UNIVERSIDAD CATOLICA ARGENTINA
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMATICAS E INGENIERIA

EL BLU-RAY™ Y SU TRANSMISIÓN EN TIEMPO REAL POR Wi-Fi™ (802.11n)

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Alumno Eduardo Villegas (Reg. N° 02-030234-8).
Tutor Ing. Cayetano Grossi.
Director de Carrera Ing. Daniel Lista.
Supervisor Docente Ing. Norberto Heyaca.

Buenos Aires, Marzo de 2013.

Trabajo Final presentado para obtener el título de grado de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

EL BLU-RAY™ Y SU TRANSMISIÓN EN TIEMPO REAL POR Wi-Fi™ (802.11n)

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

EDUARDO VILLEGAS (02-030234-8)
MARZO 2013

UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERÍA

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

TABLA DE CONTENIDOS

Listado de imágenes, tablas, y videos 6

Indice de vistas en miniatura 11

Introducción 12

Parte 1: La tecnología Blu-ray 13
- 1.1 El objetivo del formato de disco Blu-ray 13
- 1.2 Mecanismo óptico de la lente 17
- 1.3 La Capa Cobertora y la "aberración" óptica 20
  - 1.3.1 Pioneer y su solución para la aberración óptica 25
- 1.4 El formato físico del disco Blu-ray 28
  - 1.4.1 Medio y técnica de escritura del sistema BD 32
  - 1.4.2 Direccionamiento usando las Ondas del Canal 33
  - 1.4.3 Configuracion de la Unidad ADIP y las Formas de Onda del Canal 36
  - 1.4.4 Métodos para detección y características de MSK y STW 38
  - 1.4.5 Unidad ADIP de referencia 39
  - 1.4.6 Resultados experimentales en Márgenes de Error 40
- 1.5 Esquema del formato del Sistema de Archivos 41
- 1.6 Discos Multi Capa 43
  - 1.6.1 Proceso de fabricación de discos ROM Capa Unica / Capa Doble 43
  - 1.6.2 Discos de Capa Triple y Discos de Capa Cuádruple 48
- 1.7 Requerimientos de calidad de señal 53
  - 1.7.1 Medición del Jitter con el Ecualizador Limite 53
  - 1.7.2 Mejora del SNR de un Ecualizador Limite 54
  - 1.7.3 Funcionamiento del Ecualizador sin el Límite 55
  - 1.7.4 i-MULSE 56
  - 1.7.5 RSER (Tasa de Error de Símbolo Aleatorio) 57
  - 1.7.6 Código de Modulación 59
  - 1.7.7 Código para Correción de Errores (ECC) 64
- 1.8 Streams elementales en un Disco Blu-ray 67
  - 1.8.1 Streams de video 67
  - 1.8.2 Streams de audio 68
  - 1.8.3 Streams de Gráficos de Presentación y Gráficos Interactivos 68
  - 1.8.4 Streams de subtítulos de texto 68
- 1.9 Sistema para Protección de Interfaz y Contenidos 69
- 1.10 *Hard-Coating* para discos sin cartucho 71
- 1.11 El cartucho del disco Blu-ray 76

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.12 Todos los Libros del Formato 77

Parte 2. Introducción a la tecnología Wi-Fi 81
2.1 Visión general de la Norma 802.11 81
2.1.1 Versión 802.11-1997 (802.11 preexistente o legacy) 82
2.1.2 Versión 802.11a 82
2.1.3 Versión 802.11b 83
2.1.4 Versión 802.11g 83
2.1.5 Versión 802.11n 83
2.1.6 Versión 802.11ac 83
2.1.7 Versión 802.11ad 84
2.1.8 Los canales y la compatibilidad internacional 84
2.1.9 La trama 802.11 86
2.1.10 Estándares y rectificaciones 89
2.1.11 ¿Estándar o corrección? 90
2.2 Norma 802.11n 92
2.2.1 Codificación de datos 92
2.2.2 Número de antenas 92
2.2.3 Bitrates 93
2.2.4 Agregado de tramas 94
2.3 El funcionamiento de MIMO 95
2.3.1 Tipos de sistemas multiantenas 95
2.3.2 Tipos de Sistemas MIMO 97
2.3.3 MIMO de Lazo Abierto 98
2.3.4 MIMO de Lazo Cerrado 100
2.3.5 Función del Sistema MIMO 101
2.3.6 Modelo de canal MIMO y Descripción Matemática 102
2.3.7 Aplicación del Sistema MIMO 106
2.3.8 HSPA+ (7º lanzamiento de 3GPP) 106
2.3.9 LTE (8º lanzamiento de 3GPP) 108
2.3.10 WiMAXTM (802.16e-2005) 109
2.3.11 WLAN (802.11n) 110
2.3.12 A futuro 110
2.4 La próxima versión: Norma 802.11ac 111
2.4.1 El mercado 111
2.4.2 Chipsets 111
2.4.3 Nuevas tecnologías 112
2.4.4 Características opcionales y obligatorias 112
2.4.5 Nuevos escenarios y configuraciones 113
2.4.6 Configuraciones ejemplo 114

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Parte 3: Pruebas de funcionamiento 116
3.1 El objetivo buscado 116
3.2 Bitrates 117
3.3 Investigación de mercado y equipos comprados 125
3.3.1 El concepto de dBi 125
3.3.2 Diferencias entre la banda de 5 GHz y la de 2,4 GHz 127
3.3.3 ¿Qué es Gigabit Ethernet? 128
3.3.4 Equipos comprados 130
3.4 Resultados obtenidos 134
3.4.1 Resultados obtenidos 134
3.4.2 Causas comunes a baja velocidad en redes Wi-Fi 138
3.4.3 Configuración de los equipos 138

Referencias Bibliográficas 140

Glosario 142

Anexo I: Presentacion de trabajo para exposición 148

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

LISTADO DE IMÁGENES, TABLAS, Y VIDEOS

Imagen 1.1.1. Primer modelo de Disco Blu-ray en cartucho sellado (izquierda) y modelo sin cartucho (derecha), éste último usado en la actualidad 13
Imagen 1.1.2. Evolución de los discos ópticos en el mercado 14
Imagen 1.1.3. La equivalencia en capacidad entre los distintos medios ópticos de almacenamiento. Un disco Capa Unica equivale a cinco DVDs en capacidad de información 14
Imagen 1.1.4. Relación entre bitrate, tiempo de grabación, y capacidad requerida 15
Imagen 1.1.5. Evolución de los paquetes de medios para el caso de películas 16
Imagen 1.1.6. Circuito que pone en movimiento la promoción de contenido HD 16
Imagen 1.2.1. Optical Pickup (Imagen Apaisada) 17
Imagen 1.2.2. Vista en detalle del Elemento Difractivo y la Lente Objetivo 18
Imagen 1.3.1. Las capas en un BD del tipo Capa Unica 19
Imagen 1.3.2. Las capas en un BD del tipo Capa Unica y Capa Doble
Ref. 1) Cara impresa. 2) Sustrato de Policarbonato
3) Capa de Grabación L0. 4) Capa de Espacio
5) Capa de Grabación L1 6) Capa Cobertora 7) Cobertura Dura 20
Imagen 1.3.3. La AN (Apertura Numérica) se define como el sen (θ), donde θ es la mitad del ángulo de convergencia de la luz, convergente por acción de la lente. Cerca del 80% de la energía de la luz converge en un área de diámetro λ / AN 21
Imagen 1.3.4. Cuando el disco se inclina, surge un ángulo de refracción error, que es una desviación del ángulo ideal que forma el punto de luz ideal. Este ángulo error causa una aberración en el punto focal, que es proporcional a la distancia entre la superficie del disco y el punto focal, es decir, el grosor de la Capa Cobertora 22
Imagen 1.3.5. Un frente de onda divergente proveniente de una fuente luminosa puntual imaginaria colocada en la Capa de Información, es esférico dentro de la Capa Cobertora; pero se deforma partiendo de una superficie esférica luego de salir de dicha capa. Una luz que tenga este frente de onda distorsionado e ingrese a la Capa Cobertora, convergirá a un punto luminoso ideal 22
Imagen 1.3.6. La Capa Cobertora tiene la función de atenuar ópticamente los efectos de una partícula en la superficie del disco. La Corrección de Errores tiene la función de atenuar electrónicamente los efectos de una pérdida de información. Ambas funciones son análogas 24
Imagen 1.3.7. Tipos de discos Blu-ray 25
Imagen 1.3.1.1. Estructura del “panel de cristal líquido multi funcional” (de Pioneer) 26
Imagen 1.3.1.2. Funcionamiento del sistema propietario de Pioneer 26

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Imagen 1.3.1.3. Compensación de la aberración debida a la inclinación del disco 27
Imagen 1.3.1.4. Compensación de la aberración debida al grosor de disco no perfecto 27
Imagen 1.4.1. Resumen de parámetros físicos para los discos R, RE, y ROM 28
Imagen 1.4.2. Dependencia de la transparencia con la longitud de onda 28
Imagen 1.4.3. Comparación del tamaño del haz para cada caso 29
Imagen 1.4.4. Estructura del disco Capa Doble como el primer tipo de disco Multi Capa 30
Imagen 1.4.5. Técnica de grabación en surco 30
Imagen 1.4.6. Para CD, DVD, y BD: distancia entre pistas (track pitch) indicado con la letra p; distancia mínima de las marcas indicada con la letra l; grosor de las marcas indicado con la letra w; diámetro del punto focal indicado con la letra d; y longitud de onda del láser indicado con la letra λ 31
Imagen 1.4.1.1 Grabación Sobre el Canal (izquierda) y Grabación Dentro el Canal (derecha) 32
Imagen 1.4.1.2 Técnicas de Grabación y métodos admitidos en cada una 33
Imagen 1.4.1.3 Técnicas y métodos de Grabación definidos para cada tipo de disco BD 33
Video 1.4.1.4 Proceso conocido como “Spin Coating”: es la aplicación de manera uniforme una sustancia sobre el disco para formar un cubriemiento, usando la fuerza centrífuga producto de su rotación 33
Imagen 1.4.2.1 El Canal es modulado usando la Onda del Canal mediante la función coseno, MSK, y STW, para almacenar información de direccionamiento 34
Imagen 1.4.2.2 Las Ondas del Canal formadas en un espiral en el disco se pueden dividir (si bien son sucesivas) en unidades de bits de información de direccionamiento, ya embebidas. Se las conoce como ADIP (Address in Pre-Groove Unit). Cada unidad ADIP está compuesta por 56 Ondas 35
Imagen 1.4.3.1. Representación esquemática de las Unidades ADIP para Dato_0 y Dato_1. Una Unidad ADIP tiene una longitud de 56 Ondas, que contiene la primer Marca MSK para sincronización de bit, la segunda Marca MSK carcaterizada por la diferencia de posición, y 37 STWs caracterizadas por la diferencia en la pendiente para Dato_0 y Dato_1 36
Imagen 1.4.4.1. Un ejemplo de circuito detector heterodino para las Marcas MSK y STW. Ambas Marcas pueden detectarse usando el circuito común sólo cambiando la frecuencia de la portadora enviada al multiplicador 38
Imagen 1.4.4.2. SNR calculado para la detección de Marcas MSK y las STWs, usando el circuito de la Imagen 1.4.4.1 para el caso libre de interferencia con pistas adyacentes a causa del desplazamiento de Onda. 39
Imagen 1.4.6.1. Tasas de error para Unidades ADIP de un disco de prueba, en función de la inclinación radial. Las medidas se hacen con Unidades ADIP de $3{,}5 \times 10^{-5}$ puntos de muestreo para Pistas grabadas. Es suficiente para el uso práctico si las tasas de error están por debajo de 10^{-4} 40
Imagen 1.5.1. La estructura del Sistema de Archivos en un BD 41

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Imagen 1.5.2. Plano de archivos con información de los archivos de video,
y plano de los archivos de video propiamente dichos 42
Imagen 1.6.1. Detalle de la estructura del disco BD SL y BD DL 43
Imagen 1.6.1.1. Proceso de fabricación de discos BD-SL de 25 GB
y BD-DL de 50 GB 44-45
Imagen 1.6.1.2. Comparación estructural entre los discos Capa Doble DVD y BD 46
Imagen 1.6.1.3. Otra vista de la configuracion de capas en discos
Capa Doble y Capa Unica 46
Imagen 1.6.1.4. Las tres condiciones necesarias para tener las propiedades
ópticas deseadas en la Capa L1 47
Imagen 1.6.1.5. Diagramas de ojo para las señales leídas de los discos Capa Doble 48
Imagen 1.6.1.6. Resumen de las especifiaciones de los discos Capa Unica
y Capa Doble. El factor x es 36mbps 48
Imagen 1.6.2.1. Resumen de las especificaciones de todos los discos BD.
El factor x es 36 mbps 49
Imagen 1.6.2.2. Resumen de los parámetros para el mecanismo de la lente
y la estructura de cada tipo de disco 50
Imagen 1.6.2.3. Compatibilidad entre dispositivos convencionales y BDXL™ 51
Imagen 1.6.2.4. Capacidad de Archivo Digital Mundial Total,
todos los Tipos de Contenidos, 2010-2015 (Petabytes) 51
Imagen 1.6.2.5. Demanda del sistema BDXL para archivo seguro de información 52
Imagen 1.7.1. Requerimientos de calidad de señal especificados en los Libros de Formato 53
Imagen 1.7.1.1. Mejora del SNR de un Ecualizador Límite 54
Imagen 1.7.2.1. La configuración del Ecualizador Límite 54
Imagen 1.7.3.1. Funcionamiento del Ecualizador Límite 55
Imagen 1.7.3.2. La relación de la tasa de error y el jitter del Ecualizador
Convencional y del Ecualizador Límite 56
Imagen 1.7.4.1. Correlación entre el SER y el i-MLSE 57
Imagen 1.7.5.1. Esquema de funcionamiento del sistema para detección
y corrección de errores 58
Imagen 1.7.5.2. Ejemplo de patrón de error 58
Imagen 1.7.6.1. Forma esquemática de un sistema de almacenamiento digital 59
Imagen 1.7.6.2. La codificación RLL con d=1 para grabación óptica en BD.
El integrador módulo 2, mantiene el valor binario anterior en
caso de que la transición actual sea a “0”, y lo cambia al valor inverso
en caso de haber una transición 61
Imagen 1.7.6.3. La MTF para un canal de grabación óptico en función de la
frecuencia (en unidades arbitrarias, con la frecuencia de corte en 1),
con las frecuencias de los tonos puros superpuestas 61

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Imagen 1.7.6.4. Longitud del bit de canal y longitud mínima de vector,
para diferentes valores de d y una misma capacidad de grabacion 62
Imagen 1.7.6.5. Control de señal de contínua a través del código de modulación
con paridad preservada 64
Imagen 1.7.7.1. Representacion esquemática del código piquete del Disco Blu-ray 65
Tabla 1.8.1. Streams elementales en el Transport Stream MPEG2 de BDAV 67
Tabla 1.8.1.1. Especificaciones de los streams de video para BD-ROM 67
Tabla 1.8.2.1. Especificaciones de los streams de audio para BD-ROM 68
Tabla 1.8.3.1. Especificaciones de los streams gráficos para BD-ROM 68
Tabla 1.8.4.1. Especificaciones de los streams de subtítulos de texto para BD-ROM 68
Imagen 1.9.1. Sistema de Protección de Contenido 69
Imagen 1.10.1. Sección de corte del BD con Cobertura Dura 71
Imagen 1.10.2. Cambios en el valor de jitter en BD-RE para el caso
de lámina de policarbonato (a), Cobertura Dura convencional
secada por UV (b), y (c) la nueva Cobertura Dura, cuya superficie
fue desgastada por lana de acero #000 a 100 g/cm2.
Se grabaron señales aleatorias luego de dicho desgaste, y después
se tomaron las medidas del jitter 72
Imagen 1.10.3. Procedimiento para colocar el reactivo en la superficie del BD-RE 73
Imagen 1.10.4. Las barras azules indican el bER medido en señales grabadas
antes de adherir el reactivo AFP, y las barras rojas indican el bER
medido en señales grabadas luego de adherir dicho reactivo 74
Imagen 1.10.5. Pruebas de lectura y escritura en unidades de disco comerciales.
Las unidades usadas fueron la BDZ-77 (Sony) para BD, la DVR-55
(Pioneer) para DVD-R/-RW, y la DMR-E50 (Panasonic) para DVD-RAM 74
Imagen 1.10.6. Fotos microscópicas de las superficies de los discos a, c, y c´
en los que se colocó el reactivo AFP. El círculo en el ángulo
inferior derecho de cada imagen representa el tamaño del punto focal
en la superficie del BD, cuyo diámetro aproximado es de 130 µm 75
Imagen 1.10.7. Se muestra la dependencia del bER respecto al porcentaje de área
con reactivo AFP. Los puntos circulares representan los datos
obtenidos para el disco c, y los cuadrados para el disco c’ 75
Imagen 1.11.1. Frente del cartucho de tipo abierto (izquierda) y reverso del mismo (derecha) 76
Imagen 1.11.2. Frente del cartucho de tipo sellado (izquierda) y reverso del mismo (derecha) 76
Imagen 1.11.3. Resultado de las pruebas ambientales de polvillo 77
Imagen 1.12.1. Historia de la creación del formato en la Asociación del Blu-ray,
actualizada a Octubre de 2012 (Imagen Apaisada) 78
Imagen 1.12.2. Todos los Libros del Formato, actualizados a Septiembre de 2012 80
Tabla 2.1.1. Resumen de las carácterísticas para algunos protocolos IEEE 802.11 82
Imagen 2.1.8.1. Los canalaes sin superposición para la banda de 2,4 GHz en 802.11b/g/n 85

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

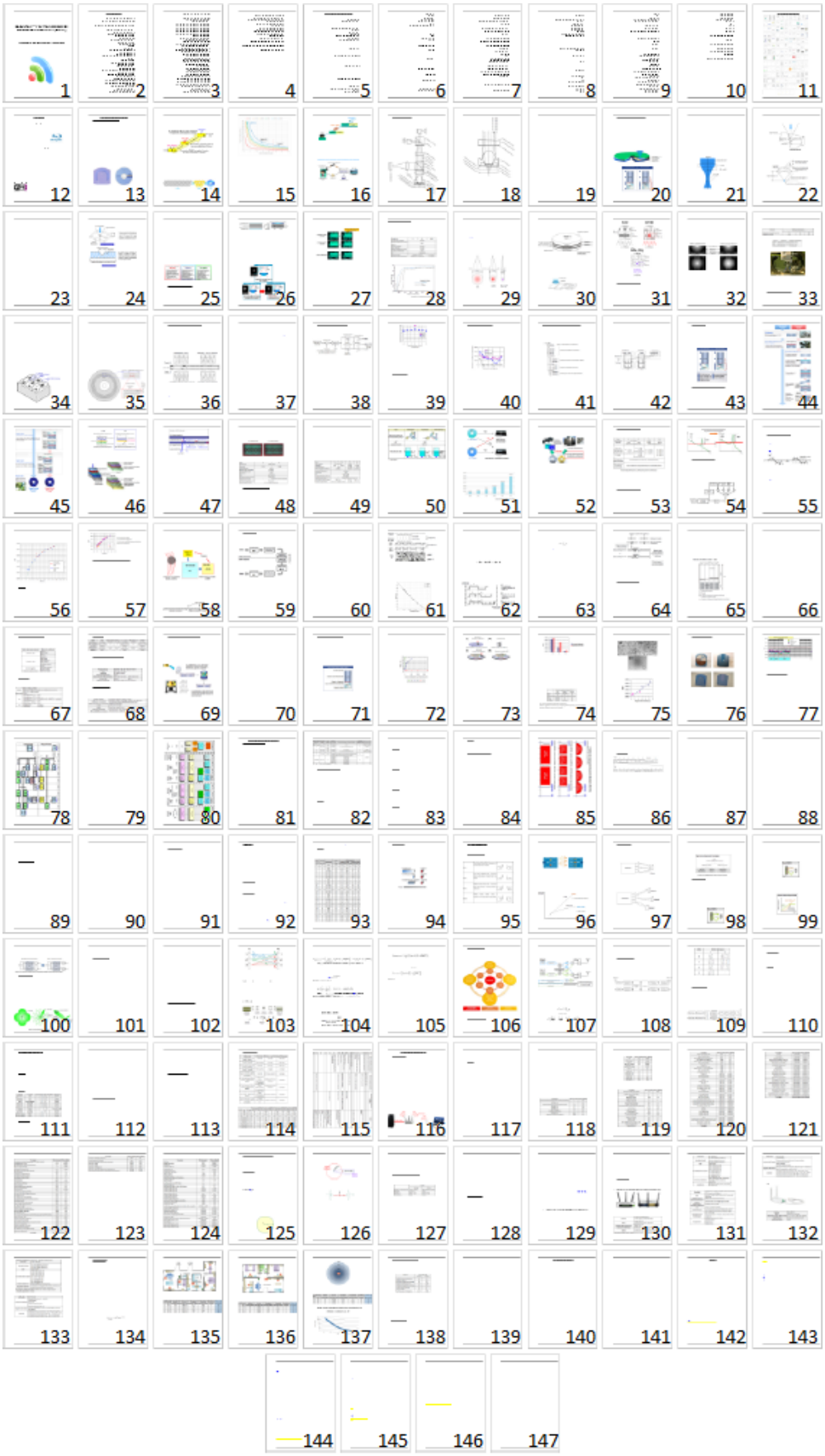
Imagen 2.1.9.1. Bytes de la trama 802.11 y detalle del Campo de Control de dicha trama 86
Tabla 2.2.3.1. Relación entre las variables que permiten la máxima velocidad de transmisión 93
Imagen 2.2.4.1. Mejora del rendimiento de red mediante el agregado de tramas 94
Tabla 2.3.1.1. Tipos de sistemas multiantenas 95
Imagen 2.3.1.2. Una mirada simple de MIMO 96
Imagen 2.3.1.3. Ventaja de MIMO sobre SIMO / MISO: la capacidad del canal aumenta linealmente a medida que se agregan antenas al sistema 96
Imagen 2.3.2.1. Implementación de WiMAX en sistema multi antena 98
Imagen 2.3.3.1. Resumen del funcionamiento de la multiplexación espacial y el uplink colaborativo en MIMO 100
Imagen 2.3.4.1. Arreglo de antenas para *beamforming* convencional (izquierda). Arreglo de antenas conmutativo (centro). Arreglo de antenas Adaptivo (derecha) 100
Imagen 2.3.6.1. Modelo de canal MIMO, con cierta cantidad de antenas en el transmisor y receptor, y múltiples vectores de transmisión en dicho canal 103
Imagen 2.3.6.2. Modelo de canal MIMO, con la ecuación matricial correspondiente 103
Imagen 2.3.7.1. Nuevos mercados obtenidos como consecuencia de las nuevas aplicaciones que se pueden realizar gracias a la disponibilidad de la tecnología MIMO 106
Imagen 2.3.8.1. Diagrama simplifiado en bloques del funcionamiento de la nueva capa de transporte agregada en HSDPA a partir de su 5to lanzamiento: *HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel)* 107
Imagen 2.3.9.1. Diagrama esquemático del *downlink* LTE 108
Imagen 2.3.9.2. Índice de código para multiplexación especial con dos antenas 109
Imagen 2.3.10.1. Diagrama esquemático del *downlink* WiMAX 109
Imagen 2.4.2.1. Listado de fabricantes de chipsets 802.11ac a Enero de 2013 111
Imagen 2.4.6.1. Algunas configuraciones ejemplo. Se asume 256QAM y tasa 5/6 115
Imagen 2.4.6.2. *Throughput* teórico para un *stream* espacial único (en mbps) 114
Imagen 2.4.6.3. Resumen de los desarrollos destacados por año 115
Imagen 3.1.1. Modelo usado: servidor, conexión ethernet 1 gbps, router o AP, y equipo receptor 116
Tabla 3.2.1. Bitrates de las redes inalámbricas más conocidas. 118
Tabla 3.2.2. Bitrates de las redes inalámbricas para uso personal más conocidas 119
Tabla 3.2.3. Bitrates de los buses más conocidos 119-121
Tabla 3.2.4. Bitrates de las tecnologías de almacenamiento más conocidas 122-123
Tabla 3.2.5. Bitrates de los periféricos más conocidos 124
Imagen 3.3.1.1. Esquema de una antena isotrópica 125
Imagen 3.3.1.2. Esquema de la ganancia de una antena referida a la isotrópica 126
Imagen 3.3.1.3. Esquema de transmisor, canal, y receptor 126
Tabla 3.3.2.1. Ventajas y desventajas para las bandas de 2,4 y 5 GHz 127

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Imagen 3.3.4.1. Vista frontal y posterior del router TL-WR1043ND 130
Tabla 3.3.4.2. Características del hardware del router TL-WR1043ND 130
Tabla 3.3.4.3. Características inalámbricas del router TL-WR1043ND 131
Tabla 3.3.4.4. Características del software del router TL-WR1043ND 131
Tabla 3.3.4.5. Otras características del router TL-WR1043ND 132
Imagen 3.3.4.6. Vista del adaptador USB inalámbrico de 300Mbps TL-WN822N 132
Tabla 3.3.4.7. Características del hardware del adaptador USB inalámbrico TL-WN822N 132
Tabla 3.3.4.8. Características inalámbricas del adaptador USB inalámbrico TL-WN822N 133
Tabla 3.3.4.9. Otras características del adaptador USB inalámbrico TL-WN822N 133
Imagen 3.4.1.1. Plano del departamento usado en las pruebas, indicando la ubicación del Access Point y los cinco puntos donde se tomaron las medidas 135
Tabla 3.4.1.2. Resultados de las medidas realizadas y los cálculos correspondientes al escenario nº 1 135
Imagen 3.4.1.3. Plano de la casa usada en las pruebas, indicando la ubicación del Access Point y los cuatro puntos donde se realizaron las medidas 136
Tabla 3.4.1.4. Resultados de las medidas realizadas y los cálculos correspondientes al escenario nº 2 136
Imagen 3.4.1.5. Esquema del Access Point ubicado en campo abierto y los tres puntos donde se realizaron las medidas 137
Tabla 3.4.1.6. Resultados de las medidas realizadas y los cálculos correspondientes al escenario nº 3 137
Imagen 3.4.2.1. Niveles de atenuación para distintos materiales en los casos de 2,4 GHz y 5,8 GHz 138

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

INDICE DE VISTAS EN MINIATURA



COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

INTRODUCCION

Es sabido que el consumidor ha experimentado la era del CD, seguida de la era del DVD.

Ahora, está entrando a la era del BD, o *Blu-ray Disc*. El cambio definitivo hacia esta nueva etapa ocurrirá muy pronto. Esos tres tipos de medios de información mencionados son todos discos ópticos de 12 cm de diámetro, por lo que quizás no se perciba visualmente el drástico cambio que se está produciendo. El Blu-ray es un nuevo tipo de medio que excede al DVD, ya que revoluciona la forma de entretenerse.

Heredando las virtudes de los DVDs y CDs, incluye una capacidad en su configuración de Capa Doble de 50 GB, una alta velocidad de trasferencia empezando en 36 mbps, como también alta estabilidad y compatibilidad, aspectos técnicos que llevados a la realidad significan video de alta definición, sonido envolvente de alta definición y alta capacidad para archivo de información a largo plazo.

Poco a poco, el sistema de televisión analógico está siendo reemplaado por el digital, sumado a que cada vez más canales digitales comienzan a emitir en HD (*High Definition*), lo que empujó a los gobiernos de cada país a establecer las fechas para los "apagones" de sus respectivos sistemas analógicos, que es el momento en el que dejan de convivir ambas formas de transmisión, en el caso de Argentina establecido para el año 2019.

Además, la popularizada tecnología Wi-Fi ha sido un medio donde los usuarios mantienen conectividad inalámbrica en su hogar y lugar de trabajo, para chequear email y navegación básica por Internet. Esa tendencia está cambiando de manera acelerada por lo que Wi-Fi está siendo usada para consumo de contenidos multimedia, es decir streaming de música y videos, motivado por servicios de uso sencillo como Netflix y Youtube. En general el cliente empieza a exigir mayor calidad, que se traduce en contenido de alta definición, desde cualquiera de los múltiples dispositivos compatibles con dicha tecnología inalámbrica (notebooks, netbooks, tablets, televisores, celulares), lo que presenta un desafío para las redes existentes.

Con la norma 802.11n se obtiene un significativo aumento de rendimiento, comparado a su predecesora 802.11g, incrementando el pico teórico de transferencia de 54 mbps a 600 mbps, y entendiendo sus capacidades como limitaciones, se hizo posible realizar tansmisión en tiempo real de contenido Blu-ray, lo que implicó sostener en el tiempo 54 mbps.

Para llegar a esas altas velocidades y garantizando cobertura, 802.11n usa tecnología MIMO (*Multiple Input – Multiple Output*) y arreglos de antenas adaptivos.

Si bien se obtuvieron resultados satisfactorios para un razonable escenario cotidiano, en un futuro muy cercano se sortearán varias limitaciones al contar con el nuevo estándar 802.11ac (cuya especificación fue terminada a fines de 2012), que incrementa nuevamente el rendimiento de la red, mediante el uso de más streams espaciales, mayor ancho de banda, modulaciones de mayor orden, y técnicas de gestión de ancho de banda.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Parte 1. LA TECNOLOGÍA BLU-RAY

1.1 El objetivo del formato de disco Blu-ray

La densidad de información del formato DVD está limitada por la longitud de onda de los diodos láser que ese sistema usa, pero luego de largos desarrollos, hoy se fabrican diodos láser azules operando en 405 nanómetros.

Sony, en colaboración con Philips, comenzó a trabajar en dos prototipos de medios ópticos usando estos nuevos diodos: el UDO (*Ultra Density Optical*) y el DVR Blue junto a Pioneer, un formato de discos regrabables que, eventualmente, se transformaría en lo que hoy conocemos como el Blu-ray regrabable.

Las primeras demostraciones del DVR Blue fueron presentadas por Sony en Japón en el año 2000 (en la CEATEC, Exhibición Combinada de Tecnologías Avanzadas); en 2001 se registró la marca del logo, y el 19 de febrero de 2002 el proyecto se anunció oficialmente como Disco Blu-Ray, y la Asociación del BD se formalizó con nueve firmas tecnológicas.

El primer dispositivo comercial, el Sony BDZ-S77, apareció el 10 de abril de 2003 en el mercado japonés, a un costo de U$S 3.800, pero al no haber estándares aún, no se lanzaron películas para este reproductor.

Las especificaciones físicas del sistema se completaron en 2004, si bien en 2005 TDK anunciaba que había desarrollado un polímero ultra duro y muy delgado para los discos, el cual fue un avance significativo, ya que para el mercado de discos vírgenes iba a ser necesario un sistema de protección contra rayones mucho más fuerte que el DVD, por lo que el uso de cartuchos (usados originalmente) para protección contra rayones, dejaron de ser una necesidad (Imagen 1.1.1). Las especificaciones fueron nuevamente completadas a comienzos de 2006.

Imagen 1.1.1. *Primer modelo de Disco Blu-ray en cartucho sellado (izquierda) y modelo sin cartucho (derecha), éste último usado en la actualidad.*

La capacidad de los discos CD, DVD y Blu-ray requerida para las diferentes aplicaciones, es el tema más importante a la hora de definir los estándares: el requisito para el CD fue el de contener 74 minutos de audio estéreo, y una capacidad de alrededor 800 MB. Para el DVD, un disco de video para

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

grabación de películas de 2 horas y 15 minutos de duración, usando compresión MPEG2 en SD (Definición Estándar), siendo determinada su capacidad en 4,7 GB, considerando el balance de calidad de imagen. Para el caso del Disco Blu-ray, "BD" de aquí en adelante, se hizo necesario disponer de un medio para grabación de transmisiones digitales de HDTV (Televisión de Alta Definición) mayor a dos horas de duración, ya que dichas transmisiones habían comenzado en el año 2000 en Japón (Imagen 1.1.2).

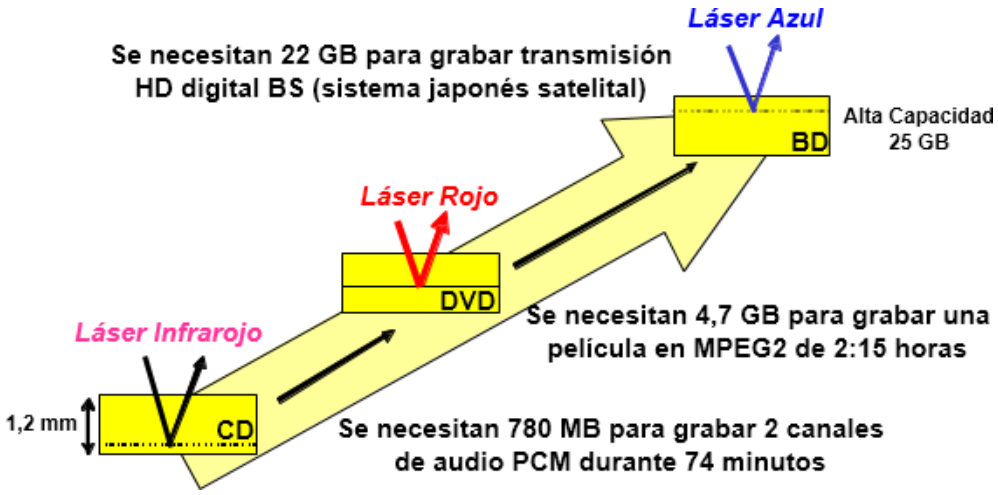


Imagen 1.1.2. Evolución de los discos ópticos en el mercado.

Las primeras transmisiones japonesas se enviaban a una tasa de bits, "bitrate" de aquí en adelante, constante de 24 mbps, y adicionalmente se agregaba un stream de datos de manera multiplexada, buscándose como objetivo la grabación de toda esa información sin modificarla.

La Imagen 1.1.4 muestra la capacidad de información (en GB) junto al bitrate (en mbps) y el tiempo de grabación (en horas): a menor bitrate se obtiene mayor tiempo de grabación (a costas de una probable reducción en calidad de audio y video), se observa el caso del DVD que con sus 5 mbps promedio, contiene una película de dos horas de duración. En línea punteada se observa que para una tasa de 24 mbps, y una duración de 2 horas aproximadas, se necesitan alrededor de 22,5 GB para almacenamiento, más de cinco veces el número ofrecido por un DVD.

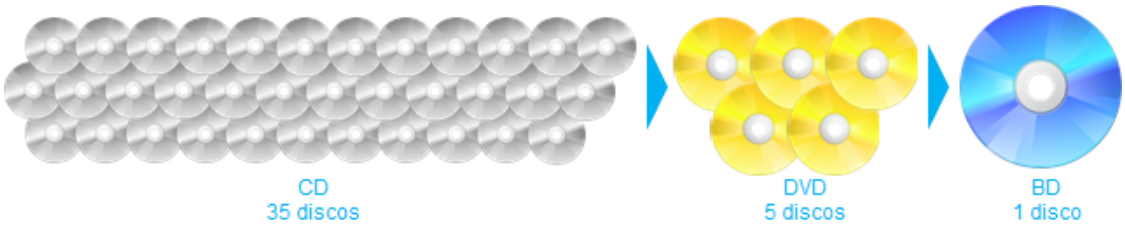


Imagen 1.1.3. La equivalencia en capacidad entre los distintos medios ópticos de almacenamiento. Un disco Capa Unica equivale a cinco DVDs en capacidad de información.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

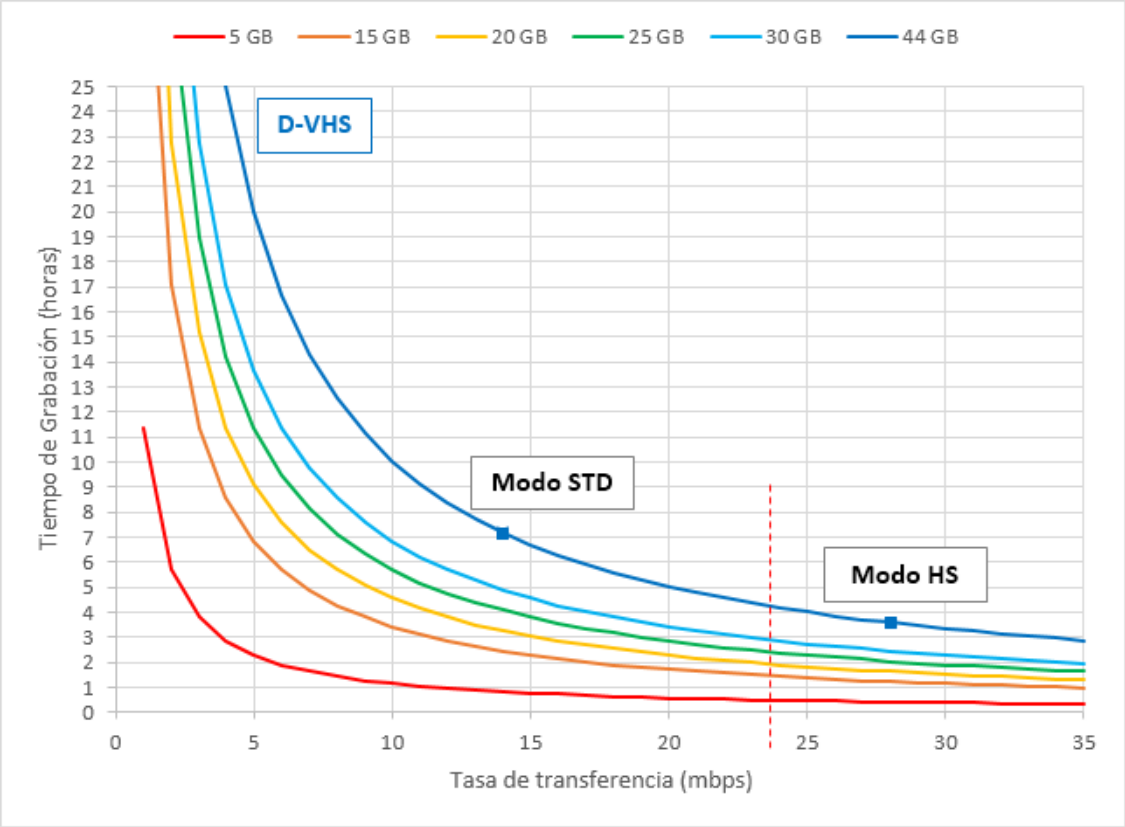


Imagen 1.1.4. *Relación entre bitrate, tiempo de grabación, y capacidad requerida.*

Para obtener esta capacidad, se desarrollaron numerosas técnicas, por ejemplo: usar láser azul-violeta, aumentar la apertura numérica de la lente objetivo, mejorar el método de modulación, mejorar la técnica de corrección de errores sin sacrificar eficiencia, usar el decodificador Viterbi para leer señales y aumentar el SNR (*Signal to Noise Ratio*) y bajar el ISI (*Inter Symbol Interference*).

Para el caso del BD, primero se lanzó el sistema Regrabable, y después los sistemas de Sólo Lectura (ROM, *Read Only Memory*) y de Única Grabación (*Write Once*).

Además de ofrecer alta calidad en audio y video, introduce nuevas funciones para la distribución avanzada de medios. Por ejemplo, en la transición VHS a DVD, fueron la novedad la grabación digital y las funciones interactivas (menú en pantalla, subtítulos, etc.).

Los discos BD están equipados con funciones extendidas basadas en tecnología Java™, conocida como BD-J, para proveer varias opciones interactivas. Por ejemplo, mostrar un menú animado mientras se reproduce la película, activar la búsqueda por palabras clave, vincularse con servicios de banda ancha, mostrar información de una escena determinada, etc. Con posibilidades de aplicación ilimitadas, BD-J ofrece una forma de disfrutar las funciones interactivas que simplemente no es posible con software convencional de audio video (Imagen 1.1.5).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

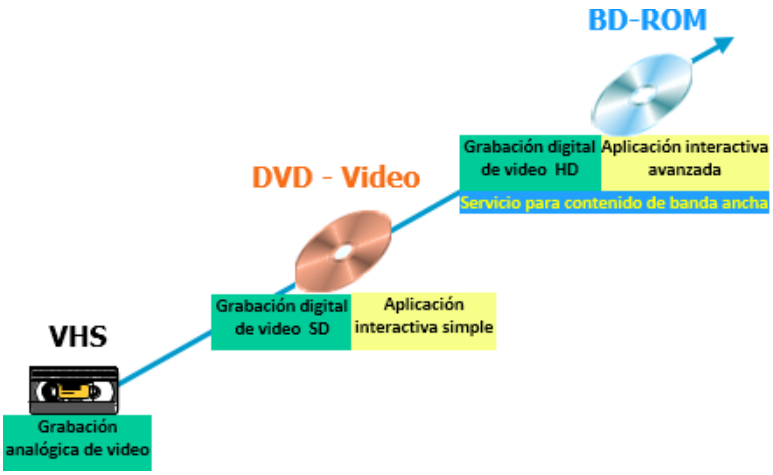


Imagen 1.1.5. *Evolución de los paquetes de medios para el caso de películas.*

Las transmisiones digitales HD se vienen haciendo cada vez más comunes desde la última década (en Japón especialmente), junto a la disponibilidad comercial y disminución del costo de las pantallas de alta definición LCD, LED, plasma, al alcance de los consumidores hogareños.

La grabación de esas transmisiones, junto a las películas Blu-Ray disponibles comercialmente (3.500 títulos en EE.UU a enero de 2013), son consideradas claves en la aceleración de esta tendencia, y factores disparadores de la rápida distribución de contenido HD (Imagen 1.1.6).

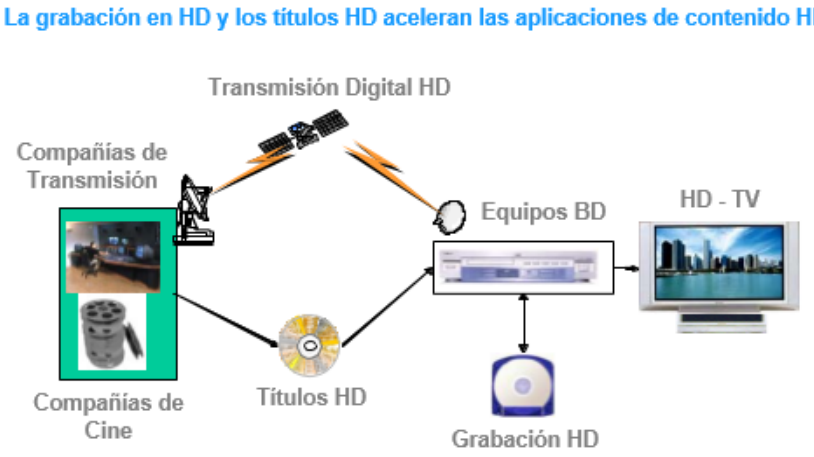


Imagen 1.1.6. *Circuito que pone en movimiento la promoción de contenido HD.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.2 Mecanismo óptico de la lente

Si bien hay distintas configuraciones del Optical Pick up (o Mecanismo óptico de la lente) dependiendo del fabricante (Sony, Pioneer, Panasonic, entre otros), y a su vez distintos diseños desarrollados por cada fabricante, se toma a modo de ejemplo una de las patentes de Sony; y su descripción a continuación del esquema ayuda a entender el principio de funcionamiento.

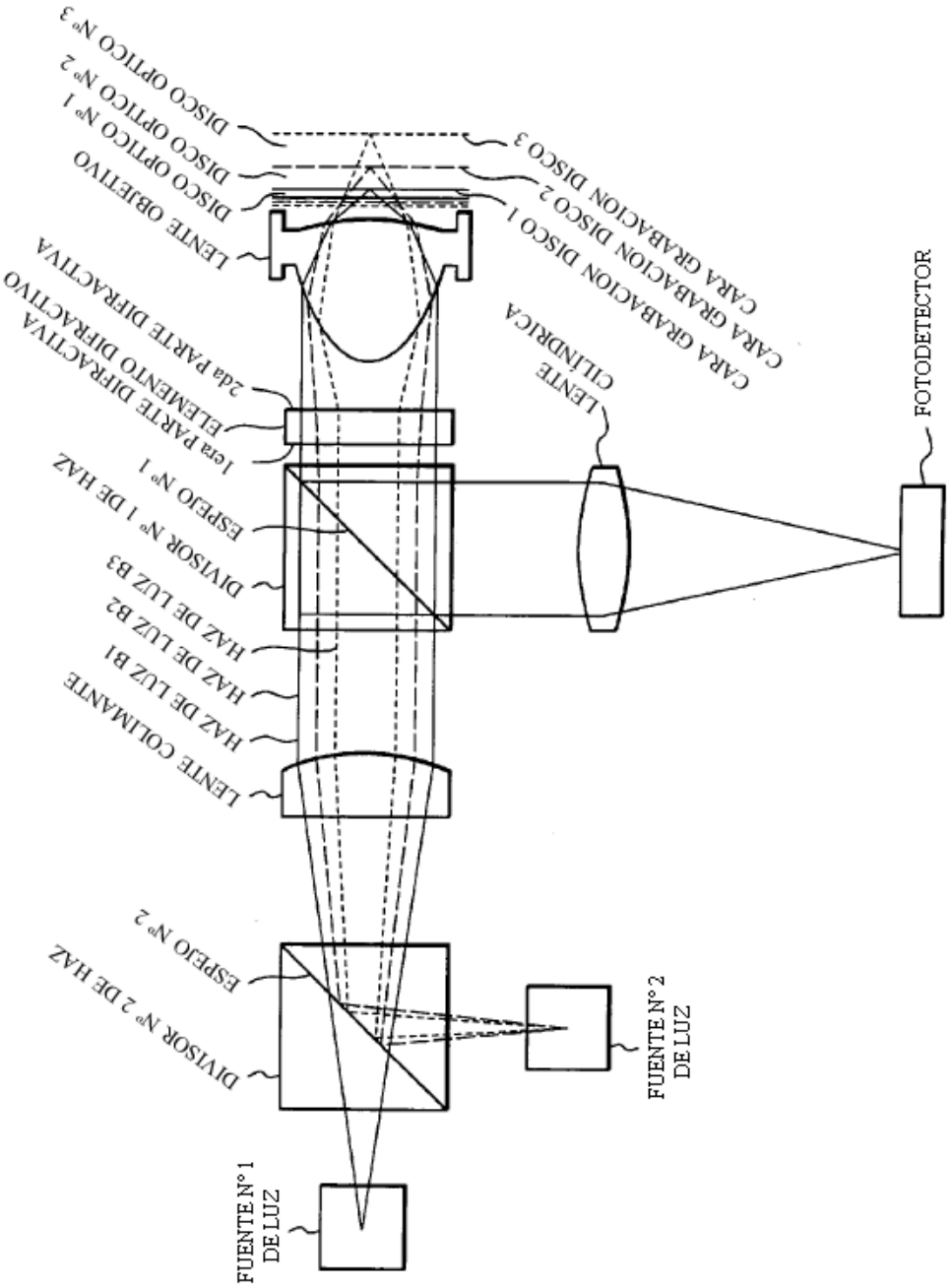


Imagen 1.2.1. *Optical Pickup (Imagen Apaisada).*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

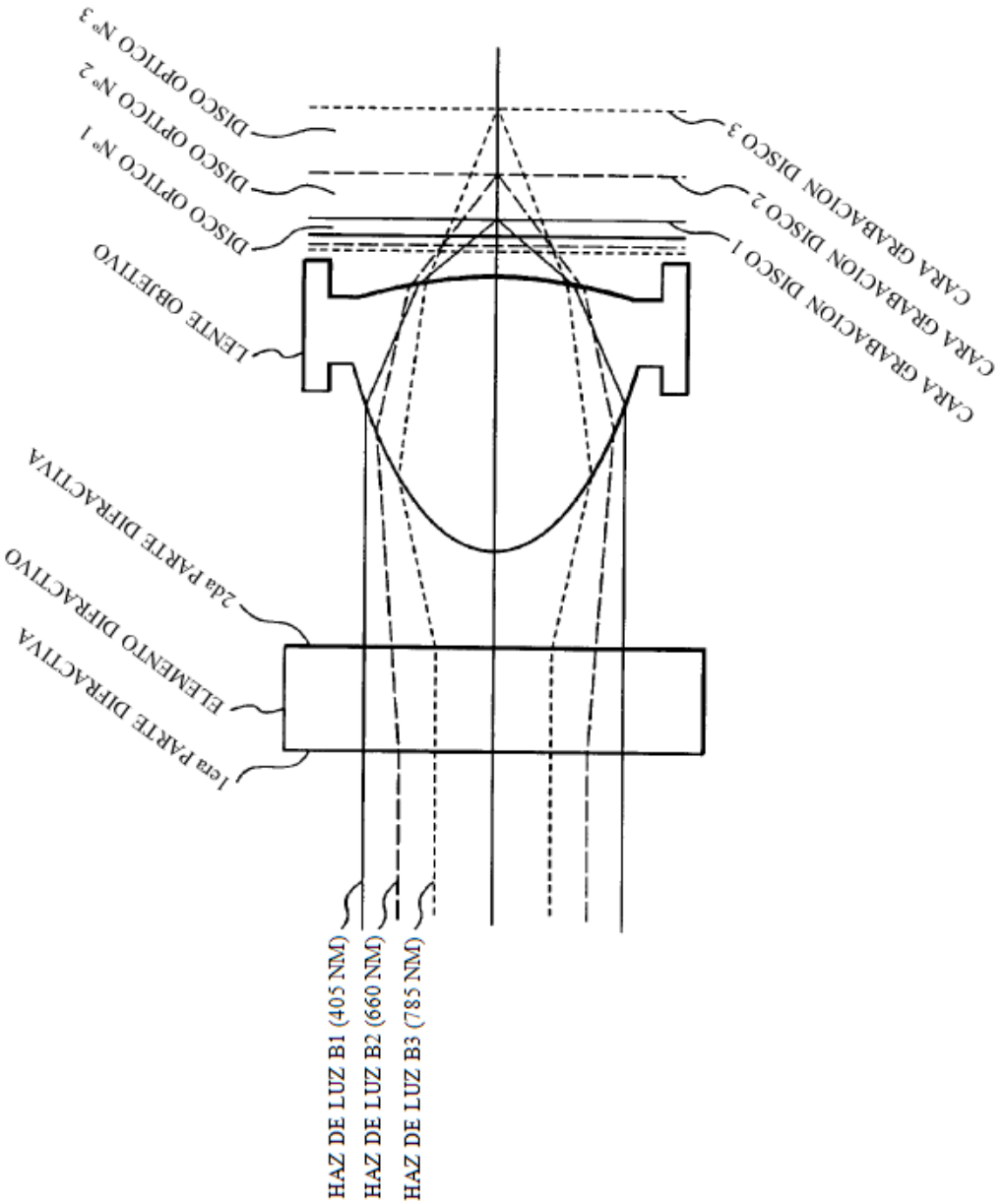


Imagen 1.2.2. *Vista en detalle del Elemento Difractivo y la Lente Objetivo (Imagen Apaisada).*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

El principio de funcionamiento es el siguiente:

La Fuente Nº 1 de Luz emite un haz de luz en una longitud de onda de 405 nm (para el Disco Óptico Nº 1)

La Fuente Nº 2 de Luz emite un haz de luz en una longitud de onda cercana a 660 nm (para el Disco Óptico Nº 2) o bien, cercana a 785 nm (para el Disco Óptico Nº 3).

