banda de HF se realizan a través de la reflexión y refracción de la señal electromagnética en las capas de la ionósfera. La característica distintiva de las ondas de radio de HF es la capacidad de realizar comunicaciones a distancias de miles de kilómetros. Una vez alcanzado el horizonte óptico las señales se refractan en la ionósfera y alcanzan nuevamente la superficie alcanzando distancias considerables. La distancia de salto depende de la frecuencia y de las propiedades de la ionósfera.

### 1.5.2.1 La Ionósfera Durante el Día

Con la radiación ultravioleta proveniente del sol, la capa F se separa en dos, la capa F1 por debajo y la capa F2 por arriba. La capa D, la cual alcanza su máxima ionización al mediodía, absorbe totalmente las señales entre 1 y 10 MHz emitidas desde la tierra, de manera que éstas no llegan a la capa F para ser reflejadas. Debido a estos comportamientos, durante las horas del día las comunicaciones en las bandas de 1,8 MHz y de 3,5 MHz se limitan notablemente a algunos cientos de kilómetros.

Las señales superiores a los 20 MHz atraviesan todas las capas, incluida la F1 y pueden llegar a la capa F2, que mediante la refracción retornan a la tierra. Durante el invierno, al mediodía, la capa F1 desaparece y de esta manera la capa F2 refracta señales de frecuencias más elevadas dentro de la banda de HF.

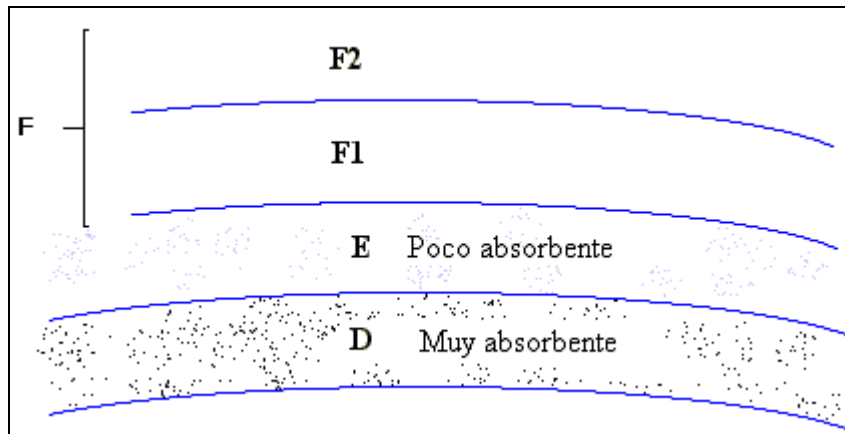


Figura 1.6. La Ionósfera Durante el Día

### 1.5.2.2 La Ionósfera Durante la Noche

Sin radiación solar las capas F1 y F2 se juntan y forman una sola, la capa F, entre 300 y 400 Km sobre la superficie de la tierra, encontrándose esta débilmente ionizada, refractando las señales de hasta 10 MHz aproximadamente, mientras que el resto de las señales se pierden en el espacio exterior. Durante periodos de máxima actividad solar, con ionización nocturna intensa, las señales superiores a los 14 MHz e incluso las de 50 MHz se pueden reflejar en esta capa. La distancia a cubrir en un solo salto se encuentra alrededor de los 4.000 Km y se pueden alcanzar distancias mayores mediante saltos múltiples.

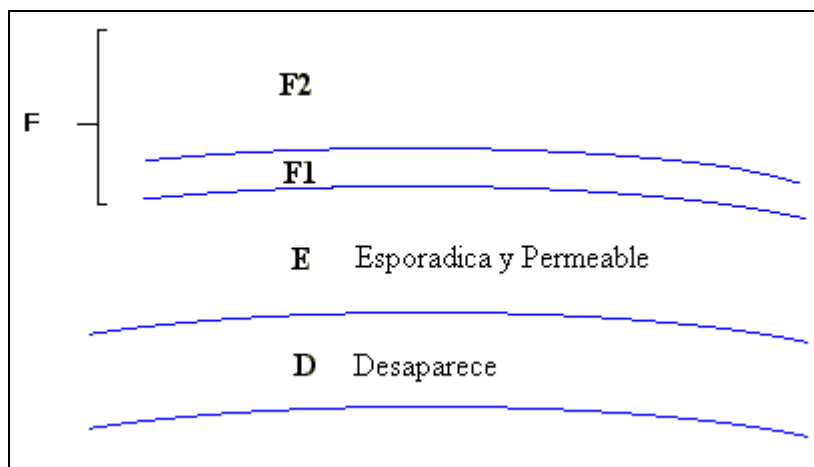


Figura 1.7. La Ionósfera Durante la Noche

### 1.5.2.3 Variaciones de la Ionósfera

Los movimientos de la tierra alrededor del sol y los cambios en la actividad solar contribuyen a las variaciones de la Ionósfera. Hay dos clases principales de estas variaciones: regulares, las cuales son predecibles, e irregulares, las cuales ocurren por el comportamiento anormal del sol.

Las variaciones regulares se clasifican así:

- Diarias: causadas por la rotación de la tierra.
- Estacional: causadas por la progresión norte y sur del sol.
- 27-días: causada por la rotación del sol sobre su eje.
- 11-años: causada por la actividad del ciclo de manchas solares.

Las variaciones irregulares de la Ionósfera son impredecibles, por lo cual deben ser consideradas, ya que pueden causar un efecto degradante en las comunicaciones. Algunas variaciones irregulares son:

E esporádica. Cuando se ioniza excesivamente la capa E, eliminando las reflexiones sobre las capas más altas. También puede causar la propagación inesperada de las señales cientos de kilómetros más allá del rango normal. Este efecto puede ocurrir a cualquier hora del día.

Perturbación Ionosférica Súbita (SID - Sudden Ionospheric Disturbance). Una perturbación súbita de la Ionósfera coincide con una erupción solar y causa la ionización anormal de la capa de D. Este efecto causa la absorción total de todas las frecuencias alrededor de 1 MHz. Puede ocurrir durante horas de luz del día y durar desde unos pocos minutos hasta muchas horas.

Tormentas ionosféricas. Durante estas tormentas, La recepción de las ondas de cielo alrededor de los 1,5 MHz bajan su intensidad y están sujetas a un tipo de desvanecimiento llamado “flutter fading”. Estas tormentas pueden durar muchas horas o días y usualmente se extienden sobre toda la tierra.

### 1.5.3 Características del Enlace de HF

La distancia alcanzada por una transmisión de radio en HF se determina principalmente por la densidad de ionización de cada capa. Las frecuencias más altas, requieren mayor densidad de ionización para que puedan ser refractadas a la tierra. Por lo tanto para cada capa existen unas características y una serie de parámetros que se deben tener en cuenta para lograr la comunicación en un enlace de comunicaciones en la banda de HF.

### 1.5.3.1 Alcance Directo

Se entiende por alcance directo de una estación, como la distancia que existe entre su antena y el horizonte visible desde la misma.

### 1.5.3.2 Distancia de Salto

Es la separación que existe entre el punto de partida y el punto de llegada de una onda que se ha refractado una sola vez en la Ionósfera. Por ello se puede establecer, que los saltos serán más largos cuanto más alta se encuentre la capa ionizada que provoca la refracción y la reflexión y, por el contrario, serán más cortos cuando más baja se encuentre ésta.

Si se considera el punto de la Ionósfera donde se refractan las ondas como si fuese una antena repetidora, fácilmente se puede ver que la distancia de salto es el doble de lo que sería el alcance directo de una antena allí ubicada. Aunque las alturas de las capas ionizadas varían, se pueden establecer fácilmente sus alcances directos y sus distancias de salto, conceptos que son básicos para una predicción confiable de propagación para un enlace cualquiera. La tabla 1.3 muestra las distancias de salto que se pueden alcanzar en cada capa.

Capa Ionizada	Altura Media	Alcance Directo	Distancia de Salto	Observaciones
F2	300 Km	2.200 Km	4.400 Km	Día y noche
F1	200 Km	1.800 Km	3.600 Km	Día
E	100 Km	1.200 Km	2.400 Km	Día

Tabla 1.3. Distancias de Salto

### 1.5.3.3 Angulo de Incidencia

Es el ángulo formado por la trayectoria de la onda con la vertical a la superficie de la tierra del punto de incidencia.

### 1.5.3.4 Altura Virtual

Utilizando frecuencias lo suficientemente bajas para que la onda ingrese a la Ionósfera con un ángulo de incidencia máximo de 90 grados (ondas verticales desde la antena hacia la Ionósfera) siendo retornadas a la tierra, haciendo posible medir la altura de la Ionósfera. Esto se logra midiendo el tiempo que tarda la onda en ir y retornar. Conociendo el tiempo y la velocidad de propagación, la distancia encontrada corresponde a la altura virtual.

### **1.5.3.5 Frecuencia Crítica**

Es la frecuencia de la onda de radio para la cual no se produce ninguna refracción. Todas las frecuencias superiores a la frecuencia crítica atravesarán la Ionósfera sin cambio de dirección y todas las de frecuencia inferior serán reflejadas hacia la tierra. La frecuencia crítica es la medida de la habilidad de la Ionósfera de retornar las ondas a la tierra.

### **1.5.3.6 Frecuencia Máxima Utilizable (MUF – Maximun Usable Frequency)**

Para una determinada distancia y hora habrá un rango de frecuencias de HF que será más apto para las comunicaciones; las frecuencias fuera de ese rango funcionarán pobremente o simplemente no funcionarán.

La frecuencia más alta que puede ser utilizada para comunicaciones en HF con éxito se conoce como Frecuencia Máxima Utilizable (MUF), y la más baja es la Frecuencia Mínima Utilizable (LUF – Lowest Usable Frequency).

Existe un límite superior e inferior para la frecuencia que se desea utilizar. La LUF, depende considerablemente de la potencia del transmisor, ya que la alta potencia hará que el nivel de la señal sea superior al ruido. Pero cuando la frecuencia esta cerca de la MUF, aún señales de baja potencia darán intensidad de señal sorprendentes a largas distancias.

Desde un punto de vista práctico, es útil conocer la MUF para una frecuencia y hora del día en particular en la que se desea tener una comunicación. Siempre es conveniente utilizar la frecuencia más alta posible porque la absorción es menor a altas frecuencias. Por eso la MUF siempre tiene la máxima intensidad de señal en el receptor para una potencia de transmisión dada.

En comunicaciones comerciales se considera una buena práctica utilizar una frecuencia alrededor del 15% por debajo de la MUF. Este valor de frecuencia se conoce como Frecuencia Optima de Trabajo (OWF - Optimum Working Frequency). Debido a que en las estaciones de trabajo, no siempre es posible seleccionar la MUF u OWF. En su lugar se hace uso de las cartas de predicción, las cuales informan sobre la hora del día en la cual las condiciones son óptimas para una distancia dada en una banda en particular.

## **1.5.4 Bandas Existentes o Utilizadas en HF**

Dentro de las frecuencias de onda corta se encuentran unos segmentos de frecuencias bien definidos utilizados por los radioaficionados. De esta forma se pueden comunicar y experimentar sin interferir con otros servicios de radio.

La banda de 80 metros (3.500 KHz – 3.800 KHz). Durante el día, esta banda permite comunicaciones con estaciones que disten hasta los 400 Km. Es una banda muy ruidosa por las descargas atmosféricas. Durante los meses de verano, las comunicaciones nocturnas pueden alcanzar los 2.000 Km, pero el ruido atmosférico dificulta la comunicación con

estaciones débiles. En invierno el ruido atmosférico disminuye, lo cual permite lograr mejores comunicaciones y alcanzar grandes distancias.

La banda de 40 metros (7.000 KHz – 7.100 KHz). Es muy popular entre los radioaficionados debido a su buena propagación durante casi todo el día. La absorción en la capa D no es tan severa como en las bandas mas bajas, lo cual permite saltos de corta distancia a través de las capas E y F. Durante el día, una estación típica puede cubrir un radio aproximado de 800 Km. Durante la noche la comunicación es posible utilizando la capa F2. El ruido industrial y atmosférico no afecta tanto a esta banda, por lo cual se pueden hacer comunicaciones de larga distancia, incluso cuando la actividad solar es muy baja.

La banda de 30 metros (10.100 KHz – 10.150 KHz). Esta banda es única, porque comparte las características de las bandas utilizadas durante el día y las utilizadas en la noche. La absorción de la capa D no es un factor significativo. La propagación en esta banda suele estar abierta durante todo el día en la capa F2, permitiendo saltos de distancias de hasta 3.000 Km, sin embargo en condiciones de baja actividad solar la MUF en algunos trayectos puede caer por debajo de los 10 MHz durante la noche. Generalmente esta banda es utilizada para comunicaciones a larga distancia.

La banda de 20 metros (14.000 KHz – 14.350 KHz). Esta es la banda preferida por los radioaficionados para hacer contactos de larga distancia. Durante cualquier hora del día, en los periodos favorables del ciclo solar, se puede hacer contactos a nivel mundial. En los años de baja actividad solar, la propagación es mayor durante las horas del día. La propagación en esta banda se debe a las reflexiones en la capa F, pudiendo reflejarse la onda varias veces de forma consecutiva y alcanzando así mayores distancias.

La banda de 17 metros (18.068 KHz – 18.168 KHz). Es bastante similar a la de los 20 metros, permite realizar contactos a nivel mundial durante el día. Durante los años de baja actividad solar, la banda puede encontrarse totalmente cerrada.

La banda de 15 metros (21.000 KHz – 21.450 KHz). Es una banda que depende de los cambios en la actividad solar, para lograr comunicaciones a larga distancia. Durante los años de baja actividad solar esta banda suele estar totalmente cerrada, si bien durante los picos del ciclo solar se mantiene abierta por saltos en la capa F2 durante todo el día y parte de la noche.

La banda de 12 metros (24.890 KHz – 24.990 KHz). Esta banda ofrece una propagación que combina lo mejor de las bandas de 10 y 15 metros. Durante los años de moderada actividad solar se encuentra abierta durante las horas del día. Los periodos de baja actividad solar algunas veces pueden causar que la banda se encuentre completamente cerrada.

La banda de 10 metros (28.000 KHz – 29.700 KHz). Esta banda es bien conocida por los cambios en las características y la variedad de modos de propagación. En los años de máxima actividad solar ofrece una propagación excelente, permitiendo comunicaciones a



larga distancia con baja potencia de emisión. Sin embargo, en épocas de baja actividad solar la propagación se reduce drásticamente, permitiendo solamente comunicaciones locales por onda directa.

La banda de 11 metros o Banda Ciudadana (CB - Citizens Band). Como su nombre lo indica, está destinada a las comunicaciones para el ciudadano común y corriente. Ofrece durante el día una propagación excelente en las condiciones altas y medias de la actividad solar. Su ancho de banda es de 26.960 a 27.410 KHz, y se divide en 40 canales, todos los canales son de libre uso, excepto los canales 9, 7 y 17 que dependiendo el estado son canales de emergencia. La tabla 1.4 muestra las frecuencias atribuidas a cada canal dentro de esta banda.

<b>Canal</b>	<b>Frecuencia (KHz)</b>	<b>Canal</b>	<b>Frecuencia (KHz)</b>
1	26.965	21	27.215
2	26.975	22	27.225
3	26.985	23	27.255
4	27.005	24	27.235
5	27.015	25	27.245
6	27.025	26	27.265
7	27.035	27	27.275
8	27.055	28	27.285
9	27.065	29	27.295
10	27.075	30	27.305
11	27.085	31	27.315
12	27.105	32	27.325
13	27.115	33	27.335
14	27.125	34	27.345
15	27.135	35	27.355
16	27.155	36	27.365
17	27.165	37	27.375
18	27.175	38	27.385
19	27.185	39	27.395
20	27.205	40	27.405

Tabla 1.4. Canales de la Banda Ciudadana

La banda ciudadana ocupa un renglón especial dentro de las comunicaciones de aficionados, ya que por ella se ha popularizado en gran forma esta actividad, y además se ha proporcionado un gran servicio a la comunidad, brindando un medio económico y fácil para lograr comunicaciones con diversas aplicaciones. A la vez se puede decir que es la más problemática, pues en algunos países no esta contemplada dentro de las bandas de radioaficionados y por lo tanto se considera ilegal, ya que el único permiso para poder operar dentro de ella es cuando se utiliza para fines comerciales.

Por otra parte se puede decir al respecto que el principal inconveniente de esta banda, es la gran cantidad de operadores que hay en ellas, esto debido a que en algunos casos no existen los controles suficientes, para determinar que estación es legal o ilegal. La legalidad de la misma depende de cada país y el reglamento que se aplique, pero a su vez es difícil de comprobar el correcto uso que se le pueda dar una estación comercial con licencia, pues esta puede apartarse del canal que se le asigna y con solo su nombre y un apodo para su estación ya esta operando como un aficionado en la banda ciudadana.

## 1.6 GENERALIDADES DEL HF DIGITAL

Desde su comienzo, la radio de HF utilizo el código morse para las comunicaciones de datos. Con el tiempo, la evolución de los microprocesadores y el desarrollo de los computadores, permitió el desarrollo y la experimentación de las técnicas digitales. Estas técnicas fueron desarrolladas, teniendo en cuenta la variabilidad del medio de propagación y la velocidad de transmisión en un enlace de radio.

La utilización de estas técnicas, permite hoy en día tener sistemas de radio en HF, capaces de prestar servicios como:

- Correo electrónico (e-mail).
- Transmisión de datos libre de errores, de forma transparente al usuario.
- Transmisión de imágenes.
- Soporte a sistemas de navegación, localización y rastreo.
- Conectividad a redes de computadores e Internet.
- Comunicación de voz y sistemas telefónicos HF.

