

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



## **ANALISIS DEL MODULO DE TRANSMISION DEL SISTEMA ISDB-T**

### **INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

### **INGENIERO ELECTRONICO**

**PRESENTADO POR:**

**EPIFANIA EULOGIA PEREZ ESTRELLA**

**PROMOCION  
1995-II**

**LIMA – PERU  
2011**

## **ANALISIS DEL MODULO DE TRANSMISION DEL SISTEMA ISDB-T**

**Dedicado a mis padres  
V́ctor ySabina**

**A mis hijos  
Edgard, Sabina y Miguel**

**A mi hermana Martha**

## **SUMARIO**

El presente trabajo cuyo título es **ANALISIS DEL MODULO DE TRANSMISION DEL SISTEMA ISDB-T** es un informe que reúne en su contenido los principios fundamentales y características técnicas en base a los cuales se debe entender la transmisión de las señales digitalizadas de televisión y un breve recuento del desarrollo de esta nueva tecnología que en un futuro no lejano cambiará nuestro estilo de vida, haciendo que más personas en el mundo entero se integren e interaccionen a través de la televisión digital.

De este manera, este trabajo tiene como objetivo divulgar el conocimiento de la nueva tecnología adoptada en nuestro País para coadyuvar a las futuras aplicaciones que necesariamente deberán darse, posibilitando de ese modo la integración de amplios sectores de nuestra población bajo el esquema de la utilización de las múltiples ventajas que ofrece esta tecnología emergente en nuestro medio.

El análisis está elaborado en base al desarrollo de cuatro capítulos, que explican las razones de la obligada migración de la señal analógica a la señal digital, así como las ventajas que ofrece y los beneficios que su implementación llevaría ala población. Dado que la característica de la nueva señal está basada en la utilización de técnicas modernas de modulación y procesamiento de señales, lo cual permite la eficiente utilización del espectro electromagnético. Así mismo, se muestra el estudio para la adopción del ISDBT-T por parte de nuestro país.

## INDICE

<b>PROLOGO</b>	01
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	03
1.1 Descripción del Proyecto	03
1.2 Objetivos	04
1.2.1. Objetivo general	04
1.2.2. Objetivos específicos	04
1.3 Limitaciones del informe	05
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEORICO CONCEPTUAL</b>	06
2.1 Antecedentes del problema	06
2.1.1 Reseña Histórica	06
2.1.2 Referencia Normativa	08
2.2 Base Teórica	08
2.2.1 Sistema ISDB-T	08
2.2.2 Características Técnicas del Sistema ISDB-T [5]	08
<b>CAPITULO III</b>	
<b>MODULO DE TRANSMISION DEL SISTEMA ISDB-T</b>	11
3.1 Esquema de Análisis	11
3.2 Componentes del Esquema de Análisis	11
3.2.1 Modulación OFDM	11
3.2.2 Análisis de las etapas del Sistema de Transmisión	18
3.2.3 Importancia del aporte brasileño al Sistema ISDB-T	49
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS</b>	51
4.1 Introducción	51
4.2 Producción en el estudio	51
4.3 Enlace de microondas	51
4.4 Etapa de transmisión de la señal digital de TDT	51
4.5 Plan de canalización en Lima	57
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	58
<b>ANEXO A</b>	

<b>Definición de términos</b>	60
<b>ANEXO B</b>	
<b>Teoría básica de OFDM</b>	64
<b>ANEXO C</b>	
<b>Adopción del sistema ISDB-T en el Perú</b>	67
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	71

## PROLOGO

La transmisión de la información es parte fundamental en todo proceso de comunicación. Es de conocimiento general que la televisión desde sus orígenes ha sido un medio de comunicación con amplia capacidad de influencia sobre grandes sectores de la población, como lo es hasta la actualidad, convirtiéndose prácticamente en el único medio al cual tienen acceso diversas capas de nuestra sociedad para llegar a la cultura y a la información.

Para el análisis del tema ha sido necesario recurrir a las fuentes de quienes desarrollaron esta tecnología, así como de los que han colaborado en mejorarla, es decir a los estándares Japonés [3] y Brasileño [7]; de tal forma que se garantiza el respeto a las normas técnicas internacionales.

Para este propósito, en los siguientes capítulos se analizará más detalladamente el sistema ISDB-T y se enfatizará en el sistema de transmisión que emplea, el cual es básicamente el tema central a desarrollar.

El primer capítulo, describe el problema y se presentan los objetivos, se establecen las limitaciones del trabajo para de ese modo plantear las alternativas de solución.

En el segundo capítulo, se establece el marco teórico conceptual, en ella se trata los antecedentes del problema, incluyendo el marco histórico y toda la base teórica que fundamenta la tecnología en cuanto a televisión digital.

En el tercer capítulo, se propone una metodología de solución al problema planteado. El método consiste en primer lugar en el desarrollo de los elementos de transmisión, el análisis de cada uno de sus componentes para luego verlos como un todo haciendo posible la transmisión de la señal digital. También se analizan los tipos de modulación que se utiliza para la transmisión de la señal.

En el cuarto capítulo, se realiza la presentación y análisis de los resultados, tanto descriptivo, interpretativo y de las aplicaciones, las cuales han sido implementadas luego de estudios y teniendo en cuenta el aspecto geográfico de nuestra región respetando las normas del estándar ISDB-T.

Finalmente, en el quinto capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones finales del informe.

Por último, dedico este informe a la Memoria de mis amados padres, quienes en vida fueron ejemplo de lucha y superación y quienes sembraron en mí la semilla del amor al

estudio, al trabajo y la verdad. A mis hijos, que son el legado más preciado que Dios me ha dado, por quienes todo sacrificio es nada y quienes son el motor que impulsa mis días. A Edgard Oporto y mi querida hija por su gran apoyo y a Martha por su ejemplo de perseverancia y tenacidad. A mis queridos e inolvidables maestros de la UNI y sobre todo al Dr. Juan Moisés Mauricio Villanueva por su valiosa colaboración.

Gracias a todos, de todo corazón.



# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

### **1.1. Descripción del Proyecto**

El principal problema de la televisión analógica es el uso poco óptimo del ancho de banda disponible en el espectro electromagnético. Al crecer el número de estaciones transmisoras, se producen interferencias entre canales adyacentes.

En la televisión analógica, los parámetros de la imagen y del sonido se representan por las magnitudes analógicas de una señal eléctrica, el transporte de esta señal analógica hasta los hogares ocupa muchos recursos, tales como: mayor ancho de banda, saturación del espectro radioeléctrico por el uso de frecuencias múltiples, etc. Así también se producen modificaciones de la señal recibida con respecto a la visibilidad de la imagen y atenuación debido principalmente a distancias alejadas de un repetidor de televisión y edificios altos. Estas consideraciones, tendrán un efecto negativo sobre la calidad de imagen y sonido que finalmente recibimos.

Por ejemplo, en la televisión analógica la imagen se compone de líneas horizontales (de 625 líneas). La luminosidad a lo largo de una línea se traduce en una señal eléctrica de tensión proporcional a dicha luminosidad (el blanco equivale a la mayor tensión y el negro a la menor). Esto es válido para la televisión en blanco y negro. Para el caso del color, el procedimiento es algo más complejo. Cualquier variación de esta señal eléctrica nos puede hacer variar la información transmitida, acarreado siempre un efecto negativo sobre la calidad de imagen y sonido que finalmente recibimos.

En el mundo digital esos parámetros se representan por números; en un sistema de base dos, es decir, usando únicamente los dígitos ceros y unos. La cantidad de bits que genera el proceso de digitalización de una señal de televisión es tan alta que necesita una gran capacidad de almacenamiento y de recursos para su transporte [12].

Ejemplos de la cantidad de bits que genera la digitalización de tres diferentes formatos de televisión:

En formato convencional (4:3) una imagen digital de televisión está formada por 720x576 puntos (pixels). Almacenar una imagen requiere: 1 Mbyte y transmitir un segundo de imágenes continuas, requiere una velocidad de transmisión de 70 Mbits/s.

En formato panorámico (16:9) una imagen digital de televisión está formada por 960x 576 puntos (pixels). Este formato requiere un 30% más de capacidad que el formato 4:3.

En formato de alta definición la imagen digital de televisión consiste en 1920 x1080 puntos (pixels). Almacenar una imagen requiere más de 4megabytes por imagen. Transmitir un segundo de imágenes continuas, requiere una velocidad de transmisión de 1Gbit/s.

Sin embargo, las señales de televisión tienen más información de la que el ojo humano necesita para percibir correctamente una imagen. Es decir, tienen una redundancia considerable. Esta redundancia es explotada por las técnicas de compresión digital, para reducir la cantidad de "números" generados en la digitalización hasta unos niveles adecuados que permiten su transporte con una gran calidad y economía de recursos.

En los inicios de la televisión digital se encontró un problema de transmisión. Una señal de televisión digital ofrecida directamente por el conversor analógico/digital contiene una gran cantidad de bits, la cual no permitiría la viabilidad de su transporte y almacenamiento sin un consumo excesivo de recursos [13].

El sistema de Televisión Digital Terrestre (TDT) es uno de los avances tecnológicos que más van a afectar a la sociedad en los próximos años. Ello es debido a la obligatoriedad de realizar la transición desde el sistema de televisión analógica, que ha venido utilizándose desde la invención de la propia televisión hasta el nuevo sistema de televisión digital [1]. Esta transición está marcada por el previsto *apagón analógico*, que en algunos países ya se produjo y en el Perú se iniciará partir del año 2020 en Lima y Callao y paulatinamente se extenderá por todo el país según el cronograma establecido por el MTC. En el caso de la televisión estatal (canal 7) ya emite su señal digital de prueba a partir de Marzo del 2010, así también se suman a ella los canales 2, 4, 9 y 13.

La Televisión Digital Terrestre es una nueva técnica de radiodifusión de señales que aprovechan los beneficios del tratamiento, multiplexación, codificación y modulación digital de señales de audio, vídeo y datos con el objetivo de optimizar la transmisión de las señales de televisión. Esta técnica permite el uso más eficiente del espectro radioeléctrico y una reducción de los costos de radiodifusión [1].

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Elaborar un esquema de análisis que contemple el desarrollo de cada etapa del módulo de transmisión del Sistema ISDB-T que nos permita entenderlo para aplicarlo en la implementación de estaciones de TDT en el país.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar un estudio previo de la técnica de Modulación por División de Frecuencia Ortogonal OFDM, para entender el desarrollo del sistema de televisión digital.
- Desarrollar y analizar exhaustivamente cada etapa del módulo de transmisión.

➤ Análisis de aplicación a un caso específico para Lima Metropolitana.

### **1.3. Limitaciones del informe**

La principal limitación del presente informe es la implementación del módulo de transmisión, debido a la complejidad de sus partes y también por el alto costo que significan.

## **CAPITULO II MARCO TEORICO CONCEPTUAL**

### **2.1. Antecedentes del problema**

Hace unos años atrás la posibilidad de difundir imágenes de televisión en forma digital parecía ser remota, por una razón muy importante: se requería un flujo de información demasiado grande para la época, de unos 108 a 270 Mbits/s para un sistema de 525 a 625 líneas.

En televisión digital las imágenes requieren una velocidad de transferencia de aproximadamente cuatro veces mayor que una imagen de calidad estándar, del orden de los giga bits. De esta manera, un flujo que necesita alrededor de 200 Mbits/s, como el requerido en la Norma 4:2:2, no pueda ser considerado a la hora de difundir la señal de vídeo hacia el usuario final, ya que se necesitaría de una banda de paso al menos de 5 o 6 veces la señal ocupada por la señal analógica [13]. Se debe enfatizar que la banda de frecuencia para la televisión es de 6MHz.

Las condiciones sin la cual no se podían realizar el lanzamiento de un servicio de radiodifusión de televisión digital se pueden clasificarlas en dos:

- Codificación de la fuente

Esta es una técnica de compresión de audio y video para reducir el flujo digital, en términos de Mbits/s.

- Codificación de canal

Consiste en desarrollar algoritmos de corrección de errores asociados a técnicas de modulación eficaces, en términos de Mbits/s teniendo en cuenta la banda de paso disponible y los previsible efectos del canal de transmisión [13].

#### **2.1.1 Reseña Histórica**

La televisión de alta definición HDTV (High Definition Television) fue creada por la NHK (televisión estatal japonesa). La investigación de HDTV comenzó en los años 1960, aunque solamente en 1973 un estándar fue propuesto al ITU-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones, Capítulo de Radiodifusión).

En los años 1980 fueron desarrollados entre otros la cámara de televisión, el tubo rayos catódicos de alta definición, el videograbador y los equipos de edición. En 1982 NHK desarrolló MUSE (codificación múltiple de muestreo sub-Nyquist), el primer sistema de compresión y transmisión de HDTV. El MUSE adoptó el sistema video digital de la

compresión, pero para la frecuencia de la transmisión la modulación había sido adoptada después de que un convertidor de digital a analógico convirtiera la señal numérica. En 1987, NHK realizó demostraciones del MUSE en Washington D.C. a la National Association of Broadcasters (NAB), causando como resultado que Estados Unidos desarrolle su propio estándar. Así, en 1995, Estados Unidos seleccionó al ATSC como su estándar nacional dejando de lado al MUSE lo que obligó a los japoneses a reinventar su estándar.

El 15 de Mayo de 1995 fue establecida la Asociación de Industrias y Negocios de Radiodifusión (ARIB) como una Corporación de servicio público por parte del Ministerio de Telecomunicaciones Japonés, quienes luego de pruebas y estudios decidieron las especificaciones de un sistema de radiodifusión digital terrestre llamado ISDB-T (por su similitud con el ISDB-I).

En 1999 la Malaysian Electric Corporation (MEC) adoptó oficialmente el ISDB-T como estándar para Japón. Ese mismo año, las emisiones por satélite fueron liberadas y antes de ver TV Digital Terrestre, los japoneses asistieron al nacimiento del ISDB-S, televisión digital satelital. Japón comenzó las emisiones de la TV Digital Terrestre en diciembre de 2003 [2].

### **2.1.2 Referencia Normativa**

El Sistema de Transmisión ISDB-T se especifica en la Recomendación UIT-RBT.1306. La planificación y criterios del Sistema ISDB-T se especifican en la Recomendación UIT-RBT.1368.

El propósito de esta norma es definir el Sistema de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre entre varios tipos de radiodifusión de televisión manejado por las estaciones de televisión. Esta Norma se aplica a la Radiodifusión de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en las bandas UHF y VHF [3].

#### **• Documentos relacionados [3]**

Las siguientes son las normas y otros documentos relacionados con la transmisión de la radiodifusión digital televisiva terrestre basados en este estándar:

- "Servicio de Información para el Sistema de Radiodifusión Digital", ARIB Standard, ARIB STD-B10.
- "Codificación de datos y Especificaciones de Transmisión para la Radiodifusión Digital", ARIB Standard, ARIB STD-B24.
- "Especificaciones del sistema de control de Acceso para la Radiodifusión Digital", ARIB Standard, ARIB STD-B25.
- "Codificación de vídeo, Codificación de Audio y Multiplexación. Normas de Radiodifusión Digital", ARIB Standard, ARIB STD-B32.

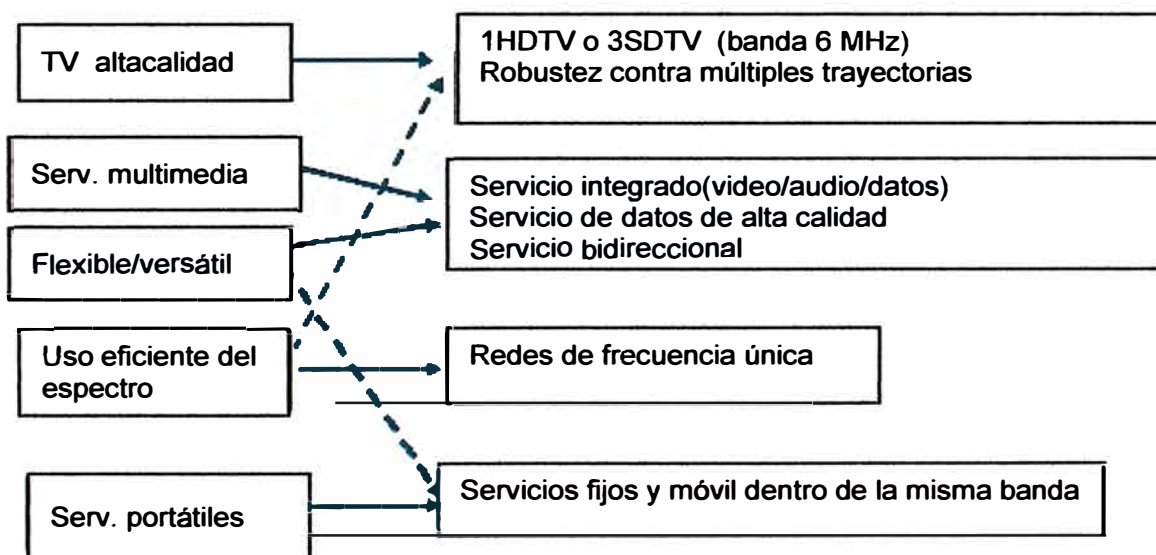
“Sistema de Transmisión de Radiodifusión Sonora Digital Terrestre”, ARIB Estándar, ARIB STD-B29.

## 2.2 Base Teórica

### 2.2.1 Sistema ISDB-T

Se debe tener en cuenta que el sistema ISDB-T surge de la necesidad de mejorar la calidad de la señal de televisión, a la vez que obliga a sus diseñadores a integrar los servicios de telecomunicaciones; los cuales han tenido un importante desarrollo en las últimas décadas gracias a la utilización de los dispositivos de alta escala de integración y el desarrollo del lenguaje VHDL. VHDL es una forma en que los humanos y las máquinas puedan leer y entender la funcionalidad y la organización de sistemas y hardware digitales.

En la Figura 2.1 se ilustra los requerimientos y las alternativas de solución del sistema ISDB-T.



**Figura 2.1** - Requerimientos y alternativas de solución del ISDB-T

### 2.2.2 Características Técnicas del Sistema ISDB-T[5]

Entre las características del Sistema ISDB-T se tienen:

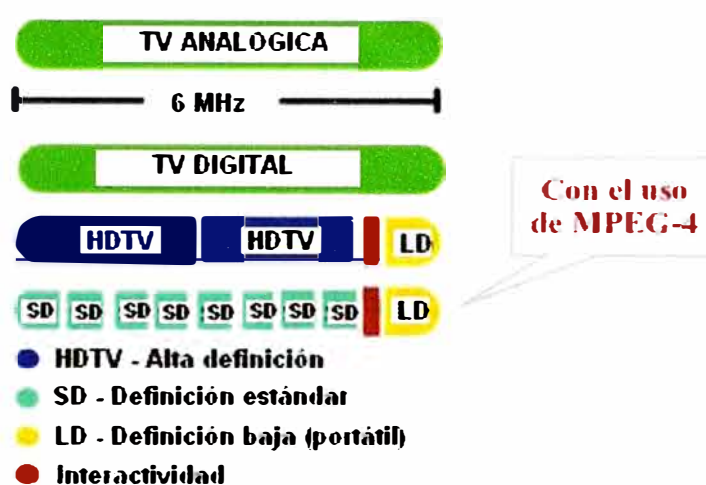
a) Transmisión de un canal HD (High Definition), hasta dos o tres canales SD (StandardDefinition) y un canal para teléfonos móviles dentro de un ancho de banda de 6 MHz reservado para transmisiones analógicas, como se ilustra en la Figura 2.2. Con la mejora por parte del Sistema Brasileño es posible la transmisión de hasta 8 canales en formato SDTV.

HDTV (High DefinitionTelevision). En este formato las imágenes que se transmiten

son hasta 6 veces mayor en Resolución Horizontal que su par analógico y hasta 2 veces mayor en Resolución Vertical. En cuanto a sonido, éste se transmite por sistema multicanal con sonido envolvente.

SDTV (StandardDefinitionTelevision). En este formato las imágenes y el sonido son reproducidos con la misma definición que presenta la televisión analógica, siendo la transmisión digital.

b) Proporciona servicios interactivos con transmisión de datos, por ejemplo para juegos o compras, vía línea telefónica o internet de banda ancha; tanto en televisión fija como móvil. El canal de retorno es implementado a través de internet.



**Figura 2.2 - Características del ISDB-T con el aporte brasileño**

- c) Suministra EPG (ElectronicProgram Guide), guía electrónica de programas.
- d) Puede recibirse con una simple antena interior.
- e) Proporciona robustez a la interferencia multitrayecto, causante de los denominados "fantasmas" y a la interferencia de canal adyacente de la televisión analógica. Aunque, según los criterios de planificación de la UIT-R BT-1368-6, esta norma presenta menor robustez a la interferencia de canales adyacentes analógicos pues su valor es de 31 a 33 dB, frente a los 32 a 38 del sistema europeo y 48 a 49 del sistema americano. La robustez es mejor cuanto mayor sea esta cifra.
- f) Proporciona mayor inmunidad en la banda UHF a las señales transitorias que provienen de motores de los vehículos y líneas de energía eléctrica en ambientes urbanos. Estas señales transitorias se concentran en la banda VHF.
- g) Proporciona servicio de transmisión móvil a los teléfonos celulares, denominado One-Seg, el cual inicialmente fue diseñado para una recepción establecida en los trenes bala en Japón[14]. Aunque todas las normas digitales existentes permiten la ventaja de

transmitir en forma gratuita a televisores fijos y simultáneamente a móviles, en el sistema One-Seg al permitir la transmisión directa y gratuita a celulares, las empresas televisoras no tienen la facultad de elegir otro modelo distinto, obligándolas a la gratuidad del servicio para receptores móviles. La clasificación One-Seg se destina a los receptores de tipo portátil, conocidos también como “handheld”, entre ellos se encuentran los receptores integrados con teléfono celular, los PDA, dongle y los televisores portátiles que se alimentan por medio de una batería externa.

h) Provee SFN (Single Frequency Network) o Redes de Frecuencia Única. Esta tecnología hace uso eficiente del espectro electromagnético.

i) Provee tecnología OnChannelRepeater(Repetición en el Canal).

Por otro lado la convergencia de servicios de telecomunicaciones para el usuario a través de la televisión digital, constituye uno de los aportes más importantes de esta nueva tecnología, ya que la televisión digital hace posible la convergencia de los servicios de telecomunicaciones para el usuario, tal como se ilustra en la Figura 2.3. Ello debido a que por una misma infraestructura existente (llámese cable, redes inalámbricas, redes telefónicas, xDSL, satelital, etc.), el televidente tendrá acceso a servicios interactivos [1].

Con ello el usuario será capaz de interactuar con la radiodifusora y tener la opción de participar e influenciar en los programas de televisión. Asimismo, se favorecerá el acceso adiferentes servicios como: *T-Commerce*, *T-Learning*, *T-Mail*, *T-Banking*, *T-Advertising*, *T-Messenger*, *T-Gov*, etc.[5].

El canal de retorno para el flujo de datos de usuario a radiodifusora, será establecido a través de los diferentes canales especificados por los estándares. Entre ellos se tiene la conexión telefónica ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), el cable, el canal satelital, los canales inalámbricos VHF/UHF, etc.

