



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**TESIS**

**DESCRIPCIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA RADIO Y TELEVISIÓN  
DIGITAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**QUE PRESENTA:**

**JOSE CARLOS NERI LARA**

**ASESOR: ING. OSCAR HERNÁNDEZ SÁNCHEZ**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE



ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos La Tesis:

“DESCRIPCIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA RADIO Y TELEVISIÓN DIGITAL”

Que presenta el pasante: JOSE CARLOS NERI LARA  
Con número de cuenta: 40909363-6 para obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 07 de septiembre de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

|              | NOMBRE                         | FIRMA |
|--------------|--------------------------------|-------|
| PRESIDENTE   | Ing. Juan González Vega        |       |
| VOCAL        | M. en A. Pedro Guzmán Tinajero |       |
| SECRETARIO   | Ing. Oscar Hernández Sánchez   |       |
| 1er SUPLENTE | Ing. Jorge Ramírez Rodríguez   |       |
| 2do SUPLENTE | Ing. Sugeil Suárez Piña        |       |

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).  
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.  
(Art 127 REP)

HHA/Vc

## *DEDICATORIAS*

**A DIOS:** A Dios por darme siempre la fortaleza, su apoyo e iluminarme en cada uno de los momentos que pase durante mi trayectoria académica, pero además por guiarme en mi formación profesional.

**A MI NACIÓN:** A los Estados Unidos Mexicanos por contribuir con su cultura, costumbres y enseñanzas, para mi formación tanto personal como intelectual.

**A MI UNIVERSIDAD:** A la UNAM por ser participe en cada uno de los momentos que contribuyeron a tener una educación de calidad, por permitirme estar en cada una de sus instalaciones y ser parte de su comunidad, de la misma manera que la UAEH.

**A LA SECRETARÍA:** La Secretaria de Comunicaciones y Transportes por abrirme las puertas para realizar mi Servicio Social, brindarme su apoyo para adquirir experiencia en el campo laboral, además por su confianza del Ing. Jorge López Vicente, al igual que de los Ing. Julio Bravo Martínez y Ing. Ángel Sergio Devora Núñez, como de la misma manera a mis compañeros Ing. Juan José Pérez Sánchez, Alejandro Beristaín Chiquito y Ana Laura Medina Mosqueda.

**A MIS PADRES:** Por ser los principales precursores de mi formación, A mi Mama Inés Lara Albor por dame su apoyo moral para mi fortalecerme como persona y A mi Papa José Ascensión Neri León por contribuir económicamente con mis estudios.

**A MIS HERMANAS:** Por ser parte de mi vida, mi Hermana Sahian Neri Lara por aligerarme la vida con sus ocurrencias y sus alegrías, a mi Hermana Marlen Neri Lara por sus exigencias y sus regaños.

**A MIS SOBRINO:** A mi sobrino Emmanuel Cortes Neri, por ser esa persona especial que llegara a mi vida en mi estancia universitaria.

**A MIS ABUELITAS:** A mis abuelitas por permitirme disfrutar cada uno de los momentos de mi vida a su lado, aunque ya no se encuentran siempre estarán e mi corazón. Abuelita Virginia Albor Villagómez por darme muestra de que hay que luchar por lo que se quiere conseguir. Abuelita Catalina León Ortiz por darme motivos para seguir estudiando en cada una de mis etapas académicas.

**A MIS TÍAS:** A mi Tía Rosalía Neri León por sus sabios consejos y cariño que me brindo, siempre te recordare. A mi Tía María Elsa Lara Albor por darme alojamiento en su hogar y apoyarme en cada uno de los momentos difíciles.

**A MI ASESOR:** Ing. Oscar Hernández Sánchez, por darme su confianza y su apoyo, con sus conocimientos durante mi estancia académica, además de ser un gran mentor es un gran amigo.

**A MI JURADO:** Ing. Juan Gonzáles Vega, M en A. Pedro Guzmán Tinajero, Ing. Jorge Ramírez Rodríguez, Ing. Sugeil Suárez Piña. Por ser partícipes que este trabajo se realizara de la mejor forma, además de darme sus críticas y puntos de vista sobre el mismo para poderlo llevar a un buen fin.

**A MIS PROFESORES:** A todos mis profesores en cada una de mis etapas académicas por construir un mejor futuro para mí. Principalmente felicito a la M en C. María Elena Reyes Hernández, por darme varios consejos y aprenderle que la vida es como tú la quieras ir moldeando.

**A MIS AMIGOS:** A todos los que son mis amigos en Medios Superior y Superior. Pero en especial de manera particular a una gran Amiga Ana Cristina Mejía Canales por ser fiel siempre en cada uno de los momentos que la he necesitado, por tener una amistad pura conmigo y siempre darme su apoyo.

**A MI JEFE:** Lic. Rafael Álvarez Amelco. Por tener el tacto de apoyarme con sus consejos para realizar mi titulación.

**A LA SOCIEDAD:** Me refiero a la Sociedad Mexicana por contribuir a mi educación con cada uno de sus impuestos y aportaciones económicas a cada una de las instituciones académicas.

# ÍNDICES

## ÍNDICE TEMÁTICO

|  |    |
|--|----|
| <b>ÍNDICES</b> .....   | 1  |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN</b>     |    |
| 1.1. DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ..... | 11 |
| 1.1.1. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.....             | 11 |
| 1.1.2. TIPOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.....                      | 11 |
| 1.1.3. NATURALEZA DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN .....            | 14 |
| 1.1.4. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....                | 15 |
| 1.1.5. INFORMACIÓN, MENSAJE Y SEÑALES .....                        | 16 |
| 1.1.6. FUENTES DE INFORMACIÓN.....                                 | 18 |
| 1.1.7. EL CANAL DE COMUNICACIÓN .....                              | 23 |
| 1.1.8. CARACTERISTICAS DEL CANAL.....                              | 24 |
| 1.2. ANTECEDENTES HISTORICOS DE LAS TELECOMUNICACIONES .....       | 25 |
| 1.3. ANÁLISIS DE LAS SEÑALES.....                                  | 31 |
| 1.3.1. INFORMACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL .....                       | 31 |
| 1.3.2. SEÑALES ELECTRICAS .....                                    | 31 |
| 1.3.3. ESPECTRO ELECTROMAGÉNTICO.....                              | 32 |
| 1.3.4. ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL.....                             | 34 |
| 1.3.5. BANDAS DE FRECUENCIAS .....                                 | 35 |
| 1.3.6. TRANSMISIÓN EN BANDA BASE.....                              | 36 |
| 1.3.7. TRANSMISIÓN EN BANDA ANCHA .....                            | 36 |
| 1.3.8. LONGITUD DE ONDA.....                                       | 37 |
| 1.3.9. ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS SEÑALES .....                     | 37 |
| 1.3.10. SERIES DE FOURIER.....                                     | 41 |
| 1.3.11. TRANSFORMADA Y ESPECTROS DE FOURIER .....                  | 42 |
| 1.4. PROCESOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES .....              | 45 |
| 1.4.1. EFECTO DE FILTRADO SOBRE LAS SEÑALES .....                  | 45 |
| 1.4.2. MULTIPLEXIÓN .....  | 45 |
| 1.4.3. DEFINICIÓN DE MODULACIÓN .....                              | 46 |
| 1.4.4. MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN .....                             | 46 |
| 1.4.5. CODIFICACIÓN DE CONTROL DE ERRORES.....                     | 47 |
| 1.4.6. AMPLIFICACIÓN Y ATENUACIÓN DE LAS SEÑALES .....             | 49 |

|                                  |   |    |
|----------------------------------|---|----|
| 1.5.                             | RUIDO .....   | 53 |
| 1.5.1.                           | LIMITACIONES FUNDAMENTALES .....                                  | 53 |
| 1.5.2.                           | TIPOS DE RUIDO.....   | 53 |
| 1.5.2.1.                         | RUIDO EXTERNO .....   | 53 |
| 1.5.2.2.                         | RUIDO INTERNO.....  | 54 |
| 1.5.3.                           | TRANSMISIÓN SIN DISTORSIÓN.....                                   | 56 |
| <b>CAPÍTULO 2. RADIO DIGITAL</b> |   |    |
| 2.1.                             | INTRODUCCIÓN A LA RADIO .....                                     | 58 |
| 2.1.1.                           | DEFINICIÓN DE RADIO.....  | 58 |
| 2.1.2.                           | EL NACIMIENTO DE LA RADIO .....                                   | 59 |
| 2.1.2.1.                         | EL DESCUBRIMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS .....            | 59 |
| 2.1.2.2.                         | LA CONTRIBUCIÓN DE MARCONI (1874-1937).....                       | 60 |
| 2.1.2.3.                         | EL DIODO DEL DOCTOR FLEMING .....                                 | 60 |
| 2.1.2.4.                         | LA MÚSICA Y LA RADIO.....   | 61 |
| 2.1.2.5.                         | MÚSICA ESTEREOFONICA.....   | 61 |
| 2.1.2.6.                         | HISTORIA DE CB 27 MHZ .....                                       | 62 |
| 2.1.2.7.                         | ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA CB EN ESTADOS UNIDOS Y EN EL MUNDO ..... | 62 |
| 2.1.2.8.                         | LA CB DE 27 MHZ EN EL MUNDO .....                                 | 64 |
| 2.2.                             | FUNDAMENTOS DE RADIO.....   | 64 |
| 2.2.1.                           | FUNDAMENTOS TECNICOS DE LA RADIOCOMUNICACIÓN .....                | 64 |
| 2.2.2.                           | LOS SISTEMAS DE RADIO.....  | 65 |
| 2.2.2.1.                         | GENERALIDADES .....   | 65 |
| 2.2.3.                           | LA RADIOFRECUENCIA .....  | 66 |
| 2.3.                             | PROPAGACIÓN Y RADIACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO .....               | 68 |
| 2.3.1.                           | PROPAGACIÓN DE ONDAS DE RADIO .....                               | 68 |
| 2.3.2.                           | ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....                                      | 74 |
| 2.3.3.                           | EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.....                                   | 76 |
| 2.3.4.                           | BANDA RADIOELÉCTRICA .....  | 77 |
| 2.3.5.                           | LA ONDA CORTA .....   | 79 |
| 2.3.5.1.                         | SERVICIOS QUE UTILIZAN EL ESPECTRO .....                          | 80 |
| 2.3.6.                           | LA RADIACIÓN .....  | 80 |
| 2.3.7.                           | ECUACIONES DE CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO .....                   | 81 |
| 2.3.8.                           | PROPIEDADES OPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO .....                   | 83 |
| 2.4.                             | ANTENAS DE RADIOCOMUNICACIÓN.....                                 | 85 |
| 2.4.1.                           | DEFINICIÓN DE ANTENA.....   | 85 |
| 2.4.2.                           | CARACTERISTICAS DE LAS ANTENAS.....                               | 86 |

|                                       |   |     |
|---------------------------------------|---|-----|
| 2.4.3.                                | TIPO DE ANTENAS .....                                       | 90  |
| 2.5.                                  | CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN RADIOELECTRICO .....              | 95  |
| 2.5.1.                                | SINTETIZADORES DE FRECUENCIA .....                          | 95  |
| 2.5.2.                                | FILTROS .....   | 96  |
| 2.5.3.                                | AMPLIFICADORES .....  | 99  |
| 2.5.4.                                | MEZCLADORES Y CONVERTIDORES.....                            | 99  |
| 2.6.                                  | PROCESOS DE TRANSMISIÓN DE LA RADIO .....                   | 102 |
| 2.6.1.                                | CANALES DE RADIO .....                                      | 102 |
| 2.6.2.                                | MODULACIÓN.....   | 103 |
| 2.6.3.                                | MULTIPLEXAJE .....  | 105 |
| 2.6.4.                                | COMUNICACIONES POR SATÉLITE .....                           | 106 |
| 2.7.                                  | SISTEMAS DE RADIO DIGITAL.....                              | 108 |
| 2.7.1.                                | EL CONCEPTO DE RADIO DIGITAL .....                          | 108 |
| 2.7.2.                                | TRANSMISIÓN DIGITAL .....                                   | 109 |
| 2.7.3.                                | DIFUSIÓN DIGITAL POR AM.....                                | 110 |
| 2.7.4.                                | DIFUSIÓN DIGITAL POR FM .....                               | 111 |
| 2.7.5.                                | SEÑALIZACION PASABANDA MODULADA BINARIA .....               | 112 |
| 2.7.6.                                | CARACTERISTICAS DE LOS TRANSCPTORES DIGITALES MODERNOS..... | 115 |
| 2.8.                                  | LA EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE LA RADIO DIGITAL .....    | 119 |
| 2.8.1.                                | RADIO DIGITAL TERRESTRE .....                               | 119 |
| 2.8.2.                                | RADIO DIGITAL SATELITAL.....                                | 123 |
| 2.9.                                  | APLICACIONES DE LA RADIO .....                              | 124 |
| 2.9.1.                                | USOS MÁS COMUNES .....                                      | 125 |
| 2.9.2.                                | EL DIVIDENDO DIGITAL .....                                  | 126 |
| <b>CAPÍTULO 3. TELEVISIÓN DIGITAL</b> |   |     |
| 3.1.                                  | INTRODUCCIÓN A LA TELEVISIÓN .....                          | 127 |
| 3.1.1.                                | DEFINICIÓN DE TELEVISIÓN.....                               | 127 |
| 3.1.2.                                | SISTEMAS DE TELEVISIÓN.....                                 | 128 |
| 3.1.3.                                | HISTORIA DE LA TELEVISIÓN.....                              | 128 |
| 3.1.4.                                | DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN.....                             | 129 |
| 3.1.5.                                | CONCEPTOS DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y TELEVISIÓN DIGITAL..... | 130 |
| 3.2.                                  | SEÑAL AUDIOVISUAL .....                                     | 133 |
| 3.2.1.                                | LA LUZ Y LA RESPUESTA DE LA VISION HUMANA .....             | 133 |
| 3.2.2.                                | ACTUACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....               | 134 |
| 3.2.3.                                | FACTORES BÁSICOS DE LA IMAGEN .....                         | 136 |
| 3.2.4.                                | EL SISTEMA DE TELEVISIÓN ANALÓGICA .....                    | 138 |



|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.3.   | TELEVISIÓN MONOCROMÁTICA Y A COLOR .....                   | 142 |
| 3.3.1. | TELEVISIÓN MONOCROMÁTICA .....                             | 142 |
| 3.3.2. | TELEVISIÓN A COLOR .....                                   | 145 |
| 3.4.   | TRANSICIÓN DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA A LA DIGITAL .....   | 148 |
| 3.4.1. | INTRODUCCIÓN .....   | 148 |
| 3.5.   | LOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL .....    | 157 |
| 3.6.   | TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV).....                  | 165 |
| 3.7.   | CIRCUITOS Y PROCESOS DE TELEVISIÓN DIGITAL.....            | 171 |
| 3.8.   | LA EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL ..... | 190 |
| 3.9.   | SISTEMAS SATELITALES.....                                  | 198 |