Una comunicación digital se trata básicamente de digitar la información en el teclado del computador, o disponer de la que tenga almacenada, para entregarla a un elemento, que la procesa (modulación) y la entrega a su vez al transceptor, el cual por medio de la antena adecua la señal para ser transmitida a través del medio de propagación (Aire). O bien, una vez recibida la información en el equipo receptor, el modem a través de la demodulación facilita la información al computador para su proceso, lectura o almacenamiento. La figura 1.8, muestra los elementos que constituyen una estación de HF digital.

Debe intervenir además un segundo elemento que soporta el protocolo, el cual puede ser relativamente simple o complejo, según la modalidad utilizada. Este elemento puede funcionar como un apéndice del computador o bien como un programa especializado del propio computador. Tiene por misión encargarse de la correcta interpretación de los caracteres y, en algunos casos, de la integridad de la información y del manejo de la

operación del dispositivo adaptador de terminal (Modem o TNC), que a su vez controla al equipo de radio (Transceptor).

Para realizar las conexiones entre los diferentes elementos de una estación se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

El modem se debe conectar al computador, a través de uno de sus puertos de comunicaciones (generalmente un puerto RS-232).

Conexión a la toma del micrófono del transceptor, para el envío de las señales.

Conexión a la toma de recepción de audio del transceptor, para recibir las señales captadas por el receptor.

Conexión al control de transmisión y recepción del equipo de radio (PTT - Push To Talk), para controlar la puesta en transmisión de éste, cuando envía, o recibe señales.

### 1.6.1 Componentes de una Estación de HF Digital

Una estación digital de radio HF, esta compuesta por los siguientes componentes (Figura 1.8):

- Computador Personal (PC - Personal Computer)
- Modem / Nodo Terminal de Control (TNC - Terminal Node Controller)
- Transceptor
- Antena

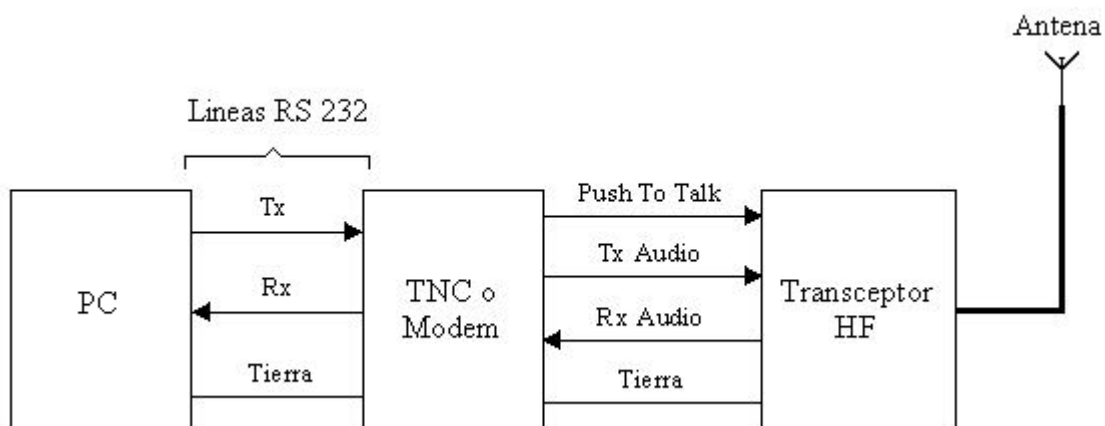


Figura 1.8. Componentes de una Estación Digital

### **1.6.1.1 Computador Personal**

Este dispositivo sirve como interfaz entre el usuario y el sistema. Se encarga de ejecutar la aplicación software, la cual envía diferentes comandos para controlar los dispositivos adaptadores de terminal (TNC ó módems), mediante señales de control. Cumplen funciones de almacenamiento, envío y recepción de información, a través de uno de los puertos disponibles (generalmente RS-232).

### **1.6.1.2 Modem / TNC**

El TNC es básicamente un Ensamblador y Desensamblador de Paquetes (PAD – Packet Assembler Disassembler), con un modem incorporado, el cual se encarga de convertir los dígitos binarios (bits), provenientes del computador, en tonos de audio capaces de modular el transmisor de radio, y en sentido inverso, convierte la señal de audio proveniente del transceptor en dígitos binarios que van a ser entregados al computador para su procesamiento.

La diferencia entre el modem y el TNC, es que este último es muy similar a un computador pero con funciones determinadas, como por ejemplo:

- Controla al transceptor, decide cuando el transceptor recibe y cuando transmite.
- Soporta el protocolo de comunicaciones empleado para la comunicación, dependiendo del modo digital utilizado.
- Envía/lee los datos a transmitir/recibir a través del módem.

Otra alternativa es utilizar un módem y un software especial, el cual se ejecuta en el computador y se encarga de suplir las funciones realizadas por el TNC.

### **1.6.1.3 El Transceptor**

Es un dispositivo que incorpora un receptor y transmisor de radiofrecuencia combinado en una unidad única. Generalmente se utiliza un transceptor de Frecuencia Modulada (FM) tradicional para la banda de 2 metros o un transceptor de Banda Lateral Unica (SSB – Single Side Band) tradicional para bandas Decamétricas.

### **1.6.1.4 Antena**

La antena es uno de los componentes más importantes en una estación de radio. Todo lo que hacen los equipos de una emisora es amplificar y transformar energía de corriente alterna. Sin embargo, para que una estación pueda comunicarse con otra sin recurrir a cables de interconexión, se necesita transformar la energía de corriente alterna en un campo electromagnético o viceversa.

La función de una antena es convertir la energía eléctrica que le entrega el transmisor en energía electromagnética, captar ondas electromagnéticas y transformarlas en señales eléctricas para que puedan ser procesadas por el receptor.

Algunas de las características más comunes que se deben tener en cuenta para diseñar una antena son: Impedancia, ganancia, patrón de radiación, polarización, Relación de Ondas Estacionarias (ROE), y el ancho de banda. Las características de una antena son iguales tanto en transmisión como en recepción.

Los tipos de antena más comúnmente utilizados en las bandas de HF son: la vertical, la dipolo, la direccional (Yagi) y la cúbica.

### **1.6.2 Efectos Sobre las Señales de HF Digital**

Las ondas de radio transmitidas están sujetas a sufrir varios fenómenos que afectan la calidad de las señales en un enlace de HF.

La intensidad de recepción de una señal reflejada en la Ionósfera no siempre es constante; puede sufrir variaciones en muy corto tiempo o producirse variaciones alternativamente durante un intervalo de tiempo. La considerable pérdida de energía de la señal en el espacio en su camino desde el transmisor al receptor, después de refractarse en la Ionósfera, se debe a señales individuales que han seguido diferentes trayectorias.

En un sistema de comunicación digital el deterioro de la señal transmitida, puede ocasionar que la información captada en el receptor tenga errores. Las alteraciones de la señal producidas por el ruido o por otros factores, que bien pueden ser tolerables en comunicaciones de voz, pueden perjudicar mucho a las transmisiones digitales, ya que hacen que las transiciones entre estados sucesivos de la señal digital no queden bien definidos, dificultando al modem del equipo receptor detectar los bits o símbolos binarios transmitidos.

Las pérdidas que afectan una señal durante su trayectoria son: absorción, dispersión, desvanecimiento y ruido.

#### **1.6.2.1 Absorción**

Este fenómeno es una fuente importante de pérdida de señal y se presenta en la Ionósfera. Esta absorción tiene lugar principalmente en la región D a alturas entre 50 y 90 Km, y la cantidad es proporcional a la longitud de la trayectoria en la capa; cuanto más larga es la trayectoria, tanto mayor es la absorción. Esto significa que la absorción aumenta en función del número de saltos y, por lo tanto, también con la distancia que media entre el transmisor y el receptor. En las latitudes medianas (40° - 70°), se puede añadir que la cantidad de absorción por salto depende de factores tales como el número de manchas solares, el ángulo

de elevación del haz (que depende de las características de la antena transmisora), de la frecuencia, y de la hora del día.

### **1.6.2.2 Dispersión**

La dispersión de la señal, tiene lugar al penetrar en las capas ionosféricas. La cantidad de dispersión dependerá del grado de ionización de las capas penetradas y será inversamente proporcional a la frecuencia utilizada (cuanto más alta es la frecuencia, menor dispersión se produce).

### **1.6.2.3 Desvanecimiento**

El reforzamiento y debilitamiento de las señales de onda corta debido a cambios en la intensidad de campo instantánea en el extremo receptor se conoce como desvanecimiento.

En HF el desvanecimiento tiene dos consecuencias para las señales con modulación digital: Por un lado, las rápidas variaciones de la amplitud de la señal recibida dan lugar a que se pueda perder parte de la información transmitida, o da lugar a errores en la interpretación de la información.

Existen varias clases de desvanecimiento: por interferencia, por absorción, por salto, por polarización y selectivo.

El desvanecimiento por interferencia es bastante general y es causado por señales que son radiadas en el mismo momento y que llegan a la antena receptora en momentos ligeramente diferentes (diferencia de fase). Como la señal en la antena receptora es el resultado de la suma de muchas ondas, es evidente que debido a la diferencia de tiempo se pueden amplificar o debilitar unas a otras, y el efecto es una señal fluctuante. Este tipo de desvanecimiento es causado por pequeñas irregularidades en la densidad electrónica de la capa reflectora y puede comprenderse más fácilmente si tenemos presente que un haz de ondas de radio no se refracta en un solo punto de la Ionósfera, sino sobre una extensa región.

El desvanecimiento por salto puede ocurrir cuando la frecuencia máxima utilizable disminuye en función del tiempo, como ocurrirá cuando hay un cambio día/noche durante el tiempo de transmisión. En un momento dado, las propiedades reflectoras disminuyen tanto que la señal, comienza a desvanecerse y se vuelve crítica, después de lo cual las señales desaparecen completamente.

El desvanecimiento por polarización, es causado por la Rotación Faraday. Las antenas en HF normalmente son de polarización lineal, lo que provoca que el nivel de campo resultante  $E$  captado por la antena receptora esté influenciado por dicha variación elíptica.

El desvanecimiento selectivo ocurre cuando una de las bandas laterales se desvanece más lentamente que la otra, provocando una distorsión del sonido, es padecido solamente por transmisores en AM.

En términos generales, el desvanecimiento depende de la frecuencia; es más rápido en las frecuencias altas que en las bajas.

#### **1.6.2.4 Ruido**

Se conoce como ruido a toda perturbación inevitable sobre la señal que se desea transmitir.

El efecto del ruido presente en un sistema HF, puede deteriorar las señales transmitidas, y provocar errores en recepción. Un impulso de ruido puede alterar una señal digital, y si es de amplitud considerable comparada con la amplitud de la señal, puede dar lugar a que un bit en estado lógico cero sea detectado como bit en estado lógico 1 (el detector detecta el impulso de ruido como si fuera un impulso de señal); Se produce un error al decodificar el carácter recibido. Pero un ruido muy continuo puede ocultar una señal digital, y entonces el receptor simplemente deja de recibir algunos caracteres (no los oye). Esto se ha de tener en cuenta en canales muy ruidosos como pueden ser los canales de radio en HF; en VHF y frecuencias superiores son bandas mucho más limpias, y por tanto las transmisiones están mucho más libres de errores de decodificación de la señal recibida debidos al ruido.

También está comprobado que en canales con mayor nivel de ruido, es mejor trabajar a velocidades de transmisión menores, que en canales más limpios de ruido. Trabajar a menor velocidad obviamente es más lento, pero es menos afectado por el ruido y la transmisión es más fiable.

El ruido es causado por factores externos e internos, pero el ruido externo es más predominante que el interno y se clasifica de la siguiente forma:

Ruido atmosférico, que se debe principalmente a las descargas eléctricas durante tormentas. Como las tormentas ocurren más frecuentemente sobre zonas terrestres, aquí hallamos los niveles más altos de ruido. Además, la distribución del ruido sobre la superficie de la tierra depende de la hora del día, de la temporada y de la frecuencia de trabajo. Los valores de ruido son más altos en las áreas terrestres tropicales, pero varían con la estación.

Ruido solar: El sol, radia cierta cantidad de energía en todas las frecuencias que experimentamos como ruido (generado en oscilaciones aleatorias de los electrones). En condiciones normales, el efecto de esta radiación térmica no es muy grande, pero se suma al nivel general de ruido de la Tierra. Cuando se ha puesto el sol, varias constelaciones del firmamento realizan contribuciones al nivel de ruido, especialmente a frecuencias por encima de 10 MHz. Este ruido galáctico, junto con el ruido atmosférico, determinan el nivel de ruido en lugares más alejados de las áreas edificadas.

Ruido industrial: (tráfico, aparatos domésticos) y el producido por el propio equipo de recepción (movimientos de electrones).

### **1.6.3 Normas De Regulación De La ITU Para HF y FSK**

**Recomendación F.436:** Configuración de frecuencias de voz, canales telegráficos con desplazamiento de frecuencia sobre circuitos HF.

**Recomendación F.764:** Requerimientos mínimos para los sistemas de radio en HF utilizando un protocolo de transmisión por paquetes.

**Recomendación F.1110:** Sistemas de radio adaptativos para frecuencias por debajo de los 30MHz.

**Recomendación P.533:** Método de predicción de propagación en HF.

**Recomendación SM.1235:** Funciones de desempeño para sistemas de modulación digital en un ambiente de interferencia.

**Recomendación SM.1266:** Sistemas MF/HF adaptativos.



## 2 FUNDAMENTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

### 2.1 INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones digitales, dentro de la comunidad de radioaficionados, han tenido un auge importante durante las cinco décadas pasadas, y especialmente en la década pasada. Desde el final de la segunda guerra mundial hasta comienzos de la década de los 80, la radio telegrafía, mejor conocida como Radio Teletipo (RTTY – Radio TeleTYpe), era el único modo de HF digital utilizado por los radioaficionados. Hasta que en 1983, AMTOR (Amateur Teleprinter Over Radio) hizo su aparición, coincidiendo con la reciente popularización de los computadores personales. AMTOR fue el primer modo de comunicación digital para radioaficionados en ofrecer transmisiones de texto sin errores.

El Radio Paquete (Packet Radio) apareció a mediados de la década de los 80 y por una época, fue el modo más popular de comunicación digital utilizado por los radioaficionados. A medida que la tecnología de los microprocesadores comenzó a ser más sofisticada, fueron apareciendo nuevos modos, tales como el PACTOR, CLOVER y el G-TOR, capaces de intercambiar datos sin errores, bajo condiciones adversas (señales débiles, interferencia, ruido, etc.). A finales de los 90 y con la evolución de la tecnología de los computadores personales, se creó un nuevo modo de comunicación digital el PSK31, similar al funcionamiento del RTTY, pero funciona en tiempo real y con mayor resistencia al ruido.

En los primeros años del siglo XXI, esta evolución ha continuado y se ha seguido experimentado e investigando, en lo referente al ancho de banda, las potencias máximas utilizadas, las antenas, etc, haciendo que los radioaficionados diseñen e implementen nuevos modos de comunicación digital tales como: MSFK16, MT-63, HELLSCHREIBER, etc, que tratan de combatir algunas de estas limitaciones o los efectos de las mismas. Todos estos modos tienen en común que se basan en el empleo de técnicas de procesamiento digital de señal. Se utilizan tanto procesadores de propósito general como los Pentium o similares, realizando la digitalización y la modulación con tarjetas de audio o interfaces específicas, como tarjetas de evaluación DSP que incluyen Codecs (Codificadores/Decodificadores) de calidad audio.

Otra poderosa herramienta de comunicación que ha permitido a los radioaficionados intercambiar información y software de una manera rápida y confiable es la Internet. El desarrollo de la Telaraña de Cobertura Mundial (WWW - World Wide Web) ha creado una nueva forma de promover y dar a conocer de forma global los aspectos favoritos de la radioafición. Mientras que las nuevas ideas y aplicaciones se difundieron a través de la red, las computadoras se convirtieron en componentes esenciales de las estaciones digitales de radio modernas. Por ejemplo, en el año 2000, más del 90% de los miembros de la Liga Americana de Radio (ARRL - American Radio Relay League) utilizaban computadores en sus estaciones de radioaficionado y más del 80% tenía acceso a Internet.

El explosivo crecimiento de la Internet ha causado un gran impacto en las comunicaciones digitales en HF.

## 2.2 VELOCIDAD DE UNA TRANSMISIÓN DIGITAL

Fundamentalmente, todas las comunicaciones digitales se basan en el mismo principio: La codificación de la información a tratar (caracteres a transmitir o recibir), en un conjunto de dígitos binarios claramente definidos.

5 voltios podría representar un 1 lógico → estado significativo alto.  
0 voltios podría representar un 0 lógico → estado significativo bajo.

Se considera estados significativos de una línea a todos aquellos niveles de tensión que representen informaciones distintas. Si se dispone de dos niveles de tensión para representar la información, entonces sólo se podrá señalar un bit en cada estado. Si en lugar de dos, se utilizarán cuatro niveles de tensión, se podría agrupar la información a transmitir de modo que cada nivel de tensión represente dos bits. En este caso se pueden transmitir dos bits de información por cada intervalo significativo de tiempo.

Se puede definir la velocidad de modulación como el número de veces por segundo que la señal cambia su valor en la línea o medio de transmisión. Esta velocidad se mide en Baudios (Bd). El número de baudios determina la cantidad de cambios de estado por segundo que se producen en una transmisión. Cuantos más estados, más cantidad de bits por segundo se podrán transmitir. La expresión matemática que define la velocidad de modulación viene dada por:  $V_m = \frac{1}{T}$ , siendo T el intervalo de tiempo consumido por un estado.

Como se ha visto, un cambio de estado puede implicar la transmisión de más de un bit de información. Por lo tanto, el concepto de baudio esta ligado directamente a las características del medio de transmisión y corresponde con la cantidad de veces que la señal portadora oscila (cambia de estado) por unidad de tiempo.