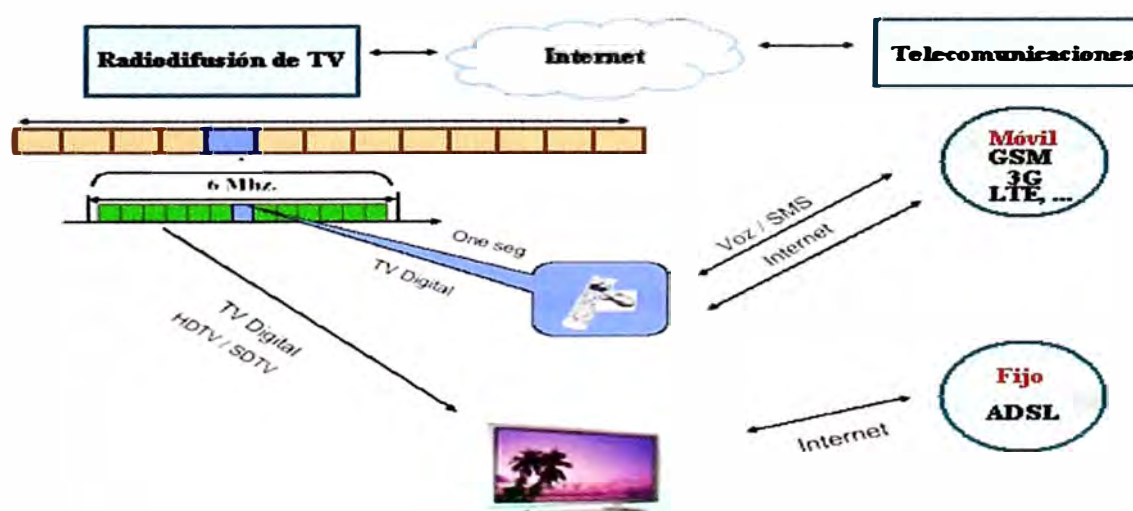


Figura 2.3 - Convergencia de servicios [8]



## CAPITULO III MODULO DETRANSMISION DEL SISTEMA ISDB-T

### 3.1. Esquema de Análisis

En esta sección se estudian los conceptos relacionados al módulo de transmisión del sistema ISDB-T, el cual incluye los siguientes componentes:

Modulación OFDM

Análisis de las etapas del Sistema de Transmisión

Actualmente gran parte de los países sudamericanos han adoptado este estándar por ser el que más se adapta a sus necesidades y a su geografía, y también por ser económicamente accesible a los usuarios, sobre todo por permitir la gratuidad en la parte de televisión móvil.

En esta sección, se dará inicio al análisis del Módulo de Transmisión del Sistema ISDB-T, con el estudio de la modulación OFDM, que es la base del desarrollo de esta tecnología.

### 3.2 Componentes del Esquema de Análisis

#### 3.2.1 Modulación OFDM

La base fundamental para el desarrollo de la televisión digital, en términos generales es la modulación OFDM. En este apartado se analizará esta moderna técnica de modulación.

La modulación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada una modulada en amplitud y fase [14].

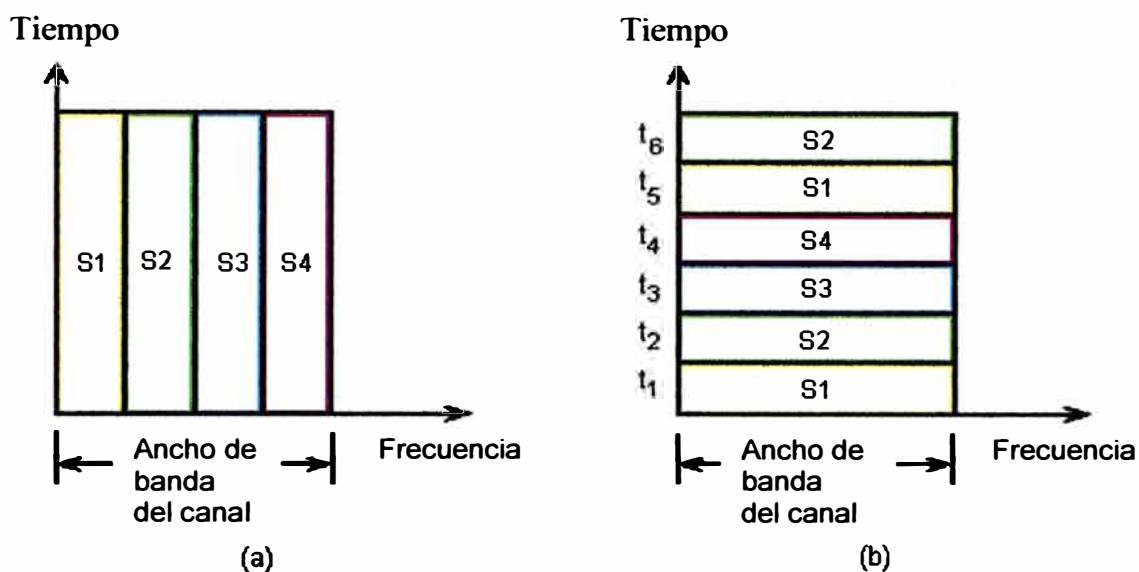
Cuando la OFDM se emplea junto con codificación de canal para detección y corrección de errores, se designa como COFDM (multiplexado por división de frecuencia ortogonal *codificada*)[12]. Los términos OFDM y COFDM se pueden utilizar indistintamente, a continuación se explica detalladamente la modulación OFDM.

Para entender la modulación OFDM, brevemente detallaremos algunos conceptos.

#### **a) Multiplexado por división de frecuencia (FDM) – por división de tiempo (TDM)**

El multiplexado, tanto en frecuencia como en tiempo, es una técnica que hace posible la transmisión de varias señales por un mismo canal de comunicación. En el FDM, cada señal utiliza una porción del ancho de banda total. En el multiplexado por división de

tiempo TDM), cada señal utiliza todo el ancho de banda del canal, pero sólo en intervalos de tiempo definidos, como se ilustra en la Figura 3.1.



**Figura 3.1 - Multiplexado en frecuencia (a) y tiempo (b)**

En la Figura 3.1 se ilustra la idea básica del multiplexado de cuatro señales  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  y  $s_4$ . En la Figura 3.1(a), cada señal ocupa una cuarta parte del ancho de banda total del canal, durante **todo** el tiempo (FDM) y en la Figura 3.1 (b), cada una de las señales ocupa **todo** el ancho de banda del canal sólo durante un intervalo de tiempo (TDM). El multiplexado en frecuencia puede utilizarse tanto con señales analógicas como digitales, en tanto que el multiplexado en tiempo se utiliza principalmente para señales digitales. En el multiplexado en tiempo, cada señal modula a una portadora diferente y la separación entre portadoras es, aunque no necesariamente, regular. Esta forma de multiplexado es muy utilizada en telefonía y en la señal compuesta de vídeo de televisión analógica.

Cada señal modula a una portadora diferente o subportadora, la separación entre subportadoras debe elegirse adecuadamente para evitar solapamiento entre los espectros de señales adyacentes y cada señal puede utilizar un tipo de modulación diferente (AM-DBL, AM-BLU, FM, etc.). Para garantizar la separación entre señales adyacentes, evitar la interferencia entre ellas, y facilitar su separación y demodulación en el receptor, suele agregarse una banda de guarda entre bandas adyacentes. Cuando se suman todos los espectros de las señales moduladas, se tiene una señal multiplexada compuesta, que a su vez puede considerarse como la señal en banda base para modular, a su vez, a una portadora de RF. En el receptor, la señal recibida se demodula primero a RF para recuperar la señal compuesta en banda base y luego se filtra para

separar las señales moduladas individuales. A continuación, cada una de estas señales se demodula individualmente utilizando subportadoras generadas localmente en el receptor, para extraer las señales originales en banda base [12].

### b) Modulación ortogonal

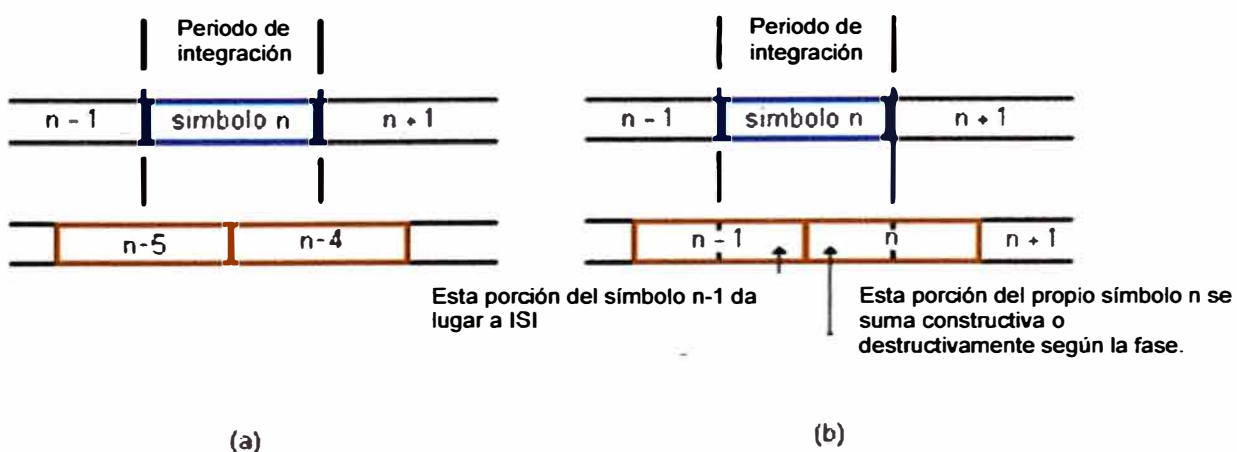
Cuando dos señales son ortogonales, es posible hacer que utilicen simultáneamente el mismo ancho de banda sin interferirse entre sí. El caso más simple es el de la modulación de dos señales en cuadratura de fase.

La modulación en cuadratura, de manera semejante a todos los esquemas de modulación con portadora suprimida, impone requisitos muy severos en lo que respecta a la reinserción de la portadora local en el receptor. Un pequeño error en la fase o la frecuencia de la portadora reinsertada en el detector no sólo resulta en distorsión o pérdida de la señal, sino también en interferencia entre canales.

### c) Interferencia por efectos multicamino

En términos simples, en el caso de comunicaciones analógicas los efectos multicamino dan lugar a desvanecimientos más o menos severos de la señal recibida o a efectos tales como imágenes "fantasma" en televisión. En comunicaciones digitales estos efectos se traducen en interferencia entre símbolos (ISI) y en la consiguiente destrucción de la información.

Supóngase un sistema radioeléctrico en que se tiene una portadora modulada digitalmente por símbolos consecutivos, cada uno de longitud  $N$  bits y duración  $TS$  y que la señal llega al receptor por dos trayectos diferentes, de distinta longitud; de modo que una señal llega primero y la otra con un retraso equivalente a  $4.5TS$  como se ilustra en la Figura 3.2(a). Este retraso da lugar a que en el receptor esté presente el símbolo  $n$  durante el período de integración, es decir de demodulación, simultáneamente con porciones de los símbolos cuarto y quinto previos,  $n-4$  y  $n-5$ , que se comportarán como señales interferentes sobre el símbolo deseado.



**Figura 3.2** - Forma en que se produce interferencia entre símbolos

Si el retraso introducido por el segundo trayecto es inferior a  $TS$ , se dará una situación similar a la que se ilustra en la Figura 3.2 (b). La porción del símbolo  $n-1$  presente durante el período de integración actuará también como interferencia, en tanto que la porción retrasada del propio símbolo  $n$  se sumará consigo mismo de forma constructiva o destructiva, según sea la fase entre la porción directa y la retrasada.

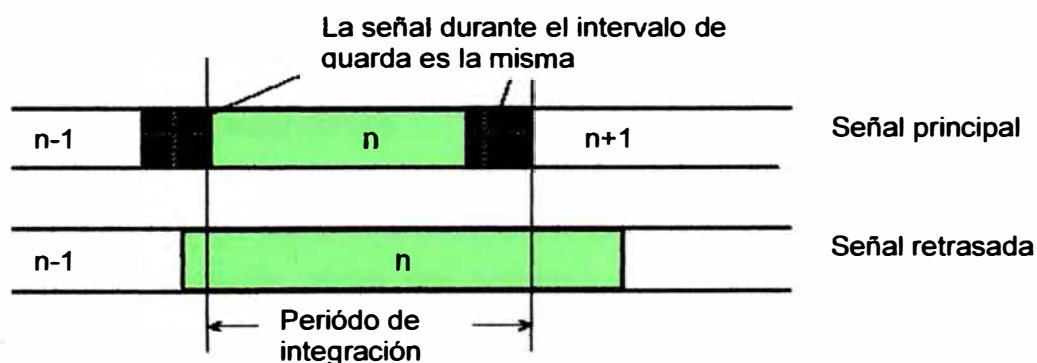
Aun cuando el retardo sea menor a la duración de un símbolo, se mantiene, en mayor o menor escala, la interferencia entre símbolos debido a la presencia del símbolo previo. Esto podría eliminarse si el período durante el que se produce cada símbolo se hace mayor que el período durante el cual el receptor realiza la integración de la señal, lo que sugiere la conveniencia de utilizar un *intervalo de guarda*.

El *intervalo de guarda* se refiere al dominio del tiempo y no debe confundirse con la *banda de guarda* en el dominio de la frecuencia.

#### d)Preservación de la ortogonalidad: Intervalo de guarda

Las subportadoras están moduladas por señales representadas por números complejos, que cambian de un símbolo a otro. Si el período de integración en el receptor se extiende a una duración de dos símbolos, como en el caso de señales retrasadas no solamente habrá ISI sobre la subportadora correspondiente al símbolo que se pretende integrar, sino que además habrá interferencia entre subportadoras y por consecuencia, destrucción de la información.

Para evitar esta situación, se agrega un intervalo de guarda, como se ilustra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3-Adición del intervalo de guarda**

La duración del símbolo se aumenta de modo que exceda el período de integración del receptor,  $T_u$ , de modo que también es la señal modulada completa. Todas las subportadoras son cíclicas durante  $T_u$ , de modo que también lo es la señal modulada

completa. Por ello, el segmento que se añade al inicio del símbolo para formar el intervalo de guarda, es idéntico al segmento de la misma longitud al final del símbolo. En tanto que el retardo sufrido por la señal a lo largo de cualquier trayecto, con respecto al trayecto más corto sea menor que el intervalo de guarda, todas las componentes de la señal durante el período de integración proceden del mismo símbolo y se satisface así la condición de ortogonalidad. La interferencia entre símbolos o entre portadoras ocurrirá solamente cuando el retardo relativo exceda la duración del intervalo de guarda.

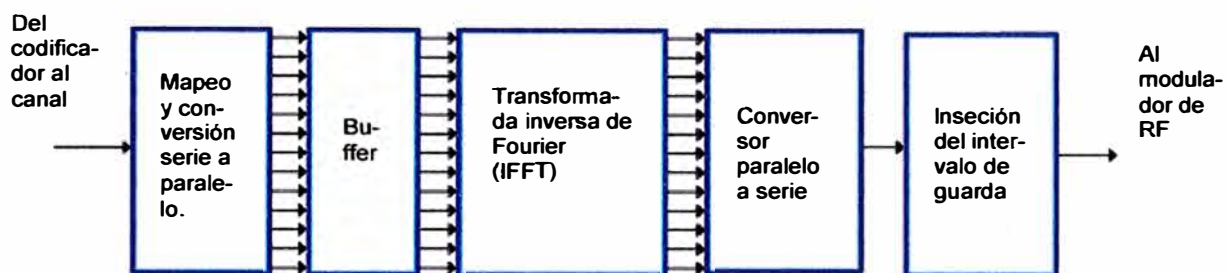
El intervalo de guarda se elige de acuerdo al retardo esperado en el medio particular de propagación en que se lleva a cabo la comunicación. Por ejemplo en entornos en el interior de construcciones, el retardo o mejor dicho, la *dispersión de retardo* puede llegar a unas decenas de nanosegundos, en tanto que en entornos exteriores, en que las distancias son relativamente grandes, la dispersión de retardo puede alcanzar hasta 50  $\mu\text{s}$  o más. Puesto que la inserción del intervalo de guarda reduce la tasa binaria efectiva, no debe consumir una fracción importante de la duración del símbolo,  $T_u$ , ya que de otra forma reduciría considerablemente la tasa binaria y la eficiencia espectral.

El intervalo de guarda extiende la duración del símbolo transmitido y, por consecuencia, reduce ligeramente el caudal binario efectivo. La duración del intervalo de guarda en el sistema ISDB-T puede tener valores de 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 de la duración del símbolo activo. Cuanto mayor sea el intervalo de guarda menor será la interferencia causada por los efectos multicamino.

La ortogonalidad se restaura en el receptor integrando la señal demodulada sobre el intervalo del símbolo útil. Para ecos de duración menor a la del intervalo de guarda, el receptor puede encontrar un intervalo de duración  $T_{ue}$  en que no haya transiciones en el símbolo.

#### **e) Modulador y demodulador OFDM**

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo. Este flujo se segmenta en símbolos, de acuerdo a la constelación a utilizar y se obtiene un mapa de los símbolos, representados ahora por números complejos, que corresponden a la representación de la señal en el dominio de frecuencia. Si se van a modular  $N$  subportadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada, *en serie*, en un flujo de coeficientes complejos *en paralelo*. El siguiente paso es realizar la transformada inversa de Fourier sobre esos  $N$  coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y, como la señal de entrada al transmisor debe ser un flujo binario en serie, es necesario convertir nuevamente la señal, ahora transformada y en paralelo, a una señal en serie. Esta es la señal a transmitir y el proceso se ilustra en el diagrama de bloques de la Figura 3.4.

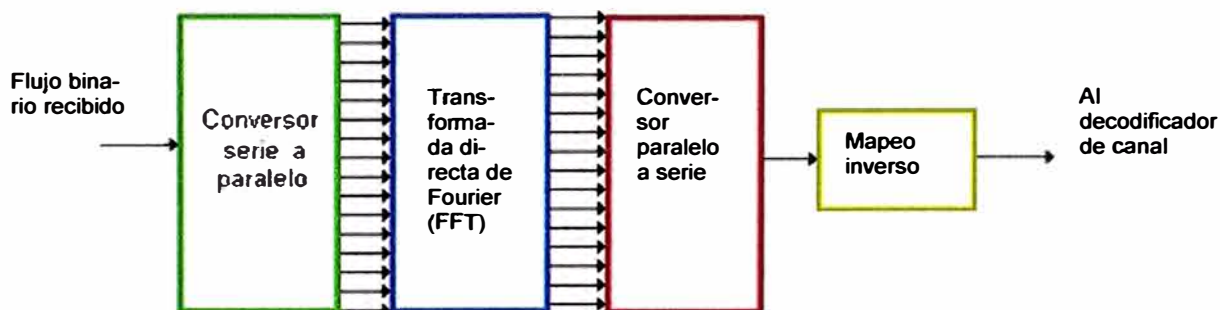


**Figura 3.4 - Diagrama de bloques del modulador OFDM**

En la Figura 3.4, puesto que la señal de entrada procede del codificador de canal, el conjunto constituye un modulador COFDM.

A la salida del convertor paralelo a serie, se inserta el intervalo de guarda, designado también como *prefijo cíclico*, en que se copian los datos del final del bloque y se pegan al principio, lo que hace que las señales retrasadas a causa de los efectos multicamino caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor.

El demodulador cumple la función inversa del modulador y el diagrama simplificado de bloques es similar al de la Figura 3.4, visto ahora de derecha a izquierda, como se ilustra en la Figura 3.5 [11]



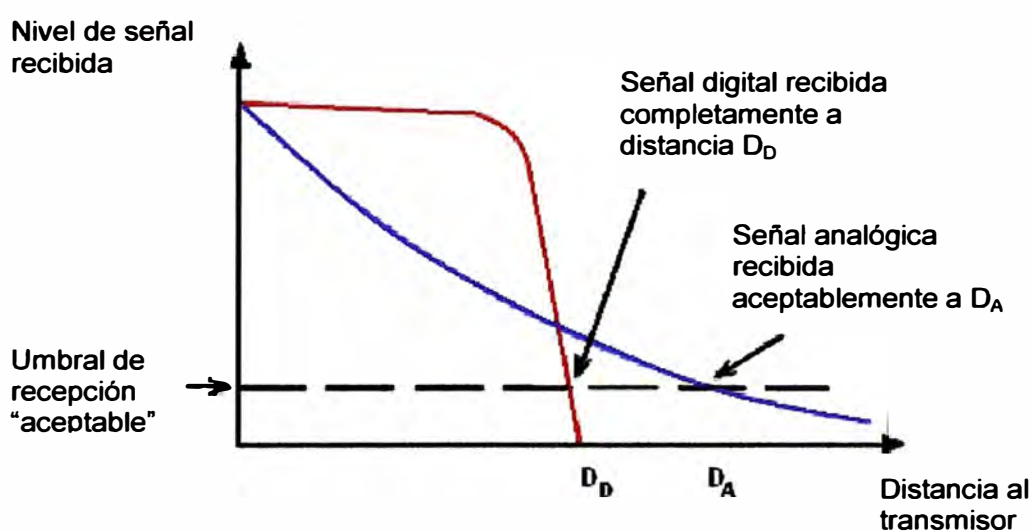
**Figura 3.5 - Demodulador OFDM**

### f) Modulación Jerárquica

Los sistemas de transmisión terrestre de resolución única sufren de un efecto abrupto de umbral en el borde del área de servicio en que la señal se degrada completamente, a diferencia de los sistemas analógicos en que la degradación es suave según se muestra en la Figura 3.6.

Para reducir este problema y conseguir la cobertura similar a la de los sistemas analógicos, en los sistemas de transmisión digital se pueden utilizar esquemas de modulación jerárquica o de multi-resolución en el que dos flujos distintos de datos

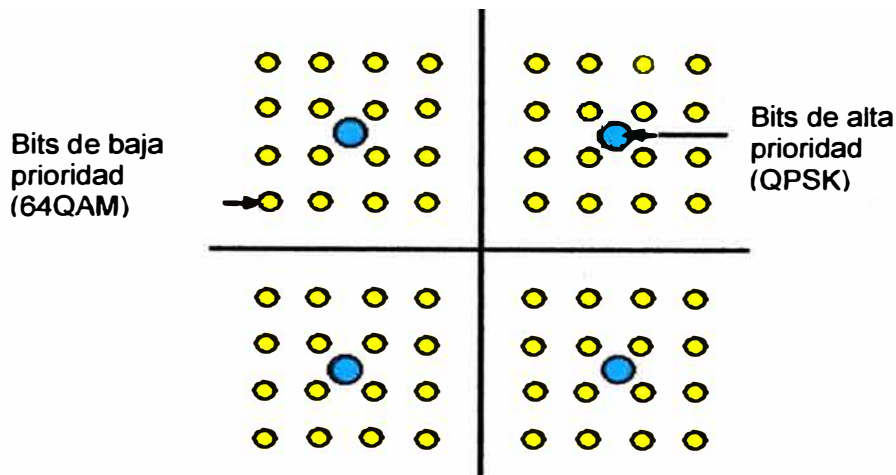
modulan a un flujo único de vídeo digital. Uno de los flujos de datos se designa como de alta prioridad y va embebido en otro flujo de signado como de baja prioridad. Los datos de alta prioridad se destinan a las zonas más alejadas del transmisor, en que la relación señal a ruido (S/N) es menor, en tanto que los de baja prioridad están destinados a zonas cercanas al transmisor en que la relación señal a ruido (S/N) es mayor. El flujo de alta prioridad está modulado con pocos elementos en la constelación, como por ejemplo QPSK, en tanto que el esquema de modulación para la señal de baja prioridad puede ser por ejemplo, 64QAM. Se debe notar que, el flujo de baja prioridad es menos robusto que el de alta prioridad [11].



**Figura 3.6 - Cobertura en sistemas analógicos y digitales**

En términos simples, la recepción de mayor calidad se tiene cuando se puede decodificar bien el flujo de baja prioridad, en tanto que en áreas lejanas, de pobre recepción o en el caso de receptores móviles o portátiles, el receptor sólo puede resolver los datos de mayor prioridad. Esto se ilustra en la Figura 3.7.