#### **CAPÍTULO 4. LAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES ALTERNATIVAS E INTERACTIVAS DE LA RADIO Y TELEVISIÓN TRADICIONAL**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.1.   | INTRODUCCIÓN A LOS NUEVOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES .....                   | 202 |
| 4.2.   | LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES .....                                    | 202 |
| 4.3.   | LA TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE LAS SEÑALES ELECTROMAGNÉTICAS .....            | 203 |
| 4.4.   | LA TECNOLOGÍA DIGITAL .....  | 204 |
| 4.4.1. | CONVERSIÓN DE ANALÓGICO A DIGITAL.....                                       | 204 |
| 4.5.   | DEFINICIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE COMUNICACIONES.....                          | 207 |
| 4.5.1. | LA IMPORTANCIA DE LOS ESTÁNDARES.....  | 207 |
| 4.6.   | TELÉFONIA CELULAR COMO RADIORECEPTOR .....                                   | 208 |
| 4.6.1. | HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR.....  | 208 |
| 4.6.2. | TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS MÓVILES .....                                     | 209 |
| 4.6.3. | TRANSMISIÓN DE DATOS EN SISTEMAS MÓVILES.....                                | 211 |
| 4.6.4. | FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS MÓVILES MODERNOS Y ACTUALES.....                 | 214 |
| 4.7.   | DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MULTIMEDIA .....                                   | 215 |
| 4.7.1. | TELÉFONIA MÓVIL .....  | 216 |
| 4.7.2. | PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO .....  | 217 |
| 4.7.3. | PDA .....  | 220 |
| 4.7.4. | CÁMARA FOTOGRÁFICA DIGITAL.....  | 221 |
| 4.7.5. | CINE EN CASA .....   | 222 |
| 4.7.6. | CONSOLA DE VIDEOJUEGOS.....  | 223 |
| 4.8.   | SISTEMAS INTELIGENTES MANIPULADOS CON LA RADIOCOMUNICACIÓN (DOMÓTICA)<br>225 |     |
| 4.8.1. | INTRODUCCIÓN .....   | 225 |
| 4.8.2. | DISPOSITIVOS DOMÓTICOS.....  | 226 |
| 4.8.3. | APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA DOMÓTICA .....                                | 232 |

|                                 |  |     |
|---------------------------------|--|-----|
| 4.9.                            | NUEVAS TECNOLOGÍAS SATELITALES .....                                     | 236 |
| 4.9.1.                          | DESARROLLO DE LA COMUNICACIÓN POR SATÉLITE.....                          | 236 |
| 4.9.2.                          | SISTEMAS DE SERVICIO FIJO .....  | 243 |
| 4.9.3.                          | SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN DIRECTA DE TV .....                            | 243 |
| 4.9.4.                          | SISTEMAS DE RADIO DIGITAL .....  | 244 |
| 4.9.5.                          | SISTEMAS DE SERVICIO MÓVIL Y CONSTELACIONES DE BANDA ANGOSTA.....        | 246 |
| 4.9.6.                          | SATELITES MULTIMEDIA DE BANDA ANCHA Y COBERTURA GLOBAL .....             | 247 |
| 4.9.7.                          | MÁS INFORMACIÓN SOBRE SATÉLITES ACTUALES .....                           | 250 |
| 4.9.8.                          | APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE NAVEGACION POR SATELITE.....             | 251 |
| <b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES</b> |  |     |
| 5.1.                            | ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS ANALÓGICOS RESPECTO A LOS DIGITALES | 253 |
| 5.2.                            | CONTRIBUCIÓN DE LA RADIO DIGITAL .....                                   | 253 |
| 5.3.                            | CONTRIBUCIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL .....                              | 254 |
| 5.4.                            | LOS BENEFICIOS DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ERA DIGITAL .....         | 255 |
| 5.5.                            | LA APLICACIÓN DE LA DIGITALIZACIÓN, Y EL DESARROLLO HACIA EL FUTURO..... | 256 |
|                                 | <b>OBJETIVO</b> .....  | 258 |
|                                 | <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  | 258 |
|                                 | <b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....                             | 258 |
|                                 | <b>RESUMEN</b> .....   | 260 |
|                                 | <b>HIPÓTESIS</b> .....   | 260 |
| <b>ANEXO 1. SEÑALES</b>         |  |     |
| 1.1.                            | CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES .....                                       | 261 |
| 1.1.1.                          | SEÑALES EN TIEMPO CONTINUO Y TIEMPO DISCRETO .....                       | 261 |
| 1.1.2.                          | SEÑALES PARES E IMPARES .....  | 262 |
| 1.1.3.                          | SEÑALES PERIÓDICAS, SEÑALES NO PERIÓDICAS .....                          | 263 |
| 1.1.4.                          | SEÑALES DETERMINISTAS, SEÑALES ALEATORIAS.....                           | 263 |
| 1.1.5.                          | SEÑALES DE ENERGÍA, SEÑALES DE POTENCIA .....                            | 263 |
| 1.2.                            | OPERACIONES BÁSICAS SOBRE SEÑALES .....                                  | 265 |
| 1.2.1.                          | OPERACIONES EFECTUADAS SOBRE VARIABLES DEPENDIENTES .....                | 265 |
| 1.2.2.                          | OPERACIONES EFECTUADAS SOBRE LA VARIABLE INDEPENDIENTE .....             | 266 |
| 1.3.                            | SEÑALES ELEMENTALES .....  | 267 |
| 1.3.1.                          | SEÑALES EXPONENCIALES .....  | 267 |
| 1.3.2.                          | SEÑALES SENOIDALES .....   | 268 |
| 1.3.3.                          | SEÑALES SENOIDALES AMORTIGUADAS EXPONENCIALMENTE .....                   | 270 |
| 1.3.4.                          | FUNCIÓN ESCALÓN .....  | 271 |

|                             |   |     |
|-----------------------------|---|-----|
| 1.3.5.                      | FUNCIÓN IMPULSO.....                                  | 272 |
| 1.3.6.                      | FUNCIÓN RAMPA.....                                    | 273 |
| <b>ANEXO 2. OSCILADORES</b> |   |     |
| 2.1.                        | INTRODUCCIÓN A LOS OSCILADORES .....                  | 274 |
| 2.2.                        | PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN OSCILADOR .....     | 274 |
| 2.3.                        | PARAMETROS CARACTERISTICOS DE UN OSCILADOR.....       | 275 |
| 2.3.1.                      | FRECUENCIA, MARGEN Y FORMA DE SINTONIA.....           | 275 |
| 2.4.                        | ESTABILIDAD DE UN OSCILADOR.....                      | 276 |
| 2.4.1.                      | POTENCIA, RENDIMIENTO Y NIVEL DE ARMÓNICOS .....      | 276 |
| 2.4.2.                      | PULLING .....   | 277 |
| 2.4.3.                      | PUSHING.....  | 277 |
| 2.4.4.                      | DERIVA DE FRECUENCIA CON LA TEMPERATURA.....          | 277 |
| 2.4.5.                      | ESPECTRO DE RUIDO. ESTABILIDAD A CORTO PLAZO.....     | 277 |
| 2.4.6.                      | ESTABILIDAD A LARGO PLAZO .....                       | 278 |
| 2.4.7.                      | RUIDO DE FASE DE UN OSCILADOR. MODELO DE LESSON ..... | 278 |
| 2.5.                        | TIPOS DE OSCILADORES.....                             | 280 |
| 2.5.1.                      | OSCILADORES LC.....                                   | 281 |
| 2.5.2.                      | OSCILADORES DE CRISTAL DE CUARZO .....                | 281 |
| 2.5.3.                      | OSCILADORES DE RESONANCIA SERIE .....                 | 282 |
| 2.5.4.                      | OSCILADOR DE RESONANCIA PARALELO .....                | 282 |
| 2.5.5.                      | OSCILADORES CONTROLADOS POR TENSIÓN .....             | 283 |
| 2.5.6.                      | OSCILADOR CONTROLADO POR VARACTOR .....               | 283 |
| <b>ANEXO 3. FILTROS</b>     |   |     |
| 3.1.                        | INTRODUCCIÓN DE FILTROS DE RADIOCOMUNICACIÓN .....    | 285 |
| 3.2.                        | TIPOS DE FILTROS .....                                | 286 |
| 3.2.1.                      | FILTRO RESONANTES L-C.....                            | 286 |
| 3.2.2.                      | FILTROS RESONANTES PARALELO .....                     | 287 |
| 3.2.3.                      | CIRCUITOS RESONANTES ACOPLADOS MAGNÉTICAMENTE .....   | 289 |
| 3.2.4.                      | FILTRO DE CRISTAL DE CUARZO.....                      | 290 |
| 3.2.5.                      | FILTRO DE MICROCINTA.....                             | 292 |
| 3.2.6.                      | FILTROS DE CAVIDAD RESONANTE .....                    | 293 |
| 3.2.7.                      | FILTRO DE ONDA ACÚSTICA SUPERFICIAL.....              | 294 |
| 3.2.8.                      | FILTROS HELICOIDALES .....                            | 296 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>    |   | 298 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1. Introducción a los Sistemas de Comunicación

- Figura 1.1. Sistemas de comunicaciones.
- Figura 1.2. Estructura del canal de comunicación.
- Figura 1.3. Generalización de algunos sistemas de comunicación.
- Figura 1.4. Señal de sonido.
- Figura 1.5. Espectro de frecuencias.
- Figura 1.6. Señal sinusoidal en el dominio temporal.
- Figura 1.7. Señal sinusoidal en el dominio frecuencial (espectro unilateral).
- Figura 1.8. Señal sinusoidal en el dominio frecuencial (espectro bilateral).
- Figura 1.9. Ejemplos de señales en dominio temporal y el dominio frecuencial.

### Capítulo 2. Radio Digital

- Figura 2.1. Transmisión simple de radio.
- Figura 2.2. Espectro radioeléctrico.
- Figura 2.3. La estructura una antena dipolo sencilla.
- Figura 2.4. La estructura de una antena Balun.
- Figura 2.5. Estructura de una antena de Dipolo doble o doblado.
- Figura 2.6. Estructura de una antena Yagi-Uda.
- Figura 2.7. Estructura de una antena Logarítmica-Periódica.
- Figura 2.8. Estructura de una antena de Bocina.
- Figura 2.9. Estructura de una antena Parabolica.
- Figura 2.10. Un dispositivo no lineal utilizado como mezclador.
- Figura 2.11. Un dispositivo lineal variable con el tiempo empleado como mezclador.
- Figura 2.12. Analisis de circuito mezclador doblemente balanceado.
- Figura 2.13. Diagrama de bloques de un sistema de Radiocomunicación punto a punto.
- Figura 2.14. Diagrama de bloques de un transpondedor.
- Figura 2.14. Diagrama de bloques de un transpondedor.
- Figura 2.16. Detección de OOK.
- Figura 2.17. Detección de BPSK.
- Figura 2.18. Detección de DPSK.
- Figura 2.19. Detección de FSK.
- Figura 2.20. Error de Fase.
- Figura 2.21. Error de Frecuencia.
- Figura 2.22. Mascara de la ráfaga GSM.

### Capítulo 3. Televisión Digital

- Figura 3.1. Equipo de TV.
- Figura 3.2. Distribución de TV terrestre.
- Figura 3.3. Distribución de TV vía satélite.
- Figura 3.4. Televisión Monocromática.
- Figura 3.5. Diagrama de bloques de un receptor de TV de color.
- Figura 3.6. Televisión a color.
- Figura 3.7. Distribución de canales en NTSC y DTV en EE.UU.
- Figura 3.8. Infraestructura analógica existente y adaptación para HDTV.

- Figura 3.9. Infraestructura SDI existente y adaptación a HDTV.  
 Figura 3.10. Infraestructura en 480p (progresivo) y adaptación a HDTV.  
 Figura 3.11. Infraestructura Digital Serie SDI y HDTV.  
 Figura 3.12. Infraestructura en HDTV.  
 Figura 3.13. Modem de TV por cable.  
 Figura 3.14. Televisión en HDTV.  
 Figura 3.15. Composición de la señal SECAM.  
 Figura 3.16. Estándar DVB-S.  
 Figura 3.17. Estándar DVB-DSNG.  
 Figura 3.18. Estándar DVB-S2.  
 Figura 3.19. Estándar ISDB-S.  
 Figura 3.20. Estándar ABS-S.  
 Figura 3.21. Estándar ATSC.  
 Figura 3.22. Transmisión de la TV por satélite.

#### **Capítulo 4. Las Tecnologías de las Telecomunicaciones Alternativas e Interactivas de la Radio y Televisión Tradicional**

- Figura 4.1. Representación de conexión con los dispositivos móviles.  
 Figura 4.2. El celular y sus aplicaciones (software).  
 Figura 4.3. Pantalla LCD.  
 Figura 4.4. PDA (Personal Digital Agenda).  
 Figura 4.5. Cámara Digital.  
 Figura 4.6. Sistema de un Cine en casa (DVD, Audio y Pantalla).  
 Figura 4.7. Videoconsolas y Video electrónica moderna.  
 Figura 4.8. De un hogar Demótico.  
 Figura 4.9. Estructura de la Pasarela Residencial.  
 Figura 4.10. Sistema de Control Central.  
 Figura 4.11. Tipos de Sensores.  
 Figura 4.12. Diagrama de Actuadores y Sensores.  
 Figura 4.13. Satélite para la transmisión de TV Digital.  
 Figura 4.14. Trasmisión vía Satélite de Radio Digital.  
 Figura 4.15. Ejemplo de los sistemas de telefonía móvil vía Satélite.  
 Figura 4.16. Sistemas satelitales para equipos multimedia.  
 Figura 4.17. Una aplicación del sistema GPS Satelital.

#### **Anexo 1. Señales**

- Figura 1.1. Señales. a) Señal en tiempo continuo y b) Señal en tiempo discreto.  
 Figura 1.2. Decaimiento y crecimiento de una señal exponencial a) continuo y b) discreto.  
 Figura 1.3. Representación de la señal senoidal continua.  
 Figura 1.4. Representación de la señal senoidal discreta.  
 Figura 1.5. Señal amortiguada exponencialmente en tiempo continuo.  
 Figura 1.6. a) La función escalón en tiempo continuo y b) La función escalón en tiempo discreto.  
 Figura 1.7. Representación de la función impulso unitario a) continuo y b) discreto.  
 Figura 1.8. Tiempo discreto de la función rampa a) continuo y b) discreto.

#### **Anexo 2. Osciladores**

- Figura 2.1. Circuitos osciladores LC.  
Figura 2.2. Circuito equivalente del cristal de cuarzo.  
Figura 2.3. Cristal en montaje serie.  
Figura 2.4. Circuito Colpitts con cristal.  
Figura 2.5. Circuito equivalente del varactor.

### **Anexo 3. Filtros**

- Figura 3.1. Circuito con un inductor.  
Figura 3.2. Circuito equivalente de capacitores físico.  
Figura 3.3. Circuito de un filtro resonante serie.  
Figura 3.4. Amplificadores selectivos circuito resonante serie: a) rechazador de banda, b) pasa banda.  
Figura 3.5. Circuito resonante paralelo.  
Figura 3.6. Circuito equivalente.  
Figura 3.7. Circuito eléctrico de un filtro resonante acoplado magnéticamente.  
Figura 3.8. Circuito equivalente.  
Figura 3.9. Estructura cristalina del cuarzo con sus ejes óptico, mecánico y eléctrico.  
Figura 3.10. Circuito eléctrico de un resonador de cuarzo.  
Figura 3.11. Construcción de una microcinta.  
Figura 3.12. Circuito equivalente con elementos concentrados de una línea de transmisión.  
Figura 3.13. Configuración simple de un filtro SAW.  
Figura 3.14. Configuración de un filtro helicoidal.

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **Capítulo 1. Introducción a los Sistemas de Comunicación**

- Tabla 1.1. Clasificación de un canal de comunicación según su entrada y su salida.  
Tabla 1.2. Acontecimientos de la historia de las telecomunicaciones.  
Tabla 1.3. Cronología de la comunicación eléctrica.  
Tabla 1.4. Historia del dos mil hasta la actualidad.  
Tabla 1.5. Las bandas de espectro de frecuencias.  
Tabla 1.6. Aplicaciones del espectro electromagnético.

### **Capítulo 2. Radio Digital**

- Tabla 2.1. Características del sonido, en distintos sistemas.  
Tabla 2.2. Espectro utilizado por diferentes servicios y designación de las bandas de microondas.  
Tabla 2.3. Representación de las cuatro Ecuaciones de Maxwell.

### **Capítulo 3. Televisión Digital**

- Tabla 3.1. Banda de VHF y UHF y asignación de servicio.  
Tabla 3.2. Franjas de modulación.

Tabla 3.3. Asignación de Canal y Frecuencia de la FCC.

Tabla 3.4. Parámetros de la cuantificación digital para 1125/60 y 1250/50.

Tabla 3.5. Nivel de cuantificación en HDTV para 8 y 10 bits.

Tabla 3.6. Estructura de la señal de Televisión.

Tabla 3.7. Conversión del código 4/5.

Tabla 3.8. De conversión del código 2/3.

Tabla 3.9. De sustitución en situaciones ilegales de dos palabras de código consecutivas.

Tabla 3.10. De los sistemas de DVB.

Tabla 3.11. Norma de televisión digital DVB.

Tabla 3.12. Cuadro comparativo de señal/ruido y al nivel de señal.

Tabla 3.13. De las especificaciones del sistema ATSC.

#### **Capítulo 4. Las Tecnologías de las Telecomunicaciones Alternativas e Interactivas de la Radio y Televisión Tradicional**

Tabla 4.1. Clasificación de los servicios según su contenido.

Tabla 4.2. Principales Sistemas Satelitales Geoestacionarios de Comunicaciones.

#### **Anexo 3. Filtros**

Tabla 3.1. Valores típicos de resonadores de cuarzo de propósito general.

Tabla 3.2. Las propiedades de sustrato piezoeléctricos empleados en la fabricación de filtros SAW.