La Lente Objetivo condensa cada uno de los rayos de luz emitidos desde las fuentes 1 y 2, en la señal de grabación para disco óptico respectivo a cada fuente.

El Fotodetector, detecta la luz reflejada de la señal de grabación para disco óptico, cualquiera sea el caso del disco que se trate.

El Divisor Nº 1 de Haz se ubica entre la Lente Colimante y el Elemento Difractivo, y divide el camino óptico de la luz reflejada por el disco (que retorna) del camino óptico de luz saliente, para guiar dicha luz reflejada al fotodetector.

El Divisor Nº 2 de Haz se ubica entre ambas Fuentes de Luz y la Lente Colimante, y sirve como medio de combinación de los caminos ópticos de la luz emitida por las Fuentes.

El Divisor Nº 2 de Haz incluye un espejo (Espejo Nº 2), que tiene selectividad de longitud de onda: este espejo transmite la luz emitida por la Fuente Nº 1 mientras refleja los haces de luz emitidos por la Fuente Nº 2, combinando así los haces de luz emitidos por ambas Fuentes.

La Lente Colimante convierte los ángulos de divergencia de los haces de luz emitidos por las Fuentes en un haz de luz considerablemente paralelo, luego permite que el haz de luz viaje al Divisor Nº 1 de Haz.

El Elemento Difractivo se ubica en los caminos ópticos de los haces de luz de las tres longitudes de onda mencionadas al principio; y físicamente se ubica entre el Divisor Nº 1 de Haz y la Lente Objetivo, incluye una Primera Parte Difractiva en la cara correspondiente al ingreso de luz, correspondiente a una de las caras de dicho Elemento, y una Segunda Parte Difractiva en la cara correspondiente al egreso de luz, correspondiente a la otra cara del Elemento Difractivo.

La Primera Parte Difractiva transmite los haces de 405 nm (B1) y 785 nm (B3) mientras difracta al haz de 660 nm (B2), hace esta difracción formando un apropiado punto luminoso de haz B2 habiendo sido enfocado a través de la Lente Objetivo en la cara del Disco Óptico Nº 2.

La Primera Parte Difractiva también corrige la aberración esférica generada cuando el haz B2 es condensado a través de la Lente Objetivo, esta aberración esférica es generada por usar la misma Lente Objetivo, para los tres tipos de Discos Ópticos, cada uno incluyendo su Capa Cobertora con distinto espesor.

La Segunda Parte Difractiva transmite los haces B1 y B2, mientras difracta al haz de 785 nm (B3), hace esta difracción formando un apropiado punto luminoso de haz B3 habiendo sido enfocado a través de la Lente Objetivo en la cara del Disco Óptico Nº 3.

La Segunda Parte Difractiva también corrige la aberración esférica generada cuando el haz B3 es condensado a través de la Lente Objetivo, esta aberración esférica es generada por usar la misma Lente Objetivo, para los tres tipos de Discos Ópticos, cada uno incluyen su Capa Cobertora con distinto espesor (el tema de la aberración óptica es tratado en detalle más adelante).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.3 La Capa Cobertora y la "aberración" óptica

La estructura del BD, difiere ampliamente en comparación a la del DVD, si bien se mantiene el grosor del disco en 1,2 mm.

La estructura de un DVD es la unión de un par de discos de 0,6 mm de espesor, con la Capa de Escritura conocida como "película reflectora" ubicada en el medio. También fueron lanzados los DVDs del tipo Cara Simple Capa Doble, y tienen una Capa Transparente no reflectora adjuntada a una Capa Reflectora semitransparente, con una Capa Transparente entre las películas reflectoras. La diferencia básica entre la estructura del disco de Capa Doble y el de Capa Unica es la presencia o no de películas transparentes y semi transparentes, es decir no hay diferencias significativas en términos de la estructura en su conjunto.

La estructura del BD, es tal que la capa o película donde se graba la información se forma por encima del sustrato de 1,1 mm (capa color azul en la Imagen 1.3.1) y se cubre dicha película de grabación con una Capa Cobertora de 0,1 mm (capa color verde en la Imagen 1.3.1). Es decir, en el sistema DVD el láser se enfoca a 0,6 mm de la superficie del disco, en el sistema BD a 0,1 mm. Como el film o la Capa de Escritura se encuentra cerca de la cara del disco, el haz laser que atraviesa el disco tiene menos probabilidades de sufrir influencias ópticas, haciendo estable la escritura y lectura de datos.

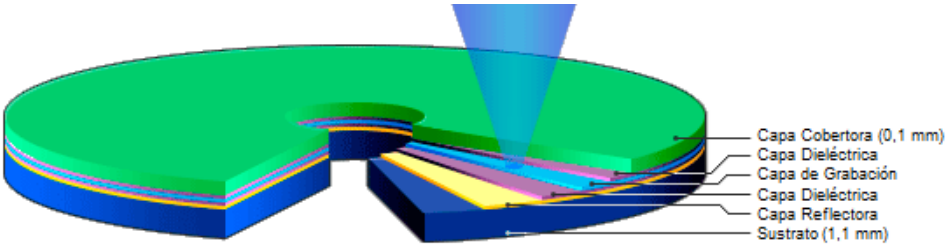


Imagen 1.3.1. *Las capas en un BD del tipo Capa Unica.*

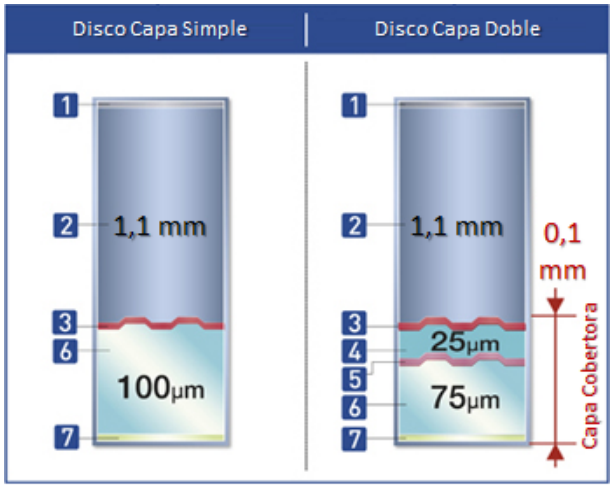


Imagen 1.3.2. *Las capas en un BD del tipo Capa Unica y Capa Doble. Ref. 1) Cara impresa. 2) Sustrato de Policarbonato 3) Capa de Grabación L0. 4) Capa de Espacio 5) Capa de Grabación L1. 6) Capa Cobertora 7) Cobertura Dura.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Una de las ventajas de los discos láser es que difícilmente son afectados por suciedad o polvo en su superficie, ya que la información se graba y lee a través de la Capa Cobertora. El primer disco óptico comercial, *Laser Disc* (disponible comercialmente en 1978 en EE.UU), tenía un sustrato transparente de 1,2 mm, a través del cual la información era leída. Este espesor se determinó a partir de condiciones como:

- El deterioro de la relación señal/ruido (SNR) por contaminación de la superficie se disminuye a un mínimo al usar grabación analógica,
- El moldeado de un disco de 30 cm es posible,
- Resistencia mecánica del disco suficiente,
- El disco es lo más fino posible, satisfaciendo planicidad y uniformidad óptica.

La última condición se debe a que cuanto más fina sea la Capa Cobertora, más fácilmente se puede optimizar la lente objetivo para hacer converger al haz láser. Esta optimización de la convergencia se expresa con la Apertura Numérica (AN), y el diámetro de luz que converge es inversamente proporcional a la AN (Imagen 1.3.3). Es por eso que se busca una AN lo más grande posible.

Sin embargo, cuando el eje óptico de la Lente Objetivo cambia de perpendicular hacia la superficie del disco, se produce un deterioro en la convergencia (llamado aberración), y su cantidad aumenta proporcionalmente al cubo del valor de la AN. Como no se puede evitar que los discos sufran ligeras inclinaciones respecto al eje óptico de la lente, ya sea por la fabricación imperfecta del disco o la inclinación propia de la estructura donde se carga, no se puede simplemente aumentar el valor de la AN.

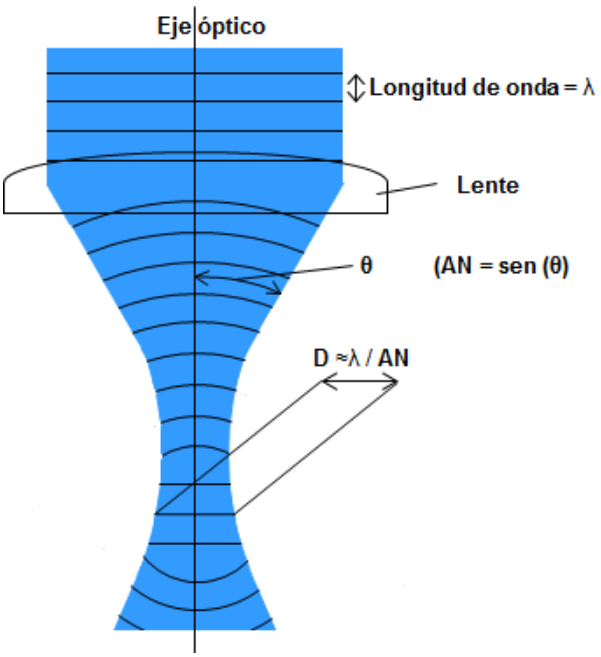


Imagen 1.3.3. *La AN (Apertura Numérica) se define como el sen (θ), donde θ es la mitad del ángulo de convergencia de la luz, convergente por acción de la lente. Cerca del 80% de la energía de la luz converge en un área de diámetro λ / AN.*

Además, la aberración causada por la inclinación del disco es proporcional al grosor de la Capa Cobertora. Esta aberración se origina por el ángulo de refracción error que la inclinación produce en la

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

interfaz de la Capa Cobertora. Es decir, el nivel de borrosidad en el punto focal debido a ese ángulo, es proporcional a la distancia entre la cara del disco y el punto focal (es decir, el grosor de la Capa Cobertora). Ver Imagen 1.3.4.

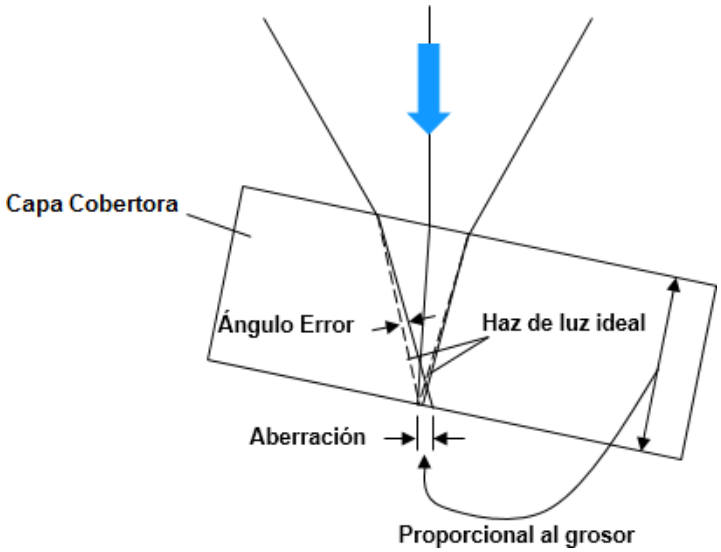


Imagen 1.3.4. *Cuando el disco se inclina, surge un ángulo de refracción error, que es una desviación del ángulo ideal que forma el punto de luz ideal. Este ángulo error causa una aberración en el punto focal, que es proporcional a la distancia entre la superficie del disco y el punto focal, es decir, el grosor de la Capa Cobertora.*

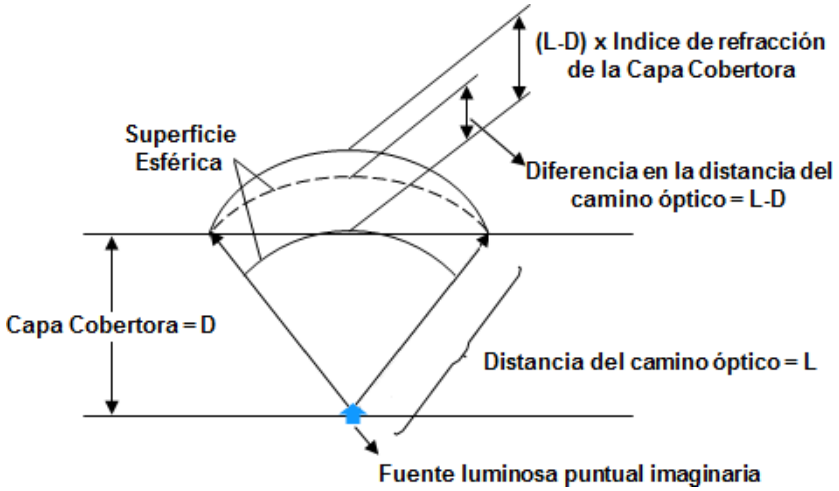


Imagen 1.3.5. *Un frente de onda divergente proveniente de una fuente luminosa puntual imaginaria colocada en la Capa de Información, es esférico dentro de la Capa Cobertora; pero se deforma partiendo de una superficie esférica luego de salir de dicha capa. Una luz que tenga este frente de onda distorsionado e ingrese a la Capa Cobertora, convergirá a un punto luminoso ideal.*

Si bien las primeras dos condiciones (donde se dice que la Capa Cobertora tiene que ser un sustrato de 1,2 mm) no se aplican al CD, se adoptó el mismo grosor. Esto fue así por la gran importancia

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

que se le puso a la intercambiabilidad de la lente objetivo. Sin aumentar la AN, un disco de 12 cm de diámetro tenía la suficiente capacidad para uso en audio digital.

Esta intercambiabilidad generalmente se pierde cuando cambia el grosor de la Capa Cobertora.

La lente debe hacer converger el haz láser en condiciones casi ideales. Este haz tiene un frente de onda esférico en la Capa Cobertora, y un frente de onda distorsionado a partir de una superficie esférica, en la atmósfera, antes de entrar a la Capa Cobertora. Se acepta que esta distorsión en la atmósfera sea la misma que la que se obtiene por la luz propagada desde una fuente puntual ubicada en el punto donde el haz láser converge. Cuando se dirige una fuente de luz puntual a la Capa de Grabación del disco (L0 por ejemplo), se forma y propaga una onda esférica en la Capa Cobertora. La onda estará distorsionada al entrar en la atmósfera. Esto se produce porque la longitud del camino óptico desde la fuente de luz virtual hasta la interfaz con la Capa Cobertora es distinto para el caso de un haz perpendicular a la interfaz y el caso de los haces ambiente. Como la diferencia en los caminos ópticos es proporcional al grosor de la Capa Cobertora, a mayor espesor de esta capa mayor será la cantidad de distorsión del frente de onda de la superficie esférica en la atmósfera.

La lente objetivo se designa para emitir luz considerando este frende de onda distorsionado, y como la cantidad de distorsion ideal depende del espesor de la Capa Cobertora, el diseño de la lente objetivo también depende del grosor de esa capa. Esta es la razón por la cual se tiene a seguir con una Capa Cobertora de espesor convencional incluso cuando cambie el formato.

Si bien se adoptó una Capa Cobertora de 1,2 mm al definirse el estándar del CD, se siguió un camino distinto para el caso del DVD y BD. Esto fue así porque no se llegaba a la capacidad necesitada si se usaba ese espesor particular. Por lo tanto, se debió examinar nuevamente la optimiazación del grosor de la Capa Cobertora en orden de obtener un disco de mayor capacidad.

En una grabación digital, no hay que preocuparse por un deterioro del SNR de las señales leídas, comparado a una grabación analógica, mientras tanto puedan leerse sin error estas señales. Adicionalmente, el proceso de fabricación de discos de 12 cm es bastante diferente al de discos de 30 cm; es por ello que se intentó reducir tanto como sea posible el grosor de la Capa Cobertora, e incrementar el valor de la AN tanto como sea posible.

Una de las principales ventajas de los discos ópticos es que la influencia de partículas de polvo en la superficie está limitada, ya que al grabar o leer información el haz se desenfoca en la superficie de la Capa Cobertora. Al reducir el grosor de esta capa, la AN se puede incrementar, sacrificando el efecto de desenfoque.

El efecto de desenfoque producto de una partícula de polvo en la superficie del disco, se disminuye aumentado el área de sección del haz láser: si bien el área influida por la partícula de polvo se amplificará, el deterioro total en la señal recibida se reduce y se pueden prevenir errores de lectura. Lo que se llama ECC o Código Corrector de Errores, se usa generalmente en este caso para quitar errores de lectura.

Durante la operación, datos de redundancia calculados a partir de grandes bloques de datos se adjuntan a los bloques, como datos para control de errores. Luego de que se lee el bloque de datos, estos datos de redundancia son inversamente calculados para corregir errores parciales.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Se dice que este método Corrector de Errores, es la versión electrónica del "desenfoque" en la Capa Cobertora (Imagen 1.3.5).

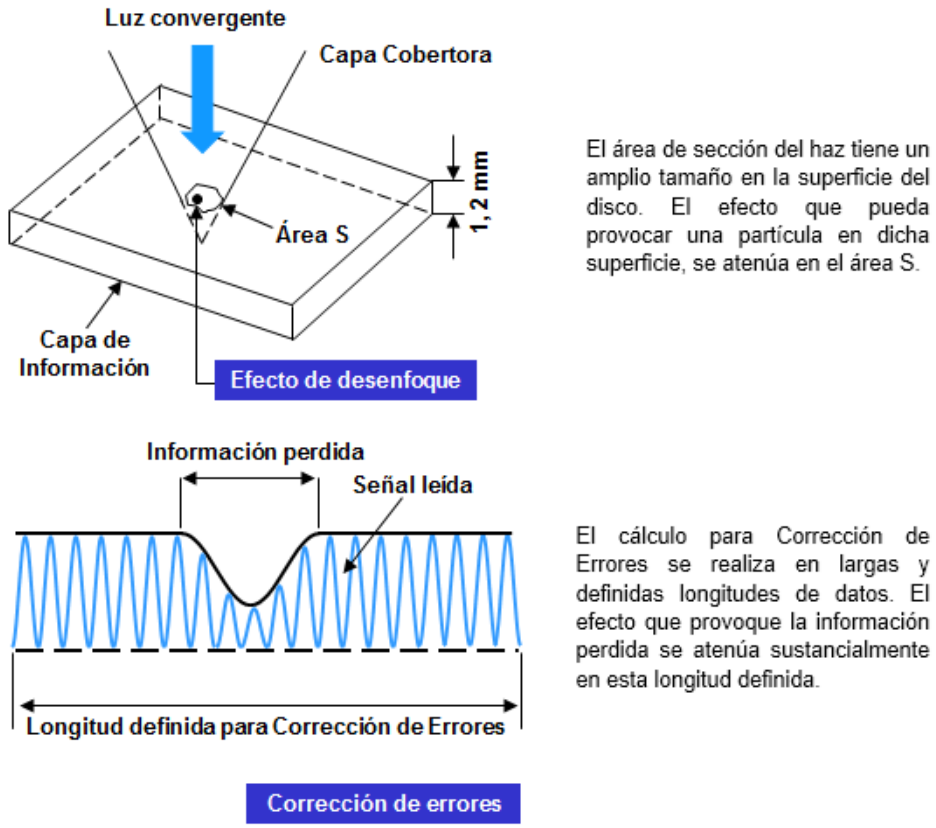


Imagen 1.3.6. *La Capa Cobertora tiene la función de atenuar ópticamente los efectos de una partícula en la superficie del disco. La Corrección de Errores tiene la función de atenuar electrónicamente los efectos de una pérdida de información. Ambas funciones son análogas.*

Para DVD, se decidió que el grosor de la Capa Cobertora podía ser tan pequeño como 0,6 mm. Este grosor pudo ser fabricado por las líneas de producción en aquellos días, ya que se obtenía la misma resistencia mecánica que en el CD al apilar dos piezas iguales (el CD tiene 1,2 mm de espesor, el doble que el DVD).

En los BDs, se reconsideró este grosor contemplando la condición de 23 GB de capacidad, necesaria para grabar un *bitstream* de transmisión digital HD de aproximadamente dos horas.

Al principio, era lógico pensar en usar las características del DVD, es decir, un grosor de 0,6 mm. Sin embargo, al cambiar la longitud de onda del rojo (650 nm) al azul-violeta (405 nm), la capacidad sólo sería de unos 12 GB. Como complicación adicional, a menor longitud de onda, aumenta la magnitud de las aberraciones ópticas. Para evitar eso, se debe reducir el valor de la AN de la lente. En el masificado sistema DVD la AN es de 0,65, y como se dijo antes, cuando un disco es inclinado la aberración es proporcional al cubo de la AN. Para mitigar este aumento de aberraciones debido a la disminución de la longitud de onda, la AN debería ser reducida a 0,55 aproximadamente; y así la capacidad obtenida es de 10 GB aproximadamente, mucho menor que los 23 GB alcanzados usando nuevas tecnologías de lectura

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

como PRML (*Partial Response Maximum Likelihood*, método para convertir una débil señal analógica en una señal digital).

Si bien se consideró disminuir la distancia entre las pistas (*track pitch*), esto generaba cambios en los efectos de conducción de calor: el nuevo comportamiento de conducción de calor borraba la información de la próxima pista.

Se intentó solucionar usando la grabación de Capa Doble, sin embargo, y debido a que el área del punto focal en una AN de 0,6 es casi el doble que para una AN de 0,85, la densidad de potencia de este punto disminuye a la mitad, y se sabía que la potencia para grabación con láser azul-violeta requiere más de 100mW en el caso de Capa Doble. Para poder grabar en Capa Doble con láser azul ya disponible, es necesario aumentar la AN aún más, mediante la reducción del grosor de la Capa Cobertora.

Para determinar el grosor de la Capa Cobertora de los BDs, se tuvieron que resolver todos los complejos problemas mencionados para un grosor de 0,6 mm, o reducir dicho grosor. Después de todo, no hubo otra opción más que la última debido a que no se pudieron encontrar soluciones a esos inconvenientes.

El grosor de la Capa Cobertora se fijó entonces en 100 μm (0,1 mm), considerando el balance entre fabricación simple y la posibilidad de reducir costos a futuro. De esta forma, el valor de la AN se puede elevar a 0,85. Para una capacidad de 25 GB, el margen de inclinación (±0.75 grados) es casi el mismo que para DVD.

En BDs, primero fue establecido el estándar para discos regrabables (BD-RE), luego los estándares de Sólo Lectura (Read Only) y Escritura Única (Write Once), todos con un grosor de 0,1 mm (Imagen 1.3.6).

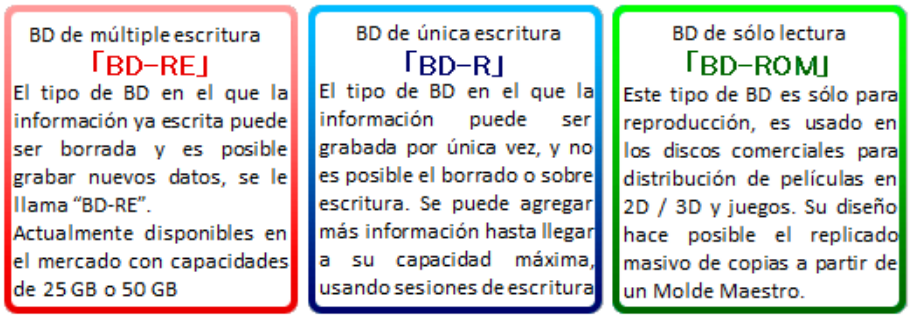


Imagen 1.3.7. *Tipos de discos Blu-ray.*

1.3.1 Pioneer y su solución para la aberración óptica

Antes de que el haz láser atraviese la Lente Objetivo, para el caso de una unidad Pioneer, atraviesa un componente llamado "panel de cristal líquido multi funcional". Este panel es una tecnología para inhibir la aberración que ocurre debido a las diminutas curvaturas del BD, como así también el "astigmatismo", que es inevitable en lentes ópticas. Esta tecnología hace posible que el haz láser recorra la Capa de Grabación en el disco de manera precisa, previniendo los efectos de diminutas deformaciones en el disco mismo, vibraciones por rotación, cuestiones de compatibilidad debido a cambios que ocurren por el paso del tiempo, entre otros problemas.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

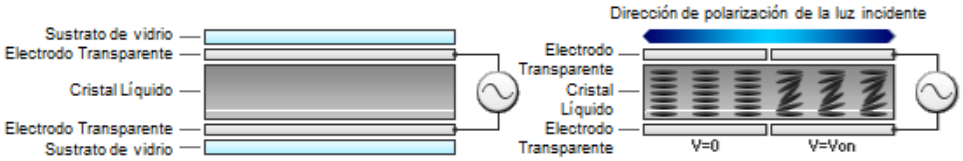


Imagen 1.3.1.1. *Estructura del "panel de cristal líquido multi funcional" (propietario de Pioneer).*

- *El factor de refracción cambia cuando se aplica la tensión.*
- *Se genera aberración cuando se distribuye la tensión con "patrones de electrodo".*
- *El factor de refracción depende de la dirección de polarización de la luz incidente.*

Para leer y escribir datos a nivel microscópico, con una distancia entre pistas de 0,32 µm, se vuelve importante la compensación para controlar los defectos ópticos.

Hay varias tecnologías para hacer esa compensación, si bien la mayoría de ellas sólo trata la aberración a través de medios mecánicos, con varios y complejos servocontroles, como actuadores, que terminan generando otros problemas, e incrementos de costos.

La tecnología propietaria de Pioneer, se basa en la característica del cristal líquido de su cambio de factor de refracción cuando se le aplica una tensión. Se aprovechó aquello, incorporando un componente llamado "elemento compensador de fase de cristal líquido" entre la fuente de luz láser y la Lente Objetivo, para cambiar el factor de refracción cuando el disco se incline.

Con este elemento, también se compensa la borrosidad del punto focal debido a variaciones en el grosor de la Capa Cobertora, efecto explicado anteriormente.

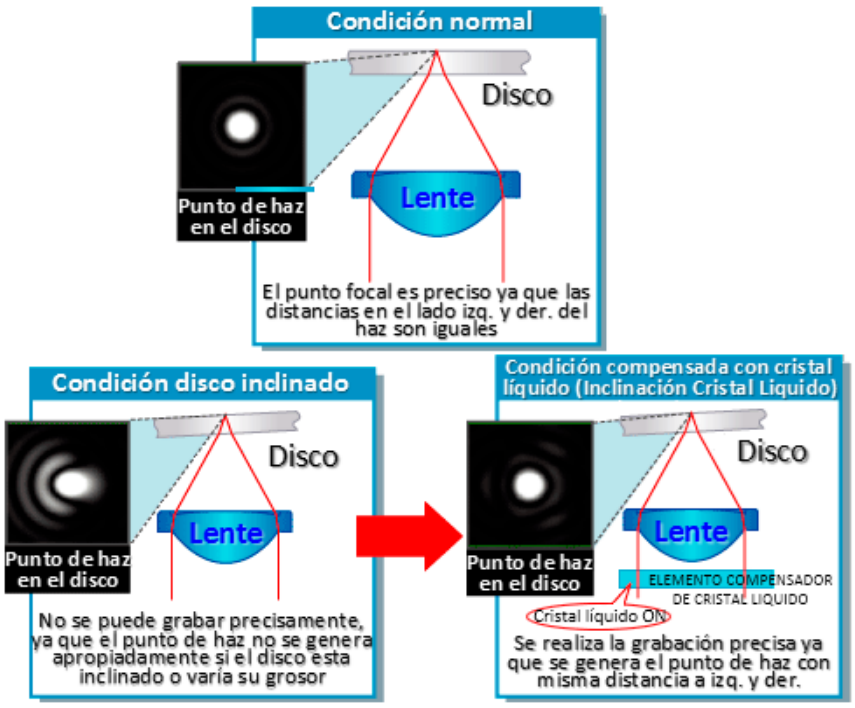


Imagen 1.3.1.2. *Funcionamiento del sistema propietario de Pioneer.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Se realiza la compensación con un único elemento electrónico, y no se requiere un mecanismo complejo ya que no es necesario un movimiento adicional de la lente, haciendo de esta configuración algo más simple para dicha lente, y reduciendo potenciales problemas que implican una solución mecánica.

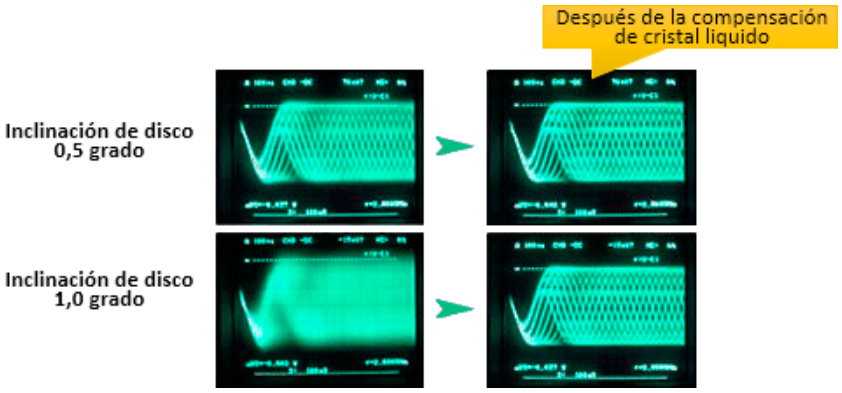


Imagen 1.3.1.3. *Compensación de la aberración debida a la inclinación del disco.*

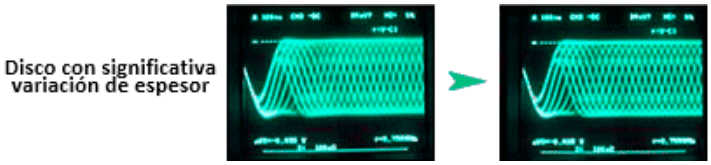


Imagen 1.3.1.4. *Compensación de la aberración debida al grosor de disco no perfecto.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.4 El formato físico del disco Blu-ray

La Imagen 1.4.1 muestra parámetros claves de los formatos de discos Blu-ray tipo R (Grabable), RE (Regrabable) y ROM (Sólo Lectura): longitud de onda del diodo láser, AN de la lente, diámetro del disco, grosor del disco, diámetro del agujero central, modulación de señal usada, y el Código Corrector de Errores.

Como estas especificaciones son comunes a los tres tipos mencionados, se usan tecnologías comunes para el mecanismo óptico de la lente, facilitando la interoperabilidad entre estos sistemas.

Tipo de disco	R	RE	ROM
Long. de onda del láser	405 nm		
Apertura Numérica de la lente	0,85		
Diámetro del disco	120 mm		
Grosor del disco	1,2 mm		
Diámetro del agujero central	15 mm		
Modulación de la señal	17PP		
ECC	LDC con BIS		
Rastreo de datos o *tracking*	Grabación en Canal		Hoyo
Método de direccionamiento	Ondeado (*Wobble*)		Hoyo

Imagen 1.4.1. *Resumen de parámetros físicos para los discos R, RE, y ROM.*

Se contempló el uso de una longitud de onda menor a los 400 nm, pero se descartó esta opción porque producía problemas en la durabilidad de los plásticos del sustrato incidente.

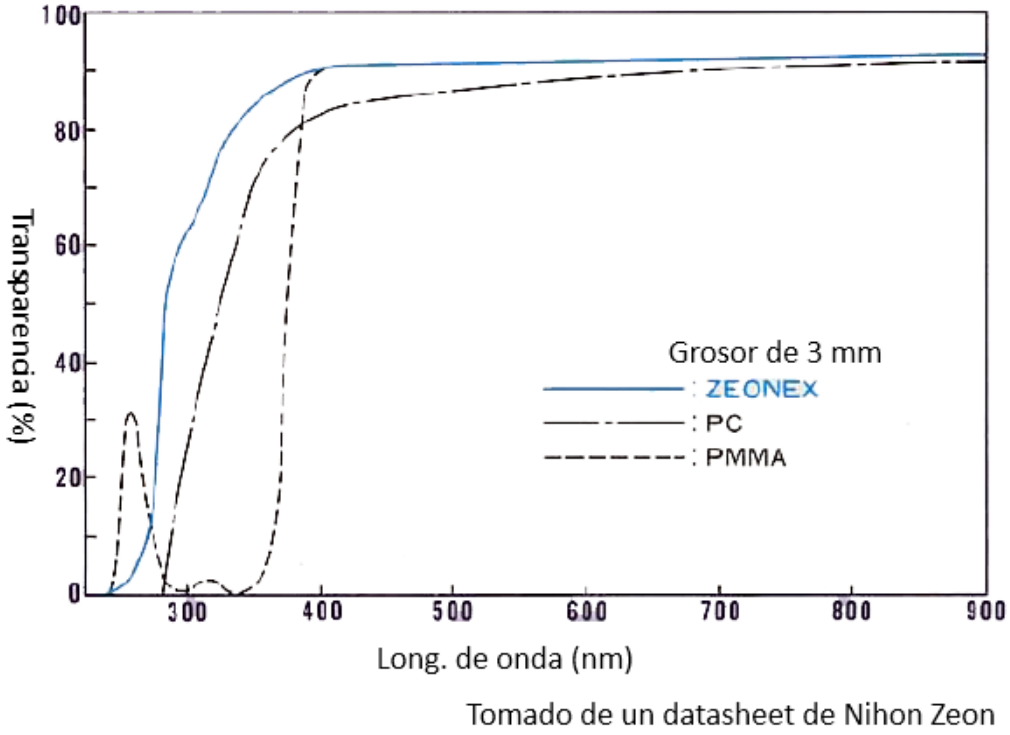


Imagen 1.4.2. *Dependencia de la transparencia con la longitud de onda.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Como se ve en la Imagen 1.4.2, varios tipos de plásticos muestran una pobre transmisión en la zona inferior a los 400 nm; y algunos se dañan en un proceso similar al de quemaduras de sol.

La longitud de onda varía con la temperatura, para 780 nm la dependencia es aprox. 0,3 nm/grado; para 650 nm aprox. 0,25 nm/grado. Sin embargo, el láser en 400 nm de nitruro de Galio (GaN) parece mostrar una longitud de onda con muy poca dependencia de la temperatura, comparado con los láseres de 780 nm y 650 nm.

El diámetro del haz D se define por la AN de la lente y la longitud de onda, mediante la siguiente expresión:

$D = \alpha \cdot \lambda/NA$, con $\alpha = cte$.

Como se ve en la expresión, a mayor AN, menor es el diámetro del haz, si bien la AN no excede la unidad en la atmósfera. Los valores para CD y DVD, son de 0,45 y 0,6, respectivamente.

Para BDs, se creó una lente con AN de 0,85 primeramente superponiendo dos lentes, que pueden ser fabricadas con la técnica de una AN clase 0,6, una encima de la otra.

Debido a un menor tamaño del área donde el haz láser choca con el disco, la potencia necesaria para la grabación en un sistema Blu-ray con una longitud de onda de 400 nm y una AN de 0,85, es sólo ¼ de aquella para un sistema de DVD.

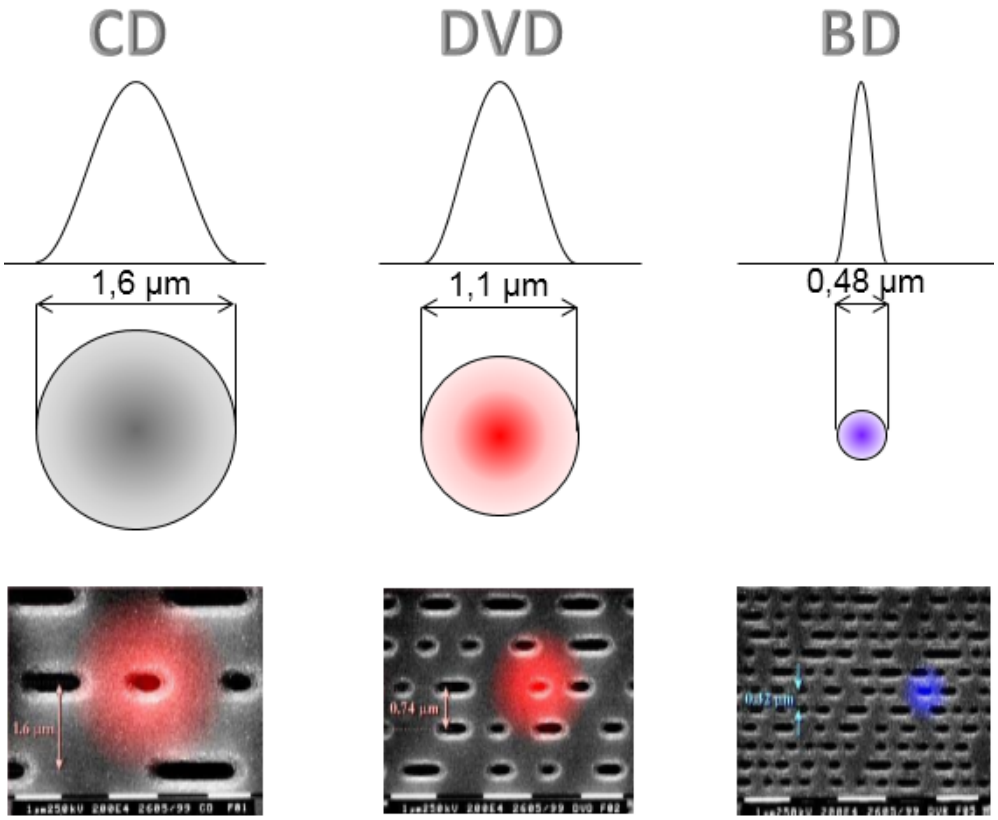


Imagen 1.4.3. *Comparación del tamaño del haz para cada caso.*

Se puede ver en la Imagen 1.4.3 una comparación del diámetro y la distribución de la intensidad del haz al impactar en el disco entre CD, DVD y BD. La integral de esta señal es la energía de grabación. A menor diámetro (es decir, a mayor densidad) será menor la cantidad de potencia requerida. Esta es la

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

razón por la que en BD se requieren solo 5 mW para grabación, mientras que en CD y DVD se requieren varias decenas de mW para una velocidad de grabación similar.

Esto da un margen para cuando se presente el caso de grabación de discos Multi Capa, o si en un futuro se desarrollan grabaciones a velocidades mayores.

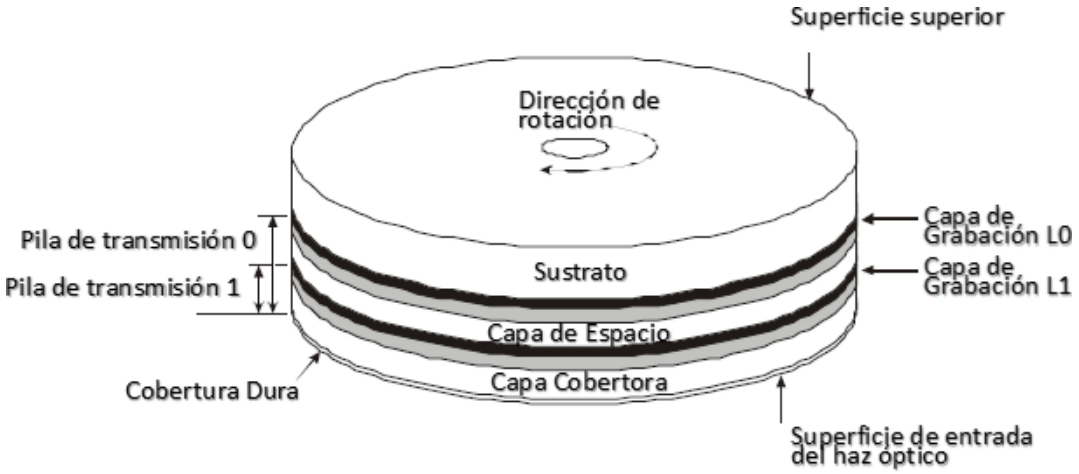


Imagen 1.4.4. *Estructura del disco Capa Doble como el primer tipo de disco Multi Capa.*

En este caso, se define la Capa L1 y la Capa L0, separadas por una Capa Espaciadora de 25 µm como se ve en la Imagen 1.4.4, y el grosor de la Capa Cobertora L1 es de 75 µm. L0 para cualquier tipo de disco Multi Capa, se ubica a los 100 µm.

Debido a que el formato de BD emplea longitudes de onda, valores de AN, y grosor de Capa Cobertora distintos a los CDs y DVDs, fue necesario diseñar y desarrollar un mecanismo óptico compatible para CDs y DVDs, ya sea en grabación o lectura. Este fue el mismo problema encontrado en la lectura y escritura de CDs cuando fueron diseñados los dispositivos de lectura y escritura de DVD.

La estructura física de un BD, se diseñó para Grabación en Canal como se ve en la Imagen 1.4.5.

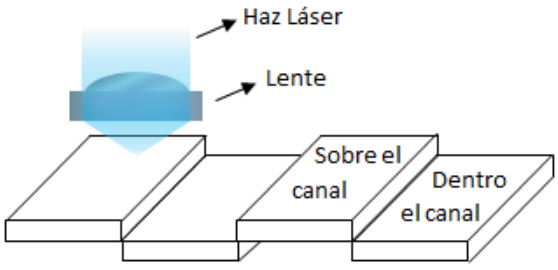


Imagen 1.4.5. *Técnica de Grabación en Canal, ya sea Sobre el Canal o Dentro el Canal.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

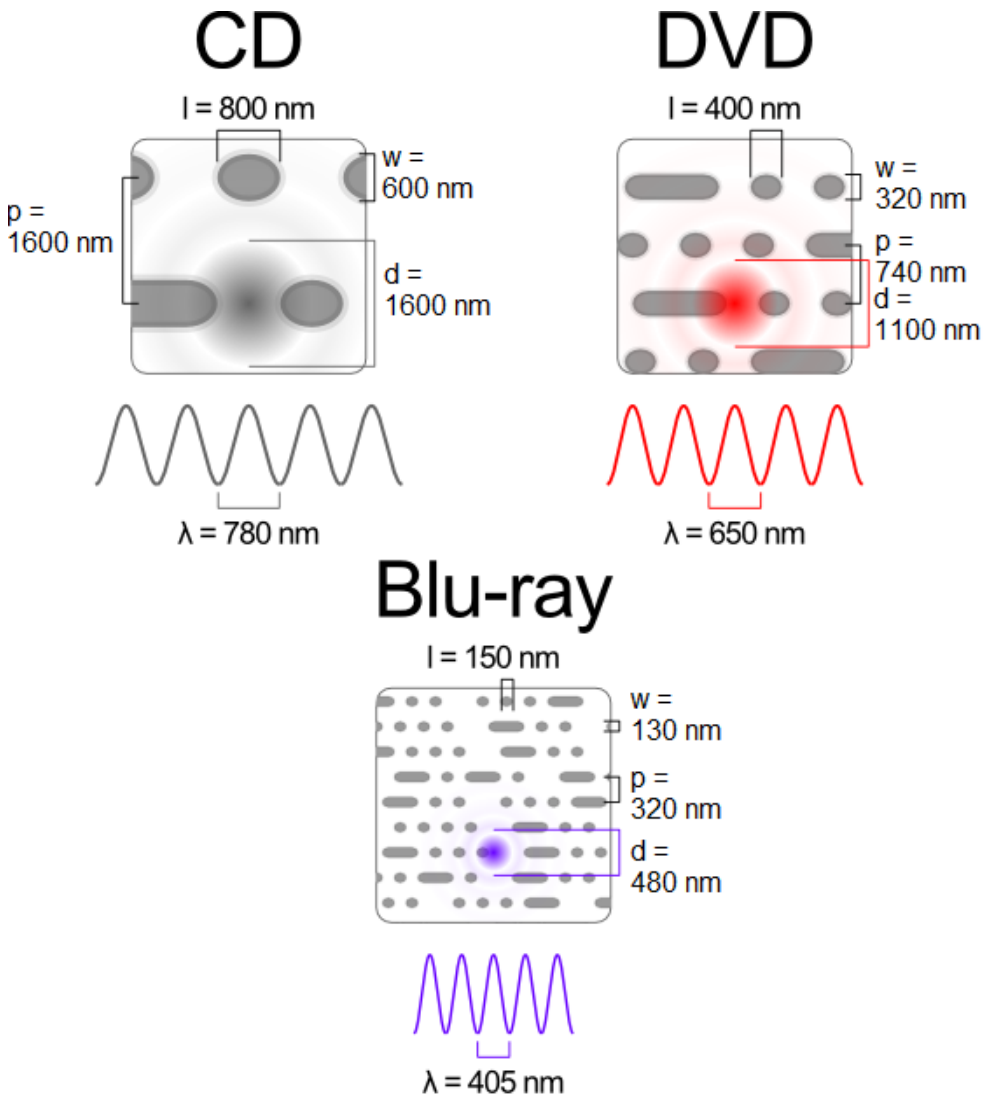


Imagen 1.4.6. *Para CD, DVD, y BD: distancia entre pistas (track pitch) indicado con la letra p; distancia mínima de las marcas indicada con la letra l; grosor de las marcas indicado con la letra w; diámetro del punto focal indicado con la letra d; y longitud de onda del láser indicado con la letra λ.*

1.4.1 Medio y Técnica de escritura del sistema BD

Para el BD, primero se introdujo el sistema RE, y para incluir a los sistemas R y ROM, se adoptó el esquema de Grabación Sobre el Canal (en el que se graba sobre el canal solamente), en lugar del esquema de Grabación en Superficie/Canal (en el que se graba sobre y dentro del canal), de manera tal de incluir a los tres sistemas (RE, R, ROM).

El Masterizado es un proceso muy importante, en el cual se fabrica el estampado a partir del cual se replicarán los discos del tipo ROM. El Masterizado para una distancia entre pistas de 0,32 µm (Blu-ray) parecía en un principio extremadamente difícil; el canal mismo debe formarse con una precisión de

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

casi la mitad de 0,32 µm. Sumado a esto, se debieron realizar intensos desarrollos considerando que en un disco ROM las Marcas deben grabarse en relieve, a partir del molde obtenido en la Masterización.

En discos de 25 GB, primero se permitió el masterizado por Haz de Electrones (EB), y luego el masterizado por Luz Ultravioleta Profunda (*Deep UV*, radiación en el rango de 193 a 245 nm). Incluso se llegó a desarrollar una tecnología de masterización por medio de un haz con longitud de onda de 400 nm.

Para BD-RE y BD-R del tipo HTL (*High To Low*), y considerando el valor alto de AN de 0,85, se optó por el método de Grabación Sobre el Canal, en lugar del método de Grabación Dentro el Canal. Si bien no es fácil de explicar esto en un campo numérico, se seleccionó dicho método en base a resultados de simulación y actuales experimentos (*Imagen 1.4.2.1*).

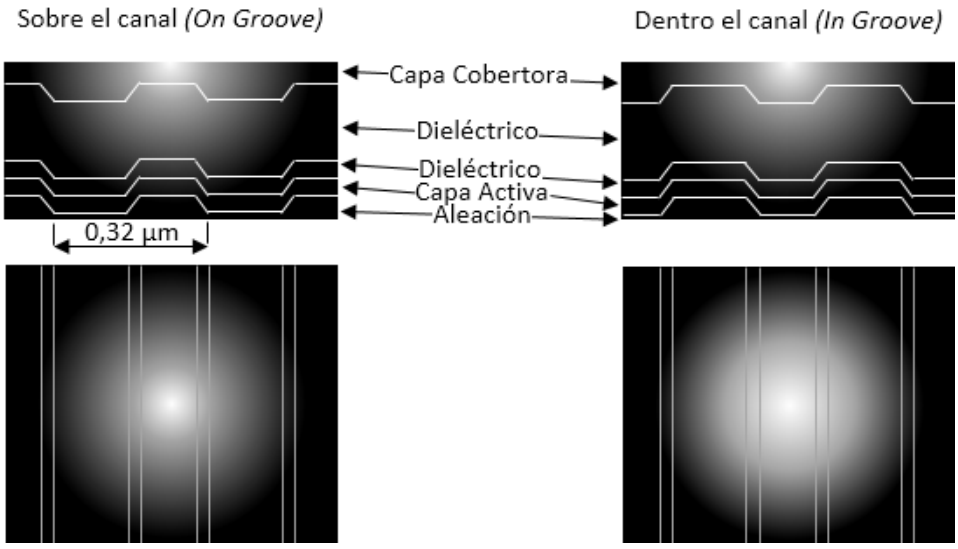


Imagen 1.4.1.1 *Grabación Sobre el Canal (izquierda) y Grabación Dentro el Canal (derecha).*

Como se ve en el esquema de la derecha en la Imagen 1.4.2.1 (Grabacion Dentro el Canal), la energía del haz se propaga de manera radial, por lo que una distancia angosta entre pistas dificulta la técnica de Grabación en Superficie/Canal (en la cual se graba sobre el canal y dentro el canal).

Al principio se dudaba si los discos R responderían o no a la Grabación Sobre el Canal. Sin embargo, ya se habían desarrollado BD-R del tipo HTL (*High To Low*) que tenían esa estructura, y además la Grabación Sobre el Canal es aplicable a formatos derivativos como CD y DVD.

A continuación se desarrolló el disco R de tipo LTH (*Low To High*), que adopta un colorante orgánico como material para escritura. La Capa de Grabación se fabrica mediante el procedimiento conocido como *spin coating,* donde se aplican capas muy delgadas de manera uniforme en un sustrato plano. Se coloca en exceso una cantidad de solución en el sustrato, que luego es rotado a alta velocidad de manera tal de distribuir el fluido mediante la fuerza centrífuga generada por la rotación.

El film o Capa de Escritura (L0, por ejemplo) se fabrica mediante la tecnología de spin coating, y se vuelve apropiado la técnica de Grabación Dentro el Canal (*In Groove*) considerando el proceso de fabricación. Junto al material colorante, hay compuestos que irradian calor y/o explotan, induciendo

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

cambios físicos alrededor de la escritura de la Marca durante la grabación. Esta Marca tiende a extenderse de manera radial, y necesita la pared que se ve en la figura de la derecha de la Imagen 1.4.2.1, donde la Grabacion Dentro el Canal detiene la expansión de la Marca.