En la Figura 3.7 se tienen dos constelaciones, una de baja prioridad y mayor resolución, 64QAM y, embebida en ésta, una constelación de alta prioridad, QPSK o 4QAM. Cuando las condiciones de recepción son buenas, ambos flujos están presentes en el receptor y éste trabaja con el de menor prioridad, sin embargo con mayor resolución. Si la relación señal a ruido disminuye, las condiciones de recepción se deterioran y la tasa de errores en la constelación 64QAM aumenta imposibilitando la recepción satisfactoria. En esa situación, el receptor permanece con la constelación QAM, más robusta, pero manteniendo la recepción en condiciones aceptables.



**Figura 3.7 - Modulación jerárquica [11]**

En la modulación jerárquica, los estados posibles se interpretan de manera diferente que en modulación no jerárquica. La ubicación de un estado dentro del cuadrante correspondiente se considera como información especial en el sistema jerárquico. La otra información especial es el número del cuadrante. De esta manera pueden conseguirse dos flujos binarios independientes para su transmisión. Formalmente, se está tratando con un esquema de modulación 64QAM que, en la interpretación jerárquica se ve como una combinación de dos modulaciones, una 16QAM y otra QPSK, a la que se designa como "QPSK en 64QAM". La tasa conjunta de los dos caudales parciales es la misma que la de un caudal 64QAM.

En la modulación jerárquica, además de tenerse dos caudales independientes de datos, el caudal con menor flujo es menos susceptible al ruido que en un sistema no jerárquico. Al mismo tiempo, el caudal de mayor tasa binaria no es apreciablemente menos robusto que un caudal equivalente en un sistema no jerárquico.

### 3.2.2 Análisis de las etapas del Sistema de Transmisión

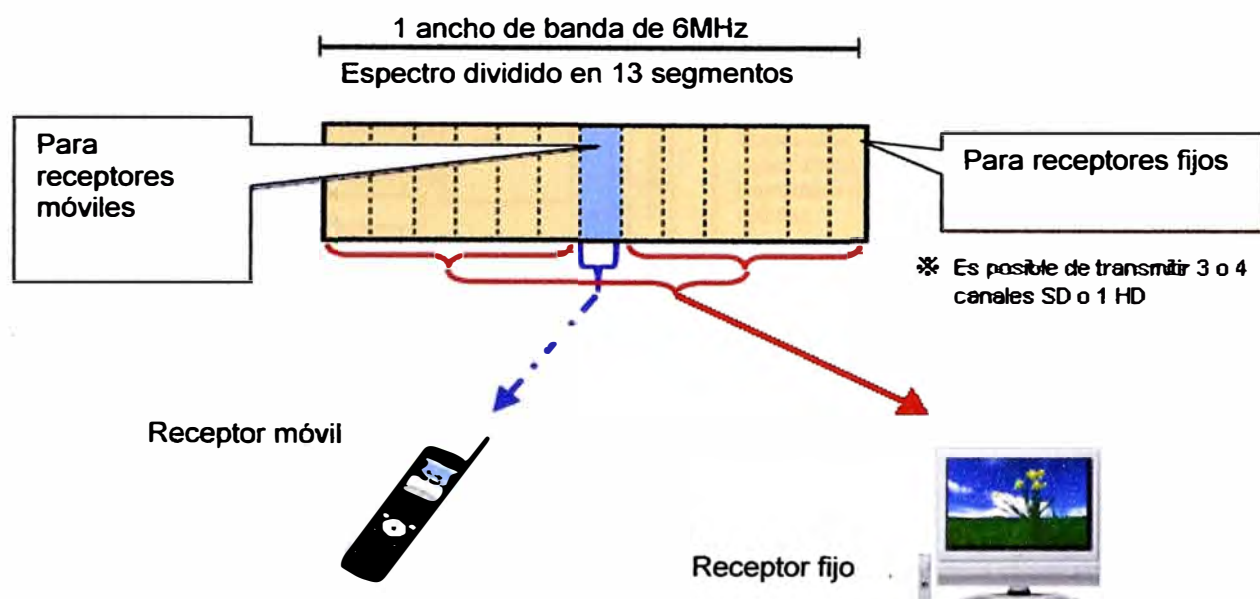
A continuación se describirá las etapas del Sistema de Transmisión propiamente dicho, el cual se inicia en la descripción general del sistema para luego analizar cada uno de los bloques que componen el módulo de transmisión.

#### a) Descripción del sistema de Transmisión

El espectro de transmisión de la radiodifusión televisiva consta de 13 bloques sucesivos de OFDM tal como se ilustra en la Figura 3.8. Cada ancho de banda es igual a un catorceavo del ancho de banda de radiodifusión televisiva. Una configuración de portadora de segmentos OFDM que permite conexión de múltiples segmentos hace posible una transmisión de un ancho de banda apropiado en términos del ancho de las



unidades para los medios de comunicación mientras al mismo tiempo que permite el uso del mismo receptor tanto para ISDB-T y SBTVD[3].



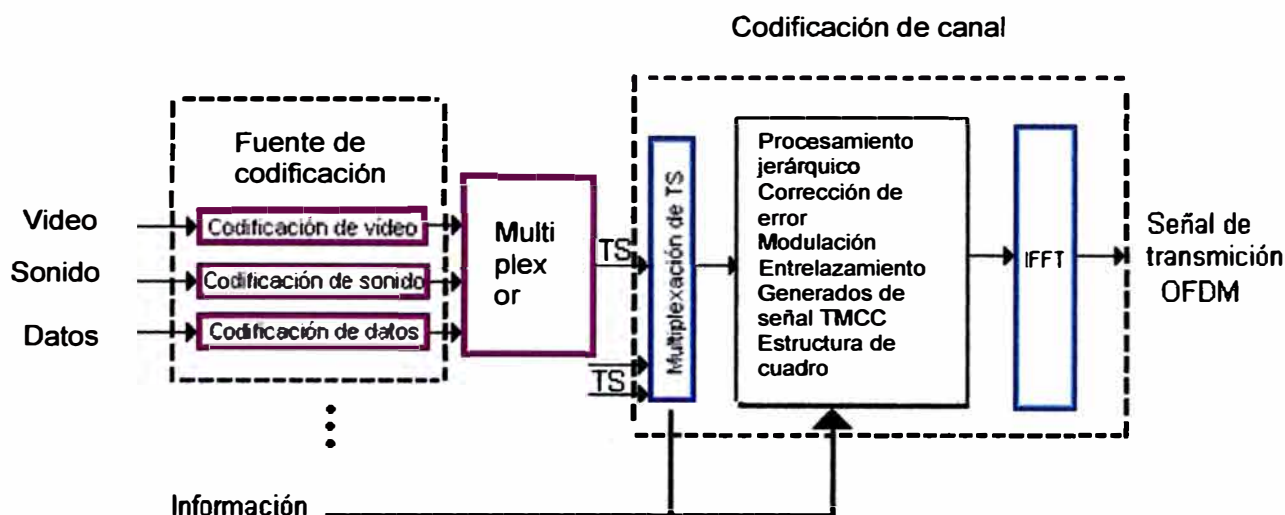
**Figura 3.8 - División del Espectro de Radiodifusión Televisiva**

El sistema tiene una gran variedad de parámetros de transmisión para elegir la portadora del esquema de modulación, así se tiene por ejemplo la tasa de codificación de código de error interno. Longitud del tiempo de entrelazado, etc. Estos parámetros de transmisión se pueden ajustar de forma individual para cada segmento.

#### **b) Esquema del Sistema de Transmisión**

La Figura 3.9 ilustra el esquema del sistema ISDB-T. El sistema de transmisión BST-OFDM configura una banda de transmisión de segmentos OFDM, cada ancho de banda tiene 6/14 MHz. Los parámetros de transmisión se pueden ajustar individualmente para cada segmento haciendo flexible la composición de canal.

Para lograr una interface entre el flujo de transporte múltiple MPEG-2 (TS) y el sistema de transmisión de banda segmentada (BST-OFDM), estos TSs son re-multiplexados en un simple TS [6]. Adicionalmente la transmisión del control de información tales como: configuración de segmento de canal, parámetros de transmisión etc. son enviados al receptor en la forma de una señal TMCC (Transmisión y Multiplexación de Configuración de Control). La señal TMCC debe obligatoriamente contener las informaciones de control e informaciones necesarias para auxiliar al receptor en la identificación de los modos de operación [3].



**Figura 3.9 - Diagrama en bloques del sistema de transmisión [7]**

### c) Transmisión Jerárquica

Una mezcla de programas de recepción fija y programas de recepción móvil es posible debido a la aplicación de la transmisión jerárquica, logrado por la división de banda dentro de un canal.

La Transmisión Jerárquica significa que los tres elementos de codificación de canal:

1. El esquema de modulación
2. La tasa de codificación de Código Convolutivo de Corrección de Errores
3. La duración del tiempo de entrelazado (Time Interleaving)

pueden ser seleccionados independientemente. El entrelazado del tiempo y la frecuencia son realizados cada uno en sus respectivos segmentos de información jerárquica [6].

Como se describió anteriormente, la unidad jerárquica más pequeña en un espectro de frecuencia es un segmento OFDM. En la Figura 3.10 se ilustra un ejemplo de un canal de televisión que consta de 13 segmentos OFDM y hasta tres capas jerárquicas (capas A, B y C) se pueden establecer con estos segmentos. Si la señal OFDM es transmitida:

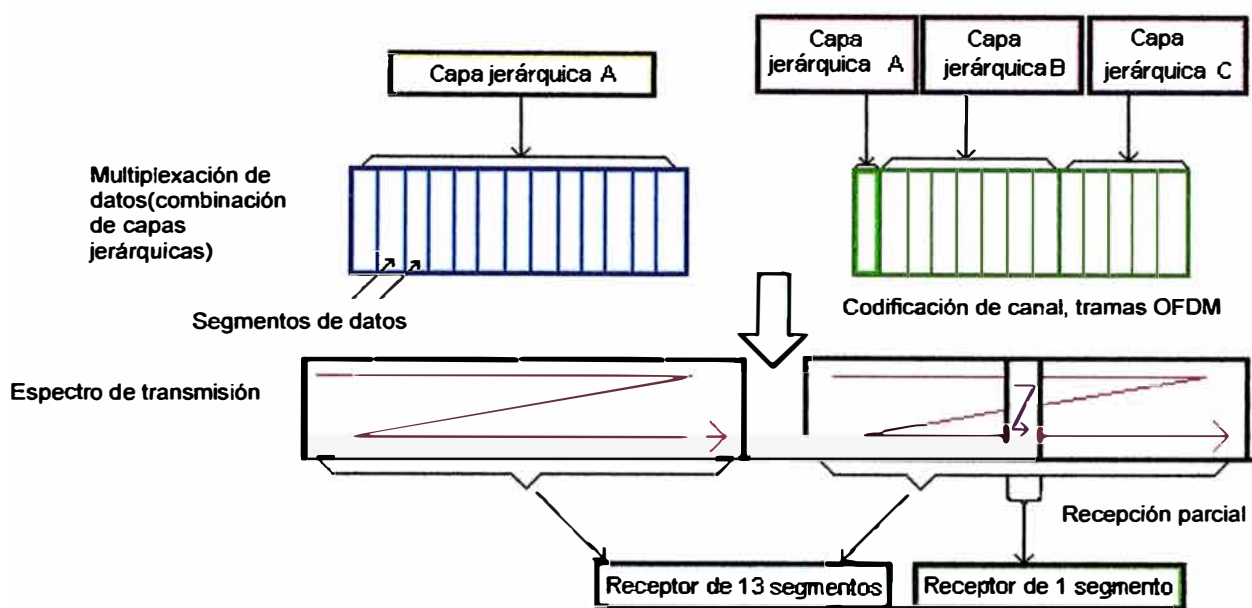
Usando solo una capa, la capa es A.

Usando dos capas, la capa central "robusta" es A y la capa externa es B.

Usando las tres capas, la capa central "robusta" es A, la capa media es B y la capa externa es C.

Tomando en cuenta la operación del canal seleccionado de un receptor, un segmento del espectro de frecuencias debe seguir una regla para la organización de los segmentos. Específicamente los segmentos DQPSK usan modulación diferencial se colocan en el centro de la banda de transmisión mientras que los segmentos QPSK y QAM que utilizan modulación coherente son usados en ambos extremos de la banda de

frecuencia.



**Figura 3.10 - Ejemplos de servicios y transmisión de señales**

Además una capa puede ser fijada para el segmento central único como recepción parcial para receptores de radiodifusión de audio digital terrestre. En este caso, el segmento central es la capa A. Toda la banda completa de 5.6 MHz, se llama banda ancha de ISDB-T. Emisiones de audio presentan un formato básico de “one-segment” así como un formato extendido de “three-segment” y ambos se denominan banda estrecha de ISDB-T [6].

#### **d) Recepción parcial**

Es el nombre dado al medio por el cual un receptor escoge solo parte de un ancho de banda de transmisión. El segmento central del espectro de 13 segmentos, puede ser sometido al proceso de entrelazado de frecuencia sin la participación de las demás porciones del espectro de radiodifusión. Esta técnica permite la creación de un servicio portátil One-Seg que consiste en una de las capas jerárquicas, dentro del servicio de televisión digital.

No se entrará en mayores detalles en este punto por cuanto el sistema de recepción en el Sistema ISDB-T no está contemplado en los alcances del presente informe.

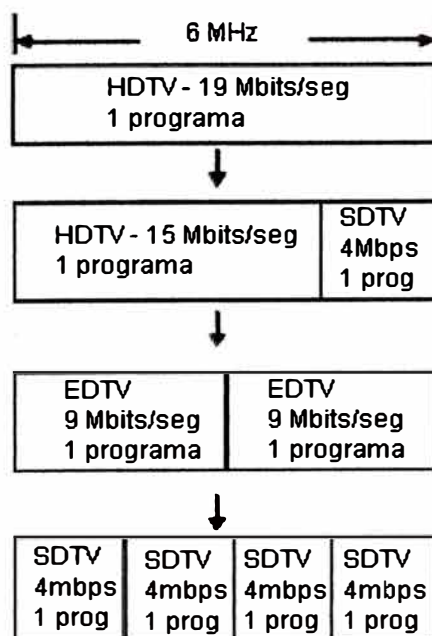
#### **e) Modos**

Considerando la operación de acuerdo con la distancia entre las estaciones de una SFN y garantizar la recepción adecuada ante las variaciones debido al efecto

Doppler durante la recepción móvil.

- El sistema tiene tres modos de transmisión (Modo 1, 2 y 3) para permitir el uso de una amplia gama de frecuencias de transmisión y este tiene 04 opciones de longitud de intervalo de guardia que permiten un mejor diseño de las redes de frecuencia única (SFN). La capacidad de los espaciamentos entre la frecuencia portadora OFDM son aproximadamente de 4KHz, 2KHz, 1KHz entre los modos 1, 2 y 3 respectivamente. El número de portadoras usadas varía dependiendo de los modos, pero la tasa de bits de la información transmitida sigue siendo la misma en todos los modos.
- Este sistema usa codificación de vídeo MPEG-2 y codificación de audio avanzado MPEG-2 (AAC). Sobre todo este sistema adopta MPEG-2 para encapsulado de flujo de datos. Por lo tanto diferentes contenidos digitales tales como sonido, texto, imágenes fijas y otros datos pueden transmitirse simultáneamente. Tiene convergencia e interoperabilidad con otros sistemas MPEG-2 adoptando sistemas tales como ISDB-S (satelital), ISDB-C (cable), ISDB-T<sub>SB</sub> (Sistema de radiodifusión satelital de sonido digital) en Japón [6].

Para la transmisión de estos formatos en canales convencionales de 6 MHz se han establecido formas diferentes de distribución, pero todas tienen como referencia un programa único en HDTV. La Figura 3.11 ilustra la forma como están distribuidos los formatos existentes.



**Figura 3.11** - Esquema de distribución de los formatos de TV digital, banda de 6 MHz [5]

## f) Parámetros Básicos de Transmisión

ISDB-T ofrece tres modos de transmisión en intervalos de portadoras diferentes a fin de tratar con una variedad de condiciones, tales como las variaciones del intervalo de guarda determinados por la configuración de redes y el desplazamiento Doppler ocurridos durante la recepción móvil. La Tabla 3.1 contiene los parámetros básicos de cada modo.

Un segmento OFDM correspondiente a un espectro de frecuencias tiene un ancho de banda de 6/14 MHz (sobre 430 KHz). El Modo 1 consiste de un segmento de 108 portadoras. Los Modos 2 y 3 cuentan con 2 y 4 veces el número de portadoras respectivamente. La radiodifusión televisiva emplea 13 segmentos con un ancho de banda de transmisión de 5.6MHz. Por el contrario la radiodifusión sonora utiliza de uno a tres segmentos. Una señal digital se transmite por un conjunto de símbolos. Un símbolo consiste de 2 bits en QPSK y DQPSK, de 4 bits en 16QAM y 6 bits en 64QAM. Aquí, la longitud efectiva de símbolo es el recíproco del intervalo de la portadora, esta es la condición que previene que las bandas portadoras interfieran unas con otras.

El intervalo de guarda es una sección de tiempo redundante de la información que agrega una copia de la última porción de un símbolo a los símbolos que están "frontporch" (frente a ellos), con el objetivo de absorber las interferencias del retraso de ondas multitrayecto. En consecuencia, aumentar el intervalo de guarda de la señal decrece la velocidad de bit de información [6].

**Tabla 3.1 -Parámetros del sistema de transmisión**

Parámetro de transmisión	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos OFDM	13		
Ancho de banda	5.575 MHz	5.573 MHz	5.572 MHz
Intervalo de portadora	3.968 kHz	1.984 kHz	0.992 kHz
Número de portadoras	1405	2809	5617
Modulación de portadora	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Tamaño del símbolo efectivo	252 $\mu$ s	504 $\mu$ s	1.008 ms
Tamaño de intervalo de guarda	$\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{8}$ , $\frac{1}{16}$ , $\frac{1}{32}$ del tamaño del símbolo efectivo		
Número de símbolos/cuadro	204		
Tiempo de interpolación	Máximo 4 valores: 0, 0.1, 0.2, 0.4 segundos		
Frecuencia de interpolación	Interpolación intra-segmentos e inter-segmentos		
Código Interno	Codificación convolucional ( $\frac{1}{2}$ , $\frac{2}{3}$ , $\frac{3}{4}$ , $\frac{5}{6}$ , $\frac{7}{8}$ )		
Código Externo	RS (204, 188)		
Velocidad de bits	3.65 Mbps – 23.23 Mbps		
Transmisión jerárquica	Máximo 3 niveles (Capa A, B y C)		

Un cuadro OFDM consiste de 204 símbolos, con intervalos de guarda adjuntos con independencia del modo de transmisión. La duración del tiempo de entrelazado *time*

*interleaving* depende en tiempo real de un conjunto de parámetros: del estado de la señal digital, de la longitud del intervalo de guardia. Los valores contenidos en la Tabla 3.1 para estos parámetros, son en consecuencia, valores aproximados. Los esquemas de corrección de error concatenan los códigos: Código Reed-Solomon (204,188) para el código externo y Código Convolutivo para el código interno.

La velocidad de bits de información toma valores diferentes, dependiendo del esquema de modulación seleccionado, código interno, tasa de codificación y relación del intervalo de guardia. El intervalo que se indica en la Tabla 3.1 muestra los valores mínimo y máximo de los 13 segmentos [6].

Los parámetros del segmento OFDM se encuentran contenidos en la Tabla 3.2 y análogamente los parámetros de la señal de transmisión en la Tabla 3.3 [4].

Asimismo la tasa de datos por segmento debe obligatoriamente estar de acuerdo con la Tabla 3.4 y la tasa de datos para todos los 13 segmentos de acuerdo con la Tabla 3.5.

Se debe tener en cuenta que la Tabla 3.1 agrupa a los Parámetros del sistema, los cuales son: número de segmentos, ancho del segmento o ancho de banda, intervalo de la portadora, número de portadora, modulación de la portadora, tamaño del símbolo efectivo (se refiere a la duración), tamaño del intervalo de guarda (que es una fracción de la duración del símbolo efectivo, tiempo de interpolación, frecuencia de interpolación, código interno, código externo, velocidad de bits y transmisión jerárquica, todos ellos referidos al sistema en general.

En tanto la Tabla 3.2 agrupa a los parámetros de segmento OFDM y la Tabla 3.3 a los parámetros de la señal de transmisión. Debe tenerse en cuenta que en la tabla 3.2 se detalla los parámetros para un solo segmento pero manteniéndose dentro del sistema, por ejemplo: notamos que en el ítem de número de portadoras, en la Tabla 3.1 le corresponde el valor de 1405 y en la Tabla 3.2 el valor para el mismo ítem es de 108.

Si multiplicamos:

$$108 \times 13 = 1404;$$

A este resultado:

$$1404 + 1 = 1405;$$

Es necesario añadir 1 unidad para tener un margen que preserve las posibles interferencias entre portadoras. Un análisis similar nos permite conocer con más detalle los parámetros de la señal de transmisión, si nos referimos al mismo parámetro anterior veremos que el número de portadoras que se detalla en la Tabla 3.2 con solo valores numéricos, en la Tabla 3.3 estos están acompañados de otros factores como el número de segmentos de modulación síncrona y el número de segmentos de modulación diferencial ( $n_s$  y  $n_d$  respectivamente).

**Tabla 3.2 - Parámetros del segmento OFDM**

Modo		Modo 1		Modo 2		Modo 3	
Ancho de banda		3000/7 = 428,57 kHz					
Separación entre frecuencias portadoras		250/63 kHz		125/63 kHz		125/126 kHz	
Número de portadoras	Total	108	108	216	216	432	432
	Datos	96	96	192	192	384	384
	SP <sup>a</sup>	9	0	18	0	36	0
	CP <sup>a</sup>	0	1	0	1	0	1
	TMCC <sup>b</sup>	1	5	2	10	4	20
	AC1 <sup>c</sup>	2	2	4	4	8	8
	AC2 <sup>c</sup>	0	4	0	9	0	19
Esquema de modulación de las portadoras		QPSK, 16QAM, 64QAM	DQPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM	DQPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM	DQPSK
Símbolos por cuadro		204					
Tamaño del símbolo efectivo		252 $\mu$ s		504 $\mu$ s		1008 $\mu$ s	
Intervalo de guarda		63 $\mu$ s (1/4), 31,5 $\mu$ s (1/8), 15,75 $\mu$ s (1/16)		126 $\mu$ s (1/4), 63 $\mu$ s (1/8), 31,5 $\mu$ s (1/16)		252 $\mu$ s (1/4), 126 $\mu$ s (1/8), 63 $\mu$ s (1/16)	
Longitud del cuadro		64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16)		128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16)		257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16)	
Frecuencia de muestreo de la IFFT		512/63 = 8,12698 MHz					
Entrelazamiento interno		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)					
Codificador externo		RS (204, 188)					

<sup>a</sup>SP y CP son usados por el receptor para fines de sincronización y demodulación.

<sup>b</sup>MCC es información de control.

<sup>c</sup>AC se usa para transmitir información adicional. AC1 está disponible en igual número en todos los segmentos, mientras que AC2 está disponible solamente en segmento de modulación diferencial.