Tabla 3.3. Valores típicos de los parámetros más importantes de los filtros SAW bidireccionales y de bajas pérdidas.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

---

### 1.1. DEFINICIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

#### 1.1.1. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Un sistema de comunicación es una combinación de circuitos y dispositivos electrónicos, que tiene como objetivo llevar a cabo la transmisión de información de un punto a otro. Una característica intrínseca de los sistemas de comunicación es la presencia de la incertidumbre, la cual se debe, en parte, a la presencia inevitable de perturbaciones indeseables sobre la señal, a la que se le conoce comúnmente como ruido; también se debe en parte, a la naturaleza impredecible de la propia información. (Ziemer & Tranter, 1981)

Un sistema de comunicaciones electrónico, bien estructurado, consiste en diversos componentes y elementos interconectados entre sí como son: circuitos integrados, componentes discretos, señales electromagnéticas, redes de comunicación, entre otros. (Hinostroza, 2010)

#### 1.1.2. TIPOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

##### 1.1.2.1. SERVICIO TELEFÓNICO

La palabra teléfono proviene de las raíces latinas "TELE" lejos, y "PHONOS" voz ó sonidos lo que significa literalmente sonido desde lejos. Al hablar por teléfono, las cuerdas vocales emiten ondas sonoras al aire. A medida que estas ondas van entrando en el transmisor, se transforman por un pequeño micrófono en una combinación de ondas eléctricas. Estas ondas eléctricas viajan a gran velocidad, a través de cables, por la red telefónica entre las centrales de conmutación, las cuales las dirigen al articular del teléfono emisor al receptor. Pero el sistema telefónico actual, ha evolucionado naturalmente que puede hacer mucho más que llevar simplemente nuestras voces alrededor del mundo. Datos de ordenador, páginas de texto e incluso notas manuscritas o complicadas, dibujos, fotografías, documentos digitales, etcétera, pueden ser enviados a través de la línea telefónica en cuestión de segundos.

Aún más, en algunas áreas, hoy en día, los teléfonos están conectados no por cables ordinarios, o por ondas de radio, si no por finas hebras de vidrio por donde circulan los mensajes a través de sofisticados rayos láser.



### **1.1.2.2. TELÉFONOS MÓVILES**

Un gran inconveniente del teléfono ordinario es que nos obliga a permanecer en un sitio determinado mientras lo utilizamos.

Desde hace un tiempo, existe una nueva forma mucho más cómoda de atender llamadas: el teléfono inalámbrico, un teléfono que puede llevarse por toda la casa e incluso a cualquier lugar donde halla alcance.

Este tipo de radioteléfono de corto alcance depende de un adaptador que se conecta al teléfono convencional. Los impulsos eléctricos de la llamada recibidos, son transformados por el adaptador en ondas de radio convencionales y enviados al teléfono móvil sin hilos.

### **1.1.2.3. TELÉFONOS CELULARES**

En la mayor parte del mundo, opera hoy una red de radiotransmisores controlados por computadoras y software especial, cada uno de ellos cubre un área denominada célula. Cuando una llamada se dirige a alguien con un número de teléfono celular, la señal entra en la red de radio y es distribuida de célula a célula por los computadores hasta que se localiza al suscriptor, controlada en ese momento por el teléfono receptor.

Muy pronto, donde quiera que un usuario de telefonía celular se encuentre, ya sea viajando en un tren, en un autobús o en un avión transoceánico podrá efectuar llamadas telefónicas a cualquier parte del mundo a un costo considerablemente bajo.

### **1.1.2.4. FIBRA ÓPTICA**

La mayoría de las llamadas telefónicas actuales viajan en forma de ondas eléctricas a través de cables de cobre que están enterrados en el suelo o detenidos en el aire entre postes. Gradualmente, el antiguo cable de cobre está siendo sustituido por cientos de finas hebras de vidrio que reciben el nombre de fibra óptica.

Cada una de estas llamadas, previamente convertidas a partir de ondas eléctricas ordinarias, pasa por fibra de vidrio en los pulsos de luz generados por un chip láser (microcircuito láser), o un LED (light emitting diode, diodo emisor de luz). En el extremo receptor las señales de luz son transformadas de nuevo en ondas eléctricas.

Cada fibra se compone de un núcleo de vidrio muy puro por lo que viajan las señales luminosas. Si la luz tratase de escapar de las paredes del tubo se encontraría con un revestimiento exterior de una clase de vidrio diferente que la devolvería al núcleo.

### **1.1.2.5. INTERNET**

Hoy en día, la forma más simple de acceso a grandes bibliotecas de información es a través de una computadora personal conectada a un modem (Modulador-Demodulador) de teléfono. Conocidas como base de datos, estas bibliotecas pueden estar especializadas en ciertos temas técnicos o bien almacenar información general de uso cotidiano en la propia casa.

### **1.1.2.6. EMISIÓN DE RADIO**

En comparación con el telégrafo e incluso con el teléfono, la radio parece ofrecer una manera prodigiosa de comunicación. Silenciosa e invisible, las ondas electromagnéticas que usa la radio transportan las señales de código Morse a través del aire sin necesidad de cables

eléctricos. En 1896, el inventor italiano Guglielmo Marconi fue la primera persona en enviar señales telegráficas sin hilos y Estados Unidos uso la radiotelegrafía o radio para abreviar.

Pronto se descubrió la manera de usar la radio para transmitir no solo señales en código Morse, sino también música y palabras. El truco consistió en usar las señales sonoras de un micrófono para modificar las ondas de radio. Las ondas transportaban la información del sonido. Por esta razón los ingenieros denominaban a la señales de radio portadoras.

La señal de radio-portadora modulada- se emite desde una antena transmisora. La antena de un receptor de radio recoge las señales de miles de emisoras y las convierte en diminutas señales eléctricas. Un circuito sintonizador en el receptor permite seleccionar la señal deseada. Otros circuitos amplifican la señal y la desmodulan, es decir extraen la señal sonora. Más tarde esta señal sonora es amplificada y transferida a un altavoz que reproduce los sonidos originales del estudio radiofónico.

Para transmitir la voz o música, se compone la señal sonora para modular (variar) la amplitud o la frecuencia. Así se produce una transmisión de amplitud modulada (AM) o frecuencia modulada (FM).

#### **1.1.2.7. TELEVISIÓN**

La televisión también hace uso de las señales electromagnéticas, similares a las de la radio, que son enviadas a través del aire. La diferencia es que en la transmisión por TV conduce tanto señales de sonido como de imagen. Las señales de sonido proceden de los micrófonos y las de imagen se producen en las cámaras de TV.

Al lanzar un chorro de pequeñas partículas llamadas electrones se forma una especie de pincel. El pincel de electrones que se encuentra dentro del tubo de la televisión en blanco y negro recorre rápidamente toda la superficie de la pantalla, línea por línea pintando las imágenes sobre una pantalla recubierta de un material especial que brilla al ser impactado por las pequeñas partículas.

El pincel de electrones rastrea toda la pantalla 60 veces por segundo, creando cada vez una imagen ligeramente diferente. Para el ojo, el resultado es una imagen en continuo movimiento.

La televisión en color funciona de la misma manera que la de Blanco y Negro, solo que las señales visuales contienen, además, información sobre los colores, no solo brillo. En lugar de un pincel de electrones, el tubo de aparato de TV en color tiene tres, uno para cada color básico: rojo, verde y azul. En cada línea de pantalla de TV en color hay cientos de grupos fosforescentes que brillan en rojo, verde o azul cuando son alcanzados por el haz eléctrico.

##### **a) TV por cable**

El cable se utiliza para enviar las emisiones televisivas a suscriptores mediante el uso de instalaciones especiales basadas en cables distribuidos por postes en calles específicas o por medio de antenas y satélites especiales. Desde hace algunas décadas ya, han entrado en funcionamiento estaciones de TV totalmente nuevas para esa clase de emisión. Donde los suscriptores contratan el servicio por medio de un pago periódico y reciben el servicio ya sea por cable o por medio de un decodificador y una pequeña antena parabólica.

##### **b) TV vía satélite**

Al telefonar, todo lo que el usuario habla es enviado al espacio sideral, rebota en un satélite de comunicaciones y vuelve luego a la Tierra para alcanzar su punto de destino. Numerosos satélites de este tipo orbitan el planeta, transmiten innumerables señales de TV, llamadas telefónicas y de datos de computadora de una parte del globo a otra.

Para lograr que los transmisores y receptores de la superficie puedan apuntarles permanentemente, esto solo puede conseguirse si el satélite rota en una órbita especial sobre el Ecuador que está a 35800 Km de altura, alrededor de una décima parte de la distancia a la Luna, a esto es lo que se llama órbita geoestacionaria.

Hay tres partes principales en el sistema de comunicaciones por satélite: transmisor, receptor y el propio satélite. La información es lanzada al satélite por medio de antenas parabólicas conocidas como estaciones terrestres. El mensaje viaja al espacio en forma de microondas: ondas cortas que pueden atravesar libremente la atmosfera. (Brown & Glazier, 1978)

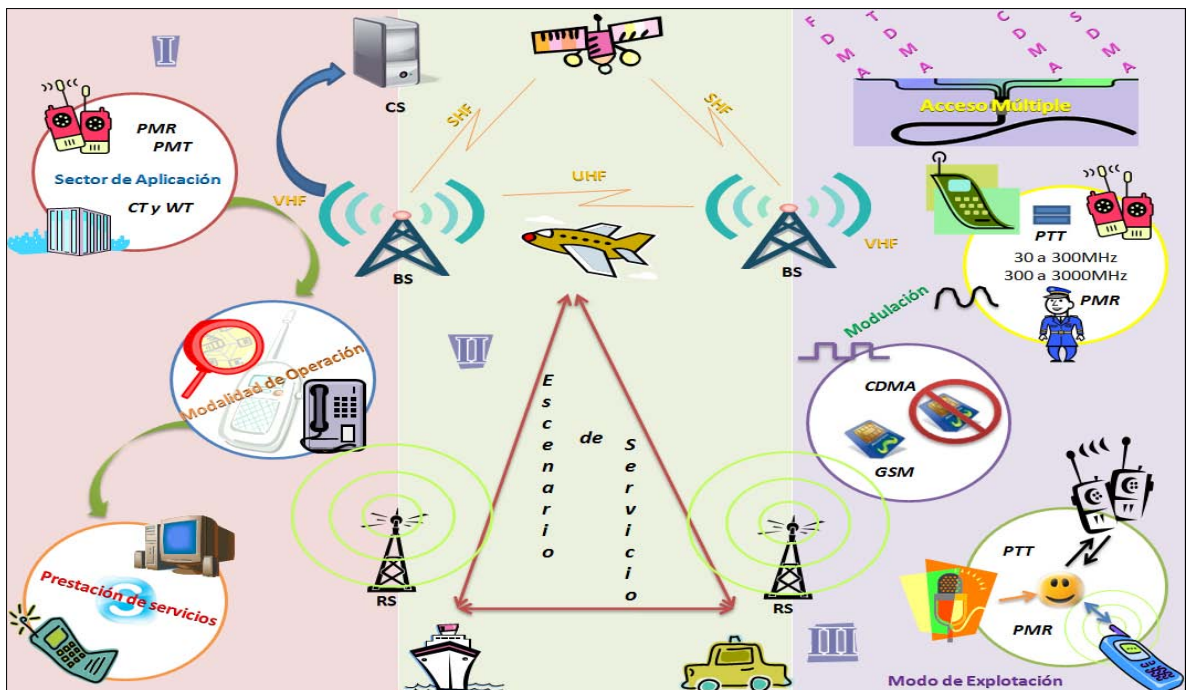


Figura 1.1. Sistemas de comunicaciones.

### 1.1.3. NATURALEZA DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

La información en sí misma, representa un cierto cambio desde un estado anterior, cuando más rápido son los cambios, tanto mayor es la cantidad de información generada por unidad de tiempo.

La información es útil en la medida que se hace llegar a un receptor, el cual sea capaz de interpretarla y aplicarla en correspondencia, tanto la información que procede del cerebro del hombre, así como la de los dispositivos físicos que puedan responder a una señal o a una versión transformada de ella misma.

Un transductor es un dispositivo capaz de ser accionado por señales que provienen de uno o más sistemas o medios de transmisión y de suministrar una o más señales correspondientes a uno o más medios o sistemas de transmisión. Nota: Las señales de entrada y de salida pueden ser o no del mismo tipo (es decir eléctricas, acústicas, o mecánicas).

Por lo tanto, desde el más simple de los sistemas de comunicación contiene los cinco elementos siguientes:

1. Una fuente de información.
2. Un codificador, o transductor, para transformar la señal de modo de adecuarla para su eficiente transporte a lo largo de un sistema de transmisión.
3. Un sistema de transmisión.
4. Un decodificador, o transductor, para transformar la señal de modo de adecuarla para su interpretación por parte del receptor.

Frecuentemente por razones económicas y conveniencia operativa, el medio de transmisión debe ser usado simultáneamente para transmitir varias señales, cada una de las cuales proviene de una fuente independiente y debe ser dirigida a un receptor determinado. La radio es un ejemplo. El uso en común se hace posible gracias al ingenioso diseño del codificador. Cada codificador debe modificar la señal que proviene de la fuente que está asociada de modo que exista una diferencia distintiva en ella con respecto a las salidas de los demás codificadores, pero sin destruir la identidad de la información. Este proceso se denomina "modulación".

Cuando el proceso de codificación involucra un proceso de modulación, es necesario modificar también el decodificador de modo que pueda desempeñar dos funciones adicionales filtrar, es decir, seleccionar la señal deseada e ignorar las otras; reconvertir la señal en forma que pueda ser manipulada según el proceso normal de decodificación. El conjunto de estas dos funciones se denomina "demodulación".

Cada sistema integral de comunicación, desde la fuente de información hasta el receptor constituye lo que se da en llamar un canal de información o de comunicación, independientemente de que una porción de tal sistema sea o no común a otros canales. (Dunlop & Smith, 1988)

### 1.1.4. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Los elementos principales que integran un sistema de comunicación son: el transmisor, receptor y el canal de comunicación de dicho sistema.

Los cuales es posible encontrar en diferentes sistemas de comunicación que se utilizan cotidianamente, donde para poder mandar una señal de un lado a otro se completa con; transmisor-canal-receptor, transmisor es el lugar donde se manda la información por otra parte el receptor es donde llega esta señal y el canal el medio por el cual es transmitida la señal. El ruido es un efecto indeseable que se maneja en el momento de transmitir una señal, y que se puede originar en cada uno de los elementos de un sistema de comunicación.

El **transmisor** procesa la señal de entrada para producir una señal idónea para ser transmitida, ya que es adaptada a las características del canal de transmisión. El procesamiento de señales para la transmisión comprende casi siempre la modulación y también puede incluir la codificación.

El **canal de transmisión** es el medio que forma un puente entre la fuente y el destino. Puede ser un par de alambres, un cable coaxial, una onda de radio, aire o un haz laser. Todo canal introduce una cantidad de pérdida o atenuación en la transmisión, de manera que la potencia de la señal disminuye progresivamente conforme aumenta la distancia.

El **receptor** opera sobre la señal de salida del canal en preparación para la entrega al transductor en el destino. Las operaciones del receptor incluyen la amplificación para compensar pérdidas en la transmisión a fin de invertir el procesamiento de la señal ejecutada en el transmisor. El filtrado es otra función importante en el receptor.

La salida de sistemas de comunicación (fuente de información) correctamente se emiten en: voz, video y datos. (Hinostroza, 2010)

### 1.1.5. INFORMACIÓN, MENSAJE Y SEÑALES

El objetivo de un sistema de comunicación es transferir, de un lugar a otro o de una persona a otra, cierto tipo de información, mensaje o señal. El significado de estos tres conceptos, que son fundamentales para la teoría de la comunicación es:

**Información:** Conjunto de características o elementos que proporcionan conocimiento acerca de un objetivo o evento en particular.

Información por otra parte, son el conjunto de datos que dentro de un contexto dado tiene un significado en particular o para alguien. Retomando el significado de sistema es el mecanismo por el cual se genera información.

Un sistema de información es un conjunto de elementos que interactúan entre sí con el fin de apoyar diferentes actividades. En un sentido amplio un sistema de información no necesariamente incluye equipo eléctrico (hardware). Sin embargo en la práctica se utiliza como sinónimo de “sistema de información computarizado”.

Un sistema de información realiza cuatro actividades básicas: entrada, almacenamiento, procesamiento y salida de información. A continuación se define cada una de estas actividades.

- Entrada de información. La entrada es el proceso mediante el cual el sistema de información toma los datos que requiere para procesarlos en información. Las entradas pueden ser manuales o automáticas. Las manuales que son proporcionadas en forma directa por el usuario, mientras las automáticas son datos o información que provienen o son tomadas de otros sistemas o módulos, esto se denomina interfaces automáticas.
- Almacenamiento de información. El almacenamiento es una de las actividades o capacidades más importantes que tiene una computadora, ya que a través de esta propiedad el sistema puede recordar la información guardada en la sesión o proceso

anterior. Esta información suele ser almacenada en estructuras de información denominadas archivos.