Se define ahora la velocidad de transmisión como el número de bits transmitidos por segundo. Se mide en bits por segundo (bps). En general, si el número de estados posibles de la línea de comunicación es n, a cada estado le corresponderán  $\log_2 n$  bits de información, por lo tanto la velocidad de transmisión será:

$$V_t = \frac{1}{T} (\log_2 n) = V_m (\log_2 n)$$

Solo en el caso de tener dos estados significativos ( $n = 2$ ), el número de baudios coincidirá con la cantidad de bits por segundo que se pueden transmitir por la línea.

### 2.3 MÉTODOS DE MODULACIÓN DIGITAL UTILIZADOS EN RADIO HF

En una comunicación digital vía radio, los dígitos binarios se utilizan para modular una portadora de audio. Dentro del ámbito de las comunicaciones digitales a estos “unos” binarios se le suele dar el nombre de Marca y a los “ceros” el nombre de Espacio.

Sin embargo los métodos más utilizados para modular una señal portadora de audio en transmisiones digitales por radio HF son:

Manipulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK - Frequency Shift Keying): se utiliza la marca y el espacio para modular directamente la portadora de Radio Frecuencia (RF - Radio Frequency).

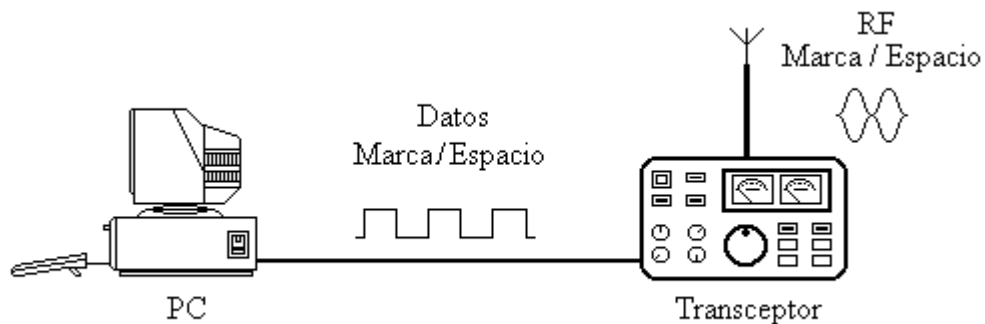


Figura 2.1. Modulación FSK

Manipulación por Desplazamiento de Audiofrecuencia (AFSK - Audio Frequency Shift Keying): En este caso se modula la portadora RF con un par de frecuencias de audio bien definidas, una para la marca y otra para el espacio. A la diferencia entre estas dos frecuencias se conoce como desplazamiento (shift), el cual depende de la modalidad utilizada y el servicio (radioaficionados, agencias de noticias, radiodifusión meteorológica, etc.).

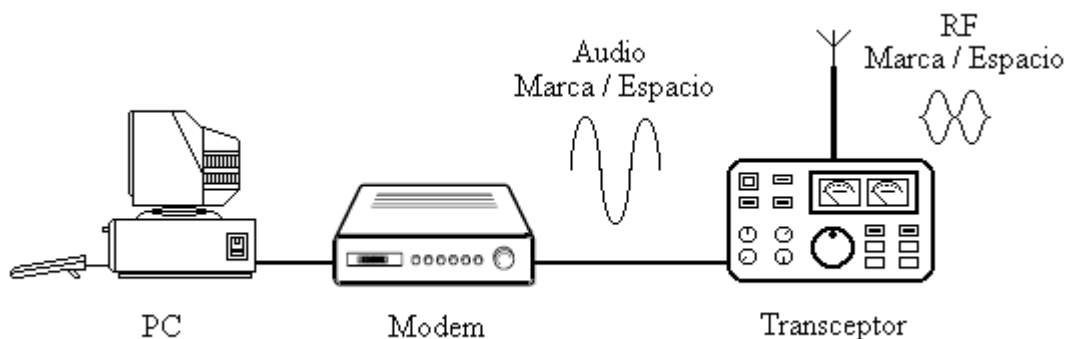


Figura 2.2. Modulación AFSK

La mayoría de modos digitales se transmiten utilizando AFSK. Además tiene como ventaja que es inmune a ruidos o chasquidos de conmutación al realizar los cambios de frecuencia. En FSK el ajuste del desplazamiento es bastante crítico, pues se realiza a nivel del oscilador de radiofrecuencia, y por el contrario en AFSK, el desplazamiento ya está establecido a nivel de la portadora de audiofrecuencia, y por lo tanto, es bastante estable, y no necesita reajustes al cambiar de frecuencia o banda de trabajo. Sin importar cual de los dos métodos sea utilizado, la señal de RF transmitida es idéntica.

Otros métodos utilizados son: Manipulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK - Amplitude Shift Keying) y Manipulación por Desplazamiento de Fase (PSK - Phase Shift Keying). En el caso del ASK, la amplitud de la onda se altera de acuerdo con la variación de la señal de información, por lo cual este tipo de modulación es bastante sensible a ruidos y distorsiones. En el caso de la modulación PSK, los cambios de fase de la señal portadora son los que transmiten la información digital. Algunos modos digitales más avanzados utilizan más de dos tonos, en los cuales un cambio en la señal transmitida puede representar dos o más bits de datos.

Por convención los modos digitales utilizan la Banda Lateral Inferior (LSB – Low Side Band) en todas las bandas. La marca siempre es la frecuencia de RF más alta y el espacio la frecuencia más baja. Los códigos, velocidad, desplazamiento y las frecuencias de marca y espacio varían de una modalidad a otra, pero las diversas formas de modulación son comunes a cada una de ellas.

## 2.4 MODOS TOR

TOR es un acrónimo de Teleprinting Over Radio. Tradicionalmente es utilizado para describir tres modos populares de operación (libres de error), AMTOR, PACTOR y G-TOR.

Los modos TOR tienen dos modos diferentes de transmisión: Corrección de Errores en Recepción (FEC - Forward Error Correction) y Petición Automática de Retransmisión (ARQ - Automatic Repeat reQuest). FEC es utilizado habitualmente para las llamadas CQ (llamada general) y Broadcasting (Radiodifusión), mientras que ARQ es utilizado para establecer un QSO (comunicado) con una estación particular.

Los protocolos especifican la duración del ciclo, los datos, y el reconocimiento. Por lo tanto son fáciles de identificar, la tabla 2.1 muestra la duración de los ciclos empleados en los modos TOR.

Modo	Duración del Ciclo	Datos	Reconocimiento
Amtor	0,45 segundos	0,21 segundos	0,07 segundos
Pactor	1,25 segundos	0,96 segundos	0,12 segundos
G-tor	2,40 segundos	1,92 segundos	0,16 segundos

Tabla 2.1. Ciclos de los Modos TOR

La figura 2.3, muestra una comparación de los ciclos ARQ utilizados por los modos TOR.

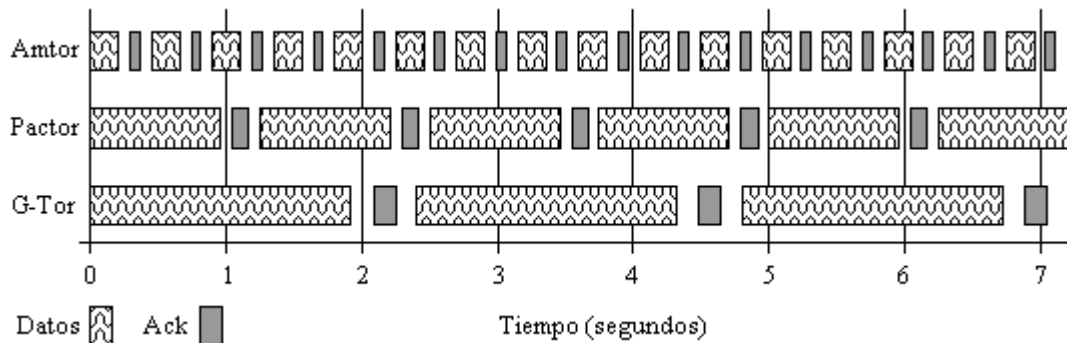


Figura 2.3. Ciclos ARQ de los Modos TOR

## 2.5 PROTOCOLO G-TOR

El protocolo de comunicaciones de datos G-TOR (Golay-coded Teleprinting Over Radio) es una innovación del equipo técnico de Kantronics Corporation. Fue desarrollado para el intercambio de datos digital entre estaciones operando en la bandas de radioaficionados de HF. Sus principales características son:

- Utiliza un esquema ARQ híbrido en combinación con un código invertible de media velocidad Golay FEC.
- Utiliza la compresión Huffman y el código Run Length para reducir la redundancia de los datos en cada transmisión.
- Es adaptativo en velocidad de acuerdo a la calidad del enlace (100, 200 o 300 baudios), dependiendo del número de retiros intentados.
- Utiliza modulación FSK con desplazamiento de 200 Hz.

A continuación se describen cada una de las características nombradas anteriormente, tratando de resaltar los aspectos mas importantes de cada una de ellas.

### 2.5.1 Código Golay

El código Golay se utiliza en el protocolo G-TOR por su simplicidad y por sus propiedades matemáticas, lo mas notable, es el hecho de que es un código invertible de media velocidad (el número de bits de paridad es igual al número de bits de información). Un código invertible es aquel en donde los bits de datos se pueden recuperar de los bits de paridad a través del codificador Golay.

La propiedad de media velocidad permite que la formación de las tramas de paridad tenga la misma longitud que las tramas de datos.

El poder del código Golay se puede observar en la siguiente expresión, la cual da la probabilidad de uno o más errores en un bloque de n-bits con una Tasa de Error de Bit (BER - Bit Error Rate) del canal igual a  $\varepsilon$  :

$$\Phi = \sum_{j=0}^t \frac{(n)!}{(j)!(n-j)!} \varepsilon^j (1-\varepsilon)^{n-j}$$

Donde  $\Phi$  es la probabilidad de que el (24,12) decodificador Golay no sea capaz de corregir todos los errores en un bloque de n-bits ( $n = 24$  y  $k = 12$ ), y t es la capacidad de corrección del código. El código Golay extendido es capaz de corregir tres o menos errores, los cuales pueden ocurrir en cualquier combinación en un bloque de 24 bits, en este caso  $t = 3$ .

Ya que el código Golay genera 12 bits de paridad por cada 12 bits de datos, el uso del código en cada transmisión podría disminuir la tasa de transmisión de datos total en un factor de  $\frac{1}{2}$  (la mitad). Esto es una buena característica cuando las condiciones del enlace son malas, por lo tanto es necesario utilizar el código en cada transmisión para remover los errores, sin embargo, en un enlace con buenas condiciones los bits de paridad son un encabezamiento innecesario mientras ellos no sean necesarios.

La solución a este problema, es utilizar el código Golay solo cuando sea necesario, utilizando un procedimiento híbrido, en el cual el sistema opera en un modo ARQ convencional hasta que los errores aparezcan. Cuando los errores son detectados, el receptor envía una petición de retransmisión al transmisor, el cual envía los bits de paridad en vez de los bits de información.

### 2.5.2 Método Cíclico de Detección de Errores

Este método se basa en representar un patrón de bits como coeficientes de un polinomio o un número real, la idea básica es dividir este número por una constante y transmitirlo seguido del residuo de tal división. En el receptor se recibe el número seguido del residuo, se divide por la misma constante y se compara a ver si el residuo obtenido es igual al que se recibió. Si no es igual se supone que ha ocurrido un error y se pide la retransmisión del bloque.

En la práctica el proceso operativo es el siguiente:

Tanto el transmisor como el receptor escogen un polinomio generador G. Se tiene un dato de entrada P, P se modifica a P' de acuerdo al polinomio G multiplicándolo por  $Px$  (orden mas alto del polinomio G). P' se divide por G y el residuo de esta división será el Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC - Cyclic Redundancy Check).

Esta fracción (CRC) se aumenta a P' y se transmite. En el receptor se divide lo recibido por el polinomio G y si hay residuo se tiene un error; si el residuo es cero el dato recibido es correcto. Todas las operaciones aritméticas realizadas son módulo 2 o sea:

$$\begin{array}{lll} 0 + 0 = 0 & 1 + 0 = 1 & \text{Or-exclusivo} \\ 0 + 1 = 1 & 1 + 1 = 0 & \end{array}$$

Los polinomios estándar más utilizados son:

- CRC-12:  $x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
- CRC-16:  $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- CRC-CCITT:  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
- CRC-32:  $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

En todos los generadores utilizados aparece  $x+1$  como factor, ya que esto asegura la detección de todos los errores con un número impar de bits. Un código polinómico de  $r$  bits detectará todos los errores a ráfagas de longitud menor o igual a  $r$ .

### 2.5.3 Esquema ARQ híbrido

El protocolo G-TOR utiliza un sistema ARQ híbrido tipo II en combinación con el código Golay FEC a 16 bits de media velocidad invertible para la detección de errores. Existen dos tipos de ARQ híbrido; el sistema ARQ tipo I envía los bits de paridad para corrección y detección de errores en cada transmisión, mientras los sistemas ARQ tipo II transmiten los bits de paridad para la corrección de errores solo cuando se detectan errores en una trama.

El código utilizado para detectar errores, transmitido en todas las tramas G-TOR es el CRC-16. El código CRC se utiliza para determinar si la trama fue recibida correctamente antes de que se aplique la corrección de errores. También se utiliza después de que se ha completado la corrección de errores para asegurarse de que se han corregido los errores de la trama.

El esquema ARQ es un modo síncrono de trabajo, que obliga la conexión de dos estaciones y el intercambio alternativo de información entre ambas. La estación que originalmente transmite una petición de conexión G-TOR se denomina Maestro (master), y la estación que responde a la petición de conexión transmitida se denomina Esclavo (slave). La estación que normalmente está enviando bloques de datos se denomina Estación que Envía Información (ISS - Information Sending Station), y la estación que recibe estos bloques de datos se denomina Estación Receptora de Información (IRS - Information Receiving Station).

Durante una conexión el maestro es siempre el maestro y el esclavo es siempre un esclavo, pero cualquiera de las dos estaciones puede ser la ISS mientras que el otro puede ser la IRS.

Inmediatamente después de que se realiza una conexión, el maestro es la ISS mientras que el esclavo es la IRS. La figura 2.4 muestra el proceso del sistema ARQ.

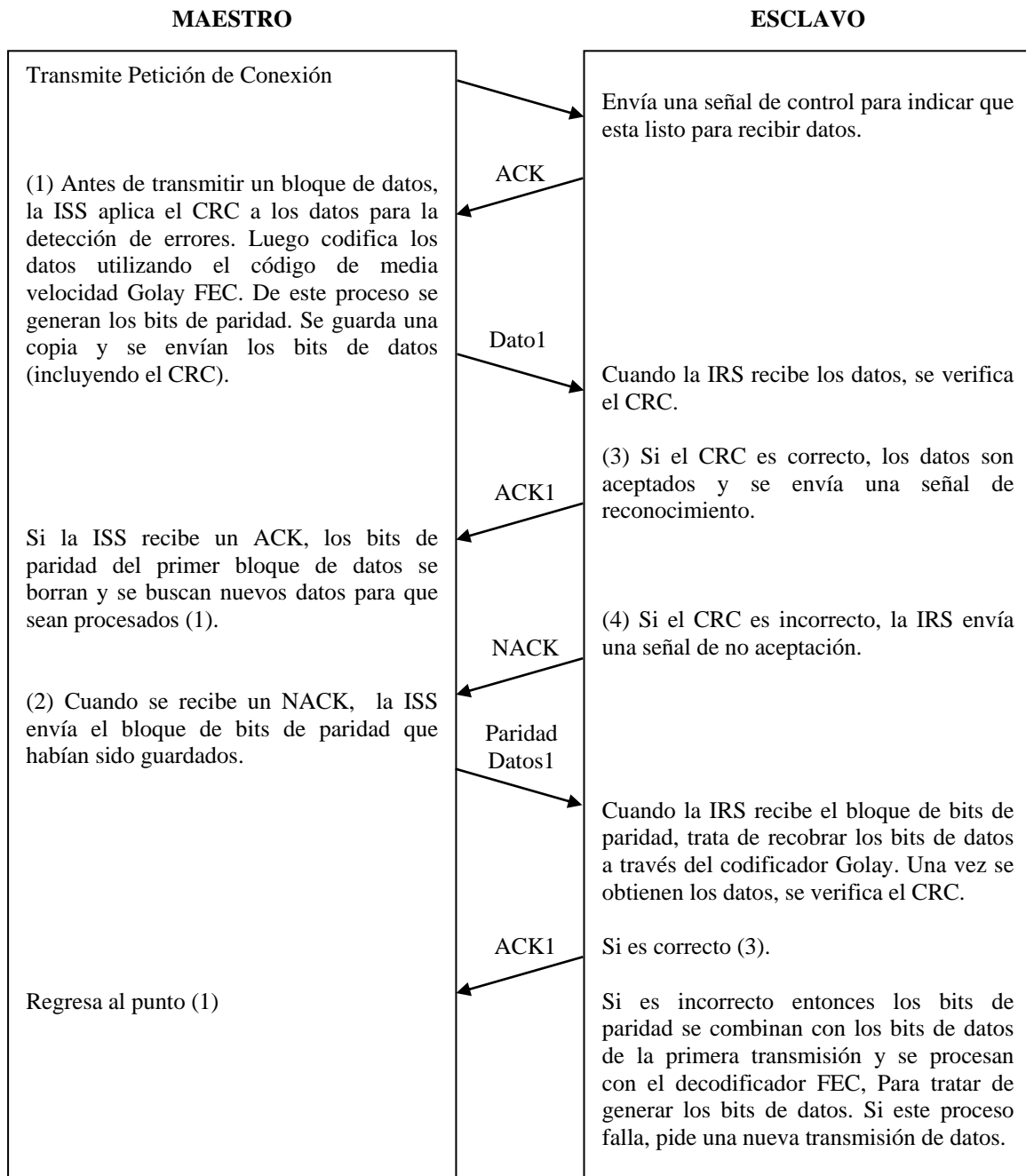


Figura 2.4. Esquema ARQ



### 2.5.3.1 Descripción del Proceso ARQ híbrido del protocolo G-TOR

Inmediatamente después de que se realiza la conexión, la IRS envía una Señal de Control 1 (CS - Control Signal) para indicar que está lista para recibir los datos; fija una bandera interna (Send CS Flag) a CS1, y fija también su cuenta de error interna en 0, su cuenta de bloques recibidos en 0 y el número de último bloque en 0.