**Tabla 3.3 - Parámetros de la señal de transmisión**

Modo		Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos OFDM $N_s$		13		
Ancho de banda		$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 250/63 \text{ kHz} = 5,575 \text{ MHz}$	$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 125/63 \text{ kHz} = 5,573 \text{ MHz}$	$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 125/126 \text{ kHz} = 5,572 \text{ MHz}$
Número de segmentos de modulación diferencial		$n_d$		
Número de segmentos de modulación síncrona		$n_s$ ( $n_s + n_d = N_s$ )		
Separación entre frecuencias portadoras		$250/63 = 3,968 \text{ kHz}$	$125/63 = 1,984 \text{ kHz}$	$125/126 = 0,992 \text{ kHz}$
Número de portadoras	Total	$108 \times N_s + 1 = 1405$	$216 \times N_s + 1 = 2809$	$432 \times N_s + 1 = 5617$
	Datos	$96 \times N_s = 1248$	$192 \times N_s = 1248$	$384 \times N_s = 1248$
	SP	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP <sup>a</sup>	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$4 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$4 \times N_s = 104$
	AC2	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Esquema de modulación de las portadoras		QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Símbolos por cuadro		204		
Tamaño del símbolo efectivo		252 $\mu\text{s}$	504 $\mu\text{s}$	1008 $\mu\text{s}$
Intervalo de guarda		63 $\mu\text{s}$ (1/4), 31,5 $\mu\text{s}$ (1/8), 15,75 $\mu\text{s}$ (1/16), 7,875 $\mu\text{s}$ (1/32)	126 $\mu\text{s}$ (1/4), 63 $\mu\text{s}$ (1/8), 31,5 $\mu\text{s}$ (1/16), 15,75 $\mu\text{s}$ (1/32)	252 $\mu\text{s}$ (1/4), 126 $\mu\text{s}$ (1/8), 63 $\mu\text{s}$ (1/16), 31,5 $\mu\text{s}$ (1/32)
Longitud del cuadro		64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16), 53,0145 ms (1/32)	128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16), 106,029 ms (1/32)	257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16), 212,058 ms (1/32)
Inner code		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Outer code		RS (204, 188)		

<sup>a</sup>El número de CP representa la suma de los CP en el segmento más un CP agregado a la derecha de la banda total.



Tabla 3.4 - Tasa de datos de un único segmento

Modulación portadora	Códigoconvolucional	Número de TSPs transmitidos (Modo 1/2/3)	Información de tasa (Mbps)			
			Tasa de guardia: 1/4	Tasa de guardia: 1/8	Tasa de guardia : 1/16	Tasa de guardia : 1/32
DQPSK	1/2	12/24/48	280.85	312.06	330.42	340.43
	2/3	16/32/64	374.47	416.08	440.56	453.91
QPSK	3/4	18/36/72	421.28	468.09	495.63	510.65
	5/6	20/40/60	468.09	520.10	550.70	567.39
	7/8	21/42/84	491.50	546.11	578.23	595.76
16QAM	1/2	24/48/96	561.71	624.13	660.84	680.87
	2/3	32/64/128	748.95	832.17	881.12	907.82
	3/4	36/72/144	842.57	936.19	991.26	1021.3
	5/6	40/80/160	936.19	1040.21	1101.4	1134.7
	7/8	42/84/168	983.00	1092.22	1156.4	1191.5
64QAM	1/2	36/72/144	842.57	936.19	991.26	1021.3
	2/3	48/96/192	1123.43	1248.26	1321.6	1361.7
	3/4	54/108/216	1263.86	1404.29	1486.9	1531.9
	5/6	60/120/240	1404.29	1560.32	1652.1	1702.1
	7/8	63/126/252	1474.50	1638.34	1734.7	1787.2

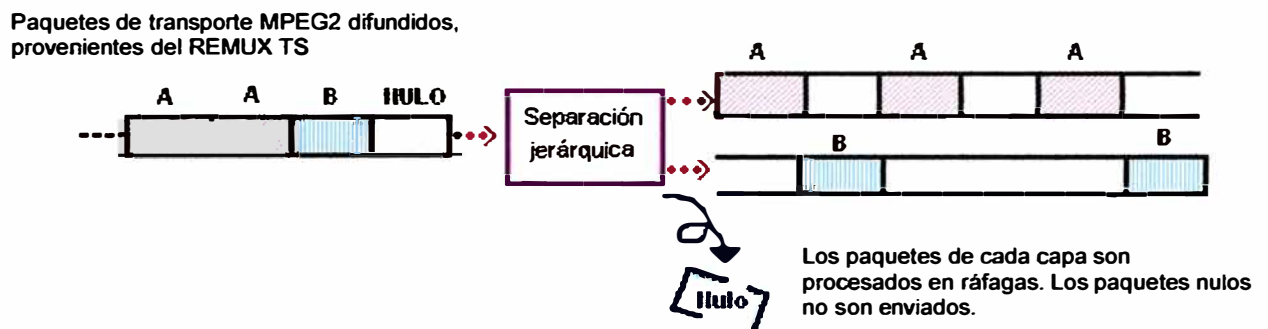
Tabla 3.5 - Tasa total de datos para 13 segmentos

Modulación portadora	Códigoconvolucional	Número de TSPs transmitidos (Modo 1/2/3)	Información de tasa (Mbps)			
			Tasa de guardia 1/4	Tasa de guardia 1/4	Tasa de guardia 1/4	Tasa de guardia 1/4
DQPSK	1/2	156/312/624	3.561	4.056	4.295	4.425
	2/3	208/416/832	4.868	5.409	5.727	5.900
	3/4	234/468/936	5.476	6.085	6.443	6.638
QPSK	5/6	260/520/1040	6.085	6.761	7.159	7.376
	7/8	273/564/1092	6.761	7.099	7.517	7.744
16QAM	1/2	312/624/1248	7.099	8.113	8.590	8.851
	2/3	416/832/1664	8.113	10.818	11.454	11.801
	3/4	468/936/1872	10.818	12.170	12.886	13.276
	5/6	520/1040/2080	12.170	13.522	14.318	14.752
	7/8	546/1092/2184	13.522	14.198	15.034	15.489
64QAM	1/2	468/936/1872	14.198	12.170	12.886	13.276
	2/3	624/1248/2496	12.170	16.227	17.181	17.702
	3/4	702/1404/2808	16.227	18.255	19.329	19.915
	5/6	780/1560/3120	18.255	20.284	21.477	22.128
	7/8	819/1638/3276	20.284	21.298	22.551	23.234

### g) Configuración de Codificación de Canal

A continuación se explicará la dinámica de este sistema.

1. En este sistema, las múltiples salidas de TS del multiplexor MPEG-2 deben alimentar al remultiplexador de haz de transporte, donde el TS se convierte en un flujo de 204 paquetes con bytes nulos adjuntos. Un TS es un flujo de señal que consiste de 188 TSP (Paquete de transporte de bytes). Aquí los bytes nulos se adjuntan para ser sustituidos por los bits de paridad del Código Reed-Solomon como el código externo [6].
2. Cuando la transmisión jerárquica es configurada el flujo resultante debe ser dividido en un conjunto de paquetes de acuerdo con la información programada y en un máximo de tres bloques paralelos de procesador. Este proceso es llamado división jerárquica [6]. La Figura 3.12 ilustra un ejemplo de doble capa:



**Figura 3.12-** División Jerárquica y Procesamiento Paralelo

La Figura 3.13 ilustra el diagrama de codificación de canal.

3. La parte del procesamiento paralelo comienza mediante la realización de la dispersión de energía, el entrelazado de bytes y otras transformaciones con el objetivo de minimizar la correlación de la señal digital hacia adelante y hacia atrás tanto en el dominio del tiempo y de la frecuencia [6]. En el procesador paralelo se deben ejecutar obligatoriamente los procesamientos de datos digitales, incluyendo el codificador de corrector de errores (interleaving) y la modulación de portadoras. En cuanto a la modulación digital, es preciso anotar que existen cuatro esquemas de modulación: DQPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM. La diferencia de atraso en el tiempo, generado en el entrelazamiento de byte y en el proceso de bit interleaving entre las capas jerárquicas debe obligatoriamente ser corregida antes del ajuste de sincronismo [7].
4. Una vez realizada el procesamiento paralelo, las capas jerárquicas se combinan y

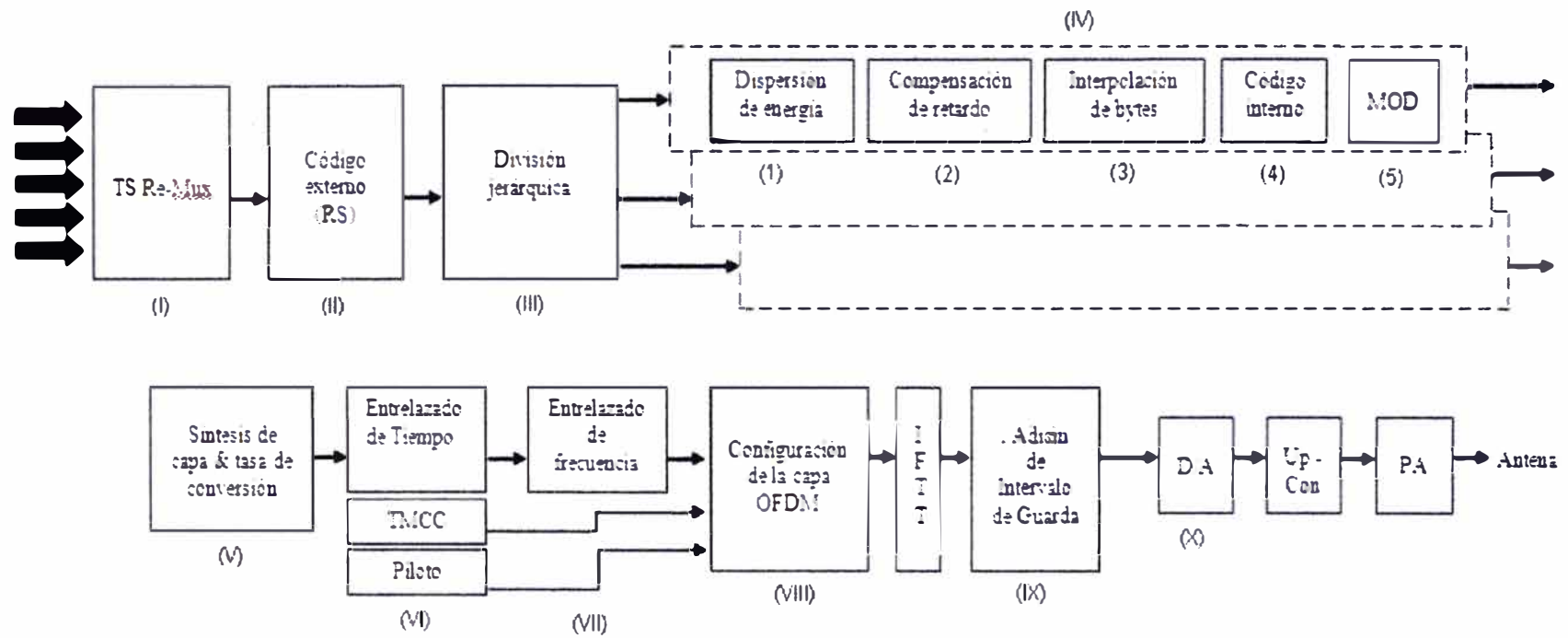
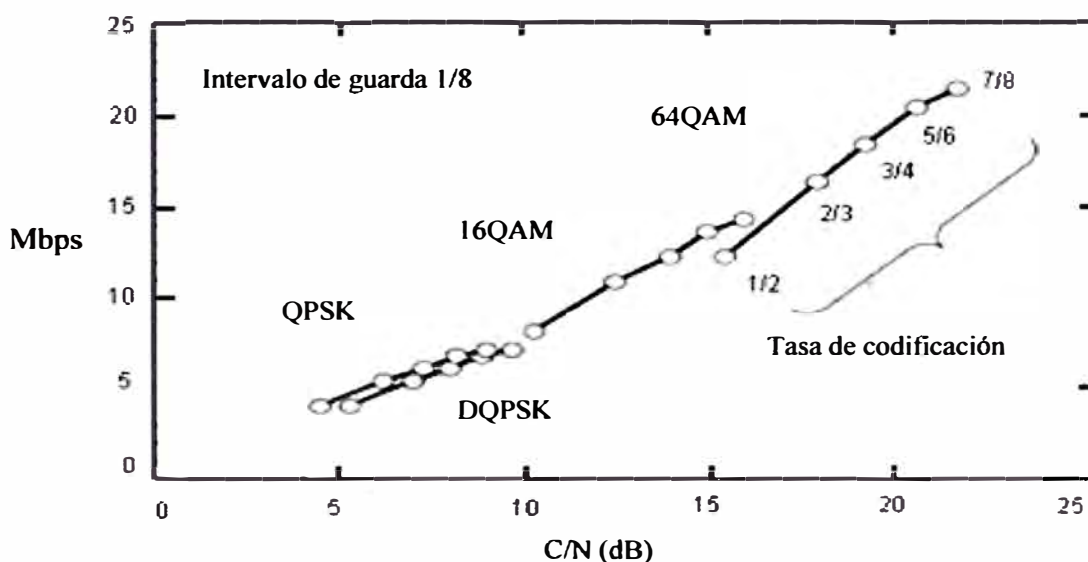


Figura 3.13 - Diagrama de bloques de la Configuración de codificación de canal [6]

a continuación deben ser ejecutados los entrelazamientos en el tiempo y en la frecuencia para asegurar la efectiva mejora de la corrección de error contra la variación de intensidad de campo, así como contra la interferencia multirrayecto en la recepción móvil [7].

5. A continuación realiza la codificación de canal de acuerdo con los parámetros seleccionados para satisfacer los requerimientos de las características de transmisión así como del formato de recepción. Estos parámetros incluyen la tasa de codificación del Código de Convolución (código interno) y los del esquema de modulación digital como QPSK. Esto debido a que los niveles jerárquicos sometidos a procedimiento paralelo tienen diferentes tasas de bits de información. El sistema realiza almacenamiento temporal de datos en un buffer de memoria y lee los datos en unidades de símbolos de acuerdo al muestreo de reloj de la Transformada Rápida de Fourier (IFFT). Este proceso se conoce como síntesis de capa y tasa de conversión. La Figura 3.14 ilustra la Capacidad de Transmisión versus la tasa de C/N con el esquema de modulación y la velocidad de codificación convolucional como parámetros. Si la tasa de error de bit después de la decodificación de código interno es menor que  $2 \times 10^{-4}$ , una velocidad de bit casi libre de error del orden de  $10^{-11}$  puede ser obtenido a través de la decodificación Reed Solomon como código externo [6].



**Figura 3.14 - Capacidad de Transmisión versus la tasa de C/N**

6. Con el objetivo de mejorar la recepción móvil y presentar robustez a la interferencia multirrayecto, el sistema realiza en unidades de símbolos, el entrelazado de tiempo además del entrelazado de frecuencia de acuerdo a la disposición de los segmentos

OFDM. Señales piloto para demodulación y símbolos de control consistentes en información TMCC se combinan con información de símbolos para configurar un cuadro OFDM. Aquí los símbolos de información son modulados por desplazamiento diferencial de fase binaria (DBPSK) y los intervalos de guarda se agregan a la salida del IFFT [6].

En seguida se detalla cada bloque de la configuración de codificación de canal.

### (I) TS Re-multiplexor

Una remultiplexación del flujo de transporte TS se forma por cuadros múltiples como unidades elementales, cada uno consistiendo de “n” paquetes de flujo de transporte TSP. La Tabla 3.6 contiene los números de TSP usados para diferentes modos de transmisión y diferentes tasas de intervalos de guarda [3].

Cada uno de los TSP comprende un cuadro de longitud igual a 204 bytes, consistiendo de 188 bytes de datos de programa y 16 bytes de datos nulos. La longitud del cuadro debe coincidir con la del cuadro OFDM, cuando la tasa del clock del TSP enviada es aumentada en 4 veces la tasa de clock del muestreo de IFFT [3]. La Figura 3.15 ilustra cada uno de los TSP de transmisión dentro de un cuadro múltiple transmitido por una capa jerárquica X de una señal OFDM (capa X designada o capas A, B o C) o pertenece a los paquetes de nulos [3].

El arreglo del TSP de transmisión, dentro del cuadro multiplex debe ser determinado antes para garantizar que sea idéntico al TS que va a ser reproducido por el receptor [3].

**Tabla 3.6 – Configuración de cuadro multiplexado**

Modo	Número de transmisiones TSPs incluidos en un cuadro multiplexado			
	Tasa de intervalo de guarda 1/4	Tasa de intervalo de guarda 1/8	Tasa de intervalo de guarda 1/16	Tasa de intervalo de guarda 1/32
Modo 1	1280	1152	1088	1056
Modo 2	2560	2304	2176	2112
Modo 3	5120	4608	4352	4224

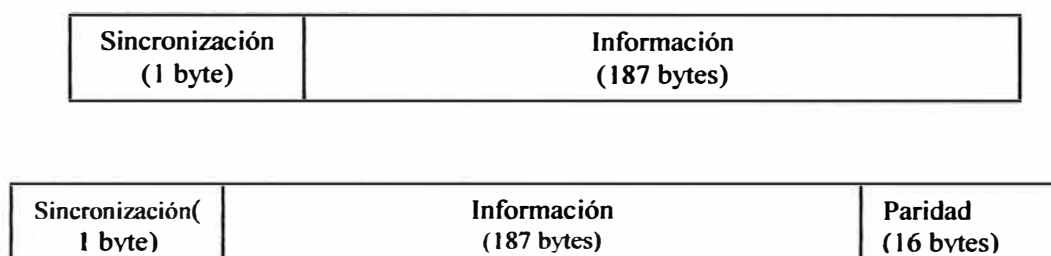


**Figura 3.15 - Flujo de transporte TSP remultiplexado, Modo 1, intervalo de guarda 1/8**

## (II) Código externo

Un código abreviado Reed-Solomon (204,188) se utiliza en todos los TSP como código externo. El código reducido Reed-Solomon se genera mediante la adición de 51 byte 00HEX al inicio de la entrada de los bytes de datos del código Reed-Solomon (255,239) y luego esos 51 bytes son eliminados[3].

El código reducido Reed-Solomon (204,188) es el mismo código externo usado para radiodifusión digital satelital y puede corregir hasta 8 bytes de error aleatoriamente entre los 204 bytes. La Figura 3.16 muestra al MPEG2 TSP y al TSP que son protegidos por el Código Reed-Solomon. Nótese que el paquete de 204 bytes protegidos de error, es también llamado Transmisión TSP.



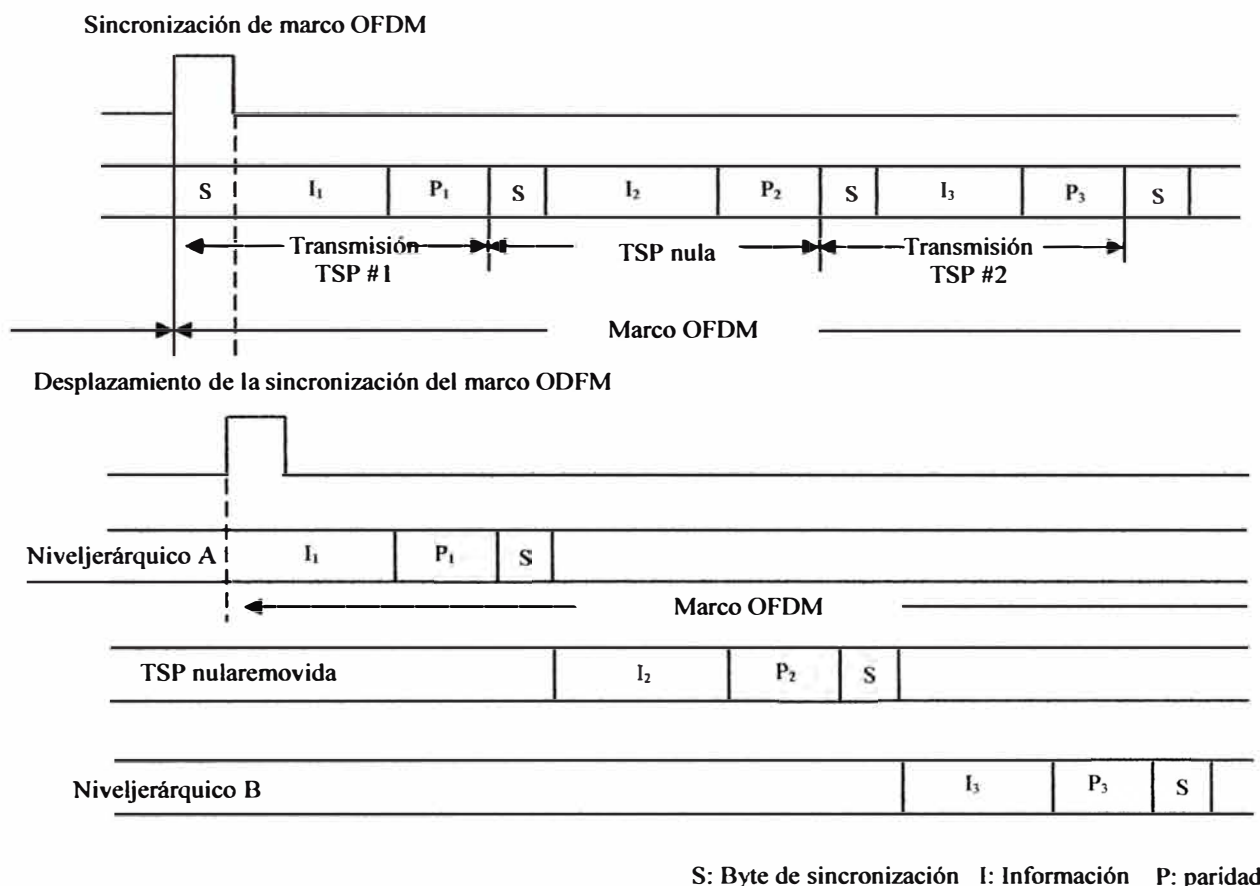
**Figura 3.16– MPEG2 TSP y Transmisión TSP. [3]**

## (III) División del TS en Capa Jerárquica

El divisor de capa jerárquica, llamado también divisor de flujo de transporte (splitter) encamina los paquetes codificados provenientes del codificador externo Reed – Solomon hacia los tres niveles existentes [5]. Este proceso es realizado en función de los datos de control que establece el nivel de jerarquía para cada tipo de información y/o servicio. En caso no exista transmisión jerárquica, se encamina un único flujo de transporte [5] [6].

El divisor jerárquico divide el TS remultiplexado de nuevo en porciones múltiples (transmisión TSP, cada una de ellas con una longitud de 204 bytes, que contienen todos los bytes, desde el byte próximo al de sincronización hasta el byte de sincronización siguiente) y asigna cada parte a la capa jerárquica especificada, al mismo tiempo el divisor debe eliminar el paquete nulo [3].

La capa jerárquica a que pertenece la transmisión TSP debe ser especificada obligatoriamente por la información de la capa jerárquica basada en la organización. El número máximo de capas debe ser tres. Se debe tener en cuenta que la sincronización de un cuadro OFDM debe desplazar en un byte el inicio de los bytes de información. [7]. La Figura 3.17 ilustra un ejemplo del funcionamiento del divisor jerárquico.