Es por ello que se adoptó técnica de Grabación Dentro el Canal para el tipo LTH de BD-R.

Grabación	Método de Grabación		
	Sobre + Dentro el Canal	Sobre el Canal	Dentro el Canal
Grabación en Superficie/Canal	SI	NO	NO
Grabación en Canal	NO	SI	SI

Imagen 1.4.1.2 *Técnicas de Grabación y métodos admitidos en cada una.*

Disco	Grabación	Método de Grabación
BD RE	Grabación en Canal	Sobre el Canal
BD R	Grabación en Canal	Sobre el Canal
BD ROM	No Aplicable	No Aplicable

Imagen 1.4.1.3 *Técnicas y métodos de Grabación definidos para cada tipo de disco BD.*

Video 1.4.1.4 *Proceso conocido como "Spin Coating": es la aplicación de manera uniforme una sustancia sobre el disco para formar un cubriemiento, usando la fuerza centrífuga producto de su rotación.*

El BD-RE usa como medio de grabación un film de Cambio de Fase, donde se produce un fenómeno que cambia el estado de una sustancia en particular, aunque su estructura no cambia: el film de aleación adentro del disco, sufre un cambio en su coeficiente de reflexión cuando el haz láser entra en contacto con el mismo. Para el caso del BD-R, como la información no puede ser borrada, el método de grabación involucra la exposición del disco al intenso haz láser directamente, tal que las marcas no se desbanezcan.

1.4.2 Direccionamiento usando las Ondas del Canal

Tanto el BD-R como el BD-RE (y el CD-R) tienen el exactamente el mismo formato de direccionamiento. El disco contiene en espiral un único Canal Ondeado (un espiral común pero con pequeñas desviaciones en sentido radial) usado no sólo para tracking, sino también generación de tiempos

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

de escritura. Adicionalmente, se usa el Canal (o Surco no grabado, virgen) para embeber en sí mismo direcciones sobre la posiciones de la Pista en toda el área del disco e información auxiliar inherente al disco. Para almacenar esta información, el Canal en el BD-R / RE se modula usando la Ondulación que se le dá al Canal (el espiral tiene una pequeña desviación senoidal o cosenoidal de un espiral perfecto). La amplitud de la Onda es de aproximadamente ± 10 nm, en la dirección radial del disco.

El sistema de direccionamiento usando Hoyos, adpotado en discos DVD-RAM y MO (*Magneto-Optical*), fue uno de los candidatos durante el proceso de investigación de los formatos de dirección para el BD. En general el sistema de Hoyos hace una separación completa entre la escritura / lectura del Area de Datos y del Area de Direcciones. Este método asegura una muy alta confiabilidad durante y después de la grabación. De manera distinta, el desarrollo del formato BD se realizó teniendo en mente al sistema Multi Capas desde los comienzos. Es por ello que las influencias de tener varias capas fueron debidamente examinadas a la hora de elegir el formato de direccionamiento. Como resultado, se adoptó el sistema contínuo de Canal Ondeado (*Groove Wobble*), ya que elimina completamente esas influencias.

En el proceso de grabación, se escriben muy pequeñas Marcas de alta densidad con exactitud. Por ello, la unidad lectograbadora requiere una señal de clock para grabación con alta estabilidad y precisión, por lo que la frecuencia fundamental de las Ondas es una única frecuencia, y el Canal es regular y contínuo. Dada esta única frecuencia, es posible generar una señal de clock estable con facilidad, a partir de los componentes de la Onda filtrados. Puesto que los datos del usuario se graban siempre de manera sincronizada con las Ondas, la longitud del período de una Onda es siempre proporcional a la longitud de la Marca de datos escritos. Entonces la capacidad del disco se determina naturalmente por la longitud del período de la Onda formado en el disco (por ejemplo la capacidad de un disco Capa Unica es de 25.0 GB si la longitud de la Onda es de 5,14 µm, y 27.0 GB si la longitud de la Onda es de 4,75 µm, correspondiendo exactamente a 69 bits de canal por período de Onda).

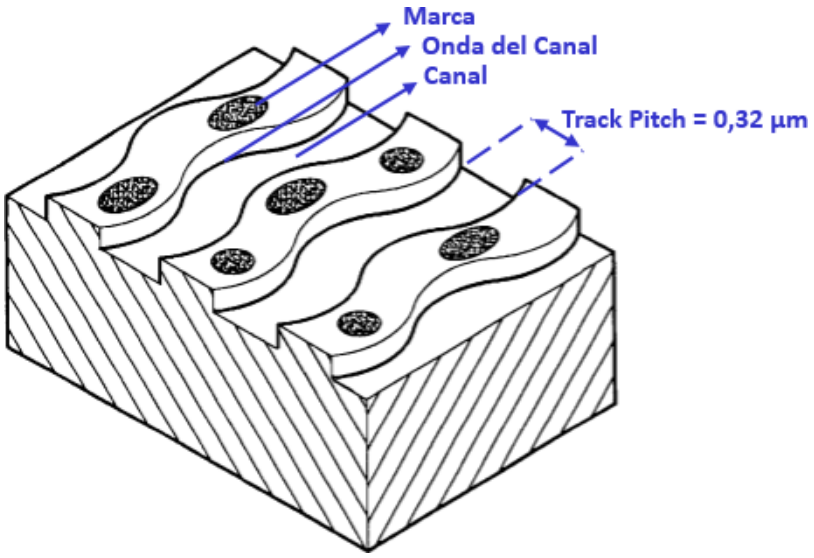


Imagen 1.4.2.1 *El Canal es modulado usando la Onda del Canal mediante la función coseno, MSK, y STW, para almacenar información de direccionamiento.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Además, estas Ondas de única frecuencia se modulan para proveer timing e información de direccionamiento. Esta modulación debe ser robusta contra varios tipos de distorsiones, inherentes a los disctos ópticos. En términos generales, se clasifican las siguientes cuatro distorsiones como posibles en los discos ópticos:

- Ruido: el ruido de Canal es causado por el Film de Escritura y la formación brusca del Canal. El ruido por *crosstalk* de datos se genera por los datos ya grabados.
- Desplazamiento de Onda: fenómeno donde la posición detectada por la unidad lectograbadora está desplazada relativamente de la posición normal, resultando en una disminución en la sensibilidad de detección. El desplazamiento de Onda tiende a ocurrir inmediatamente después de una búsqueda.
- Golpe de Onda: el golpe de Onda se produce por el *crosstalk* entre las Ondas de Pistas adyacentes. La causa es un desplazamiento en la frecuencia angular de las Ondas adyacentes en el formato CLV (*Constant Lineal Velocity*).
- Defecto: una falla local como ser polvo o rayones en la superficie del disco.

Un requerimiento fundamental en el desarrollo del formato de direccionamiento del BD, fue el de tomar medidas para prevenir todas estas distorsiones de diferente tipo. Consecuentemente, el BD usa una combinación de dos sistemas de modulación por Onda, en una configuración que produce efectos sinérgicos sin acciones secundarias; y satisface todos los requerimientos para evitar distorsión, algo difícil de lograr si se usa sólo un sistema de modulación.

BD adoptó un sistema de direccionamiento completamente innovador, combinando modulación MSK (*Minimum Shift Keying*) y tecnología STW (*Saw Tooth Wooble*). El formato de direccionamiento haciendo uso de MSK y STW es altamente estable frente a los cuatro tipos de distorsión listadas.

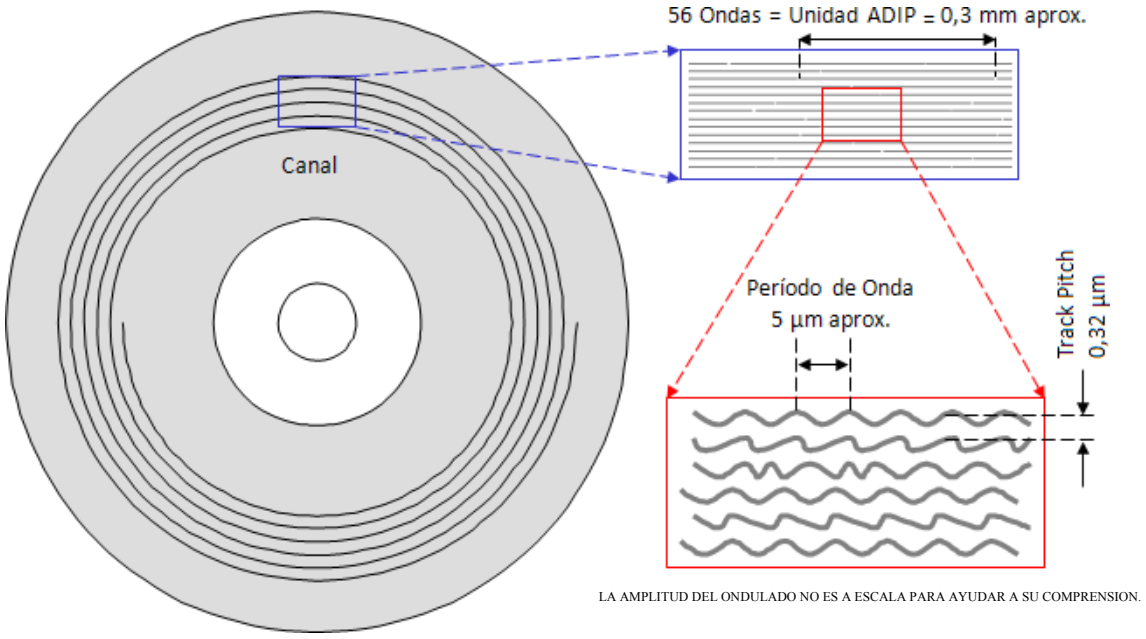


Imagen 1.4.2.2 *Las Ondas del Canal formadas en un espiral en el disco se pueden dividir (si bien son sucesivas) en unidades de bits de información de direccionamiento, ya embebidas. Se las conoce como ADIP (Address in Pre-Groove Unit). Cada unidad ADIP está compuesta por 56 Ondas.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.4.3 Configuracion de la Unidad ADIP y las Formas de Onda del Canal

Antes de continuar, el lector debe entender la diferencia entre el término Onda (del inglés *Wobble*) y el término onda (del inglés *wave*). El primero se usa como nombre propio de la tecnología correspondiente a la forma ondeada que se le da al Canal que se encuentra grabado en el BD. El segundo es cualquier tipo de onda, como ser, la forma de onda de una función seno.

Las Ondas del Canal, que forman el espiral en el disco, pueden dividirse en unidades de bits de información de direccionamiento, embebidas en el dismo mismo (esta división es lógica, puesto que físicamente se ubican de manera sucesiva), como muestra la Imagen 1.4.2.1. Esto se conoce como la Unidad ADIP (*ADdress In Pre-Groove*). Una Unidad ADIP está compuesta por 56 Ondas. La imagen 1.4.3.1 muestra un diagrama esquemático de la Unidad ADIP correspondiente a un uno binario (“1”) y un cero binario (“0”) de dato de dirección, haciendo uso de MSK (*Minimum Shift Keying*) y STW (*Saw Tooth Wobble*).

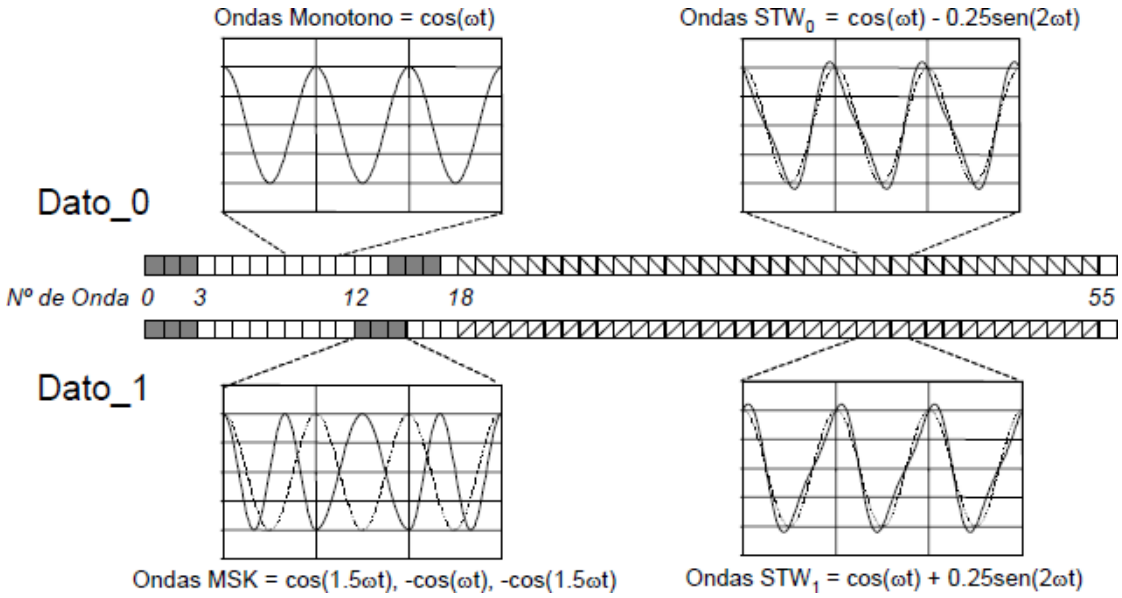


Imagen 1.4.3.1. *Representación esquemática de las Unidades ADIP para Dato_0 y Dato_1. Una Unidad ADIP tiene una longitud de 56 Ondas, que contiene la primer Marca MSK para sincronización de bit, la segunda Marca MSK carcaterizada por la diferencia de posición, y 37 STWs caracterizadas por la diferencia en la pendiente para Dato_0 y Dato_1.*

Las unidades básicas de MSK y STW tienen las siguientes formas. La unidad básica de las Ondas MSK es de tres Ondas, la del medio tiene una polaridad invertida si se la compara con la onda contínua cos(wt) (conocida como Onda Monotono), y se ubica entre medio de las ondas cos(1,5wt). Se aplica MSK usando la función coseno en lugar de la función seno, ya que en MSK con inversión de fase se obtienen conecciones de forma de onda suaves entre las Ondas adyacentes, sin secciones discontínuas. Como MSK utiliza solamente un tipo de forma de onda, se usan las diferencias en la posición de la forma de onda a modo de información.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Las fomras de onda de STW se clasifican en dos tipos. La forma de onda del cero binario tiene bordes que se elevan de manera abrupta hacia el borde exterior del disco, y decaen suavemente hacia el borde interior del disco. Contrariamente, la forma de onda del uno binario tiene bordes que se elevan de manera suave hacia el borde exterior del disco, y decaen abruptamente hacia el borde interior del disco. La fomra es similar a la onda de dientes de sierra (*Saw Tooth*) y de ahí viene el nombre de STW (*Saw Tooth Wooble*). Matemáticamente, STW se expresa como la suma de de la onda fundamental cos(wt) y la segunda armónica sen(2wt) con amplitu de 0,25. La polaridad del segundo componente en el caso del cero binario es la inversión del uno binario. Sin embargo, los cruces por cero no tienen influencia en la fase de reloj generada a partir de la onda fundamental (al igual que para el caso de la Onda Monotono). Si bien una onda de dientes de sierra abrupta se puede expresar incorporando armónicas de mayor orden, la limitación a una segunda componente hace posible mantener la banda requerida limitada para la unidad de masterizado, y prevenir degradación en esas componentes de mayor frecuencia, causada por otras señales.

Cada Unidad ADIP comienza con MSK, como muestra la Imagen 1.4.3.1. El primer MSK, llamado “bit de sincronización”, sirve de identificador del punto de inicio de la ADIP. La diferencia en la posición del siguiente MSK, representa un cero binario o un uno binario. Es decir, hay varias Ondas Monotono entre el bit de sincronización y el segundo MSK, son 11 Ondas para un cero binario y 9 Ondas para un uno binario, es decir una diferencia en posición de 2 Ondas. Se hace notar que MSK utiliza cambio de fase local de la onda fundamental, por lo que deben predominar las áreas sin cambio de fase (ya que hay solamente 6 Ondas MSK y 37 Ondas STW en cada ADIP). Estas áreas son, efectivamente, usadas por STW, en donde la fase de la onda fundamental no cambia. En una Unidad ADIP, se modula en STW desde la Onda 18 a la 54 (es decir, 37 Ondas). Las Ondas que representen un cero binario tendrán bordes que se elevan abruptamente, y las que representen a un uno binario tendrán bordes que se elevan suavemente. De manera de asegurar una veracidad incrementada en el direccionamiento, se está guardando la misma información en una Unidad ADIP, en formatos diferentes (MSK y STW).

Una serie de 83 Unidades ADIP componen una palabra ADIP, que expresa una dirección. Una palabra ADIP contiene 12 bits para datos auxiliares, referencia (explicado luego), Código Corrector de Errores, como así también 24 bits par información de direccionamiento. El BD ubica tres palabras ADIP a cada RUB (*Recording Unit Block*) de 64 KB de datos para grabación.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.4.4 Métodos para detección y características de MSK y STW

La unidad de BD detecta señales de Onda a partir de señales Push-Pull. La Imagen 1.4.4.1 muestra un ejemplo de configuración circuital. Se le permite a la unidad usar MSK y STW de manera independiente o simultánea, para identificar un 0 o un 1 de una Unidad ADIP.

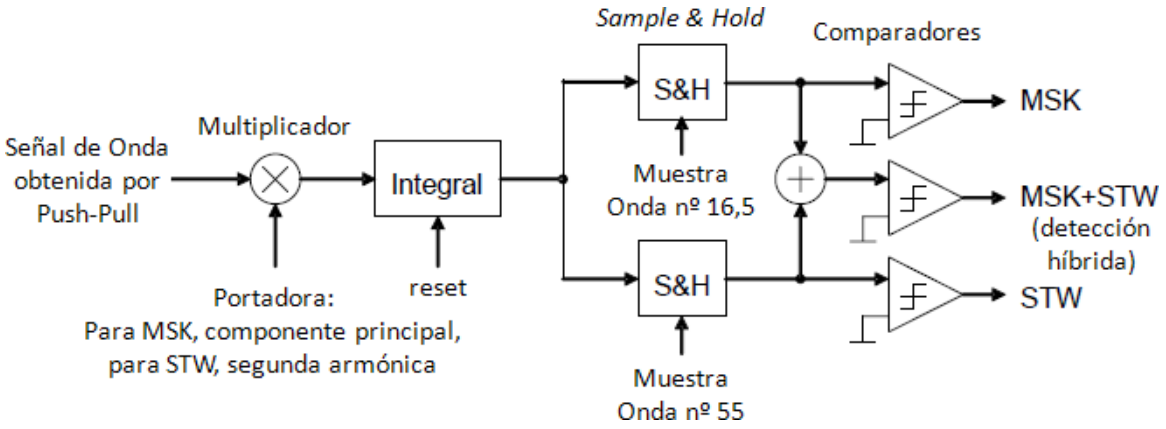


Imagen 1.4.4.1. *Un ejemplo de circuito detector heterodino para las Marcas MSK y STW. Ambas Marcas pueden detectarse usando el circuito común sólo cambiando la frecuencia de la portadora mandada al multiplicador.*

MSK y STW, si bien parecen distintas, pueden detectarse usando los mismos cicrcuitos heterodinos (consistentes en un multiplicador de portadora, un integrador, *sample & hold*, y un comparador). Se logra este aumento del rendimiento en la detección usando un método de detección híbrido donde las integrales de MSK y STW son sumadas.

Sus métodos de detección difieren en que MSK usa la onda fundamental (957 KHz) como portadora para la multiplicación, mientras que STW usa la segunda armónica (1913 KHz). La otra diferencia es la señal de reloj usada para operar cada circuito. MSK y STW son altamente compatibles entre sí en términos de circuitos de detección.

La Imagen 1.4.4.2 grafica la relación entre cantidad de desplazamiento de la Onda y SNR relativo a la sensibilidad de detección, siendo MSK y STW detectadas de manera independiente. Si no ocurre desplazamiento de Onda, el SNR de la detección MSK está 1,6 dB por encima del de STW. Un alto SNR implica una excelente inmunidad al ruido. Si, por otro lado, ocurre un desplazamiento de Onda, MSK pierde sensibilidad para la detección mientras que la de STW se estabiliza frente a desplazamientos de ± 3 Ondas. Por lo tanto, la detección MSK es robusta en caso de ruido, mientras que la detección STW se hace sonar altamente en caso de desplazamientos de Onda. Estas contrastantes características se originan en la ubicación dentro del Canal.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

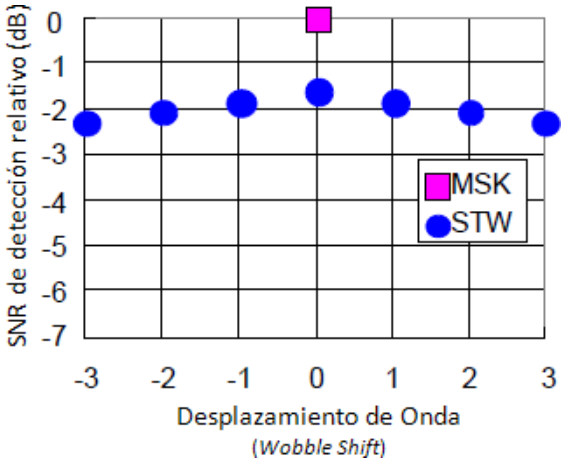


Imagen 1.4.4.2. *SNR calculado para la detección de Marcas MSK y las STWs, usando el circuito de la Imagen 1.4.4.1 para el caso libre de interferencia con pistas adyacentes a causa del desplazamiento de Onda.*

MSK almacena información en un área local haciendo uso de un fuerte cambio de fase de la onda fundamental y es por lo tanto excelente en SNR. STW no es propenso a degradación de rendimiento a causa de desplazamientos posicionales ya que su información se distribuye en una amplia área de 37 ciclos. Como contraste, MSK provee mejor información de posición ya que el bit de sincronismo permite encontrar la cabecera de una Unidad ADIP. STW en un área extensa es insensible y fuerte frente a defectos locales. El resultado de la combinación de MSK y STW en un formato de direccionamiento es el logro de una robustez sustancial frente a los diferentes tipos de distorsiones, como ruido, defectos, y desplazamientos de la Onda, alta performance satisfactoria para desplazamientos de Onda y posicionamiento correcto.

1.4.5 Unidad ADIP de referencia

Un batido de Onda, que son batidos en la frecuencia fundamental de las Ondas, ocurre sustancialmente ya que el Canal en el BD es un Canal agudamente estrecho. Estos batidos modulan tanto la amplitud como la fase del componente de única frecuencia detectado. Por ello, la calidad de detección para MSK y STW se degrada. Es por este motivo que se examinó la longitud de cada ciclo de Onda para minimizar la influencia de los batidos, y se estableció ser el equivalente a 69 señales de clock para escritura en canal.

Además, Unidades ADIP de referencia, que se insertan cada 5 Unidades ADIP, pueden corregir la influencia de los batidos. Esta Unidad de referencia se compone de STW para cero binario, y como esto es sabido desde un comienzo, se hace posible corregir un desplazamiento de fase tal que el valor detectado sea precisamente un cero binario.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.4.6 Resultados experimentales en Márgenes de Error

La Imagen 1.4.6.1 muestra tasas de error de bit en Unidades ADIP para inclinación radial en el caso de detección de datos escritos en un disco de prueba usando sólo MSK, sólo STW, y la combinación de ambos. La medida incluyó, en realidad, varios factores como ser ruido por los datos grabados, desplazamientos de Onda, e interferencias con Pistas adyacentes. Sin resistir esas influencias, el sistema logró una tasa de error de ADIP de 10^{-4} o menos, considerado necesario para el sistema, en un amplio rango. Por cuestiones de practicidad, el margen necesario de error para información de dirección, se asegura para aproximadamente ± 0,7° de inclinación radial. Como comparación, el margen de error necesario para información de dirección se asegura en un rango bastante amplio, proveyendo alta confiabilidad.

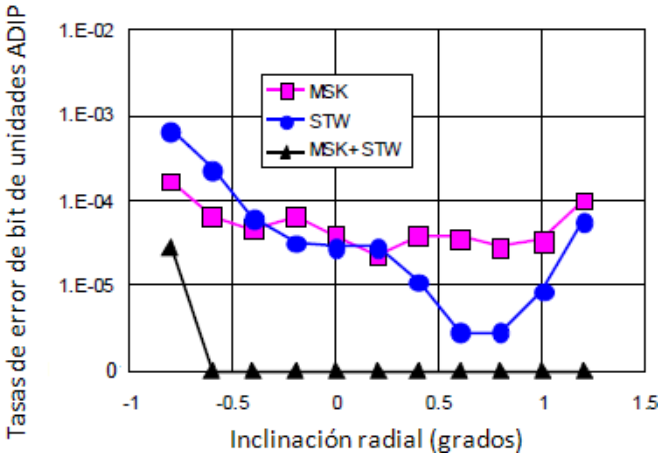


Imagen 1.4.6.1. *Tasas de error para Unidades ADIP de un disco de prueba, en función de la inclinación radial. Las medidas se hacen con Unidades ADIP de $3{,}5x10^{-5}$ puntos de muestreo para Pistas grabadas. Es suficiente para el uso práctico si las tasas de error están por debajo de 10^{-4}.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.5 Esquema del formato de Aplicación del Sistema de Archivos

El estándar de BD-RE consiste en tres partes: Parte 1 (Formato Físico), Parte 2 (Formato del Sistema de Archivos), y Parte 3 (Formato de Aplicación).

El Formato de Aplicación (para RE y R), en términos de transmisiones digitales, permite la grabación de la transmisión del video (imagen y sonido) sin pérdida de calidad, incluyendo datos embebidos o multiplexados acerca de la transmisión. Para esto, el formato emplea el *Transport Stream* (TS): MPEG2-TS, usado por los transmisores digitales. El *stream* de datos MPEG2-TS es grabado en un disco, respetando la estructura que se ve en la Imagen 1.5.1.

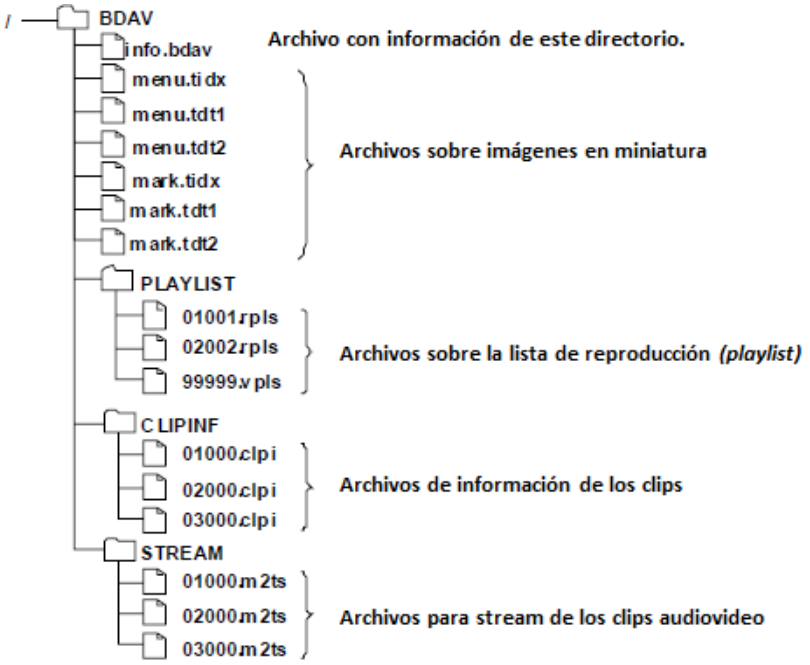


Imagen 1.5.1. *La estructura del Sistema de Archivos en un BD.*

Función de reproducción con Acceso Aleatorio de Alta Velocidad:

Para lograr la funcionalidad de permitir el acceso aleatorio a una determinada escena en un MPEG2-TS y una rápida lectura, se usan tablas con el fin de obtener la ubicación de los datos correspondientes al tiempo pedido por el usuario, provistas para cada *stream* de Clip de audio-video (AV). El archivo con información del Clip se puede ver en la Imagen 1.5.2.

Función de Edición y Marcación:

Se incluye el archivo *Playlist* para el borrado de escenas innecesarias, sin ser necesario copiar o mover datos grabados, como ocurriría en cintas de video, y el borrado de material de edición grabado en el disco. Este archivo contiene el orden de reproducción necesario para designar qué parte del stream del Clip AV es leído; también contiene información de marcadores para permitir accesos aleatorios a escenas de interés.

Función de Búsqueda de Contenido:

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

En cada vista en miniatura de los archivos mostrados en la Imagen 1.5.1, se muestra una pequeña imagen de cada uno, por lo que se pueden hacer búsquedas de contenidos grabados a través de la observación de dichas vistas en miniatura.

Respuesta de Alta Velocidad:

Para mantener mínimo el tiempo de respuesta entre que el disco es insertado y que comienza la grabación/lectura, los archivos se conservan en ciertas áreas del disco.

Alta Confiabilidad:

Incluso cuando los datos se vuelvan ilegibles, ya sea por partículas de polvo o rayones, los casos de información grabada perdida deberían ser evitados todo lo posible. El Sistema de Archivos tiene un mecanismo por el cual siempre realiza una copia de estos (parte de los archivos relacionados con las vistas en miniatura, los archivos con información de los Clips, etc.) a otra área de grabación en el disco, a modo de backup.

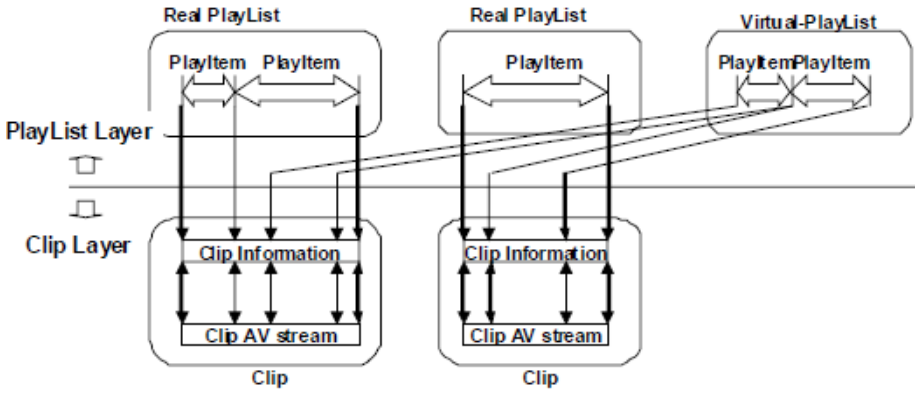


Imagen 1.5.2. *Plano de archivos con información de los archivos de video, y plano de los archivos de video propiamente dichos.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.6 Discos Multi Capa

El sistema de Capa Doble se define para los discos grabables o regrabables. Para lograr la Capa Doble, fueron necesarias varias técnicas nuevas tales como films de grabación súper finos y otros procesos de ensamblado.

BD provee grandes capacidades de grabación tales como 50 GB (25 GB por Capa), es decir más de 4 horas de HDTV y más de 20 horas de SDTV; además, como la lectura/grabación se realiza en una sola cara, el usuario no necesita quitar el disco para darlo vuelta.

La Imagen 1.6.1 muestra un dibujo esquemático del disco Capa Doble: una capa distante 100 µm del plano incidente del láser se define como Capa L0, y otra capa distante 75 µm se define como Capa L1. Un material de Cambio de Fase es usado como medio de grabación, en base a experiencias pasadas con DVD-RAM y DVD-RW.

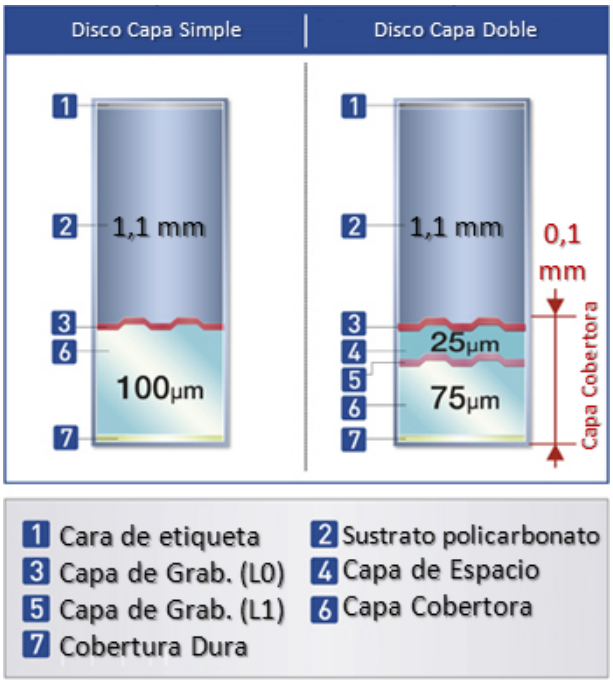


Imagen 1.6.1. Detalle de la estructura del disco BD SL y BD DL.

1.6.1 Proceso de fabricación de discos ROM Capa Unica / Capa Doble

El proceso de fabricación de los discos BDROM-SL y BDROM-DL, usando el método desarrollado originalmente por Panasonic “spin coating”, se muestra a continuación:

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

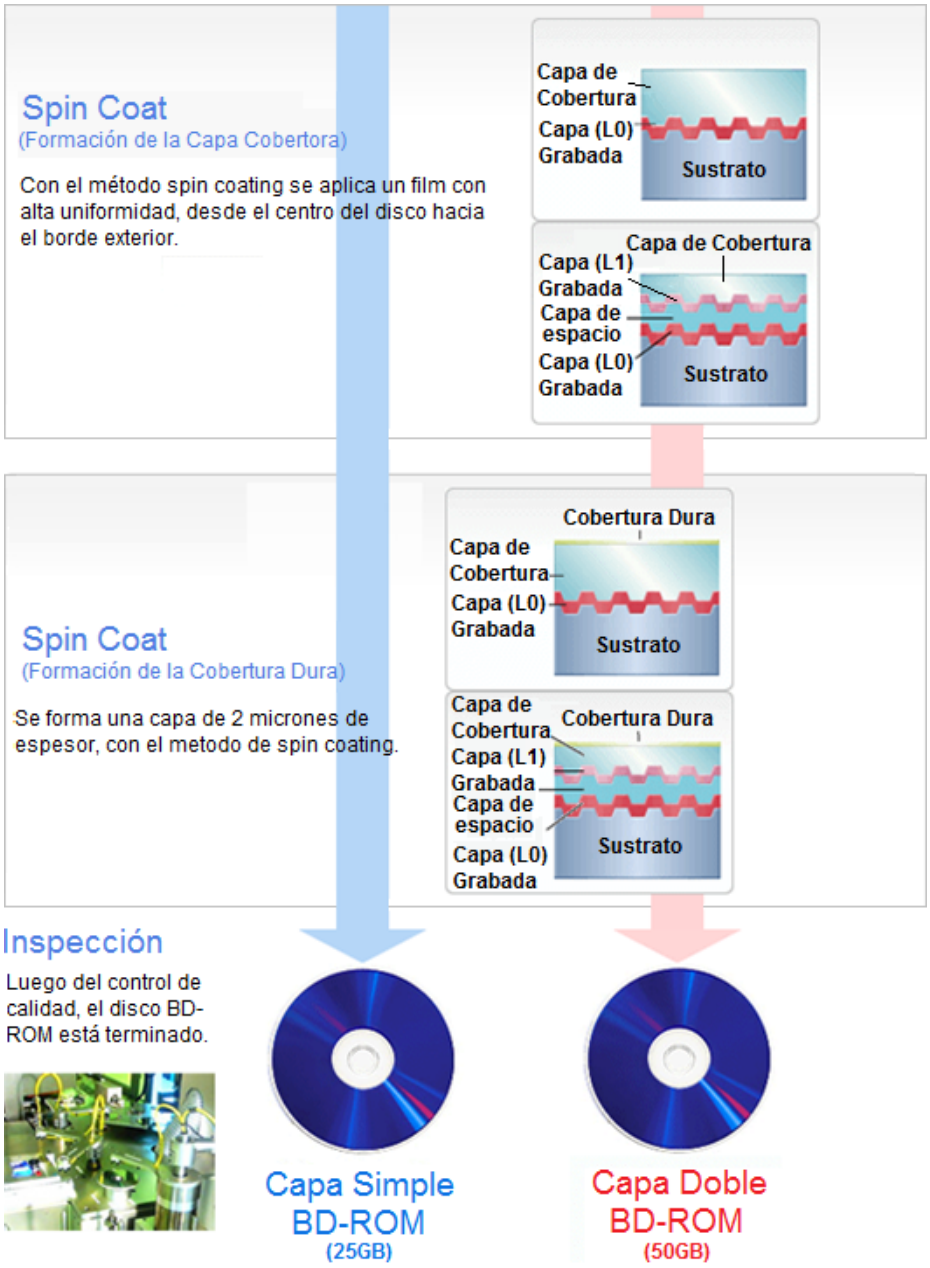


Imagen 1.6.1.1. *Proceso de fabricación de discos BD-SL de 25 GB y BD-DL de 50 GB.*

La Imagen 1.6.1.2 muestra la comparación entre las estructuras del DVD de Capa Doble y el BD de Capa Doble. En un DVD, las Capas Frontal y Lateral se forman de manera separada en dos Sustratos, y luego estos Sustratos se adjuntan uno arriba del otro usando una resina endurecida por UV. Como cada Sustrato tiene un grosor de 0,6 mm, el surco de guía para el rastreo puede ser formado de manera independiente.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

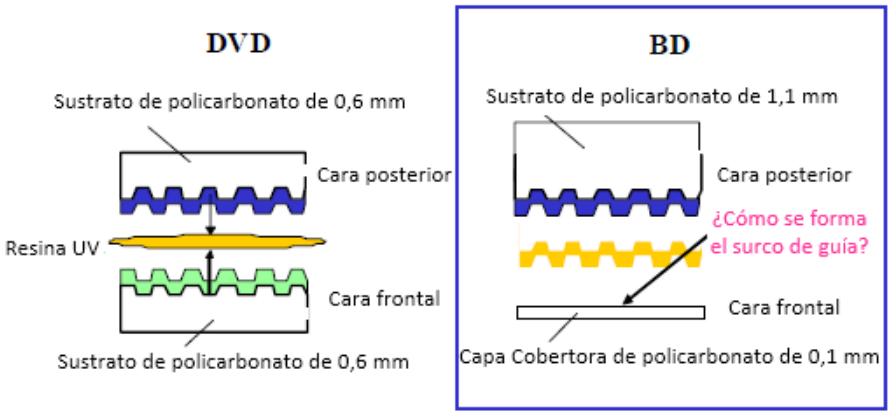


Imagen 1.6.1.2. *Comparación estructural entre los discos Capa Doble DVD y BD.*

Un desafío para los discos BD de Capa Doble fue la Capa Frontal. Se establecieron las siguientes condiciones para dicha capa (Imagen 1.6.1.4):

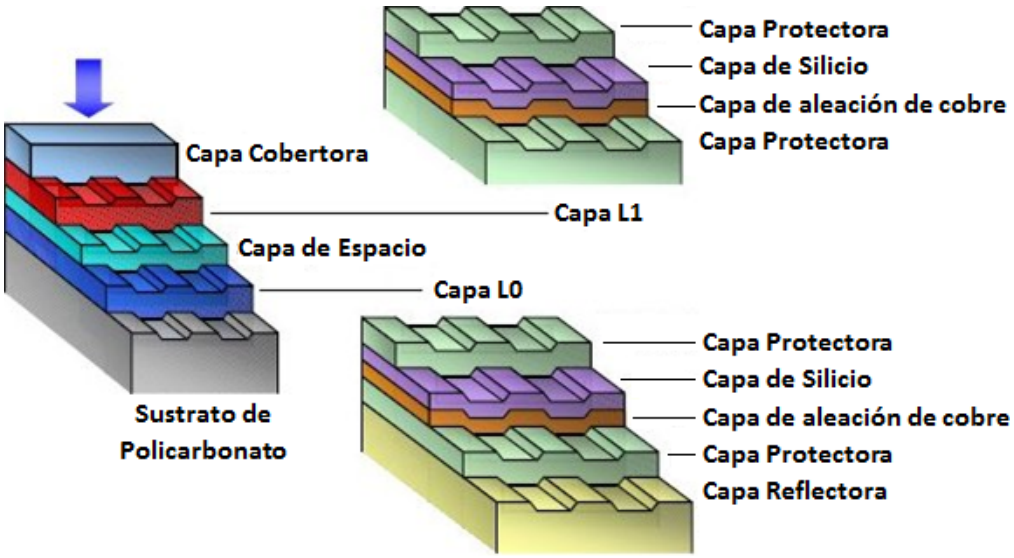


Imagen 1.6.1.3. *Otra vista de la configuracion de capas en discos Capa Doble y Capa Unica.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

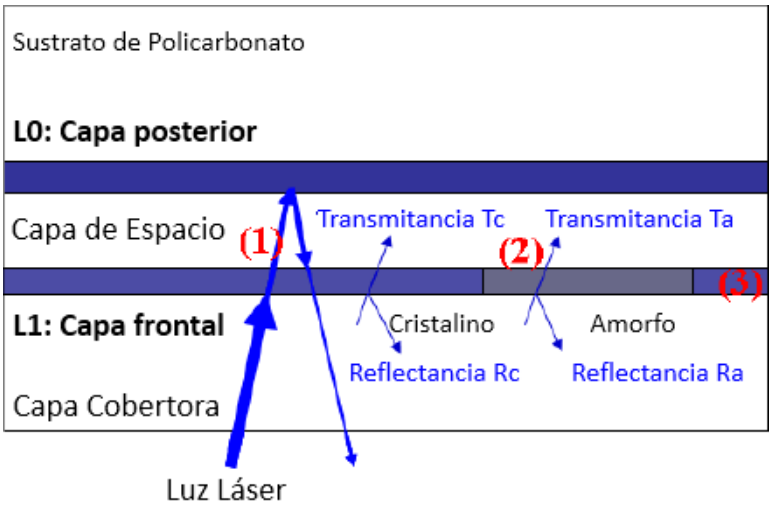


Imagen 1.6.1.4. Las tres condiciones necesarias para tener las propiedades ópticas deseadas en la capa L1.

1) Transmitancia

Para discos de Capa Doble, el haz laser debe ser transmitido a través de la Capa frontal (L1) cuando se quiere leer o grabar información en la Capa Lejana (L0). Mientras se graba en L0, el haz laser sufre un severo desenfoque producido por L1, es por ello que dicha Capa Frontal debe tener una transmitancia óptica de 50% o más.

2) La transmitancia de L1 no debe cambiar antes o después de su grabación

Puesto que el sistema BD tiene una grabación de acceso aleatorio, a veces mientras la Capa Lejana está siendo grabada o leída, puede haber de manera mezclada, áreas grabadas y no grabadas en la Capa Frontal. Si la transmitancia cambia dependiendo de si el área ha sido grabada (zona Ta en la Imagen 1.8.1.4) o no (zona Tc en la Imagen 1.6.1.4), la intensidad del haz que la atraviesa va a fluctuar, lo que será negativo para la lectura o escritura de la Capa L0. Por lo tanto, la selección del material del film de grabación y el diseño de este sistema es importante.

3) Balance entre la velocidad de enfriado y cristalización

Un material de cambio de fase, como el usado en la Capa de Escritura L1, se vuelve amorfo después de ser impactado por un láser de alta potencia durante el proceso de escritura, seguido de un enfriamiento rápido; y se cristaliza cuando es borrado, con una potencia media. Para hacer que L1 sea semitransparante, la película reflectora y la película de escritura deben ser más delgadas en comparación con los discos convencionales.

Sin embargo, hacer más delgadas las películas presenta inconvenientes durante el proceso de escritura porque la velocidad de enfriamiento disminuye luego de la fundición, y durante el proceso de borrado, la velocidad de cristalización también disminuye.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Además se desea que la Capa posterior sea igual a la capa de un disco Capa Unica, considerando la eficiencia del desarrollo y su fabricación, ya incorparadas.

La Imagen 1.6.1.5 muestra la señal producto de la reproducción del disco de 50 GB, para los films o capas L0 y L1. Las características de la señal son comparables a las de un disco Capa Unica. El desarrollo del disco de Capa Doble estableció una clave para futuras mejoras al sistema BD como medio de almacenamiento de gran volumen.

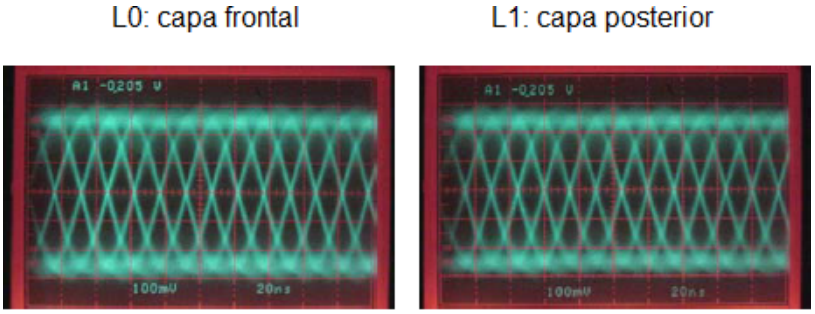


Imagen 1.6.1.5. *Diagramas de ojo para las señales leídas de los discos Capa Doble.*

Capa	SL	DL
Tipo de disco	R, RE o ROM	
Capacidad	25 GB	50 GB
Capacidad/capa	25 GB	
Mínima longitud de Marca	0,149 µm	
Distancia entre pistas	0,32 µm	
Modulación	17PP	
ECC	LDC con BIS	
Tamaño del Sector / Bloque	2 kB / 64 kB	
Trayectoria para pista	-	Trayectoria de pista opuesta
Velocidad de escritura en el medio (excepto ROM)	RE: 1x, 2x R: 1x, 2x, 4x (op), 6x (op)	

Imagen 1.6.1.6. *Resumen de las especifiaciones de los discos Capa Unica y Capa Doble. El factor x es 36mbps.*

1.6.2 Discos de Capa Triple y Discos de Capa Cuádruple

Como ya se dijo, una de las características del formato de BD es la capacidad de apilar capas, formando los discos Multi Capas. La especificación para discos Triple Capa establece 100 GB para tipos R y RE, y para discos Cuádruple Capa establece 128 GB para tipo R. Ambos formatos se denominan BDXL™.

Estas especificaciones se basan en los siguientes conceptos:

1. Uso de los mismos parámetros que Capa Unica/Capa Doble, tales como el grosor de la Capa L0, la longitud de onda del láser, la AN de la lente, la separación entre pistas, el Código Corrector de Errores, el códec de modulación y el formato de dirección Wobble (*Saw Tooth Wobble / Minimum Shift Keying*). Por lo tanto los dispositivos que soporten discos BDXL,

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

usan casi las mismas tecnologías en el mecanismo óptico que los usados en los dispositivos anteriores. Esto ayuda a la interoperabilidad entre discos de Capa Unica, Doble, Triple, y Cuádruple.

2. Se minimizan los cambios para lograr alta capacidad. Con el fin de obtener alta capacidad, ya sea para los de Capa Triple y Cuádruple, se definió el grosor apropiado para cada Capa, excepto para la L0. Además, se incrementó la densidad lineal (capacidad/capa).

3. Se optimizaron las especificaciones para los discos tipo R y RE, para reflejar las diferencias de las propiedades físicas en las pilas de Capas en los discos Multi Capas, como ser reflectividad, potencia de escritura, potencia de lectura, entre otros.

La Imagen 1.6.2.1 muestra brevemente las especificaciones físicas de todos los discos BD. Los discos Capa Unica (SL) de 25 GB o los discos Capa Doble (DL) de 50 GB, pueden ser del tipo R, RE, y ROM. Los discos Capa Triple (TL) pueden ser del tipo R o RE, y los de Capa Cuádruple (QL) son del tipo R solamente.

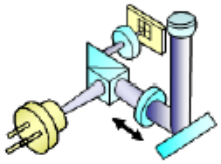
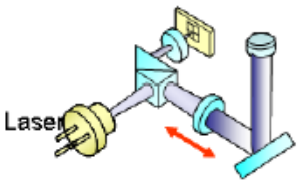
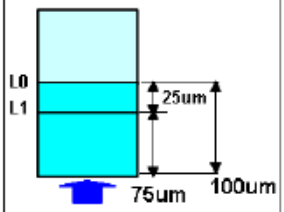
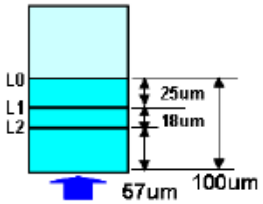
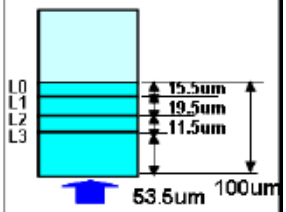
La densidad lineal en los discos TL o QL, es mayor que en los discos SL o DL. La capacidad por capa difiere entre SL/DL, TL y QL.