Cuando la ISS recibe la señal CS1, fija una bandera interna (Expecting CS Flag) a CS2 y el número de bloque a 1.

Las estaciones Maestro y Esclavo, poseen una bandera interna (Golay flag), la cual se complementa cada ciclo de 2,4 segundos. Durante el proceso de conexión, esta bandera se fija igual en ambas estaciones.

Cada que la ISS recibe un reconocimiento apropiado, forma una nueva trama de datos (Real Data). Esta nueva trama de datos se codifica utilizando el código Golay FEC de media velocidad, de este proceso se forma una trama de bits de paridad (Golay Data).

Si la bandera Golay flag de la ISS está fijada, se guarda una copia del bloque como Golay Data; el bloque se pasa a través del codificador Golay para generar los datos originales. Si la bandera Golay flag de la ISS está clareada, una copia del bloque se guarda como Real Data.

La ISS fija la cuenta de errores interna en 0. Dependiendo de la condición de la bandera Golay flag, la ISS escogerá la trama Real Data o la trama Golay Data para que sea transmitida. La bandera Golay flag en la ISS se complementa entonces para el siguiente ciclo. Cualquiera que sea la trama escogida, se intercala y se transmite.

Se espera que la IRS reciba una trama durante cierto periodo de tiempo dentro del ciclo de 2,4 segundos. Una vez se ha recibido la trama, la IRS incrementa su cuenta de bloques recibidos y desintercala el bloque.

Si el CRC del bloque es correcto, la IRS ha recibido los datos correctamente. Envía el reconocimiento apropiado a la ISS. La bandera Expecting CS flag se complementa, el número de bloque se incrementa, y la ISS busca nuevos datos para ser transmitidos.

Si el CRC no es correcto, la IRS verifica si el contador de bloques recibidos es mayor en uno, para saber si ha recibido una copia de Real Data y Golay Data. Si la IRS tiene una copia de ambos, intenta regenerar los datos originales utilizando el sistema de corrección de errores Golay. Si después de realizar este proceso el CRC aun esta incorrecto, la cuenta de errores en la IRS se incrementa. Si la cuenta de errores es mayor que un número máximo de errores prefijado, la IRS regresara a un modo de espera. De otro modo, para indicar que hubo fallas, la IRS reenviará la misma señal de control que envió en el último ciclo.

Si el CRC del bloque recibido o del bloque con el error corregido es correcto, la IRS borra su cuenta de bloques recibidos y compara el número de bloque en la trama recibida con el número del último bloque que recibió correctamente. Si son iguales, entonces la trama de datos recibida es la misma, lo que indica muy probablemente que la ISS no recibió correctamente la última señal de control enviada por la IRS; por lo tanto la IRS debe enviar de nuevo la última CS.

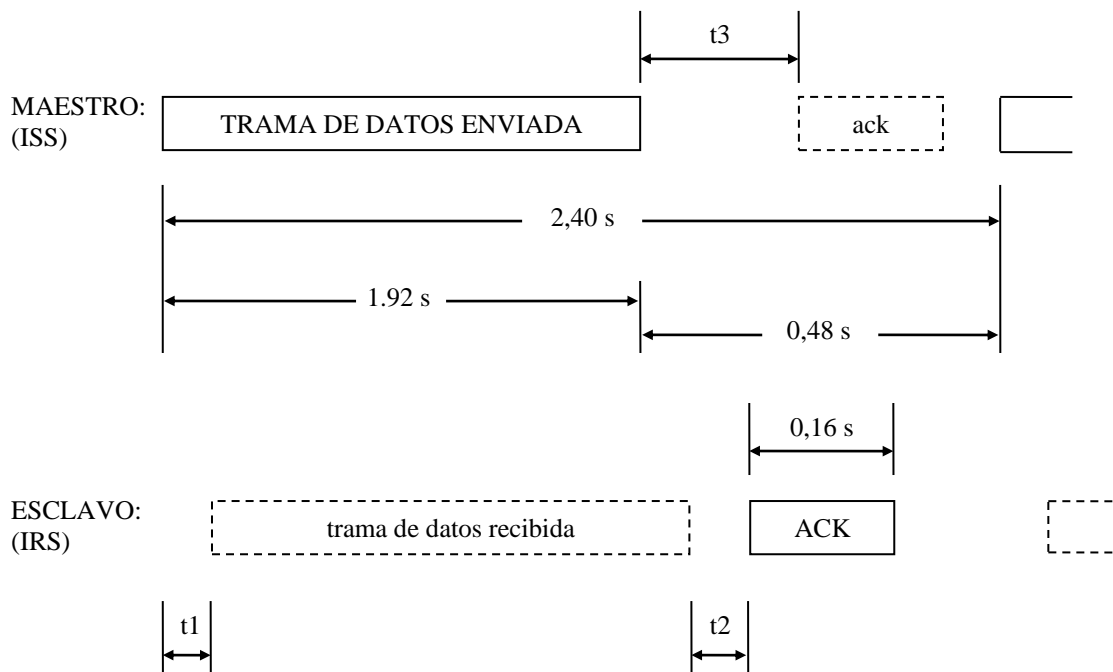
Si el número de bloque es mayor en uno que el número del último bloque recibido, entonces este bloque es el de los siguientes datos esperados; ahora la IRS fija su número de último bloque al número de bloque recibido e imprime los datos recibidos. La cuenta de error de la IRS se fija a 0; la bandera Send CS flag se complementa y se transmite la señal de control apropiada. Si el número de bloque es diferente, entonces se ha producido algún error de protocolo y los datos enviados se han perdido.

La ISS espera recibir un reconocimiento durante cierto periodo de tiempo dentro del ciclo de 2,4 segundos. Si la ISS recibe una señal CS2 cuando estaba esperando una señal CS2, o recibe una señal CS1 cuando esperaba una señal CS1, la ISS considera que los datos enviados fueron reconocidos apropiadamente. De otro modo, los datos no han sido reconocidos correctamente, o la ISS no ha recibido el reconocimiento. Entonces la ISS incrementa su cuenta de errores, y si la cuenta de errores es menor que algún número máximo, la ISS intentará enviar los datos de nuevo.

### 2.5.3.2 Sincronización

El ciclo básico de G-TOR es muy semejante al de AMTOR y PACTOR. La ISS envía largas tramas de datos, las cuales son reconocidas por la IRS con cortas señales de control. La duración total del ciclo es de 2,4 segundos. Las tramas de datos tienen una duración de 1,92 segundos y las señales de control tienen una duración de 0,16 segundos. Por lo tanto quedan en el ciclo 0,32 segundos, los cuales son utilizados para la conmutación, propagación de la onda y la computación necesaria en las estaciones maestro y esclavo.

El maestro controla el tiempo total del ciclo. El esclavo ajusta su ventana de recepción para seguir las transmisiones del maestro, pero puesto que las transmisiones del esclavo son siempre fijas respecto a su ventana de recepción, las transmisiones del esclavo siguen a las transmisiones del maestro. El maestro solo corrige su ventana de recepción. Ver figuras 2.5 y 2.6.



$t_1$ : Tiempo de propagación de la onda de radio.

$t_2$ : Es el tiempo que tarda en llegar un reconocimiento al esclavo, el cual incluye el tiempo de procesamiento y tiempo que tarda en comenzar la transmisión;  $t_2$  es constante mientras esta conectado, incluso cuando el esclavo es el ISS.

$t_3$ : Es determinado por el maestro durante la sincronización inicial y solo puede variar ligeramente durante la conexión.

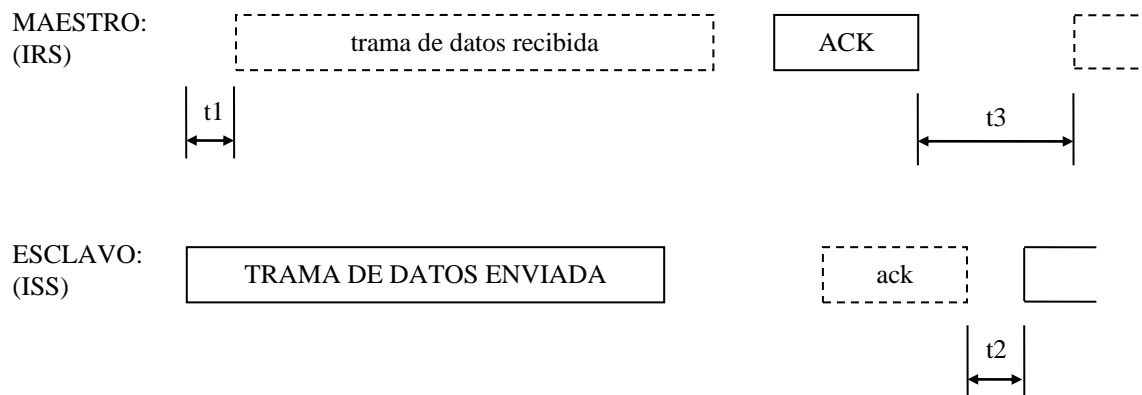


Figura 2.5. Sincronización en la Transmisión de Datos

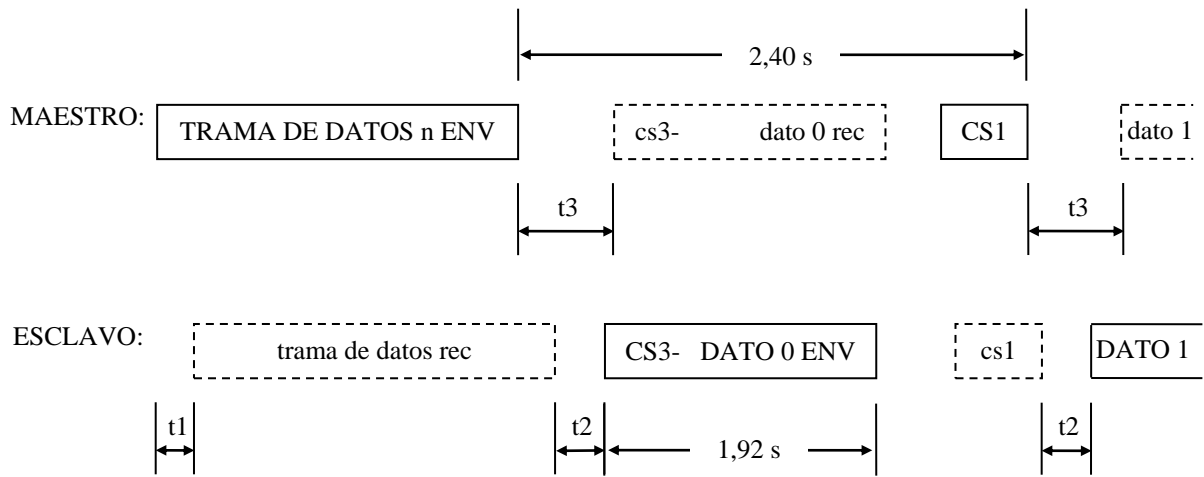


Figura 2.6. Sincronización de una Trama de Conmutación.

### 2.5.4 Estructura de la Trama de Datos

La estructura típica de una trama de datos G-TOR (antes del intercalamiento) se muestra en la figura 2.7. La trama de datos tiene una duración de 1,92 segundos. Dependiendo de las condiciones del canal, los datos pueden enviarse a 100, 200 o 300 baudios. Cada trama de datos está compuesta ya sea por 72 bytes(a 300 baudios), 48 bytes(a 200 baudios) o 24 bytes (a 100 baudios).

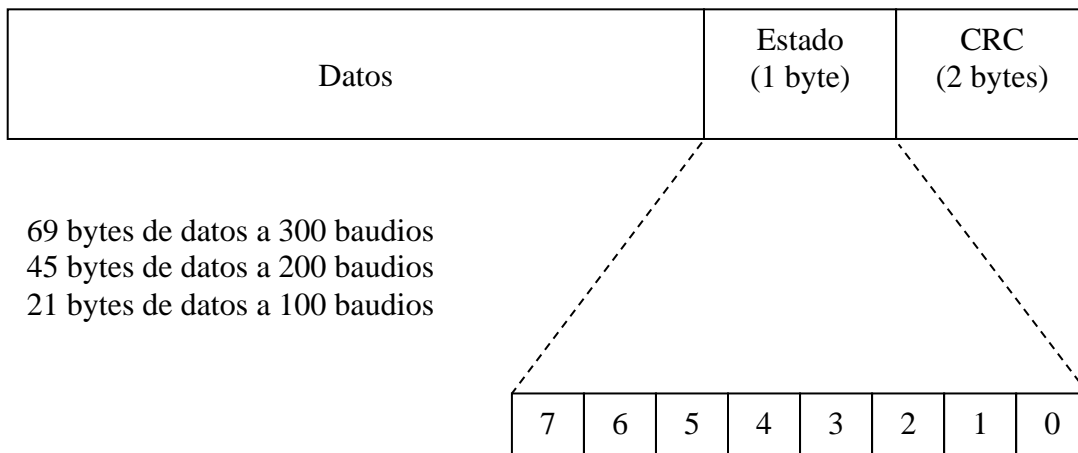


Figura 2.7. Estructura de una trama G-TOR antes del intercalamiento

El byte de estado se interpreta como sigue:

**Bits 7 & 6**

- Orden
- 00 - datos
- 01 - petición de conmutación
- 10 - desconectar
- 11 - conectar

**Bits 5 & 4**

- Sin uso
- 00 - reservado

**Bits 3 & 2**

- Compresión
- 00 - ninguna
- 01 - Huffman
- 10 - Huffman intercambiado
- 11 - reservado

**Bits 1 & 0**

- Numero de bloque modulo 4

Los dos últimos bytes de la trama contienen el CRC. El CRC se procesa en las tramas de conexión y desconexión empezando en el primer byte de un dato, en la trama de conmutación en el tercer byte.

### 2.5.5 Estructura de una Señal de Control

Las señales de control G-TOR tienen una longitud de 2 bytes (16 bits) y se envían siempre a 100 baudios. En cada byte de la señal de control se envía primero el Bit Menos Significativo (LSB - Least Significant Bit). Las señales de control se utilizan para reconocer correcta o incorrectamente las tramas enviadas por la ISS. Se utilizan también para pedir cambios en la velocidad de transmisión y para iniciar una conmutación en la dirección del flujo de información. Hay cinco señales de control G-TOR:

Señal	Función	Código	Patrón de bits en el tiempo
CS1	Datos ack/nack	F11A	1000111101011000
CS2	Datos ack/nack	6B62	1101011001000110
CS3	Orden de conmutación	5E13	0111101011001000
CS4	Cambio de velocidad	4D3C	1011001000111100
CS5	Cambio de velocidad	8957	1001000111101010

Tabla 2.2. Señales de Control

### 2.5.6 Estructura de la Trama de Conmutación (Trama BK)

La estructura de una trama de conmutación se muestra en la figura 2.8. Esta trama se transmite siempre a 100 baudios y nunca es intercalada. Es esencialmente una combinación de la señal de control CS3 y una trama de datos abreviada. En cada byte de la trama BK se envía primero el LSB.

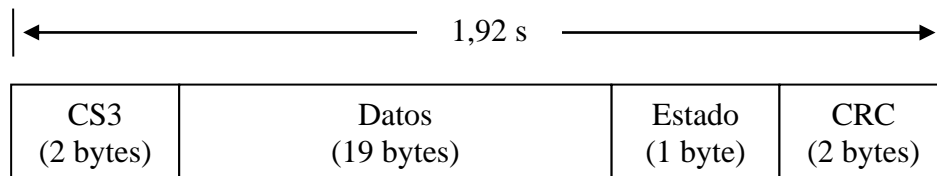


Figura 2.8. Estructura de una Trama de Conmutación G-TOR

Si la IRS quiere enviar datos a la ISS, puede capturar el enlace y convertirse en una ISS enviando una trama BK. La trama BK es una trama especial de datos que se envía siempre a 100 baudios y nunca se intercala ni se codifica. Los primeros 16 bits de la trama BK comprenden la señal de control CS3. Los siguientes 22 bytes son 19 bytes de datos más un byte de estado y 2 bytes de CRC formados sobre los datos que inician después de la CS3.

El número de bloque en el byte de estado de la trama BK siempre es 0. En cada byte se envía primero el LSB. Si la ISS recibe la trama BK correctamente, envía un CS1 y se convierte en la nueva IRS, esperando nuevas tramas de datos a la velocidad previa. Si la ISS detecta el CS3 pero no recibe los datos correctamente, envía un CS2 y se convierte en la nueva IRS, esperando todavía datos a la velocidad previa. Si el remitente original de la trama BK recibe un CS2, reconstruirá la trama de datos utilizando los datos que se utilizaron en la trama BK agregada como datos adicionales disponibles, pero de nuevo a la velocidad utilizada antes de que la trama BK fuera enviada. Si el remitente de la trama BK no recibe ninguna señal de control (CS1, CS2 o CS3), reenviará la trama BK original.

Siempre existe la posibilidad de que la ISS no reciba la señal CS3 que es parte de la trama BK, por lo tanto reenviará una trama de datos o la forma codificada en Golay de la trama de datos, la ISS debe asegurarse que cualquier trama de datos o forma codificada en Golay de la trama de datos no producirá una forma de onda que pudiera aparecer como una CS1, CS2 o CS3 de 100 baudios en la ventana de tiempo donde la IRS puede estar buscando un reconocimiento para su trama BK. La IRS debe estar muestreando en la ventana de tiempo de recepción de reconocimiento a la velocidad previa para asegurarse que el ACK recibido es realmente una señal de 100 baudios y no un engaño de la trama de datos ISS a una velocidad más alta.