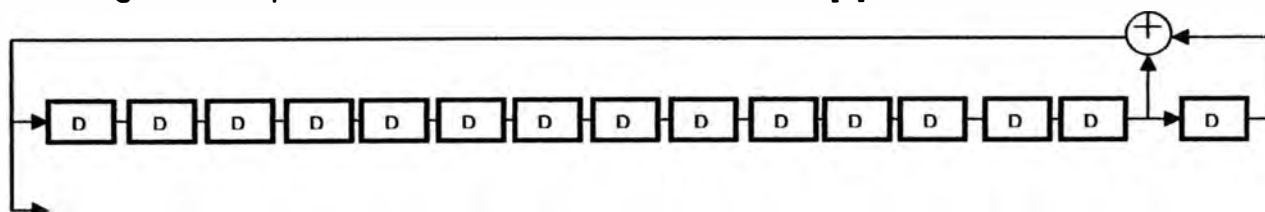
**Figura 3.17– Ejemplo defuncionamiento del divisor jerárquico**

#### (IV) Etapas de procesamiento paralelo

##### (1) Dispersión de energía

La dispersión de energía es realizada en cada capa jerárquica utilizando el circuito Pseudo Random Bit Sequence PRBS como se ilustra en la Figura 3.18[3].

Todas las señales que no son de sincronismo de byte en cada transmisión TSP, en las diferentes capas jerárquicas, deben pasar por un circuito OR-EXCLUSIVO utilizando el circuito generador polinomial PRBS en la base de bit a bit [3].



**Figura 3.18 - Circuito PRBS – Generador polinomial**

##### (2) Ajuste de atraso

El ajuste de atraso asociado al byte interleaving con la intención de proveer un tiempo de atraso idéntico para la transmisión y recepción en todas las capas jerárquicas, se lleva

cabo en el lado de la transmisión. Un valor de ajuste apropiado se debe seleccionar para cada capa jerárquica de entre los contenidos en la Tabla 3.6 (equivalente al número de transmisión TSP) tal que todos los atrasos, incluyendo el de transmisión y recepción causados por el byte interleaving(11 transmisiones TSP) tengan la longitud de un cuadro [3].

Con la transmisión jerárquica se pueden especificar diferentes conjuntos de parámetros de transmisión (números de segmentos, tasa de codificación interna, esquema de modulación) para diferentes capas jerárquicas. En este caso, sin embargo, la tasa de bit de transmisión para una capa se puede diferir de otra capa resultando diferentes capacidades de transmisión, calculadas como el período de tiempo desde la codificación interna del lado de la transmisión hasta la decodificación en el lado de la recepción [7]. Por lo tanto, la cantidad de atraso de transmisión TSP (11TSP's) causados por el byte interleaving para una capa difiere de otra capa cuando se convierte en tiempo de atraso. Para compensar esta relativa diferencia en el tiempo de atraso entre las capas jerárquicas se lleva a cabo un ajuste para cada capa, antes del byte interleaving de acuerdo con la tasa de bit de transmisión [3].

**Tabla 3.7 – Valores requeridos de Ajuste de Atraso como resultado del Byte Interleaving**

Modulación de carga	Códigoconvolucional	Valor de retraso de ajuste (número de transmisiones TSPs)		
		Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK	$\frac{1}{2}$	12 x N-11	24 x N-11	48 x N-11
	$\frac{2}{3}$	16 x N-11	32 x N-11	64 x N-11
	$\frac{3}{4}$	18 x N-11	36 x N-11	72 x N-11
QPSK	$\frac{5}{6}$	20 x N-11	40 x N-11	80 x N-11
	$\frac{7}{8}$	21 x N-11	42 x N-11	84 x N-11
16QAM	$\frac{1}{2}$	24 x N-11	48 x N-11	96 x N-11
	$\frac{2}{3}$	32 x N-11	64 x N-11	128 x N-11
	$\frac{3}{4}$	36 x N-11	72 x N-11	144 x N-11
	$\frac{5}{6}$	40 x N-11	80 x N-11	160 x N-11
64QAM	$\frac{7}{8}$	42 x N-11	84 x N-11	168 x N-11
	$\frac{1}{2}$	36 x N-11	72 x N-11	144 x N-11
	$\frac{2}{3}$	48 x N-11	96 x N-11	192 x N-11
	$\frac{3}{4}$	54 x N-11	108 x N-11	216 x N-11
	$\frac{5}{6}$	60 x N-11	120 x N-11	240 x N-11
	$\frac{7}{8}$	63 x N-11	126 x N-11	252 x N-11

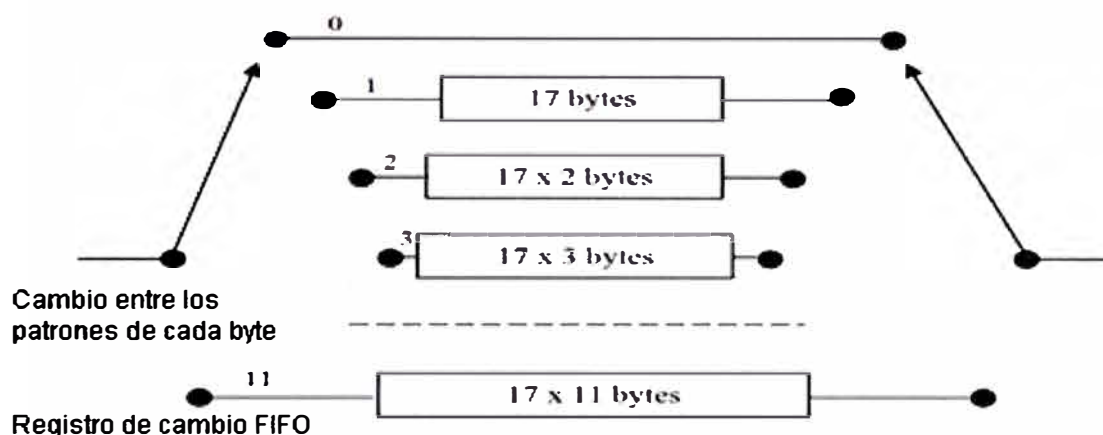
### (3) Byte interleaving

La transmisión de TSP con 204 bytes que es protegida de error por medio del



Código Reed-Solomon RS y por la dispersión de energía, sufre el byte interleaving por la Codificación Convolutiva. El interleaving debe ser de 12 bytes.

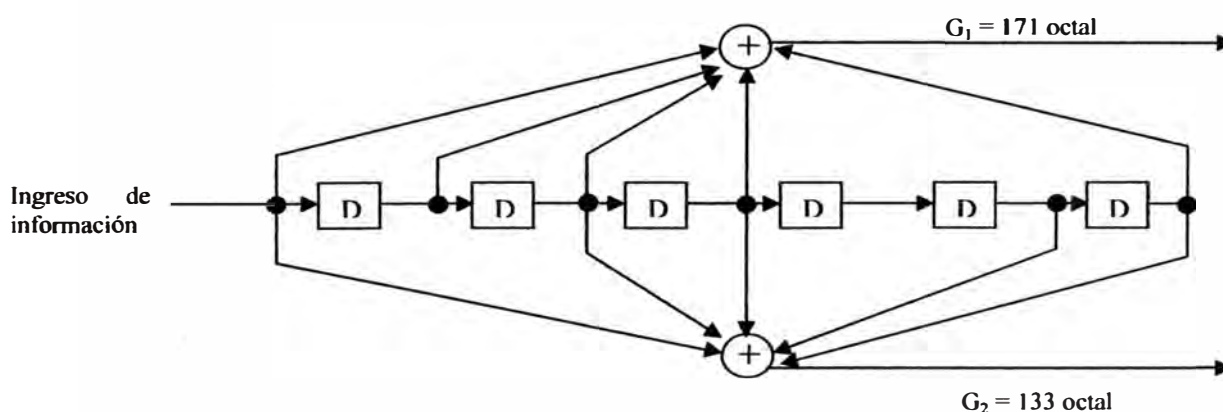
Sin embargo el byte siguiente al byte de sincronismo debe pasar por un camino de referencia que no cause atraso[7], como es ilustrado en la Figura 3.19.



**Figura 3.19**– Circuito de Byte Interleaving

#### (4) Código interno

El Código Interno (InnerCode) es un Código Convolutivo perforado (descarte de bit seleccionado, según criterio definido) con un código madre que tiene una restricción de longitud  $k$  de 7 y tasa de codificación de  $\frac{1}{2}$ . El código polinomial generador del código madre debe ser  $G_1=171_{\text{oct}}$  y  $G_2=133_{\text{oct}}$ , tal como está ilustrado en la Figura 3.20.



**Figura 3.20**–Circuito de codificación de un Código Convolutivo con restricción de longitud  $K$  de 7 y Tasa de Codificación de  $\frac{1}{2}$

La Tabla 3.8 contiene la tasa de codificación interna y la secuencia de la señal de transmisión perforado en el tiempo. Se debe tener en cuenta que el patrón de perforado

debe ser tal que el patrón se inicie en el cuadro de sincronización, asegurando la confiabilidad en el receptor y compensar la sincronización entre patrones perforados[3].

**Tabla 3.8 - Tasa de Codificación y secuencia de la señal de transmisión**

Tasa de codificación	Patrón de Punción	Secuencia de transmisión de señal
1/2	X : 1 Y : 1	X1, Y1
2/3	X : 1 0 Y : 1 1	X1, Y1, Y2
3/4	X : 1 0 1 Y : 1 1 0	X1, Y1, Y2, X3
5/6	X : 1 0 1 0 1 Y : 1 1 0 1 0	X1, Y1, Y2, X3, Y4, X5
7/8	X : 1 0 0 0 1 0 1 Y : 1 1 1 1 0 1 0	X1, Y1, Y2, X3, Y4, X5, Y6, X7

#### (5) Modulación de la portadora

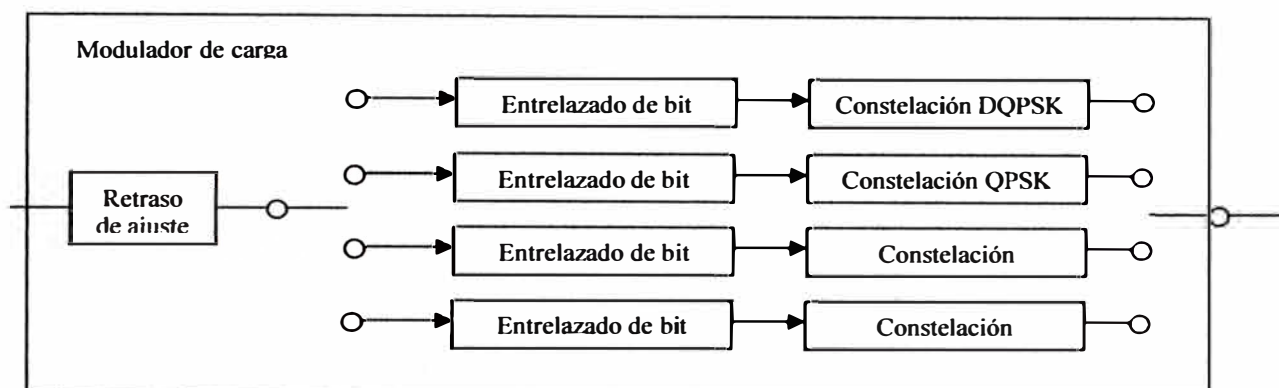
El proceso de modulación de la portadora tiene varias etapas, a continuación se describen cada una de ellas:

##### i) Configuración del Modulador de la portadora

En el proceso de modulación de la portadora, la señal de entrada es entrelazada bit por bit y mapeada por medio del esquema especificado para cada capa jerárquica.[3]. La secuencia de bits provenientes del codificador interno son entrelazados en cada capa para generar de inmediato los valores complejos que corresponden los símbolos de cada modulación. Sin embargo estos entrelazados generan un retardo de 120 símbolos complejos que deberán ser compensados. El retardo de compensación introducido es equivalente a dos símbolos OFDM [5]. La Figura 3.21 ilustra la configuración del modulador de la portadora.

Cuatro esquemas de modulación digital son posibles aquí DQPSK, QPSK, 16QAM Y 64QAM. DQPSK, es un tipo de Modulación Diferencial que transmite la diferencia entre el símbolo presente y el siguiente símbolo de información, como tal no necesita una señal de referencia y por consiguiente es apropiado para recepción móvil. La forma particular de modulación DQPSK cuenta con un corrimiento en fase de  $\pi/4$  de todos los símbolos, de modo tal que los puntos de la señal después de la demodulación diferencial resultan ser los mismos que en QPSK [6]. Los otros tres: QPSK, 16QAM y 64QAM son tipos de Modulación Coherente, en este tipo de modulación cuando el número de bits realizado aumenta de símbolos de 2, 4 y 6 bits, la velocidad de bits aumenta; a la par que la

distancia entre los puntos de la señal (en la constelación) se hace más pequeña y la señal se vuelve menos resistente al ruido y a otras perturbaciones [6].



**Figura 3.21 - Configuración del modulador de la portadora[3]**

## ii) Ajuste de atraso

La secuencia de bits provenientes del codificador interno son entrelazados en cada capa para generar en seguida los valores complejos que corresponden a los símbolos de cada modulación, este entrelazado genera un atraso o retardo [5]. Los codificadores internos ajustados a diferentes tasas pueden causar desincronización entre capas.

Los atrasos en la transmisión y recepción son equivalentes a 120 símbolos de la portadora, se producen como resultado del “bit interleaving” del modulador de la portadora. El tiempo de atraso varía dependiendo del esquema de modulación de la portadora, es decir del número de bits comprendido en el símbolo de la portadora [3].

La diferencia en el tiempo de atraso se debe corregir en el lado de la entrada del bit interleaving, mediante la adición de un valor de ajuste de atraso tal como se muestra en la Tabla 3.9, de modo tal que el atraso total en la transmisión y recepción sean iguales a 2 símbolos OFDM [3].

**Tabla 3.9— Ajuste del valor de atraso requerido como resultado del bit interleaving**

Modulación de portadora	Valor del ajuste de atraso (número de bits) *		
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK/QPSK	$384 \times N - 240$	$768 \times N - 240$	$1536 \times N - 240$
16QAM	$768 \times N - 480$	$1536 \times N - 480$	$3072 \times N - 480$
64QAM	$1152 \times N - 720$	$2304 \times N - 720$	$4608 \times N - 720$

\* N representa el número de segmentos usados por la capa jerárquica

### iii) Bit interleaving y Mapping

#### I) DQPSK

La Figura 3.22 muestra el mapeador de sub-símbolos 4-shift DQPSK. Se observa un convertidor serie/paralelo de 2 bits y un retardador de 120 bits que genera el entrelazamiento interno antes de mapear al valor complejo correspondiente [5]. Luego de haber realizado la conversión serie-paralelo, los 120 bits de atraso se deben insertar en la entrada del calculador de fase para *bit interleaving*. El retardador característico de la modulación diferencial presenta un total de sub-símbolos transmitidos equivalentes a un símbolo OFDM. Por ejemplo: si se transmite por la capa A en modulación DQPSK en sus  $N_{s1}$  segmentos, entonces el retardo de símbolos será de  $96N_{s1}$  para el modo 1,  $192 N_{s1}$  para el modo 2 y  $384 N_{s1}$  para el modo 3 [5]. El cálculo de fase se debe realizar obligatoriamente de acuerdo con la Tabla 3.10.

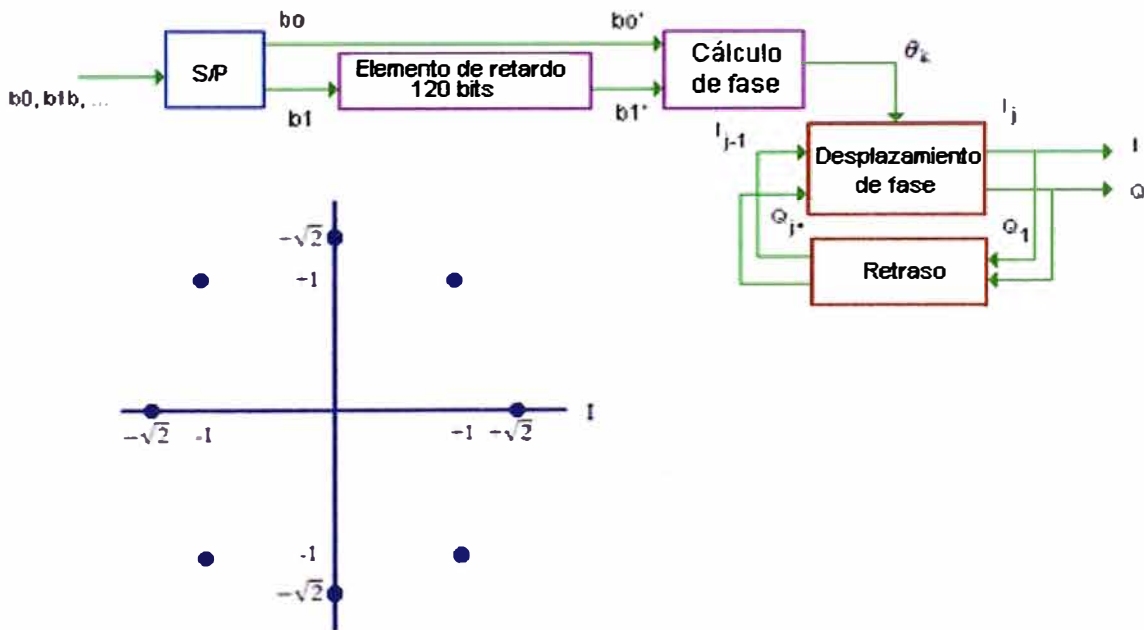


Figura 3.22 – Diagrama y constelación de la modulación DQPSK con desfase de  $\pi/4$

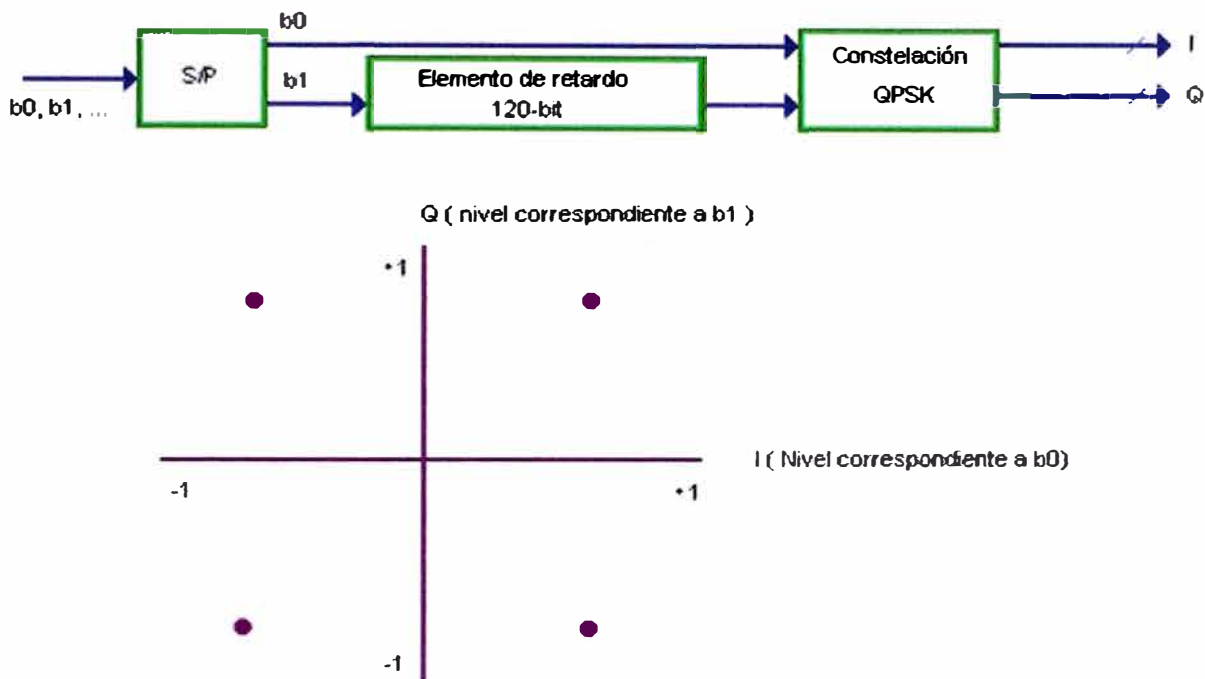
Tabla 3.10 – Cálculo de fase

Entrada $b_0 \ b_1$	Salida $\theta_j$
0 0	$\pi/4$
0 1	$-\pi/4$
1 0	$3\pi/4$
1 1	$-3\pi/4$

#### II) QPSK

La señal de entrada debe ser obligatoriamente 2 bits por símbolo y la salida mapeada

de datos QPSK debe ser obligatoriamente multibit, en los ejes I y Q. Para realizar el mapeo, los 120 elementos de atraso se deben insertar obligatoriamente en la entrada del *mapper* para el entrelazamiento. Ver Figura 3.23.



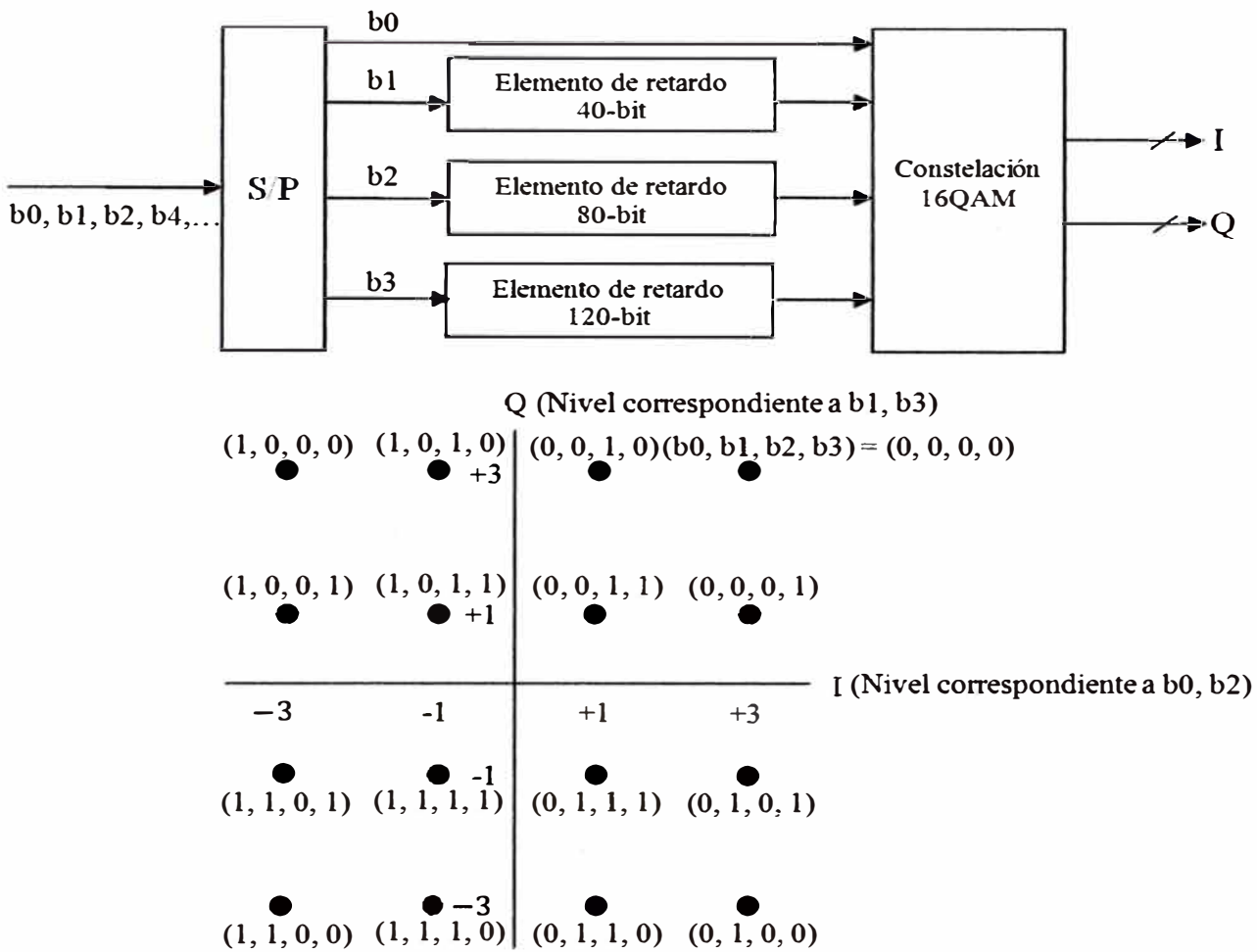
**Figura 3.23** – Diagrama de un sistema de modulación QPSK y su constelación

### III) 16QAM

La señal de entrada debe ser representada por 4 bits/símbolo por ello presenta un convertidor serie/paralelo de 4 bits y retardados 40, 80 y 120 bits que generan el entrelazamiento interno antes de ser mapeados [5]. Para realizar el mapeo, los elementos de atraso se deben insertar en las entradas b1, b2 y b3 para *bit interleaving*(ver Figuras 3.24).