- **Procesamiento de información.** Es la capacidad del sistema de información para efectuar cálculos de acuerdo con una secuencia de operaciones preestablecidas. Estas características de los sistemas permite la transformación que puede ser utilizada para la toma de decisiones.
- **Salida de información.** La salida es la capacidad de un sistema de información para sacar la información procesada o bien datos de entrada al exterior. Es importante aclarar que la salida de un sistema de información puede construir la entrada otro sistema de información o modulo. (Los Sistemas de Información)

**Mensaje:** Conjunto de representaciones simbólicas (orales, escritas, graficas, eléctricas, matemáticas, etcétera) que permiten asignar formas particulares a la información manejada. Por mensaje se entiende la información que se desea intercambiar entre dos o más interlocutores. En el ámbito de las telecomunicaciones, el mensaje es el conjunto de señales, signos o símbolos que son objeto de una comunicación a distancia.

La clasificación que se hace del mensaje tradicional en comunicaciones, es de cuatro tipos de mensaje que son: sonido, que asociamos con el teléfono o con la radio, texto, que antiguamente era el telegrama o el teletipo de datos que podemos identificar con un documento o con la información que se encuentra en internet e imágenes, que asociamos con el video o la televisión.

Pero esta clasificación tan simple, que vale para comprender la distinta naturaleza de los mensajes a la hora de su tratamiento mediante equipos de comunicaciones, en la práctica está más dividida: la voz, más condiciones, una red más compleja que la voz y la música, siendo ambos un sonido, se trata de diferente manera en telecomunicaciones. La música requiere bastantes más condiciones, una red más compleja que la voz, mientras que la imagen puede ser fija o en movimiento: si es en movimiento es el video o la televisión, pero si es fijo como una fotografía o gráfico, el tratamiento es distinto. (Huidobro, Manual de Telecomunicaciones, 2004)

**Señal:** Proceso físico generado a partir de una imagen (o mapeo) de un mensaje con la finalidad de que este último pueda ser transmitido de un punto a otro mediante cierta infraestructura y a través de un medio de transmisión.

Es posible considerar que la información está implícita dentro de un mensaje y según se ha definido, este último puede estar dado mediante diferentes representaciones simbólicas. Es decir los sistemas de comunicación trabajan con mensajes representados simbólicamente mediante señales en diferentes representaciones; si la representación del mensaje es diferente este puede ser transformado mediante dispositivos conocidos como transductores. (Carlson & Crilly, 2007)

Una señal es la función de una variedad de parámetros, uno de los cuales es comúnmente es el tiempo, que representa una cantidad o variable física, y típicamente contiene información o datos sobre la conducta o naturaleza de un fenómeno físico. Aunque las señales puedan representarse en muchas formas, en todos los caso, la información en una señal está contenida en un patrón que varía en alguna manera consensuada.

Matemáticamente, una señal se puede representar como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, una señal de audio puede representarse mediante la presión acústica en función del tiempo, y una imagen como función de brillo de dos variables espaciales. Una señal se denota por  $X(t)$ . Por conveniencia, generalmente nos referimos a la variable independiente como el tiempo, aun cuando ella no represente al tiempo real en situaciones específicas.

Existen dos tipos básicos de señales: señales en el dominio del tiempo continuo ó también llamadas analógicas y señales en tiempo discreto o digitales. Una señal  $X(t)$  es una señal en tiempo continuo. Si la variable independiente  $t$  es una variable continua y, por ende, estas señales están definidas para un continuo de valores de esa variable; es decir, el valor de  $X(t)$  es especificado en todo instante  $t$  de un intervalo de tiempo dado, ya sea mediante una expresión matemática o gráficamente por medio de una curva; en otras palabras, la variable independiente puede tomar cualquier valor real. Si la variable independiente  $t$  es una variable discreta, es decir,  $X(t)$  está definida en puntos del tiempo discreto, entonces  $X(t)$  es una señal en tiempo discreto, a menudo generada por muestreo de una señal de tiempo continuo. Como una señal de tiempo discreto, con frecuencia se identifica como una secuencia de números, denotada por  $\{X_n\}$  o  $X[n]$ , donde para nuestro propósito,  $n$  es un número entero. (Marón, 2011)

### 1.1.6. FUENTES DE INFORMACIÓN

La fuente de información puede ser una señal analógica o una digital. Los ejemplos comunes son las señales analógicas de audio y video, y los datos puramente digitales. La fuente se describe a menudo en base a los términos del intervalo de frecuencia que ocupa. Por ejemplo las señales analógicas de voz con calidad telefónica están integradas por frecuencias que van desde casi 300 Hz a 3 KHz, en tanto las señales provenientes de música analógica de alta fidelidad necesitan un intervalo de frecuencia de alrededor de 20 Hz a 20 KHz.

El video requiere un intervalo de frecuencias mucho más grande que el correspondiente al audio. Una señal de video analógica con la calidad para radiodifusión comercial por sistema comercial de televisión requiere un intervalo de frecuencias desde cero (cd) a casi 4.2 MHz.

Las señales digitales pueden tener casi cualquier ancho de banda, lo cual depende de la cantidad de bits transmitidos por segundo y del método usado para convertir los unos y ceros binarios en señales.

El ambiente de las telecomunicaciones está dominado por cuatro importantes fuentes de información: voz, música, imágenes y datos de computadora. Es posible caracterizar una fuente de información en términos de la señal que porta la información. Una señal se define como una función de un solo valor de tiempo que desempeña el papel de la variable independiente; en cualquier instante la función tiene un valor único. La señal puede ser unidireccional como en el caso de la voz, la música o los datos de computadora; bidireccional, como en el caso de las imágenes; tridimensional, como en el caso de los datos de video; y cuatridimensional, como en el caso de datos de volumen a lo largo del tiempo. A continuación se mencionan las diferentes fuentes de información.

- a) **El habla**, es el método fundamental de la comunicación humana. Específicamente, el proceso de comunicación del habla implica la transferencia de información de un locutor a un escucha, lo cual ocurre en tres etapas sucesivas:



**Producción.** Un mensaje en la mente del hablante que quiere expresarse se representa mediante una señal del habla que está compuesta por sonidos (es decir, ondas de presión) generados dentro del tracto vocal y cuyo arreglo está gobernado por las reglas del lenguaje.

**Propagación.** Las ondas sonoras se propagan por el aire a una velocidad de 300 m/s, llegando a los oídos del escucha.

**Percepción.** El oyente descifra los sonidos que llegan en un mensaje recibido, completando de ese modo la cadena de acontecimientos que culminan en la transferencia de información del hablante al escucha.

El proceso de producción del habla puede considerarse como una forma de filtrado, en el cual una fuente sonora excita a un filtro del tracto vocal.

Asimismo el tipo de sistema de comunicación que se está considerando tiene una presencia importante en la banda de frecuencias que se considera “esencial” para el proceso de comunicación. Por ejemplo (como se mencionó), un ancho de banda de 300 a 3100 Hz se considera adecuado para la comunicación telefónica comercial.

- b) **La música**, se origina de instrumentos como el piano, el violín y la flauta. Las notas que produce un instrumento musical quizá duren en breve intervalo de tiempo, como cuando se presiona una tecla en un piano, o es posible sostenerlos durante un instrumento de tiempo largo, como en el caso de un flautista que sostiene una nota prolongada.

Al igual que la señal del habla, una señal musical es bipolar. Sin embargo, difiere de la del habla en que su espectro ocupa una banda mucho más ancha de frecuencias que se puede extender hasta cerca de 15 KHz. Las señales musicales demandan un ancho de banda de canal mucho más amplio que las señales del habla para su transmisión.

- c) **Las imágenes**, se producen por medio del sistema visual humano. La imagen puede ser dinámica, como en la televisión, o estática, como en el facsímil. Se considera el caso de la televisión, en el cual las imágenes en movimiento se convierten en señales eléctricas para facilitar su transporte desde el transmisor hasta el receptor. Para hacerlo de ese modo, cada imagen completa se escanea (explora ópticamente) en forma secuencial. El proceso de escaneo se realiza en una cámara de TV.

El patrón de carga generado de esa manera sobre la superficie fotosensible se escanea mediante un haz electrónico, produciéndose en esa forma una corriente de salida que varía temporalmente con la manera en la cual la brillantez de la imagen original varía espacialmente de un punto a otro. La corriente de salida resultante se denomina señal de video.

El punto de escaneo de la cámara de TV se mueve con velocidad constante a lo largo de cada línea del campo izquierdo a derecha y se mide la intensidad de la imagen en el centro del punto; el punto de escaneo por sí mismo es parcialmente responsable del promedio espacial local de la imagen.



El tiempo que toma la exploración de cada campo es igual a  $\frac{1}{60}$  s. En forma correspondiente el tiempo que se necesita para explorar una trama o una imagen completa equivale a  $\frac{1}{30}$  s. con 325 líneas en una trama la frecuencia de exploración de líneas es igual a 15.75 KHz. De esta manera, al mostrar 30 imágenes fijas por segundo en el tubo de imagen de un receptor de TV, el ojo humano las percibe como imágenes en movimiento. Este efecto se debe a un fenómeno conocido como la persistencia de la visión.

La calidad de reproducción de la imagen de TV está limitada por factores básicos:

1. El número de líneas disponibles en una exploración (escaneo) de trama, que limita la resolución, de la imagen en la dirección vertical.
2. El ancho de banda del canal disponible para transmitir la señal de video, que limita la resolución de la imagen en la dirección horizontal.

La resolución se expresa en términos del número máximo de líneas que se alternan entre el negro y el blanco y que pueden determinarse en la imagen de TV junto con la dirección pertinente de un observador humano. En el sistema NTSC (Siglas del National Television System Committe de Estados Unidos), que constituye el estándar en este país, los valores de los parámetros que se utilizan producen un ancho de banda de video de 4.2 MHz, el cual se extiende hasta la frecuencia cero. Este ancho de banda en varias órdenes de magnitud más grande que el de la señal del habla. Asimismo que en tanto, que una señal de voz es bipolar, una de video, (televisión) es inherente positiva (es decir, unipolar).

En la TV de color, la percepción del color se basa en tres tipos de receptores de color (conos) en el ojo humano: rojo, verde y azul, cuyas longitudes de onda son 570 nm, 535 nm y 445 nm, respectivamente estos tres colores se conocen como los colores primarios, ya que cualquier otro color que se encuentra en la naturaleza se aproxima por medio de una mezcla activa de ellos.

La base para la transmisión de color en las emisiones de televisión comercial. Los tres colores primarios se representan mediante las señales de video  $mR(t)$ ,  $mG(t)$  y  $mB(t)$ , respectivamente. Para conservar el ancho de banda y producir una imagen que es posible ver sobre un receptor de televisión convencional en blanco y negro (monocromático), la transmisión de estos tres colores primarios se consigue observando que estos pueden representarse en forma única por medio de tres señales que son combinaciones lineales independientes  $mG(t)$  y  $mB(t)$ . Las tres señales son como sigue:

- Una señal de luminancia  $mL(t)$ , que produce una versión en blanco y negro de la imagen en color cuando en esta se recibe en un receptor de televisión convencional monocromático.
- Un par de señales  $mI(t)$  y  $mQ(t)$ , denominadas las señales crominancia, indican la forma en que el color de la imagen se desvía de las sombras de grises.

A la señal de luminancia,  $mL(t)$ , se le asigna el ancho de banda completo de 4.2 MHz. Debido a ciertas propiedades de la versión humana, las pruebas demuestran que si los anchos de banda nominales de las señales de crominancia  $mI(t)$  y  $mQ(t)$  son 1.6 MHz y 0.6 MHz, respectivamente, es posible la reproducción satisfactoria de color.

- d) **Las computadoras personales (PC)** se han vuelto parte integral de nuestra vida diaria. Las utilizamos para correo electrónico, intercambio de software y para compartir recursos. El texto que se transmitía originalmente por medio de una PC se codificaba utilizando el código estándar estadounidense para el intercambio de información (ASCII, por sus siglas en inglés), que es el primer código que se desarrolló específicamente para las comunicaciones entre computadoras sin importar modelo o fabricante. Cada carácter en ASCII se presenta por medio de ocho bits de datos que constituyen un patrón binario único conformado por ceros y unos, bit es el acrónimo en inglés para dígitos binario. De esta manera, un total de  $2^7 = 128$  caracteres diferentes pueden presentarse en ASCII. Los caracteres corresponden a diversas letras minúsculas y mayúsculas, números, símbolos de control especiales y de puntuación utilizados comúnmente, como @, \$ y %.

Al final de los bits de datos se agregaba originalmente un bit adicional  $b_8$  con el fin de detectar errores. Este bit se denomina bit de paridad. Una secuencia de ocho bits se conoce como byte o un octeto. El bit de paridad se establece de tal manera que el número total de unos en cada byte sea impar para paridad impar y par para paridad par.

El texto que se elabora en una computadora personal por conveniencia se almacena y posteriormente se transmite por un canal de comunicación (por ejemplo canal telefónico) con un solo carácter enviado a la vez. Esta forma de transmisión de datos recibe el nombre de transmisión asíncrona, en oposición a transmisión síncrona, en la cual una secuencia completa de caracteres codificados se envía por el canal en una transmisión larga. Los caracteres codificados producidos por una mezcla de terminales asíncronas y síncronas se combinan mediante multiplexores de datos. La corriente multiplexada de datos que se forma de este modo se aplica después en un dispositivo denominado modem (modulador-demodulador) con el fin de realizar la transmisión por el canal.

Los datos generados por computadora y las señales de televisión constituyen en ambos casos señales de banda ancha, por su contenido de potencia ocupa un intervalo amplio de frecuencias. Otra característica importante de la comunicación de datos entre computadoras personales es la ráfaga, lo cual significa que la información suele transmitirse de una terminal a la otra en ráfagas con periodos de silencio entre ellas.

Un sistema de compresión de datos está compuesto por un codificador y un decodificador, donde se realizan, respectivamente la compresión y reconstrucción de una corriente de datos entrantes. Básicamente, existen dos formas de compresión de datos:

1. La compresión sin pérdida elimina la información redundante contenida en los datos de interés. Se dice que la compresión es sin pérdidas debido a que es completamente reversible, porque es posible reconstruir en forma exacta los datos originales. La compresión sin pérdidas también se conoce como compactación de datos.
2. La compresión con pérdidas implica la pérdida de la información de una manera controlada: en consecuencia, la compresión quizá no sea por completo reversible. Sin embargo, este tipo de compresión superior a la que se obtiene con los métodos sin pérdidas.

Para que las aplicaciones de audio y video digitales que implican el almacenamiento o transmisión resulten variables en el mercado actual, necesitamos algoritmos de compresión estándar, que permitan la interoperabilidad de equipos producidos por fabricantes diferentes. En este contexto mencionamos tres de los prominentes algoritmos de compresión estándar que satisfacen las diferentes necesidades:

- El estándar de codificación de imagen es JPEG, el cual está diseñado para comprimir imágenes a todo color o de escala de grises de escenas naturales del mundo real explotando las limitaciones conocidas del sistema visual humano; En la entrada del codificador, los elementos de la imagen o píxeles se agrupan en bloques de 8x8, los cuales se aplican en un tiempo de Transformada de Fourier conocida como la transformada coseno discreta (DCT, por sus siglas en inglés). DCT descompone cada bloque de píxeles en un conjunto de 64 coeficientes que satisfacen por mucha presión dos objetivos relacionados:
  1. Los coeficientes deben estar lo menos correlacionados posible.
  2. La energía de la señal de entrada debe empaquetarse en el menor número de coeficientes posibles.
- Estándar de codificación de video MPEG-I se diseñó fundamentalmente para comprimir señales de video a 30 tramas por segundo (cps) en una corriente de bits que corte a razón de 1.5 megabits por segundo (Mb/s); MPEG corresponde a las siglas en inglés de Grupo de Expertos de Fotografía en Movimiento. El estándar de codificación de video MPEG-I consigue esta meta de diseño explorado cuatro formas básicas de redundancia presente inherente en los datos de video:
  1. Redundancia de intertrama (temporal).
  2. Redundancia interpíxel dentro de una trama.
  3. Redundancia psicovisual.
  4. Redundancia de codificación entrópica.
- El estándar de codificación de audio MPEG-I se basa en la codificación de percepción, que es un proceso de preservación de forma de onda; es decir, la forma de onda de amplitud- tiempo de señal de audio decodificada se aproxima mucho a la de la señal de audio original.