Capa	SL	DL	TL	QL
Tipo de disco	R, RE o ROM		R o RE	R
Capacidad	25 GB	50 GB	100 GB	128 GB
Capacidad/capa	25 GB		33,4 GB	32 GB
Mínima longitud de Marca	0,149 µm		0,112 µm	0,117 µm
Distancia entre pistas	0,32 µm			
Modulación	17PP			
ECC	LDC con BIS			
Tamaño del Sector / Bloque	2 kB / 64 kB			
Trayectoria para pista	-	Trayectoria de pista opuesta		
Velocidad de escritura en el medio (excepto ROM)	RE: 1x, 2x R: 1x, 2x, 4x (op), 6x (op)		RE: 2x R: 2x, 4x	R: 2x, 4x

Imagen 1.6.2.1. *Resumen de las especificaciones de todos los discos BD. El factor x es 36 mbps.*

La Imagen 1.6.2.2 muestra los parámetros del mecanismo óptico y la estructura de disco. Ya que los parámetros de dicho mecanismo, como la AN y longitud de onda del diodo láser son comunes, un equipo con lectura de discos Triple Capa y/o Cuádruple Capa, puede leer fácilmente discos de Capa Unica o Capa Doble. Todos los tipos de BD tienen la Capa L0 a una profundidad de 100 µm. Al insertar el disco en la unidad, el mecanismo óptico puede buscar la Capa L0 de cualquier disco, con la compensación para la aberración a los 100 µm, y conoce el tipo de disco que está leyendo. El grosor de la Capa Espacial se calculó para evitar conflictos con otras capas.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Capa	Doble Capa	Triple Capa	Cuádruple Capa
Mecanismo óptico de la lente *(optical pickup)*			
AN*	**0,85**		
Longitud de onda	**405 nm**		
Estructura de disco			

*** Valor típico**

Imagen 1.6.2.2. *Resumen de los parámetros para el mecanismo de la lente y la estructura de cada tipo de disco.*

La Imagen 1.6.2.3 muestra la compatibilidad entre sistemas convencionales y BDXL™. Un sistema preexistente que solamente soporte discos de 25 GB y 50 GB, no podrá leer ni escribir discos BDXL. Se preparó un nuevo logo (como se muestra) para distinguir claramente los discos BDXL de los de 25 GB y 50 GB. Un dispositivo que posea el logo BDXL podrá trabajar con un disco que posea el logo BDXL. No es mandatorio, pero el dispositivo que soporte BDXL puede ser diseñado para soportar discos de 25 GB y 50 GB con facilidad, ya que las especificaciones de BDXL han sido desarrolladas para tener poco impacto en el mecanismo de la lente óptica, como ya se ha explicado.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

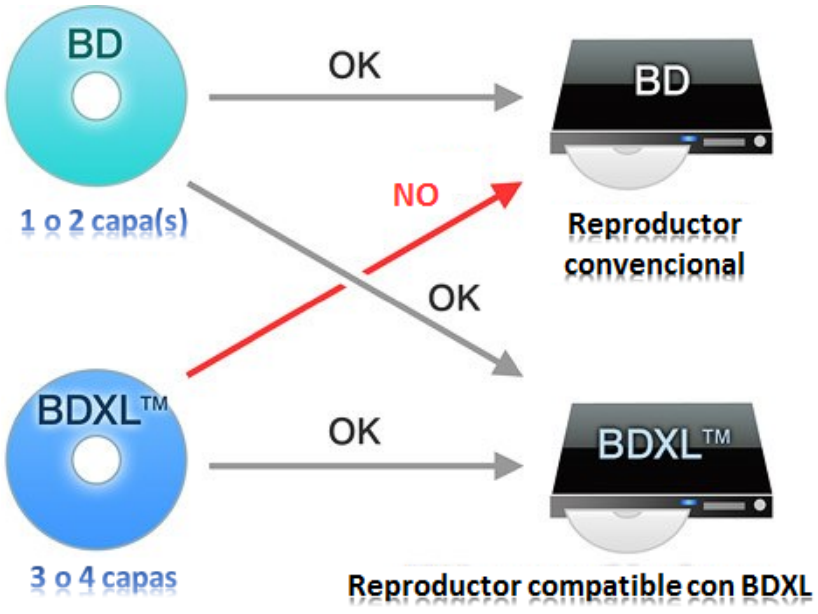


Imagen 1.6.2.3. Compatibilidad entre dispositivos convencionales y BDXL™.

El disco del tipo BDXL™ puede ser usado a nivel profesional. El mercado de archivo crece rápidamente, paralelamente a ésta explosión de datos, los discos BDXL son de gran utilidad en estos segmentos de negocios (Imagen 1.6.2.4).

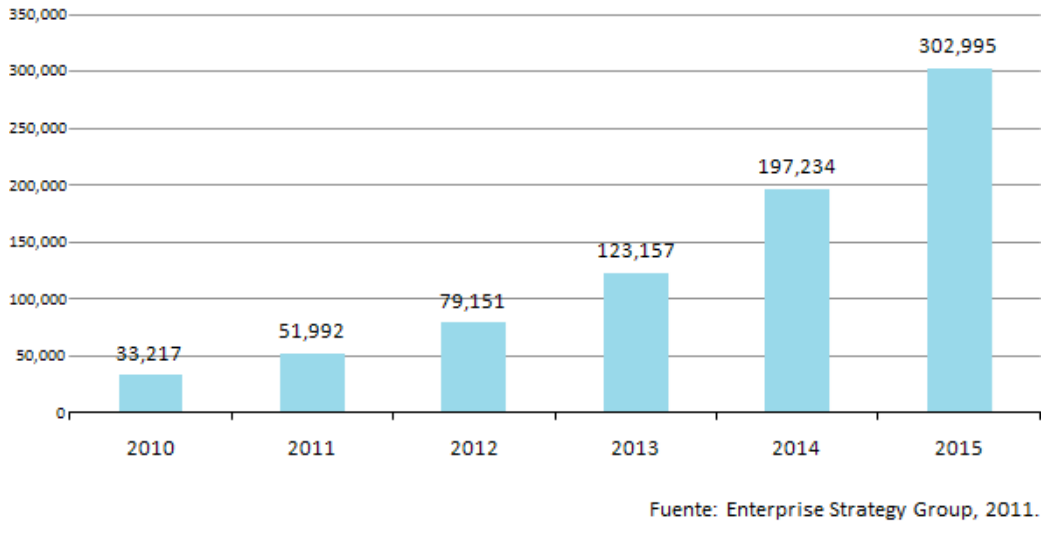


Imagen 1.6.2.4. Capacidad de Archivo Digital Mundial Total, todos los Tipos de Contenidos, 2010-2015 (Petabytes).

Debido a que la capacidad de las memorias flash es cada vez más grande, es necesario aumentar la capacidad de los discos para hacer posible un *backup* de esta información. Además, hay un fuerte pedido de la industria profesional de poseer dispositivos de gran capacidad para archivo, cámaras

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

de video profesional y servidores profesionales de almacenamiento de enorme cantidad de información (Imagen 1.6.2.5).

El disco BDXL cumple estos requisitos; además de poder ser usado por el mercado de consumidores como un medio de grabación de mayor capacidad aún que los discos de 25 GB y 50 GB.

Imagen 1.6.2.5. *Demanda del sistema BDXL para archivo seguro de información.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.7 Requerimientos de calidad de señal

La Imagen 1.7.1 muestra los requerimientos de calidad para la señal, especificados en los Libros de Formato.

Capa	SL	DL*	TL	QL
Tipo de disco	R, RE o ROM		R o RE	R
Capacidad	25 GB	50 GB	100 GB	128 GB
Índice para evaluacion de calidad de señal requerida con tester	Jitter con Ecualizador Límite		i-MLSE* con PR(1,2,2,2,1)	
	L0 <= 7,0 %	L0 <= 7,0 % L1 <= 8,5 %	L0 <= 11,0 % L1 <= 11,5 % L2 <= 12,0 %	L0 <= 11,0 % L1 <= 11,0 % L2 <= 11,5 % L3 <= 12,0 %
R-SER requerido al disco	2,0E-4 (definido en la Parte 1 de las Especificaciones)			
R-SER requerido a la unidad	1,0E-3 (Criterio en las Especificaciones de la unidad)			
*i-MLSE: integrated Maximum Likelihood Sequence error Estimation				

Imagen 1.7.1. *Requerimientos de calidad de señal especificados en los Libros de Formato.*

La calidad de señal de un disco SL o DL, se mide con el Ecualizador Límite. Si la densidad lineal aumenta, se usa un nuevo índice para la evaluación de la calidad de señal, por eso para el caso de los discos TL o QL se usa el i-MLSE (Estimación de error por Secuencia de Probabilidad Máxima - *integrated Maximum Likelihood Sequence error Estimation*). La especificación requerida para cada capa se muestra en la Imagen 1.7.1. El valor para las capas más cercanas a la lente es más flexible, ya que un camino óptico más corto implica mayor tolerancia a posibles inclinaciones del disco.

Hay dos tipos de R-SER (Tasa de Error de Símbolo Aleatorio). El que se especifica en la Parte 1 es para el disco: cuando una unidad de prueba graba y mide el disco grabado, su R-SER debe ser menor a 2×10^{-4}. El que se especifica en las características de la unidad de prueba, es para dicha unidad: cuando ésta graba el disco, su R-SER debe ser menor a 1×10^{-3}.

1.7.1 Medición del Jitter con el Ecualizador Limite

Por lo general, un Sistema lector de señal de reproducción usa el Ecualizador Limite para mejorar el SNR alrededor de los huecos de longitud mínima en el disco y para suprimir el ISI. El ruido de disco existe principalmente en una región de baja frecuencia como se ve en la Imagen 1.7.1.1. Cuando la alta frecuencia alrededor de un hueco de mínima longitud se aumenta selectivamente usando el Ecualizador Limite, el nivel de señal de dicho hueco puede mejorarse de manera remarcable con solamente un pequeño aumento en la cantidad total de ruido. Es decir, es posible mejorar el SNR usando un Ecualizador Limite que incremente altas frecuencias. Sin embargo, como un aumento excesivo de altas frecuencias provoca un incremento del ISI, el Ecualizador Limite convencional mejora el SNR dentro de un límite determinado.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

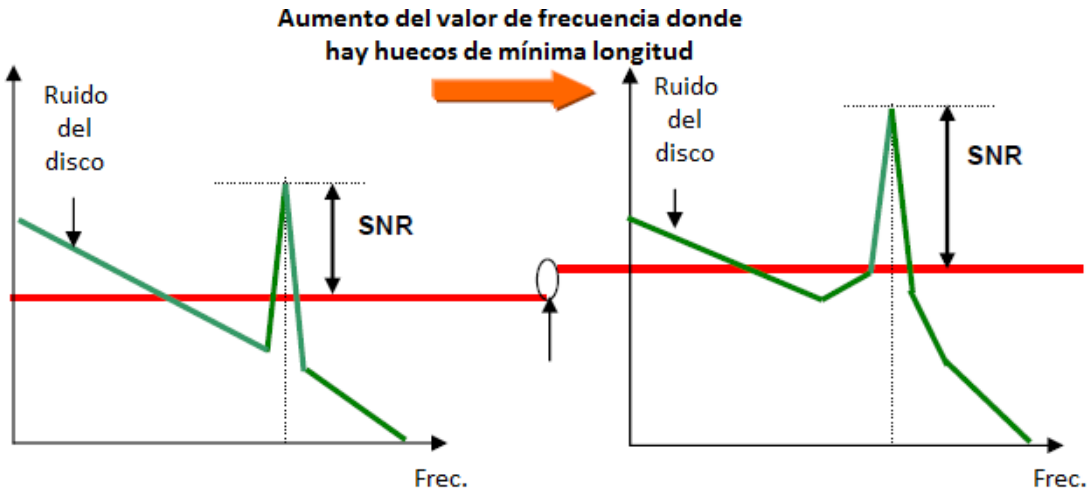


Imagen 1.7.1.1. Mejora del SNR de un Ecualizador Límite.

1.7.2 Mejora del SNR de un Ecualizador Límite

El Ecualizador Límite es capaz de aumentar las altas frecuencias sin incrementar el ISI. La Imagen 1.7.2.1 muestra la configuración de dicho Sistema de ecualización usado en modulación 17pp. En este Sistema, un Pre Ecualizador (implementado por un Ecualizador Lineal convencional) minimiza el ISI desde el comienzo. El Ecualizador Límite se ubica próximo al Pre Ecualizador, y tiene casi la misma construcción que un Filtro Lineal FIR (*Finite Response Impulse*, filtro cuya respuesta al impulse es de duración finita, ya que en un tiempo finito se estabiliza en cero), excepto que el Limitador restringe parte de la amplitud de la señal de reproducción. El filtro FIR actúa como un Ecualizador para el aumento de altas frecuencias, y su ganancia se determina por el coeficiente "k", aumentando la ganancia del filtro FIR al aumentar k.

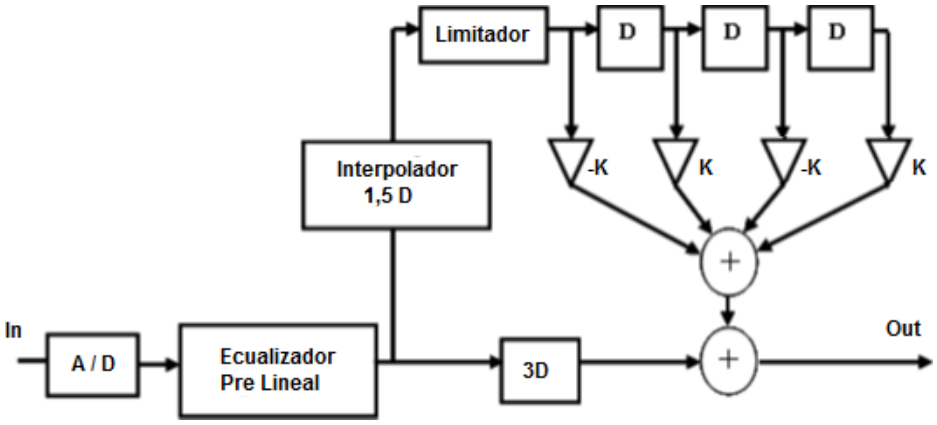


Imagen 1.7.2.1. La configuración del Ecualizador Límite.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

En la Imagen 1.7.3.1 se indica con pequeños círculos los valores de la señal para el ejemplo. Para entender el funcionamiento del Ecualizador Límite, hay que prestar atención al punto que cruza el cero y a los puntos cercanos a éste.

1.7.3 Funcionamiento del Ecualizador sin el Límite

En la figura de la izquierda de la Imagen 1.7.3.1, si la forma de onda de la señal de reproducción es simétrica, como la que indica la línea sólida, la sumatoria de información que hace el Ecualizador es cero, como se expresa en la ecuación (1), y el punto que cruza por cero no cambia:

$$(-k).(-a) + (k).(-a) + (k).(a) + (-k).(a) = 0 \qquad \text{ec. (1)}$$

Sin embargo, si la forma de onda de la señal de reproducción es asimétrica, como la que indica la línea punteada, la sumatoria de información que hace el Ecualizador no es cero, como se expresa en la ecuación (2), resultando en ISI:

$$(-k).(b) + (k).(c) + (k).(d) + (-k).(e) \neq 0 \qquad \text{ec. (2)}$$

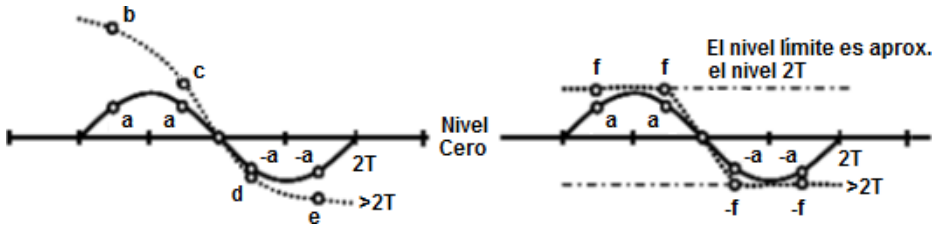


Imagen 1.7.3.1. Funcionamiento del Ecualizador Límite. A izquierda, sin Ecualizador Limite. A derecha, con Ecualizador Limite.

Si se usa un Limitador para restringir la amplitud de la señal a un nivel de amplitud pico (aproximado) de la señal de menor longitud de onda, la forma de onda se vuelve simétrica como se muestra con la línea punteada en la figura de la derecha de la Imagen 1.7.3.1. En ese caso, la sumatoria de información que hace el Ecualizador es cero de manera constante, como se expresa en la ecuación (3):

$$(-k).(f) + (k).(f) + (k).(-f) + (-k).(-f) = 0 \qquad \text{ec. (3)}$$

El Limitador no actúa en una señal con mínima longitud de hueco o marca, y el Ecualizador amplifica la amplitud de la señal. Para una señal de baja frecuencia con alta amplitud, el Limitador restringe la amplitud. La ganancia del filtro disminuye, por lo que el Ecualizador Límite puede aumentar las altas frecuencias sin incrementar el ISI, y mejora el SNR.

Como el formato de BD adopta grabación de alta densidad y modulación 17PP, la longitud mínima de un hueco es más corta que la de un disco óptico convencional, y su SNR es menor. La decodificación Viterbi en la unidad del disco, puede compensar el bajo SNR para permitir un buen rendimiento durante la reproducción del disco. Sin embargo, como la salida del decodificador Viterbi es el resultado de una determinación 1 / 0 y es pobre en sensibilidad, por lo general no es aplicable su uso para evaluar discos ópticos.

El jitter de las señales procesadas por el Ecualizador Lineal se domina por el componente atribuido al ruido del disco mismo, y no al componente al componente atribuido a la calidad de los huecos grabados, haciendo difícil determinar si la grabación es óptima o no. Al respecto, un Ecualizador Lineal no se ajusta para evaluar los discos.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

El Sistema de BD usa el Ecualizador Límite para mejorar el SNR y para medir el jitter, como métodos de evaluación del disco. Con ese ecualizador, es posible determinar la calidad de los huecos o marcas grabadas, con alta sensibilidad. La Imagen 1.7.3.2 muestra la relación entre jitter y tasa de error. Si bien el Ecualizador Limite contiene un bloque no lineal en su interior, la relación de entrada / salida es lineal, y adecuada para el Sistema de medida.

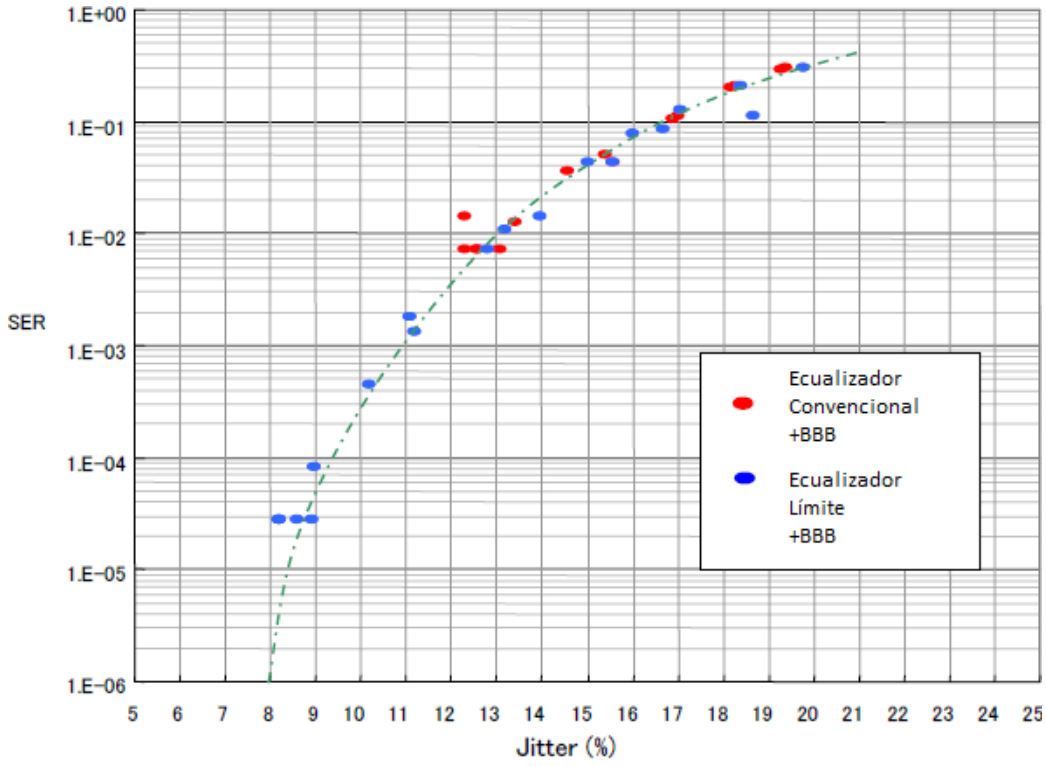
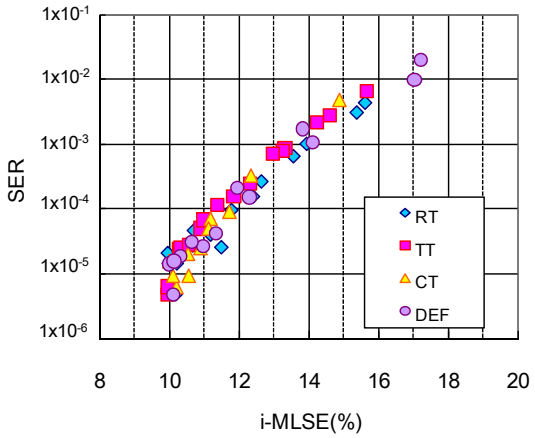


Imagen 1.7.3.2. *La relación de la tasa de error y el jitter del Ecualizador Convencional y del Ecualizador Límite.*

1.7.4 i-MULSE

En los formatos BDXL la capacidad por capa se eleva hasta 33,4 GB o 32 GB, sólo incrementando la densidad lineal. Como resultado de ello, en BDXL, el ISI de la señal leída se hace mucho más fuerte comparado al formato anterior que contiene 25 GB por capa. Es por esto que debe ser mejorado el procesamiento de la señal leída. Además, el método anterior para la evaluación de la calidad de la señal usando la tecnología con Limit Equalizer no es aplicable. *Integrated-Maximum-Likelihood - Sequence-Error-Estimation* (i-MLSE), que es un método alternativo para evaluación de la calidad de señal para BDXL, fue nuevamente desarrollado, y preserva la estabilidad y precisión en esta condición severa de ISI para discos BDXL. El método de evaluación de i-MLSE se basa en el principio de detección del Algoritmo Viterbi en el procesamiento de señales PRML (Probabilidad Máxima de Respuesta Parcial –*Partial Response Maximum-Likelihood*)

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD



RT: Inclinación radial
TT: Inclinación Tangencial
CT: Error por variación de grosor del disco
DEF: Des focalización

Imagen 1.7.4.1. *Correlación entre el SER y el i-MLSE.*

1.7.5 RSER (Tasa de Error de Símbolo Aleatorio - *Random Symbol Error Rate*)

Se dispone del ECC para recuperar datos correctos a partir de los datos dañados por algún defecto. Pero la habilidad del sistema de ECC para corregir los datos en el disco, se usa no solamente para los defectos sino también para errores aleatorios en dicho disco. Para garantizar la capacidad de corrección del ECC frente a los defectos generados por el usuario (huellas dactilares, rayones), deben ser especificados tanto el RSER como los nombrados defectos. Aproximadamente, se reserva más de la mitad de la capacidad de corrección del sistema ECC para los defectos causados por el usuario. El RSER para juzgar el margen del sistema es 4,2 x 10^{-3}, valor derivado de la peor condición en donde todas las degradaciones de un disco y la unidad donde esté ocurren simultáneamente. Es por eso que dicho valor es muy alto para el valor de RSER en el que trabaja el ECC. Para DVD se usó un RSER de 1,0 x 10^{-3}, correspondiente a una condición de contorno sumada a alguna degradación como ser la peor inclinación radial, con un poco de inclinación tangencial y perdida de foco, es decir en una unidad bastante mala.

En el sistema BD, se coloca un decodificador Viterbi, entre la señal recibida y el circuito ECC. El decodificador Viterbi tiene la característica de mejorar el SNR y puede reducir el valor de RSER menos de diez veces. El circuito de medida Limit Equalizer, también puede mejorar el SNR tanto como el decodificador Viterbi, e igualmente reducir el valor de RSER a menos de diez veces.

Con Limit Equalizer, se especifica un RSER de 2,0 x 10^{-4} (es decir 1/5 de 1,0 x 10^{-3}). Para medir el RSER, se debe quitar la degradación debida a los defectos de usuario. En proceso de desarrollo, se tomó un promedio en un largo bloque ECC, y fue usado para quitar los efectos producidos por los defectos generados por el usuario, pero este método usando promedios no era suficiente para medir un valor tan bajo de RSER.

En el radio más cercano, hay 2,11 bloques de ECC en una rotación. Si hay muchos defectos, como se muestra en la Imagen 1.7.5.1, entonces hay 100 bytes erróneos por cada 2,11 bloques de ECC. Esta es la razón por la que el RSER medido se dispara en presencia de un defecto.

Entonces se decidió separar al RSER y los defectos en el método de medidas.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Considerando la capacidad del ECC, los defectos permitidos en un bloque ECC (en la especificación el bloque se llama Bloque LDC) se especifican en 600 bytes en total, y el número máximo de defectos en 7. Del RSER medido, se excluyen errores consecutivos de 40 bytes o más, esta es la longitud de 2 BIS (*Burst Indicating Subcode*) sumado a los datos (38 bytes) y corresponde a la ráfaga mínima de error que el BIS puede detectar. Se usa el método indicado en la Imagen 1.7.5.1, para que el ECC detecte la ráfaga errónea correctamente. Se recurrió a circuitería adicional para controlar los datos corregidos, después del ECC, se intercalan dichos datos para obtener la ubicación correcta de estos datos en el disco. Se compara esta información corregida por el ECC con la información en el disco, y se identifican los símbolos erróneos.

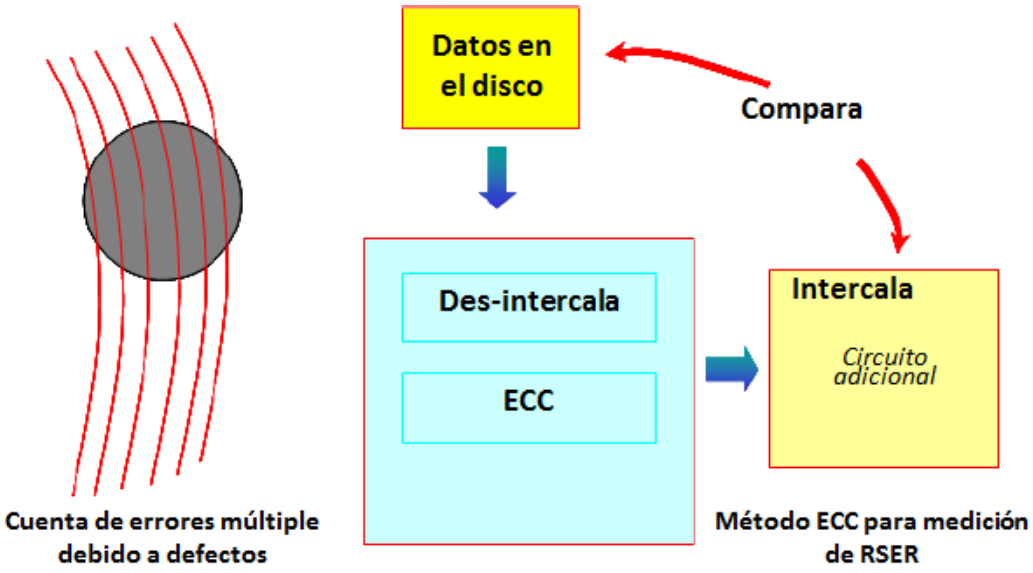


Imagen 1.7.5.1. *Esquema de funcionamiento del sistema para detección y corrección de errores.*

Tomando como ejemplo el patrón erróneo de la Imagen 1.7.5.2, el estándar especificó el siguiente procedimiento para evaluar la ráfaga de error de 40 bytes:

La ráfaga comienza luego de 3 o más bytes correctos. Se sigue contando longitud de error si la longitud de bytes correctos entre bytes erróneos es de 2 bytes o menos. La cuenta de longitud de error se detiene si aparecen 3 o más bytes correctos. Si bien la longitud de error incluye bytes correctos de 2 o menos, esos bytes correctos son excluidos del número de bytes erróneos. Los errores de 40 bytes o más se excluyen tanto del numerador como denominador en el cálculo del RSER. Los errores en ráfaga menores a 40 bytes se incluyen en los bytes erróneos. Si bien el RSER es promedio en alrededor 10.000 bloques ECC, para la medida es permitido un promedio de 1.000 bloques ECC si el disco muestra un buen RSER.

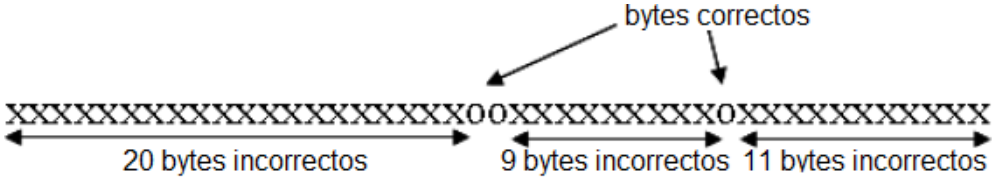


Imagen 1.7.5.2. *Ejemplo de patrón de error.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.7.6 Código de Modulación

Los códigos de modulación son uno de los elementos claves en los sistemas de almacenamiento óptico como CD, DVD, y BD. En un sistema de almacenamiento digital (Imagen 1.7.6.1), se distinguen dos partes: la de transmisión, que incluye al canal de escritura en el cual el usuario guarda la información en el disco, y la de recepción, que incluye al canal de lectura cuyo objeto es brindar la información original cuando se realiza la lectura de los datos ya grabados en el disco.

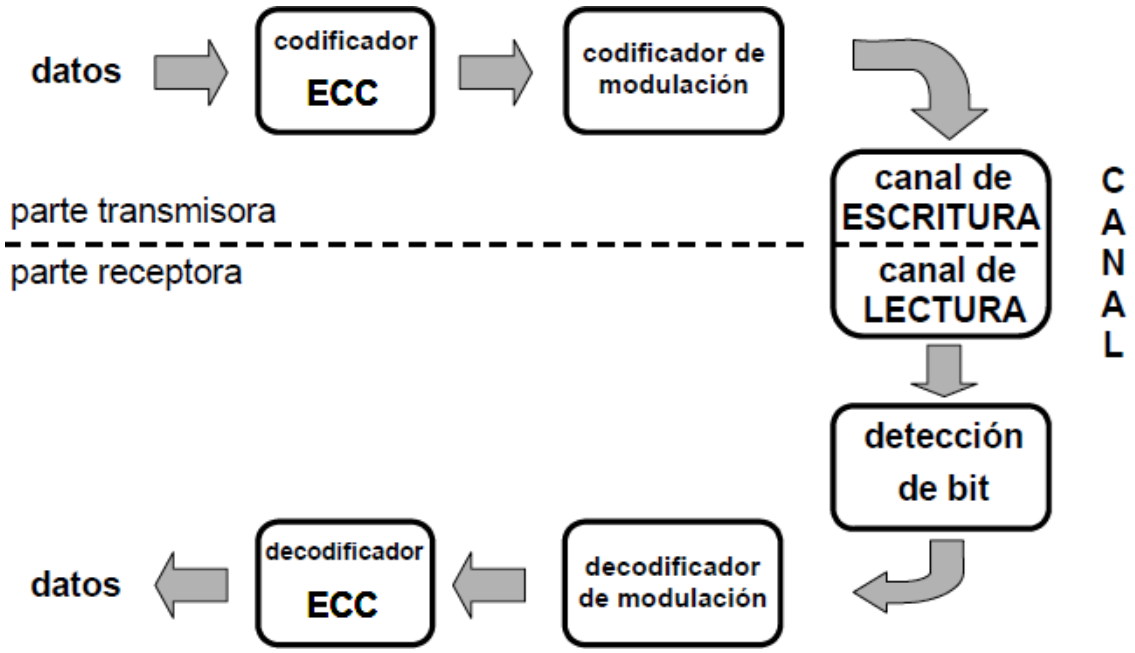


Imagen 1.7.6.1. *Forma esquemática de un sistema de almacenamiento digital.*

Para alcanzar un nivel lo suficientemente elevado de confiabilidad, la información se codifica antes de ser almacenada. Típicamente, esa codificación incluye un Código Corrector de Errores (ECC) y un Código de Modulación. El codificador de canal (hacia el final de la parte transmisora) consiste de un codificador ECC y un codificador de modulación. Hacia el final de la parte receptora, está la detección de señal física con el cabezal de lectura que escanea la información en el disco, seguida por el módulo de detección de bit, cuya función es obtener de la manera más confiable posible los bits grabados (llamados bits de canal), a partir de las señales medidas. Estos bloques preceden al decodificador de canal, compuesto por el decodificadpr de modulación y el decodificador ECC.

ECC agrega redundancia en la manera de símbolos de paridad, que hace posible obtener nuevamente la información correctra en caso de imperfecciones en el canal, como ser errores aleatorios y/o errores en ráfaga, que pueden ocurrir durante la lectura del disco. El Código de Modulación sirve para transformar secuencias binarias arbitarias a secuencias que posean ciertas características de interés. Una muy conveniente, es que las secuencias almacenadas no contengan una cantidad sucesiva muy corta o muy larga de “1” y/o “0”. La razón de ello se origina en la manera en que es leída la secuencia ya grabada en este medio de almacenamiento.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

En grabación digital, la modulación de las señales físicas se relaciona con dos estados físicos del disco: es el nivel de reflectividad (alto o bajo) de las Marcas y Espacios. Un estado físico se asocia con un bit de canal "1", el otro con un "0", representación comúnmente conocida como NRZI (*Non-Return-to-Zero Inverted*). Una representación equivalente del bitsream del canal es la notación NRZ (*Non-Return-to-Zero*), donde el bit "1" indica el comiendo de una nueva Marca o Espacio, y el bit "0" indica la continuación de una Marca o Espacio. El bitstream NRZI de un canal, se puede particionar en una secuencia de vectores (*runs*), y cada vector está compuesto por bits de canal consecutivos del mismo tipo. El número de bits en el vector se conoce como longitud del vector (*runlenght*). Se muestra en la Imagen 1.7.6.2 una pequeña porción de dos Pistas en un disco. A lo largo de la Pista, se alternan físicamente Marcas y Espacios, cuyas longitudes son múltiplo de T, definido como la longitud de bit del canal.

Vectores muy cortos implican que durante la lectura que se realiza en la detección física se obtengan amplitudes de señal muy pequeñas, y por lo tanto son más propensos a tener errores en el módulo de detección de bit. También, vectores muy largos implican imprecisiones a la hora de recuperar la señal de clock, lo que se mitiga con el uso de PLL (*Phase-Lock Loop*). El PLL regenera el clock de bit interno ajustándolo en cada transición. Aquellas áreas en el disco que tengan muy pocas transiciones pueden causar desplazamientos de clock. Para evitar estos vectores de longitud muy pequeña o muy larga, se usa un código RLL (*Run Length-Limited*), que restringe las longitudes mínimas y máximas permitidas que se dan en los bits del canal. Las restricciones dadas por RLL se describen con dos parámetros: d, y k. Las longitudes mínimas y máximas son d+1 y k+1, respectivamente. En el caso sin codificación, d=0 y $k=\infty$.

En la notación NRZ, un vector de longitud m+1 se representa por un bit en "1" seguido de m bits en "0". Por eso, la restricción d-k en una notación NRZ requiere que la cantidad de bits en "0" entre dos bits sucesivos en "1" sea pro lo menos de d, y como máximo de k. La mayoría de los códigos RLL se contruye con la notación NRZ. Luego, la transformación de NRZ a NRZI entrega los bits de canal que serán los que se grabarán en el disco: esto se hace mediante el precodificador 1T, que es un integrador módulo 2 (Imagen 1.7.6.2). Las restricciones en RLL prohíben ciertos patrones específicos, por lo que una secuencia de bits fuente será traducida a una secuencia de bits de canal más larga. La Tasa de código se define como la relación entre la longitud de la secuencia original y la codificada.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

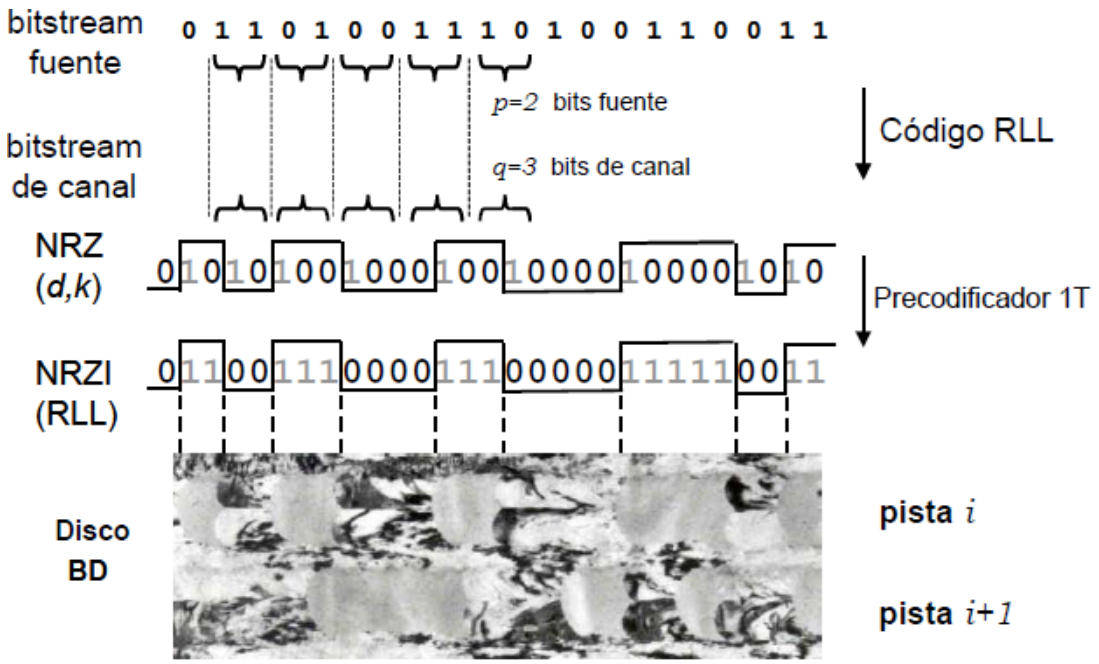


Imagen 1.7.6.2. *La codificación RLL con d=1 para grabación óptica en BD. El integrador módulo 2, mantiene el valor binario anterior en caso de que la transición actual sea a "0", y lo cambia al valor inverso en caso de haber una transición.*

Para Blu-ray se eligió d=1 ya que las aplicaciones de almacenamiento de alta capacidad como el BD, usan tamaños de bit tan pequeños que la forma de onda de la señal generada por la detección física para una dada ubicación de bit, no sólo depende de ese único bit, sino también de un número limitado de bits adyacentes. Este efecto extendido, se conoce como ISI (Interferencia Intersímbolo). El ISI se caracteriza por la respuesta al impulso del canal, o de manera equivalente, por su transformada de Fourier, conocida como la Función de Transferencia de Modulación (MTF) del canal. La MTF indica la respuesta del canal para cada frecuencia del sistema. En grabación digital, la MTF tiene una caída aproximadamente lineal, hasta llegar a la frecuencia de corte del canal (Imagen 1.7.6.3).

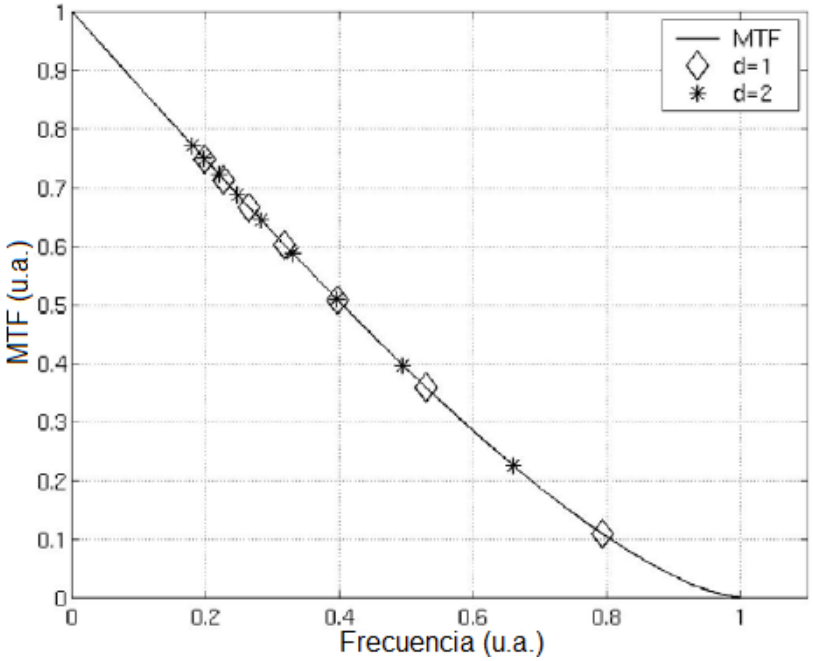


Imagen 1.7.6.3. *La MTF para un canal de grabación óptico en función de la frecuencia (en unidades arbitrarias, con la frecuencia de corte en 1), con las frecuencias de los tonos puros superpuestas.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Por lo tanto, los vectores de corta longitud en el bitstream del canal implican señales de alta frecuencia, que sufren más el ISI y por lo tanto son más propensos a tener errores durante la lectura. Uno de los propósitos de RLL es imponer restricciones que no permitan estas secuencias de bit de alta frecuencia. Para ilustrar este principio, se analizan usar tres restricciones d diferentes: d=0 (sin codificación), d=1, y d=2; manteniendo la misma densidad de bits fuente en el disco. Se denota con T al tamaño físico de un bit fuente, común para los tres casos. Usando un código con restricción d y una tasa R_d, el tamaño físico del bit de canal T_d satisface necesariamente $T_d = R_d\ T$. La Imagen 1.7.6.4 muestra las respectivas longitudes de bit del canal y la mayor frecuencia en el sistema (que corresponde a la alternancia de vectores de mínima longitud). Se tiene R_0=0 para el caso sin codificación. Se asume el uso de códigos prácticos con tasas R_1=2/3 y R_2=1/2, valores cercanos a las tasas de código máximas obtenidas que son de 0,6942 y 0,5515, respectivamente. La longitud de vector mínima para d=1 es $2T_1$=4/3T, que es mayor a la longitud de vector mínima T para d=0; además, la longitud de vector mínima para d=2 es $3T_2$=3/2T, que es mayor a la longitud de vector mínima para d=1. Por lo tanto, las frecuencias mayores f_d en el sistema son:

$$f_0 = \frac{1}{2T} > f_1 = \frac{1}{4R_1T} = \frac{3}{8T} > f_2 = \frac{1}{6R_2T} = \frac{1}{3T}$$

Esta relación muestra el aumento de carácter de filtro pasa bajos del código cuando se aumenta el valor de la restricción d, que es el mayor atractivo del código RLL. Esto también se observa claramente en la Imagen 1.7.6.3, donde se muestra la MTF superpuesta con las frecuencias de los tonos puros.

Se debe hacer notar que la longitud de bit del canal, disminuye a medida que se incrementa el valor de d, lo que aumenta la sensibilidad respecto al Jitter o ruido por borde de Marca. Este efecto hace favorable al uso de una menor restricción d. La elección práctica de d=1 en BD es una solución óptima de compromiso, entre ruido de borde de Marca (menor d) e ISI (mayor d). La restricción k ha sido elegida en 7, quedando definida entonces la derivación al acrónimo “17PPP”.

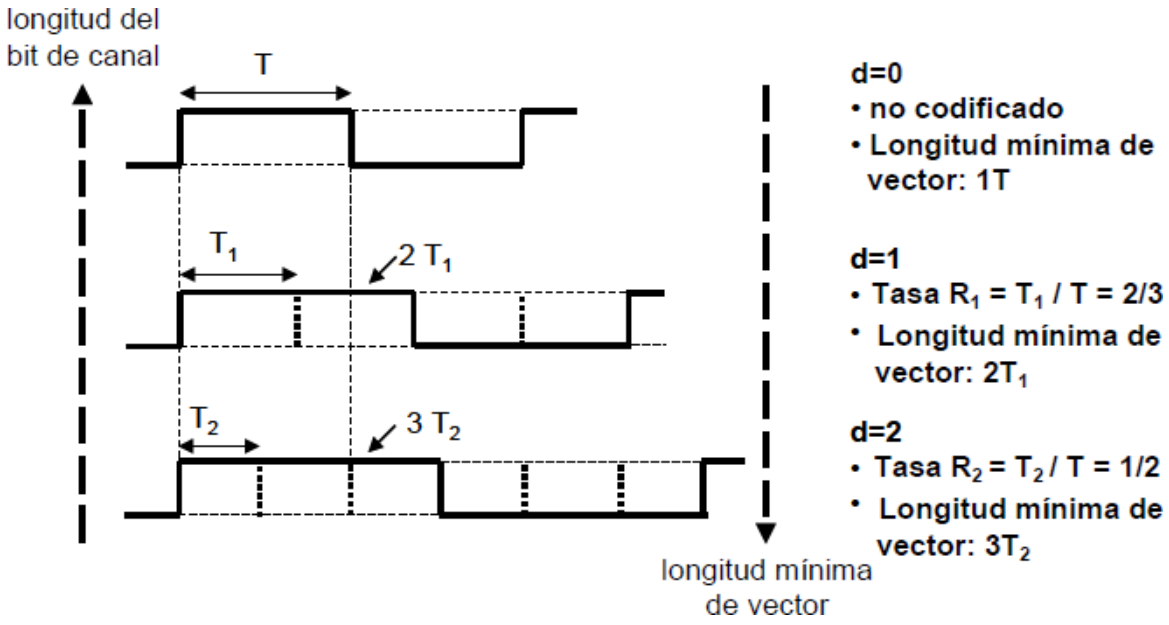


Imagen 1.7.6.4. *Longitud del bit de canal y longitud mínima de vector, para diferentes valores de d y una misma capacidad de grabacion.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Se usa un código con mantenimiento o preserva de paridad (*Parity Preserve*), ya que todos los códigos RLL en grabación digital no tienen componenetes de contínua. Se considera a los bits de canal b_i con valores bipolares ±1. Su RDS o Suma Digital de Vector (es decir la integral del bitstream bipolar del canal) se define como:

$$RDS_i = \sum_{j=-\infty}^{i} b_j$$

La secuencia b_1, b_2, … se llama libre de componentes de constínua si esta suma solamente toma muchos valores finitos. Luego, la función de densidad espectral de potencia desaparace para valores constantes. La propiedad de no poseer valores constantes, se requiere para: (i) la separación de la señal de datos de ruidos del disco por polvo o huellas dactilaes, (ii) el control del nivel de rebanado, y (3) los sistemas servo.

El control de los valores constantes o contínuos en un sistema RLL, se hace mediante el control de la RDS. Un concepto muy útil es el de paridad, el número de bit en 1 de módulo 2, en una secuencia de bits. Hay que recordar que en NRZ, un bit en "1" indica el comienzo de un nuevo vector (bipolar) en el bitstream NRZI. Debido al precodificador 1T ubicado entre NRZ y NRZI, cada bit en "1" en el bitstream NRZ cambia la polaridad en el NRZI correspondiente. Así, un número impar de bits en "1" en un segmento del bitstream NRZ invierte la polaridad de NRZI luego de ese segmento, mientras que un número par de bits en "1" mantiene la polaridad actual.

La anterior observación puede usarse para el control de las señales contínuas: suponiendo que para un determinado segmento del bitstream NRZ se pueda elegir entre dos secuencias candidatas, una con paridad "0" y la otra con paridad "1". Luego la parte del bitstream NRZI posterior a este segmento tendrá una contribución a la RDS ya que el signo depende de cúal de las dos secuencias haya sido elegida. La mejor opción es, por supuesto, la que mantiene el valor de la RDS lo más cercano a cero posible. Estos segmentos suelen llamarse "segmentos de control de contínua". De manera de realizar un control de señal contínua, se deben insertar segmentos de control de contínua en posiciones regulares del bitstream. A estas posiciones se las refiere con el nombre de "puntos de control de contínua".

Un método inteligente y eficiente para el control de contínua, como el usado en el código de modulación 17PP usado en BD, es usando un código con mantenimiento de paridad (Imagen 1.7.6.5), que preserva la paridad sobre la codificación RLL, es decir, la paridad de una palabra fuente es idéntica a la paridad de la palabra de canal correspondiente. Se insertan bits únicos de control de contínua (en los puntos de control de contínua) en el bitstream fuente. Cambiando un bit de control de contínua de 0 a 1, cambia la paridad en el bitstream fuente y por lo tanto cambia la paridad en el bitstream de canal NRZ: esta propiedad permite la selección de la polaridad del bitstream de canal NRZI, y asi se logra el control de la señal de contínua. El overhead requerido para cada control de señal de contínua en el código 17PP es exactamente igual a un bit fuente, lo que suma el equivalente de 1,5 bits de canal. Esto hace al código 17PP preservador de paridad d=1 un 25% más eficiente en cada punto de control de contínua, comparado a métodos convencionales para control de señales contínuas.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

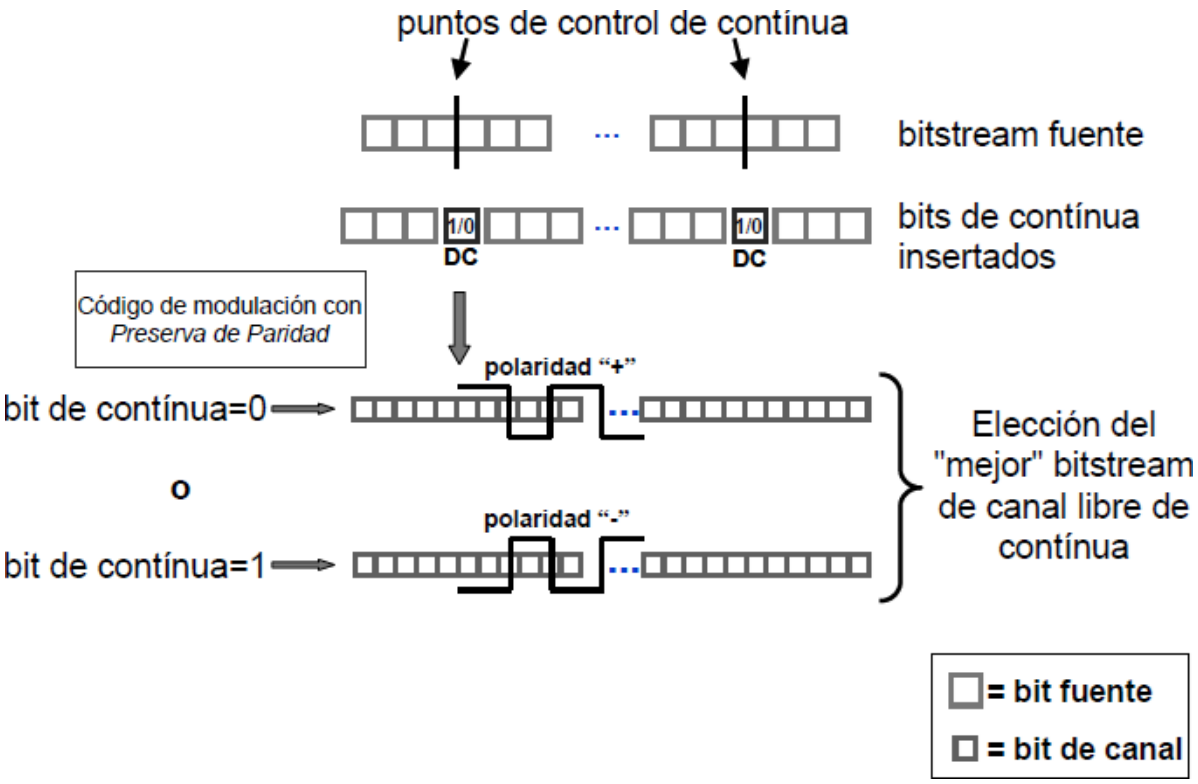


Imagen 1.7.6.5. *Control de señal de contínua a través del código de modulación con paridad preservada.*

El código 17PP ha sido designado con una ventaja adicional, en el sentido de que prohíbe la aparición de un número elevado de vectores consecutivos de longitud mínima (2T, porque se está en el caso d=1) lo que se conoce como restricción RMTR. Los vectores de longitud mínima derivan en nivles bajos de señal, y si se restringen sus ocurrencias, se mejora el rendimiento de la lectura.