### IV) 64QAM

La Figura 3.25 muestra el mapeador de sub-símbolos 64QAM utilizado y su constelación correspondiente. La señal de entrada es de 6 bits por símbolo. Por ello presenta un convertidor serie/paralelo de 6 bits y retardados 24, 48, 72, 96 y 120 bits que generan el entrelazamiento interno, los que son colocados en las ramas 0, 1, 2, 3, 4 y 5 antes de ser mapeados al valor complejo correspondiente [5].



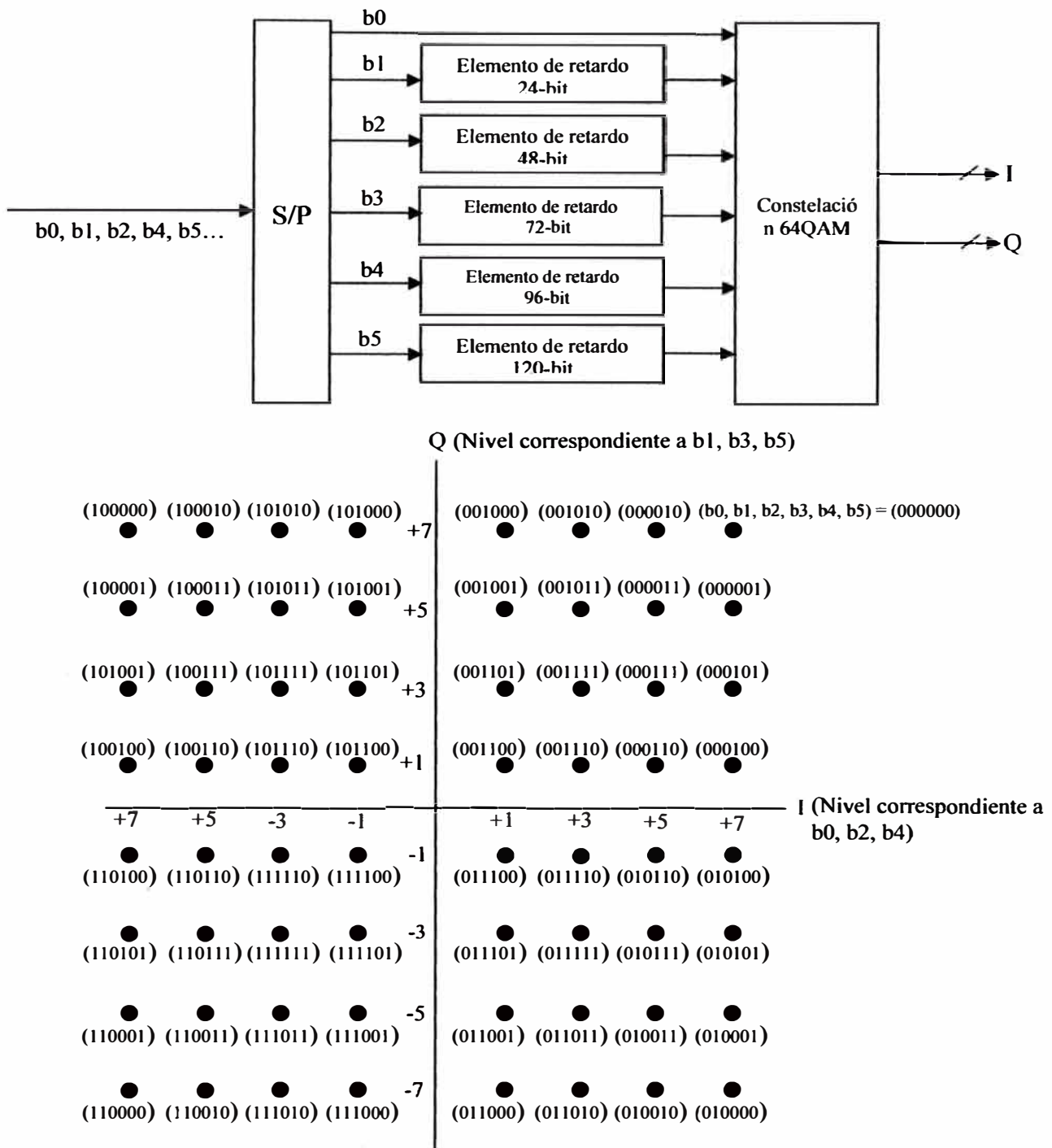
**Figura 3.24**—Diagrama de un sistema de modulación 16QAM y su constelación

### Factor de normalización

Debido a que las diversas constelaciones utilizadas presentan energía promedio distinta, se hace necesario el uso de factores de normalización. Esto es realizado con el fin de evitar que portadoras moduladas por distintos esquemas de modulación presenten una potencia promedio diferente. Con ello se asegura un espectro promedio plano en amplitud que es recomendable para mantener la robustez del sistema frente a distorsiones como el desvanecimiento selectivo.

Los factores de normalización aplicados a los símbolos de cada constelación son los siguientes:

$\pi/4$ Shift DQPSK	: $Z/\sqrt{2}$
QPSK	: $Z/\sqrt{2}$
16QAM	: $Z/\sqrt{10}$
64QAM	: $Z/\sqrt{42}$



**Figura 3.25**—Diagrama de un sistema de modulación 64QAM y su constelación

### (V) Combinación de Capas Jerárquicas

Señales de diferentes capas jerárquicas, sometidas a la codificación de canal y modulación de portadoras por los parámetros especificados, se deben combinar e insertar en el segmento de datos sometidos a la conversión de velocidades. La Figura

3.26 ilustra la configuración del circuito combinador jerárquico [3].

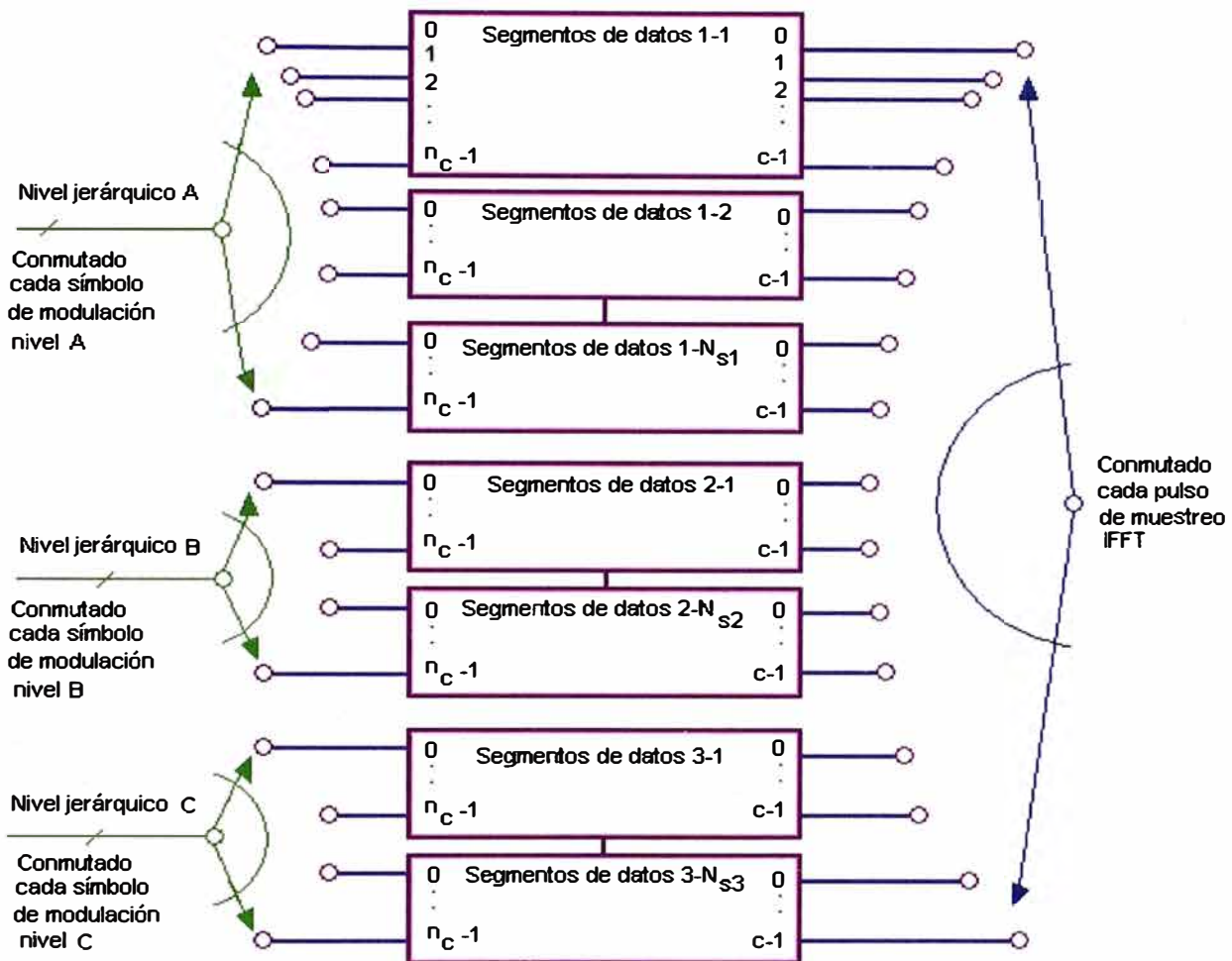


Figura 3.26- Configuración del combinador de capa

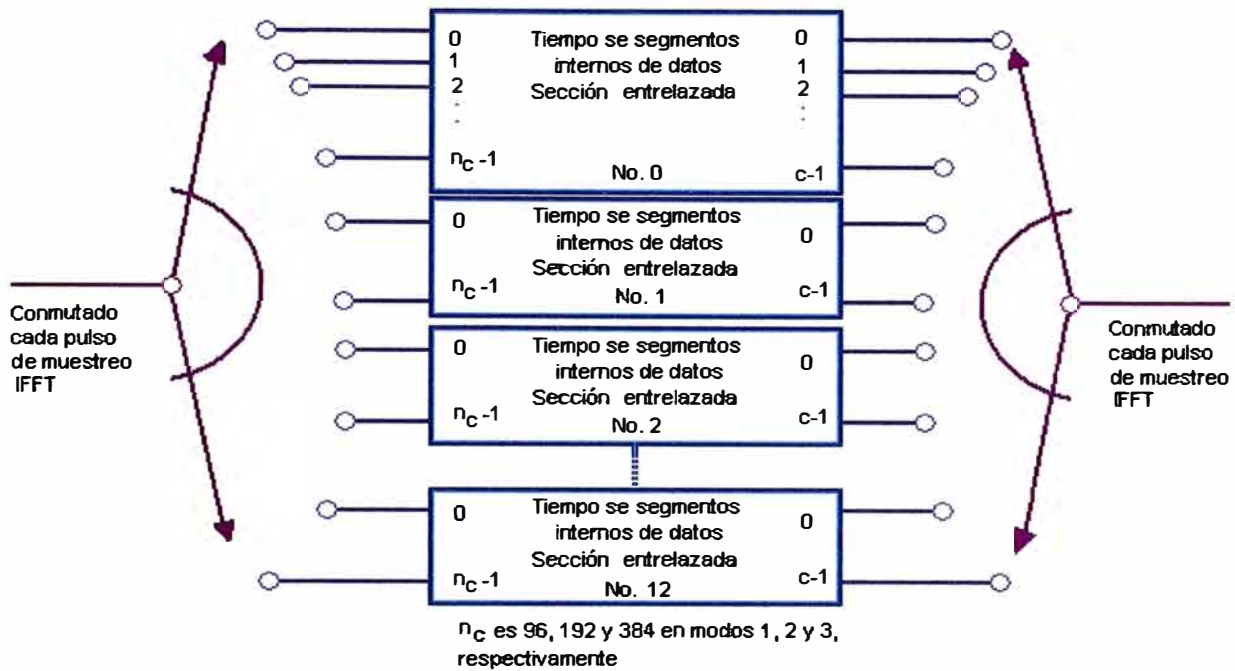
## (VI) Tiempo y Frecuencia de interleaving

### Tiempo de interleaving

Una vez que las diferentes capas jerárquicas se combinan, ellos deben ser entrelazados en el tiempo y en unidades de símbolos de modulación (para cada uno de los ejes I y Q) [3], tal como se ilustra en la Figura 3.27.

La longitud del Time Interleaving debe ser especificado como "I" para cada capa jerárquica, independientemente de otras capas. La diferencia de atraso de tiempo se debe corregir en el lado de la transmisión usando el número de símbolo o el atraso apropiado para cada capa contenida en la Tabla 3.11, de tal manera que el número total de atrasos en la transmisión y recepción sea un número entero de cuadros [3].





**Figura 3.27-** Configuración de la sección del Time Interleaving

**Tabla 3.11-** Valores de la longitud del Time Interleaving y el Ajuste de Atraso

Modo 1			Modo 2			Modo 3		
Long. (l)	Número de símbolos de ajuste de retardo	Número de cuadros retardados en transmisión y recepción	Long. (l)	Número de símbolos de ajuste de retardo	Número de cuadros retardados en transmisión y recepción	Long. (l)	Número de símbolos de ajuste de retardo	Número de cuadros retardados en transmisión y recepción
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	28	2	2	14	1	1	109	1
8	56	4	4	28	2	2	14	1
16	112	8	8	56	4	4	28	2

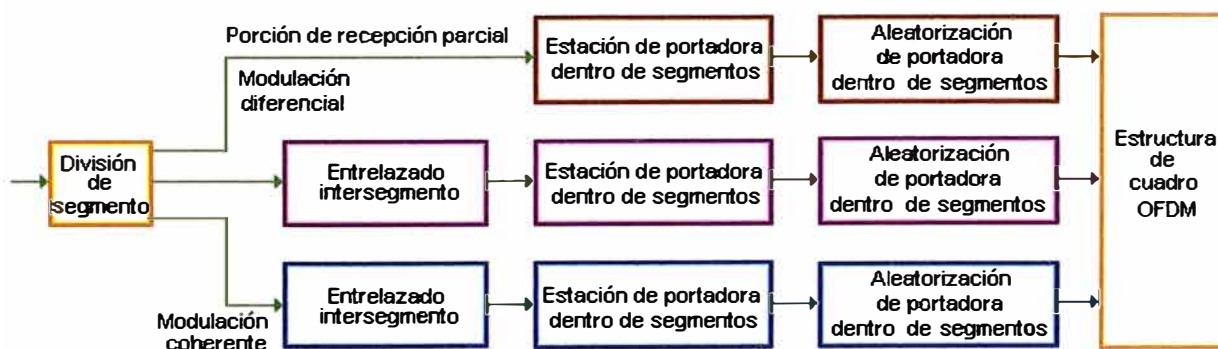
Se debe tener en cuenta que este ajuste de atraso se debe llevar a cabo antes del Time Interleaving.

El Time Interleaving tiene por objeto garantizar la mejora de la robustez frente a desvanecimientos interferentes, mediante aleatorización de símbolos de datos después de la modulación. La especificación de la longitud del entrelazado para cada capa

jerárquica permite la longitud óptima de entrelazado que se especificarán para el canal, si cada capa emplea un canal diferente, es decir; si un tipo de recepción difiere de otras capas.

### (VII) Frecuencia interleaving

Durante la división del segmento, números de segmentos de datos son asignados en la secuencia 0 – 12 a la parte de recepción parcial, modulación diferencial (segmentos para los que DQPSK se especifica para modulación de portadoras) y modulación coherente (segmentos para los que QPSK, 16QAM o 64QAM es especificado para las portadoras de modulación). En cuanto a la relación entre la configuración jerárquica y los segmentos de datos: segmentos de datos del mismo nivel jerárquico deben ser dispuestos sucesivamente y capas jerárquicas deben ser denominadas Capas A, B y C secuencialmente en orden numérico ascendente (de menor a mayor número de segmentos). El entrelazado entre segmentos debe ser realizado en dos o más segmentos de datos que pertenezcan a un mismo tipo de porción modulada, aun cuando sus niveles jerárquicos sean diferentes.[3]. La Figura 3.28 ilustra la configuración de Sección de Frecuencia Interleaving.



**Figura 3.28– Configuración de la Sección de Frecuencia Interleaving**

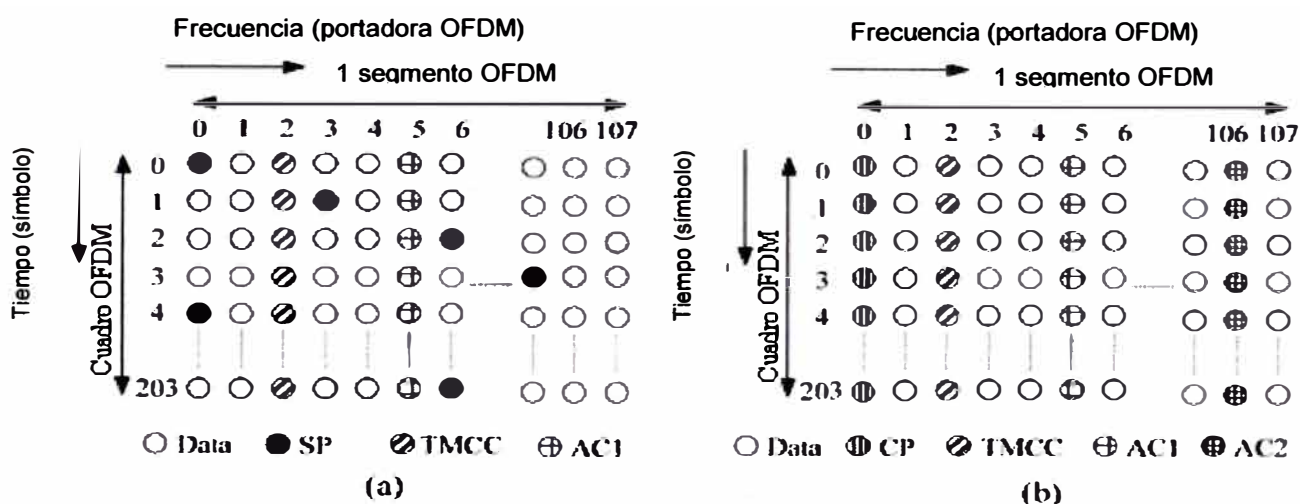
El entrelazado entre segmentos no debe ser realizado en la parte de la recepción parcial, ya que se asume solo el receptor designado para recibir ese segmento.

Se debe tener en cuenta que la Modulación Diferencial y Modulación Sincrónica difieren en términos de estructura de cuadro, el entrelazado entre segmentos se debe realizar en cada grupo [3].

### (VIII) Estructura de Cuadro OFDM

El formato del cuadro de transmisión BST-OFDM se describe usando como ejemplo el segmento en Modo 1. En este Modo, un segmento utiliza 96 portadoras de datos para

transmitir información y 12 portadoras restantes para transmisión de control. En este caso, la disposición de las portadoras de control difieren de acuerdo al esquema de modulación aplicado al segmento, hay por lo tanto; dos tipos de estructura de cuadro tal como se muestra en la Figura 3.29. La característica de la señal de radiodifusión OFDM de un cuadro de 13 segmentos, es de dos tipos de secuencia en el dominio de la frecuencia al mismo tiempo que la portadora.



**Figura 3.29-** Estructura de Cuadro OFDM

(a) Estructura de Cuadro para QAM. (b) Estructura de Cuadro para DQPSK

La Figura 3.29(a) ilustra los cuadros de segmentos OFDM para casos de modulación coherente, cada uno tiene 01 portadora TMCC, 02 portadoras AC y un equivalente de 09 pilotos dispersos. Un SP es insertado una vez cada 12 portadoras en el dominio de la frecuencia y una vez cada cuatro símbolos en el dominio del tiempo.

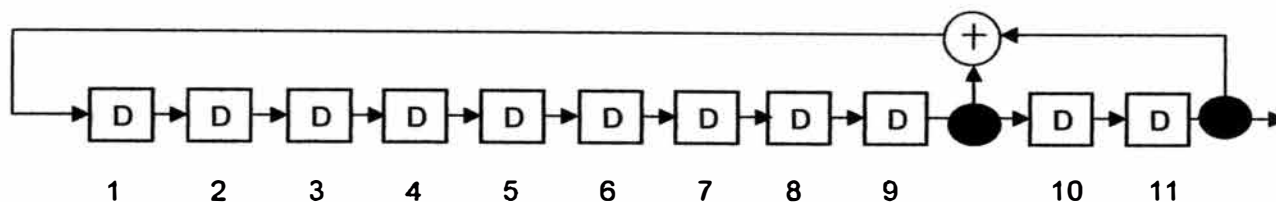
Por otra parte, para el caso de modulación diferencial ilustrado en la Figura 3.29 (b) los SPs no son necesarios. Aquí, un cuadro de segmento consiste de 05 portadoras TMCC, 06 portadoras AC y 01 piloto continuo CP colocado consecutivamente en el extremo más bajo del dominio de la frecuencia de cada segmento. Cuando se describe la organización de los segmentos, este CP actúa como la señal de referencia en la frecuencia más alta para una modulación coherente OFDM del segmento adyacente situado en la banda de frecuencia baja. Además, cada AC se desempeña como un canal adicional que puede funcionar como una señal de referencia para demodulación.

## (VI) Señal Piloto

La señal piloto involucra a señales como: piloto disperso (SP), piloto continuo (CP), TMCC y al canal auxiliar.

### Piloto Disperso o Dispersión de Prueba (SP)

Es una señal dispersa de prueba BPSK que se correlaciona con la salida por la secuencia de bits  $W_i$  del generador PRBS, el cual se muestra en la Figura 3.30. Donde el  $i$  de  $W_i$  corresponde a la portadora número  $i$  del segmento OFDM. El valor inicial del circuito generador se define para cada segmento.



**Figura 3.30** – Circuito Generador PRBS

### Piloto Continuo (CP)

Así como la dispersión de piloto discutido anteriormente, la señal de piloto continuo CP es BPSK modulada de acuerdo con la portadora de posición (número de portadora dentro de segmento) en la que se va a insertar y también de acuerdo con el valor de  $W_i$ . Se debe tener en cuenta que el ángulo de fase del CP determinado respecto a la portadora de posiciones constante en todos los símbolos.

### TMCC

La señal TMCC es transmitido por medio de DBPSK modulada de acuerdo con la información presentada en la configuración del Espectro de Transmisión. La referencia a la modulación diferencial B0 es determinado por  $W_i$  del circuito de la Figura 3.30. Después de la codificación diferencial, la señal TMCC toma los puntos  $(+4/3,0)$  y  $(-4/3,0)$  para obtener 0 y 1 respectivamente.