La ISS puede solicitar una conmutación enviando una trama de datos con el bit 6 del byte de estado (bit de petición BK) fijado en 1 (0100xxxx); la IRS debería enviar una trama BK.

Una trama BK también puede ser reconocida con otra trama BK, causando rápidas conmutaciones. La trama BK sirve como un reconocimiento positivo de los datos previamente recibidos.

### **2.5.7 Formación de las Tramas de Conexión y Desconexión**

Las tramas de conexión y desconexión se envían siempre a 100 baudios (24 bytes). Los primeros 10 bytes contienen la dirección del destino y los segundos 10 bytes la dirección de la fuente. Cada byte se representa por 7 bits del Estándar de Codificación Americano para el Intercambio de Información (ASCII - American Standard Code for Information Interchange). Si estas direcciones tienen una longitud menor a 10 bytes se debe utilizar el carácter 0x0F para extender las direcciones a 10 bytes.

El byte 21 es cero. Los bytes 23 y 24 son los del CRC. El byte 22 es el de condición o estado y será 110000000 para una trama de conexión y 1000000xx para una trama de desconexión. El número de bloque para una trama de conexión siempre es 0.

El esclavo debe buscar las tramas de conexión con la marca y el espacio invertidos, y el maestro debe buscar las señales de control invertidas. Una vez conectados, cada estación debe recordar la polaridad recibida.

Cuando el esclavo decodifica una trama de conexión dirigida a él, normalmente responde con una señal de control CS1. Si el esclavo está ocupado, responderá con una señal CS2. Si el byte 21 no es cero, o los 6 bits inferiores del byte de estado no son cero, el esclavo debe responder con una CS5.

El esclavo debe tener cuidado cuando “reconoce” el maestro. El esclavo establece un tiempo fijo después de la transmisión del maestro para su propia transmisión. Para una máxima propagación el esclavo debe fijar este tiempo lo más corto posible. Sin embargo, este tiempo debe ser lo suficientemente largo para que pueda no solo decodificar sino posiblemente corregir una trama de datos antes que envíe el ACK como un IRS, pero también lo suficientemente largo para formar una trama de datos cuando se reciba un ACK de la ISS. En otras palabras, el esclavo debe estar conciente del tiempo necesario para su propio procesamiento.

Las tramas de conexión y desconexión se envían siempre a 100 baudios. Si el ISS desea desconectarse pero está transmitiendo a una velocidad mayor, debe enviar una trama de interrupción con un byte de estado 100000xx. Cuando el IRS recibe esta trama, debe enviar un CS5 para disminuir la velocidad del ISS pero debe permanecer conectado hasta que el ISS envíe una trama de desconexión verdadera.

Después de que el IRS reconoce una trama de desconexión, debe recordar la relación de tiempo entre la trama de desconexión y el reconocimiento IRS. Si el ISS no recibe el ACK, continuará enviando tramas de desconexión hasta que se acabe el tiempo. Si el IRS copia una trama de desconexión para él mientras está en tiempo de espera, reenviará el último ACK.

### 2.5.8 Formato de Datos en las Tramas

El ISS puede enviar datos de tres formas:

- ASCII.
- Huffman.
- Huffman intercambiado.

El Huffman intercambiado utiliza las mismas tablas que el Huffman comprimido pero intercambia las mayúsculas con las minúsculas. La ISS debe decidir en que forma enviar los datos para proporcionar el mejor desempeño. Si no hay ninguna ventaja al enviar códigos Huffman, la ISS debe enviar en ASCII común. Todas las tramas de datos normales y las tramas de conexión y desconexión están intercaladas y, en ciclos alternos, codificadas con Golay.

Si no hay suficientes datos para enviar en una trama de datos, se utilizan códigos de interrupción IDLE para llenar la trama. Si la trama se envía utilizando ASCII común, 0x1E se utiliza como código de interrupción. Para enviar un byte de datos 0x1E se debe enviar un código de paso 0x1C seguido por un 0x7E. Para enviar un carácter de datos 0x1C, un código de paso 0x1C debe enviarse seguido de 0x7C. Solo los caracteres de datos ASCII 01xC y 0x1E necesitan un código de paso. El código de paso nunca puede ser el último carácter en una trama de datos ASCII. En otras palabras, las combinaciones 0x1C 0x7E y 0x1C 0x7C nunca deben ser divididas entre las tramas de datos. La compresión Huffman de G-TOR utiliza un único código de interrupción IDLE. No se necesita un código de paso cuando se envía una trama con compresión Huffman.

El código de interrupción IDLE indica también el fin de los datos en una trama de datos: con ASCII o con Huffman comprimido. La IRS debe parar la decodificación de la trama de datos cuando encuentra un código de interrupción IDLE, y la ISS nunca debe enviar datos después de un código IDLE en una trama de datos.

### 2.5.9 Cambios de Velocidad

Las tramas de datos pueden enviarse a 100, 200 o 300 baudios. Las señales CS4 y CS5 son las señales de control que la IRS utiliza para cambiar la velocidad de envío hacia la ISS. Puesto que la IRS puede causar que la ISS cambie de una velocidad a otra, la señal de control utilizada por la IRS depende de los estados de los dos sistemas.



Una señal de control de aceleración siempre actúa como un reconocimiento positivo de la trama de datos previa. Una CS de desaceleración pregunta por los datos previos, para que sean reenviados a una velocidad más baja.

Si la ISS recibe una señal de desaceleración de la IRS, no existe forma de saber si los datos recién enviados fueron recibidos correctamente o no y por lo tanto los datos deben reenviarse a la velocidad más baja solicitada utilizando el mismo número de bloque.

Es posible que la IRS pudiera solicitar una desaceleración adicional en la velocidad, mientras la ISS está reenviando los datos. En cualquier momento que la IRS recibe datos válidos, debe llevar una cuenta de los caracteres en la trama. Si la IRS desacelera la ISS y la nueva trama recibida tienen la misma cuenta de bloque que la trama previa, la IRS sabe que la ISS está reenviando datos y debe producir el número adecuado de caracteres. La IRS y la ISS deben ser cuidadosos con estas cuentas de caracteres durante las desaceleraciones dobles (de 300 a 200 y luego de 200 a 100 baudios).

Si la IRS le dice a ISS que desacelere después de que la ISS ha enviado una trama de datos con el bit de petición BK fijado, o si la ISS decide que desea enviar una petición BK mientras está reenviando datos en respuesta a una desaceleración, la ISS no debe fijar el bit de petición BK en las tramas de datos más lentas hasta que la trama de datos contenga el último carácter enviado en el original.

La IRS no puede enviar una trama BK hasta que no reciba una trama de datos válida, puesto que la señal de control CS3 de la trama BK es un reconocimiento de los datos válidos. Si la IRS está recibiendo datos duplicados debido a una desaceleración, no debe enviar una trama BK hasta que no se reciban todos los datos duplicados.

### **2.5.10 Codificación Run Length (RLEn)**

Un código RLEn, es un código de 19 bits, el cual está formado por un código único de Huffman de 14 bits seguido por 5 bits, los cuales representan un número  $n$  (0-31). Los códigos RLEn se encuentran solo en las tramas de datos comprimidas con Huffman y nunca pueden ser el primer código en una trama de datos.

Cuando se encuentra un código RLEn en una trama de datos, el carácter previo decodificado en la trama debe ser repetido un número adicional de  $N$  veces, donde  $N$  es un número que depende de  $n$  y del número de bits utilizados por el carácter Huffman previo de acuerdo a la tabla 2.3.

Un código RLEn puede seguir a otro código RLEn inmediatamente, lo que indica que el código previo, que acabó de repetirse, se debe repetir  $N$  veces adicionales.

Longitud del carácter previo	N
2 bits	n + 10
3 bits	n + 7
4 bits	n + 5
5-6 bits	n + 4
7-9 bits	n + 3
10-16 bits	n + 2

Tabla 2.3. Tabla del Código RLEn

### 2.5.11 Codificación Huffman

Este algoritmo se basa en asignar códigos de distinta longitud de bits a cada uno de los caracteres de un archivo; así el carácter que más aparezca tendrá una codificación con menor número de bits y así sucesivamente hasta que no queden caracteres. Para esto, primero hay que mirar una tabla con las probabilidades que aparece cada carácter en el archivo y después hacer la tabla de codificación.

Después se tiene que codificar los caracteres utilizando la tabla de codificación de Huffman, y una vez realizado este proceso se agrupan en bytes para su posterior almacenamiento. Para recuperar el archivo original, se hace el proceso inverso se mira en la tabla los códigos binarios asignados a cada carácter, así como su longitud en bits, si ésta información se omite, y el receptor del fichero la conoce, podrá recuperar la información original.

Los códigos Huffman se colocan en los campos de datos en el orden mostrado en la tablas 2.4 y 2.5.

0x00	1111000011111000		0x44	11110100	D
0x01	1111000011111001		0x45	11000000	E
0x02	1111000011111010		0x46	11001100	F
0x03	1111000011111011		0x47	00010100111	G
0x04	1111000011111100		0x48	0010100010	H
0x05	1111000011111101		0x49	11110010	I
0x06	1111000011111110		0x4A	1100000110	J
0x07	1111000011111111		0x4B	1100110100	K
0x08	1111000011110010		0x4C	110011101	L
0x09	1111000011110011		0x4D	111101010	M
0x0A	001101		0x4E	111100000	N
0x0B	1111000011110100		0x4F	000101000	O
0x0C	1111000011110101		0x50	000101100	P
0x0D	001100		0x51	00101000110101	Q
0x0E	1111000011110110		0x52	110000010	R
0x0F	1111000011110111		0x53	1111011	S
0x10	1111001110000000		0x54	0001101	T

0x11	1111001110000001		0x55	1100000111	U
0x12	1111001110000010		0x56	1100011000	V
0x13	1111001110000011		0x57	0001010100	W
0x14	1111001110000100		0x58	0001010111011	X
0x15	1111001110000101		0x59	1111010111	Y
0x16	1111001110000110		0x5A	1100011001	Z
0x17	1111001110000111		0x5B	00101000110100	[
0x18	1111001110001000		0x5C	11110000110101	\
0x19	1111001110001001		0x5D	11110000110111	]
0x1A	1111001110001010		0x5E	11000110111111	^
0x1B	1111001110001011		0x5F	111100001100	_
0x1C	1111001110001100		0x60	11110000111000	`
0x1D	1111001110001101		0x61	01000	a
0x1E	1111001110001110		0x62	0000110	b
0x1F	1111001110001111		0x63	010011	c
0x20	10	‘ ’	0x64	00111	d
0x21	11110011101	!	0x65	011	e
0x22	110001101100	”	0x66	0000111	f
0x23	0010100011011	#	0x67	000111	g
0x24	0001010111001	\$	0x68	000100	h
0x25	110001101101	%	0x69	1101	i
0x26	111100111001	&	0x6A	00010100110	j
0x27	110001101110	’	0x6B	0010101	k
0x28	110011011	(	0x6C	000010	l
0x29	110011100	)	0x6D	001011	m
0x2A	001010001100	*	0x6E	0101	n
0x2B	111100111110	+	0x6F	010010	o
0x2C	1100101	,	0x70	11000010	p
0x2D	00010101111	-	0x71	1111010110	q
0x2E	1100100	.	0x72	1110	r
0x2F	11110011110	/	0x73	00100	s
0x30	11000111	0	0x74	00000	t
0x31	001010000	1	0x75	11111	u
0x32	0001011010	2	0x76	11000011	v
0x33	0001011011	3	0x77	0001100	w
0x34	0001011100	4	0x78	1100011010	x
0x35	0001011101	5	0x79	0001010110	y
0x36	0001011101	6	0x7A	1100010	z
0x37	0001011110	7	0x7B	1100011011110	{
0x38	0001011111	8	0x7C	11110000110110	
0x39	0001010010	9	0x7D	11000110111101	}
0x3A	00101000111	:	0x7E	11000110111100	~
0x3B	11110000110100	;	0x7F	1111000011110001111100110	
0x3C	0001010111010	<	0x80	1111001100000000	
0x3D	1111000010	=	0x81	1111001100000001	
0x3E	111100111111	>	0x82	1111001100000010	
0x3F	1100110101	?	Etc.		
0x40	0001010111000	@	IDLE	1111000011110000	

0x41	00101001	A	RLE	11110000111001	
0x42	11001111	B			
0x43	11110001	C	UNUSED	1111000011101	

Tabla 2.4. Tabla de Huffman para el Código ASCII

0x20	10	' '	0x2D	00010101111	-
0x65	011	e	0x2F	11110011110	/
0x69	1101	i	0x3A	00101000111	:
0x6E	0101	n	0x47	00010100111	G
0x72	1110	r	0x6A	00010100110	j
0x61	01000	a	0x22	110001101100	”
0x64	00111	d	0x25	110001101101	%
0x73	00100	s	0x26	111100111001	&
0x74	00000	t	0x27	110001101110	'
0x75	11111	u	0x2A	001010001100	*
0x0A	001101	LF	0x2B	111100111110	+
0x0D	001100	CR	0x3E	111100111111	>
0x63	010011	c	0x5F	111100001100	_
0x67	000111	g	0x23	0010100011011	#
0x68	000100	h	0x24	0001010111001	\$
0x6C	000010	l	0x3C	0001010111010	<
0x6D	001011	m	0x40	0001010111000	@
0x6F	010010	o	0x58	0001010111011	X
0x2C	1100101	,	UNUSED	1111000011101	
0x2E	1100100	.	0x3B	11110000110100	;
0x53	1111011	S	0x51	00101000110101	Q
0x54	0001101	T	0x5B	00101000110100	[
0x62	0000110	b	0x5C	11110000110101	\
0x66	0000111	f	0x5D	11110000110111	]
0x6B	0010101	k	0x5E	11000110111111	^
0x77	0001100	w	0x60	11110000111000	`
0x7A	1100010	z	0x7B	11000110111110	{
0x30	11000111	0	0x7C	11110000110110	
0x41	00101001	A	0x7D	11000110111101	}
0x42	11001111	B	0x7E	11000110111100	~
0x43	11110001	C	RLE	11110000111001	
0x44	11110100	D	0x00	1111000011111000	
0x45	11000000	E	0x01	1111000011111001	
0x46	11001100	F	0x02	1111000011111010	
0x49	11110010	I	0x03	1111000011111011	
0x70	11000010	p	0x04	1111000011111100	
0x76	11000011	v	0x05	1111000011111101	
0x28	110011011	(	0x06	1111000011111110	
0x29	110011100	)	0x07	1111000011111111	
0x31	001010000	l	0x08	1111000011110010	

0x4C	110011101	L	0x09	1111000011110011	
0x4D	111101010	M	0x0B	1111000011110100	
0x4E	111100000	N	0x0C	1111000011110101	
0x4F	000101000	O	0x0E	1111000011110110	
0x50	000101100	P	0x0F	1111000011110111	
0x52	110000010	R	0x10	1111001110000000	
0x32	0001011010	2	0x11	1111001110000001	
0x33	0001011011	3	0x12	1111001110000010	
0x34	0001011100	4	0x13	1111001110000011	
0x35	0001011101	5	0x14	1111001110000100	
0x36	0001011101	6	0x15	1111001110000101	
0x37	0001011110	7	0x16	1111001110000110	
0x38	0001011111	8	0x17	1111001110000111	
0x39	0001010010	9	0x18	1111001110001000	
0x3D	1111000010	=	0x19	1111001110001001	
0x3F	1100110101	?	0x1A	1111001110001010	
0x48	0010100010	H	0x1B	1111001110001011	
0x4A	1100000110	J	0x1C	1111001110001100	
0x4B	1100110100	K	0x1D	1111001110001101	
0x55	1100000111	U	0x1E	1111001110001110	
0x56	1100011000	V	0x1F	1111001110001111	
0x57	0001010100	W	0x7F	1111000011110001111100110	
0x59	1111010111	Y	0x80	1111001100000000	
0x5A	1100011001	Z	0x81	1111001100000001	
0x71	1111010110	q	0x82	1111001100000010	
0x78	1100011010	x	Etc.		
0x79	0001010110	y	IDLE	1111000011110000	
0x21	11110011101	!			

Tabla 2.5. Tabla de Huffman para el código Huffman

Por ejemplo, los primeros bytes de “The quick brown fox” utilizando compresión Huffman se formarían así:

T	h	e	Q	u	i	c	k
0001101	000100	011 10	1111010110	11111 1101	010011	0010101	
00011010	00100011	10111101	01101111	11101010	01100101	01.....	
1A	23	BD	6F	EA	65		

Y antes de la intercalación o de la codificación Golay, se agrupan los bytes en tribbles (grupos de tres caracteres).

1A2 3BD 6FE A65...

### 2.5.12 Intercalamiento y Codificación Golay

Antes de que una trama de datos sea transmitida, los datos se reagrupan en tribbles de 12 bits. Por ejemplo una trama de 100 baudios de “The quick brown fox” sin utilizar compresión se formaría como:

```
54 68 65 20 71 75 69 63 6B
20 62 72 6F 77 6E 20 66 6F
78 1E 1E 01 7E 64
```

Y luego agrupados en tribbles

```
546 865 207 175 696 36B 206 272
6F7 76E 206 66F 781 E1E 017 E64
```

Los datos se intercalan enviando primero los MSB de cada tribble, y luego el siguiente MSB, etc. La secuencia de bits de los datos anteriores podría comenzar así:

```
tiempo →
0100000000000101
1000100011011101
0010111111111101
1001010001001000
... 8 grupos más de 12 bits
```

La ISS envía alternadamente tramas de datos y datos codificados en Golay. Los códigos Golay son códigos únicos de 12 bit derivados de 12 bits de datos.