En términos generales el proceso de codificación comprende cuatro operaciones distintas:

1. Mapeo de tiempo-frecuencia; por este medio la señal de audio se descompone en subbanda múltiples.
2. Modelación psicoacústica, que opera en forma simultánea sobre la señal de audio de entrada para calcular ciertos umbrales utilizando reglas conocidas del comportamiento psicoacústico del sistema auditivo humano.
3. Cuantización y codificación, que juntos con el modelo psicoacústico, trabaja en la salida del mapeador de tiempo-frecuencia a fin de mantener el ruido que resulta del proceso de cuantización en un nivel inaudible.
4. Empaque de tramas, que se utiliza para formatear las muestras de audio, cuantizadas en una corriente de bits decodificable. (Haykin, Sistemas de Comunicación, 2006)

### 1.1.7. EL CANAL DE COMUNICACIÓN

De hecho, el diseño de un sistema de comunicación implica crear cierto tipo(s) de canal(es) de comunicación con características específicas. Al diseñar los canales de comunicación se busca que estos cumplan con las propiedades de linealidad y reciprocidad. Un canal se dice lineal si cumple con el principio de superposición. Es necesario tener una cierta cantidad de variaciones en el voltaje de entrada, en el voltaje de alimentación, la temperatura de operación, etcétera, pueden afectar la linealidad del canal. Un canal se dice recíproco si la dirección de flujo de información no afecta el comportamiento del canal.

De que un canal de comunicación puede ser puramente digital (de codificador a decodificador), puramente analógico (de modulador a demodulador) o bien una combinación de ambos. (Carlson & Crilly, 2007)

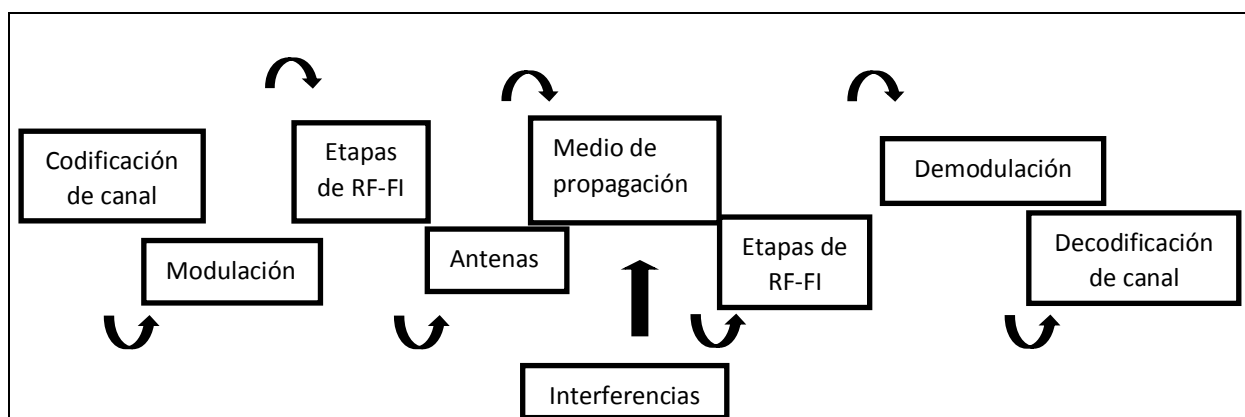


Figura 1.2. Estructura del canal de comunicación.

Los sistemas de telecomunicación como es el caso de sistemas de telefonía, radio, televisión, transmisión de datos, telecontrol, etcétera. Pueden ser generalizados mediante el diagrama, donde el canal de comunicación se clasifica en 4 formas diferentes dependiendo de los tipos de entrada y de salida (discreta o continua).

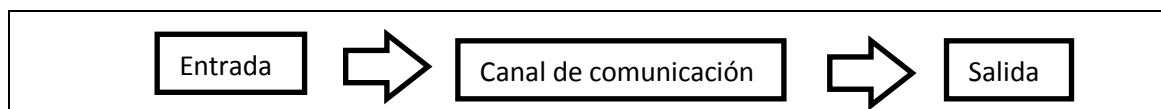


Figura 1.3. Generalización de algunos sistemas de comunicación.

| Entrada               | Salida            |
|-----------------------|-------------------|
| Discreta Continua     | Continua Discreta |
| Canal de Comunicación |                   |

Tabla 1.1. Clasificación de un canal de comunicación según su entrada y su salida.

### 1.1.8. CARACTERÍSTICAS DEL CANAL

#### 1.1.8.1. FUENTES DE RUIDO

El ruido presente en un sistema de comunicación se puede clasificar en dos categorías, dependiendo de su origen. El ruido generado por los componentes dentro del sistema de comunicación, como son las resistencias, bultos electrónicos y accesorios activos de estado sólido, se conoce como ruido interno, la segunda categoría de ruido proveniente de fuentes externas al sistema de comunicación, las que incluyen fuentes de origen extraterrestre.

El ruido atmosférico proviene, en primer término, de ondas espurias de radio, generadas por las descargas eléctricas naturales, asociadas con las tormentas de rayos y truenos y que se conoce generalmente como estática o “esféricos”. Por debajo de 100 MHz el campo de fuerza de dichas ondas es inversamente proporcional a la frecuencia.

Los ruidos producidos por el hombre incluyen las descargas de efecto corona de las líneas de fuerza de alto voltaje, motores eléctricos, ruido de la ignición de los motores de automóviles y aeroplanos y los ruidos de los conmutadores. Los ruidos de ignición y conmutación, como los atmosféricos, se caracterizan por el origen impulsivo; este es el tipo de ruido predominante en los canales alámbricos, como los telefónicos.

Además, hay otra fuente importante de ruido producido por el hombre; se trata de los transmisores de radio frecuencia que operan cerca del que nos interesa. El ruido que se debe a la interferencia de radiofrecuencia (RFI). La RFI es especialmente molesta en aquellas situaciones donde una antena receptora se encuentra en un ambiente de transmisión muy saturado, como sucede con los equipos móviles de comunicación en una gran ciudad.

Las fuentes extraterrestres de ruido incluyen al sol y a los cuerpos celestes de alta temperatura. El sol es una intensa fuente de energía radiante, debido a su alta temperatura (6000°C) y a su relativa cercanía a la Tierra; esta energía se extiende en un alto espectro de frecuencias, pero por fortuna está localizada.

Otra fuente de interferencia en los sistemas de comunicación la constituyen las rutas múltiples de transmisión. Puede ser el resultado de las reflexiones de los edificios de la Tierra, de los aéreo planos y barcos; pueden ser también el resultado de la refracción y estratificación del medio de transmisión. Si el mecanismo disperso resulta de numerosos componentes

reflejados, la señal recibida, procedente de rutas múltiples, tiene características de ruido y se le llama difusa. Si el componente de la señal múltiple se forma solamente, de uno o dos potentes rayos reflejados, se le llama espectacular. Finalmente puede haber degradación de la señal en un sistema de comunicaciones, debido a los cambios aleatorios en la atenuación dentro del medio de transmisión. A estas perturbaciones de la señal se le llaman desvanecimiento, aunque se debe notar que en las rutas múltiples espectaculares, pueden también resultar un desvanecimiento debido a la interferencia contractiva y destructiva de las señales múltiples recibidas. (Haykin & Van Veen, Señales y Sistemas, 2003)

## 1.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS TELECOMUNICACIONES

En la historia de la humanidad siempre ha existido la necesidad de transferir información a distancia. Podemos decir que la Telecomunicación nació en el momento en que se concibió la transmisión de esta información sin necesidad de asociarle ningún transporte de material. Así el transporte de mensajes escritos sobre un papel u otro material, por ejemplo el correo no podemos considerarlo como Telecomunicación. Pero si por ejemplo la transmisión de mensajes a distancia más o menos grandes mediante, por ejemplo señales visibles como señales de humo, antorchas o banderas, señales audibles como silbidos, como las utilizadas por los guanches canarios, o señales emitidas por cuernos o trompetas, que utilizaban en las tropas romanas que comandaba Julio Cesar. La transmisión de mensaje mediante palomas mensajeras quedaría en la frontera entre telecomunicación y el mero transporte de mensajes.

Existe también constancia de Aníbal el cartaginés usaba señales de humo en sus campañas militares contra los romanos. Por otra parte, los griegos y los romanos disponían de redes de telecomunicación de cierta complejidad formados por torres desde las que se señalizaban mensajes mediante antorchas y banderas.

La llegada del telescopio, hacia el 1600, incremento considerablemente el alcance de tales métodos primitivos de telecomunicación. En 1794, el ingeniero y científico francés Claude Chappe, basándose en pruebas realizadas cien años antes por ingles Robert Hooke, diseño un sistema de torres separadas entre sí de 8 a 16 Km, de tal forma que siempre exista visibilidad directa entre dos torres consecutivas. En cada torre monto un mástil con varios brazos pivotantes en su final. Estos brazos podrían ser movidos mediante un sistema de poleas por un operador, que además de encargaba de divisar con un telescopio, los mástiles de las torres más cercanas, también llamadas semáforos.

Mediante estos semáforos, que utilizaban un sistema de codificación similar al binario, se conseguía transmitir mensajes cortos desde Lille hasta Paris (230 Km) en apenas dos minutos. Este sistema evoluciono, mediante la inclusión de espejos reflectantes, hasta los llamados telegráficos ópticos, y fueron utilizados durante casi todo el siglo pasado en España y Francia, principalmente. Los semáforos fueron copiados en Gran Bretaña y Estados Unidos y ampliamente utilizados para la señalización en redes ferroviarias. (Ortega, Flores, & Almenar, 1999)

La Telecomunicación moderna comenzó con el advenimiento de las comunicaciones eléctricas, cuyos desarrollos preliminares se remontan a finales del siglo XVIII con los experimentos relacionados con la electricidad y el magnetismo.

Así la comunicación eléctrica por medio de cables (la primera entre las monedas técnicas de telecomunicación) se fundamenta en los primeros experimentos sobre electricidad realizados por los físicos italianos Luigi Galvani y Alessandro Volta, y en la teoría de la conductividad de los materiales del físico germano Georg Simón Ohm. Así, Volta, construyó en 1800 lo que actualmente se llama pila voltaica, primer dispositivo que permitía generar una corriente continua a partir de fenómenos químicos. La llamada Ley de Ohm se formuló en el año 1826.

De la misma época son los fundamentos matemáticos establecidos, entre otros, por los matemáticos franceses Jean Baptiste Joseph Fourier, Agustín Louis Cauchy y Pierre Simón Laplace. A ellos debemos, entre otras, la descomposición en serie de Fourier, la teoría de números complejos, y la transformación de Laplace, herramientas fundamentales para el estudio teórico de las señales y de los sistemas de comunicación modernos.

Desde una perspectiva teórica técnica, las comunicaciones de radio se basan en la relación mutua entre la electricidad y magnetismo, o más correctamente, en los fenómenos denominados electromagnéticos. El primer experimento que puso en evidencia la relación entre electricidad y magnetismo, lo relaciono 1820 el físico y químico danés Hans Christian Oersted, quien descubrió que una corriente eléctrica oscilante por un hilo, causaba un campo magnético que provocaba el movimiento de una aguja magnética.

En 1820, el físico francés André Marie Ampere formuló matemáticamente la ley que relacionaba ambos fenómenos. En 1831, de forma simultáneamente, el inglés Michael Faraday y el norteamericano Joseph Henry demostraron experimentalmente que una corriente oscilante a través de un hilo, inducía otra en otro hilo no conectado físicamente, y que un campo magnético variable podría inducir corriente en un hilo. Del primer experimento se infiere una aplicación inmediata: el transformador eléctrico. Otra aplicación notan inmediato se deduce si, en lugar de trabajar con corrientes oscilantes a baja frecuencia (la corriente eléctrica doméstica tiene una frecuencia de oscilación de 50 a 60 Hz), trabajamos a frecuencias mucho mayores (del orden de KHz). En este caso tendríamos una transmisión de radio, pero para llegar a ello habría que pasar algunos años. (Ibarra & Serrano, 2001)

| Año  | Acontecimiento  |
|------|---|
| 1826 | Ley de Ohm.   |
| 1838 | Samuel F.B. Morse demuestra el telégrafo.                         |
| 1864 | James C. Maxwell predice la radiación electromagnética.           |
| 1876 | Alexander Graham Bell patenta el teléfono.                        |
| 1887 | Heinrich Hertz verifica la teoría de Maxwell                      |
| 1897 | Marconi patenta un sistema completo de telegrafía sin hilos.      |
| 1904 | Fleming inventa el diodo.   |
| 1906 | Lee De forest inventa el amplificador de triodo.                  |
| 1915 | El sistema Bell termina una línea telefónica transcontinental.    |
| 1918 | B. H. Armstrong perfecciona el radioreceptor superheterodino.     |
| 1929 | J.R. Carson aplica el muestreo a las comunicaciones.              |
| 1937 | Alec Reeves concibe la modulación por impulsos codificados (PCM). |

| Año               | Acontecimiento   |
|-------------------|--|
| 1938              | Comienzan las transmisiones de televisión.   |
| II Guerra Mundial | Aplican los métodos estadísticos a los problemas de extracción de señales.   |
| 1948              | Se inventa el transductor; Claude Shannon publica la Mathematical Theory of Communication.   |
| 1950              | Se aplica la telefonía el multiplex por división de tiempo.  |
| 1956              | Primer cable telefónico transoceánico.   |
| 1960              | Maiman demuestra el rayo Láser.  |
| 1970              | Lanzamiento del primer satélite de comunicación, Teldtar (1962). Reportaje de televisión en vivo de la exploración de la luna; sistema PCM experimentallos; comunicaciones laser experimentales; circuitos integrados; procesamiento de las señales digitales; TV en colores.    |
| 1970 a 1975       | Comunicaciones comerciales por satélite de relevo (de voz y digitales); relaciones de señales en gigabits; integración en gran escala; realización de los circuitos de comunicación por medio de circuitos integrados; redes intercontinentales de comunicación por computadora. |

Tabla 1.2. Acontecimientos de la historia de las telecomunicaciones.

Fuente: (Dunlop &amp; Smith, 1988)

| Año       | Evento  |
|-----------|---|
| 1800-1837 | <i>Desarrollos preliminares.</i> Volta descubre la primera batería; tratados matemáticos de Fourier, Cauchy y Laplace; experimentos sobre la electricidad y magnetismo por Oested, Ampere, Faraday y Henry; ley de Ohm (826); primeros sistemas de telegrafía por Gauss, Weber y Wheastone.   |
| 1838-1866 | <i>Telegrafía.</i> Morse perfecciona el sistema; Steinheil descubre que la Tierra puede usarse como una trayectoria de corriente; se inicia el servicio comercial (1844); se diseñan técnicas de multiplexaje; William Thomson (lord Kelvin) calcula la respuesta de un pulso de línea telegráfica (1855); Cyrus Field y socios instalaron cables trasatlánticos.                           |
| 1845      | Se enuncian las leyes de Kirchhoff.   |
| 1864      | Las ecuaciones de Maxwell predicen la radiación electromagnética.   |
| 1876-1899 | <i>Telefonía.</i> Alexander Graham Bell perfecciona el traductor acústico, después de intentos preliminares hechos por Reis; primera central telefónica en New Haven, con ocho líneas (1878); transductor de carbón de Edison; se introducen circuitos de cables; Strowger diseña la conmutación automática paso a paso (1887); teoría de cargas en cables por Heaviside, Pupin y Campbell. |
| 1887-1907 | <i>Telegrafía inalámbrica.</i> Heinrich Hertz verifica la teoría de Maxwell; demostraciones por Marconi y Popov; Marconi patenta un sistema de telegrafía completamente inalámbrico (1897); sir Oliver Lodge desarrolla la teoría de circuitos de sintonización; comienza el servicio comercial, incluyendo sistemas barco-a-costa y trasatlánticos.  |
| 1892-1899 | Publicaciones de Oliver Heaviside sobre cálculo operacional, circuitos y electromagnetismo.   |