1.7.7 Código para Correción de Errores (ECC)

En grabacion óptica, se distinguen dos tipos de errores en términos generales: los únicos o aleatorios, y los de ráfaga. Los errores únicos son causados por ruido en combinación con otras fuentes de deterioro de señal como la inclinación del disco o el desenfoque del punto del haz en el disco. Se les llama únicos porque afectan solamente 1 o 2 bytes. Los errores en ráfaga son causados por defectos en la superficie del disco, como rayones, polvo, huellas dactilares.

El BD es más sensible a errores en ráfaga que un sistema DVD por ejemplo, debido al punto de haz más pequeño, una Capa Cobertora más delgada, y una alta apertura numérica. El mismo defecto en un BD afectará más bits de información que en un DVD. Por ello, el sistema para correción de errores del BD debe hacer frente de manera muy robusta a estos largos errores en ráfaga.

El número máximo de errores que pueden corregirse depende del número de símbolos de paridad con que se disponga. Por cada dos símbolos de paridad, se puede corregir un error. Esto es así asumiendo que no se conoce nada acerca del error con anterioridad. Si se conoce con anticipación la ubicación del error dentro de la palabra del código, se puede calcular sólo el valor borrado por el error. Para cada símbolo de paridad disponible, se logra calcular un valor borrado por el error. Por esto, para el corrector

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

de errores es ventajoso el uso de información previa acerca de las ubicaciones de los errores, en el proceso de decodificación. Debido a la naturaleza de los errores, esto no es posible para el caso de errores aleatorios, pero lo es completamente para el caso de errores en ráfaga. Requiere de un mecanismo indicador de ráfaga que pueda detectar ráfagas de errores antes de que comience la corrección.

El BD usa un sistema de corrección de errores con una manera muy eficiente para indicación de ráfaga: el código piquete. La estructura del código piquete se muestra en la Imagen 1.7.7.1. Los piquetes son columnas que se insertan a intervalos regulares entre las columnas de los datos principales. La información principal se protege con el código Reed Solomon, fuerte y eficiente. Los piquetes son protegidos por un segundo código Reed Solomon, independiente del anterior y extremadamente fuerte. En la decodificación, se corrigen primero las columnas de piquete. La información de corrección puede usarse para estimar la ubicación de posibles errores en ráfaga en la información principal. Los símbolos en estas ubicaciones se puden marcar como borrados cuando se corrigen las palabras de código de los datos principales. Esta estrategia se muestra en la Imagen 1.7.7.1.

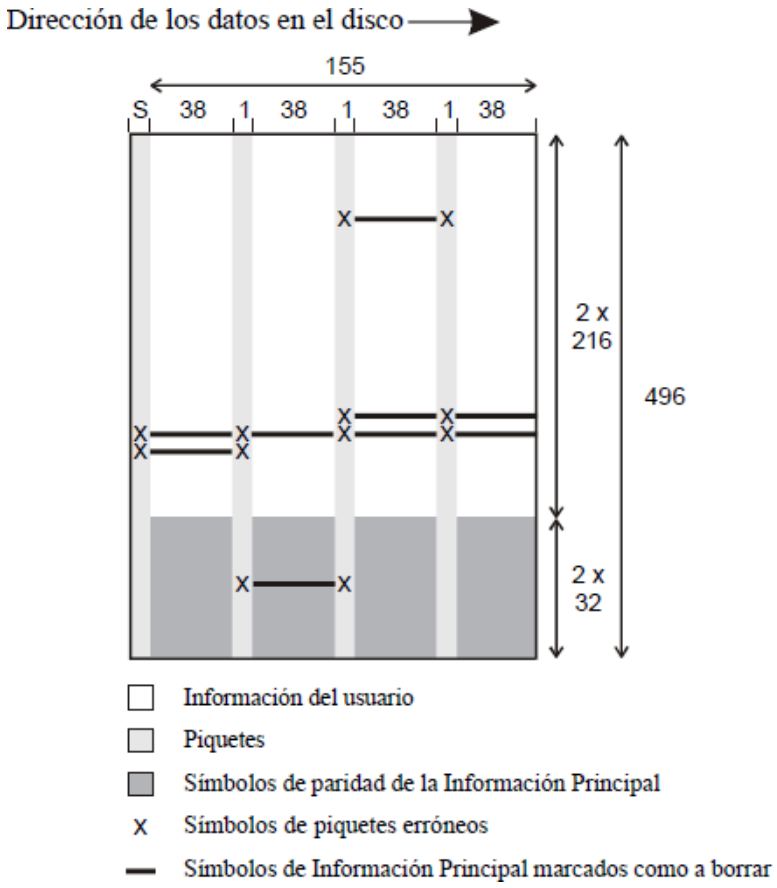


Imagen 1.7.7.1. *Representacion esquemática del código piquete del Disco Blu-ray.*

El Bloque Corrector de Errores de un BD (Bloque ECC) puede almacenar 64 kilobytes de Informacion del Usuario. La información se protege por el así llamado Código de Larga Distancia (LDC) que tiene 304 palabras de código con 216 símbolos de información y 32 símbolos de paridad, dando una palabra de código de longitud 248. Estas palabras de código se entrelazan dos a dos en la dirección vertical de manera tal que se forme un bloque de 152 bytes x 496 bytes como muestra la Imagen 17.7.1. Un Bloque ECC contiene 4 columnas de piquete separadas por espacios iguales. El piquete de la

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

izquierda se forma por los patrones de sincronismo al comienzo de cada fila. Si el patrón de sincronismo no se detectó apropiadamente, eso puede ser una indicación de error en ráfaga similar al conocimiento de que un símbolo de una columna de piquete debe ser corregido. Los otros tres piquetes están protegidos por el llamado Subcódigo Indicador de Ráfaga (BIS, por sus siglas en inglés). Este código BIS tiene palabras de código con 30 símbolos de información y 32 símbolos de paridad, dando una palabra de código de longitud 62. Las palabras del código BIS se entrelazan dentro de tres columnas de 496 bytes cada una.

Tanto el código LDC como el BIS, tienen el mismo número de símbolos de paridad por palabra de código, y por lo tanto se requiere sólo un decodificador Reed Solomon para decodificarlos a ambos.

Los símobolos de información del codigo BIS forman un canal de datos adicional, próximo al canal de Datos Principales.

Este canal a la par, contiene información de direccionamiento en las columnas de BIS. La información de direccionamiento se proteje de manera separada de errores con un código Reed Solomon que tiene palabras de código con 5 símbolos de información y 4 símbolos de paridad. Se necesita este código extra para permitir una detección rápida y robusta de las direcciones, independientemente del ECC principal.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.8 Streams elementales en un Disco Blu-ray

Se muestra a continuación el método de codificación para cada uno de los streams elementales de un BD: video, audio, gráficos, y texto. Esta sección se muestra en carácter de resumen debido a que el desarrollo de los Códecs usados escapa al presente trabajo.

Nombre del stream elemental	Método de codificación
Stream de video	SMPTE VC-1
	MPEG-4 AVC
	MPEG-2
Stream de audio	Linear PCM
	Dolby Digital
	Dolby Digital Plus
	Dolby Lossless
	DTS digital surround
	DTS-HD
Stream de gráficos	Presentation graphics
	Interactive graphics
Stream de subtítulo de texto	HDMV Text subtitle

Tabla 1.8.1. *Streams elementales en el Transport Stream MPEG2 de BDAV.*

1.8.1 Streams de video

Los streams de video deben cumplir con el formato de video MPEG-2 (ISO/IEC 13818-2), el formato de video MPEG-4 AVC (ISO/IEC 14496-10) o el formato de video SMPTE VC-1.

CODECS	MPEG-2: MP@HL y MP@ML
	MPEG-4 AVC: MPEG-4 AVC: HP@4.1/4.0 y MP@4.1/4.0/3.2/3.1/3.0
	SMPTE VC-1: AP@L3 y AP@L2
Max. bitrate	40Mbps
HD	1920x1080x59.94-i, 50-i (16:9) 1920x1080x24-p, 23.976-p (16:9) 1440x1080x59.94-i, 50-i (16:9) MPEG-4 AVC / SMPTE VC-1 solamente 1440x1080x24-p, 23.976-p (16:9) MPEG-4 AVC / SMPTE VC-1 solamente 1280x720x59.94-p, 50-p (16:9) 1280x720x24-p, 23.976-p (16:9)
SD	720x480x59.94-i (4:3/16:9) 720x576x50-i (4:3/16:9)

Tabla 1.8.1.1. *Especificaciones de los streams de video para BD-ROM.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.8.2 Streams de audio

CODEC	LPCM	Dolby Digital	D.D. Plus	D. Lossless	DTS digital surr.	DTS-HD
Max.bitrate	27,648 Mbps	640 kbps	4,736 Mbps	18,64 Mbps	1,524 Mbps	24,5 Mbps
Max. cantidad de canales	8 (48kHz, 96kHz) 6 (192kHz)	51	71	8(48kHz, 6kHz) 6(192kHz)	51	8(48kHz, 96kHz) 6(192kHz)
bits/muestra	16, 20, 24	16 - 24	16 - 24	16 - 24	16, 20, 24	16 - 24
Frecuencia de muestreo	48kHz, 96kHz, 192kHz	48kHz	48kHz	48kHz, 96kHz, 192kHz	48kHz	48kHz, 96kHz, 192kHz

Tabla 1.8.2.1. *Especificaciones de los streams de audio para BD-ROM.*

1.8.3 Streams de Gráficos de Presentación y Gráficos Interactivos

BD-ROM provee dos tipos de streams de gráficos. El stream Gráficos de Presentación (disponible en HDMV y BD-J) está enfocado a Subtítulos y Gráficos Animados, y el de Gráficos Interactivos (disponible sólo en HDMV) está enfocado a los Gráficos del Menú.

Tamaño del plano	1920x1080 / 1280x720 / 720x480 / 720x576	
Color	24 bit color + 8 bit alpha	
Compresión	Run Length Encoding	
Planos de presentación	2 planos	
Nombre del plano de presentación	Gráficos de Presentación	Gráficos Interactivos
Uso principal	Subtítulos	Menúes
Efectos de animación	Fade In/Out, Cambios de color, Wipe In/Out,	

Tabla 1.8.3.1. *Especificaciones de los streams gráficos para BD-ROM.*

1.8.4 Streams de subtítulos de texto

Un subtítulo de texto se define por una serie de códigos de caracteres, además de información sobre la fuente y estilo. Los subtítulos de texto son una opción además de los subtítulos basados en imagen provistos por el stream de Gráficos de Presentación del BD-ROM.

Tamaño del plano	1920x1080 / 1280x720 / 720x480 / 720x576
Codificación de caracteres	Unicode 2.0 (UTF-8 y UTF-16BE), Shift-JIS, KSC 5601-1987 (incluyendo KSC 5653), GB18030-2000, GB2312, BIG5
Nombre del plano de presentación	Gráficos de Presentación
Color	24 bit color + 8 bit alpha
Efecto	Fade In/Out, Cambio de color
Estilo de presentación	Posición del texto / flujo / aliniamiento, estilo de fuente / tamaño / color
Estilo cambiable por el usuario	Posición del texto, tamaño de la fuente, espacio de línea

Tabla 1.8.4.1. *Especificaciones de los streams de subtítulos de texto para BD-ROM.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.9 Sistema para Protección de Interfaz y Contenidos

Como en BD se asume que lo que será grabado es contenido HD de transmisiones digitales, aquellas opciones para proteger este contenido, en caso de ser deseadas, son de mayor importancia que aquellas en DVDs convencionales, en los cuales puede ser grabado sólo contenido SD. Es por ello que se adoptó un sistema nuevo de protección de contenidos, optimizado para grabaciones en MPEG2-TS de transmisiones digitales, el *Advanced Access Content System* (AACS).

En la Imagen 1.9.1 se ve el esquema de dicho sistema: antes del inicio de la grabación, se detecta información sobre control de copias dentro de la misma señal transmitida. Cuando esta información especifica que la copia es permitida, los contenidos y la información sobre control de copias son protegidos y grabados en el disco. Luego durante la reproducción, los contenidos grabados son decodificados, y solo es posible la reproducción si el dispositivo es compatible con AACS. Despues hay que verificar la información sobre el control de copias antes mencionada.

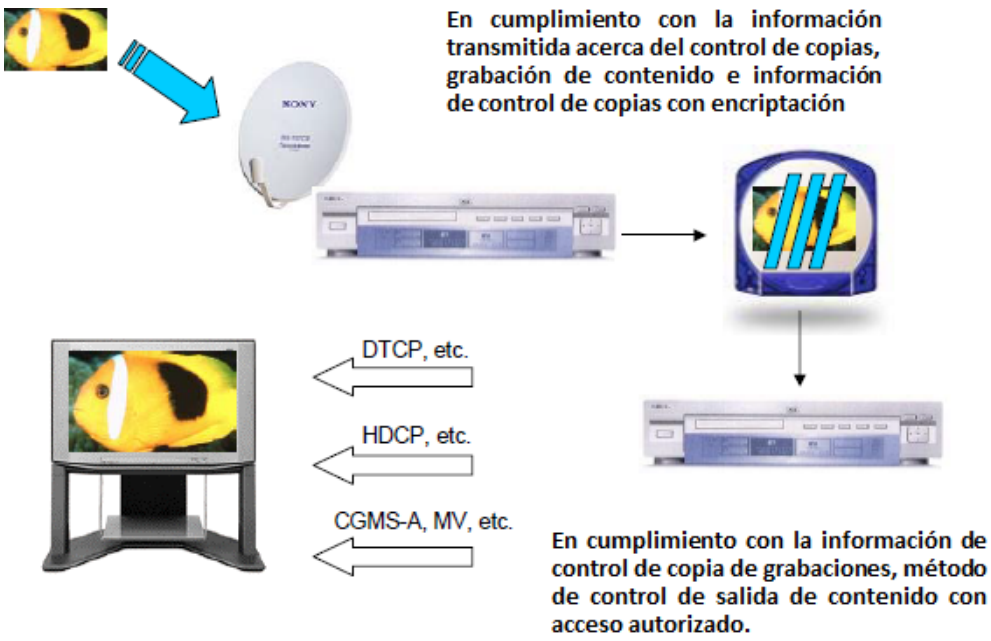


Imagen 1.9.1. *Sistema de Protección de Contenido.*

En este sistema de protección, se adoptó un esquema con AES (*Advanced Encryption Standard*), con una llave de 128 bits de longitud. Para excluir copias y dispositivos ilegales, se graban en el disco dos parámetros: el MKB (*Media Key Block*) y un identificador de disco único. Cada grabador tiene llaves de dispositivo, que dependen de su fabricante, por ejemplo. Se genera una llave de encriptación, combinando la llave del dispositivo con el MKB. Los dispositivos ilegales se excluyen actualizando el MKB, y las copias ilegales se excluyen usando el identificador de disco.

Además de todo esto, se implementa la protección de contenidos a la salida física de la interface de video por donde pasa el bitstream a ser proyectado en pantalla, por lo que se pueden prevenir las

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

copias ilegales en este camino. Antes de salir del dispositivo, el contenido se protege con DTCP (*Digital Transmission Content Protection*) para la salida de streams en MPEG2-TS, y con HDCP (*High-bandwidth Digital Content Protection*) para la salida digital en banda base. En caso de la salida de una señal analógica, se usa la tecnología *Macrovision*.

El DTCP es una tecnología desarrollada por Hitachi, Intel, Panasonic, Sony, y Toshiba, siendo de carácter propietario sus especificaciones, y su implementación requiere de licencia.

El HDCP es una tecnología desarrollada por Intel, siendo de carácter propietario sus especificaciones, y su implementación requiere de licencia.

Macrovision es una tecnología desarrollada por la Corporación Rovi, siendo de carácter propietario sus especificaciones, y su implementación requiere de licencia.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.10 *Hard-Coating* para discos sin cartucho

Un BD es mucho más sensible que un DVD a rayones y huellas dactilares. Éstas pueden causar deterioros en las tasas de lectura, y pérdida de control del mecanismo mecánico de la lente. Para evitar esto, la primera generación de discos RE (Versión 1.02) protege al disco almacenándolo en un cartucho. Sin embargo, se buscó el diseño de discos sin cartuchos, para disminuir los costos de fabricación, el tamaño del BD, y el tamaño de las unidades de BD.

Se exploró la tecnología de *Hard Coating*, para discos sin cartucho, con el objetivo principal de ser resistente a rayones y huellas dactilares. Esta tecnología ya había sido aplicada a medios ópticos convencionales como el DVD-RW, donde se usó una resina sensible a luz UV.

Si bien posee una resistencia moderada a los rayones, requiere mayor dureza para algunas aplicaciones del BD. Se investigaron varios tipos de materiales como alternativas a la Cobertura Dura convencional, y como resultado se llegó a que una resina sensible a luz UV, pero distinta a la del DVD-RW, sería una candidata prometedora para resistir los rayones; la propiedad óptica, y la fabricación ya estaban compatibilizadas.

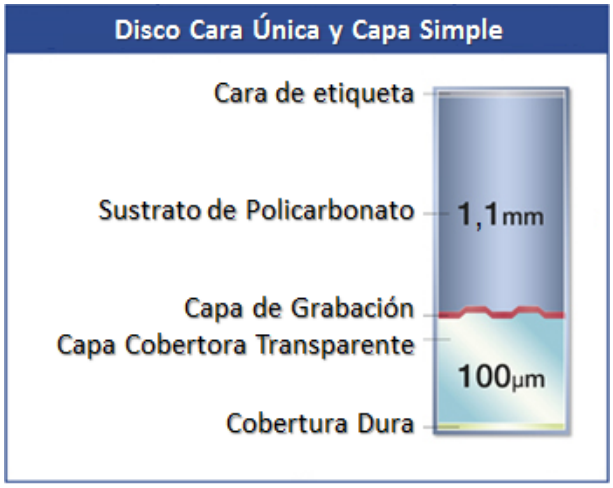


Imagen 1.10.1. *Sección de corte del BD con Cobertura Dura.*

La estructura del disco se ve en la Imagen 1.10.1, una capa que transmite la luz consiste en la Capa Cobertora de 98 µm de espesor y la Cobertura Dura (*Hard Coating*) de 2 µm.

Los valores de *jitter* (perdida de sincronismo) para BD-RE se muestran en la Imagen 1.10.2, para el caso de a) lámina de policarbonato, b) lámina de resina convencional sensible a luz UV, y c) la nueva lámina de resina sensible a luz UV. En la opción c), se desgastaron las superficies mediante el frotado con lana de acero. Para el caso c), no tuvieron influencia en los valores de jitter las 300 veces de abrasión. En el uso general, se obtiene una sensación de seguridad en comparación al caso del DVD con su *Hard Coat* convencional (opción b), desde el punto de vista de resistencia a rayones.

Esta nueva tecnología de *Hard Coat*, sin embargo, debió mejorar la confiabilidad de los sistemas BD, para ampliar su rango de aplicaciones a, por ejemplo, archivo a largo plazo y uso para grabación de cámara.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

En relación al problema de las huellas dactilares, una persona puede accidentalmente dejar sus huellas en un disco virgen antes de cargarlo en la grabadora.

Generalmente, las señales grabadas con huellas dactilares de por medio, contienen mucha mayor cantidad de errores que aquellas señales de datos de discos ROM leídas atravesando huellas dactilares. Esta es la razón por la que la resistencia a huellas dactilares se ve con mayor importancia en el caso del BD-RE y BD-R, que en el caso del BD-ROM.

Frente a este escenario, en BD-RE se requiere una especie de Cobertura Protectora, para reducir el impacto de estas huellas. Adicionalmente, se estableció una forma de evaluar el efecto de estas huellas, ya que BD-RE requiere esta Cobertura Protectora de manera obligatoria.

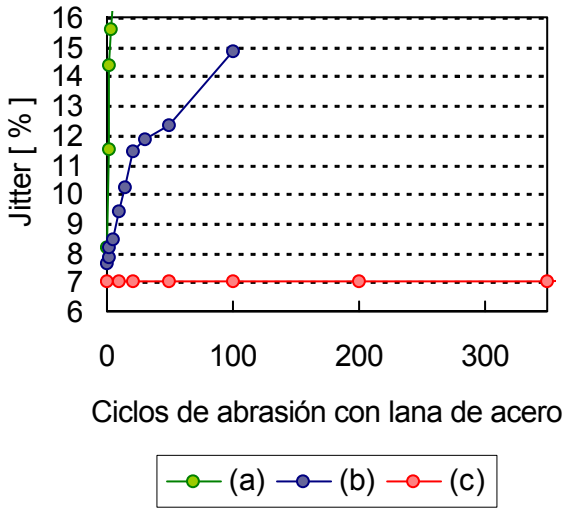


Imagen 1.10.2. *Cambios en el valor de jitter en BD-RE para el caso de lámina de policarbonato (a), Cobertura Dura convencional secada por UV (b), y (c) la nueva Cobertura Dura, cuya superficie fue desgastada por lana de acero #000 a 100 g/cm^2. Se grabaron señales aleatorias luego de dicho desgaste, y después se tomaron las medidas del jitter.*

En el método de evaluación, se usa un reactivo artificial para simular huellas dactilares, que es una suspensión consistente mayormente en aceite graso con cierta viscosidad, y partículas inorgánicas, que simulan ingredientes no solubles, y/o ceras, presentes en una huella dactilar real.

Se sigue cierto procedimiento para poner estas impurezas en el disco, según lo estipulado en JIS K2246:1994 (Estándar Industrial Japonés K2246 de 1994) con algunas modificaciones. En BD-RE, el SER (*Symbol Error Rate*) debe ser menor a 4.2×10^{-3}, medido para la señal de datos grabada atravesando el nivel prescripto de este reactivo artificial. Este nivel se determina en base al impacto que la huella dactilar produce al sistema DVD-RW/+RW/-RAM; por lo que la especificación de BD-RE para discos sin cartucho garantiza la resistencia a huellas dactilares de forma comparable o superior a la del sistema DVD.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

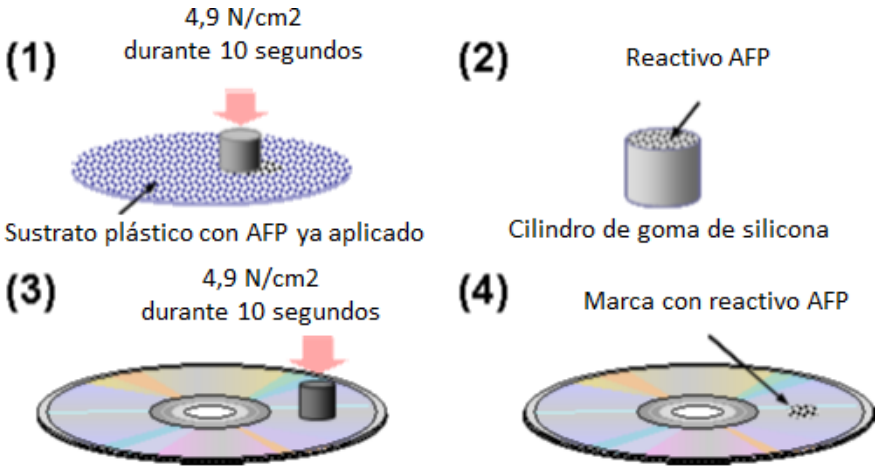


Imagen 1.10.3. *Procedimiento para colocar el reactivo en la superficie del BD-RE.*

El reactivo AFP se prepara mediante la mezcla de: triolein (un tipo de triglicérido), la opción #11 del polvo #1 para pruebas provista por el JIS (*Japan Industry Standard*), y propano metódico (5/2/60 en proporción de pesos). Luego (Imagen 1.10.3):

1) Se fabrica un substrato plástico de policarbonato con AFP ya aplicado, usando el método convencional (*spin-coating*), es decir con 100 rpm/seg al principio, y 5000 rpm/seg después). Un cilindro de goma de silicona se apoya con cierta presión en dicho sustrato.
2) El cilindro de silicona luego del paso anterior ha quedado con el reactivo AFP en una de sus caras. El cilindro debió ser previamente pulido con papel de lija, como indica el JIS K2246).
3) Dicho cilindro se presiona sobre la superficie del disco a ser evaluado
4) BD-RE con reactivo listo para ser evaluado.

La especificación para discos BD-RE sin cartucho, indica como requisito un SER menor a 4,2 x 10^{-3}, medido en la señal de datos que ha sido grabada atravesando el reactivo colocado en el disco.

La Imagen 1.10.4 muestra la resistencia a huellas dactilares para tres tipos de coberturas duras y dos ordenes de aplicación opuestos de reactivo.

Se colocó el reactivo en la superficie donde incide la luz, y luego se midió el bER.

Se hace notar que el nivel de reactivo aplicado para esta evaluación, es distinto al de la especificación de BD-RE, por motivos experimentales.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

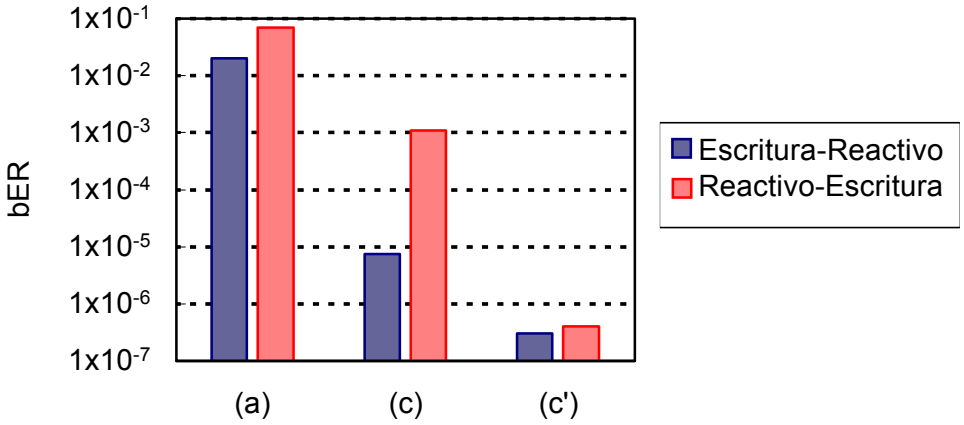


Imagen 1.10.4. *Las barras azules indican el bER medido en señales grabadas antes de adherir el reactivo AFP, y las barras rojas indican el bER medido en señales grabadas luego de adherir dicho reactivo.*

Como se ve en la Imagen 1.10.4, el impacto de la huella digital fue severo en el caso a), y la lente perdió el rastreo en varios casos. De distinto modo, el caso c) exhibe un bER aproximado de 1.0×10^{-5}, medido en la señal de datos grabada sin adhesión de reactivo. En el caso c´) se mejoró la propiedad anti huella dactilar, manteniendo la resistencia a los rayones, como se ve claramente en la Imagen 1.9.4: esta muestra una adecuada resistencia ya sea antes o después del agregado del reactivo.

A continuación, se verificó la legibilidad de BD-RE y DVD en unidades comerciales, como se indica en la Imagen 1.10.5.

El BD con *Hard Coat*, llamado disco c), muestra una buena resistencia a las huellas dactilares, la cual es igual o superior a la del DVD. Desde el aspecto de grabación de películas, el Disco c) permitirá una manipulación más robusta que el DVD.

Para todos los resultados de legibilidad, el disco c) quizás sea sensible aún a las huellas dactilares en términos de tasa de error (tasa medida para la señal de datos grabada atravesando esas huellas dactilares), pero esa lectura puede ser mejorada usando el material anti huellas del caso c´) mostrado en la Imagen 1.10.4, debido al bajo nivel de bER obtenido.

	Nivel de huella dactilar artificial		
	Alto	Medio	Liviano
Disco a	R/W NG	R/W NG	OK
Disco c	OK	OK	OK
DVD-R	R/W NG	OK	OK
DVD-RW	R/W NG	OK	OK
DVD-RAM	R/W NG	READ NG	OK

OK = lectura y grabación realizados normalmente.
READ NG = grabación realizada (no se asegura grabación precisa), pero disco ilegible.
R/W NG = grabación y lectura no realizada.

Imagen 1.10.5. *Pruebas de lectura y escritura en unidades de disco comerciales. Las unidades usadas fueron la BDZ-77 (Sony) para BD, la DVR-55 (Pioneer) para DVD-R/-RW, y la DMR-E50 (Panasonic) para DVD-RAM.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Como se ve en la Imagen 1.10.6, la cantidad de reactivo disminuye en este orden: a), c) y c´), lo que muestra una clara correlación entre la cantidad de reactivo y el bER resultante.

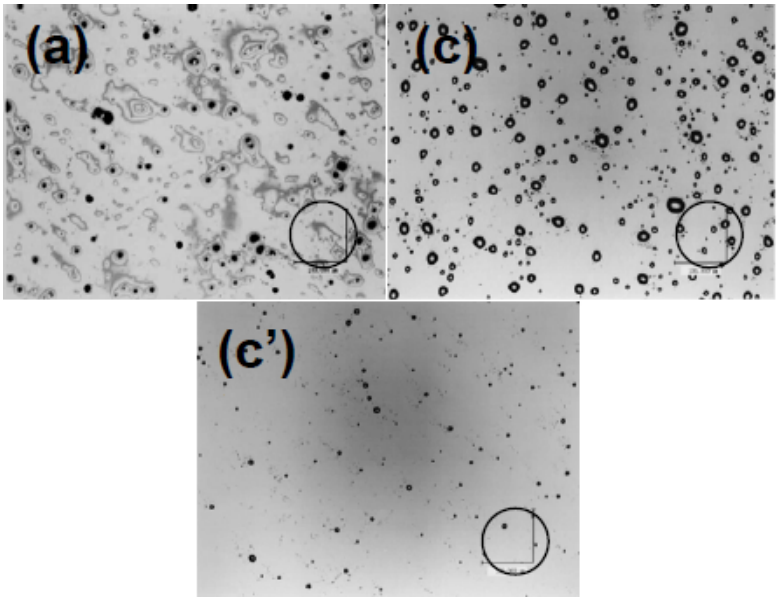


Imagen 1.10.6. Fotos microscópicas de las superficies de los discos a, c, y c´en los que se colocó el reactivo AFP. El círculo en el ángulo inferior derecho de cada imagen representa el tamaño del punto focal en la superficie del BD, cuyo diámetro aproximado es de 130 µm.

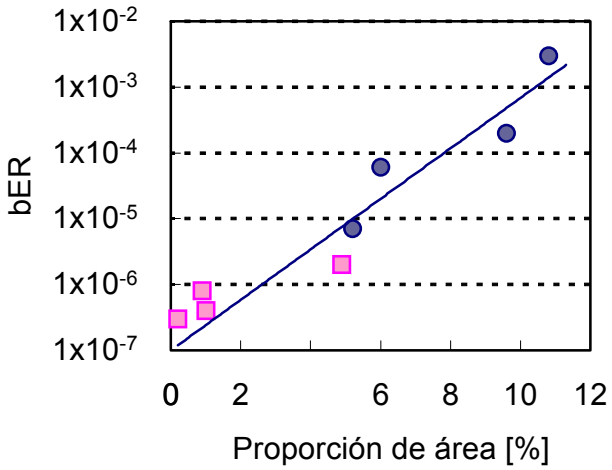


Imagen 1.10.7. *Se muestra la dependencia del bER respecto al porcentaje de área con reactivo AFP. Los puntos circulares representan los datos obtenidos para el disco c, y los cuadrados para el disco c'.*

Si bien hasta ahora sólo se habló de la "repelencia" de huellas dactilares, los discos (c) y (c') son superiores al disco a) en términos de la "remoción" de huellas dactilares. El nuevo sistema *Hard Coat* del disco c´) combinado con la Capa Cobertora, no presenta problemas de fabricación, lo que hace que el costo de producción sea comparable al del DVD.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

1.11 El cartucho del disco Blu-ray

Se define como obligatorio el uso del cartucho en la especificación Versión 1 para el tipo RE, y opcional para el tipo R; mientras que en la Versión 2 es opcional para el tipo RE, y no definido para el tipo R. Por último, no se define el uso de cartucho para el tipo RE en la Versión 3 (Imagen 1.11.2).

Hay dos tipos de cartuchos, uno tiene una abertura para visualizar la cara impresa del disco (Imagen 1.11.1) y el otro es una estructura enteramente sellada (Imagen 1.11.2).

***Imagen 1.11.1**. Frente del cartucho de tipo abierto (izquierda) y reverso del mismo (derecha).*

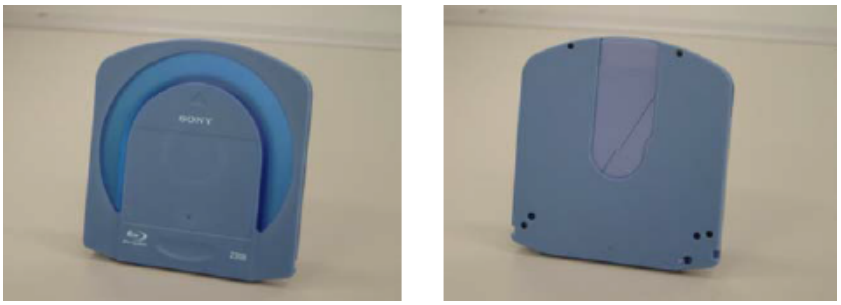


***Imagen 1.11.2**. Frente del cartucho de tipo sellado (izquierda) y reverso del mismo (derecha).*

Respecto al caso del cartucho con abertura (Imagen 1.11.1), el mecanismo para eyección del disco puede ser diseñado libremente por el fabricante, siempre que dicho cartucho cumpla con las especificaciones.

En la Imagen 1.11.3 se ven los resultados de pruebas de polvillo, realizadas en el caso de BD con cartucho con abertura:

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

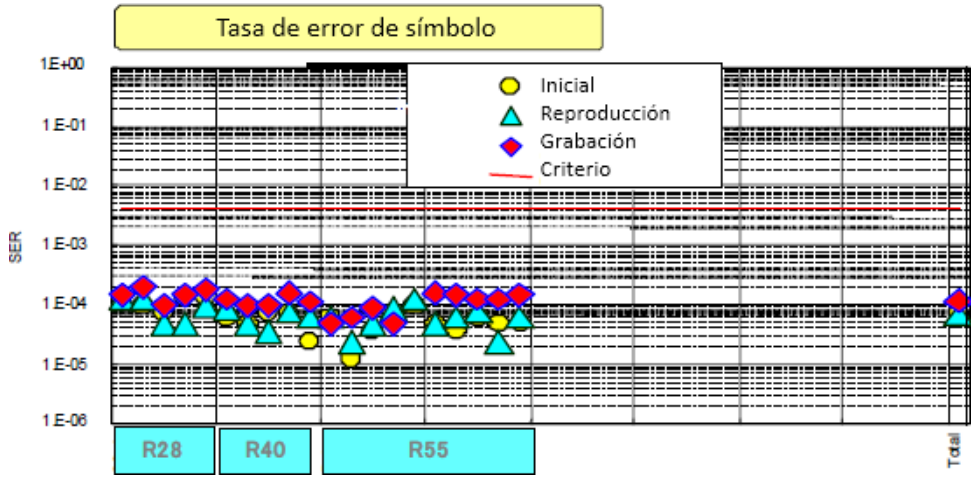


***Imagen 1.11.3**. Resultado de las pruebas ambientales de polvillo.*

Los datos mostrados son una predicción de uso de 10 años, en un típico ambiente hogareño. La tasa de error es mucho más baja que la tasa estándar de $4.2x10^{-3}$ / byte para el BD (indicado en línea roja en la Imagen 1.11.3), y este tiempo de durabilidad se considera como suficiente. Se estima que los BDs con cartucho pueden tratarse con mayor robustez, como ocurre con los cartuchos de cintas de video.

1.12 Todos los Libros del Formato

La Imagen 1.12.1 muestra la historia de la creación del formato en la BDA y la Imagen 1.12.2 muestra todos los Libros patentados. Un bloque gris en la Imagen 1.11.2 muestra el Acuerdo de Licencia del Formato y Logo (*FLLA, Format and Logo License Agreement*).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

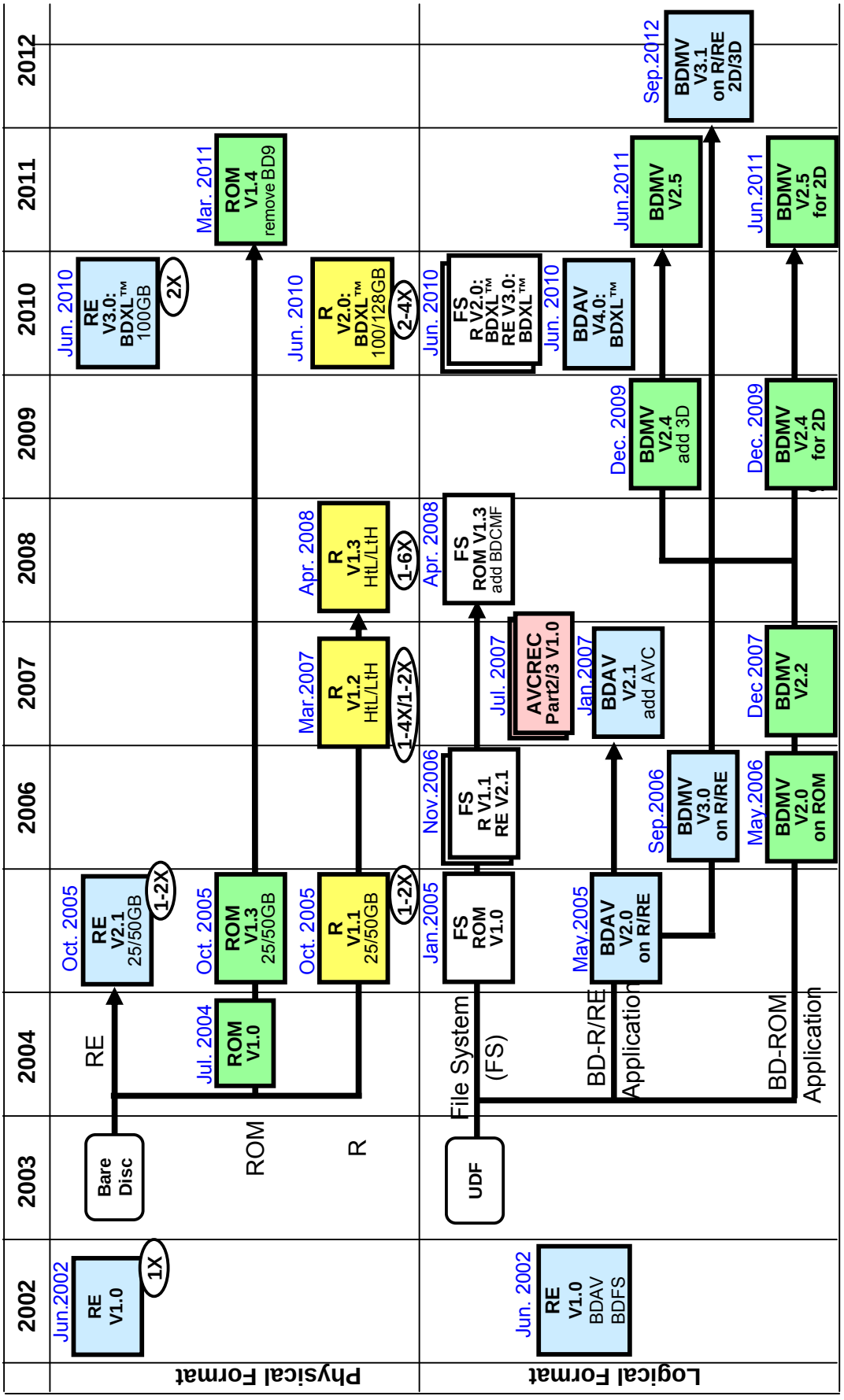


Imagen 1.12.1. *Historia de la creación del formato en la Asociación del Blu-ray, actualizada a Octubre de 2012 (Imagen Apaisada).*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

El primer estándar, RE 1.0, se publicó en Junio de 2002, siendo el uso de cartucho mandatorio. Sólo en este estándar se definen las capacidades de 23 GB (Capa Unica) y 46 GB (Capa Doble), y el sistema de archivos único para BD, BDFS. Los formatos siguientes adoptan un disco sin cartucho en Parte 1 (Especificaciones Técnicas), y con UDF (*Universal Disk Format)* en la Parte 2 (Especificaciones del Sistema de Archivos), lo que lo hace altamente compatible en un ambiente de computadora hogareña. La capacidad de almacenamiento es de 25 GB (Capa Unica), 50 GB (Capa Doble), 100 GB (Capa Triple), y 128 GB (Capa Cuádruple). La Parte 1 para R y/o RE, define un disco de 8 cm cuya capacidad es de 7,8 GB (Capa Unica) o 15,6 GB (Capa Doble), a diferencia de los discos ROM y BDXL, que no poseen definición para dicho caso de 8 cm.

Como se ve en la Imagen 1.12.1, se llega a una alta velocidad de transferencia, que sumada a la alta capacidad de los discos, lo hace un sistema apropiado no sólo para consumidores de electrónica, sino también usuarios de PC, y como se dijo anteriormente, se espera que el BDXL se expanda en el ámbito profesional.

Las especificaciones de audio y video para BD (*BDAV, Blu-ray Disc Audio Video*) para grabación de programas de TV, se detallan en la Parte 3 del Libro (Especificaciones de la Aplicación), para discos R y RE.

Las especificaciones para archivo de Película BD (*BDMV, Blu-ray Disc Movie Video*), se detallan en la Parte 3 del Libro (Especificaciones de la Aplicación), para discos ROM; y adopta varios códecs avanzados de video además de MPEG2, de manera de contener películas en alta definición de mayor duración (aquellos títulos de más de dos horas de duración especialmente), garantizando la calidad de imagen y la calidad de sonido. La especificación BDMV también se aplica a discos de tipo R, como R2.0, y a discos de tipo RE, como RE3.0. Las especificaciones para 2D se definen en la Parte 3 de ROM2.0, y las especificaciones para 3D se definen en la Parte 3 de ROM3.0, éstas últimas exceden el objeto de este Trabajo, por lo que no se darán detalles de las mismas, sin embargo el funcionamiento de la Configuración Práctica mostrada en dicho Trabajo es extensivo al caso de Discos Blu-ray 3D.

AVCREC es el formato que se usa para la grabación de programas de TV en discos DVD, usando las especificaciones de BDAV.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

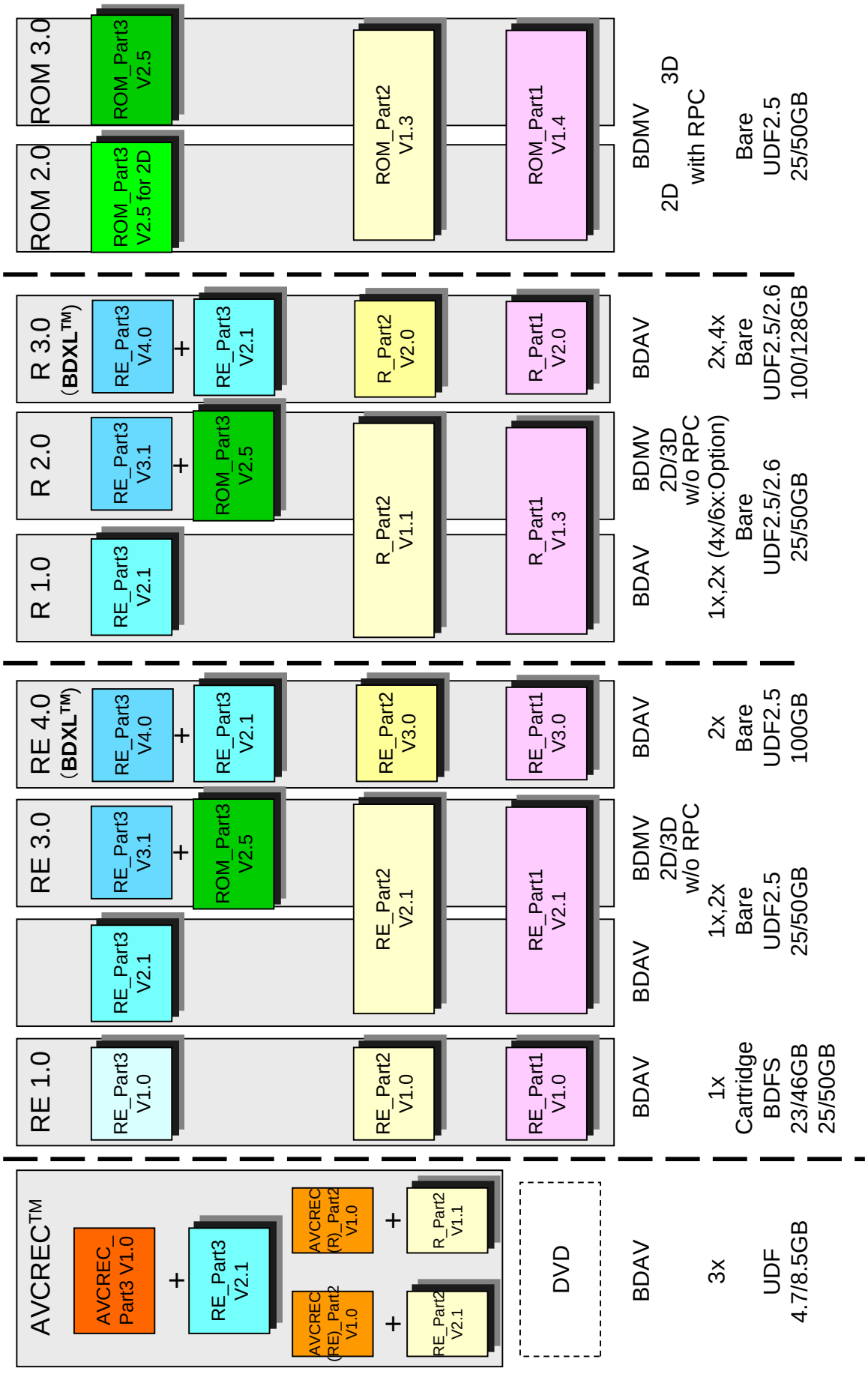


Imagen 1.12.2. *Todos los Libros del Formato, actualizados a Septiembre de 2012 (Imagen Apaisada).*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Parte 2. INTRODUCCION A LA TECNOLOGÍA WI-FI

2.1 Visión general de la Norma 802.11

Este set de estándares implementa la comunicación entre computadoras de una WLAN que operen en las bandas de 2,4 GHz, 3,6 GHz, 5 GHz, y 60 GHz; este set es creado y mantenido por el Comité de Estándares LAN/MAN de la IEEE (IEEE 802). La versión inicial salió a la luz en 1997 y desde ese año ha venido teniendo diferentes modificaciones. Estos estándares proveen la base para los productos inalámbricos de red que utilizan la marca "Wi-Fi".

La familia 802.11 consiste en una serie de técnicas de modulación por aire del tipo half dúplex, que usan el mismo protocolo. Las definidas por los protocolos de 802.11b y 802.11g son las más populares, y consisten en modificaciones al estándar original. El primer estándar inalámbrico de redes fue el 802.11-1997, el más aceptado fue el 802.11b, seguido por el 802.11g y el 802.11n (este último es el usado en la Parte 3 de este trabajo). El 802.11n ofrece una técnica de modulación nueva, con multi streaming. Otros estándares de la familia, como c-f, h, j, son correcciones y extensiones de versiones previas.

Las normas 802.11b y 802.11g trabajan en la banda de 2,4 GHz, por lo que es probable que sufran interferencia de dispositivos como hornos microondas, teléfonos inalámbricos, y aparatos bluetooth. Para controlar esta interferencia, 802.11b y 802.11g usan los métodos de señalización DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) y OFDM (*Ortogonal Frequency Division Multiplexing*), respectivamente. La norma 802.11a usa la banda de 5 GHz, que en la mayoría de los países ofrece 23 canales sin superposición, distinto a lo que ocurre en la banda de 2,4 GHz, donde los canales adyacentes se superponen entre sí.

El segmento del espectro radioeléctrico usado por 802.11 varía de país a país. En Argentina las Autoridades de Aplicación son el AFSCA (Auditoria Federal de Servicios de Comunicación Audiovisuales) y la SECOM (Secretaría de Comunicaciones), y la Autoridad de Control, la CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones).

La versión 802.11 tiene sus orígenes en 1985 cuando la FCC de EE.UU estableció las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) para uso sin licencia.

En 1991, AT&T inventó la precursora de la 802.11; si bien las primeras tecnologías estaban destinadas a sistemas de cajeros. Los primeros productos inalámbricos aparecieron en el mercado bajo el nombre WaveLAN, ofreciendo bitrates de 1 y 2 mbps.

En 1999 se forma la Alianza Wi-Fi, como organización comercial encargada de la marca registrada Wi-Fi bajo la que se venden numerosos productos.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Protocolo 802.11	Fecha de Salida	Frec (Ghz)	Ancho de canal	Tasa de datos por stream (mbps)	Streams MIMO max	Modulación
802.11 leg.	jun-97	2,4	20 Mhz	1, 2	1	DSSS, FHSS
a	sep-99	5	20 Mhz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1	OFDM
		3,7				
b	sep-99	2,4	20 Mhz	1, 2, 5.5, 11	1	DSSS
g	jun-03	2,4	20 Mhz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1	OFDM, DSSS
n	oct-09	2,4/5	20 Mhz	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	4	OFDM
			40 Mhz	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150		
ac (draft)	feb-14	5	20 Mhz	hasta 87.6	8	
			40 Mhz	hasta 200		
			80 Mhz	hasta 433.3		
			160 Mhz	hasta 866.7		
ad	dic-12	2,4/5/60		hasta 7000		

Tabla 2.1.1. *Resumen de las características para algunos protocolos IEEE 802.11.*

2.1.1 Versión 802.11-1997 (802.11 preexistente o *legacy*)

Esta es la versión original del estándar para redes inalámbricas IEEE 802.11 que salió en 1997. Muchos de los protocolos de esta, raramente se usen actualmente. Especificaba dos bitrates crudos de 1 y 2 mbps para ser transmitidos por señales IR (Infrarrojo) o usando DSS (Espectro Espandido Digital) en la banda ISM de 2,4 GHz; teniendo poca implementación en la actualidad.