Los códigos Golay se generan a partir de los tribbles de datos antes del intercalamiento, así que “The quick brown fox”

```
546 865 207 175 696 36B 206 272
6F7 76E 206 66F 781 E1E 017 E64
```

Se convierte en

```
083 092 57B 1A7 F88 C46 A85 AF1
9AE 342 A85 291 114 BAF 0B1 3F0
```

Los tribbles de datos, son entonces intercalados como antes, empezando con el MSB del primer tribble.

### **2.5.13 Transmisiones FEC**

En esta ocasión el protocolo G-TOR no tiene un modo especial para radiodifusión. La operación en este modo es una transmisión continua y sin interrupciones, no existe un proceso de retransmisión automática, por lo cual la estación receptora debe verificar si los datos recibidos son correctos o erróneos.

### 3 IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

En este proyecto se ha diseñado e implementado un sistema de transmisión de datos en HF entre dos estaciones de radio (una maestro y otra esclavo que pueden ser fijados según determinen los usuarios), que operan en la banda de 11 metros (27Mhz).

A continuación se hace la descripción de la parte hardware (modem), la cual hace posible la comunicación half duplex entre las dos estaciones y la parte software (aplicación) que le permite al usuario interactuar con el sistema, también se encarga de soportar el protocolo G-TOR, el cual permite el intercambio de información entre dos terminales.

#### 3.2 APLICACIÓN

Las funciones principales de la aplicación desarrollada son:

- Configurar Puerto
- Abrir Puerto
- Abrir Archivo
- Enviar Archivo
- Recibir Archivo

La descripción detallada de las funciones software nombradas anteriormente se hacen en el anexo A (Diseño e Implementación del Software).

##### 3.2.1 Configurar Puerto

Esta función del software, le permite al usuario seleccionar el puerto serie que se desea utilizar y la velocidad de transmisión.

##### 3.2.2 Abrir Puerto

Esta función del software, le permite al usuario abrir el puerto serie.

##### 3.2.4 Abrir Archivo

Esta función del software, le permite al usuario seleccionar y cargar un archivo.



### 3.2.4 Enviar Archivo

Mediante esta función se puede enviar archivos a otra estación.

### 3.2.5 Recibir Archivo

Mediante esta función se puede recibir archivos enviados por otra estación.

## 3.3 MODEM

La función del modulador es la de transformar los pulsos digitales entregados por el computador en señales con frecuencias de audio, para que puedan nuevamente ser moduladas en radiofrecuencia por el radio y adaptadas al medio de transmisión (aire) por la antena. El proceso es como sigue: cuando se envía un comando, la salida del computador (puerto de comunicaciones RS-232) es una serie de pulsos, cuya amplitud varía entre -12 y 12 voltios. Pero este tipo de señal no puede ser transmitido a largas distancias por lo que se entrega a un modulador cuya función es cambiar los niveles de tensión por frecuencias de audio (FSK); así, un cero lógico corresponde a una señal de salida cuya frecuencia es de 2.225 Hz. y un 1 lógico corresponde una señal cuya frecuencia es de 2.025 Hz.

El proceso inverso se realiza cuando se recibe una señal modulada. Esta es pasada por un demodulador en donde se hace corresponder las frecuencias en unos y ceros lógicos; así, si se recibe una señal de frecuencia de 2.025 Hz, la salida del demodulador entrega una señal cuyo valor corresponde a 1 lógico y si se recibe una señal de 2.225 Hz, la salida corresponde a un cero lógico. De este modo, de una señal de tonos audibles se recupera la señal original la cual es luego entregada al computador.

Los valores de frecuencias utilizados, así como el tipo de modulación empleado se escogieron de acuerdo a lo establecido por el protocolo G-TOR.

La figura 3.1 muestra las señales externas que interactúan con el modem.

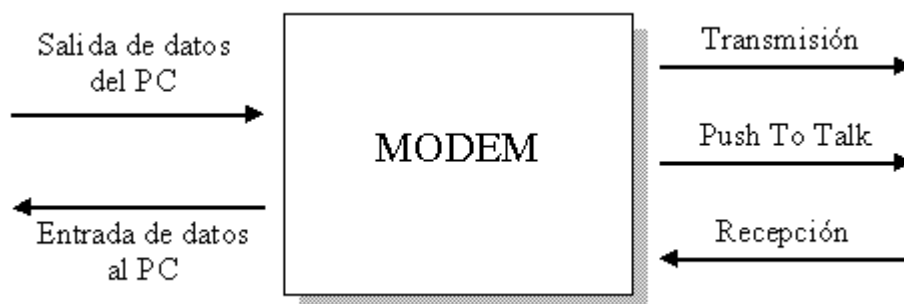


Figura 3.1. Señales Externas que Interactúan con el Modem

### 3.3.1 Diagrama en Bloques

La figura 3.2 muestra las partes que componen el modem.

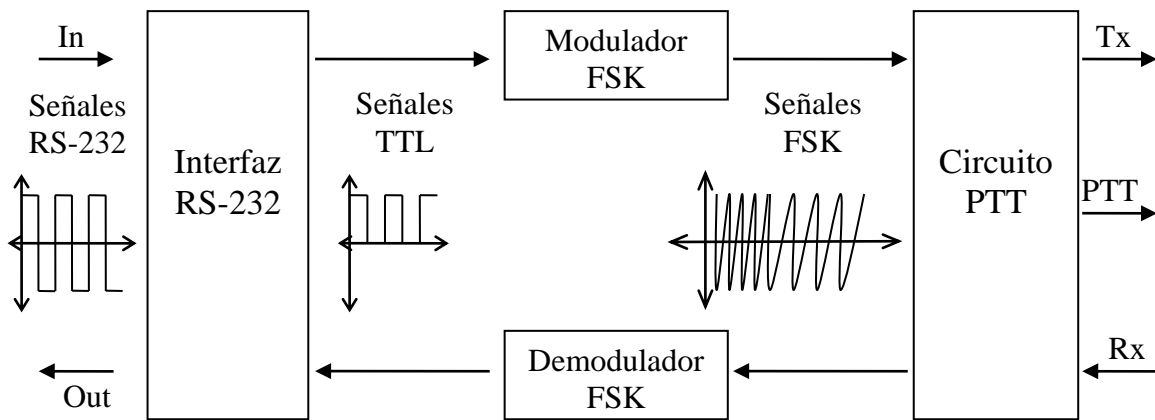


Figura 3.2. Diagrama en Bloques del Modem

A continuación se hace una descripción de cada una de las partes. La descripción detallada de cada uno de los integrados o elementos utilizados en el diseño del modem se hace en el anexo B (Descripción Técnica de Dispositivos).

### 3.3.2 Interfaz RS-232

Este bloque se encarga de adaptar los niveles de voltaje de las señales entregadas por el puerto serie del computador personal, a los niveles manejados en el modem.

El envío de niveles lógicos (bits) a través de alambres o líneas de transmisión necesita la conversión a voltajes apropiados. En el circuito se trabaja con niveles de voltaje inferiores a 0,8V para representar el valor lógico 0 y voltajes mayores a 2,0V para representar el valor lógico 1. Por lo general, cuando se trabaja con familias TTL (Transistor Transistor Logic) se asume que un "0" es igual a 0V y un "1" a +5V.

#### 3.3.2.1 Funcionamiento

La señal entregada por el puerto serie del computador personal oscila entre +12 y -12 voltios, como se muestra en la figura 3.4, los cuales son niveles muy altos para el tratamiento que se le da a la señal en el circuito de interfaz. Para reducir estos niveles se emplea el circuito integrado MAX-232, el cual contiene un doblador de voltaje de +5V a +10V y un inversor de voltaje para obtener la polaridad de -10V.





### 3.3.2.4 Lista de Componentes

Referencia	Valor
Integrado	MAX-232
C <sub>1</sub>	1μf
C <sub>2</sub>	1μf
C <sub>3</sub>	1μf
C <sub>4</sub>	1μf
C <sub>5</sub>	1μf

Tabla 3.1. Componentes de la Interfaz RS-232

### 3.3.3 Modulador FSK

Este bloque se encarga de modular las señales que van a ser transmitidas por el transceptor, la técnica empleada es la modulación FSK.

Para implementar el modulador FSK se ha utilizado el circuito integrado XR-2206 de la marca EXAR, el cual es un chip que puede generar señales sinusoidales, cuadradas o triangulares de alta calidad, de la que se puede especificar la amplitud y la frecuencia de la misma. Esto último se modifica mediante dos potenciómetros que facilitan el ajuste de la señal. El chip soporta frecuencias desde 0,01Hz hasta 1MHz, por lo tanto esta dentro de la frecuencia de trabajo, que serán 2.025Hz para la frecuencia de marca y 2.225Hz para la frecuencia de espacio.

#### 3.3.3.1 Funcionamiento

El esquema interno del circuito integrado XR-2206 se muestra en la figura 3.7, donde la amplitud de la señal de salida viene dada por el potenciómetro R<sub>X3</sub> conectado al pin 3, y las dos frecuencias de oscilación se deben a las resistencias R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub> conectadas a los pines 7 y 8 respectivamente, y del condensador C conectado entre los pines 7 y 8.

Las frecuencias vienen dadas por:

$$f1 = \frac{1}{R_1 \cdot C} = \text{frecuencia de marca} \quad \text{y} \quad f2 = \frac{1}{R_2 \cdot C} = \text{frecuencia de espacio}$$

Una para la transmisión de los “1’s” y otra para los “0’s”.

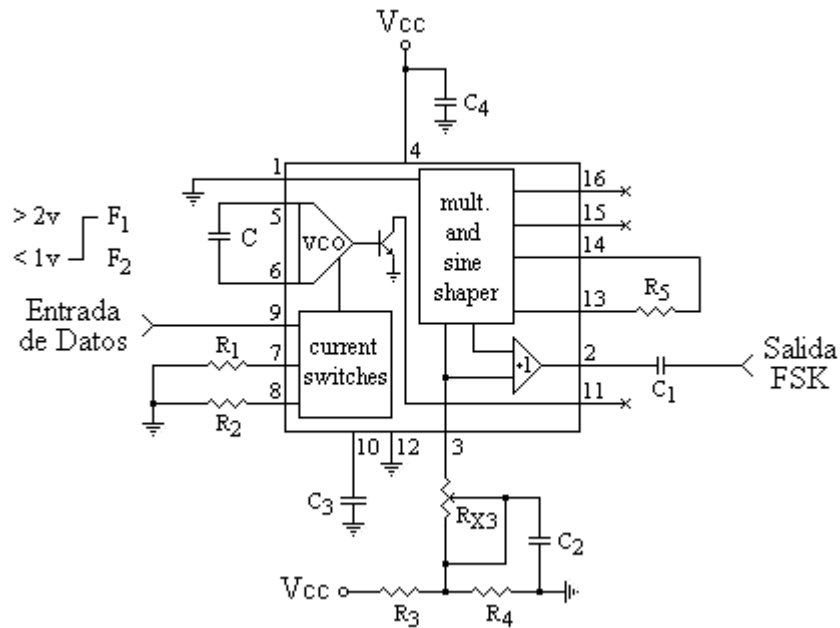


Figura 3.7. Esquema Interno del XR-2206

### 3.3.3.2 Cálculos y Consideraciones de Diseño

Para el cálculo de las frecuencias de marca y espacio se ha fijado el valor del condensador  $C = 22\text{nf}$  y posteriormente se ha calculado el valor de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  mencionadas anteriormente.

$$f_1 = \frac{1}{R_1 \cdot C} = f_{\text{marca}} = 2.025\text{Hz} \quad \text{Entonces} \quad R_1 = \frac{1}{f_1 \cdot C} = 22,446\text{K}\Omega$$

$$f_2 = \frac{1}{R_2 \cdot C} = f_{\text{espacio}} = 2.225\text{Hz} \quad \text{Entonces} \quad R_2 = \frac{1}{f_2 \cdot C} = 20,429\text{K}\Omega$$

En la práctica los valores de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ , no son iguales a los obtenidos en los cálculos realizados anteriormente. Por lo tanto se colocaron dos potenciómetros, lo cual permite hacer el ajuste necesario para obtener las frecuencias de marca y espacio.

Posteriormente, los valores de resistencia encontrados con los potenciómetros fueron reemplazados por valores de resistencias fijas.

### 3.3.3.3 Diagrama Circuitual

El Modulador FSK se implementa con el circuito de la figura 3.8.

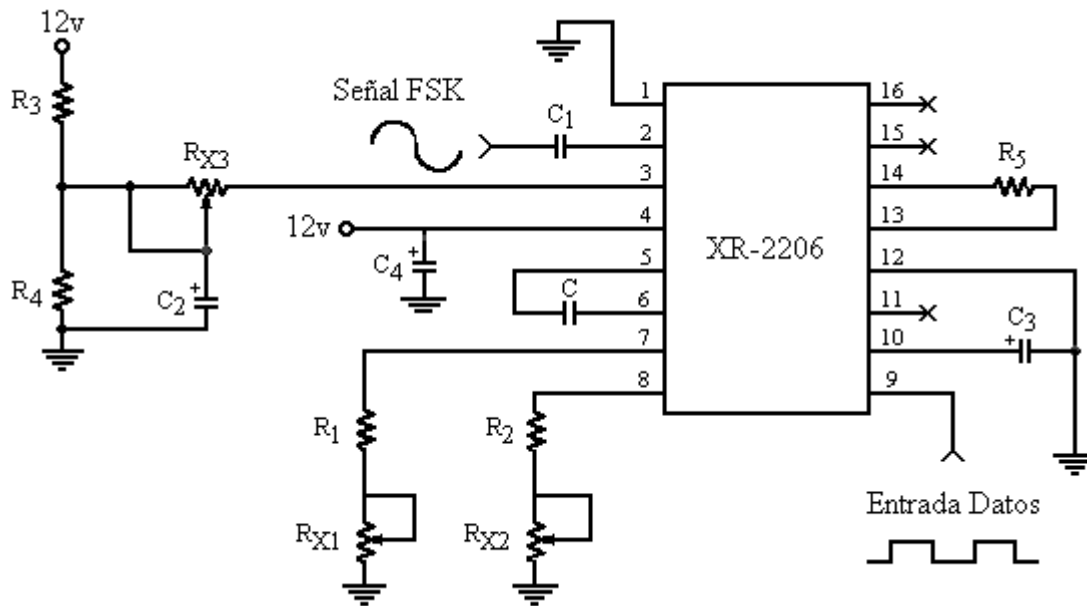


Figura 3.8. Modulador FSK

### 3.3.3.4 Pruebas

- *Prueba* : introducir una señal con niveles TTL, que simule una señal de datos.
- *Respuesta esperada*: se debe obtener una señal FSK. Como se puede observar en la figura 3.9, el modulador varía la frecuencia según si se transmite un “1” o un “0”.

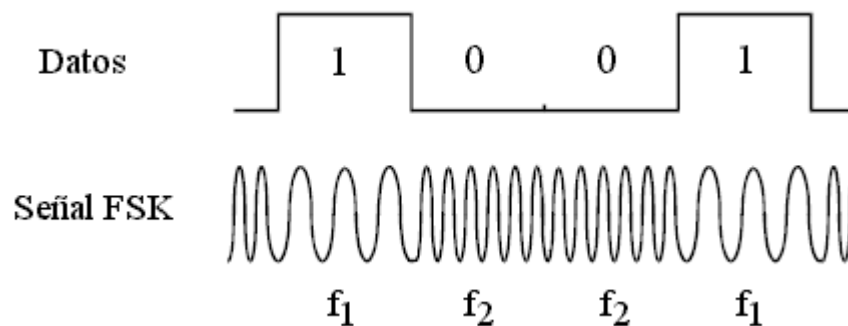


Figura 3.9. Señal FSK

### 3.3.3.5 Lista de Componentes

Referencia	Valor
Integrado	XR-2206
C	22nf
C <sub>1</sub>	0,1μf
C <sub>2</sub>	10μf
C <sub>3</sub>	1μf
C <sub>4</sub>	1μf
R <sub>1</sub>	13KΩ
R <sub>2</sub>	12KΩ
R <sub>3</sub>	5,1KΩ
R <sub>4</sub>	5,1KΩ
R <sub>5</sub>	220Ω
R <sub>X1</sub>	10KΩ
R <sub>X2</sub>	10KΩ
R <sub>X3</sub>	50KΩ

Tabla 3.2. Componentes del Modulador FSK

### 3.3.4 Demodulador FSK

Este bloque realiza el proceso inverso del modulador, por lo cual se encarga de demodular las señales recibidas por el transceptor.

Para implementar el demodulador se ha utilizado el circuito integrado XR-2211 de la marca EXAR. Se trata de un sistema basado en un Oscilador Enganchado en Fase (PLL - Phase Locked Loop) diseñado para comunicaciones en módems. Este integrado dispone de un ancho de banda elevado (0,01kHz - 300kHz) así como de un rango de alimentación adecuado para la aplicación (4,5 - 20V) que permitirá trabajar con niveles TTL.

#### 3.3.4.1 Funcionamiento

El esquema interno del circuito integrado XR-2211 se muestra en la figura 3.10, donde se puede observar que esta conformado por un pre-amplificador de entrada, un multiplicador analógico utilizado como detector de fase y un Oscilador Controlado por Voltaje (VCO - Voltage Controlled Oscillator). El pre-amplificador (pin 2) se utiliza como limitador tal que las señales de entrada se amplifican a un nivel de señal constante. El multiplicador actúa como una compuerta OR exclusiva (X-OR). Su salida produce la suma y diferencia de frecuencias de la entrada y la salida del VCO. Estas frecuencias son  $f_{IN} + f_{VCO}$  (2 veces  $f_{IN}$ ) y  $f_{IN} - f_{VCO}$  (0Hz).



Agregando un condensador a la salida del detector de fase, la componente de 2 veces  $f_{IN}$  se reduce, dejando un voltaje DC que representa la diferencia de fase entre las dos frecuencias. Esto cierra el lazo y permite al VCO rastrear la frecuencia de entrada.