### Canal Auxiliar (AC)

El canal auxiliar AC es un canal diseñado para transmitir información adicional para control de la señal de transmisión. La información adicional AC es transmitida mediante la modulación de la portadora piloto a través de DBPSK, similar a CP. La referencia para modulación diferencial se proporciona en el primer símbolo del cuadro y toma el punto de la señal que corresponde al valor  $W_i$  establecido en el circuito PRBS.

La señal de modulación AC toma puntos  $(+4/3,0)$  y  $(-4/3,0)$  para obtener información 0 y 1 respectivamente, disponible en la codificación diferencial. Si no hay información adicional, la información 1 se inserta como bit de relleno.

Dos canales están disponibles como canales AC: AC1, canal con el que se utiliza la misma posición de la portadora en todos los segmentos independientemente del

esquema de modulación usado, y el canal AC2 debe ser usado solo en los segmentos con modulación diferencial.

Para asegurar la diversidad de aplicaciones de AC sólo se debe usar un esquema de modulación: la modulación DBPSK.

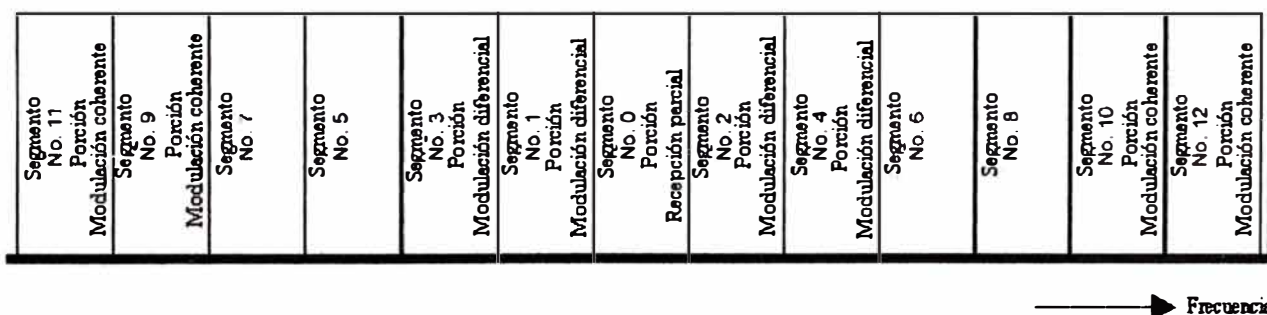
### Configuración del Espectro de Transmisión

En la Figura 3.31 se ilustra el establecimiento de la disposición de segmentos OFDM. El segmento N° 0 debe ser colocado en el centro de toda la banda, los segmentos sucesivos deben ser colocados alternativamente por arriba y debajo de este segmento.

Para la transmisión jerárquica, los segmentos de la modulación diferencial se deben asignar alternativamente por encima y debajo del segmento 0 en orden numérico ascendente, con segmentos de la modulación síncrona asignados alternativamente por encima y debajo de los segmentos de la modulación diferencial.

“Segmento de Recepción Parcial”, “Segmento de Modulación Diferencial” y “Segmento de Modulación Síncrona” son ejemplos de uso de segmento. Se debe tener en cuenta que para la transmisión jerárquica, la posición del segmento asignado a la recepción parcial debe ser siempre N°0.

Para conformar el espectro de transmisión entero, una portadora continua con fase establecida por  $W_i$ , es proporcionada en el extremo derecho de la banda.



**Figura 3.31**– Número de segmentos OFDM sobre el espectro de transmisión

La portadora continua en la frecuencia más alta de la banda de la televisión es una portadora piloto requerido para demodulación cuando el segmento adyacente es una modulación síncrona. Esta portadora siempre está presente en el sistema ISDB-T.

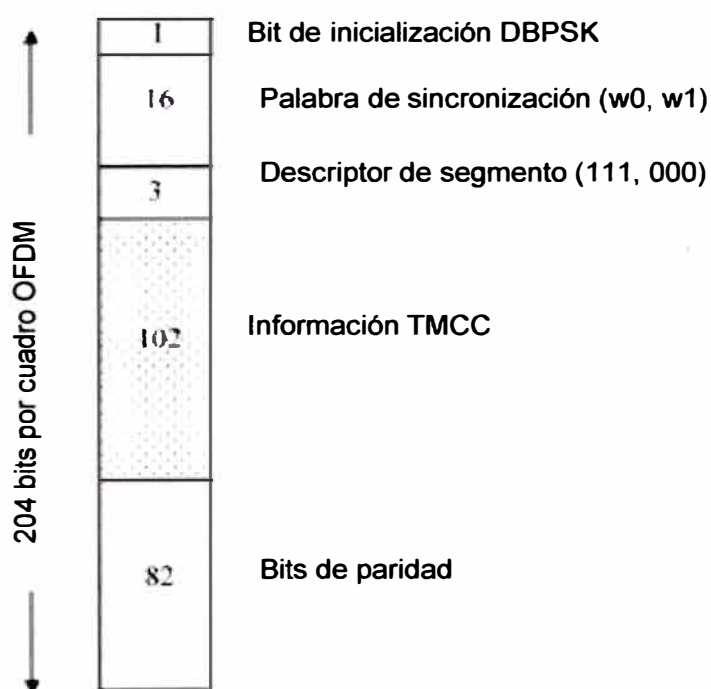
El segmento de recepción parcial debe ser asignado con N° 0 con el fin de garantizar la recepción la sintonización en el receptor.

El espectro segmentado es etiquetado de acuerdo a las modulaciones para cada segmento y son numerados de adentro hacia fuera. Los segmentos pares desde el centro hacia la derecha, los impares hacia la izquierda.

### Señal TMCC y Control de Información

Una variedad de formatos de recepción transmisión como transmisión jerárquica y recepción parcial, puede ser considerada para radiodifusión digital terrestre. En este sentido, la señal TMCC que se transmite vía modulación DBPSK, incluye sistema de control de información tal como la configuración del segmento que el receptor debe decodificar primero. En la Figura 3.32 se ilustra la configuración de la señal TMCC, el código de sincronización de cuadro es una palabra de 16 bits que invierte cada cuadro y 3 bits son usados para distinguir modulación coherente o modulación diferencial en un segmento.

El control de información es común a todas las portadoras y la corrección de error se realiza con la diferencia de ajuste de código cíclico. Debido a que hay múltiples portadoras TMCC en un segmento con modulación diferencial OFDM utilizado para recepción móvil, una decisión mayoritaria es tomar con respecto al control de bits transmitidos para elevar la fiabilidad del control de la información.



**Figura 3.32-** Configuración de señal TMCC

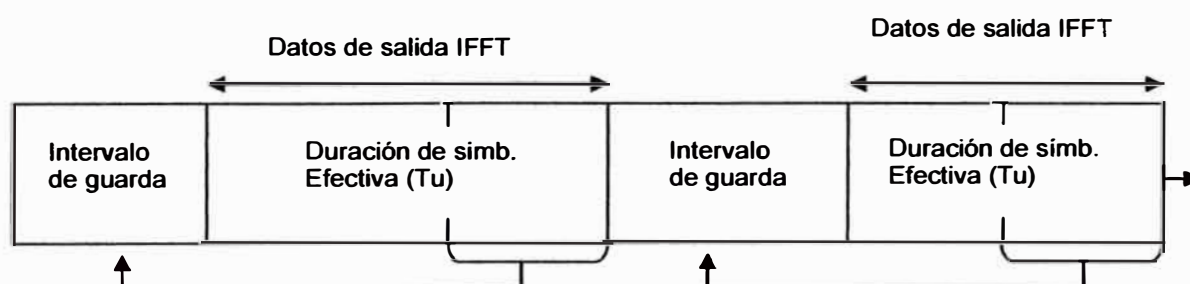
La Tabla 3.12 contiene la configuración de los 102 bits de control TMCC y sus funciones. 13 bits son asignados a los parámetros de transmisión jerárquica para tasa de codificación de código interno, esquema de modulación, tiempo de entrelazado y el espacio para tres capas de estos bits siempre se reserva para uso real.

**Tabla 3.12-** Configuración del Control de Información. 102 TMCC

Número de bit	Información de control	
2	Identificación del sistema (TV/audio)	
4	Actual/siguiente conmutación de cuenta regresiva	
1	Indicador de alerta de emergencia	
1	Actual	Indicador de recepción parcial
13		Parámetros de transmisión de la capa A
13		Parámetros de transmisión de la capa B
13		Parámetros de transmisión de la capa C
40	Siguiente	Como los anteriores
3	Para control del sistema ISDB-T <sub>SB</sub> de banda angosta	
12	Reservado	

### (IX) Intervalos de Guarda

Los datos símbolos de 13 segmentos ODFM se convierten en un momento en símbolos de un período  $T_u$  que realizan los cálculos de la IFFT. Como se muestra en la Figura 3.33 un intervalo de guarda se forma añadiendo directamente a los datos una porción de forma de onda al final de cada símbolo y en su parte delantera. La transmisión resultante es un símbolo de período  $T_u + T_g$  continua, lo que significa que el símbolo efectivo puede ser demodulada siempre y cuando se encuentre en algún lugar de este período  $T_u$ .

**Figura 3.33** -Intervalos de guarda

### 3.2.3 Importancia del aporte brasileño al Sistema ISDB-T

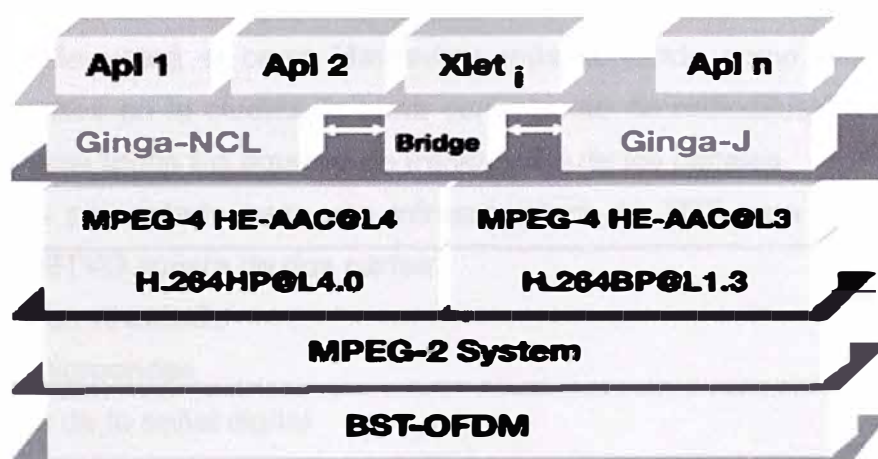
Se menciona brevemente el estándar brasileño por su enorme aporte al sistema japonés. El 29 de abril de 2009 ISDB-T<sub>b</sub> fue certificado oficialmente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) tanto el módulo de Ginga-NCL como el

lenguaje NCL/Lua (desarrollado por la Universidad Católica de Río PUC-Río) como primera recomendación internacional para entornos multimedia interactivos para TV Digital y IPTV-Recomendación H.761 [10]. A continuación se realizará un análisis resumido del Sistema SBTVD.

### Características del Sistema Brasileño SBTVD

Una característica innovadora del Sistema Brasileño es la forma como desarrollan la TV Interactiva, para lo cual introducen las técnicas del Middleware Ginga [9].

Middleware es una capa de software posicionada entre el código de las aplicaciones y la infra-estructura de ejecución (plataforma de hardware y sistema operativo), como ilustrado por el Modelo de Referencia del Sistema Brasileño de TV Digital Terrestre, presentado en la Figura 3.34[9].



**Figura 3.34** - Relación entre el Código de Aplicación y la infraestructura [8]

La implementación de referencia delGinga-NCL fue desarrollada en códigoabierto y puede ser obtenida en elsitio [www.gingancl.org.br](http://www.gingancl.org.br), bajo licenciaGPLv2.

En el sitio <http://clubencl.org.br>, se encuentra un repositoriode aplicaciones interactivas, dondelos autores pueden divulgar susideas, talentos, y, también, sus técnicasde desarrollo usando el lenguajeNCL con scripts Lua[8].



## **CAPITULO IV ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS**

### **4.1 Introducción**

En esta sección se presenta un estudio de caso del análisis de la infraestructura de la televisión digital terrestre propuesta para la ciudad de Lima-Metropolitana, bajo el estándar ISDB-Tb.

El escenario de estudio está definido por la distribución actual que tienen los broadcasters, como por ejemplo TV PERU, ATV y FRECUENCIA LATINA, para su infraestructura. Se usará el cerro Marcavilca más conocido como Morro Solar, en el distrito de Chorrillos en la ciudad de Lima como punto de radiodifusión, lugar donde se ubican actualmente todos los equipos de transmisión de los canales.

La propuesta presentada para una infraestructura de TDT para Lima Metropolitana bajo estándar SBTVD consta de dos partes:

- Producción en el estudio

- Enlace de microondas

- Transmisión de la señal digital

A continuación se realizará una presentación resumida del escenario de transmisión de la televisión digital, así como sus componentes elementales.

### **4.2 Producción en el estudio**

En el Estudio se producirían los contenidos audiovisuales, con los equipos adecuados para producir señal de alta definición, según lo establecido en el capítulo los cuales serán enviados a planta para su transmisión.

### **4.3 Enlace de microondas**

El estudio propone un enlace de microondas digital en la frecuencia de 13 GHz con modulación 32QAM. Teniendo en cuenta la ubicación del punto de recepción, potencia de transmisión, frecuencia de operación, clima, etc., además de que las antenas deben ser bastante directivas.

Se debe precisar que el análisis del enlace por microondas es mucho más extenso, pero el objetivo de este informe no amerita su desarrollo

### **4.4 Etapa de transmisión de la señal digital de TDT**

Los parámetros de la etapa de transmisión del caso bajo estudio son las que se

especifican a continuación:

- Punto de radiodifusión: Morro Solar en Chorrillos
- Modulación: OFDM
- Número de segmentos OFDM: 13
- Codificación: QAM, QPSK
- Tasa de bits: 19.6 Mbps
- Frecuencia de transmisión: 563 MHz
- Banda de frecuencia: VHF-UHF, canal 23
- Frecuencia intermedia: 37.15 MHz
- Tipos de modulación: QPSK, QAM
- Tamaño de intervalo de guarda:  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{32}$  del tamaño del símbolo efectivo
- Número de símbolos/cuadro: 204
- Tiempo de interpolación: Máximo 4 valores: 0, 0.1, 0.2, 0.4 segundos
- Frecuencia de interpolación: Interpolación intra-segmentos e inter-segmentos
- Código Interno: Codificación convolucional ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{5}{6}$ ,  $\frac{7}{8}$ )
- Código Externo: RS (204, 188)
- Transmisión jerárquica: Máximo 3 niveles (Capa A, B y C)
- Servicios ofrecidos: SDTV, HDTV, DATOS, MOVIL
- Codificación de vídeo: MPEG-4
- Canal de retorno: Internet
- Antenas de transmisión: Unitarias, tipo panel
- Cobertura lóbulo NE: Hasta Puente Piedra
- Cobertura lóbulo SE: Hasta Lurín
- Cobertura lóbulo secundario: Hasta El Agustino
- Angulo de elevación de la antena de transmisión:  $0^\circ$
- Ancho de banda efectivo: 5.7 MHz
- Diagrama de patrón de radiación: Cardiode con lóbulos principales a  $0^\circ$  (NE) y  $100^\circ$  (SE) y un lóbulo secundario a  $40^\circ$ .

Los parámetros de funcionamiento dependientes del modo de transmisión se especifican en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1** - Parámetros de funcionamiento dependientes del modo de funcionamiento

Parámetro de transmisión	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Ancho de banda	5.575 MHz	5.573 MHz	5.572 MHz
Intervalo de portadora	3.968 kHz	1.984 kHz	0.992 kHz
Número de portadoras	1405	2809	5617
Tamaño del símbolo efectivo	252 $\mu$ s	504 $\mu$ s	1.008 ms

De acuerdo con los diagramas de bloques de las Figuras 3.6 y 3.11, presentado en el Capítulo III, la señal es procesada por un modulador COFDM. La salida de esta etapa será la señal de TransportStream TS, el cual ingresa al bloque de Codificación de Canal para ser re-multiplexadas y procesadas en los distintos bloques que se ilustra en la Figura 3.14. Esta señal, que será QAM o QPSK en los distintos segmentos de la señal OFDM se envía todo en Frecuencia Intermedia FI, que en este caso será de 37.15 MHz, señal que será transmitida con una frecuencia de 563 MHz (Canal 29 UHF).

El sistema radiante consiste en la combinación de varios elementos unitarios de radiación de polarización horizontal. Para diseñarlo se deberá tener en cuenta la forma de Patrón de Radiación resultante que se busca. Un Patrón deseado en forma de cardiode con lóbulos principales al Noreste y Sudeste fue generado utilizando el software del fabricante.

Serán necesarios 8 pisos entre las antenas, las cuales tendrán direccionamiento norte y oeste con azimut verificado [14].

Se diseñará un reparto de potencia asimétrico para cada una de las caras, con distribuidores de 3, de 4, y de 8 vías. La unión de entre los distribuidores se realizará con cables de longitudes adecuadas para obtener adecuados desfases en los casos necesarios. En la Figura 4.1 se ilustra el plano de distribución del sistema radiante.

En seguida se ingresan al software los datos de fase, distribución de potencia, alturas, azimuts y rotación de cada una de las antenas, según el plano de distribución.

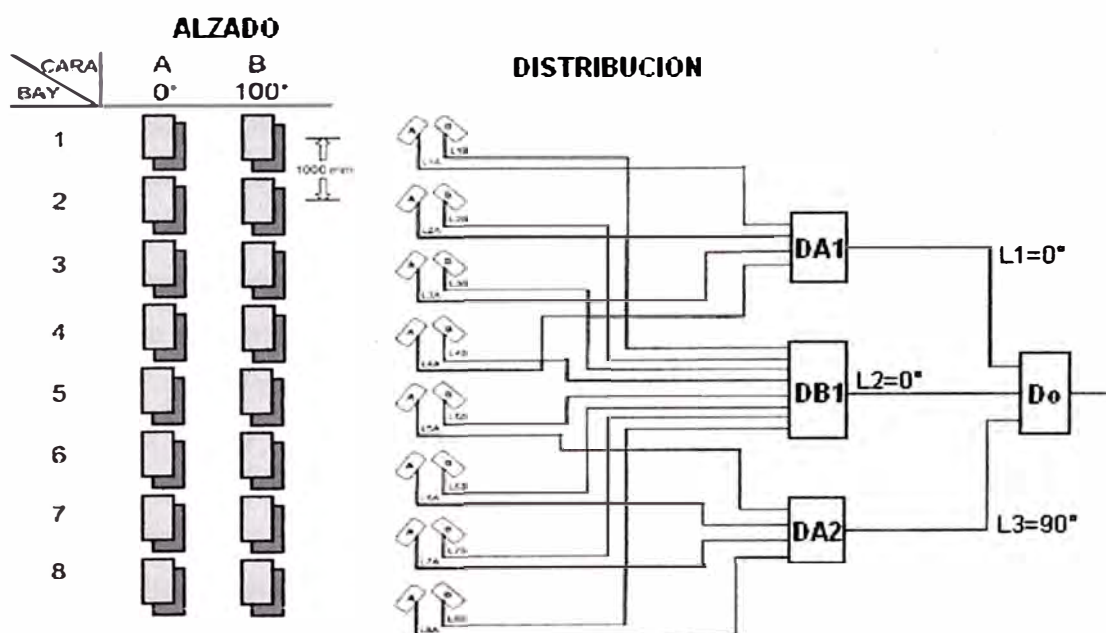
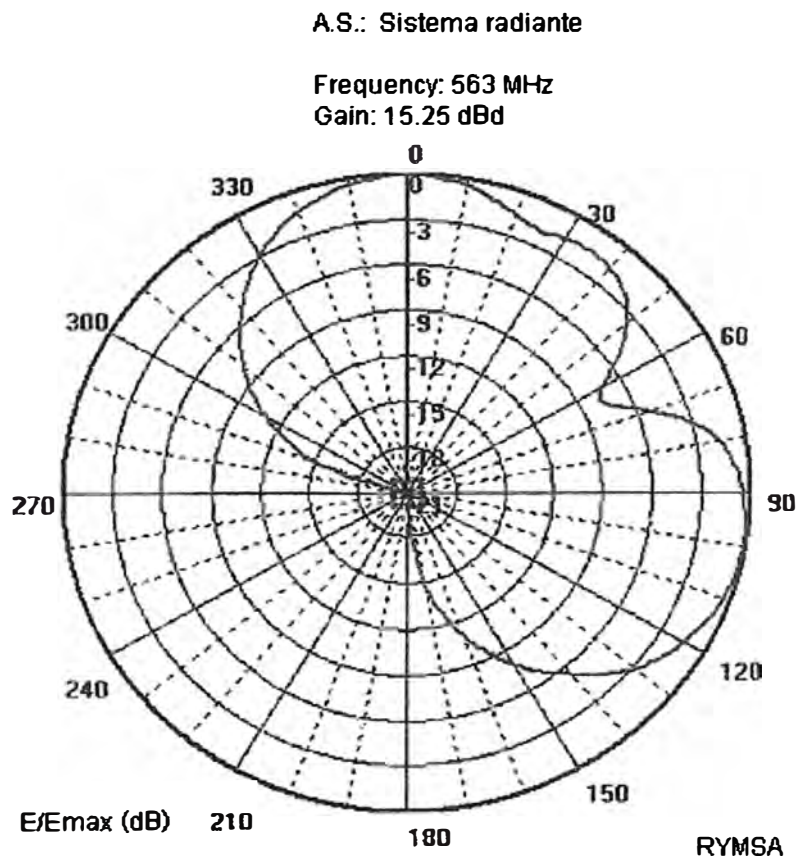


Figura 4.1- Plano de distribución del Sistema Radiante

A partir de estas informaciones, es posible generar el patrón de radiación resultante como se ilustra en la Figura 4.2.



**Figura 4.2 – Patrón de radiación resultante**

Se observa que los lóbulos principales están en 0° y en 100°, dirigidos hacia el norte y el sudeste respectivamente. De esa manera se podrá llegar hacia la zona de Puente Piedra y Lurín respectivamente. El lóbulo secundario en 40° está dirigido para penetrar la zona de El Agustino.

El sistema irradia casi en su totalidad hacia el horizonte (elevación 0°) y va decayendo a medida que la elevación decrece. Es por eso que si se está muy cerca de la estación (elevación -15° por ejemplo) no se tendrá buena señal. En cambio si se está a una distancia mayor podrá recibirse una señal de mejor calidad. Este escenario se da con estaciones de HAAT (Altura Promedio sobre el Terreno) grande, como la que se está usando (25 msnm).

4°.- La Asociación Brasileña de Normas Técnicas en su documento ABNT ABR 15604 especifica los parámetros para los receptores que trabajen con su estándar.

Para la recepción se tendrá en cuenta dos propuestas:

i) Con los parámetros como el ancho de banda efectivo (5.7MHz) y especificaciones recomendadas para los receptores SBTVD, se obtiene un valor mínimo de -77.4 dBm para una señal efectivamente recibida.

ii) Existen tanto set-top-boxes y receptores portátiles en el mercado con sensibilidad de hasta -105 dBm. Entonces para las pruebas se usará receptores con sensibilidad de -90 dBm para determinar la cobertura de la transmisión SBTVD sin requerir ningún repetidor.

Para la simulación se tomarán en cuenta 45 puntos de prueba, basados en el sistema de radiales, para la recepción distribuida por toda Lima Metropolitana.

Para los receptores se configurará el umbral del receptor en -90 dBm y se usarán antenas omnidireccionales de 3 dBi de ganancia, se despreciará pérdidas por cables y conectores; asimismo se tomará 2 metros como altura promedio desde el suelo.

Se trabajará en el canal 29 UHF (560-566 MHz), con un sistema radiante de polarización horizontal.