El estándar original también define como método de acceso al medio el CSMA/CA (acceso múltiple por censado de portadora con detección de colisiones). Un porcentaje significativo de la capacidad cruda del canal se sacrifica por los mecanismos de CSMA/CA, pero se mejora la confiabilidad en la trasmisión de datos bajo diversas y adversas condiciones.

La versión DSS de la 802.11 preexistente, fue rápidamente popularizada con el lanzamiento de la versión de 1999 conocida con el nombre de 802.11b, que incrementó el bitrate a 11 mbps. La adopción generalizada en las redes de la 802.11 ocurrió solamente después de que fuera lanzada la 802.11b, resultando disponible en múltiples productos comerciales.

2.1.2 Versión 802.11a

Usa el mismo protocolo en la capa enlace de datos y formato de trama que el estándar original, pero con interface de aire basada en OFDM (capa física), operando en 5 GHz con un bitrate máximo neto de 54 mbps, además de código corrector de errores que termina significando un throughput neto real de alrededor de 20 mbps.

Como la banda de 2,4 GHz se usa de manera masiva, al punto de estar seriamente superpoblada, la operación en 5 GHz brinda una ventaja significativa, aunque tiene un aspecto negativo y es que la cobertura efectiva total es menor a la de 802.11b/g. En teoría, las señales de 802.11a serán más propensas a ser absorbidas por paredes y objetos sólidos que se interpongan en su camino, debido a la menor

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

longitud de onda de la señal, y en consecuencia no tiene la misma capacidad de penetración que las señales de 802.11b/g. En la práctica, 802.11b típicamente ofrece mayor cobertura a menor bitrates, ya que reduce el bitrate a 5 mbps o incluso 1 mbps cuando hay baja intensidad de señal. La 802.11a también sufre interferencia, pero hay muchas menos señales que puedan generarla de manera local.

2.1.3 Versión 802.11b

Ofrece un bitrate máximo de 11 mbps y usa el mismo método de acceso al medio que el estándar original. Sus productos aparecieron en el mercado en 2000, ya que 802.11b es una extensión directa de la técnica de modulación definida en el estándar original. El incremento en el throughput comparado al estándar original sumado a la disminución de precios, hizo que esta tecnología fuese aceptada rápidamente para redes WLAN como definitiva.

Estos dispositivos tienen interferencias de otros que operan en 2,4 GHz, como se ha explicado y ejemplificado con anterioridad.

2.1.4 Versión 802.11g

Definido en junio de 2003 como tercer estándar de modulación, funciona en la misma banda que 802.11b (2,4 GHz) pero usando OFDM como esquema base de transmisión, al igual que 802.11a. Su bitrate máximo en la capa física es de 54 mbps, pero si se consideran los códigos correctores de errores son alrededor de 22 mbps. El hardware de 8022.11g es retro compatible de manera total con 802.11b. Este estándar fue aceptado rápidamente por los consumidores en enero de 2003, mucho antes de su ratificación, debido a la necesidad de mayores bitrates, y para mediados de 2003 la mayoría de los productos 802.11a/b ya eran de doble o triple banda, soportando 802.11a/b/g en el mismo adaptador móvil.

2.1.5 Versión 802.11n

La norma 802.11n es una corrección que mejora los estándares anteriores, al agregar antenas MIMO (*Multiple Input – Multiple Output*, tema desarrollado más adelante), y opera tanto en 2,4 GHz como 5 GHz. Los bitrates van del rango de 54 mbps a un máximo de 600 mbps. De manera previa a su ratificación, varios negocios ya estaban migrando sus redes a 802.11n, mediante el uso de las versiones borrador o draft que hacen posible la aparición de equipos de manera temprana. Esta es la norma empleada en los equipos usados en las pruebas de funcionamiento del presente trabajo.

2.1.6 Versión 802.11ac

Este estándar está bajo desarrollo y va a proveer un gran throughput en la banda de 5 GHz, permitiendo estaciones múltiples WLAN con un bitrate total de hasta 1 gbps y un máximo de 500 mbps por enlace, mediante el uso de canales más anchos (80 o 160 MHz), más streams (hasta 8) y modulación de alta densidad (hasta 256 QAM).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.1.7 Versión 802.11ad

Este estándar ya está publicado, y está siendo impulsado por parte de los fabricantes de hardware. En julio de 2012, Marvell y Wilocity anunciaron nuevos acuerdos para brindar una solución tribanda Wi-Fi al mercado. Al usar 60 GHz, ofrece bitrates máximos teóricos de 7 gbps. Esta es esperada para principios de 2014.

2.1.8 Los canales y la compatibilidad internacional

Para cada norma, todas las bandas descriptas están divididas en canales, de manera análoga a las transmisiones de radio y TV. Por ejemplo la banda de 2,4000 – 2,4835 GHz se divide en 13 canales, separados por 5 MHz entre sí, donde el canal 1 se centra en 2,412 GHz y el 13 en 2,472 GHz (Japón agregó un canal n° 14, 12 MHz por encima del 13, sólo permitido para la 802.11b). La norma 802.11b se basó en DSSS con un ancho total de canal de 22 MHz, y solamente 3 canales no se superponen. Actualmente, la mayoría de los dispositivos vienen configurados de fábrica para usar los canales 1, 6 y 11 como predeterminados, aunque en el estándar 802.11g hay 4 canales sin superposición, 1, 5, 9 y 13. Ahora hay cuatro como consecuencia de la modulación OFDM usada en 802.11g y el ancho de 20 MHz.

La disponibilidad de canales se regula en cada país, limitada en parte por la distribución del espectro radioeléctrico en los distintos servicios. En un extremo, Japón permite el uso de los 14 canales de 802.11b, mientras inicialmente otros países sólo usan el 10 y 11, como España, Francia, etc.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

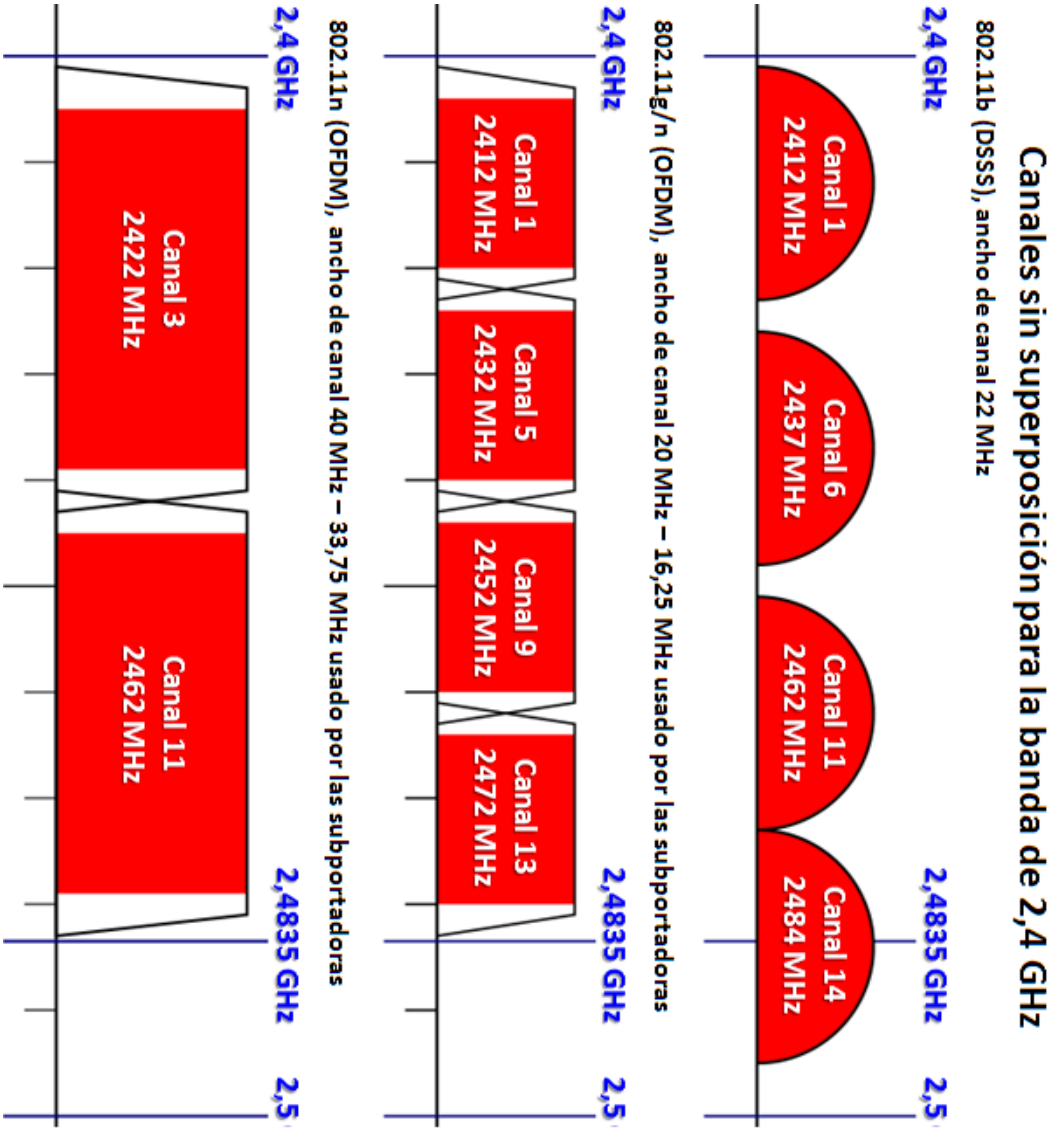


Imagen 2.1.8.1. *Los canalaes sin superposición para la banda de 2,4 GHz en 802.11b/g/n (Imagen Apaisada).*

Además de especificar la frecuencia central de canal, la 802.11 también especifica la máscara espectral, definiendo la distribución de potencia de cada canal. Esta máscara requiere que la señal se atenúe un mínimo de 20 dB desde su amplitud pico a ±11 MHz de la frecuencia central, el punto en el cual el canal es efectivamente de 22 MHz de ancho.

Como la máscara espectral sólo define restricciones a la potencia de salida, en ±11 MHz a partir de la frecuencia central, atenuando en 50 dBr, se asume que la energía del canal se extiende no más de estos límites. Es más correcto decir que, dada la separación entre los canales 1, 6, y 11, la señal de cada uno debería ser atenuada lo suficiente para interferir mínimamente en cualquier otro canal.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Los países definen los distintos niveles de potencia permitida, tiempos de ocupación de cada canal, y cuáles están disponibles, mediante el código de dominio. En general, los dispositivos Wi-Fi vienen configurados, por defecto, con el código de dominio 0, que significa que no transmitirán a una potencia mayor a la permitida por ningún país, y no usarán frecuencias no permitidas por ningún país. Este código de dominio es difícil o imposible de cambiar, de manera que el usuario no genere conflicto con las agencias locales de regulación.

2.1.9 La trama 802.11

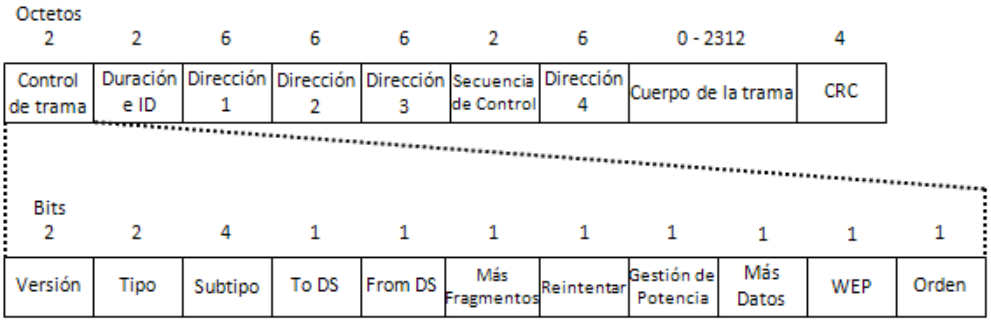


Imagen 2.1.9.1. *Bytes de la trama 802.11 y detalle del Campo de Control de dicha trama.*

Los estándares 802.11 definen tipos de tramas para transmisión de datos, gestión y control de enlaces inalámbricos.

Cada trama consiste en: el *header* MAC, la carga útil, y el FCS (*frame check sequence*, para detección de errores). Los primeros 2 bytes del header MAC son el campo Control de Trama, y este se subdivide en:

- Versión de Protocolo: representada por 2 bits. La versión actual es cero, se reservan otros valores a futuro.

- Tipo: definido por 2 bits. Algunos tipos son: control, datos, gestión.

- Subtipo: representado por 4 bits, dando mayor discriminación entre tramas. El tipo y el subtipo, juntos, identifican exactamente a la trama.

- To DS y From DS: cada uno de 1 bit, indican a dónde se dirige la trama. Las tramas de control y gestión tienen este valor en cero, mientras que las tramas de datos tendrán alguno de estos bits en uno.

- Más Fragmentos: este bit se activa cuando un paquete está dividido en varias tramas para su transmisión. Todas las tramas excepto la última tendrán este bit en uno.

- Reintentar: algunas veces las tramas requieren retransmisión. El bit de reintentar es de valor “1” cuando una trama es retransmitida. Esto ayuda a la eliminación de tramas duplicadas.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- Gestión de Potencia: este bit indica el estado en la administración de la potencia del transmisor, luego de completar el intercambio de tramas. Los Access Points administran la conexión y nunca activarán este bit.

- Más Datos: este bit es usado para *bufferear* tramas recibidas en un sistema distribuido. Indica que al menos una trama está disponible y va dirigido a todas las estaciones conectadas.

- WEP: este bit se modifica luego de procesar una trama. Se cambia a "1" cuando una trama ha sido desencriptada, o viene con ese valor si la trama no tiene encriptación.

- Orden: este bit se activa cuando se emplea el método de envío de "orden estricto". Las tramas y los fragmentos no siempre se envían en orden, ya que pueden causar penalidades en el rendimiento de la transmisión.

Los siguientes 2 bits se reservan para el campo ID de Duración, y pueden ser de tres formas: *Duration*, *Contention-Free Period* (CFP), y *Association ID* (AID).

Luego, los campos de dirección, pueden llevar cada uno una dirección MAC, la primera es el receptor, la segunda es el transmisor, y la tercera es usada por el receptor para filtrar información.

El campo Control de Secuencia (2 bytes) se usa para identificar el orden del mensaje, y para eliminar tramas duplicadas. Los primeros 4 bits son para el número de fragmento, y los 12 bits restantes para el número de secuencia.

La carga útil de la trama tiene un tamaño variable, de 0 a 2304 bytes además del overhead de la encapsulación de seguridad, y contiene información de capas superiores.

Los últimos 4 bytes, la FCS (*Frame Check Sequence*), o CRC (*Cyclic Redundancy Check*), permiten la detección de la integridad en las tramas recibidas. Cuando las tramas están por ser enviadas, se calcula y agrega el FCS. Cuando una estación recibe la trama, calcula el FCS y lo compara con el recibido, si coinciden, se asume que la trama no se ha dañado durante la transmisión.

Las Tramas de Gestión permiten el mantenimiento de la comunicación. Algunos subtipos son:

- Trama de autenticación: la autenticación en 802.11 comienza con la estación que desea conectarse, enviando una trama de autenticación al Access Point conteniendo su identidad. En un sistema abierto, la estación sólo envía una trama de autenticación, y el Access Point (AP) responde con una trama de autenticación propia que indica aceptación o rechazo. Con autenticación por clave compartida (*shared key*), luego de que la estación a conectarse manda su pedido de autenticación inicial, recibirá una trama de autenticación desde el AP conteniendo texto cuestionador (*challenge text*); luego la estación envía al AP una trama de autenticación conteniendo la versión encriptada del texto cuestionador. El AP se asegura que el texto fue encriptado con la clave correcta, al desencriptarlo con su propia clave. El

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

resultado de este proceso determina el estado de autenticación de la estación o WNIC (*Wireless Network Interface Controller*) que inicialmente buscó comunicarse con el AP.

- Trama de pedido de asociación: enviada desde una estación habilita al AP para ubicar recursos y sincronizar. Lleva información acerca del WNIC, incluyendo las tasas de datos compatibles, y el SSID (*ServiceSet Identification*) de la red a la que la estación desea asociarse. Si el pedido es aceptado, el AP reserva memoria y establece un ID de asociación para ese WNIC.
- Trama de respuesta de asociación: enviada desde el AP a la estación, conteniendo la aceptación o rechazo de un pedido. Si es una aceptación, la trama contendrá información como la ID de asociación y los bitrates soportados.
- Trama baliza: se envía periódicamente desde un AP, para anunciar su presencia y proveer la SSID, y otros parámetros, a WNICs dentro del rango.
- Trama de desautorización: enviada desde una estación que desea terminar la conexión de otra estación.
- Trama de des-asociación: enviada desde una estación que desea terminar su conexión. Es una forma elegante de permitirle al AP ceder memoria y eliminar de la tabla de asociación al WNIC en cuestión.
- Trama de pedido de sondeo: enviada desde una estación cuando ésta requiere información de otra estación.
- Trama de respuesta de sondeo: Enviada desde un AP conteniendo información sobre la capacidad, bitrates soportados, etc. luego de recibir una trama de pedido de sondeo.
- Trama de pedido de re-asociación: la manda un WNIC cuando se sale del radio de cobertura del AP al que ya ha estado asociado, y encuentra otro AP con mayor intensidad de señal. El nuevo AP coordina el re-envío de cualquier información que quizás todavía se encuentre en el buffer del AP previo.
- Trama de respuesta de re-asociación: enviada desde un AP, conteniendo la aceptación o el rechazo, hacia una trama de pedido de re-asociación de un WNIC. La trama incluye información requerida para la asociación, como el ID de asociación, y las tasas de transferencias o bitrates soportadas.

Las tramas de control facilitan el intercambio de tramas de datos entre estaciones. Algunos subtipos son:

- Trama de reconocimiento (*Acknowledgement* - ACK): luego de recibir una trama de datos, la estación receptora enviará una trama ACK a la estación transmisora si no se encontraron errores. Si la estación transmisora no recibe la trama ACK dentro de un tiempo predeterminado, dicha estación transmisora reenviará la trama.
- Trama de pedido de envío (*Request To Send* - RTS): Las tramas RTS y CTS proveen un esquema opcional para reducción de colisiones, para APs con estaciones ocultas. Una estación envía la trama RTS como primer paso en un *handshake* de dos sentidos, requerido antes del envío de tramas de datos.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- Trama *Clear To Send* (listo para enviar): Una estación responde a una trama RTS con una trama CTS. Provee autorización a la estación que requirió enviar una trama de datos. Una trama CTS provee gestión para control de colisiones usando un valor de tiempo en el cual todas las estaciones restantes deben permanecer sin transmitir, mientras la estación que realizó el requerimiento transmite.

Las tramas de datos llevan paquetes en su cuerpo, mediante el encapsulado RFC 1042 y números de *EtherType* para identificación de protocolos.

2.1.10 Estándares y rectificaciones

El estándar original IEEE 802.11-1997 WLAN era de 1 mbps y 2 mbps, a 2,4 GHz en RF e IR. Todos los estándares listados a continuación son rectificaciones del original:

- IEEE 802.11a: estándar de 54 mbps en 5 GHz (1999, productos disponibles en 2001)
- IEEE 802.11b: Mejoras a 802.11 para el soporte de 5,5 y 11 mbps (1999)
- IEEE 802.11c: Procedimientos para operar con *bridges*; incluidos en el estándar IEEE 802.1D (2001)
- IEEE 802.11d: Extensiones para roaming internacional (2001)
- IEEE 802.11e: Mejoras de QoS (*Quality of Service*) (2005)
- IEEE 802.11g: estándar de 54 mbps en 2,4 GHz (retro compatible con 802.11b) (2003)
- IEEE 802.11h: Manejo de Espectro 802.11a, para compatibilidad europea (2004)
- IEEE 802.11i: Mejoras en la seguridad (2004)
- IEEE 802.11j: Extensiones para Japón (2004)
- IEEE 802.11-2007: Una nueva versión del estándar que incluye enmiendas de a, b, d, e, g, h, i y j. (Julio de 2007)
- IEEE 802.11k: Mejoras en mediciones de recursos de radio (2008)
- IEEE 802.11n: Mejoras para mayor throughput usando antenas MIMO (*Multiple Input - Multiple Output*) (Septiembre de 2009)
- IEEE 802.11p: WAVE: acceso inalámbrico para vehículos, como ambulancias y colectivos (Julio de 2010)
- IEEE 802.11r: Transición rápida de BSS (2008)
- IEEE 802.11s: Set de servicio extendido para Mesh Networking (2011)

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- IEEE 802.11u: Mejoras en relación a HotSpots y autorización de terceros a clientes, descarga de la red celular (Febrero de 2011)
- IEEE 802.11v: Gestión de redes inalámbricas (Febrero de 2011)
- IEEE 802.11w: Tramas de gestión protegidas (Septiembre de 2009)
- IEEE 802.11y: Operación en 3650 – 3700 en EE.UU (2008)
- IEEE 802.11z: Extensiones a Direct Link Setup (DLS) (Septiembre 2010)
- IEEE 802.11-2012: Una nueva versión del estándar que incluye enmiendas de k, n, p, r, s, u, v, w, y y z (Marzo de 2012)
- IEEE 802.11aa: Streaming robusto de Transport Streams (Junio de 2012)
- IEEE 802.11ad: Throughput muy alto, usando 60 GHz (Diciembre de 2012)
- IEEE 802.11ae: Priorización de tramas de gestión (Marzo de 2012)

En proceso:

- IEEE 802.11ac: Throughput muy alto, en menos de 6 GHz; mejoras potenciales sobre 802.11n: esquema mejorado de modulación, canales más amplios (de 80 a 160 MHz), MIMO multi usuario.
- IEEE 802.11af: TV Whitespace (Aprox. Junio de 2014)
- IEEE 802.11ah: Red de censo menos de 1 GHz para smart metering (Aprox. Enero de 2016)
- IEEE 802.11ai: Fast Initial Link Setup (Aprox. Febrero de 2015)
- IEEE 802.11mc: Mantenimiento del estándar (Aprox. Marzo de 2015)
- IEEE 802.11aj: China Millimeter Wave (Aprox. Octubre de 2016)
- IEEE 802.11aq: Pre-association Discovery (Aprox. Mayo de 2015)
- IEEE 802.11ak: Enlace general

Para evitar confusiones, no se han denominado estándares con los nombres 802.11l, 802.11o, 802.11q, 802.11x, 802.11ab, y 802.11ag. Por otro lado, 802.11F y 802.11T son recomendaciones prácticas más que estándares, y por ello se escribe su letra en mayúscula. 802.11m se usa para mantenimiento, 802.11ma fue completada para 802.11-2007 y 802.11mb fue completada para 802.11-2012.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.1.11 ¿Estándar o corrección?

Son usados ambos términos, pero para la Asociación de Estándares de IEEE hay un estándar, el IEEE 802.11 seguido de la fecha en la que fue publicado. El estándar se actualiza en base a enmiendas, creadas por grupos de tareas; tanto el grupo de tarea como su documento finalizado, son nombrados por 802.11 seguido de una letra minúscula, por ejemplo IEEE 802.11a y IEEE 802.11b. La actualización de 802.11 es responsabilidad del grupo de tarea m. Para crear una nueva versión dicho grupo combina las versiones previas y todas las enmiendas ya publicadas, proveyendo además aclaraciones e interpretaciones a la industria acerca de los documentos publicados.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.2 Norma 802.11n

Esta versión incrementa el throughput de la versión anterior (802.11g) lo que implica un aumento significativo en el bitrate teórico pico, de 54 mbps a 600 mbps, mediante el uso de cuatro streams espaciales en un canal de 40 MHz de ancho de banda. La 802.11n estandarizó el soporte de MIMO, el agregado de tramas (lo que incrementa el throughput al enviar 2 o más tramas de datos en una misma transmisión) y mejoras en la seguridad, entre otros. El desarrollo de la 802.11n comenzó en 2002, 7 años antes de su publicación, y las mejoras propuestas para esta se encuentran en desarrollo bajo el nombre 802.11ac.

MIMO es una tecnología que usa múltiples antenas para gestionar más información que la posible mediante una sola antena, usando básicamente SDM (Multiplexado por Division Espacial), que divide de manera espacial streams de datos independientes, transmitidos en simultáneo dentro de un mismo canal, esto incrementa significativamente el throughput a medida que el número de streams de datos espaciales aumenta. Cada stream espacial requiere de una antena, tanto en el transmisor como en el receptor. Requiere además un conversor AD para cada antena, aumentando su costo en relación a los sistemas no MIMO.

Los canales que operan en 40 MHz duplican las versiones anteriores de 20 MHz en la transmisión de datos en la capa física, y proveen el doble de bitrate disponible en dicha capa.

2.2.1 Codificación de datos

El transmisor usa precoding y el receptor postcoding, precoding incluye spatial beamforming (mejora la calidad de la señal recibida en la etapa de decodificación) y spatial coding (puede incrementar el througput vía multiplexación espacial e incrementar la cobertura mediante el uso de la diversidad espacial con técnicas como la codificación Alamouti).

2.2.2 Número de antenas

La cantidad de streams simultáneos está limitada por el número mínimo de antenas que se usa en ambas partes del enlace,

El tipo de radio que incorpora un equipo se designa con la siguiente nomenclatura “a x b : c”, donde “a” indica el número máximo de antenas o canales de radiofrecuencia de emisión que la radio puede utilizar, “b” expresa el número máximo de antenas o canales de radiofrecuencia de recepción del que puede hacer uso el sistema y “c” indica el número máximo de flujos de datos que pueden ser usados. Así pues un sistema 3x2:2 podrá utilizar hasta tres antenas de transmisión, dos de recepción y dos flujos de datos independientes. Es importante interpretar este dato puesto que las antenas no suelen ser visibles, y desde luego, los flujos de datos no lo son, e influye a la hora de evaluar el rendimiento del sistema, y evitar invertir en puntos de acceso con mucha capacidad cuando los clientes no están a la par, o viceversa.

La versión borrador de 802.11n permite hasta 4 x 4 : 4. Las configuraciones comunes son 2 x 2 : 2, 2 x 3 : 2, y 3 x 2 : 2; teniendo las tres el mismo throughput, difieren sólo en la cantidad de diversidad

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

que proveen. Se está haciendo común una cuarta opción, 3 x 3 : 3, con mayor throughput, debido al stream adicional de datos.

2.2.3 Bitrates

Se alcanzan tasas de hasta 600 mbps cuando se usa el número máximo de cuatro streams espaciales, únicamente en 40 MHz. La modulación y tasa de codificación usada se representan con el índice MCS (*Modulation and Codification Scheme*).

Indice MCS	Streams Espaciales	Modulación	Tasa de código	Bitrate (mbps)			
				Canal de 20 MHz		Canal de 40 MHz	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6,5	7,2	13,5	15
1	1	QPSK	1/2	13	14,4	27	30
2	1	QPSK	3/4	19,5	21,7	40,5	45
3	1	16-QAM	1/2	26	28,9	54	60
4	1	16-QAM	3/4	39	43,3	81	90
5	1	64-QAM	2/3	52	57,8	108	120
6	1	64-QAM	3/4	58,5	65	121,5	135
7	1	64-QAM	5/6	65	72,2	135	150
8	2	BPSK	1/2	13	14,4	27	30
9	2	QPSK	1/2	26	28,9	54	60
10	2	QPSK	3/4	39	43,3	81	90
11	2	16-QAM	1/2	52	57,8	108	120
12	2	16-QAM	3/4	78	86,7	162	180
13	2	64-QAM	2/3	104	115,6	216	240
14	2	64-QAM	3/4	117	130	243	270
15	2	64-QAM	5/6	130	144,4	270	300
16	3	BPSK	1/2	19,5	21,7	40,5	45
17	3	QPSK	1/2	39	43,3	81	90
18	3	QPSK	3/4	58,5	65	121,5	135
19	3	16-QAM	1/2	78	86,7	162	180
20	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270
21	3	64-QAM	2/3	156	173,3	324	360
22	3	64-QAM	3/4	175,5	195	364,5	405
23	3	64-QAM	5/6	195	216,7	405	450
24	4	BPSK	1/2	26	28,8	54	60
25	4	QPSK	1/2	52	57,6	108	120
26	4	QPSK	3/4	78	86,8	162	180
27	4	16-QAM	1/2	104	115,6	216	240
28	4	16-QAM	3/4	156	173,2	324	360
29	4	64-QAM	2/3	208	231,2	432	480
30	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540
31	4	64-QAM	5/6	260	288,8	540	600

Tabla 2.2.3.1. *Relación entre las variables que permiten la máxima velocidad de transmisión.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.2.4 Agregado de tramas

Cada trama que se transmite, posee una significante cantidad de overhead (es decir todo aquello que no es carga útil) incluyendo headers de nivel de radio, campos MAC, espaciado entretramas, y ACK de tramas transmitidas. Para las tasas de velocidad más altas, el overhead de una trama puede llegar a consumir más ancho de banda que el consumido por los datos de la carga útil de dicha trama. Este inconveniente se trata con lo que se conoce como Agregado de tramas o *Frame Aggregation*, y en el estándar 802.11n se definen dos tipos de Agregados de Tramas, ambos agrupan varias tramas de datos en una trama única más grande. Como la información de gestión se manda una vez por trama, la relación entre volumen de carga útil y volumen total es mayor, lo que significa un throughput mayor. Uno es el MSDU (*MAC service data units*) y MPDU (*MAC protocol data units*).

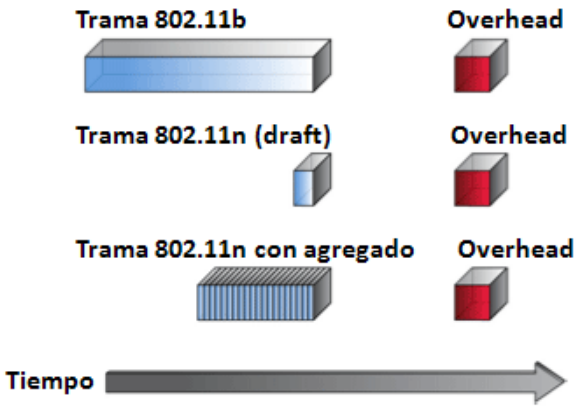


Imagen 2.2.4.1. *Mejora del rendimiento de red mediante el agregado de tramas.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.3 El funcionamiento de MIMO

Las comunicaciones digitales que usan la tecnología Múltiple Entrada Múltiple Salida (en inglés MIMO) son reconocidas como uno de los avances técnicos más significativos en las comunicaciones modernas. La característica clave de un sistema MIMO es su habilidad de transformar la propagación multitrayectorias, tradicionalmente un obstáculo en transmisiones inalámbricas, en un beneficio.

2.3.1 Tipos de sistemas multiantenas

Este sistema de comunicación se caracteriza porque tanto el transmisor como el receptor poseen diferentes cantidades de antenas, lo que da lugar a la siguiente categorización:

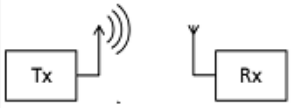
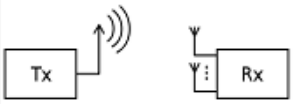
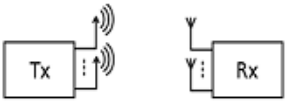
SISO	Única Entrada Única Salida: el transmisor y el receptor tienen una sola antena	
SIMO	Única Entrada Múltiple Salida: el transmisor tiene una sola antena y el receptor tiene varias antenas	
MISO	Múltiple Entrada Única Salida: el transmisor tiene varias antenas y el receptor tiene una sola antena	
MIMO	Múltiple Entrada Múltiple Salida: el transmisor y el receptor tienen varias antenas	

Tabla 2.3.1.1. *Tipos de sistemas multiantenas.*

MIMO significa el uso de múltiples antenas tanto en el transmisor como el receptor, para mejorar el rendimiento de una comunicación.

Los sistemas inalámbricos anteriores a MIMO estaban limitados por la capacidad de la red, que depende de la calidad del canal y la cobertura.

El problema ocurre con la transmisión en un canal con multitrayectorias. En comunicaciones inalámbricas, el canal de propagación se caracteriza por la propagación multitrayectoria, debido al rebote de la señal en los diferentes obstáculos que encuentra. Esto es algo típico en sistemas de comunicación con variación y expansión en el tiempo. A lo largo del tiempo, la señal recibida varía por las atenuaciones que

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

sufre, lo que causa una disminución en el SNR. La expansión en el tiempo, es importante para obtener selectividad en frecuencia.

En un ambiente urbano, estas señales rebotan en árboles, edificios, etc. y continúan su camino hacia el destino (receptor) pero en distintas direcciones.

Con MIMO, el receptor usa un algoritmo o procesamiento especial de señal para organizar las múltiples señales y obtener como resultado la señal que posee los datos transmitidos originalmente.

Imagen 2.3.1.2. *Una mirada simple de MIMO: 1) Múltiples streams de datos transmitidos en un único canal al mismo tiempo. 2) Múltiples radios reciben señales de múltiples trayectorias. 3) Ofrece mejoras simultáneamente en velocidad, cobertura, y confiabilidad.*

MIMO aprovecha la dimensión espacial para aumentar la capacidad, cobertura, y confiabilidad de un sistema inalámbrico. Ofrece un aumento significativo en throughput de datos y cobertura, sin usar mayor ancho de banda o potencia de transmisión. MIMO alcanza este objetivo expandiendo la potencia total sobre las antenas de transmisión, para llegar a una ganancia que mejora la eficiencia espectral (bits/seg/Hz), o bien para llegar a una ganancia por diversidad que mejora la confiabilidad del enlace (reduciendo la atenuación).

La capacidad del canal en MIMO aumenta linealmente a medida que el número de antenas aumenta. En SIMO y MISO, aumenta de manera logarítmica (Imagen 2.3.1.3).

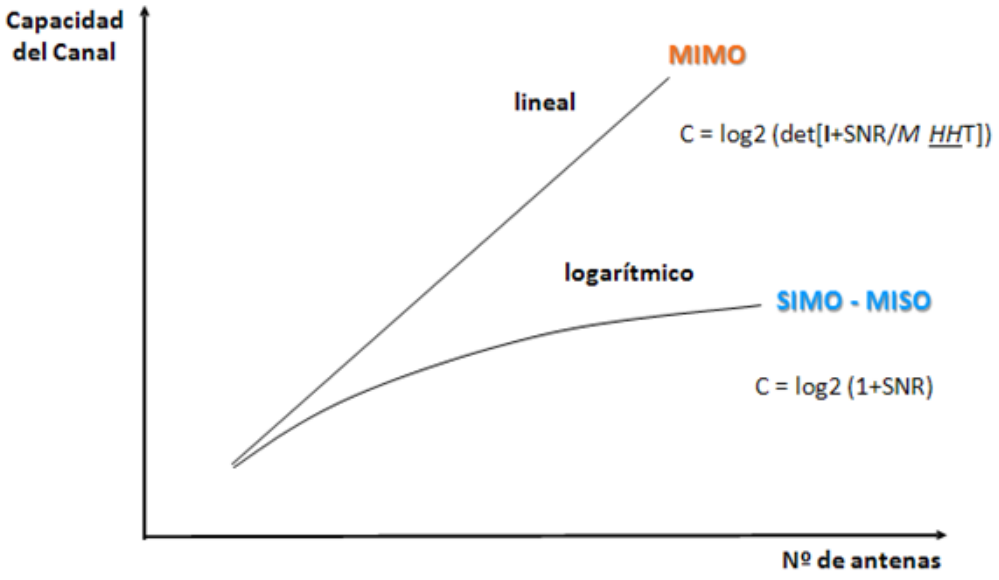


Imagen 2.3.1.3. *Ventaja de MIMO sobre SIMO / MISO: la capacidad del canal aumenta linealmente a medida que se agregan antenas al sistema.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

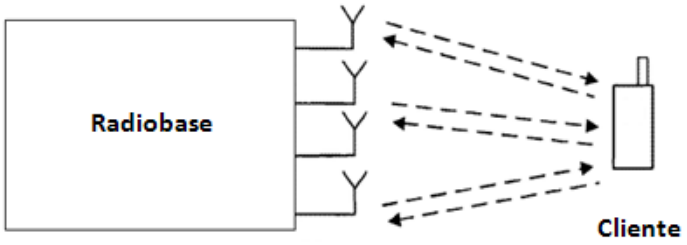
2.3.2 Tipos de Sistemas MIMO

Hay dos grandes clasificaciones para determinar los tipos de sistemas MIMO:

1. Único Usuario (SU-MIMO) vs. Múltiple Usuario (MU-MIMO)
2. MIMO Lazo Abierto vs. MIMO Lazo Cerrado

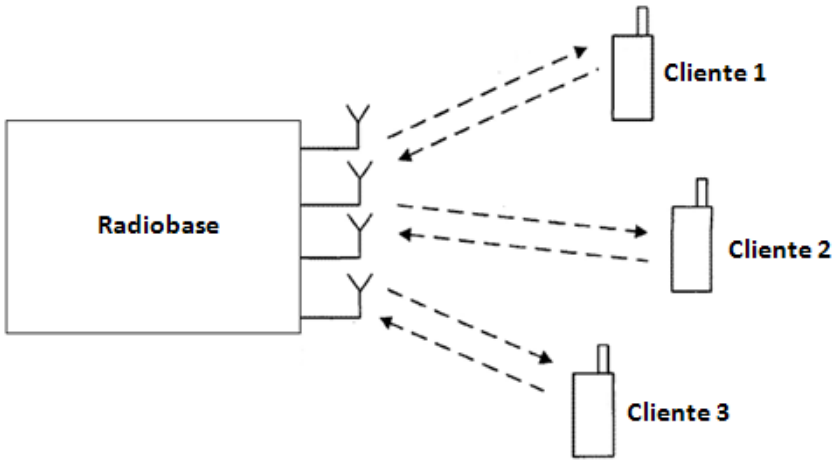
Único Usuario (SU-MIMO)

Cuando el incremento en la tasa de datos va a ser para un solo equipamiento de usuario (UE).



Múltiple Usuario (MU-MIMO)

Cuando los streams individuales son asignados a varios usuarios. Este modo es útil en particular en la subida de datos ya que la complejidad en la parte del UE se mantiene al mínimo al usar solamente una antena. Esto también se llama “MIMO colaborativo”.



MIMO Lazo Abierto vs. MIMO Lazo Cerrado

Las configuraciones MIMO se representan como “Open Loop” o “Closed Loop”, pero en la práctica la terminología MIMO usada comúnmente ha estado referida a las técnicas MIMO Open Loop. Las técnicas MIMO Closed Loop, también conocidas como técnicas de Antena Adaptiva de Transmisión (TX-AA) se las llama simplemente como “beamforming” en la industria. “Beamforming” es una técnica

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

de procesamiento de señal usada para la transmisión direccional de una señal. Esto se hace combinando los elementos de un arreglo de antenas en distintas fases, de manera tal que las señales en determinados ángulos presentan interferencia constructiva mientras que en otros presentan interferencia destructiva. Para esto se usan patrones de haz fijos o adaptivos.

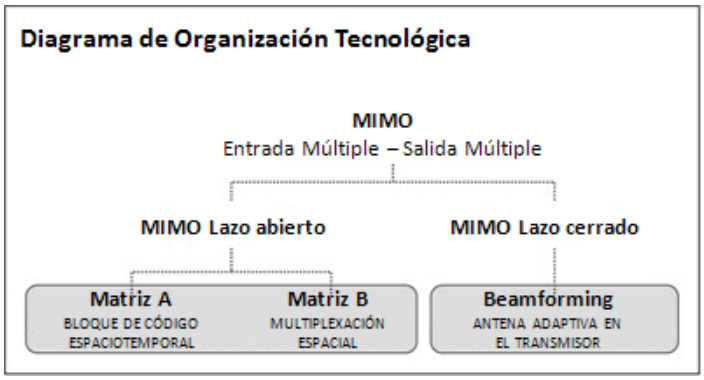


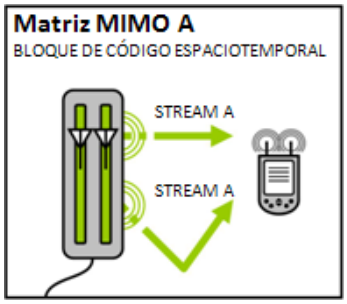
Imagen 2.3.2.1. *Implementación de WiMAX en sistema multi antena.*

2.3.3 MIMO de Lazo Abierto

El canal de comunicaciones no usa información explícita acerca de la propagación. Las técnicas comunes de Open Loop MIMO incluyen Diversidad en Transmisión por Espacio Tiempo (STTD), Multiplexacion Espacial (SM) y MIMO Colaborativo en el enlace de subida

- Diversidad en Transmisión por Espacio Tiempo (STTD)

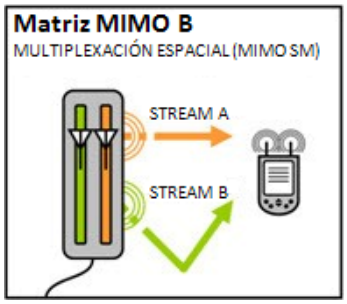
  Este sistema se usa en telefonía celular 3G. Utiliza el bloque de código espacio tiempo (STBC) haciendo uso de la redundancia por transmisión múltiple de una misma señal. La misma información se codifica y transmite a través de diferentes antenas, que efectivamente duplican la potencia en el canal, lo que mejora el SNR, junto al rendimiento en el borde de la celda.



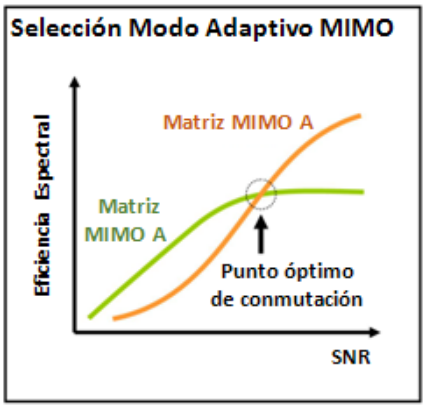
COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- Multiplexacion Espacial (SM)

Se transmiten las señales de datos de manera independiente y separada, en streams desde cada una de las antenas de transmisión: la dimensión espacial se multiplexa más de una vez. SM entrega streams paralelos de información al UE mediante el uso de multitrayectorias. Puede duplicar (2x2) o cuadruplicar (4x4) la capacidad y el throughput. SM entrega mayor capacidad cuando las condiciones de RF son favorables y los usuarios están cerca de la radio base



Es decir, STTD funciona mejor que SM cuando el SNR es débil, mientras que cuando el SNR es alto, es aplicable SM. El STTD mejora el SNR para los usuarios al borde de la celda, mientras que SM provee mayor capacidad cuando el usuario tiene buenas condiciones de RF y está más cerca de la radio base. Un Sistema ideal que use MIMO soportaría ambas técnicas, y de manera dinámica cambiaría la técnica usada calculando el punto óptimo, para ofrecer a la red la necesaria cobertura o ganancia, en un tiempo y lugar dado.



- MIMO Colaborativo en el enlace de subida

Es una técnica adicional del tipo lazo abierto, que en WiMAX se usa para aumentar la eficiencia espectral y la capacidad en los enlaces de subida. En la práctica, esto permitirá que dos

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

usuarios WiMAX separados, cada uno teniendo una configuración de una antena, usen la misma distribución de frecuencia para comunicarse con una radio base WiMAX de doble antena.

Con esta técnica, dos dispositivos pueden transmitir "colaborativamente" en el mismo canal, lo que incrementa la capacidad del enlace de subida.

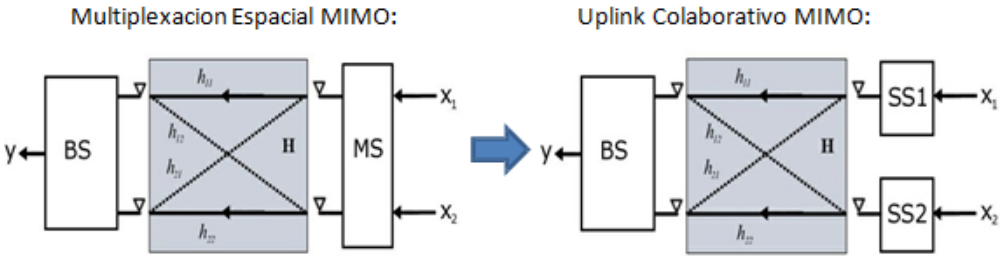


Imagen 2.3.3.1. *Resumen del funcionamiento de la multiplexación espacial y el uplink colaborativo en MIMO.*

2.3.4 MIMO de Lazo Cerrado

La tecnología en antenas es la clave para incrementar la capacidad de una red. Esto empezó con las antenas sectorizadas, que irradian en 60 o 120 grados y forman una celda o célula. En GSM, la capacidad se puede triplicar con las antenas de 120 grados. Los arreglos de antenas adaptivos, intensifican la multiplexacion espacial usando haces angostos. Las antenas inteligentes pertenecen a los arreglos de antenas adaptivos, pero difieren en la estimación de la dirección de arribo (DoA). Una antena inteligente puede formar un lóbulo específico de acuerdo al usuario. Opcionalmente, poseer información específica del canal (CSI) puede reducir la complejidad de dicho arreglo.

Beamforming es el método usado para crear el patrón de radiación en un arreglo de antenas. Se aplica tanto a cualquier sistema de arreglo como a los sistemas MIMO.

Las antenas inteligentes se dividen en dos grupos:

- Sistemas de arreglos conmutativos (switched beamforming), con un número finito de patrones fijos y predeterminados.
- Sistemas de arreglos adaptivos (adaptive beamforming), con un número infinito de patrones, ajustable al escenario en tiempo real.

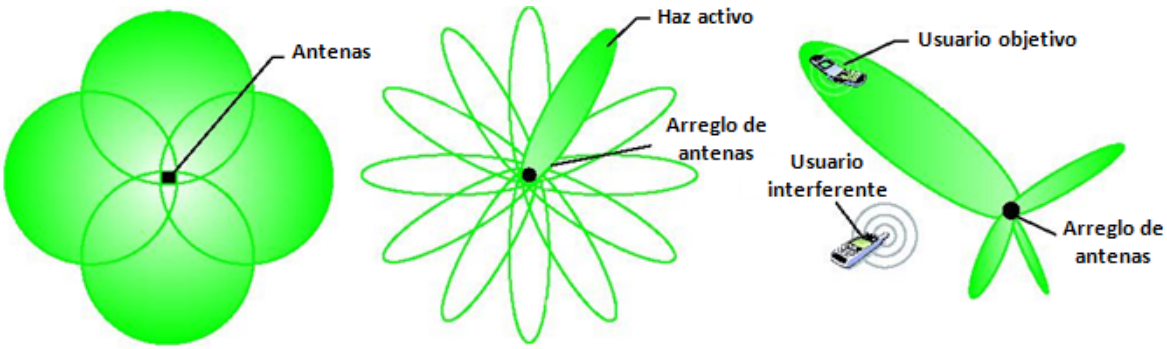


Imagen 2.3.4.1. *Arreglo de antenas para beamforming convencional (izquierda). Arreglo de antenas conmutativo (centro). Arreglo de antenas Adaptivo (derecha).*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

En un sistema conmutativo, se calcula eléctricamente el DoA y se selecciona un patrón fijo acorde. El usuario obtiene intensidad de señal óptima a lo largo del centro del haz. El sistema adaptivo, ajusta el haz en tiempo real de acuerdo al movimiento del equipo de usuario (UE). La complejidad y el costo de este último es mayor.

2.3.5 Función del Sistema MIMO

MIMO se puede subdividir en tres categorías principales:

- Precoding
- Multiplexacion espacial
- Codificación por diversidad

Precoding

Es una generalización del beamforming para soportar una transmisión multi capa en comunicaciones con varias antenas. En beamforming convencional de Capa Unica, la misma señal se emite desde cada antena de transmisión con una ponderación apropiada tal que la potencia de la señal aumente a la salida del receptor. Cuando el receptor tiene múltiples antenas, el beamforming de Capa Unica no puede maximizar simultáneamente el nivel de señal a todas las antenas de los receptores. Es por ello que en orden de maximizar el throughput en sistemas receptores con múltiples antenas, se requiere del beamforming multi capa. Así se produce un incremento en la ganancia de la señal recibida (ya que las señales emitidas desde antenas diferentes se suman de manera constructiva) y se reduce la atenuación producida por las multitrayectorias. El precoding se puede separar en:

Precoding para SU-MIMO

Un transmisor equipado con múltiples antenas se comunica con un receptor que también tiene múltiples antenas. Los resultados clásicos de precoding asumen “banda estrecha” (ver explicación más abajo). En la práctica, se logran obtener mediante la multiplexacion ortogonal por division de frecuencia (OFDM). La estrategia de precoding que maximiza el throughput, depende de la información disponible acerca del estado del canal.

Precoding para MU-MIMO

Un transmisor con múltiples antenas se comunica de manera simultánea con múltiples receptores (los cuales pueden tener una o múltiples antenas). Esto se conoce como acceso múltiple por division de espacio (SDMA). Desde la perspectiva de la implementación, los algoritmos de precoding para sistemas SDMA pueden subdividirse en lineales y no lineales. Los algoritmos para alcanzar mayor capacidad son no lineales, pero con precoding lineal se obtiene un rendimiento razonable por lo general, con menor complejidad. Este precoding lineal incluye

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

MMSE y *zero forcing* (ZF) simplificada. También hay esquemas de precoding personalizados para cuando hay poca información del estado del canal, por ejemplo beamforming aleatorio.

El precoding no lineal se designa en base al concepto de *dirty paper coding*, donde cualquier interferencia en el transmisor, que sea conocida, puede restarse sin penalidad de recursos, siempre que el esquema óptimo de precoding se aplique a la señal transmitida.

Multiplexacion Espacial (SM)

Esta técnica toma una señal de alto bitrate y la divide en múltiples streams de bajos bitrates, y cada stream es transmitido desde una antena diferente en el mismo canal. Si estas señales arriban al arreglo de antenas del receptor con la suficiente cantidad de firmas espaciales diferentes, dicho receptor puede separar estos streams en (casi) canales paralelos. La multiplexación espacial es una técnica muy potente para incrementar la capacidad del canal con mayor SNR. El número máximo de streams espaciales se limita por el menor de los números de antenas ya sea en el transmisor o el receptor. Puede usarse para transmisión simultánea a múltiples receptores, algo conocido como acceso múltiple por division espacial. La programación de los receptores con diferentes firmas espaciales permite una buena separabilidad.