El comparador FSK se utiliza para determinar si la frecuencia del VCO se encuentra por encima o por debajo de la frecuencia central. Esto genera dos estados de salida activas alto y bajo, lo cual sirve para determinar cuando el PLL se encuentra enganchado.

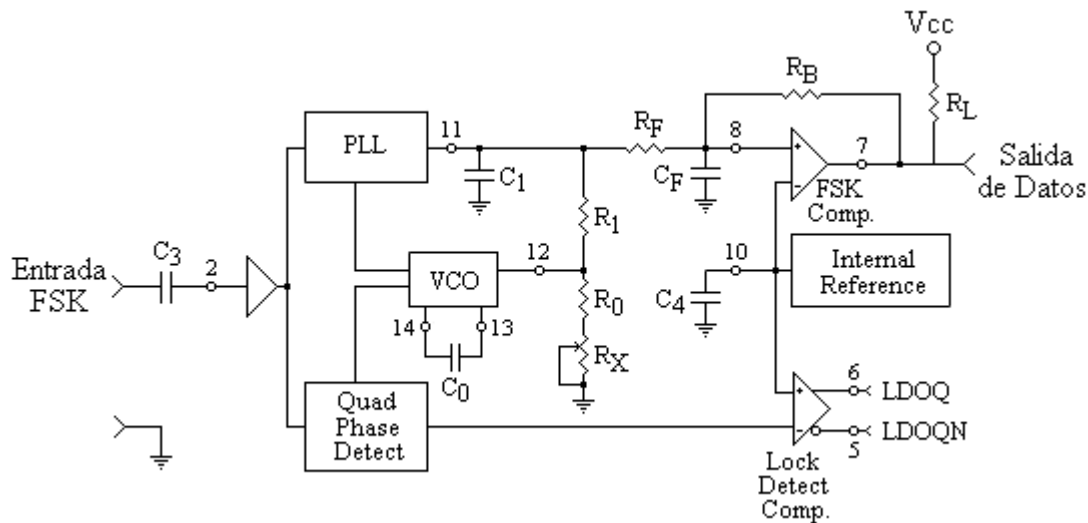


Figura 3.10. Esquema Interno del XR-2211

### 3.3.4.2 Cálculos y Consideraciones de Diseño

Haciendo referencia a la Figura 3.10, las funciones de los componentes externos son las siguientes:  $R_0$  y  $C_0$  se encargan de fijar la frecuencia central del PLL,  $R_1$  fija el ancho de banda del sistema,  $C_1$  fija la constante de tiempo del filtro del lazo y el factor de ruido del lazo.  $C_F$  y  $R_F$  forman un filtro de post-detección para la salida de datos FSK. La resistencia  $R_B$  introduce la realimentación positiva del comparador FSK para facilitar una transición rápida entre los estados lógicos de la señal de salida.

Para adaptar el integrado al diseño, el fabricante proporciona una serie de ecuaciones muy útiles. A continuación se describe el proceso:

Calculo de la frecuencia central ( $f_0$ ) del PLL:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}, \text{ donde } f_1 = 2025\text{Hz y } f_2 = 2225\text{Hz} \Rightarrow f_0 = 2122.64\text{Hz}$$

Calculo de  $R_0$ :

Si seleccionamos  $C_0 = 22nf$  tenemos que:

$$f_0 = \frac{1}{R_0 \cdot C_0} \Rightarrow R_0 = \frac{1}{C_0 \cdot f_0}$$

$$R_0 = 21,41K\Omega$$

El fabricante recomienda que su valor este entre  $10K\Omega$  y  $100K\Omega$ . El valor normal de  $R_0$  se ajusta finalmente colocando un potenciómetro  $R_x$  en serie con  $R_0'$ . Por lo tanto en la práctica seleccionamos los siguientes valores

$$R_0' = 18K\Omega \text{ y } R_x = 5K\Omega$$

Calculo de  $R_1$ :

Seleccionamos  $C_1 = 0,22nf$

$$R_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{C_1 \cdot \zeta^2}, \text{ donde } \zeta = 0.5, \text{ valor recomendado por el fabricante}$$

$$R_1 = 500K\Omega$$

Calculo de  $R_f$ : Este valor debe ser al menos cinco veces el valor de  $R_1$ .

$$R_f = 2,5M\Omega$$

Calculo de  $R_B$ : Este valor debe ser al menos cinco veces el valor de  $R_f$ .

$$R_B = 12,5M\Omega$$

Calculo de  $R_{SUM}$ :

$$R_{SUM} = \frac{(R_f + R_1) \cdot R_B}{(R_f + R_1 + R_B)}$$

$$R_{SUM} = 2,41M\Omega$$

Calculo de  $C_F$ :

$$C_F = \frac{0.25}{R_{SUM} \cdot BaudRate}, \text{ donde } BaudRate = 300$$

$$C_F = 0,34\text{nf}$$

Como se explico anteriormente, se colocaron potenciómetros para los valores de  $R_1$  y  $R_0$ . Variando  $R_1$  se esta fijando el ancho de banda y variando  $R_0$  la frecuencia central.

Posteriormente, los valores de resistencia encontrados con los potenciómetros fueron reemplazados por valores de resistencias fijas.

Para los elementos restantes siempre se selecciona el valor comercial mas aproximado al calculado teóricamente.

### 3.3.4.3 Diagrama Circuitual

El Demodulador FSK se implementa con el circuito de la figura 3.11.

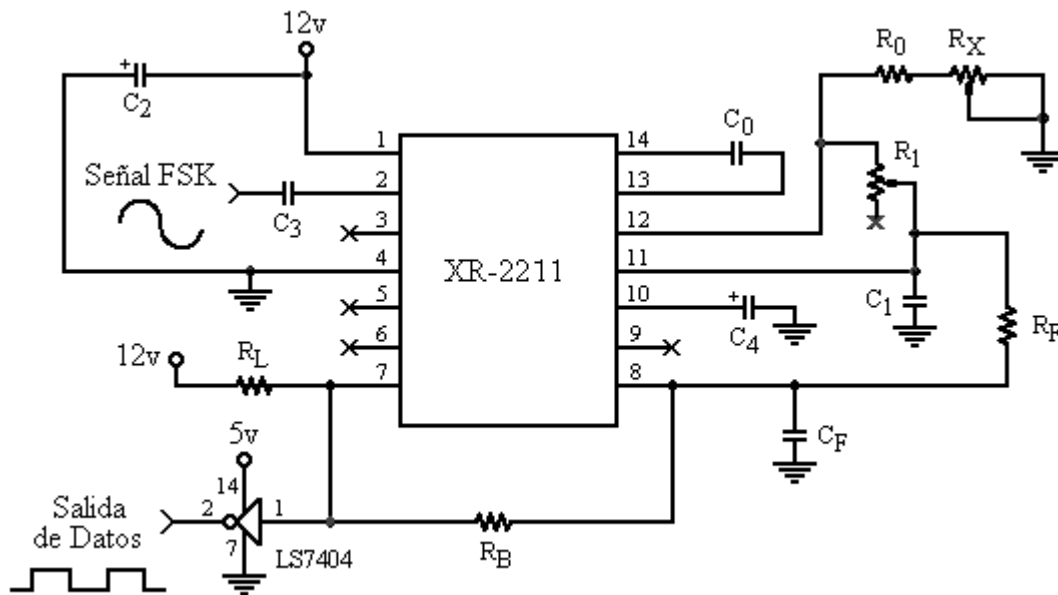


Figura 3.11. Demodulador FSK

### 3.3.4.4 Pruebas

Para probar si el circuito demodulador esta ajustado correctamente, se puede hacer uso del circuito modulador.

- *Prueba 1:* colocar a la entrada del demodulador una frecuencia  $f = f_{\text{marca}}$ .  
*Respuesta esperada:* se debe obtener a la salida del demodulador un “1 lógico”.
- *Prueba 2:* colocar a la entrada del demodulador una frecuencia  $f = f_{\text{espacio}}$ .  
*Respuesta esperada:* se debe obtener a la salida del demodulador un “0 lógico”.

Para obtener la respuesta esperada se tiene que variar los valores de  $R_1$  y  $R_0$ . Al final se observa como en el pin 13 y 14 ( $C_0$ ) la frecuencia se fija a la de la frecuencia de marca o a la frecuencia de espacio.

### 3.3.4.5 Lista de Componentes

Referencia	Valor
Integrado	XR-2211
$C_0$	22nf
$C_1$	0,22nf
$C_2$	1 $\mu$ f
$C_3$	0,1 $\mu$ f
$C_4$	0,1 $\mu$ f
$C_F$	0,33nf
$R_0$	18K $\Omega$
$R_1$	500K $\Omega$
$R_B$	12.5M $\Omega$
$R_F$	2.4M $\Omega$
$R_L$	10K $\Omega$
$R_X$	5K $\Omega$

Tabla 3.3. Componentes del Demodulador FSK

### 3.3.5 Circuito Push To Talk

Este bloque se encarga de controlar la función transmisión/recepción del transceptor. Este circuito permite activar la línea PTT del micrófono, permitiendo el paso de los datos de hacia el transceptor.

### 3.3.5.1 Funcionamiento

El circuito Push To Talk basa su funcionamiento en la operación del transistor 2N2222 y un rele de 12 voltios DC (VDC). Cuando se activa la línea Terminal de Datos Preparado (DTR – Data Terminal Ready) del puerto RS-232, los dos transistores entran en saturación y se comportan como interruptores cerrados, lo que permite que la corriente circule por el circuito, de esta manera se activa el PTT del transceptor y se habilita la línea de transmisión del transceptor (Mic Tx) y se bloquea la línea de recepción del transceptor (Mic Rx). Mientras no se active el PTT del transceptor, los transistores se encuentran en su región de corte, por lo tanto se comportan como interruptores abiertos, no permitiendo que circule ninguna corriente por el circuito, lo que significa que la línea de transmisión se encuentra bloqueada y la línea de recepción esta abierta para recibir las señales.

### 3.3.5.2 Diagrama Circuital

El circuito Push To Talk se implementa con el circuito mostrado en la figura 3.12.

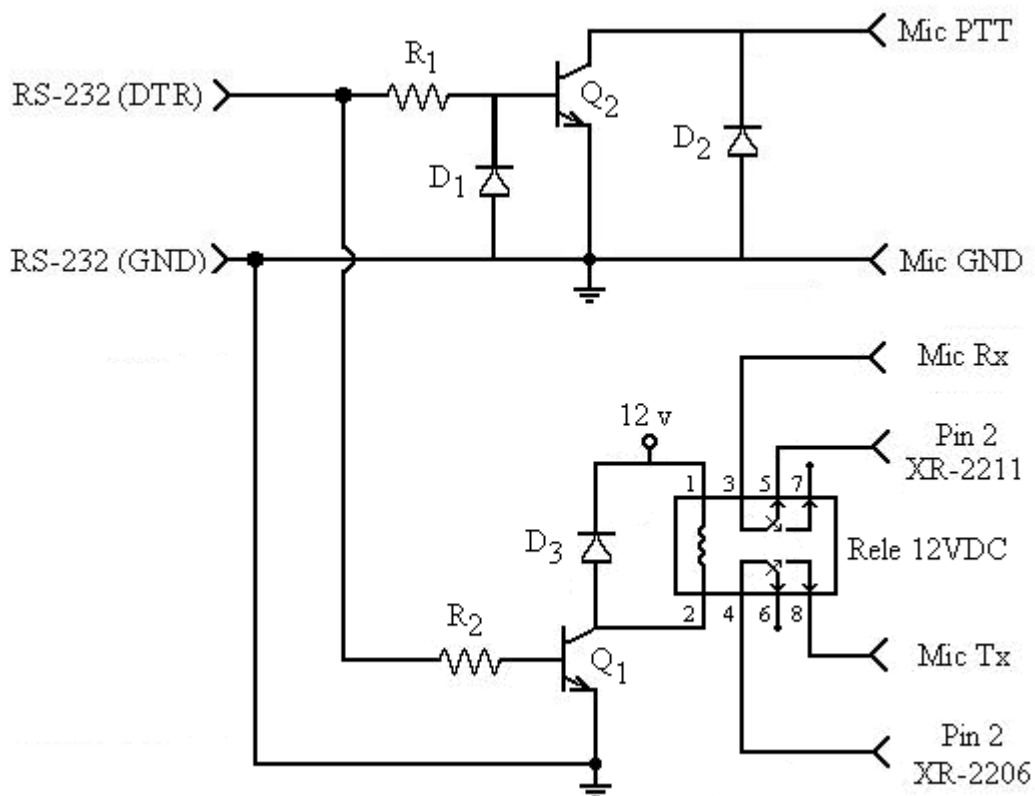


Figura 3.12. Circuito Push To Talk

### 3.3.5.3 Lista de Componentes

<b>Referencia</b>	<b>Valor</b>
Rele	12 VDC
R <sub>1</sub>	10 K $\Omega$
R <sub>2</sub>	10 K $\Omega$
Transistor Q <sub>1</sub>	2N2222
Transistor Q <sub>2</sub>	2N2222
Diodo D <sub>1</sub>	1N4148
Diodo D <sub>2</sub>	1N4148
Diodo D <sub>3</sub>	1N4148

Tabla 3.4. Componentes del Circuito Push To Talk

3.4 DIAGRAMA CIRCUITAL TOTAL

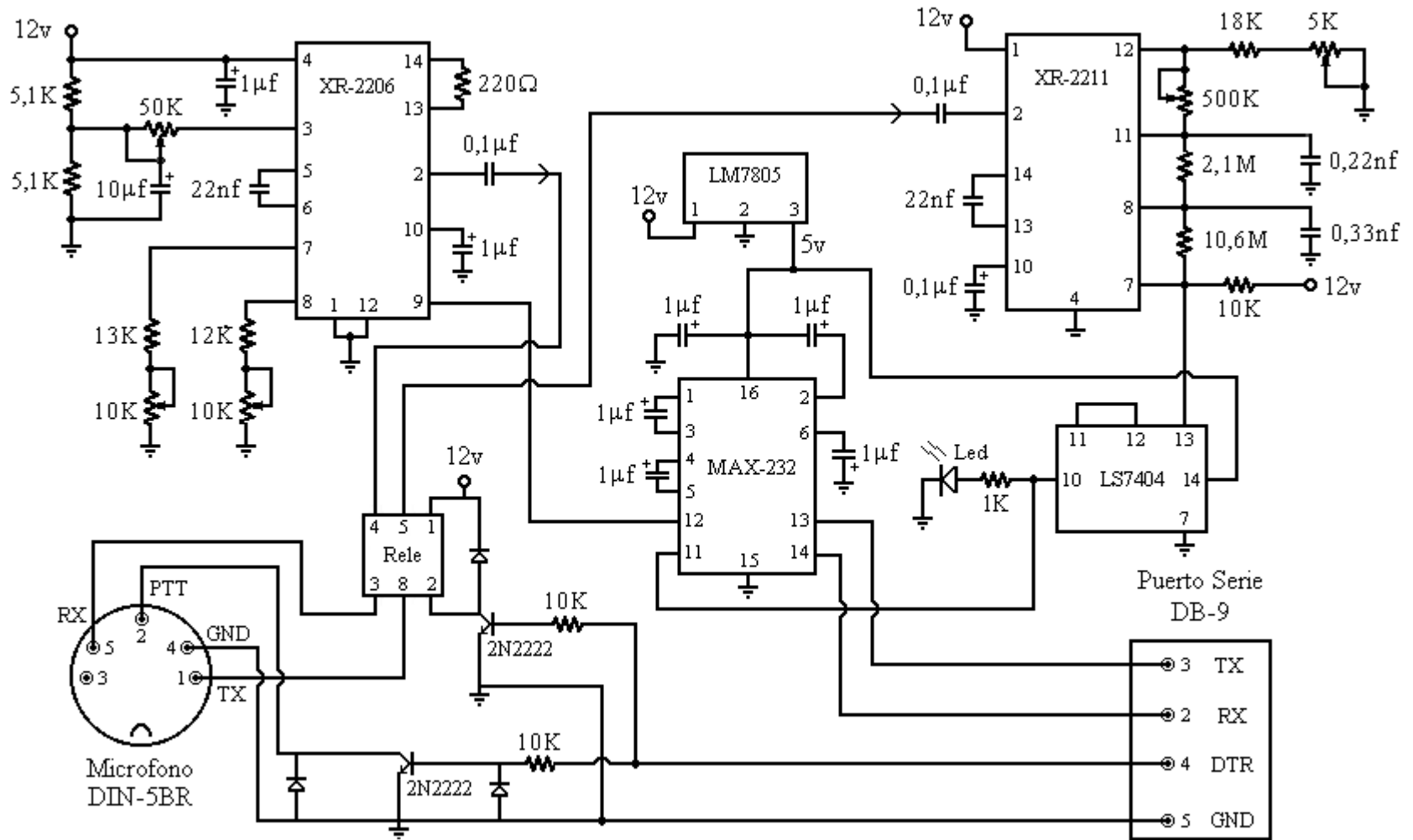


Figura 3.13. Diagrama Circuital Total

### 3.5 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

- El sistema opera en la banda de 11 metros de HF.
- El sistema necesita una fuente de alimentación de +12 VDC para alimentar el modem.
- El sistema necesita una fuente de alimentación de +13.8 VDC y 2 Amperios, para el funcionamiento apropiado del transceptor.
- El modem se conecta al puerto serial del computador (interfaz RS-232) por medio de un conector DB-9, utilizando solo las líneas de TX, RX, DTR y GND.
- El modem se conecta al micrófono del transceptor por medio de un conector DIN-5BR estándar, utilizando las líneas de Mic Tx, Mic Rx, PTT y Tierra.
- La antena se conecta al transceptor por medio de un conector SO239, utilizando un cable coaxial de referencia RG-58U.
- El modem utiliza modulación AFSK y está diseñado para soportar velocidades de transmisión de 300 bps o menores.
- La comunicación entre las dos estaciones se realiza en modo half-duplex.
- La aplicación que se ejecuta en el computador personal, establece que uno de los terminales opera como maestro y el otro como esclavo. El primero que envíe la solicitud de conexión automáticamente se convierte en el terminal maestro.
- La aplicación permite seleccionar y configurar el puerto serie del computador.
- La aplicación permite el intercambio de archivos tipo texto entre los dos terminales.