| Año       | Evento  |
|-----------|---|
| 1904-1920 | <i>Electrónica de comunicaciones.</i> Lee De Forest inventa el audio (tríodo) basado con el diodo de Fleming; G. A. Campbell y otros diseñan tipos de filtros básicos; experimentos con radiodifusión AM; línea telefónica transcontinental con repetidores electrónicos completada por Bell System (1915); se introduce la telefónica con portadora multiplexada; E. H. Armstrong perfecciona el receptor de radio superheterodino (1918); primera estación de radiodifusión comercial, KDKA, Pittsburgh.  |
| 1920-1928 | <i>Teoría de trasmisión.</i> Artículos clave sobre la teoría de trasmisión de señales y ruido por J. R. Carson, H. Nyquist, J. B. Johnson y R. V. L. Hartley.   |
| 1923-1938 | <i>Televisión.</i> Sistema mecánico de formación de imagen demostrado por Baird y Jenkins; análisis teóricos de los requerimientos de ancho de banda; Farnsworth y Zworykin ponen sistemas electrónicos; tubos de rayos catódicos perfeccionados por DuMont y otros; pruebas de campo y comienza la transmisión experimental.   |
| 1927      | Se establece la Comisión Federal Comunicaciones (FCC, por Federal Communications Commission).   |
| 1931      | Se inician los servicios de máquinas de escribir a distancia (teletipo).  |
| 1934      | H. S. Black desarrolla el amplificador de realimentación negativa.  |
| 1936      | Alec Reeves concibe la modulación por codificación de pulsos.   |
| 1938-1945 | <i>Segunda Guerra Mundial.</i> Se desarrollan los sistemas de radar y microondas; se usa la FM extensivamente para comunicaciones militares; se mejora la electrónica, el hardware y la teoría en todas las áreas.  |
| 1944-1947 | <i>Teoría estadística de la comunicación.</i> Rice desarrolla una representación matemática del ruido; Wiener, Kolmogoroff y Kotelnokov aplican métodos estadísticos a la detección de señales.   |
| 1948-1950 | <i>Teoría y codificación de la información.</i> C. E. Shannon publica artículos fundamentales de la teoría de la información; Gamming y Golay diseñan códigos correctores de errores.   |
| 1948-1951 | Bardeen, Brattain y Shockley inventan los dispositivos transistorizados.  |
| 1950      | Se aplica la telefonía el multiplexaje por división de tiempo.  |
| 1953      | Se establecen estándares para la TV a color en los Estados Unidos.  |
| 1955      | J. R. Pierce propone sistemas de comunicación satelitales.  |
| 1956      | Primer cable telefónico transoceánico (36 canales de voz).  |
| 1958      | Sistema de transmisión de datos a larga distancia desarrollado para propósitos militares.   |
| 1960      | Maiman demuestra el primer láser.   |
| 1961      | Comienza la producción comercial de circuitos integrados; comienza la radiodifusión de FM estéreo en los Estados Unidos.  |
| 1962      | Comienza la comunicación por satélite con Telstar I.  |
| 1962-1966 | <i>Comunicación digital de alta velocidad.</i> Se ofrece comercialmente el servicio de transmisión de datos; se introduce servicio telefónico de toque-tono; canales de banda ancha diseñados para señalización digital; la modulación por codificación de pulsos demuestra su viabilidad para transmisión de voz y TV; avances importantes en la teoría e implementación de transmisión digital, incluyendo métodos de codificación para control de errores propuestos por Viterbi y otros y el desarrollo de compensación adaptativa por Lucky y colaboradores. |
| 1963      | Gunn perfecciona los osciladores de microondas de estado sólido.  |
| 1964      | Entra en servicio el sistema de conmutación telefónica completamente electrónico (No. 1 ESS).   |

| Año       | Evento   |
|-----------|--|
| 1965      | El Mariner IV transmite imágenes de Marte a la Tierra.   |
| 1966-1975 | <i>Sistemas de comunicación de banda ancha.</i> Sistema de TV por cable; se pone a disposición el servicio de relevo por satélite comerciales; ópticos usando láser y fibra óptica.  |
| 1969      | Se crea Arpanet (precursora de Internet).  |
| 1971      | Intel desarrolla el primer microprocesador de un solo chip.  |
| Año       | Evento   |
| 1972      | Motorola desarrolla el teléfono celular; primera transmisión de TV en vivo a través del Atlántico vía satélite.  |
| 1980      | Disco compacto desarrollado por Philips y Sony.  |
| 1981      | La FCC adopta reglas para crear el servicio comercial de telefonía celular; se introduce la IBM PC (los discos duros se introducen dos años después).  |
| 1982      | AT&T llega a un acuerdo para deshacerse de 22 compañías de servicio telefónico local; se forman siete compañías operadoras regionales de sistema Bell.   |
| 1985      | Aparatos de fax ampliamente disponibles en oficinas.   |
| 1988-1989 | Instalación de cables ópticos transpacíficos y trasatlánticos para comunicaciones por ondas luminosas.   |
| 1990-2000 | <i>Sistemas de comunicación digital.</i> Sistema de procesamiento de señales y de comunicación digital en apartados domésticos; receptores sintonizados digitalmente; sistemas de dispersión de espectro por secuencia directa; redes digitales de servicios integrados (ISDN); se desarrollan estándares para televisión digital de alta definición (HDTV); busca sistemas digitales; computadoras manuales; celulares digitales. |
| 1994-1995 | La FCC recauda 7.7 mil millones de dólares en la subasta de espectro de frecuencias para dispositivos personales de comunicación de banda ancha.   |
| 1998      | Se inicia el servicio de televisión digital en los Estados Unidos.   |

Tabla 1.3. Cronología de la comunicación eléctrica.

Fuente: (Tomasi, 2003)

| Año  | Suceso  |
|------|---|
| 2000 | A partir de 1997 y hasta 2000, el auge de Internet creció a ritmo acelerado. Las nuevas empresas "punto.com" parecían ser la panacea de los inversionistas, prometiendo rentabilidades elevadas, y cotizando en bolsa a valores sin precedentes. La situación terminó en forma relativamente abrupta, en 2000, cuando cayeron muchas de estas empresas, sin generar los millones prometidos, y dejando en bancarrota a la mayoría de los Inversionistas.  |
| 2002 | En 2001, el grupo MPEG de ISO/IEC y el VCEG (Video Coding Expert Group) del ITU-T decidieron unir esfuerzos en un emprendimiento conjunto para estandarizar un nuevo codificador de video, mejor que los anteriores, especialmente para anchos de banda o capacidad de almacenamiento reducidos.<br>Por primera vez, la cantidad de teléfonos celulares supera a la cantidad de teléfonos fijos a nivel mundial. En este año, 19 de cada 100 habitantes tienen un teléfono móvil, mientras que 18 de cada 100 habitantes en el planeta tienen un teléfono fijo. |

| Año  | Suceso  |
|------|---|
| 2003 | En junio de 2003, es aprobada la recomendación IEEE 802.11g, como evolución tecnológica de la serie de recomendaciones 802.11, de redes LAN inalámbricas. El mercado de LAN inalámbrico tiene una marcada tendencia de crecimiento, desde 1997, cuando fue ratificada por la IEEE la primera recomendación de la serie 802.11.  |
| 2005 | En mayo de 2005 el grupo de estudio 15 del ITU termina la recomendación de VDSL2 (ITU-T G.993.2), utilizando tecnologías DSL con velocidades de hasta 100 Mb/s.   |
| 2006 | Se presenta el primer prototipo funcional de las laptop XO, correspondientes al proyecto OLPC (One Laptop Per Child) -Nicholas Negroponte [83] (ex directorio del "Media Lab" del MIT) fue el precursor del programa OLPC, propuesto por él mismo en 2005, y patrocinado por la ONU. En 2007 Uruguay fue el primer país del mundo en adquirir laptops XO para la educación pública, a través de un proceso de licitación.   |
| 2008 | Se aprobó el estándar de cableado UTP categoría 6a (ANSI/TIA/EIA 568B.2-10), diseñado para frecuencias de hasta 500 MHz en distancias de hasta 100 m. Este estándar está pensado para 10 Gb/s Ethernet hasta el escritorio.   |
| 2009 | En octubre de 2009 es aprobada la recomendación IEEE 802.11n, como evolución tecnológica de la serie de recomendaciones 802.11, de redes LAN inalámbricas. Esta tecnología permite comunicaciones de datos inalámbricas de hasta 600 Mb/s, 10 veces más rápida que una red 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red 802.11b. Utiliza tecnología MIMO (Multiple Input – Multiple Output), que permite tener diversidad de caminos, ya que hay varias antenas en el emisor y en el receptor, lo que permite mejorar notoriamente las velocidades de transmisión y el alcance de estas redes. |
| 2010 | En 2010 se comienzan a brindar los primeros servicios públicos con tecnología LTE (Long Term Evolution). La tecnología 3GPP Long Term Evolution (LTE) es el último estándar en redes móviles. Fue propuesto originalmente en 2004, y soporta velocidades de "downlink" de 100 Mbps, "uplink" de 50 Mbps y demoras menores a 10 ms.  |
| 2011 | En mayo de 2011 Microsoft anuncia la concreción de la compra de Skype, por un total de 8.500 millones de dólares [92]. Esta es la mayor compra de Microsoft hasta ese momento. Microsoft ya tenía una línea de productos orientados a la telefonía corporativa (Microsoft Office Communicator y más recientemente Microsoft Lync). No están aún claros los planes de Microsoft al respecto del negocio de Skype.  |
| 2012 | En agosto de 2011 Google anuncia su interés en la compra de "Motorola Mobility" por un total de 12.500 millones de dólares. Esta compra está supeditada a varias aprobaciones internacionales. En febrero de 2012 se obtuvo la aprobación de la Unión Europea y de Estados Unidos, y en mayo de 2012 se obtuvieron las restantes aprobaciones, concretando la compra.   |
| 2013 | En enero de 2013 ITU-T aprueba un nuevo estándar de codificación de video, H.265 HEVC (High Efficiency Video Coding), el que se estima que precisa la mitad del ancho de banda respecto a H.264, estandarizado en 2002 y ampliamente difundido en 2013. El nombre oficial de éste nuevo códec es ITU-T H.265 o ISO/IEC 23008-2.   |

Tabla 1.4. Historia del dos mil hasta la actualidad.

Fuente: (Joskowicz, Breve Historia de las Telecomunicaciones, 2013)

## 1.3. ANÁLISIS DE LAS SEÑALES

### 1.3.1. INFORMACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL

La **información analógica** se caracteriza por contener datos cuyo valor se encuentra dentro de una gama continua, en consecuencia, aun dentro de un rango finito, los datos pueden adoptar un número infinito de posibles valores. La presión atmosférica de lugar, la intensidad acústica de los sonidos, la velocidad de un vehículo, el nivel de aceite de alguna maquina en funcionamiento, el grado de humedad en la superficie de un planeta, etcétera, son solo algunos ejemplos de información analógica.

Por el contrario, la **información digital** se caracteriza por que sus datos pueden adoptar solo un numero finito de posibles valores discretos (símbolos). Por ejemplo un texto escrito es un mensaje discreto construido a base de 50 símbolos (28 letras, 10 números, un espacio y varios signos de puntuación); otro ejemplo de información discreta es un mensaje telegráfico en código Morse que se forma con dos símbolos (punto y raya). En este caso, se trata de un mensaje digital binario por que utiliza solo dos símbolos y codificación. Un mensaje que se construye con M símbolos se llama M-ario. (Carlson & Crilly, 2007)

### 1.3.2. SEÑALES ELÉCTRICAS

**Señal** es la representación del mensaje que requiere enviar, en este caso el sonido, en otros casos será el color o la iluminación que continuamos en forma eléctrica (volts).

#### **Conversión del sonido en electricidad**

*¿Cómo convertimos el sonido en voltios?* Muy fácilmente, mediante un micrófono, un dispositivo que transforma variaciones de presión (energía mecánica) en variaciones eléctricas. Un altavoz realiza el proceso contrario, invierte el proceso.

Un campo magnético variable produce electricidad a su alrededor si se encuentra algún material conductor cercano a él. La manera de decirlo en términos físicos: un campo magnético variable, produce un campo eléctrico variable. Así un imán puede producir electricidad, bien sea por que el imán se mueva o en este caso, porque se mueva la espira que está en su interior.

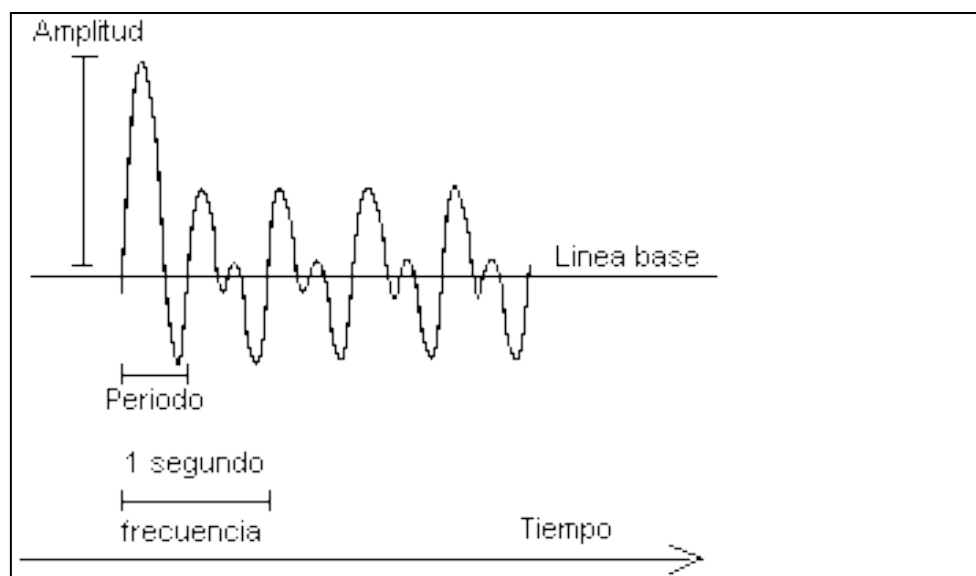


Figura 1.4. Señal de sonido.

### Señales analógicas

Señales analógicas porque es la representación de la onda al mensaje que quiere representar y que en este caso se han obtenido gracias al micrófono; gracias a ese conjunto de membranas, espira e imán hemos conseguido unos voltios que varían el ritmo de la presión y que ya viajan fácilmente por cables eléctricos.

En general se presentan estos puntos:

- Para poder recoger los sonidos de los emisores, y reproducirlo junto a los receptores se emplean dispositivos como los micrófonos y los altavoces.
- Un micrófono transforma variaciones de presión (energía mecánica) en variaciones eléctricas, mientras un altavoz realiza el proceso contrario. (Huidobro, Manual de Telecomunicaciones, 2004)

### 1.3.3. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Para transferir información de un lugar a otro(s) lugar(es) se le denomina estaciones. Esto se logra partiendo de la información original que pasa a energía electromagnética para transmitir, para recibirla donde la misma señal regresa a su forma original.

La energía electromagnética se propaga en forma de voltaje o corriente este puede ser por un conductor o hilo metálico o por otra parte en ondas de radio en el espacio libre otra por luminosidad a través de fibra óptica.

La interferencia y el ruido presentes en un sistema de comunicación dependen en gran parte, de la frecuencia de transmisión sean útiles para ciertas aplicaciones e inútiles para otras. (Hinostroza, 2010)

| Banda del espectro de frecuencias |                             |                  |       |                                  |                       |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------|-------|----------------------------------|-----------------------|
| No de banda                       | Intervalo en Hz o múltiplos | Longitud de Onda | Sigla | Nombre de bandas                 | Sigla                 |
| 1                                 | 0 a 30 Hz                   | 10 000 Km        | -     | Frecuencias extremadamente bajas | Hz = Hertz            |
| 2                                 | 30 a 300 Hz                 | 1 000 Km         | ELF   |                                  |                       |
| 3                                 | 0.3 a 3 KHz                 | 100 Km           | VF    | Frecuencias de voz               | KHz = $10^3$ Hertz    |
| 4                                 | 3 a 30 KHz                  | 10 Km            | VLF   | Frecuencias muy bajas            | KHz = Kilohertz       |
| 5                                 | 30 a 300 K Hz               | 1 Km             | LF    | Frecuencias bajas                |                       |
| 6                                 | 0.3 a 3 MHz                 | 100 m            | MF    | Frecuencias medias               | MHz = $10^6$ Hertz    |
| 7                                 | 3 a 30 MHz                  | 10 m             | HF    | Frecuencias altas                | MHz = Megahertz       |
| 8                                 | 30 a 300 MHz                | 1 m              | VHF   | Frecuencias muy altas            |                       |
| 9                                 | 0.3 a 3 GHz                 | 100 cm           | UHF   | Frecuencias ultraaltas           | GHz = $10^9$ Hertz    |
| 10                                | 3 a 30 GHz                  | 10 cm            | SHF   | Frecuencias superaltas           | GHz = Gigahertz       |
| 11                                | 30 a 300 GHz                | 1 cm             | EHF   | Frecuencias extremadamente altas |                       |
| 12                                | 0.3 a 3 THz                 | 100 mm           | -     | Luz infrarroja                   | THz = $10^{12}$ Hertz |
| 13                                | 3 a 30 THz                  | 10 mm            | -     | Luz infrarroja                   | THz = Terahertz       |
| 14                                | 30 a 300 THz                | 1 mm             | -     | Luz infrarroja                   |                       |
| 15                                | 0.3 a 3 PHz                 | 100 $\mu$ m      | -     | Luz visible                      | PHz = $10^{15}$ Hertz |
| 16                                | 3 a 30 PHz                  | 10 $\mu$ m       | -     | Luz ultravioleta                 | PHz = Petahertz       |
| 17                                | 30 a 300 PHz                | 1 $\mu$ m        | -     | Rayos x                          |                       |
| 18                                | 0.3 a 3 EHz                 | 100 pm           | -     | Rayos gamma                      | EHz = $10^{18}$ Hz    |
| 19                                | 3 a 30 EHz                  | 10 pm            | -     | Rayos cósmicos                   | EHz = Exahertz        |
| 20                                | 30 a 300 EHz                | 1 pm             | -     | Rayos cósmicos                   |                       |

Tabla 1.5. Las bandas de espectro de frecuencias.