Codificación por Diversidad

Técnicas usadas cuando el transmisor no conoce el canal. En los métodos de diversidad, se transmite un stream único (a diferencia de los múltiples streams en multiplexacion espacial), pero la señal se codifica usando técnicas de codificación espaciotemporales. La señal se emite desde cada una de las antenas del transmisor con codificación ortogonal. La codificación por diversidad hace uso de las atenuaciones independientes en los enlaces, para mejorar la diversidad de la señal. Al no haber información del canal, no se usa beamforming.

2.3.6 Modelo de canal MIMO y Descripción Matemática

El transmisor y receptor se equipan con varias antenas. El stream de transmisión atraviesa la matriz del canal que consiste en múltiples antenas de recepción. Luego el receptor obtiene los vectores de la señal recibida y decodifica dichos vectores, obteniendo la información original. Este es el modelo del Sistema MIMO:

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

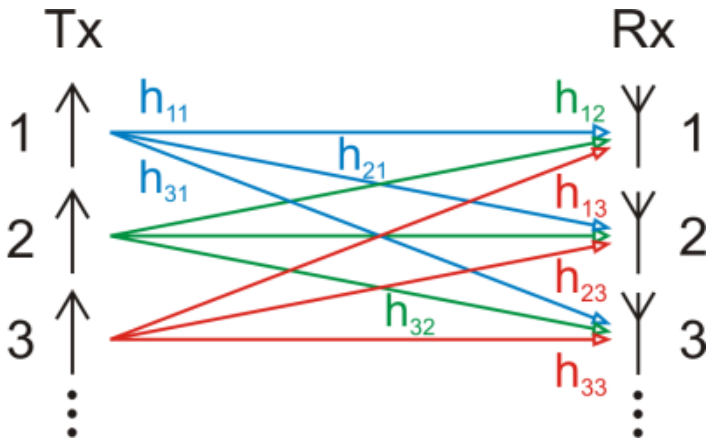


Imagen 2.3.6.1. *Modelo de canal MIMO, con cierta cantidad de antenas en el transmisor y receptor, y múltiples vectores de transmisión en dicho canal.*

En los sistemas MIMO, el transmisor envía múltiples streams mediante múltiples antenas de transmisión. Los streams transmitidos pasan a través de una matriz de canal que consiste en todos los caminos $N_t N_r$ entre las N_t antenas en el transmisor y las N_r antenas en el receptor. Luego, el receptor obtiene los vectores de la señal recibida por las múltiples antenas, y decodifica dichos vectores, obteniendo la información original.

Un canal de banda "estrecha" es aquel en el que el ancho de banda del mensaje no excede significativamente el ancho de banda coherente del canal. Este ancho de banda coherente, es el rango de frecuencias para el cual la respuesta en frecuencia del canal puede considerarse plana, es decir donde dos frecuencias de una señal, experimentan una atenuación de amplitud similar.

Un Sistema MIMO de banda estrecha se modela como:

$\mathbf{y} = \mathbf{Hx} + \mathbf{n}$, donde y es el vector recepción, x el vector transmisión, H la matriz de canal, y n el vector ruido.

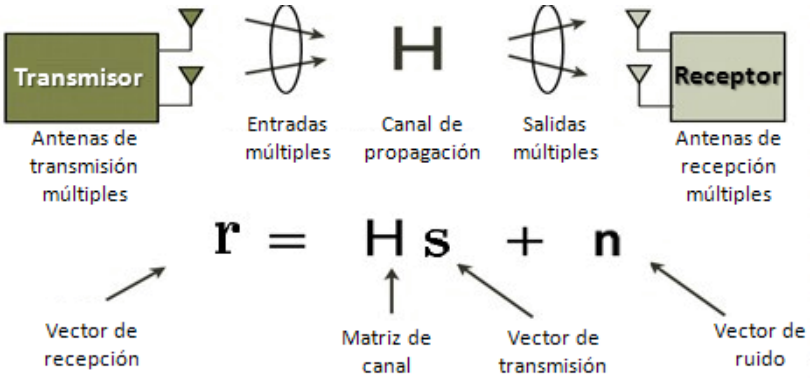


Imagen 2.3.6.2. *Modelo de canal MIMO, con la ecuación matricial correspondiente.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

De acuerdo a la teoría de la información y citando al documento de la IEEE titulado "*An overview of limited feedback in wireless communication systems*", la capacidad del canal ergódica en los sistemas MIMO donde tanto el transmisor como el receptor tienen perfecta información del estado del canal (CSI) es:

$$C_{\text{perfect-CSI}} = E\left[\max_{\mathbf{Q};\,\text{tr}(\mathbf{Q})\leq 1} \log_2 \det\left(\mathbf{I}+\rho\mathbf{H}\mathbf{Q}\mathbf{H}^H\right)\right] = E\left[\log_2 \det\left(\mathbf{I}+\rho\mathbf{D}\mathbf{S}\mathbf{D}\right)\right]$$

Donde $()^H$ denota matriz conjugada transpuesta (o Hermitaña), ρ el SNR de transmisión, y Q es la covarianza de la señal.

La covarianza es una medida de dispersión que muestra qué tanto cambian, de manera conjunta, dos variables aleatorias.

La covarianza óptima de la señal, $\mathbf{Q}=\mathbf{V}\mathbf{S}\mathbf{V}^H$ se logra mediante la descomposición de valores singulares de la matriz de canal $\mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^H=\mathbf{H}$, y de la matriz de ubicación de potencia óptima $\mathbf{S}=\text{diag}(s_1,\ldots,s_{\min(N_t,N_r)},0,\ldots,0)$

La distribución óptima de potencia se logra mediante el Algoritmo de Water-Filling, que es:

$$s_i = \left(\mu - \frac{1}{\rho d_i^2}\right)^+, \quad \text{for } i = 1,\ldots,\min(N_t,N_r),$$

Donde $d_1,\ldots,d_{\min(N_t,N_r)}$ son los elementos de la diagonal de la matriz $\mathbf{D}$, el índice "+" es nulo si su argumento es negativo, y μ se toma tal que $s_1+\ldots+s_{\min(N_t,N_r)}=N_t$.

La CSI puede ser instantánea (de corto plazo, donde se conocen las condiciones actuales del canal) o estadística (de largo plazo, donde se conoce una caracterización estadística del canal).

- Información mutua:

  Considerando un canal con entrada X y salida Y, la cantidad

  $$\mathbf{I(X;Y) = H(X) - H(X \mid Y)}$$

  Es el total de información en X, menos el total de información aún en X después de conocer a Y. En otras palabras, $\mathbf{I(X;Y)}$ es la cantidad de información aprendida por X en virtud de saber Y, o la cantidad de información sobre X que va a través del canal. Por simetría $\mathbf{I(X;Y) = I(Y;X)}$, lo define la información mutua de X e Y como:

$$\mathbf{I(X;Y) = H(X) - H(X \mid Y) = H(Y) - H(Y \mid X)}$$

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Si el transmisor tiene solamente CSI estadística, entonces la capacidad ergódica del canal disminuirá, ya que la covarianza Q puede optimizarse solamente en términos de la información mutua promedio como:

$$C_{\mathbf{statistical-CSI}} = \max_{\mathbf{Q}} E\left[\log_2 \det\left(\mathbf{I} + \rho \mathbf{H}\mathbf{Q}\mathbf{H}^H\right)\right].$$

La correlación especial (entre la dirección especial de una señal y la ganancia promedio recibida) del canal tiene un fuerte impacto en la capacidad ergódica del canal con CSI estadística.

Si el transmisor no posee CSI, puede seleccionar la covarianza Q para maximizar la capacidad del canal bajo estadísticas del caso peor, es decir $\mathbf{Q}=1/N_t\mathbf{I}$ y por lo tanto:

$$C_{\mathbf{no-CSI}} = E\left[\log_2 \det\left(\mathbf{I} + \frac{\rho}{N_t}\mathbf{H}\mathbf{H}^H\right)\right].$$

Dependiendo de las propiedades estadísticas en el canal, la capacidad ergódica no es mayor a $\mathbf{min}(N_t, N_r)$ veces que la de un Sistema SISO.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.3.7 Aplicación del Sistema MIMO

El estándar para radiocomunicaciones móviles de 3GPP (UMTS) ha pasado por numerosas fases de desarrollo. Empezando por WCDMA, se introdujeron varios métodos para incrementar el bitrate, incluyendo HSDPA y HSUPA. Los últimos lanzamientos brindaron HSPA+ y LTE (*Long Term Evolution*).

Imagen 2.3.7.1. *Nuevos mercados obtenidos como consecuencia de las nuevas aplicaciones que se pueden realizar gracias a la disponibilidad de la tecnología MIMO.*

2.3.8 HSPA+ (7º lanzamiento de 3GPP)

Esta versión amplía el modo de transmisión de diversidad en MIMO, incrementando el bitrate respecto a la versión anterior (HSDPA). La introducción de la modulación 64QAM y MIMO en el enlace de bajada, implica un bitrate pico de 28 mbps, en el cual MIMO y 64QAM no se pueden usar

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

simultáneamente. Desde el octavo lanzamiento este uso simultáneo es posible, lo que implica bitrates picos de hasta 42 mbps, sin especificar el uso de MIMO para el enlace de subida.

MIMO fue introducido en la forma de un arreglo de antenas de doble transmisión (D-TxAA) para el canal compartido de alta velocidad de bajada (HS-DSCH).

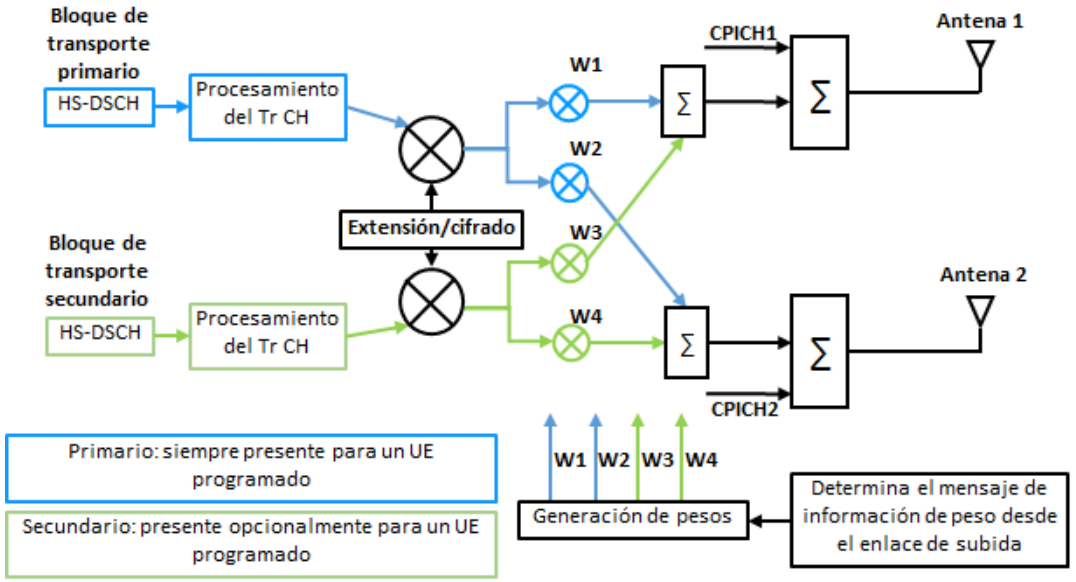


Imagen 2.3.8.1. *Diagrama simplifiado en bloques del funcionamiento de la nueva capa de transporte agregada en HSDPA a partir de su 5to lanzamiento: HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel).*

Con D-TxAA, dos streams de datos independientes pueden transmitirse simultáneamente sobre el canal de radio usando los mismos códigos de WCDMA. Estos streams se indican en color azul y verde en la Imagen 2.3.8.1. Luego de la distribución y codificación, se aplica precoding basado en ponderaciones para optimizar la señal a ser transmitida en el canal móvil de radio. Hay cuatro niveles de ponderación para precoding, w1 a w4. El primer stream se multiplica por w1 y w2, el segundo stream se multiplica por w3 y w4. Las ponderaciones pueden tener los siguientes valores:

$$w3 = w1 = {}^{1}/_{\sqrt{2}}$$

$$w4 = -w2$$

$$w2 \in \left\{\frac{1+j}{2}, \quad \frac{1-j}{2}, \quad \frac{j-1}{2}, \quad \frac{-j-1}{2}\right\}$$

Se debe hacer notar que w1 es siempre fijo, y solo w2 puede ser seleccionado por la radio base. Las ponderaciones w3 y w4 dependen de w1 y w2, al ser ortogonales. La radio base selecciona las ponderaciones óptimas basándose en lo reportado por el UE en el enlace de subida.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Además de usar MIMO en HS-DSCH, la información de la ponderación debe ser transmitida al UE a través del canal de control de HS-SCCH, si bien MIMO no se había especificado para el enlace de subida, la información relevante a MIMO se transmite por ese medio. El UE envía un indicador de control de precoding (PCI) y un indicador de calidad de canal (CQI) en el HS-DPCCH, que permite a la radio base adaptar la modulación, el esquema de codificación, y las ponderaciones para precoding.

2.3.9 LTE (8º lanzamiento de 3GPP)

El objetivo de este sistema es un alto bitrate, baja latencia y tecnología de acceso al medio radial optimizando el uso de paquetes. LTE también es conocida como E-UTRA (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access*) o E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*). El concepto básico de LTE en el enlace de bajada es OFDMA (en el de subida SC-FDMA), mientras que las tecnologías MIMO son una parte integral de LTE. Los tipos de modulación usados son QPSK, 16QAM, y 64QAM. Se especifican bitrates picos de hasta 300 mbps (MIMO en 4x4) y de hasta 150 mbps (MIMO en 2x2) en el enlace de bajada y de hasta 75 mbps en el enlace de subida.

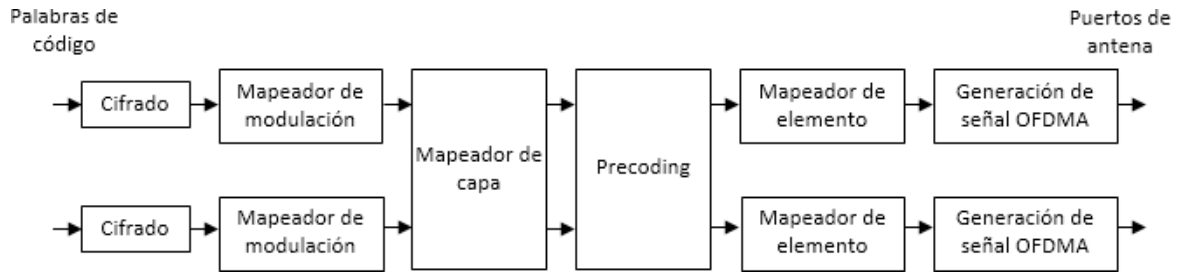


Imagen 2.3.9.1. *Diagrama esquemático del downlink LTE.*

En LTE, una o dos palabras de código se mapean en una, dos, tres, o cuatro capas (bloque "mapeo de capas"). Para hacer multiplexación, se lleva a cabo el precoding (bloque "precoding"). En este proceso, las capas se multiplican por una matriz W de precoding, y luego se distribuyen a las antenas. El precoding es conocido tanto por el transmisor como por el receptor. En la especificación, los bloques de código se definen para una, dos, o cuatro antenas, como así también para multiplexacion espacial y transmisión por diversidad.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Indice	Número de capas υ	
	1	2
0	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\1\end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{bmatrix}$
1	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\-1\end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix}1 & 1\\1 & -1\end{bmatrix}$
2	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\j\end{bmatrix}$	$\frac{1}{2}\begin{bmatrix}1 & 1\\j & -j\end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\-j\end{bmatrix}$	-

Imagen 2.3.9.2. *Índice de código para multiplexación especial con dos antenas, a modo de ejemplo.*

Enlace de subida: para mantener una baja complejidad en el UE, MU-MIMO se basa en el enlace de subida. Varios UEs usan el mismo canal, cada uno con una antena de transmisión.

2.3.10 WiMAX (802.16e-2005)

WiMAX establece un bitrate pico de 74 mbps en un ancho de banda de hasta 20 MHz. Los tipos de modulación usados son QPSK, 16QAM, y 64QAM.

Enlace de bajada: el estándar especifica MIMO en el modo Wireless MAN con OFDM. Define un gran número de matrices para codificación y distribución a las antenas. En principio son posibles dos, tres, o cuatro antenas de transmisión. Cada modo dispone de las matrices A, B, y C. En el bloque "codificador STC", los streams se multiplican por la matriz seleccionada y se mapean hacia las antenas.

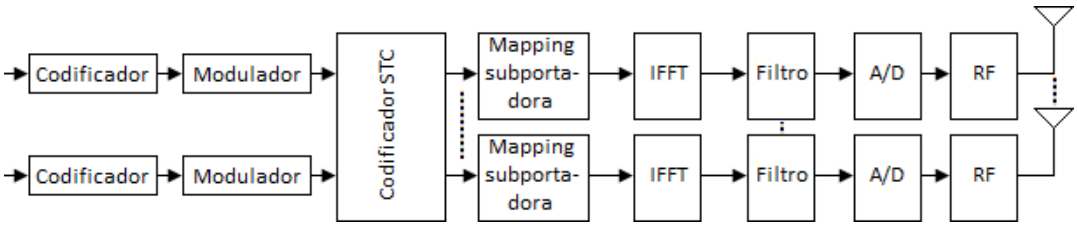


Imagen 2.3.10.1. *Diagrama esquemático del downlink WiMAX.*

Enlace de subida: la codificación y el mapeo son los mismos que en el caso no MIMO. Además de MIMO para un único usuario (SU-MIMO), dos usuarios diferentes pueden usar el mismo canal (MIMO colaborativo).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.3.11 WLAN (802.11n)

Promete un bitrate pico de 600 mbps en un ancho de banda de 40 Mhz. Los tipos de modulación son BPSK, QPSK, 16QAM, y 64QAM. Es retro compatible con los estándares previos 802.11 a/b/g. Con hasta cuatro streams, soporta un máximo de hasta cuatro antenas.

WLAN distingue entre streams espaciales (SS) y streams espaciotemporales (STS).

2.3.12 A futuro

Los estándares a futuro continuarán usando la tecnología MIMO. Hoy se está trabajando en:

- LTE Avanzado: el objetivo es proveer 1 gbps, en un ancho de banda de 100 MHz, en el enlace de bajada.
- 1xEV-DO Rev. C: el objetivo es proveer 18 mbps en un ancho de banda de 1,25 MHz.
- WiMAX 802.16m: el objetivo es proveer 300 mbps en un ancho de banda de 20 MHz en el enlace de bajada.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.4 La próxima versión: Norma 802.11ac

Estándar actualmente bajo desarrollo (Borrador 4.0), provee WLAN de alto throughput en la banda de 5 GHz. Se prevé su finalización para fines de 2012, con la aprobación final del grupo 802.11 para fines de 2013. De acuerdo a estudios, dispositivos con la especificación 802.11ac serán algo común en el año 2015, con una distribución de 1 billón de unidades alrededor del mundo.

Teóricamente, esta especificación permitirá throughput de al menos 1 gbps a estaciones WLAN múltiples, y un throughput máximo en cada enlace de hasta 500 mbps. Esto se logra al extender los conceptos de interferencia aérea planteados en 802.11n: mayor ancho de banda RF (hasta 160 MHz), más streams espaciales MIMO (hasta 8), MU-MIMO, y modulación de alta densidad (hasta 256QAM).

2.4.1 El mercado

Quantenna lanzó el primer chipset 802.11ac para routers Wi-Fi y electrónica de consumo en noviembre de 2011.

Redpine Signals lanzó la primera tecnología 802.11ac de baja potencia para CPUs de smartphones en diciembre de 2011.

En enero de 2012, Broadcom anunció sus primeros chips Wi-Fi 802.11ac.

En abril de 2012 Netgear anunció su primer router usando un chip de Broadcom.

En junio de 2012, ASUS lanzó su modelo de notebook para juegos, la ROG (*Republic of Gamers*) G75VX, siendo la primera notebook en ser compatible totalmente con 802.11ac y orientada al consumidor.

2.4.2 Chipsets

Fabricante	N° de parte	Streams	LDPC	TxBF	256-QAM	Application
Broadcom	4360	3	SÍ	SÍ	SÍ	Routers
Broadcom	4352	2	SÍ	SÍ	SÍ	Tablets
Broadcom	4335	1	SÍ	SÍ	SÍ	Handsets
Marvell	Avastar 88W8897	2	SÍ	SÍ	SÍ	Tablets
Qualcomm	WCN3680	1	NO	NO	SÍ	Handsets
Qualcomm	QCA9862	2	SÍ	NO	SÍ	Tablets
Qualcomm	QCA9860	3	SÍ	NO	SÍ	Routers
Mediatek	MT7610	1				PC (PCIe o USB)
Mediatek	MT7650	1		SÍ	SÍ	Handsets
Quantenna	QAC2300	4	SÍ	SÍ	SÍ	Routers
Redpine Signals	RS9117	1	SÍ		SÍ	Handsets
Redpine Signals	RS9333	3	SÍ		SÍ	Routers

Imagen 2.4.2.1. *Listado de fabricantes de chipsets 802.11ac a Enero de 2013.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.4.3 Nuevas tecnologías

- Channel binding extendido
- Ancho de banda mandatorio de 80 MHz para STAs (vs. los 40 MHz máximos en 802.11n), 160 MHz disponibles opcionalmente
- Mayor cantidad de streams espaciales MIMO
- Soporte de hasta ocho streams espaciales (vs. cuatro en 802.11n)
- Multi-user MIMO (MU-MIMO)
- Múltiples STAs, cada una con una o más antenas, transmiten o reciben streams de datos independientes de manera simultánea
- "Space Division Múltiple Access" (SDMA): los streams no se separan en frecuencia, sino que se gestionan espacialmente, análogo a MIMO en 802.11n.
- Se incluye como modo opcional el enlace de bajada MU-MIMO (un dispositivo transmisor, múltiples dispositivos receptores)
- Se agrega como modo opcional modulación 256QAM, tasa 3/4 y 5/6, (vs. 64QAM, tasa máxima 5/6 en 802.11n)
- Beamforming compatibile entre las diferentes marcas (la no estandarización en 802.11n hizo difícil que el beamforming funcionara efectivamente entre productos de diferentes fabricantes)
- Modificaciones MAC (mayormente para el soporte de los cambios anteriores)
- Mecanismos de coexistencia para canales de 20/40/80/160 MHz y dispositivos 802.11ac y 802.11a/n.

2.4.4 Características opcionales y mandatorias

- Características mandatorias (heredadas de 802.11a/802.11n)

  Intervalo regular de guarda de 800 ns

  Binary convolutional coding (BCC)

  Stream espacial único

- Nuevas características mandatorias (introducidas en 802.11ac)

  Canales de 80 MHz

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- Características opcionales (heredadas de 802.11n)

  2 a 4 streams espaciales

  Código de chequeo de paridad de baja densidad (LDPC)

  Bloque de Código Espacio Temporal (STBC)

  Beamforming para transmisión (TxBF)

  Intervalo corto de guarda de 400 (SGI)

- Características opcionales (introducidas en 802.11ac)

  5 a 8 streams espaciales

  Canales de 160 MHz (contiguos 80+80)

  80+80 MHz channel bonding (no contiguo 80+80)

  MCS 8/9 (256QAM)

2.4.5 Nuevos escenarios y configuraciones

Las mejoras en enlaces únicos y multi estaciones soportadas en 802.11ac, permiten nuevos escenarios de uso para WLAN, como streaming simultaneo de video HD a múltiples clientes, rápida sincronización, backup de grandes archivos, e instalaciones en campos extensos.

Al alcanzar throughputs de 1 gbps, con esta prometedora tecnología se puede obtener distribución hogareña de múltiples señales HD a través de una robusta red Wi-Fi con baja latencia. Los estudios muestran que un AP en Norma 802.11ac con 40 Mhz de ancho de banda para cada canal, y usando ocho antenas, soporta en simultáneo dos streams HD de 24 mbps cada uno, y dos streams Blu-ray de 54 mbps cada uno. Un beneficio adicional es la redución de costos para el cliente, ya que sólo requiere dos antenas.

A modo inicial, se han lanzado varios dispositivos en 2012, previos a la certificación de 802.11ac, la cual está esperada que se inicie en los primeros tres meses de 2013 (al tiempo de la concreción de este trabajo); y la certificación MU-MIMO, en la primera mitad de 2014.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

2.4.6 Configuraciones ejemplo

Configuración	Cliente típico	Bitrate en capa física	Capacidad Agregada
AP con 1 antena + STA con 1 antena , 80 MHz	Handheld	433 mbps	433 mbps
AP con 2 antenas + STA con 2 antenas , 80 MHz	Tablet, Laptop	867 mbps	867 mbps
AP con 1 antena + STA con 1 antena , 160 MHz	Handheld	867 mbps	867 mbps
AP con 2 antenas + STA con 2 antenas , 160 MHz	Tablet, Laptop	1,73 gbps	1,73 gbps
AP con 4 antenas + cuatro STAs con 1 antena, 160MHz (MU MIMO)	Handheld	867 mbps a cada STA	3,47 gbps
AP con 8 antenas + STA con 4 antenas, 160MHz (MU MIMO)	TV digital, Set-top Box, Tablet, Laptop, PC, Handheld	3,47 gbps al STA con 4 antenas	6,93 gbps
AP con 8 antenas + STA con 2 antenas, 160MHz (MU MIMO)	TV digital, Set-top Box, Tablet, Laptop, PC, Handheld	1,73 gbps al STA con 2 antenas	6,93 gbps
AP con 8 antenas + dos STAs con 1 antena, 160MHz (MU MIMO)	TV digital, Set-top Box, Tablet, Laptop, PC, Handheld	867 mbps a cada STA	6,93 gbps
AP con 8 antenas + cuatro STAs con 2 antena, 160MHz (MU MIMO)	TV digital, Tablet, Laptop, PC	1,73 gbps a cada STA	6,93 gbps

Imagen 2.4.6.1. *Algunas configuraciones ejemplo. Se asume 256QAM y tasa 5/6.*

			Canales de 20 MHz		Canales de 40 MHz		Canales de 80 MHz		Canales de 160 MHz	
MCS	Mod.	Código	800 ns IG	400 ns IG	800 ns IG	400 ns IG	800 ns IG	400 ns IG	800 ns IG	400 ns IG
0	BPSK	1/2	6,5	7,2	13,5	15	29,3	32,5	58,5	65
1	QPSK	1/2	13	14,4	27	30	58,5	65	117	130
2	QPSK	3/4	19,5	21,7	40,5	45	87,8	97,5	175,5	195
3	16-QAM	1/2	26	28,9	54	60	117	130	234	260
4	16-QAM	3/4	39	43,3	81	90	175,5	195	351	390
5	64-QAM	2/3	52	57,8	108	120	234	260	468	520
6	64-QAM	3/4	58,5	65	121,5	135	263,3	292,5	526,5	585
7	64-QAM	5/6	65	72,2	135	150	292,5	325	585	650
8	256-QAM	3/4	78	86,7	162	180	351	390	702	780
9	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433,3	780	866,7

Imagen 2.4.6.2. *Throughput teórico para un stream espacial único (en mbps).*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Año	Modems WAN (Wide area network)	Ethernet LAN (Local area network)	WiFi WLAN (Wireless Local area network)	Celulares
1972	Acoplador acústico a 300 baudios			
1975		Experimental a 2,94 mbps		
1977	Vadic y Bell 212A a 1200 baudios			
1981		10BASE5 a 10 mbps (coaxial)		1G NMT (Nordic Mobile Telephone) a 1200 bps
1986	Se introduce la RDSI, con dos canales de 64 kbps			
1990	Modems v.32bis: 2400 / 4800 / 9600 / 19200 bps	10BASE-T a 10 mbps (par trenzado)		
1991				2G: GSM CSD y D-AMPS a 14,4 kbps
1994	Modems v.34 a 28,8 kbps			
1995	Modems v.90 a 56 kbps (bajada) y 33.6 kbps (subida)	Fast Ethernet a 100 mbps		
1997			802.11 2 mbps	
1998	ADSL, hasta 8 mbps			
1999	Modems v.92 a 56 kbps (bajada) y 48 kbps (subida)	Gigabit Ethernet a 1.000 mbps	802.11b a 11 mbps, 802.11a a 54 mbps	
2001				3G: UMTS-FDD (WCDMA) a 384 kbps
2003	ADSL2, hasta 12 mbps	10 Gigabit Ethernet a 10.000 mbps	802.11g a 54 mbps	GSM EDGE 296 kbps (bajada) y 118.4 kbps (subida)
2005	ADSL2+, hasta 24 mbps, VDSL2 (Very-high-bit-rate digital subscriber line 2) hasta 200 mbps			
2007			802.11n a 600 mbps	UMTS HSDPA a 14,4 mbps, WiMAX Móvil (IEEE 802.16e) a 144 mbps (bajada) y 35 mbps (subida).
2008				UMTS HSPA a 14,4 mbps (bajada) y 5,76 mbps (subida)
2009				HSPA+ a 28 mbps (bajada) y 22 mbps (subida) LTE a 100 mbps (bajada) y 50 mbps (subida)
2010		100 Gigabit Ethernet a 100.000 mbps		CDMA2000 EV-DO Rev. B 14,7 mbps (bajada)
2011				HSPA+ accelerated 42 mbps (bajada)

Imagen 2.4.6.3. *Resumen de los desarrollos destacados por año (Imagen Apaisada).*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

PARTE 3: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1 El objetivo buscado

Además de la investigación realizada y expuesta en la Parte 1 y Parte 2, el propósito del presente trabajo es el de distribuir inalámbricamente contenido Blu-ray sin modificación (*untouched,* como se conoce*)* a toda una casa, cuyo tamaño y estructura se encuentre dentro de los parámetros de un caso general.

Este modelo de uso está dirigdo a los requerimientos cada vez más grandes que realiza el usuario, al desear obtener contenido multimedial de mayor calidad.

El contenido Blu-ray está en un servidor hogareño, que es una computadora con capacidad de almacenamiento de 2 TB (aprox. 1.862 GB), lo que implica que si se considera que los títulos que ésta aloja ocupan el Blu-ray completo (aprox. 46,56 GB), se pueden tener en dicho servidor 39 películas. Cada título es un archivo de imagen (por lo general .iso) de hasta 46,56 GB, creado a partir del disco Blu-ray comercial mediante uno de los variados softwares gratuitos que hacen esta tarea, en este caso ImgBurn. Por supuesto, también se puede optar por usar directamente la unidad lectograbadora Blu-ray de la que dispone dicho servidor, cargando el disco comercial del título deseado. Por practicidad, se usó la primera opción.

Dicho servidor se conecta por cable Ethernet a lo que será el Access Point (AP) 802.11n, mediante interface de 1.000 mbps (1gbps). El AP es donde se conectarán inalámbricamente todos los dispositivos desde los que se desee hacer la transmisión en tiempo real del contenido. Dicho AP se ubicó en el centro de la casa y en una posición eleveada, de manera de cubrir toda la superficie de la mejor manera posible. En dicha ubicación se prestó atención a que no se encontraran fuentes interferentes que operen en 2,4 GHz (banda usada en 802.11n), como algunos tipos de teléfonos inalámbricos, microondas y dispositivos bluetooth.

El modelo usado tiene la capacidad de transmitir un stream de contenido Blu-ray, lo que se traduce en sostener en el tiempo un bitrate de 54 mbps (Imagen 3.1.1).

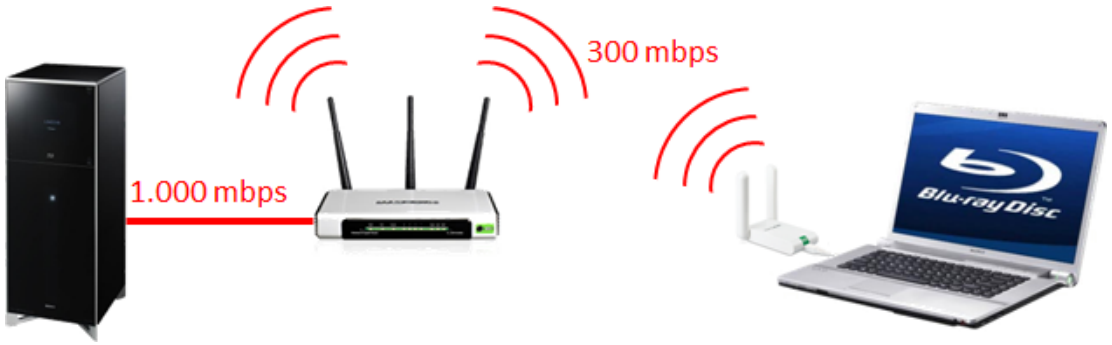


Imagen 3.1.1. *Modelo usado: servidor, conexión ethernet 1 gbps, router o AP, y equipo receptor.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Los algoritmos de compresión de audio y video internos del Blu-ray y los bitrates máximos correspondientes dependiendo del códec y perfil de codificación elegidos, escapan al alcance de este trabajo, pero es sabido que el bitrate combinado máximo que un BD-ROM puede demandar es de 54 mbps de acuerdo a las especificaciones de una película Blu-ray, por lo que garantizando este valor mínimo, no hay problemas en la reproducción del contenido.

3.2 Bitrates

El condicionamiento de 54 mbps hace que las pruebas de funcionamiento sean extensivas a todos los casos que se encuentran debajo de ese valor:

- En audio:
  - ✓ 18 mbps – máximo bitrate posible usando el códec de audio avanzado lossless basado en códec propietarios de *Meridian Lossless Packing*.
  - ✓ 6,144 mbps - E-AC-3 (*Dolby Digital Plus*), es un sistema de codificación mejorado basado en el códec AC-3.
  - ✓ 5.644,8 kbps – bitrate usado en DSD (*Direct Stream Digital*), una implementación propietaria de PDM (*Pulse Density Modulation*), el formato de audio del Super Audio CD.
  - ✓ 1.411,2 kbps –bitrate usado en PCM (*Pulse Code Modulation*) lineal, el formato de audio del CD.
  - ✓ 400 kbps a 1.411 kbps - audio con codificación *lossless*, como el usado en los formatos FLAC (*Free Lossless Audio Codec*), *WavPack*, o *Monkey's*. Lossless significa lo opuesto a lossy, es decir, luego de una codificación y compresión lossless, el archivo resultante tiene la misma calidad que el archivo fuente.
  - ✓ 32 a 500 kbps – compresión lossy usando el códec gratuito *Ogg Vorbis*.
  - ✓ 320 kbps – nivel más alto soportado por MP3, audio de muy alta calidad
  - ✓ 256 kbps – Transmisión digital de audio (*DAB*). Es la transmisión de radios de manera digital. Se usa MP2 para estas señales.
  - ✓ 192 kbps – audio de alta calidad
  - ✓ 215 kbps - mínimo bitrate para usar el códec gratuito (*open source*) *Speex*.
  - ✓ 128 o 160 kbps – audio de calidad media
  - ✓ 96 kbps –streaming de baja calidad
  - ✓ 32 kbps –calidad reportaje/discurso
  - ✓ 8 kbps – calidad telefónica mediante el uso de códec de voz
- En video:
  - ✓ 36 mbps - Grabación de televisión digital HD proveniente de cable o satélite.
  - ✓ 29,4 mbps – valor máximo para HD DVD (si bien es un formato discontinuado luego de perder la "guerra" con el Blu-ray, se alcanzarón a distribuir las unidades lectograbadoras y algunos títulos).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- ✓ 25 mbps – valor aproximado para HDV en modo 1080i, usando compresión MPEG2.
- ✓ 24 mbps – máximo valor para AVCHD (*Advanced Video Coding High Definition, formato para archivos propietario de Sony y Panasonic*), usando compresión MPEG4-AVC.
- ✓ 19 mbps – valor aproximado para HDV (formato propietario para grabación en casetes, desarrollado por Sony, JVC, Canon, y Sharp) en 720p, usando compresión MPEG2.
- ✓ 8 a 15 mbps – valor típico para calidad HDTV, usando compresión MPEG4-AVC.
- ✓ 9,8 mbps – máximo bitrate para DVD, usando compresión MPEG2.
- ✓ 3,5 mbps – valor típico para calidad SDTV (*Standard-definition television*), usando compresión MPEG2.
- ✓ 1,5 mbps – máximo bitrate para calidad VCD (*Video CD*), usando compresión MPEG1.
- ✓ 128 a 384 kbps – calidad tipo videoconferencia orientada a negocios
- ✓ 16 kbps – calidad de video-teléfono (mínimo necesario para una "cara hablando" aceptable para el consumidor, usando varios esquemas de compresión de video.

De la misma manera se pone en contexto al número 54 mbps, comparándolo con los bitrates máximos de tecnologías en:

Redes Inalámbricas

Estandard	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
Redes inalámbricas *WaveLAN* clasicas (propietarias)	2	0,25
IEEE 802.11	2	0,25
RONJA (dispositivo de comunicación óptica)	10	1,25
IEEE 802.11a	54	6,75
IEEE 802.11b	11	1,375
IEEE 802.11g	54	6,75
IEEE 802.16 (*WiMAX*)	70	8,75
IEEE 802.11n	600	75
IEEE 802.11ac (máximo teórico)	6930	850

Tabla 3.2.1. *Bitrates de las redes inalámbricas más conocidas.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Redes Inalámbricas (uso personal)

Tecnología	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
ANT	0,02	0,0025
IrDA-Control	0,072	0,009
IrDA-SIR	0,115	0,014375
802.15.4 (2.4 GHz)	0,25	0,03125
Bluetooth 1.1	1	0,125
Bluetooth 2.0+EDR	3	0,375
IrDA-FIR	4	0,5
IrDA-VFIR	16	2
Bluetooth 3.0	24	3
Bluetooth 4.0	24	3
IrDA-UFIR	96	12
WUSB-UWB	480	60
IrDA-Giga-IR	1024	128

Tabla 3.2.2. *Bitrates de las redes inalámbricas para uso personal más conocidas.*

Buses conocidos

Tecnología	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
I2c (bus inventado por Philips)	3,4	0,425
Apple II series 8-bit/1 MHz	8	1
SS-50 Bus	8	1
ISA 8-Bit/4.77 MHz	38,16	4,77
STD80 8-bit/8 MHz	16	2
STD80 16-bit/8 MHz	32	4
Zorro II 16-bit/7.14 MHz	42,4	5,3
S-100 bus 8-bit/10 MHz	80	10
Serial Peripheral Interface Bus (Hasta 100 MHz)	100	12,5
Low Pin Count	133,33	16,67
C-Bus 16-bit/10 MHz	160	20
HP Precision Bus	184	23
EISA 8-16-32bit/8.33 MHz	266,56	33,32
STD 32 32-bit/8 MHz	254	31,75
NESA 32-bit/8 MHz	256	32
VME64 32-64bit	400	50
NuBus 10 MHz	400	50
DEC TURBOchannel 32-bit/12.5 MHz	400	50
MCA 16-32bit/10 MHz	660	82,5
NuBus90 20 MHz	800	100

Tabla 3.2.3. *Bitrates de los buses más conocidos.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Tecnología	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
APbus 32-bit/25(?) MHz	800	100
Sbus 32-bit/25 MHz	800	100
DEC TURBOchannel 32-bit/25 MHz	800	100
Local Bus 98 32-bit/33 MHz	1.056	132
VESA Local Bus - VLB 32-bit/33 MHz	1.067	133,38
PCI 32-bit/33 MHz	1.067	133,38
HP GSC-1X	1.136	142
Zorro III 32-bit/37.5 MHz	1.200	150
VESA Local Bus - VLB 32-bit/40 MHz	1.280	160
Sbus 64-bit/25 MHz	1.600	200
PCI Express 1.0 (×1 link)	2.000	250
HP GSC-2X	2.048.000	256.000
PCI 64-bit/33 MHz	2.133.000	266.625
PCI 32-bit/66 MHz	2.133.000	266.625
AGP 1×	2.133.000	266.625
RapidIO Gen1 1x	2.500.000	312.500
HIO bus	2.560.000	320.000
GIO64 64-bit/40 MHz	2.560.000	320.000
PCI Express 1.0 (×2 link)	4.000.000	500.000
PCI Express 2.0 (×1 link)	4.000.000	500.000
AGP 2×	4.266.000	533.250
PCI 64-bit/66 MHz	4.266.000	533.250
PCI-X DDR 16-bit	4.266.000	533.250
RapidIO Gen2 1x	5.000.000	625.000
PCI 64-bit/100 MHz	6.399.000	799.875
PCI Express 3.0 (×1 link)	7.880.000	985.000
Unified Media Interface (UMI) (×4 link)	8.000.000	1.000.000
Direct Media Interface (DMI) (×4 link)	8.000.000	1.000.000
Enterprise Southbridge Interface (ESI)	8.000.000	1.000.000
PCI Express 1.0 (×4 link)	8.000.000	1.000.000
AGP 4×	8.533.000	1.066.625
PCI-X 133	8.533.000	1.066.625
PCI-X QDR 16-bit	8.533.000	1.066.625
RapidIO Gen1 4x	10.000.000	1.250.000
RapidIO Gen2 2x	10.000.000	1.250.000
UPA	15.360.000	1.920.000
Unified Media Interface 2.0 (UMI 2.0) (×4 link)	16.000.000	2.000.000
Direct Media Interface 2.0 (DMI 2.0) (×4 link)	16.000.000	2.000.000
PCI Express 1.0 (×8 link)	16.000.000	2.000.000
PCI Express 2.0 (×4 link)	16.000.000	2.000.000
Tecnología	**Bitrate (mbps)**	**Bitrate (MBps)**

Tabla 3.2.3 (cont.). *Bitrates de los buses más conocidos.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Tecnología	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
AGP 8x	17.066.000	2.133.250
PCI-X DDR	17.066.000	2.133.250
RapidIO Gen2 4x	20.000.000	2.500.000
HyperTransport (800 MHz, 16-pair)	25.600.000	3.200.000
HyperTransport (1 GHz, 16-pair)	32.000.000	4.000.000
PCI Express 1.0 (×16 link)	32.000.000	4.000.000
PCI Express 2.0 (×8 link)	32.000.000	4.000.000
PCI-X QDR	34.133.000	4.266.625
AGP 8× 64-bit	34.133.000	4.266.625
RapidIO Gen2 8x	40.000.000	5.000.000
PCI Express 1.0 (×32 link)	64.000.000	8.000.000
PCI Express 2.0 (×16 link)	64.000.000	8.000.000
RapidIO Gen2 16x	80.000.000	10.000.000
PCI Express 3.0 (×16 link)	126.000.000	15.750.000
PCI Express 2.0 (×32 link)	128.000.000	16.000.000
QPI (4.80GT/s, 2.40 GHz)	153.600.000	19.200.000
HyperTransport 2.0 (1.4 GHz, 32-pair)	179.200.000	22.400.000
QPI (5.86GT/s, 2.93 GHz)	187.520.000	23.440.000
QPI (6.40GT/s, 3.20 GHz)	204.800.000	25.600.000
QPI (7.2GT/s, 3.6 GHz)	230.400.000	28.800.000
PCI Express 3.0 (×32 link)	252.060.000	31.507.500
QPI (8.0GT/s, 4.0 GHz)	256.000.000	32.000.000
HyperTransport 3.0 (2.6 GHz, 32-pair)	332.800.000	41.600.000
HyperTransport 3.1 (3.2 GHz, 32-pair)	409.600.000	51.200.000
Tecnología	**Bitrate (mbps)**	**Bitrate (MBps)**

Tabla 3.2.3 (cont.). *Bitrates de los buses más conocidos.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Almacenamiento

Tecnología	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
Controladora de disco floppy para PC (1.2 MB/1.44 MB)	0,5	0,0625
Controladora de CD (1×)	1.171	146,375
MFM (Modified Frequency Modulation)	5	0,625
RLL (Run-length limited)	7,7	0,9625
Controladora de DVD (1×)	11,1	1,3875
ESDI (Enhanced Small Disk Interface)	24	3
ATA PIO Modo 0	26,4	3,3
Controladora de HD-DVD (1×)	36	4,5
Controladora de Blu-ray (1×)	36	4,5
SCSI (Narrow SCSI) (5 MHz)	40	5
ATA PIO Modo 1	41,6	5,2
ATA PIO Modo 2	664,4	83,05
Fast SCSI (8 bits/10 MHz)	80	10
ATA PIO Modo 3	88,8	11,1
ATA over Fast Ethernet, per path	100	12,5
iSCSI over Fast Ethernet	100	12,5
ATA PIO Modo 4	133,3	16,6625
Fast Wide SCSI (16 bits/10 MHz)	160	20
Ultra SCSI (Fast-20 SCSI) (8 bits/20 MHz)	160	20
Ultra DMA ATA 33	264	33
Ultra Wide SCSI (16 bits/20 MHz)	320	40
Ultra-2 SCSI 40 (Fast-40 SCSI) (8 bits/40 MHz)	320	40
Ultra DMA ATA 66	533,6	66,7
Ultra-2 wide SCSI (16 bits/40 MHz)	640	80
Serial Storage Architecture SSA	640	80
Ultra DMA ATA 100	800	100
Canal de Fibra 1GFC (1.0625 GHz)	850	106,25
ATA over Gigabit Ethernet, per path	1.000	125
iSCSI over Gigabit Ethernet	1.000	125
Ultra DMA ATA 133	1.064	133
Ultra-3 SCSI (Ultra 160 SCSI; Fast-80 Wide SCSI) (16 bits/40 MHz DDR)	1.280	160
Serial ATA (SATA-150)	1.500	187,5
Canal de Fibra 2GFC (2.125 GHz)	1.700	212,5
Serial Attached SCSI (SAS)	2.400	300
Ultra-320 SCSI (Ultra4 SCSI) (16 bits/80 MHz DDR)	2.560	320
Serial ATA 2 (SATA-300)	3.000	375
Canal de Fibra 4GFC (4.25 GHz)	3.400	425
Serial Attached SCSI (SAS) 2	4.800	600
Ultra-640 SCSI (16 bits/160 MHz DDR)	5.120	640
Serial ATA 3 (SATA-600)	6.000	750
Tecnología	**Bitrate (mbps)**	**Bitrate (MBps)**

Tabla 3.2.4. *Bitrates de las tecnologías de almacenamiento más conocidas.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Tecnología	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
Canal de Fibra 8GFC (8.50 GHz)	6.800	850
Serial Attached SCSI (SAS) 3	9.600	1.200
ATA over Ethernet, 10 Gb Ethernet, per path	10.000	1.250
iSCSI over 10GbE	10.000	1.250
FCoE over 10GbE	10.000	1.250
iSCSI over InfiniBand 4×	32.000	4.000
iSCSI over Ethernet, 100G Ethernet (hipotético)	100.000	12.500
Fibre Channel over Ethernet, 100G Ethernet (hipotético)	100.000	12.500

Tabla 3.2.4 (cont.). *Bitrates de las tecnologías de almacenamiento más conocidas.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Periféricos

Tecnología	Bitrate (mbps)	Bitrate (MBps)
CBM Bus	0,0027	0,0003375
Apple Desktop Bus	0,01	0,00125
Serial MIDI	0,03125	0,00390625
Serial EIA-232 max.	0,2304	0,0288
Serial DMX512A	0,25	0,03125
Parallel (Centronics)	1	0,125
Serial 16550 UART max.	15	1,875
USB low speed	1.536	192
Serial UART max	27.648	3456
GPIB/HPIB (IEEE-488.1) IEEE-488 max.	8	1
Serial EIA-422 max.	10	1,25
USB full speed	12	1,5
Parallel (Centronics) EPP 2 MHz	16	2
Serial EIA-485 max.	35	4,375
GPIB/HPIB (IEEE-488.1-2003) IEEE-488 max.	64	8
FireWire (IEEE 1394) 100	98.304	12.288
FireWire (IEEE 1394) 200	196.608	24.576
FireWire (IEEE 1394) 400	393.216	49.152
USB Hi-Speed (USB 2.0)	480	60
FireWire (IEEE 1394b) 800	786.432	98.304
Canal de Fibra1 Gb SCSI	1.062,5	100
FireWire (IEEE 1394b) 1600	1.573	196,625
Camera Link Base (single) 24-bit 85 MHz	2.040	255
Canal de Fibra2 Gb SCSI	2.125	200
eSATA (SATA 300)	3.000	300
CoaXPress Base (enalce bidireccional de subida y bajada)	3.125.000 + 20,833	390
FireWire (IEEE 1394b) 3200	3.145,7	393,2125
External PCI Express 2.0 ×1	4.000.000	500.000
Canal de Fibra4 Gb SCSI	4.250.000	531.250
USB super speed (USB 3.0)	5.000.000	625.000
Camera Link full (dual) 64-bit 85 MHz	5.440.000	680.000
eSATA (SATA 600)	6.000.000	750.000
CoaXPress full (up and down bidirectional link)	6.250.000 + 20,833	781
External PCI Express 2.0 ×2	8.000.000	1.000.000
Thunderbolt	10.000.000 x 2	1.250 x 2
External PCI Express 2.0 ×4	16.000.000	2.000.000
External PCI Express 2.0 ×8	32.000.000	4.000.000
External PCI Express 2.0 ×16	64.000.000	8.000.000

Tabla 3.2.5. *Bitrates de los periféricos más conocidos.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

3.3 Investigación de mercado y equipos comprados

El condicionamiento de bitrate sostenido en 54 mbps, especificó las características que se iban a requerir en los equipos a comprar, y las configuraciones que se les iban a realizar tanto a éstos como al servidor y a sus clientes.

A la hora de revisar las especificaciones técnicas de los ítems a adquirir, fue necesario refrescar el concepto de dBi, analizar las diferencias entre routers operando en la banda de 5 GHz y la de 2,4 GHz, y leer casos de apliación cuando se dispone de Gigabit Ethernet, entre otros.

3.3.1 El concepto de dBi

La expresión dBi se usa para definir la ganancia de una antena, referida a una antena isotrópica (aquella que irradia en todas las direcciones).

Para entender esto, se supone primero que una antena "A" produce un campo electromagnético de intensida I_A medido en μW / m^2, en la dirección que transmite dicha antena y en un punto ubicado a una cierta distancia. Ahora, se supone que una antena "Q" produce un campo electromagnético de intensidad I_Q medido en μW / m^2, a la misma distancia. Entonces, la ganancia G de la antena "A" en dBi es:

$$G = 10 \log_{10} (I_A / I_Q)$$

A modo de ejemplo, una antena dipolo tiene una ganancia de 2,15 dBi. Una antena isotrópica tiene una ganancia unitaria, o de 0 dBi.