### 3.6 RESTRICCIONES DEL SISTEMA

Para el desarrollo del proyecto se han tenido en cuenta algunas consideraciones, con las cuales se han realizado algunas adaptaciones tanto al hardware como al software, lo que ha permitido la utilización de los equipos existentes. Estas consideraciones son:

- Los equipos utilizados como transeceptores son los existentes en la Universidad, y por ello el proyecto tiene que tomar las características de funcionamiento de estos dispositivos como parámetros fijos dentro del desarrollo del proyecto. Entre estos parámetros fijos que se utilizan se encuentra la banda de trabajo (banda ciudadana) y la potencia de transmisión.



- El protocolo ha utilizar es un protocolo propietario de la empresa Kantronics. La información acerca del funcionamiento exacto del protocolo es muy escasa y por ello se realiza una adaptación de la estructura del protocolo obtenida y su funcionalidad a la solución requerida.
- Las pruebas que se han realizado del sistema han sido dentro de la ciudad, con lo cual la comunicación se basa en una propagación de onda directa en un enlace punto a punto.
- Las antenas que se utilizaron para el enlace son simples dipolos de media onda con polarización horizontal, con las cuales se han obtenido muy buenos resultados, pero estos se podrían mejorar en la medida que se utilizarán arreglos de antenas o antenas diseñadas especialmente para la aplicación.

## 4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto se hicieron de manera secuencial, esto es, a medida que se iba implementando las partes del sistema se iban incorporando las pruebas de funcionamiento.

A continuación se hace una descripción de las pruebas realizadas en las fases del proyecto.

Se hicieron dos tipos de pruebas:

- Pruebas de laboratorio: pruebas hechas para comprobar el comportamiento de la parte software y hardware implementadas.
- Pruebas de campo: pruebas hechas para verificar el funcionamiento del sistema completo.

### 4.1 PRUEBAS DE LABORATORIO

#### 4.1.1 Pruebas de Comunicación Entre dos Computadores

Esta prueba se realizó entre dos computadores conectados por el puerto serial; se utilizó un cable null modem y la aplicación HyperTerminal de Windows.

Objetivos:

- Lograr una comunicación de datos a través del puerto serial.
- Estudiar el estándar RS-232C.

Resultados obtenidos:

- Se realizó fácilmente el intercambio de archivos entre los dos equipos.

#### 4.1.2 Pruebas de Comunicación Entre dos Computadores Utilizando el Modem FSK

- Esta prueba se realizó entre dos computadores conectados a través del puerto serial (conectando solo las líneas de TX, RX y Tierra del estándar RS-232) utilizando la aplicación HyperTerminal de Windows. Pero utilizando el modem FSK.

Objetivos:

- Lograr la comunicación de datos a través del puerto serial.
- Verificar las características del modem diseñado; la velocidad de transmisión y la modulación FSK.
- Pruebas de integración de los componentes del modem.

Resultados obtenidos:

- Las pruebas realizadas sirvieron para ajustar el funcionamiento interno de cada uno los componentes del modem. Así como para verificar la modulación y la demodulación de una señal transmitida por el puerto serie del computador.
- Se logro la transmisión de todos los caracteres ASCII y de archivos planos.

#### **4.1.3 Pruebas de Comunicación Utilizando el Modem FSK y el Protocolo G-TOR**

Estas pruebas se realizaron entre dos computadores, utilizando el modem FSK y la primera versión de prueba de aplicación (G-TOR1). Esta aplicación se utilizo para intercambiar caracteres y ver el funcionamiento de las principales características implementadas, como por ejemplo: la compresión Huffman, la codificación Golay, el chequeo de redundancia cíclica (CRC), el proceso ARQ y la formación de la trama.

Objetivos:

- Realizar el intercambio de caracteres entre dos computadores.
- Verificar las características del protocolo implementado utilizando la aplicación G-TOR1.

Resultados obtenidos:

- Se logro el intercambio de todos los caracteres ASCII y se pudo verificar que la aplicación G-TOR1 realizaba todos los procesos necesarios para generar las tramas correctamente.

## 4.2 PRUEBAS DE CAMPO

Estas pruebas se realizaron entre dos puntos específicos de la ciudad; el laboratorio de radioaficionados de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Cauca, y una residencia ubicada en el barrio el recuerdo. Luego se hicieron pruebas entre la facultad y un sitio ubicado en las afueras de la ciudad.

### 4.2.1 Pruebas de Comunicación de Voz

Este tipo de pruebas se realizo, bajo diferentes circunstancias climáticas y atmosféricas.

Objetivos:

- Lograr una comunicación de voz, mediante un enlace directo.
- Probar las antenas y los equipos de radio.

Resultados obtenidos:

Los radios trabajaban correctamente y las antenas utilizadas permitían obtener una muy buena transmisión de voz en todos los canales de la banda.

### 4.2.2 Pruebas de Integración del sistema

Estas pruebas se realizaron inicialmente para verificar que se podía transmitir y recibir por medio del hardware implementado, luego se hicieron para lograr establecer un enlace de comunicaciones (punto a punto) entre las dos estaciones.

Objetivos:

- Conectar todos los dispositivos hardware que componen una estación de radio HF digital. (computador, modem, transceptor, antena y aplicación software)
- Ejecutar la aplicación en el computador y controlar la puesta en transmisión/recepción del transceptor, mediante la línea PTT del micrófono.

Resultados obtenidos:

Se pudo verificar que la parte hardware funcionaba correctamente, teniendo en cuenta sus limitaciones, como por ejemplo: la antigüedad de los radios utilizados, su baja potencia de transmisión, el tipo de antenas empleadas y la estabilidad de los dispositivos electrónicos utilizados en la implementación de los modem.

En cuanto a la parte software, se tuvo que hacer adaptaciones de las principales características del protocolo G-TOR, como por ejemplo: la velocidad de transmisión, los métodos para la detección y corrección de errores, los tiempos de retardo en la sincronización de las señales de control utilizadas por el protocolo de comunicaciones G-TOR.

### **4.2.3 Pruebas de Funcionamiento del Sistema Completo**

Objetivos:

Establecer un enlace de comunicaciones punto a punto por onda terrestre entre dos estaciones de radio, ubicadas a una distancia menor a tres kilómetros, velocidades de transmisión no mayores a 300 bps y operando en la banda de 11 metros de HF.

Resultados obtenidos:

Se pudo establecer un enlace de comunicaciones punto a punto por onda terrestre, entre las dos estaciones de radio, posteriormente se logro el intercambio de archivos tipo texto, con velocidades de transmisión de 110 y 300 bps a una distancia menor a tres kilómetros.

## 5 CONCLUSIONES

- En el desarrollo de proyectos es muy importante definir y seguir una metodología, la cual hará posible en gran medida el alcance de los objetivos.
- Los proyectos que incluyen desarrollo hardware y software muchas veces se ven limitados por el costo o la difícil adquisición, tanto de elementos como de los recursos necesarios para su implementación.
- Es muy importante tener una fuente confiable de información, pues muchas veces la información encontrada en la Internet puede estar errónea o equivocada.
- El límite de la velocidad en una transmisión de datos en HF, depende del ancho de banda u operación utilizado, de las condiciones de ruido del canal de transmisión utilizado (condiciones climáticas – atmosféricas) y del hardware utilizado
- La calidad de un enlace de radio en HF se puede mejorar de acuerdo al presupuesto que dispongamos para invertir, por ejemplo en los equipos de radio, el sistema de antena, el software utilizado, etc.
- El objetivo principal de una transmisión de datos es enviar y recibir información libre de errores, por lo tanto es muy importante el uso de técnicas para el control de errores. En este caso el protocolo de comunicaciones G-TOR emplea un método diferente para la detección y para la corrección de errores.
- A pesar de las limitaciones que se tienen para lograr una comunicación de datos en la banda de HF y específicamente en la banda de 11 metros, este proyecto ofrece una solución sencilla y económica para comunicaciones inalámbricas a cortas distancias y largas distancias; aunque, la transmisión de larga distancia debe probarse y no forma parte del presente trabajo de grado.

## 6 RECOMENDACIONES

- Debido al reciente auge de las comunicaciones digitales en las bandas utilizadas por los radioaficionados, es de gran importancia continuar con la investigación y el desarrollo de proyectos afines.
- Contando con mejores recursos económicos podría pensarse en el desarrollo de una red de datos móvil, entre sectores de difícil acceso y donde no se cuenta con la infraestructura capaz de prestar servicios de comunicaciones.
- Sería de gran interés realizar un trabajo similar al desarrollado en este proyecto, pero utilizando técnicas de modulación multinivel, con procesadores digitales de señal, lo cual permitiría aumentar la eficiencia del enlace, y la velocidad de transmisión del mismo.
- Para lograr comunicaciones a mayor distancia, se debe utilizar transeceptores HF con mayor potencia de transmisión.
- Podría plantearse nuevos proyectos utilizando diferentes técnicas de propagación, lo que obligaría a experimentar con otras bandas y diferentes tipos de modulación.
- Actualmente las transmisiones de datos en la banda de HF, se realizan utilizando un computador equipado con una tarjeta de sonido (utilizada para realizar la modulación), el transeceptor y la antena. Este nuevo esquema ha hecho que cada vez mas personas experimenten las comunicaciones en estas bandas.
- Aprovechar que el espectro de frecuencia y en especial la banda de HF no se encuentra saturada en nuestro país, lo cual permite su libre utilización con fines de experimentación en el campo de las comunicaciones digitales vía radio.
- Realizar el diseño y construcción de antenas para sistemas de radiocomunicaciones digitales, teniendo en cuenta el tipo de propagación, las bandas de frecuencia utilizadas en HF, la potencia de transmisión y las características de los equipos de radio empleados.

## BIBLIOGRAFÍA

Ford, S. HF Digital Handbook. ARRL – The national association for Amateur Radio Newington. 2ª Edición. USA. 2001.

Huslig, M. Anderson, P. Medcalf, K. Prescott, G. G – TOR: The Protocol. Minnesota, ARRL Digital Communications conference. Agosto 19 –21, 1994.

Huslig, M. Anderson, P. GMON – a G-Tor Monitoring Program for PC Compatibles. Minnesota, ARRL Digital Communications Conference. Agosto 19 –21, 1994.

Anderson, P. Prescott, G. A Theoretical Evaluation of the G – TOR Hybrid ARQ Protocol. Minnesota, ARRL Digital Communications Conference. Agosto 19 –21, 1994.

Antenas y Líneas de Transmisión. Disponible en Internet, <http://www.espanol.geocities.com/elradioaficionado.html>. 10 de Marzo de 2003.

Compresión de Datos en las Comunicaciones. Disponible en Internet, <http://www.intelec.dif.um.es/~aike/tic/compresion/Compress.html>. Junio 1997.

La modalidad AMTOR, PACTOR. Disponible en Internet, [http://www.tejo.usal.es/~nines/d.alumnos/radio/cap\\_3.html](http://www.tejo.usal.es/~nines/d.alumnos/radio/cap_3.html). Abril 1995.

ITU-R. Disponible en Internet, <http://www.itu.int/home/index.html>. 28 Abril de 2003.

XR-2206 & XR-2211 Modem. Disponible en Internet, <http://www.angelfire.com/fl3/technicothica/index.html>. 15 Septiembre de 2002.

Propagación y Antenas. Disponible en Internet, <http://www.radiocomunicacion.com/ep/topic.htm>.

Serrano, Carlos E. Modelo de Construcción de Soluciones - Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería 2002. Editorial Universidad del Cauca, Popayán. (En turno para publicación)



## GLOSARIO

**AMTOR:** Fue el primer modo de comunicación digital para radioaficionados en ofrecer transmisiones de texto sin errores. (Amateur Telex Over Radio)

**CLOVER:** es el nombre dado a una serie de técnicas de modulación (formas de onda), diseñadas especialmente para la utilización en sistemas de comunicación de datos en HF.

**Compresión Huffman:** Es una técnica de codificación utilizada para comprimir datos por la representación de los eventos más comunes con códigos cortos y los menos comunes con códigos largos.

**Half Duplex:** Modo de operación de un sistema o circuito de telecomunicaciones. También conocido como operación semiduplex, dúplex en alternativa u operación en semiduplex. Permite establecer una comunicación simple en la cual puede invertirse el sentido de la transmisión.

**Modulación multinivel:** formas de modulación digitales Algunos sistemas avanzados utilizan más de dos niveles, puesto que así logran enviar mas bits por el mismo tono.

**Rotación Faraday:** Efecto por el cual el plano de polarización es rotado debido a la influencia del campo magnético paralelo a la dirección de propagación.

**Yagi:** Antena de HF del tipo direccional.

---

## ACRÓNIMOS

ACK:	Acknowledgment. Carácter de Aceptación.
AFSK:	Audio Frequency Shift Keying. Manipulación por Desplazamiento de Audiofrecuencia.
AM:	Amplitude Modulation. Modulación en Amplitud.
AMTOR:	Amateur Teleprinter Over Radio.
ARQ:	Automatic Repeat reQuest. Petición Automática de Retransmisión.
ARRL:	American Radio Relay League. Liga Americana de Radio.
ASCII:	American Standard Code for Information Interchange. Estándar de Codificación Americano para el Intercambio de Información.
ASK:	Amplitude Shift Keying. Manipulación por Desplazamiento de Amplitud.
BER:	Bit Error Rate. Tasa de Error de bit.
Bd:	Baudios.
Bps:	Bits por segundo.
CB:	Citizens Band. Banda Ciudadana.
CCITT:	International Telegraph and Telephone Consultative Comité. Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.
CODEC:	Codificador/Decodificador.
CPU:	Central Processing Unit. Unidad Central de Procesos.
CRC:	Cyclic Redundancy Check. Chequeo de Redundancia Cíclica.
CS:	Control Signal. Señal de Control.
DC:	Corriente Directa.
DCE:	Data Communications Equipment. Equipo para Comunicaciones de Datos.

---

DSP:	Digital Signal Processor. Procesador Digital de Señal.
DTE:	Data Terminal Equipment. Equipo Terminal de Datos.
DTL:	Diode Transistor Logic.
DTR:	Data Terminal Ready. Terminal de Dato de Preparado.
E:	Campo Eléctrico.
ECL:	Emitter Coupled Logic.
EHF:	Extra High Frequency. Extra Alta Frecuencia.
EIA:	Electronic Industries Association. Asociación de Industrias Electrónicas.
e-mail:	Correo Electrónico
FEC:	Forward Error Correction. Corrección de Errores en Recepción.
FM:	Frecuencia Modulada.
FSK:	Frequency Shift Keying. Manipulación por Desplazamiento de Frecuencia.
GHz:	Gigahertz.
GND:	Ground. Tierra.
G-TOR:	Golay-coded Teleprinting Over Radio.
H:	Campo Magnético
HF:	High Frequency. Alta Frecuencia.
HSI:	High Scale Integration. Alta Escala de Integración.
Hz:	Hertz.
IRQ:	Interrupt ReQuest. Requerimiento de Interrupción.
IRS:	Information Receiving Station. Estación Receptora de Información.
ISS:	Information Sending Station. Estación que Envía Información.

---

ITU:	International Telecommunications Union. Unión Internacional de Telecomunicaciones.
KHz:	Kilohertz.
Km:	Kilometros
LF:	Low Frequency. Baja Frecuencia.
LSB:	Low Side Band. Banda Lateral Inferior.
LSB:	Least Significant Bit. Bit Menos Significativo.
LUF:	Lowest Usable Frequency. Frecuencia Mínima Utilizable.
MF:	Médium Frequency. Media Frecuencia.
MHz:	Megahertz.
Mic:	Micrófono.
Mic GND:	Tierra del micrófono.
Mic Rx:	Línea de recepción del transceptor.
Mic Tx:	Línea de Transmisión del transceptor.
MSB:	Most Significant Bit. Bit Más Significativo.
MUF:	Maximun Usable Frequency. Frecuencia Máxima Utilizable.
NACK:	Acknowledgment. Carácter de No Aceptación.
OWF:	Optimum Working Frequency. Frecuencia Óptima de Trabajo.
PAD:	Packet Assembler Disassembler. Ensamblador y Desensamblador de Paquetes.
PC:	Personal Computer. Computador Personal.
PLL:	Phase Locked Loop. Oscilador Enganchado en Fase.
PSK:	Phase Shift Keying. Manipulación por Desplazamiento de Fase.
PTT:	Push To Talk.

---

QSO:	Comunicado
RF:	Radio Frequency. Radio Frecuencia.
ROE:	Relación de Ondas Estacionarias.
RTTY:	Radio TeleTYpe. Radio Teletipo.
RUP:	Rational Unified Process. Proceso Unificado de Racional.
Rx:	Recepción.
SHF:	Super High Frequency. Super Alta Frecuencia.
SID:	Sudden Ionospheric Disturbance. Perturbación Ionosférica Súbita.
SSB:	Single Side Band. Banda Lateral Unica.
SW:	Short Wave. Onda Corta.
TNC:	Terminal Node Controller. Nodo Terminal de Control.
TOR:	Teleprinting Over Radio.
TTL:	Transistor Transistor Logic.
Tx:	Transmisión.
UHF:	Ultra High Frequency. Ultra Alta Frecuencia.
UART:	Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Transmisor Receptor Asíncrono Universal.
VCO:	Voltage Controlled Oscillator. Oscilador Controlado por Voltaje.
VDC:	Voltios DC.
VHF:	Very High Frequency. Muy Alta Frecuencia.
VLf:	Very Low Frequency. Muy Baja Frecuencia.
WWW:	World Wide Web. Telaraña de Cobertura Mundial.
X-OR:	OR-Exclusiva.