Fuente: (Hinostroza, 2010)

| Espectro electromagnético. Aplicaciones más comunes |                                      |                        |                    |
|---|--------------------------------------|------------------------|--------------------|
| Bandas según usos más frecuentes                    | Algunas aplicaciones                 | Longitud onda (metros) | Frecuencia (Hertz) |
| Muy baja frecuencia                                 | Audio, medicina, ultrasonidos        | > 10 Km                | < 30 KHz           |
| Onda larga  | Comunicaciones submarinas            | < 10 Km                | > 30 KHz           |
| Onda media  | Radio AM                             | < 650 m                | > 650 KHz          |
| Onda corta  | Radio onda corta                     | < 180 m                | > 1.7 MHz          |
| Muy alta frecuencia                                 | Radio FM                             | < 10 m                 | > 30 MHz           |
| Ultraalta frecuencia                                | Radar, televisión                    | < 1 m                  | > 300 MHz          |
| Microondas  | Radar                                | < 30 cm                | > 1.0 GHz          |
| Infrarrojo cercano                                  | Tel. celular, microondas, satélites  | < 1 mm                 | > 300 GHz          |
| Infrarrojo  | Visores nocturnos                    | < 2.5 $\mu$ m          | > 120 THz          |
| Luz visible   | Visión del ser humano                | < 780 nm               | < 384 THz          |
| Ultravioleta  | Ciencias forenses, control de plagas | < 200 nm               | > 1.5 PHz          |
| Rayos x   | Medicina                             | < 10 nm                | > 30 PHz           |
| Rayos gamma   | Energía nuclear                      | < 10 pm                | > 30 EHz           |

Tabla 1.6. Aplicaciones del espectro electromagnético.

Fuente: (Hinostroza, 2010)

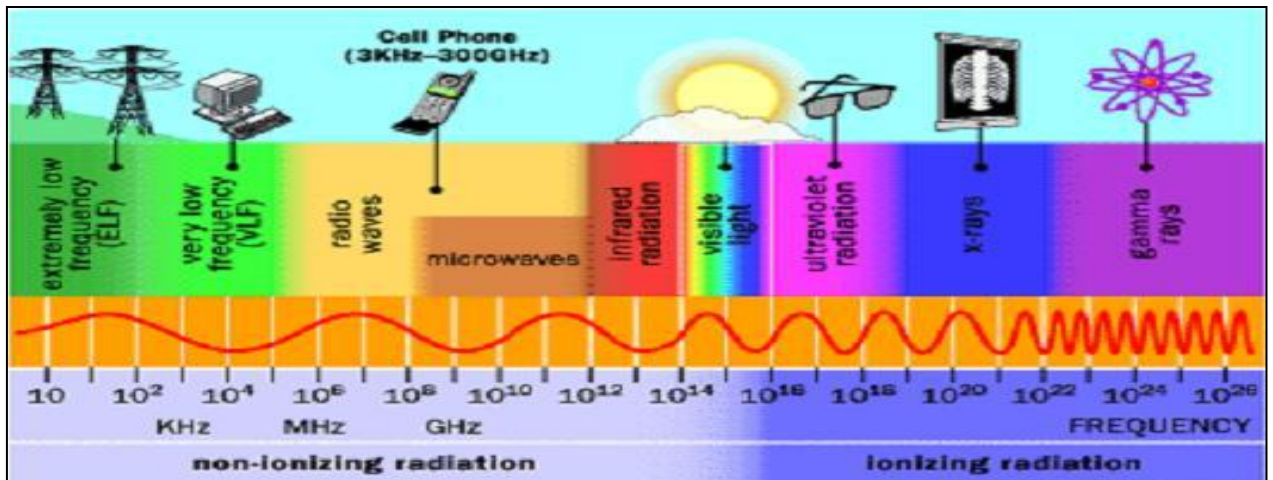


Figura 1.5. Espectro de frecuencias.

### 1.3.4. ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL

El ancho de banda de una señal es el intervalo de frecuencias donde se concentra la mayor parte de energía de la señal, es decir incluye a sus componentes frecuenciales más significativas, y que, por tanto, tiene una potencia asociada superior a cierto umbral. El criterio para establecer este umbral depende mucho de la situación en la que nos encontramos y del uso que vayamos a hacer de la señal.

En los sistemas de comunicación necesitaremos caracterizar el ancho de banda de las señales y de los medios de transmisión de forma que sean compatibles. Veremos que en la mayoría de casos, estos serán incompatibles, y por tanto, será necesario establecer opciones previas de adaptación al medio.

Salvo el caso de las señales moduladas, casi todas las demás son de tipo paso bajo es decir, tiene componente continua, esto es, frecuencia cero, hasta un cierto valor máximo el que nos determine el ancho de banda de la señal. Por tanto, también podemos asociar el ancho de banda de una señal a su máxima variabilidad, que será la que determine su máxima componente frecuencial significativa.

Una portadora senoidal no modulada existiría a solo una frecuencia y, en consecuencia, tendría ancho de banda cero. En cambio una señal modulada ya no es tan solo un simple senoide y, por tanto ocupa un ancho de banda mayor. Sabe exactamente que ancho de banda se requiere depende del intervalo de frecuencias de la señal en banda base (o de la tasa de transmisión de datos, en caso de la comunicación digital) y del esquema de modulación en uso.

Establece que la cantidad de información que puede transmitirse en un tiempo dado es proporcional al ancho de banda para un esquema de modulación dado.

$$I = KtB \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

Dónde:

I = Cantidad de información por enviar

K = Una constante que depende del tipo de modulación



t = Tiempo disponible.

B = Ancho de banda del canal.

### 1.3.5. BANDAS DE FRECUENCIAS

Marconi, intento aplicar estos resultados a las comunicaciones practicas observó que los resultados eran mucho mejores cuando se usaban bajas frecuencias. En ese momento puso se sabía acerca de la propagación de las ondas de radio (o sobre el diseño de antenas). Ahora se sabe que todas las frecuencias, desde unos pocos kilohertz a varios gigahertz, tienen sus aplicaciones propias en los sistemas de radiocomunicaciones.

Mientras tanto entro en uso un sistema para etiquetar las frecuencias. Las frecuencias que más se utilizaban al principio, las de alrededor de 300 KHz a 3 MHz, se llamaron frecuencias medias (médium frequencies, MF).

Por consiguiente hay frecuencias bajas (low frequencies, LF) desde 30 a 300 KHz y frecuencias bajas (very low frequencies VLF) desde 3 a 30 KHz. Del otro lado hay frecuencias altas (very high frequencies, VHF) desde 30 a 300 MHz, etcétera.

Las ondas de radio también se describen según su longitud de onda, esto es la distancia que viaja una onda en un periodo.

$$v = f\lambda \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

Dónde:

v = Velocidad.

f = Frecuencia de la onda en hertz.

$\lambda$  = Longitud de onda en metros.

Para una onda de radio en el espacio libre, la velocidad es la misma que la luz, la cual es de alrededor de  $300 \times 10^6$  metros por segundo.

$$c = f\lambda \quad \text{Ecuación (1.3)}$$

Dónde

v = Velocidad de la luz,  $300 \times 10^6$  m/s.

f = Frecuencia de la onda en hertz.

$\lambda$  = Longitud de onda en metros.

Las señales de baja frecuencia se denominan a veces ondas largas, las frecuencias altas corresponden a las ondas cortas y así sucesivamente. (Tomasi, 2003)



### 1.3.6. TRANSMISIÓN EN BANDA BASE

Antes de que pueda transmitirse, la información o señal de inteligencia debe convertirse en una señal eléctrica compatible con el medio.

En un sistema de comunicaciones, las señales de información de banda base pueden enviarse de modo directo y sin modificación por un medio o ser utilizadas para modular a una portadora para su transmisión por el medio. Cuando se ponen las señales originales de voz, video o señales digitales, directamente dentro del medio se dice que es una transmisión en banda base.

En teoría es posible transmitir señales de voz directamente por radio, en forma realista esto es impráctico. Las señales de voz se presentan en el intervalo de frecuencias de 300 a 3000 Hertz (Hz). Después de incrementar la amplitud en un amplificador de potencia como los utilizados en un sistema estereofónico común, la señal podría enviarse a una antena muy larga en vez de una bocina.

Por estas razones la señal de información de la banda base, sea de audio, video o datos, se utiliza normalmente para modular a otra señal de alta frecuencia, se radian al espacio con mayor efectividad que las señales de banda base. Las señales inalámbricas consisten en campo eléctrico y magnético. Estas señales electromagnéticas, que son capaces de viajar por el espacio a grandes distancias, se conoce también como ondas de radio frecuencia (RF) o simplemente como ondas de radio.

### 1.3.7. TRANSMISIÓN EN BANDA ANCHA

Modulación es el proceso de hacer que una señal de banda base de voz, de video o señal digital, modifique a otra señal de más alta frecuencia, la portadora. Esta es una onda senoidal generada por un oscilador. La portadora se alimenta a un circuito llamado modulador junto con la señal de inteligencia de banda base. Dicha señal modifica a la portadora en forma única. La portadora se amplifica y se envía a la antena recibe la señal que luego se amplifica y procesa en otras formas se aplica a un demodulador o detector donde se recupera la señal original de banda base.

Considerando la expresión matemática común para una onda senoidal:

|   |   |                                     |                       |
|---|---|-------------------------------------|-----------------------|
| $V = V_p * \text{Sen}(2\pi t + \theta)$ | ó | $V = V_p * \text{Sen}(wt + \theta)$ | <b>Ecuación (1.4)</b> |
|---|---|-------------------------------------|-----------------------|

Dónde:

V = Valor instantáneo de la onda senoidal de voltaje.

$V_p$  = Valor pico de la onda senoidal.

f = Frecuencia en Hz.

W = Velocidad angular =  $2\pi$ .

t = Tiempo, s.

$wt = 2\pi t$  = ángulo, rads ( $360^\circ = 2\pi$ rad).

$\theta$  = Ángulo de fase.

Hay tres formas de cambiar a la portadora senoidal por medio de la señal en banda base, variar su amplitud, variar su frecuencia o variar su ángulo de fase. (Frenzel, 2003)

### 1.3.8. LONGITUD DE ONDA

Es importante conocer un parámetro que se denomina longitud de onda, y se representa con la letra  $\lambda$ .

Se denomina longitud de onda a la distancia en que la onda recorre un tiempo igual a un periodo.

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| $\lambda = vT$ | <b>Ecuación (1.5)</b> |
|----------------|-----------------------|

Dónde:

$\lambda$  = Longitud de onda.

$v$  = Velocidad de propagación.

$T$  = Periodo de la señal.

Despejando  $v$  de esta expresión podría escribirse como:

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| $v = \frac{\lambda}{T}$ | <b>Ecuación (1.6)</b> |
|-------------------------|-----------------------|

Recordando que la frecuencia es la inversa del periodo, se expresa de la siguiente manera

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| $\lambda = vf$ | <b>Ecuación (1.7)</b> |
|----------------|-----------------------|

Como caso particular resulta  $v = c$  (velocidad de la luz), la ecuación se expresa de la siguiente forma:

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| $c = \lambda f$ | <b>Ecuación (1.8)</b> |
|-----------------|-----------------------|

Donde la velocidad de la luz estará expresada en función de la longitud de onda y la frecuencia de la onda electromagnética.

Por lo que puede deducirse que la frecuencia y la longitud de onda son magnitudes inversamente proporcionales.

En la práctica las velocidades de propagación en el vacío y en el aire son valores próximos, por lo que normalmente para calcular la longitud de onda de una señal se suele aproximar tomando el valor aproximado de 300 000 000 m.seg. (Castro & Fusario, 2013)

### 1.3.9. ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS SEÑALES

El análisis espectral de las señales requiere su estudio en el dominio frecuencial y permite conocer información sobre la frecuencia contenidas en la señal. Esta información es extremadamente útil para los sistemas de Telecomunicación, entre otros.

### 1.3.9.1. SEÑALES SINUSOIDALES

Se puede representar las señales sinusoidales mediante cosenos, pero al igual la misma señal puede ser representada mediante senos sin pérdida de generalidad y con un tratamiento idéntico. Así pues, una señal de tipo sinusoidal puede describirse en el dominio temporal como una función  $s(t)$  empleando la siguiente fórmula genérica

$$s(t) = A \sin(2\pi f_0 t + \phi) \quad \text{Ecuación (1.9)}$$

Dónde

A = Es la amplitud.

$f_0$  = Es la frecuencia de la señal.

t = Es la variable tiempo.

$\Phi$  = Es el desfase inicial, o fase relativa.

Se muestra la representación gráfica de esta señal.

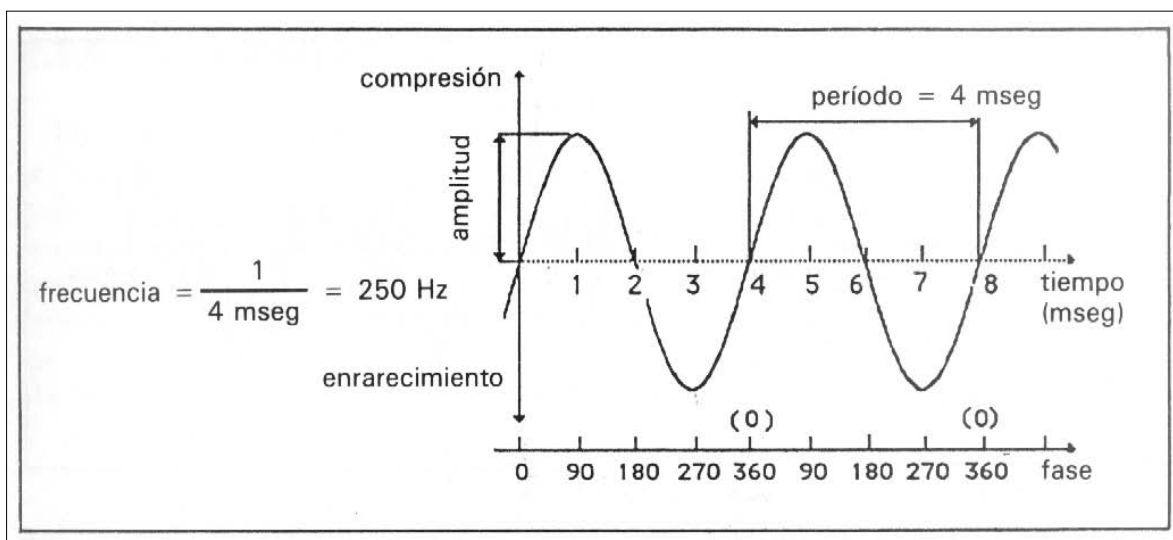


Figura 1.6. Señal sinusoidal en el dominio temporal.

Dado su período  $T_0 = 1/f_0$  para cualquier valor de tiempo  $t$  por tanto la frecuencia fundamental,  $f_0$ , nos determina con que “velocidad” varía la señal, o dicho de otro modo, cuantas veces por unidad de tiempo la señal realiza un ciclo completo.

La amplitud,  $A$ , de la señal nos da información sobre los valores máximos y mínimos que toma la señal. Cuando asociamos este tipo de señales a una magnitud electromagnética (por ejemplo, el voltaje o la intensidad de campo eléctrico o magnético), esta amplitud está relacionada como la potencia asociada a la señal.

El desfase inicial  $\Phi$  simplemente nos indica cual es el valor que toma la señal en el instante inicial  $t=0$ . En lo sucesivo no lo tendremos en cuenta, pues solo depende del origen de coordenadas que hayamos elegido. Solamente tiene importancia al comparar entre si dos señales periódicas con distinto desfase inicial.

El sonido no es más que el conjunto de vibraciones mecánicas de tipo sinusoidal. Así, podemos asociar los sonidos graves a vibraciones de baja frecuencia, y los agudos a las de alta frecuencia.