Cuando se necesita analizar un enlace (BER, tasa de paquetes perdidos, etc) en términos de:

- Potencia transmitida
- Parámetros de la antena (su ganancia)
- Niveles de ruido del sistema recibidos (especificado como temperatura de ruido)
- Otros factores como pérdidas por propagación, interferencias, intermodulación

Se considera una antena isotrópica, en el centro del siguiente lóbulo:

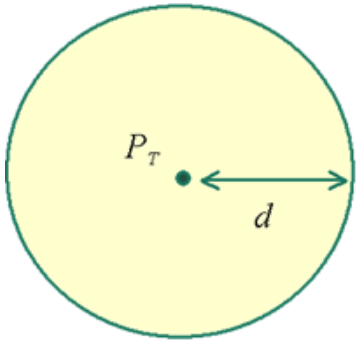


Imagen 3.3.1.1. *Esquema de una antena isotrópica.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

La densidad de potencia en un radio d está dada por la expresión:

$DP = P_T / (4\pi d^2)$ $[W/m^2]$

Por lo que varía de manera inversamente proporcional al cuadrado de d.

La ganancia de una antena hace que se concentre la potencia en la dirección deseada:

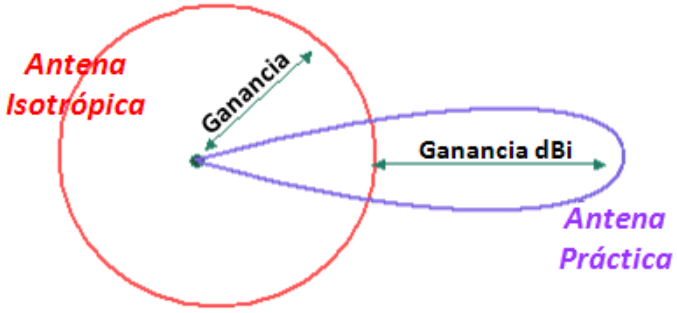


Imagen 3.3.1.2. *Esquema de la ganancia de una antena referida a la isotrópica*.

La ganancia está referida a la ganancia isotrópica, con la unidad dBi.

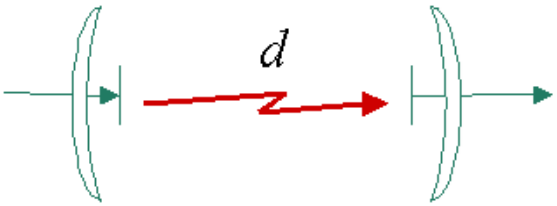


Imagen 3.3.1.3. *Esquema de transmisor, canal, y receptor.*

Transmisor y receptor, separados una distancia d, ocurre lo siguiente:

- La dirección de potencia en una dirección deseada, se incrementa en un factor of G_T (ganancia del transmisor)
- En el receptor, es como si hubiese un transmisor isotrópico de potencia P_TG_T
- P_TG_T = Potencia Efectiva Isotrópica Radiada (*EIRP*) [W]
- En dB: $P_T + G_T$ = EIRP [dBW]

Breves ejemplos:

- Una antena transmisora tiene una ganancia de 50 dB, alimentada por una potencia de 20 watts. ¿Cuál es su EIRP?

P_T = 13 dBW, G_T = 50 dB, entonces EIRP = 13 + 50 = 63 dBW

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- Una antena transmisora tiene una ganancia de 27 dB, alimentada por una potencia de 2 mW. ¿Cuál es su EIRP?

PT = -27 dBW, G_T = 27 dB, entonces EIRP = 0 dBW.

Para el cálculo no se usa la definición de dbm, por más que la potencia esté expresada en mW, ya que el EIRP se mide en dbW siempre.

Como son todas escalas logarítmicas, cada 3 valores la potencia se duplica en valor lineal.

3.3.2 Diferencias entre la banda de 5 GHz y la de 2,4 GHz

Las frecuencias 5 GHz y 2,4 GHz son los dos tipos de valores que soportan varios routers. La característica dual (no disponible en la mayoría de los equipos a enero de 2013) permite elegir cómo conectar los dispositivos, asegurando estabilidad en la conexión local y de Internet.

	Banda	
	2,4 GHz	5 GHz
Canales sin superposición	3 (tres) canales	23 (veintitrés) canales
Estándar	B, G, y N	A y N
Cobertura	Mayor rango	Menor rango
Interferencia	Mayor	Menor

Tabla 3.3.2.1. *Ventajas y desventajas para las bandas de 2,4 y 5 GHz.*

- **Velocidad de la red**

El rango en Ghz que usa un dispositivo inalámbrico no determina necesariamente la velocidad máxima de una red inalámbrica. Un dispositivo Norma A que trabaja en 5 Ghz, soporta un bitrate teórico pico de 54 mbps, que es exactamente el mismo bitrate teórico pico que un dispositivo Norma N soporta trabajando en 2,4 Ghz. El ambiente en el que la red esté ubicada es lo que debe ser considerado.

- **Interferencia**

Una red en 5 Ghz tiene menor probabilidades de sufrir interferencias, ya que la mayoría de los equipos inalámbricos como ser dispositivos Bluetooth, teléfonos inalámbricos (los más viejos, los nuevos operan en 1,9 Ghz), hornos microondas, monitores de bebés, sistemas de alarma, parlantes inalámbricos, computadoras (sus microprocesadores pueden interferir si trabajan en 2,4 Ghz), mouses y teclados inalámbricos, y cualquier otro equipo que emita radiofrecuencia en 2,4 Ghz. La mayor ventaja de la banda de 5 Ghz sobre la de 2,4 Ghz, es que la primera no es susceptible a la infinidad de aparatos inalámbricos que se encuentran en un hogar u oficina típicos, y que pueden producir que una red Wi-Fi que también esté en esa banda sufra un bajón de velocidad.

Por otro lado, una red en 5 Ghz opera sin inconvenientes en el escenario anterior, ya que la interferencia es prácticamente inexistente.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- **Cobertura**

La banda de 5 Ghz tiene un menor rango de cobertura comparada a la de 2,4 Ghz, ya que en radiofrecuencia, por lo general, a menor frecuencia, más lejos viaja una onda inalámbrica. Es decir, que si se usa una frecuencia inferior como ser 2,4 Ghz, la distancia que ésta cubrirá será mayor que si usara la banda de 5 Ghz. Esto se puede mitigar de alguna forma con tecnologías sofisticadas de antenas, pero si un determinado equipo está relativamente alejado del AP (*Access Point*), seguramente será más oportuno usar la banda de 2,4 Ghz.

El ancho del canal es 20 MHz por lo que las frecuencias sin superposición son las del canal 1, 6 y 11.

Mientras que los routers Wi-Fi de 2,4 GHz pueden ser configurados para trabajar en uno de los 11 canales, la señal se distribuye en varios canales a izquierda y derecha del canal elegido, lo que significa que sólo hay 3 canales (1, 6, y 11) que pueden ser usados simultáneamente sin ninguna superposición.

Es decir hay poco o nada de espacio libre en la banda de 2,4 GHz, para que múltiples redes inalámbricas puedan coexistir de manera cercana.

Una red en 5 GHz (que de por sí usa un rango más amplio de frecuencia, desde 5,1 a 5,8 GHz aproximadamente) evita este problema de superpoblación, ofreciendo de 8 a 23 canales sin superposición, dependiendo de la implementación. Esto hace que muchas más redes puedan coexistir de manera cercana sin superponerse entre sí.

3.3.3 ¿Qué es Gigabit Ethernet?

Los buses y las interfaces internas de las computadoras se van haciendo cada vez más rápidas con el paso del tiempo, y los archivos acompañan con el crecimiento de sus tamaños. Al mismo tiempo, los puertos LAN Gigabit no se han convertido en un estándar de los equipos inalámbricos que soportan 802.11n. Se limitan a traer sólo puertos Ethernet 10/100.

Es por esto que el consumidor es dejado a su suerte en la decisión de pagar el costo adicional para moverse a una red gigabit completa.

Gigabit Ethernet, también se conoce como "*gigabit-Ethernet-over-copper*" o *1000Base-T*, es simplemente la versión Ethernet funcionando a tasas de hasta 1000 mbps (125 MBps).

El estándar que lo reglamenta se aprobó en 1998, pero no fue hasta Junio de 1999 que se lanzó el estándar 1000BASE-T (IEEE 802.3 Ethernet Standard para Gigabit Ethernet en cobre categoria 5), dejande de ser usado en granjas de servidores y redes troncales, permitiendo su uso en dispositivos que antes usaban 10/100 Ethernet.

Antes de 1000BASE-T, se usaba fibra óptica o cables de cobre especialmente mallados, ninguna de estas opciones era práctica para la construcción diaria de LANs. Estas versiones (1000Base-SX, 1000Base-LX, y 1000Base-CX) aún se usan actualmente en aplicaciones especializadas.

El estándar gigabit Ethernet (1000 mbps) es exactamente 10 veces más rápido que el fast Ethernet (100 mbps), es retro compatible con equipos 10/100, y requiere cableado CAT-5, el mismo que se usa en 10/100.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Las ventas tempranas para gigabit Ethernet se enfocaba en mercados *enterprise*, y usualmente a los administradores de *data centers*. Como provee un aumento de 10 veces, las primeras aplicaciones fueron los puntos donde se requiere mayor ancho de banda: servidor a servidor, switch a switch, y aplicaciones "troncales".

Es importante hacer notar que ya existe 10-gigabit Ethernet y 100-gigabit Ethernet, pero no se abarcaran en este trabajo, debido a que:

- Los equipos usados en las pruebas de funcionamiento no poseen esta tecnología
- Los equipos que soportan esta tecnología son muy caros
- No tienen razón de ser en el modelo usado durante las pruebas, porque el pico teórico máximo de la red inalámbrica es de 300 mbps, por lo que con gigabit Ethernet ya se cubre y sobrepasa dicho requisito, se estaría produciendo un desperdicio de ancho de banda.

Si bien los precios de equipos gigabit Ethernet han seguido su descenso de precio natural, siempre se consideró una tecnología destinada al segmento de *power users* y grupos de trabajo con uso de aplicaciones de "ancho de banda intensivo".

Algunas aplicaciones que se benefician con gigabit Ethernet:

- Juegos**:** Debido a que los juegos en red se designan para uso en la internet pública, son muy reservados en cuanto a la cantidad de datos que envían a través de la red. Estos juegos se basan en la capacidad de procesamiento local para mandar sólo lo necesario, de manera de ser jugables en un amplio rango de condiciones. Si bien en juego más rápido se supone siempre mejor, gigabit Ethernet no va a proveer ninguna ventaja, ya que la clave es el tiempo de respuesta o latencia, pero nada por debajo de los 10ms provee ventajas, y eso ya se obtiene con 10 mbps. Migrar a gigabit Ethernet es un desperdicio de capacidad en este caso.

- Streaming de video: Este área tiene requerimientos que han cambiado mucho, y continúan evolucionando, además de ser un punto clave para este trabajo. IPTV (*Internet Protocol Television*) se ha vuelto un servicio provisto por varios proovedores en Europa, cuyo bitrate para SDTV ronda los 5 mbps, aunque puede variar de acuerdo al formato y método de distribución. Si bien se nombra, IPTV no será abarcado en este trabajo, ya que el modelo usado y el tema planteado, se basan en una red local (i.e. sin salida a Internet), y para contenido Blu-ray (2D, 3D, juegos) lo cual incluye HDTV como forma de video de alta definición.

- Transmisión de grandes archivos: Esto resultaba común en un ambiente de oficina pequeña, especialmente de diseño gráfico, firmas arquitectónicas, y actividades que usen archivos de 100 MB a varios GBs. Con la explosión del DVD en 2002, y los archivos multimedia en general, junto al aumento de tráfico en Internet y a la cantidad

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

de abonados a servicios de banda ancha, hoy es común que un usuario posea directorios de varios GBs en tamaño.

- Backup de la red: Esta es una variante del caso anterior. Si se configura la LAN para resguardar copias de todas las computadoras conectadas a un determinado servidor, una LAN gigabit será de gran utilidad en la disminución del tiempo requerido para tal fin. Sin embargo, el sistema debe ser configurado de manera apropiada para que el servidor no sea saturado por la cantidad entrante de datos (será necesario un servidor veloz con abundante memoria RAM y discos rígidos de alta gama o arreglos de discos rígidos de gama media para aumentar la velocidad de escritura, dejando de lado medios ópticos o cintas), sin obtener los beneficiarse de la interface gigabit.

3.3.4 Equipos comprados

Teniendo en consideración todo lo explicado en la Parte 3 hasta el momento, se compraron los siguientes equipos a fin de realizar las pruebas de funcionamiento:

- Router Wi-Fi 802.11n Gigabit TL-WR1043ND. Marca: Tp-Link. Valor de mercado: $ 350.-

Imagen 3.3.4.1. *Vista frontal y posterior del router TL-WR1043ND, con los puertos USB, MAN, y LANx4.*

Interface	4 puertos 10/100/1000 LAN 1 puerto WAN a 10/100/1000 Mbps 1 puerto USB 2.0
Botón	Configuración rápida de seguridad Botón de reinicio
Suministro de Energía Externa	12VDC / 1.5A
Estándares Inalámbricos	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Antena	3 Antenas de 3 dBi Omnidireccional desmontables
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	7.9 x 5.5 x 1.2 in. (200 x 140 x 28mm)

Tabla 3.3.4.2. *Características del hardware del router TL-WR1043ND.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Frecuencia	2,4 - 2,4835 GHz
Velocidad de Señal	11n: Hasta 300Mbps (dinámico) 11g: hasta 54Mbps (dinámico) 11b: hasta 11Mbps (dinámico)
EIRP	<20dBm(EIRP)
Sensibilidad de Recepción	270M: -68dBm@10% PER 130M: -68dBm@10% PER 108M: -68dBm@10% PER 54M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER
Funciones Inalámbricas	Activar / Desactivar radio inalámbrica, WDS Bridge, WMM, estadísticas inalámbricas
Inalámbrico	64/128/152-bit WEP / WPA / WPA2,WPA-PSK / WPA2-PSK

Tabla 3.3.4.3. *Características inalámbricas del router TL-WR1043ND.*

Tipo WAN	IP dinámico / IP estático / PPPoE / PPTP (Acceso dual) / L2TP (Acceso dual) / BigPond
DHCP	Servidor, Cliente, Lista de Cliente DHCP, Reserva de Direcciones
Calidad de Servicio	WMM, Control de Ancho de Banda
Redireccionamiento de Puertos	Servidor Virtual, Port Triggering, UPnP, DMZ
DNS Dinámico	DynDNS, Comexe, NO-IP
Puerto de Transferencia VPN	PPTP, L2TP, IPSec (ESP Head)
Control de Acceso	Control Parental, Control de Manejo Local, Lista de Host, Programación de Acceso, Manejo de Reglas
Seguridad Firewall (cortafuegos)	DoS, Firewall SPI Filtro de dirección IP / Filtro de dirección MAC / Filtro de dominio Binding de direcciones IP y MAC
Management	control de acceso Manejo Local Manejo remoto

Tabla 3.3.4.4. *Características del software del router TL-WR1043ND.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Certificación	CE, FCC, RoHS
Contenido del Paquete	TL-WR1043ND 3 antenas del tip omnidireccional y desmontables Fuente de alimentación CD de software Guía de instalación rápida
Requisitos del Sistema	Microsoft ® Windows ® 98SE, NT, 2000, XP, Vista ™ o Windows 7, Mac ® OS, NetWare ®, UNIX ® o Linux.
Ambiente	Temperatura de funcionamiento: 0°C ~ 40°C (32°F ~ 104°F) Temperatura de almacenamiento: -40°C ~ 70°C (-40°F ~ 158°F) Humedad de funcionamiento: 10% ~ 90% sin condensación Humedad de almacenamiento: 5% ~ 90% sin condensación

Tabla 3.3.4.5. *Otras características del router TL-WR1043ND.*

- Adaptador USB inalámbrico de 300Mbps TL-WN822N. Marca: Tp-Link. Valor de mercado: $ 140.-

Imagen 3.3.4.6. *Vista del adaptador USB inalámbrico TL-WN822N.*

Interface	Mini USB 2.0
Botón	Botón QSS / Software
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	3.5 x 2.7 x 0.7 in. (90 x 68 x 16.8mm)
Tipo de Antena	antena omnidireccional dual
Ganancia de Antena	3dBi

Tabla 3.3.4.7. *Características del hardware del adaptador USB inalámbrico TL-WN822N.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

Estándares Inalámbricos	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Frecuencia	2,400 - 2,4835GHz
Velocidad de Señal	11n: Hasta 300Mbps (dinámico) 11g: hasta 54Mbps (dinámico) 11b: hasta 11Mbps (dinámico)
EIRP	<20dBm(EIRP)
Sensibilidad de Recepción	270M: -68dBm@10% PER 130M: -68dBm@10% PER 108M: -68dBm@10% PER 54M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER
Modos Inalámbricos	Modo inalámbrico / infraestructura
Seguridad Inalámbrica	Compatible con 64/128 bit WEP, WPA-PSK/WPA2-PSK Filtrado de direcciones MAC inalámbrico
Tecnología de Modulación	DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM
Funciones de Servicio	WMM

Tabla 3.3.4.8. *Características inalámbricas del adaptador USB inalámbrico TL-WN822N.*

Certificación	CE, FCC, RoHS
Contenido del Paquete	Adaptador Inalámbrico TL-WN822N CD de recursos Cable USB Guía de instalación rápida Cable de extensión USB 1.5 m
Requisitos del Sistema	Windows 7(32/64bits), Windows Vista(32/64bits), Windows XP(32/64bits)
Ambiente	Temperatura de funcionamiento: 0℃ ~ 40℃ (32℉ ~ 104℉) Temperatura de almacenamiento: -40℃ ~ 70℃ (-40℉ ~ 158℉) Humedad de funcionamiento: 10% ~ 90% sin condensación Humedad de almacenamiento: 5% ~ 90% sin condensación

Tabla 3.3.4.9. *Otras características del adaptador USB inalámbrico TL-WN822N.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

3.4 Resultados obtenidos

3.4.1 Resultados obtenidos

Lo primero que se debe tener presente es cómo se miden y denotan en Microsoft Windows las velocidades, tasas de transferencia o bitrates: ese Sistema Operativo usa las unidades de KB/s (kilobyte por segundo) o MB/s (megabyte por segundo), dependiendo del número (si es muy bajo utiliza KB/s, sino MB/s).

Por lo general se confunde la diferencia entre bit y byte. Hay 8 bits en 1 byte, por lo que un bitrate de 12 mbps equivale a 1,5 MBps (el resultado de dividir 12 por 8). Al ser de 54 mbps el requerimiento para BD, hay que tener en claro que equivale a 6,75 MBps.

El throughput se tomó a partir de la velocidad a la que se estabiliza la transferencia de un archivo de imagen (.iso) de BD de 46,46 GB, después de aproximadamente 10 minutos de iniciada la transferencia, en todos los casos la velocidad tendió a un valor fijo transcurrido ese tiempo. Si no hubiese sido el caso, se debe dejar pasar el tiempo necesario hasta llegar a una velocidad estable.

Antes de medir la velocidad actual obtenida de manera inalámbrica, se hace exactamente lo mismo de manera alámbrica de forma tal de hacer ambas mediciones en las mismas condiciones y desestimar cualquier posible cuello de botella producto del hardware interno de las computadoras y configuraciones involucradas.

Para el modelo usado (Imagen 3.1.1), se consideraron tres escenarios típicos de uso: un departamento de 80 m^2 de superficie, una casa de 60 m^2 de superficie, y campo abierto; y se establecieron 5, 4, y 3 puntos para cada caso respectivamente, donde para cada uno (y de manera no simultánea) se midió la distancia al AP, la intensidad de señal en dBm, y el throughput.

Para la distancia, en los casos donde hubo paredes entre la línea recta que une al AP con el punto en cuestión, se debió medir ancho y largo para aplicar el Teorema de Pitágoras y obtener la distancia de dicha línea.

Las medidas de intensidad de señal en dBm se tomaron usando el software gratuito *inSSIDer*, y cada valor fue convertido a su equivalente en mW mediante la expresión:

$$P_{(\mathrm{mW})} = 10^{(P_{(\mathrm{dBm})} / 10)}$$

Se le llama configuración óptima porque el AP se ubicó en el centro geométrico y a una altura elevada para los dos primeros escenarios, y sin fuentes interferentes. Para el caso de campo abierto, sin fuentes interferentes.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- **Escenario n° 1: departamento de 80 m^2 de superficie.**

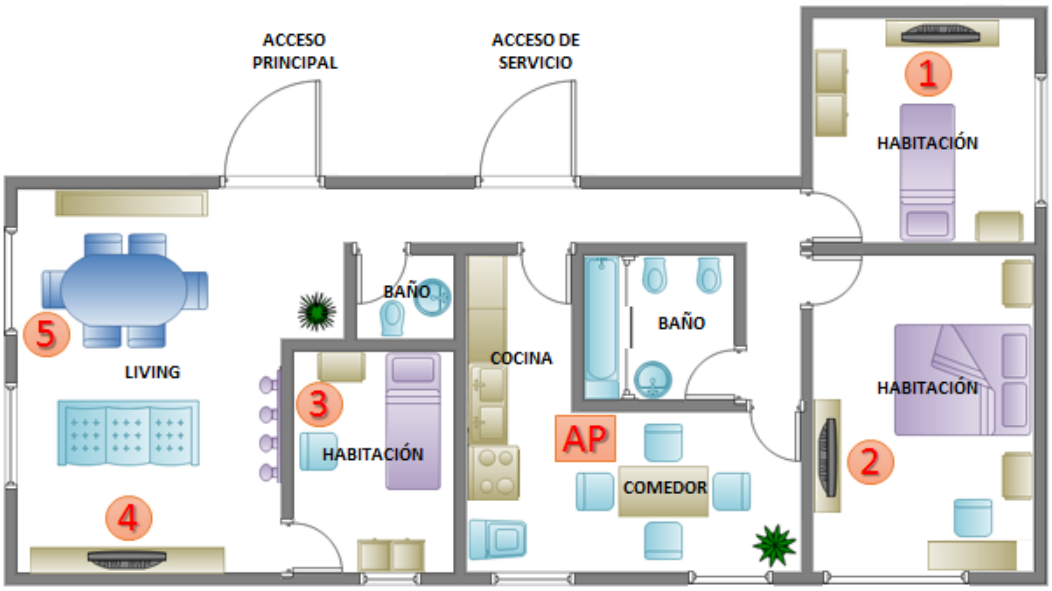


Imagen 3.4.1.1. *Plano del departamento usado en las pruebas, indicando la ubicación del Access Point y los cinco puntos donde se realizaron las medidas.*

N° de Punto	Distancia al AP (m)	Amplitud medida (dBm)	Potencia calculada (mW)	Throughput (MBps)	Throughput (mbps)	Pared(es) a traspasar	¿Stream de BD posible?
1	5,66	-58	1,58E-06	11,7	93,6	2	✓
2	3,53	-50	1,00E-05	7,66	61,28	1	✓
3	3,50	-50	1,00E-05	12,5	100	1	✓
4	6,04	-56	2,51E-06	5,62	44,96	2	✗
5	7,12	-58	1,58E-06	6	48	2	✗

Tabla 3.4.1.2. *Resultados de las medidas realizadas y los cálculos correspondientes al escenario n° 1.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- **Escenario n° 2: casa de 60 m^2 de superficie.**

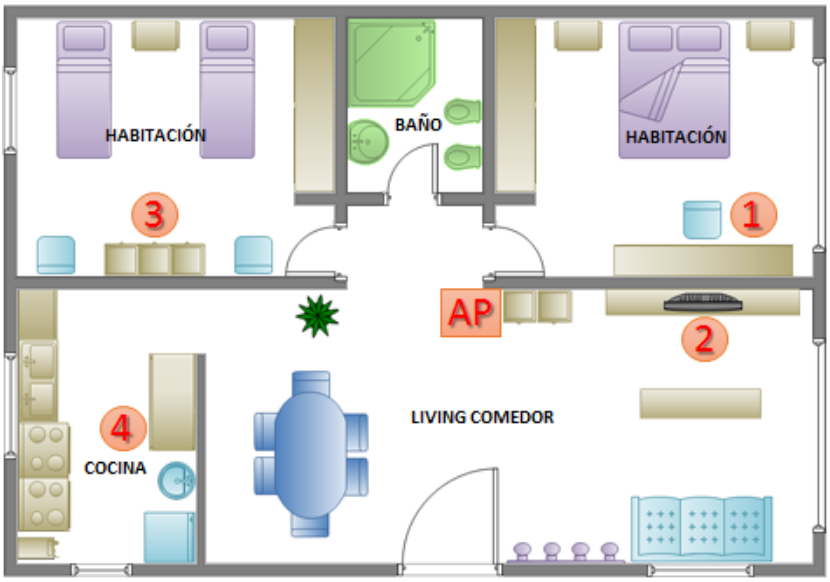


Imagen 3.4.1.3. *Plano de la casa usada en las pruebas, indicando la ubicación del Access Point y los cuatro puntos donde se realizaron las medidas.*

N° de Punto	Distancia al AP (m)	Amplitud medida (dBm)	Potencia calculada (mW)	Throughput (MBps)	Throughput (mbps)	Pared(es) a traspasar	¿Stream de BD posible?
1	3,91	-50	1,00E-05	9,5	76	1	✓
2	2,77	-50	1,00E-05	17,42	139,36	0	✓
3	2,93	-50	1,00E-05	12,75	102	1	✓
4	2,95	-50	1,00E-05	16,7	133,6	0	✓

Tabla 3.4.1.4. *Resultados de las medidas realizadas y los cálculos correspondientes al escenario n° 2.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

- **Escenario n° 3: campo abierto.**

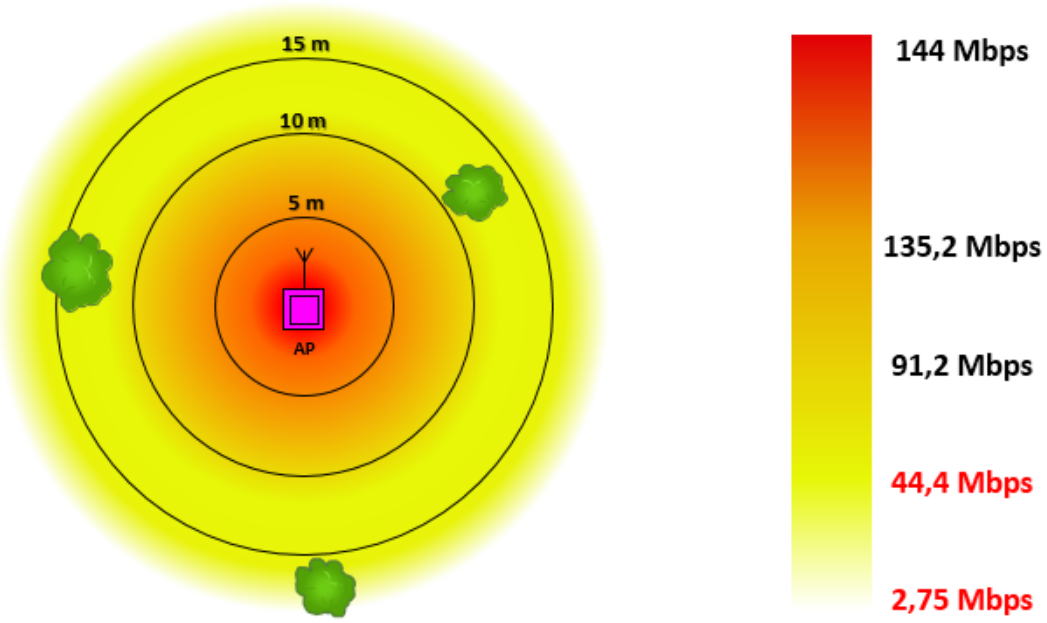


Imagen 3.4.1.5. *Esquema del Access Point ubicado en campo abierto y los tres puntos donde se realizaron*

N° de Punto	Distancia al AP (m)	Throughput (MBps)	Throughput (mbps)	¿Stream de BD posible?
1	5	1,69E+01	135,2	✓
2	10	1,14E+01	91,2	✓
3	15	5,55E+00	44,4	✗
4	20	2,75E+00	22	✗

Tabla 3.4.1.6. *Resultados de las medidas realizadas y los cálculos correspondientes al escenario n° 3.*

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

3.4.2 Causas comunes a baja velocidad en redes Wi-Fi

Inalámbricamente, nunca se obtendrá la velocidad pico informada por los fabricantes ni las normas. Si se dice que tal velocidad es de 54 mbps, en la vida real eso significa que operará en casi la mitad, debido a factores como el *overhead*, la interferencia y la atenuación, dependiendo de la distancia al AP y del tipo de material que esté obstaculizando a la señal (Imagen 3.3.2.1).

Material	Atenuación (dB)	
	2,4 GHz	5,8 GHz
Pared de yeso para interiores	3-4	3-5
Pared de cúbiculo	2-5	4-9
Puerta de madera (hueca/sólida)	3-4	6-7
Pared de ladrillo/concreto	6-18	10-30
Ventanas transparentes / vidrios	2-3	6-8
Ventana doble espejada	13	20
Vidrio antibala	10	20
Puerta de acero / emergencia	13-19	25-32

Imagen 3.4.2.1. *Niveles de atenuación para distintos materiales en los casos de 2,4 GHz y 5,8 GHz.*

Analizando los posibles "cuellos de botella" (interfaces entre los equipos principalmente) y configuraciones varias de nuestra red (routers, adaptadores en cada equipo, placa de red en cada equipo), hay que asegurarse de no pretender velocidades irreales, puesto que no se obtendrán bitrates perfectos todo el tiempo; ya que lo inalámbrico es completamente distinto a una conexión cableada, y como tal, no es perfecta. Otro factor que influye en la velocidad es la encriptación utilizada, WEP (*Wired Equivalent Privacy*) consume de del 5 al 10% de la velocidad por el método de encriptación usado (si bien ya es una opción de encriptación obsoleta dejada de usar), WPA (*Wireless Protected Access*) no presenta ese problema.

Una interface clave para las pruebas en este trabajo fue la Gigabit Ethernet, ya que de no prestársele atención, formaba parte de una limitación al rendimiento buscado.

3.4.3 Configuración de los equipos

Las siguientes configuraciones se pusieron en consideración a la hora de hacer las pruebas:

- Uso de clientes 802.11n

Si bien parece raro, mucha gente cree que con el sólo hecho de disponer de un router 802.11n, mejorará el rendimiento de la red que tenga sólo clientes 802.11b/g. Esto no va a pasar, 802.11n usa otra tecnología, incluyendo MIMO, para obtener un elevado throughput. El uso de un cliente 802.11g con un router 802.11n resultará en un enlace teórico pico de 54 mbps, por lo que el condicionante es exactamente el cliente.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

El uso de 802.11n no aumentará la cobertura de la WLAN tampoco. 802.11n provee mayor throughput en una ubicación comparado a 802.11b/g, pero no hará que donde no llega la señal de 802.11b/g, llegue una señal 802.11n.

- No conectar clientes 802.11n y 802.11b/g al mismo router

Un router 802.11n es retro compatible con dispositivos 802.11g y 802.11b; pero estos dispositivos más lentos hacen que opere en estos modos de menor velocidad para asegurar compatibilidad entre los dispositivos viejos. De todos modos, los mecanismos para tratar con dispositivos viejos son bastante eficientes y reducen el throughput solamente cuando los dispositivos de menor velocidad están recibiendo o enviando activamente información. Ha sido estudiado que la conexión de viejos dispositivos pueden reducir el throughput en rango de un 50% a 80%, por lo que se recomienda dividir a las redes 802.11n del resto, mediante el uso de varios routers. Las pruebas realizadas en este trabajo se hicieron conectando únicamente dispositivos 802.11n en toda la red.

- Uso de WPA2/AES y WMM habilitado

Está probado que la mayoría de los equipos 802.11n sufrirá una disminución de hasta el 80% en su throughput si se usa el esquema de seguridad WEP o WPA/TKIP. Esto es así ya que en 802.11n se especifica que no se habilitan altas tasas de throughput (es decir mayores a 54 mbps) si se usa alguno de esos dos esquemas desactualizados de seguridad. Los únicos equipos exceptuados de esto son los que no estén certificados como 802.11n. La verificación para obtener la certificación Wi-Fi, controla a WEP, WPA, y WPA2 para una apropiada operación. Pero si el fabricante no manda su producto para ser revisado, quizás no queden exceptuadas las tasas mayores a 54 mbps, un ejemplo de esto es lo que pasó con los primeros equipos de Ralink.

De igual modo, se debe habilitar WMM para obtener tasas mayores a 54 mbps. 802.11n requiere que los equipos soporten 802.11e (es decir *Quality of Service*) para usar tasas de datos mayores a 54 mbps. Es por ello que WMM viene habilitado por defecto en todos los APs y routers certificados. Las pruebas realizadas en este trabajo se hicieron usando WPA2 con AES, y WMM habilitado.

- No se usó Channel Bonding

Es aconsejable deshabilitarlo, ya que por lo general funciona en condiciones de señal fuerte. A medida que el nivel de señal decae, el uso de channel bonding se vuelve menos efectivo para proveer un aumento de throughput. Las pruebas realizadas en este trabajo se hicieron con esta opción deshabilitada.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. An Overview of Limited Feedback in Wireless Communication Systems, International Journal of Science Technology and Management.
2. Broadband MIMO-OFDM Wireless Communications, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 92, NO. 2, FEBRUARY 2004.
3. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.13.4732&rep=rep1&type=pdf
4. http://components.about.com/od/Products/ss/Teardown-Of-A-Blu-Ray-Drive_6.htm
5. http://en.kioskea.net/contents/wireless/wlpropa.php3
6. http://forums.whirlpool.net.au/
7. http://greyghost.mooo.com/repairfaq/sam/cdfil.htm
8. http://ieeexplore.ieee.org
9. http://mwrf.com/markets/understanding-benefits-mimo-technology
10. http://panasonic.net/
11. http://repairfaq.cis.upenn.edu/Misc/Blu-ray/site1/optics.html
12. http://techon.nikkeibp.co.jp/article/HONSHI/20061129/124636/
13. http://tools.meraki.com/stumbler
14. http://us.blu-raydisc.com/faqs_new_users.php
15. http://www.avsforum.com/
16. http://www.cwnp.com/cwnp_wifi_blog/the-wise-article-series-wi-fi-subtleties-explained-throughput-algebra/
17. http://www.docstoc.com/docs/522212/How-WiFi-Works---PowerPoint
18. http://www.ece.ualberta.ca/~HCDC/mimohistory.html
19. http://www.excitingip.com/3280/gigabit-wi-fi-802-11ac-advantages-limitations/
20. http://www.expertreviews.co.uk/wireless-routers/1290724/tp-link-wr702n
21. http://www.freepatentsonline.com/
22. http://www.hifivision.com/media-streaming-players/22397-wireless-streaming-bluray-iso.html
23. http://www.hughsnews.ca/faqs/authoritative-blu-ray-disc-bd-faq
24. http://www.ieeeexplore.com/
25. http://www.nitto-optical.co.jp/english/feature/pickup.html
26. http://www.pcadvisor.co.uk/reviews/pc-peripheral/3298717/tp-link-tl-wr1043nd-review/
27. http://www.pcguide.com/vb/showthread.php?74316-What-does-dBi-represent-for-antennas
28. http://www.pcworld.com/article/262149/asus_rt_ac66u_the_best_802_11ac_router_on_the_market_so_far.html
29. http://www.pioneer-optical.eu/
30. http://www.sciencedirect.com/
31. http://www.smallnetbuilder.com/
32. http://www.vide.net/resources/whitepapers/video/2.shtml
33. http://www.wirelessdesignmag.com/blogs/2012/02/pushing-80211n-wi-fi-technology-so-it-can-deliver-multiple-simultaneous-streams
34. http://www.wirelessnetdesignline.com/howto/wlan/185300393
35. IEEE802.11ac: The Next Evolution of Wi-FiTM Standards, QUALCOMM, Inc.
36. Introduction to MIMO: Application Note, ROHDE&SCHWARZ.
37. Introduction to Wireless MIMO – Theory and Applications, Stony Brook University.
38. Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO) System Analysis.
39. Origins and Successors of the Compact Disc, Philips Research, Vol. II (2009).
40. Propagación en Comunicaciones Móviles, Prof: Daniel Ramos, Universidad Autónoma de Madrid.
41. Understanding Wi-Fi™, Hewlett Packard.
42. United States Patent Application 20030002430.
43. United States Patent Application 20070035837.
44. United States Patent Application 20100322330 Al.
45. White Paper Blu-ray Disc Recordable Format Part 1 Physical Specifications February, 2006, Blu-ray Disc Association.
46. White Paper Blu-ray Disc™ Format 1. A Physical Format Specifications for BD-RE 3rd Edition October, 2010, Blu-ray Disc Association.
47. White Paper Blu-ray Disc™ Format 1. B Physical Format Specifications for BD-R 5th Edition October, 2010, Blu-ray Disc Association.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

48. White Paper Blu-ray Disc™ Format 1.C Physical Format Specifications for BD-ROM 6th Edition October, 2010, Blu-ray Disc Association.
49. White Paper Blu-ray Disc™ Format General 2nd Edition October, 2010, Blu-ray Disc Association.
50. White Paper Blu-ray Disc™ Format General 3rd Edition December, 2012, Blu-ray Disc Association.
51. White Paper Blu-ray Disc™ Format Rewriteable Format Audio Visual Application Format Specifications for BD-RE Version 2.1 March 2008, Blu-ray Disc Association.
52. White Paper Blu-ray Disc™ Format, Blu-ray Disc Association.
53. White Paper Blu-ray Disc™ Read-Only Format 2.B Audio Visual Application Format Specifications for BD-ROM Version 2.5 July 2011, Blu-ray Disc Association.
54. White Paper Blu-ray Disc™ Read-Only Format, Blu-ray Disc Association.
55. White Paper Blu-ray Disc™ Rewritable Format, Blu-ray Disc Association.
56. White Paper Blu-ray Disc™ Rewriteable Format (BDXL™) Audio Visual Application Format Specifications for BD-RE Version 4.0 July 2010, Blu-ray Disc Association.
57. Wi-Fi™ and Bluetooth™ - Interference Issues, Hewlett Packard.
58. Wobble-address format of the Blu-ray Disc™, S. Furumiya et al., JJAP, Vol. 42, No. 2B (Febrero de 2003).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

GLOSARIO

µm	Micrón, la millonésima parte de un metro.
3GPP	*3rd Generation Partnership Project* - Proyecto Asociación de Tercera Generación.
AACS	*Advanced Access Content System* - Sistema de Contenido de Acceso Avanzado.
ACK	*Acknowledgement* – Reconocimiento.
AD	*Analog to digital converter* - Conversor de analógico a digital.
AES	*Advanced Encryption Standard* - Estándar Avanzado de Encriptación.
AFP	*Artificial Fingerprint* - Reactivo de huella digital artificial.
AFSCA	Auditoria Federal de Servicios de Comunicación Audiovisuales.
AID	*Association ID* - Identificador de Asociación.
A-MPDU	*Aggregate MAC Protocol Data Unit* - Unidades de datos de protocolo MAC.
A-MSDU	*Aggregate MAC Service Data Unit* - Unidades de datos de servicio MAC.
AP	*Access Point* - Punto de Acceso.
AV	*Audiovideo.*
AVCHD	*Advanced Video Coding High Definition* - Formato de grabación de Alta definición lanzado por Sony y Panasonic.
BD	*Blu-ray Disc* - Disco Blu-ray.
BDA	*Blu-ray Disc Association* - Asociación del Disco Blu-ray.
BDAV	*Blu-ray Disc Audio Video* - Audiovideo del Disco Blu-ray.
BD-J	*Blu-ray Disc Java* - Java del Disco Blu-ray.
BDMV	*Blu-ray Disc Movie Video* - Video de la película del Disco Blu-ray.
BD-R	*Blu-ray Disc Recordable* - Disco Blu-ray Grabable.
BD-RE	*Blu-ray Disc Rewriteable* - Disco Blu-ray Regrabable.
BD-ROM	*Blu-ray Disc Read Only Memory* - Disco Blu-ray de sólo lectura.
BDXL	*Blu-ray Disc Extra Large* - Disco Blu-ray extra grande.
bER	*bit Error Rate* - Tasa de error de bit.
BIS	*Burst Indicating Subcode* – Subcódigo Indicador de Ráfaga.
CCA	*Clear Channel Assessment* - Evaluación de canal libre.
CD	*Compact Disc* - Disco Compacto.
CD-RW	*Compact Disc Rewriteable* - Disco Compacto Regrabable.
CEATEC	*Combined Exhibition of Advanced Technologies* - Exhibición Combinada de Tecnologías Avanzadas.
CFP	*Contention-Free Period* - Período de libre contención.
CNC	Comisión Nacional de Comunicaciones.
CQI	*Channel Quality Indicator* - Indicador de calidad del canal.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

CRC	*Cyclic Redundancy Check* - Comprobación de redundancia cíclica.
Crosstalk	Fenómeno producido cuando una señal transmitida en un circuito o canal de un sistema de transmisión, crea efectos indeseados en otro circuito o canal de dicho sistema..
CSI	*Channel state information* - Información sobre el estado del canal.
CSMA/CA	*Carrier sense multiple access with collision avoidance* - Acceso múltiple por censado de portadora con detección de colisiones.
CTS	*Clear To Send* - Libre para enviar.
DAB	*Digital Audio Broadcast* – Transmisión de audio digital.
dB	*Decibel* – Decibelio.
dBi	*dB(isotropic)* - Decibelio relativo a una antena isotrópica.
dBr	*dB(relative)* - Decibelio relativo a una diferencia específica.
dBW	*decibel watt* - Decibelio relativo a 1 Watt.
DL	*Dual Layer* - Capa doble.
DoA	*Direction of Arrival* - Dirección de arribo.
DSD	*Direct Stream Digital* - Marca registrada de Sony y Philips para referirse a la tecnología de registro y reconstrucción de señales principalmente de audio digital.
DSL	*Digital Subscriber Line* - Línea Digital de Suscritor.
DSS	*Digital Spread Spectrum* - Espectro Espandido Digital.
DSSS	*Direct Sequence Spread Spectrum* - Espectro Espandido de secuencia directa.
DTCP	*Digital Transmission Content Protection* - Proteccion de Contenido en Transmisión Digital.
DVD	*Digital Versatile Disc* - Disco versátil digital.
DVD+RW	*Digital Versatile Disc Rewriteable* - Disco versátil digital regrabable +.
DVDR	*Digital Versatile Disc Recordable* - Disco versátil digital grabable.
DVD-RAM	*Digital Versatile Disc Random Access Memory* - Disco versátil digital de memoria de accesso aleatorio.
DVD-RW	*Digital Versatile Disc Rewriteable* - Disco versátil digital regrabable -.
DVR	*Digital video recorder* - Grabador de video digital.
EB	*Electron Beam* - Haz de electrones.
ECC	*Error Correction Code* - Código Corrector de Errores.
EIRP	*Equivalent isotropically radiated power* - Potencia Efectiva Isotrópica Radiada.
E-UTRAN	*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* - Red de Acceso Radio Terrestre UMTS.
FCC	*Federal Communications Commission* - Comisión Federal de Comunicaciones (EE.UU).

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

FCS	*Frame check sequence* - Secuencia para detectar errores en una trama.
FIR	*Finite Response Impulse* - Impulso de respuesta finita.
FLAC	*Free Lossless Audio Codec* - Códec de audio sin pérdidas y gratuito.
FLLA	*Format and Logo License Agreement* - Acuerdo de Licencia del Formato y Logo.
GAN	*Gallium nitride* - Nitruro de Galio.
GB	*Gigabyte* – Gigabyte.
gbps	*Gigabyte per second* - Gigabyte por segundo.
GHz	*Gigaherz* – Gigaherz.
GSM	*Global System for Mobile Communications* - Sistema global para comunicaciones móviles.
Hard Coat	*Hard Coat* - Cobertura dura.
HD	*High Definition* - Alta Definición.
HD DVD	*High-Definition/Density DVD* - DVD de Alta definición o Alta densidad.
HDCP	*High-bandwidth Digital Content Protection* - Proteccion de Contenido Digital de gran ancho de banda.
HDTV	*High-Definition Television* - Televisión de Alta definición.
HDV	High-Definition Video Format - Formato de Sony y JVC para grabación de video HD.
HS	*High Speed Mode* - Modo de grabación en Alta velocidad.
HSDPA	*High-Speed Downlink Packet Access* - Acceso de Alta velocidad a paquetes en el enlace descendente.
HS-DSCH	*High-Speed Downlink Shared Channel* - Canal compartido de Alta velocidad de bajada.
HSPA	*High Speed Packet Access* - Acceso de Alta velocidad a paquetes.
HSUPA	*High-Speed Uplink Packet Access* - Acceso de Alta velocidad a paquetes en el enlace ascendente.
IEEE	*Institute of Electrical and Electronics Engineers* - Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
i-MLSE	*Integrated-Maximum-Likelihood-Sequence-Error-Estimation* - Estimacion de error avanzada para sistemas de Alta densidad.
Infrarrojo	*Infrared* – Infrarrojo.
ISI	*Intersymbol interference* - Interferencia entre símbolos.
ISM	*Industrial, Scientific and Medical* - Banda de uso Industrial, Científico y Médico.
JIS	*Japan Industry Standard* - Estándar Industrial de Japón.
L0	*Layer 0* - Capa 0.
L1	*Layer 1* - Capa 1.
LAN	*Local Area Network* - Red de área local.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

LCD	*Long Distance Code* – Código de Distancia Larga.
LDPC	*Low Density Parity Check* - Verificación de paridad de baja densidad.
Lossless	Compresión de información sin pérdidas (ej. FLAC).
Lossy	Compresión de información con pérdidas (ej. MP3).
LTE	*Long Term Evolution* - Tecnología que popularmente se conoce como 4G.
LTH	*Low to High* - Tipo de Disco Blu-ray cuyo film de grabación adopta un colorante orgánico.
MAC	*Media access control* - Control de acceso al medio.
MAN	*Metropolitan area network* - Red de área metropolitana.
mbps	*megabit per second* - megabit por segundo.
MCS	*Modulation and Codification Scheme* - Esquema de Codificación y Modulación.
MHz	*megaherz* – megaherz.
MIMO	*Multiple Input – Multiple Output* - Entrada múltiple - salida múltiple.
MKB	*Media Key Block* - Una de las llaves incluídas en el sistema de copias DRM.
MP2	*MPEG-1 Audio Layer II* - Audio MPEG-1 de capa II.
MP3	*MPEG-1 Audio Layer III* - Audio MPEG-1 de capa III.
MPEG1	*Moving Picture Experts Group Phase 1* - Formato de grabacion de video fase 1 del grupo MPEG.
MPEG2	*Moving Picture Experts Group Phase 2* - Formato de grabacion de video fase 2 del grupo MPEG.
MPEG4-AVC	*MPEG-4 Part 10 or AVC (Advanced Video Coding)* - Parte 10 de MPEG-4 o AVC.
MSK	*Minimum Shift Keying* – Transmisión de desplazamiento Mínimo, una variante de la modulación FSK.
MU-MIMO	*Multi User Múltiple Input Múltiple Output* - MIMO para múltiples usuarios.
mW	*milliWatt* - Milésima parte de Watt.
nm	*nanometer* - Nanometro (billonésima parte de metro).
NRZ	*Non-return-to-zero* – código binario donde un "1" se representa por una condición dignificativa (voltaje positivo en general) y un "0" se representa por otra condición significativa (voltaje negativo en general).
NRZI	*Non-return-to-zero Inverted* – código binario donde los dos niveles de señal tienen la transición en el borde del clock si el bit a transmitir es "1", y no hay transición si el bit a transmitir es "0".

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

OFDM	*Ortogonal Frequency Division Multiplexing* - Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia.
OTP	*Opposite track path* - Tecnologia para rápido cambio entre capas en discos ópticos.
PCM	*Pulse Code Modulation* - Modulación por impulsos codificados.
PHY	*Physical Layer* - Capa física.
PRML	*Partial Response Maximum Likelihood* - Probabilidad Máxima de Respuesta Parcial.
QAM	*Quadrature Amplitude Modulation* - Modulación de amplitud en cuadratura.
QL	*Quad Layer* - Capa cuádruple.
QPSK	*Quadrature phase-shift keying* - Modulación por desplazamiento de fase.
ROM	*Read Only Memory* - Memoria de sólo lectura.
RSER	*Random Symbol Error Rate* - Tasa de Error de Símbolo Aleatorio.
RTS	*Ready to Send* - Listo para enviar.
RTS	*Request To Send* - Solicitud de envío.
SD	*Standard Definition* - Definición Estándar.
SDMA	*Space-division multiple access* - Acceso múltiple por división espacial.
SDTV	*Standard Definition Television* - Televisión de Definición Estándar.
SECOM	Secretaría de Comunicaciones.
SL	*Single Layer* - Capa única.
SNR	*Signal to Noise Ratio* - Relación señal a ruido.
SSID	*Service Set Identifier* - Sirve para identificar y nombrar a una red local de conexión a Internet.
STA	*Station* – Estación.
STB	*Set Top Box* - Receptor de televisión o Decodificador.
STBC	*Space Time Block Coding* - Codificación en bloques espaciotemporal.
STD	*Standard Mode* - Modo de grabación estándar.
STTD	*Space-time transmit diversity* - Diversidad en Transmisión por Espacio Tiempo.
STW	*Saw Tooth Wooble* – Onda con forma similar a la onda diente de sierra.
SU-MIMO	*Single User Múltiple Input Múltiple Output* - MIMO para usuario único.
TB	*Terabyte* - Terabyte (1000 GB).
TL	*Triple Layer* - Capa Triple.
TX-AA	*Transmit antenna array* - Arreglo de antenas para transmisión.
TxBF	*Transmit Beamforming* - Formacion de haz para transmisión.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD

TXOP	*Transmit Opportunity* - Oportunidad de transmisión.
UDF	*Universal Disk Format* - Formato de disco universal.
UDO	*Ultra Density Optical* - Optico de ultra densidad.
UE	*User Equipment* - Equipo de Usuario.
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System* - Sistema universal de telecomunicaciones móviles.
VCD	*Video CD* - CD de Video.
VHS	*Video Home System* - Sistema hogareño de video analógico.
VHT	*Very High Throughput* - Throughput muy alto.
WCDMA	*Wideband Code Division Multiple Access* - Acceso múltiple por división de código de banda ancha.
WEP	*Wired Equivalent Privacy* - Tecnología obsoleta para encriptación de redes inalámbricas.
WLAN	*Wireless Local Area Network* - Red de área local inalámbrica.
WNIC	*Wireless Network Interface Controller* - Controlador de interface de red inalámbrica.

COPIA COLOR PARA ARCHIVO EN LA FACULTAD