Se tendrán en cuenta pérdidas estadísticas en modo de: difusión, pérdidas por fenómenos climáticos en escenario continental-sub-tropical, y por último; pérdidas por obstrucciones al 90% debido a la urbanización de Lima.

Con ayuda de la simulación se obtienen resultados de la intensidad de señal, el cual proporciona la siguiente conclusión: debido a las elevaciones geográficas algunas zonas de Lima no tienen señal o tienen niveles muy bajos, como por ejemplo Ventanilla, Comas, El Agustino, Lurigancho- Chosica, Chaclacayo, La Molina, Pachacámac, Cieneguilla.

Teniendo en cuenta todos los resultados se puede delimitar la cobertura geográfica de la infraestructura, sin necesidad de estaciones repetidoras. Entonces por cobertura, esta estación se puede constituir como la estación principal pero no como la única estación en la red. Las estaciones repetidoras se encargarán de cubrir el terreno no cubierto por ella (ver Figura 4.3).

Para cubrir las áreas de sombra de la Estación principal se proponen cuatro posibles estaciones repetidoras. Cada una con patrones de tipo Elipse o Cardiode y con valores de potencia entre 25 y 100 W.

Para el caso de la zona de Chorrillos cercana al punto de transmisión (Morro Solar), se propone una solución basada en el concepto de micro-celdas aplicado a las redes de telefonía celular, tal como se ilustra en la Figura 4.4. La solución implica la instalación de micro-estaciones para pequeñas zonas de sombra. En este caso, la obstrucción se da por el mismo cerro Marcavilca debido a que la estación transmisora está lejos del borde del cerro y no "ve" hacia abajo. Además esto pasa porque el sistema radiante principal está configurado para la transmisión lejana (hacia el horizonte) y no para penetración inmediata.



**Figura 4.3– Estaciones repetidoras**

La diferencia entre la transmisión análoga y digital, es que en la primera la señal aunque ruidosa llega a la zona cercana, mientras que en la segunda la recepción está relacionada al nivel umbral de energía, el cual varía entre 0 y 1.



**Figura 4.4– Microestación repetidora**

La microestación estará conectada mediante un enlace de fibra óptica SMTPE 310 con el modulador COFDM. Se recomienda un transmisor que trabaje entre 5 y 15 W y un

pequeño sistema radiante constituido de 2 a 3 paneles. Es importante que estos paneles sean de polarización vertical para que la penetración se dé eficientemente[14].

#### 4.5 Plan de Canalización en Lima

- Análisis de la banda de parte de la banda de UHF (14 al 36).
- Se identificaron 11 canales disponibles (16, 18, 21, 22, 24, 26, 28, 29, 30, 31 y 36).
- Resolución Viceministerial N° 265-2010-MTC/03, del 30 de marzo de 2010, se modificó el Plan de Canalización y Asignación de Frecuencias del Servicio de Radiodifusión por Televisión en UHF de la localidad de Lima, a fin de incluir los canales disponibles para TDT.
- Aún se encuentra en evaluación de la otra porción de la banda (38 al 59), a fin de identificar los demás canales disponibles.

En el marco de las consideraciones previstas en el Plan Maestro para la implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Perú, se puede mencionar también la puesta en operatividad de las siguientes empresas de radiodifusión televisiva digital, tal como esta contenida en la Tabla 4.2. Los plazos máximos de implementación están contenidos en la Tabla C.1 y en la Tabla C.2 del Anexo C.

**Tabla 4.2- Empresas autorizadas para transmitir señal analógico-digital simultánea**

CANAL	EMPRESA	RESOLUCIÓN	FECHA	Señal que están operando
16	INSTITUTO NACIONAL DE RADIO Y TELEVISIÓN	R.D. N° 1053-2010-MTC/28	30/03/2010	HD, SD
				One-seg
18	ANDINA DE RADIODIFUSIÓN S.A.C.	R.D. N° 1094-2010-MTC/28	31/03/2010	HD, SD
				One-seg
24	COMPAÑÍA PERUANA DE RADIODIFUSIÓN S.A.	R.D. N° 1194-2010-MTC/28	12/04/2010	One-Seg
				-1
20	COMPAÑÍA LATINOAMERICANA DE RADIODIFUSIÓN S.A.	R.D. N° 1195-2010-MTC/28	12/04/2010	-2

(1) Proyecta iniciar su señal en receptores fijos en mayo de 2010

(2) Proyecta iniciar su señal en receptores fijos en agosto de 2010

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Analizar el Módulo del Sistema de Transmisión del Sistema ISDB-T, ha permitido entender el proceso de transmitir señal digital a través del espacio libre. Entender este proceso nos lleva a analizar y comprender la base fundamental de esta nueva y compleja tecnología y las implicancias que de ella se derivan, influyendo todo esto en el cambio de vida de la población, que aún sin querer se ve inmersa en esta revolución tecnológica.

1. La migración de la señal analógica a digital hará posible la liberación del espectro radioeléctrico, que hoy en día está bastante saturado
2. La televisión digital terrestre permitirá la transmisión simultánea de la programación en señal HD, SD y de un One-Seg.
3. Optimizar la eficiencia en la gestión y el uso del espectro radioeléctrico mediante la utilización de las tecnologías disponibles, a fin de asegurar la mayor disponibilidad de frecuencias y su uso más eficiente.
4. De acuerdo con el patrón de radiación, se concluye que el estudio de caso presentará niveles de señal bajos en algunas zonas de la ciudad, tal es el caso de las zonas situadas entre  $-6^{\circ}$  y  $-3^{\circ}$  de elevación y entre  $55^{\circ}$  y  $78^{\circ}$  NE. En tales zonas será necesario utilizar estaciones repetidoras.
5. En el caso de las poblaciones que se encuentren al pie del cerro Marcavilca (Morro Solar), éstas sufrirán de los efectos de la llamada "zona de sombra". Por ello será necesario la implementación de micro-estaciones para zonas de sombra, que en este caso será la aplicación de micro-celdas de las redes de telefonía celular.
6. Los efectos más relevantes de la migración de la televisión analógica a la televisión digital se notan rápidamente en la influencia que ya están ejerciendo en un amplio sector de la población, sobre todo joven, que son los más fácilmente adaptables a las nuevas tendencias y a los cambios, así como a los sectores que están en constante interacción con las tecnologías de la información.
7. Con la masificación, permitirá un incremento en la línea de negocios de los servicios multimedia.

Al término de la elaboración de este informe es necesario realizar las siguientes recomendaciones:



8. Optimizar la eficiencia en la gestión y el uso del espectro radioeléctrico mediante la utilización de las tecnologías disponibles, a fin de asegurar la mayor disponibilidad de frecuencias y su uso más eficiente.

9. Paralelamente a la implementación de la TDT en nuestro País, se debe implementar las Redes de Frecuencia Única, por sus enormes ventajas en el uso eficiente del espectro radioeléctrico.

10. Implementar el Sistema de Alerta de Emergencia (EWS), especialmente porque nuestro País está situado dentro del llamado Anillo de Fuego, que lo sitúa en una zona con altísimo riesgo de sufrir terremotos y otras catástrofes.

11. Tener en cuenta nuestra geografía difícil a la hora de realizar la implementación, pues no dejar de lado a las técnicas existentes, pues muchas veces es preferible realizar un trabajo mixto para tener éxito en la gestión.

12. Por último, recomendar a la Asociación de Radiodifusores que eleven el contenido de la programación, haciéndola más cultural y con menos programas que muchas veces degradan al ser humano. Razón por la que muchos televidentes busquen alternativas en programas de cable.

**ANEXO A**  
**Definición de términos**

**Dominio fuera de la banda**

Gama de frecuencias inmediatamente fuera de la banda necesaria, excluyendo el dominio de espurios, en el cual las emisiones fuera de la banda generalmente predominan. En el caso de la radiodifusión terrestre digital, el dominio de las emisiones fuera de la banda está entre  $\pm 15$  MHz del centro de la banda necesaria (el límite de frecuencia entre la región fuera de la banda y la región de espurios está incluido en el dominio de los espurios).

**Emisión fuera de la banda**

Emisión en una frecuencia o gama de frecuencias inmediatamente fuera de la banda necesaria, que es resultante del proceso de modulación de la señal, excluyendo las emisiones espurias.

**Información adicional**

Información que no forma parte del contenido de la radiodifusión y que es transmitida usando parte de la portadora de control de información.

**Información de capa jerárquica**

Información de los parámetros de codificación para cada capa en la transmisión jerárquica.

**Información de control**

Información que no pertenece al flujo de transporte MPEG y que ayuda al receptor en la operación de demodulación y decodificación.

**Ancho de banda de la frecuencia del canal**

Ancho de banda de frecuencia de 6 MHz

**Modo**

Identificación del modo de transmisión basado en la separación de las frecuencias de las portadoras OFDM.

**Número del segmento**

Número usado para identificar los 13 segmentos y sus correspondientes datos de segmento.

**Profundidad del código**

Número de elementos de atraso del código convolucional más uno.

**Cuadro multiplex**

Cuadro con la finalidad de procesamiento de señal usada para remultiplexar MPEG-2 TS para crear un único TS.

*NOTA:* El cuadro multiplex es idéntico a un cuadro OFDM en términos de duración.

**Cuadro OFDM**

Cuadro de transmisión consistiendo en 204 símbolos OFDM.

**Receptor full-seg**

Dispositivo capaz de decodificar informaciones de audio, vídeo, datos etc., contenidas en la capa del transportstream de 13 segmentos destinada al servicio fijo (indoor) y móvil.

La clasificación full-seg se aplica a los convertidores digitales, también conocidos como set top box, y a los receptores de 13 segmentos integrados con pantalla de exhibición, pero no exclusivos a éstos. Este tipo de receptor es capaz de recibir y decodificar señales de televisión digital terrestre de alta definición y, a criterio del fabricante, también recibir y decodificar informaciones transportadas en la capa "A" del transportstream, aplicada para los servicios dirigidos a los receptores portátiles, definidos como one-seg.

**Receptor modelo**

Receptor virtual usado para arreglo de la transmisión TSP en el cuadro multiplex.

**Receptor One-Seg**

Dispositivo que decodifica exclusivamente informaciones de audio, video, datos etc., contenidas en la capa "A" asignada en el segmento central de los 13 segmentos.

La clasificación one-seg se destina a los receptores del tipo portátil, también conocidos como "handheld", especialmente recomendados para pantallas de exhibición de dimensiones reducidas, normalmente hasta 7 pulgadas. Entre los productos clasificados como one-seg se encuentran los receptores integrados con teléfono celular, PDA, dongle y televisores portátiles, que se alimentan por medio de una batería interna y, por lo tanto, no requieren una fuente externa de energía, así como aquellos destinados a automóviles. Este tipo de receptor es capaz de recibir y decodificar sólo señales de televisión digital terrestre transportadas en la capa "A" del transportstream y, como consecuencia de ello, únicamente señales de perfil básico, destinadas a los dispositivos portátiles de recepción.

**Recepción parcial**

Recepción de solamente un segmento OFDM localizado en el centro del grupo de segmentos.

**Segmento de datos**

Grupo de datos que corresponde a la portadora efectiva. El segmento de datos es un bloque elemental para codificación de canal.

**Segmento OFDM**

Banda base, 1/14 de ancho de canal de televisión, para transmisión de señal, generado agregando portadoras de señal de control a la portadora de datos o señal procesada para formar un cuadro.

**Símbolos de portadora**

Símbolo para portadora OFDM.

**Símbolos OFDM**

Símbolo de transmisión para una señal OFDM.

**Transmisión jerárquica**

Transmisión simultánea de múltiples segmentos OFDM que son codificados diferentemente.

**TSP de transmisión**

Paquete de 204 bytes formado agregando 16 bytes de paridad a los 188 bytes del MPEGTSP.

**MPEG**

(Moving Pictures ExpertGroup - Grupo de expertos en imágenes en movimiento) Grupo de trabajo de ISO/IEC encargado del desarrollo de estándares de codificación de video y audio. Existen varias versiones:

**MPEG-2**

Estándar para la transmisión de televisión. Usado para la televisión digital ATSC, DVS y ISDB, señales digitales de televisión por cable, y (con pequeñas modificaciones) para DVD.

**MPEG-4**

Expande el MPEG-1 para soportar objetos video/audio, contenido 3D, soporte para Digital Rights Management, y codificación de bajo bit rate. Existen varias versiones, la más importante es la MPEG-4 Part 10 (o Advanced Video Coding o H.264). Es usado en HD-DVD y discos Blue-ray.

**ANEXO B**  
**Teoría básica de OFDM**

El método OFDM emplea  $N$  portadoras, por lo que se requieren, por lo menos,  $N$  muestras complejas en tiempo discreto para representar al símbolo OFDM. Estas muestras en el dominio del tiempo (0, 1, ...,  $N-1$ ) son el resultado de una subportadora  $k$  modulada con un símbolo  $C_k$ , de la información, dentro de un símbolo OFDM y pueden expresarse como:

$$S_{k-ofdm}[n] = \frac{C_k}{N} e^{j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (B.1)$$

Dónde:

$N$  = número de subportadoras y muestras en el dominio del tiempo utilizadas.

$n$  = índice de la muestra en el dominio del tiempo

$k$  = índice de la subportadora.

$C_k$  = amplitud y fase de la información a transmitir.

Tanto  $C_k$  como  $k$  son constantes para una subportadora dada durante el período de un símbolo OFDM. De la ecuación (1) se ve que las  $N$  muestras complejas para la subportadora  $k$  giran exactamente  $k$  círculos en el plano complejo durante el período útil de un símbolo OFDM. El símbolo completo, en el dominio del tiempo, se construye a partir de las  $N$  subportadoras superponiendo sus ondas:

$$S_{n-ofdm}[n] = \sum_{k=0}^{N-1} S_{k-ofdm}[n] \quad (B.2)$$

Los coeficientes  $C_k$  son complejos, con lo que, de hecho, representan a la señal en el dominio de frecuencia. Para trasladar dicha señal al dominio del tiempo, es necesario aplicar, en el modulador, la transformada inversa de Fourier, de hecho; la transformada inversa rápida (IFFT).

La señal original transmitida se reconstruye comparando cada subportadora con una de referencia, de amplitud y fase conocidas y de igual frecuencia:

$$S_{k-ref}[n] = 1x e^{j2\pi kn/N} \quad (B.3)$$

Como consecuencia de la ortogonalidad de las  $N$  subportadoras, el resultado de la comparación es cero en la FFT para cualquier subportadora distinta a la de referencia.

$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{S_{l-ofdm}[n]}{S_{k-ref}[n]} = C'_k \text{ si } l = k$$

$$= 0 \text{ si } l \neq k \quad (\text{B.4})$$

En que  $C'_k$  representa la amplitud y fase de la señal de información recibida. Si en el receptor se recibe una señal retrasada en el tiempo por  $\Delta$  muestras complejas, la ecuación (6) puede expresarse como:

$$S_{k-ofdm}[n] = \frac{C_k}{N} e^{\frac{f2\pi k(n-\Delta)}{N}} \quad (\text{B.5})$$

Y la salida de la FFT se expresa ahora como:

$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{S_{l-ofdm}[n]}{S_{k-ref}[n]} = C'_k e^{\frac{f2\pi k(n-\Delta)}{N}} \quad (\text{B.6})$$

La ecuación (6) muestra que un retardo en la señal de entrada, produce una rotación sobre las portadoras en el dominio de frecuencia. Esta señal, añadida a la señal original resultará en desvanecimiento o amplificación en diferentes porciones del dominio de frecuencia.



**ANEXO C**  
**Adopción del sistema ISDB-T en el Perú**

En la XXI Reunión Extraordinaria del Comité Andino de Autoridades de Telecomunicaciones (CAATEL) celebrada en la sede de la Secretaría General de la Comunidad Andina los días 9- 10 de Febrero del 2006, las Autoridades de Telecomunicaciones de los países miembros aprobaron la Resolución CAATEL XXI-EX7-72 sobre TDT en la Comunidad. El cual resuelve: "Incentivar a las Administraciones de la Comunidad Andina el intercambio de información, experiencias y prácticas para que faciliten la realización de las evaluaciones necesarias para la implementación y desarrollo de la televisión Digital Terrestre en cada país miembro, en el marco de sus propias condiciones sociales, económicas, regulatorias y técnicas.

La Ley de Radio y Televisión – Ley N° 28278, en su artículo 5° establece que, le corresponde al Estado promover el desarrollo de la radiodifusión digital, para lo cual, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (en adelante, el Ministerio) adoptará las medidas necesarias respecto a la gestión del espectro radioeléctrico y los estándares técnicos correspondientes, en función de las tendencias internacionales, la mayor eficiencia y el máximo beneficio para el país.

### **Propuesta Normativa**

El Proyecto de Norma, define derechos, obligaciones, facultades, plazos modalidades y condiciones para la prestación del servicio de radiodifusión por televisión que harán viable su digitalización. En primer término se establece que todo radiodifusor deberá transmitir, como mínimo una señal abierta para el acceso libre y gratuito del público en general, a través de receptores fijos o portátiles, garantizando de este modo el acceso a la televisión digital en la misma condición de gratuidad con la que pueden acceder actualmente a la televisión analógica. Por otra parte, se ha considerado abierta la posibilidad al radiodifusor de explorar y desarrollar nuevos modelos de negocios, ajustados a la normativa vigente. Asimismo, se aplicará el Principio de gradualidad en la implementación de la televisión digital, es decir se implementará primero en la ciudades con alta densidad poblacional debido a los altísimos costos. Por ello se conformarán 04 territorios, conformados por determinadas localidades.

### **Transición analógico – digital**

La transición de la prestación del servicio con tecnología analógica a la tecnología digital es un proceso en el cual se sustituirá y/o adaptará los equipos receptores, transmisores y de producción audiovisual. En el caso de los televidentes, tendrán que adquirir los televisores con el sintonizador ISDB-T, equipos sintonizadores adaptables (Set-Top-Box) o receptores portátiles que le permitan acceder a la televisión digital.

Tratándose de los radiodifusores, la inversión es más costosa, pues tienen que

Figura C-1 se puede apreciar las etapas de la digitalización de la señal en nuestro país. Esta transición puede darse hasta en cuatro etapas para que los costos sean graduales.

**Si se tiene presente que la implementación de la televisión digital tiene elevados costos, se hace necesario establecer un esquema de transición flexible, que permita a los radiodifusores desarrollar sus estrategias de negocio y adaptarse a un nuevo entorno en Figura 3.13 - Diagrama de bloques de la Configuración de codificación de canal [6]**

el que los televidentes demandarán servicios cada más adaptado a sus preferencias individuales, de contenido, calidad, de tiempo y lugar. Así, se plantea que la transición analógico-digital comprenda las siguientes modalidades:

- Transmisión simultánea de la programación en señal analógica y en señal digital, utilizando dos (02) canales de radiofrecuencia.
- Transmisión alternada d programación en señal analógica y en señal digital, utilizando el canal de radiofrecuencia asignado en UHF.
- Transición directa a la prestación de los servicios de radiodifusión, utilizando la tecnología digital, en un (01) canal de radiofrecuencia, sea el canal asignado previamente o al que se dispondrá la migración.

#### **Periodo de transición y apagón analógico**

Se propone que el inicio de las transmisiones con tecnología digital se realice de manera progresiva por localidades y territorios, sujeto a plazos máximos razonables, que tengan en cuenta el nivel de inversiones requeridos. En las Tablas C-1 y C-2 se muestran los plazos máximos para el inicio y fin de transmisión digital y analógica respectivamente.

**Tabla C-1 – Cronograma para la implementación de la TDT**

<b>Territorios</b>	<b>Localidades</b>	<b>Plazo máximo para la Aprobación de los Planes de Canalización</b>	<b>Plazo máximo para el inicio de las transmisiones con tecnología digital</b>
<b>Territorio 01</b>	Lima y Callao	II Trimestre 2010	II Trimestre 2014
<b>Territorio 02</b>	Arequipa, Cusco, Trujillo, Chiclayo, Piura y Huancayo	I Trimestre 2011	III Trimestre 2016
<b>Territorio 03</b>	Ayacucho, Chimbote, Ica, Iquitos, Juliaca, Pucallpa, Puno y Tacna	IV Trimestre 2011	IV Trimestre 2018
<b>Territorio 04</b>	Localidades no incluidas en los Territorios 01, 02 y 03.	I Trimestre 2013	I Trimestre 2024

**Tabla C-2 – Cronograma del apagón analógico**

<b>Territorios</b>	<b>Localidades</b>	<b>Plazo máximo para el fin de las transmisiones con tecnología analógicas</b>
<b>Territorio 01</b>	Lima y Callao	IV Trimestre 2020
<b>Territorio 02</b>	Arequipa, Cusco, Trujillo, Chiclayo, Piura y Huancayo	IV Trimestre 2022
<b>Territorio 03</b>	Ayacucho, Chimbote, Ica, Iquitos, Juliaca, Pucallpa, Puno y Tacna	IV Trimestre 2024
<b>Territorio 04</b>	Localidades no incluidas en los Territorios 01, 02 y 03.	Indefinido

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J.L. F. Carnero and R. L. Santos, *Sistemas para Recepción de TV analógica y Digital*. España,Televes, 1998.
- [2] HerveBenoit, *Televisión Digital MPEG-1/MPEG-2 Sistema Europeo DVB*. Ed. Paraninfo.
- [3] ARIB STD – B31 Versión 1.6- E2.
- [4] Carlos Fructuoso, Fórum SBTVD. Fórum del Sistema Brasileño de TV Digital Terrestre.Inictel , 26 de Noviembre del 2008.
- [5].Dr. Guillermo Kemper Vásquez y Dr. Antonio Morán Cárdenas, *Informe Técnico: Descripción y Análisis Comparativo Técnico de los Estándares de Televisión Digital Terrestre – TDT*.UPC,2008.
- [6] Masayuki Takada (Member IEEE) y Masafumi Saito (Senior Engineer NHK).*Transmission System for ISDB-T*,
- [7] *Televisión Digital Terrestre – Sistema de transmisión. Norma Brasileña ABNT NBR 15601. Primera Edición 30.11.2007–válida a partir 01.12.2007*
- [8] Luiz Fernando Gomes Soares. *Foro del Sistema Brasileño de TV Digital* Departamento de Informática, Universidad Católica de Rio de Janeiro.
- [9] *Proyecto de Televisión Digital Terrestre entre Perú y Japón*.Transferencia tecnológica en el Sistema ISDB-T. Prueba en interiores.Inictel.
- [10] Rangel Arthur, Yuzolano, Silvio Renato Messias de Carvalho, Roger Fredy Larico.*Planificación de la expansión del servicio de retransmisión de TV digital en Brasil usando redes SFN –*
- [11] S.A. Fasolo, *EqualizacãoemReceptores de Televisão Digital de altaDefinição, utilizandoModulação 8VSB-2001*.
- [12] Constantino Pérez Vega. *Transmisión de Televisión: Modulación COFDM*. 2004
- [13] [http://ticbolivia.net/files/REVISTA\\_BAJA.pdf](http://ticbolivia.net/files/REVISTA_BAJA.pdf), Página 120.
- [14] Ronald Matamoros, Marco Mayorga. *AnálisisTécnico y de Mercado paraunaInfraestructura de TDT propuesta para Lima Metropolitana*bajo SBTVD.Revista TELEKUNAY, PUCP, 2010

- [15] Jorge Cuba. Situación de la Televisión Digital Terrestre en el Perú, MTC, 2010
- [16] Proyecto de norma que aprueba el plan maestro para la implementación de la televisión digital terrestre en el Perú y modifica el reglamento de la ley de radio y TV, aprobado por decreto supremo Nro. 005-2005-MTC.