### 1.3.9.2. DOMINIO FRECUENCIAL

Ahora bien, si nos restringimos a señales cuyo origen de tiempos es tal que  $\Phi = 0$ , las señales quedan completamente determinada con el par de valores  $A, f_0$ .

Así podemos asociar a la señal  $s(t)$  una función dependiente de la frecuencia, que llamamos  $s(f)$ , que toma valores nulos para todo valor de frecuencia  $f$ , excepto para  $f = f_0$ , donde toma el valor  $s(f_0) = A$ .

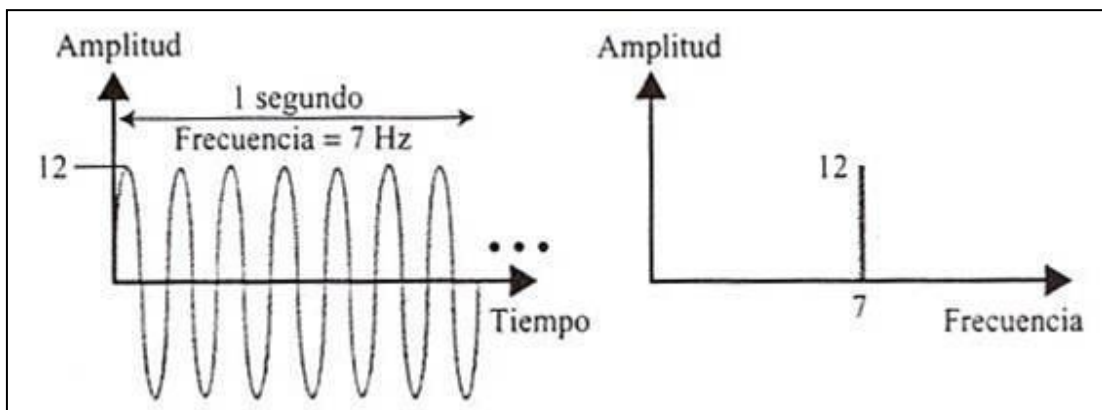


Figura 1.7. Señal senosoidal en el dominio frecuencial (espectro unilateral).

La frecuencia de una señal real  $f_0$ , es un valor positivo. Sin embargo el análisis de las señales senoidales conviene escribirlas como suma de funciones exponenciales. En ese caso expresamos la señal real como suma de componentes de frecuencia positiva y negativa., pero hay que resaltar que esta representación es únicamente para propósito de análisis, puesto que la frecuencia de una señal no tiene valor negativo.

Empleando la relación de Euler, la función senoidal puede descomponerse en una suma de dos factores exponenciales complejos, obtenemos:

$$s(t) = A \sin(2\pi f_0 t) = A \cos(2\pi f_0 t - \frac{\pi}{2}) \quad \text{Ecuación (1.10)}$$

$$\frac{A}{2} = e^{j2\pi f_0 t} e^{-j\pi/2} + e^{-j2\pi f_0 t} e^{j\pi/2} \quad \text{Ecuación (1.11)}$$

Esta gráfica corresponde a una señal senoidal de frecuencia  $f_0$ , y que su estudio ha sido realizado bajo un modelo en el cual descomponemos la función original en suma de dos componentes.

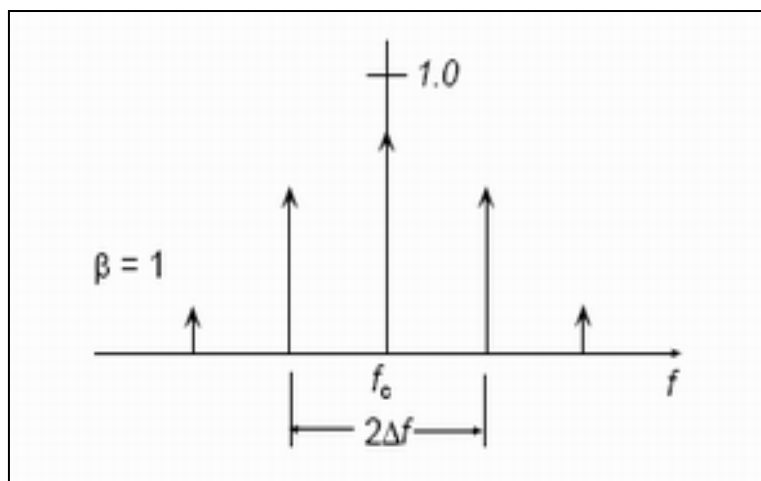


Figura 1.8. Señal senoidal en el dominio frecuencial (espectro bilateral).

### 1.3.9.3. ESPECTRO DE UNA SEÑAL

La importancia de las señales sinusoidales en los sistemas de Telecomunicación se debe a que cualquier señal puede ser considerada como una superposición (es decir, una suma) de múltiples señales sinusoidales con amplitudes, fases y frecuencias diferentes (desarrollo de Fourier).

De forma más concisa, decimos que una señal periódica  $X(t)$  con periodo  $T$  (frecuencia fundamental:  $f_0 = 1/T$ ) puede escribirse mediante la serie de Fourier dado por la siguiente expresión:

$$X(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \text{Sen} \left( 2\pi \left( \frac{nt}{T} \right) + \varphi \right) \quad \text{Ecuación (1.12)}$$

Dónde

$A_0$  = Un término de amplitud constante.

$A_n$  = Amplitud línea espectral.

$\varphi_n$  = Fase de la línea espectral

$f_n$  = Relacionadas armónicamente ( $f_n = nf_0$ ).

Esta serie puede escribirse de forma alternativa como la siguiente expresión:

$$X(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{Sen} \left[ 2\pi \left( \frac{nt}{T} \right) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{Cos} \left[ 2\pi \left( \frac{nt}{T} \right) \right] \quad \text{Ecuación (1.13)}$$

Que, en definitiva, es una suma de señales senoidales y cosenoidales con relación armónica.

A la representación de una señal en el dominio frecuencial se llama espectro en frecuencia de la señal, o simplemente espectro.

Utilizando la relación existente entre las funciones senoidales y exponenciales podemos escribir la serie de Fourier de una función,  $X(t)$ , de forma exponencial, y resulta de la siguiente expresión:

$$X(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp \left[ j2\pi \left( \frac{nt}{T} \right) \right] \quad \text{Ecuación (1.14)}$$

Estos coeficientes se relacionan con la señal en el dominio del tiempo mediante la expresión:

$$X(t) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot \exp \left[ -j2\pi \left( \frac{nt}{T} \right) \right] dt \quad \text{Ecuación (1.15)}$$

No obstante, en esta representación,  $n$  toma valores positivos y negativos y es necesario considerar un espectro bilateral, donde se menciona que los valores negativos de la frecuencia no responden a una realidad física, si no al modelo empleado en la descripción de las señales.

El estudio del espectro de una señal resulta de una suma importancia en Telecomunicaciones, ya que puede simplificar ciertas operaciones matemáticas que modelan el comportamiento de los distintos componentes de un sistema moderno de Telecomunicaciones. (Dunlop & Smith, 1988)

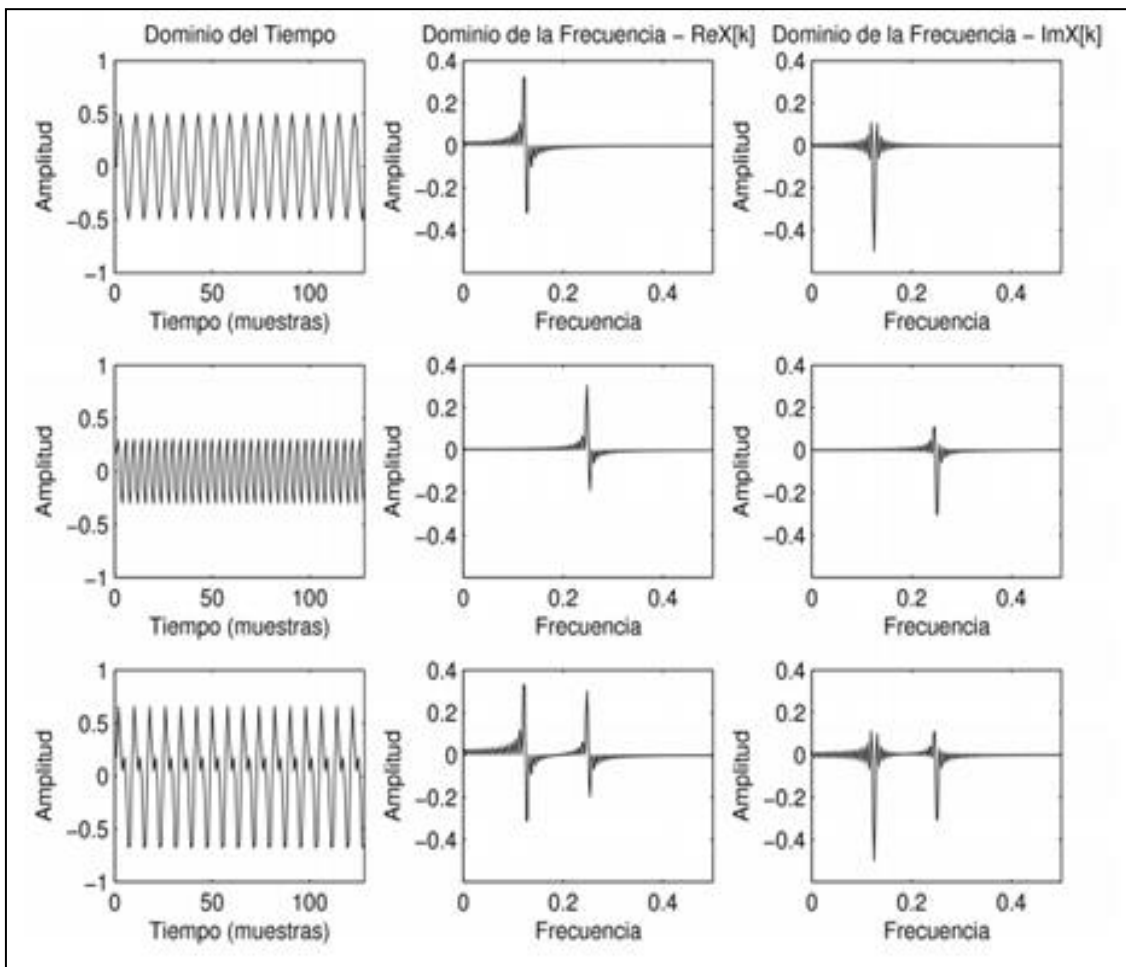


Figura 1.9. Ejemplos de señales en dominio temporal y el dominio frecuencial.

### 1.3.10. SERIES DE FOURIER

Cualquier onda periódica bien definida o comportada puede representarse como una serie de ondas seno o coseno, o ambas, cuyas frecuencias son múltiplos de su frecuencia fundamental más (algunas veces) una componente directa (cd). Lo anterior se conoce como una serie de Fourier. Este hecho tan útil (y quizá más bien sorprendente) lo descubrió Joseph Fourier en 1822, un matemático francés, mientras investigaba la conducción del calor.

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + A_1 \cos wt + B_1 \sin wt + A_2 \cos 2wt + B_2 \sin 2wt + A_3 \cos 3wt + B_3 \sin 3wt + \dots$$

**Ecuación (1.16)**

Dónde

$f(t)$  = Cualquier función de tiempo bien definida o comportada. Para los fines que se persiguen aquí,  $f(t)$  es por lo general un voltaje  $v(t)$  o una corriente  $i(t)$ .

$A_n$  y  $B_n$  = Coeficientes reales; es decir, pueden ser positivos, negativos o cero.

$w$  = Frecuencia fundamental en rad/s.

La frecuencia en radianes se determina a partir de la presentación en el dominio del tiempo de la señal, luego de hallar el periodo (es decir, el tiempo  $T$  después del cual toda la señal se repite exactamente) y aplicando las ecuaciones:

$$f(t) = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación (1.17)}$$

$$w = 2\pi f \quad \text{Ecuación (1.18)}$$

Si se incluyen suficientes componentes, el resultado empieza a verse como la onda cuadrada de la representación en el dominio del tiempo. Esto es mediante la suma algebraica de los valores instantáneos de todas las componentes evaluadas en el mismo tiempo.

Es posible ir a voluntad de un lado a otro entre los dominios del tiempo y la frecuencia, pero debe ser evidente que se requiere la información con respecto a las fases relativas de los componentes de la frecuencia en la representación de Fourier en la señal, con la finalidad de reconstruir la representación en el dominio del tiempo.

Si cambian las relaciones de fase entre las componentes de la frecuencia en un sistema de comunicación, la señal estará distorsionada en el dominio del tiempo. (Tomasi, 2003)

### 1.3.11. TRANSFORMADA Y ESPECTROS DE FOURIER

Para las formas de onda de tipo senoidal se sabe que la frecuencia puede encontrarse mediante la evaluación de  $f_0 = \frac{1}{T_0}$  donde  $T_0$  es el periodo de la senoide. Esto es, la frecuencia es la velocidad de ocurrencia de una onda con forma senoidal. Todas las demás ondas con forma no senoidal posee más de una frecuencia.

En la mayoría de las aplicaciones prácticas la forma no es periódica, así que no existe un valor  $T_0$  para el cálculo de la frecuencia. La transformada de Fourier (FT, por sus siglas en ingles), que encuentra los componentes de tipo senoidal en  $w(t)$ .

La transformada de Fourier (FT) de una forma de onda  $w(t)$  es

$$w(f) = \mathcal{F}[w(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} [w(t)] e^{-2\pi f t} dt \quad \text{Ecuación (1.19)}$$

Donde  $\mathcal{F}[\cdot]$  denota la transformada de Fourier de  $[\cdot]$  y  $f$  es el parámetro de frecuencia con unidades de Hz (es decir,  $\frac{1}{s}$ ). Esto define el término frecuencia, que es el parámetro  $f$  es la transformada de Fourier.

$W(f)$  es conocida también como un espectro de dos lados de  $w(t)$ , debido a que componentes de frecuencia tanto positivas como negativas se obtiene a partir de la ecuación. Debe aclararse que el espectro de una forma de onda de voltaje (o de corriente) se obtiene mediante un cálculo matemático que no aparece físicamente en un circuito real  $f$  es tan solo un parámetro (llamado frecuencia) que determina que punto de la función espectral será evaluado.

La FT se emplea para encontrar las frecuencias en  $w(t)$ . Se selecciona un valor de  $f$ , como por ejemplo  $f = f_0$  y se calcula  $|w(f_0)|$ . Si  $|w(f_0)|$  es diferente de cero, entonces la frecuencia  $f_0$  está presente en  $w(t)$ . En general la integral de la FT se evalúa una y otra vez para todo los valores posibles de  $f$  sobre el rango  $-\infty < f < \infty$  para encontrar todas las frecuencias en  $w(t)$ .

A partir de la primera ecuación y debido a que  $e^{-j2\pi ft}$  es complejo, entonces  $w(f)$  es una función compleja de frecuencia.  $w(f)$  puede descomponerse en dos funciones reales  $x(f)$  y  $y(f)$  tal que lo cual es idéntico a escribir un número complejo en términos de pares de números reales que pueden graficarse en un sistema de coordenadas cartesianas de dos dimensiones. De la misma manera la ecuación puede escribirse equivalente en términos de un sistema de coordenadas polares, en donde el par de funciones reales denota la magnitud de fase:

$$w(f) = x(f) + jy(f) \quad \text{(A)} \quad \text{Ecuación (1.20)}$$

$$w(f) = |w(f)|e^{-j\theta(f)} \quad \text{(B)} \quad \text{Ecuación (1.21)}$$

La forma de onda de tiempo puede calcularse a partir del espectro empleando la transformada inversa de Fourier.

$$w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} W(f) e^{-j2\pi ft} df \quad \text{Ecuación (1.22)}$$

Se dice que las funciones  $w(t)$  y  $W(f)$  constituyen un par de transformada de Fourier, donde  $w(t)$

Es la descripción en el dominio del tiempo y  $W(f)$  es la descripción en el dominio de la frecuencia.

La nomenclatura abreviada para el emparejamiento entre los dominios se denotara mediante una doble flecha:  $w(t) = W(f)$ .

Las formas de onda  $w(t)$  es transformable por Fourier (es decir, cumple con las suficientes condiciones) así satisface ambas condiciones de Dirichlet:

- Sobre cualquier intervalo de tiempo finito, la función  $w(t)$  es de valor único con un número finito de máximo y mínimo, y el número de discontinuidades (si existen) es finito.
- $w(t)$  es absolutamente integrable. es decir,



$$\int_{-\infty}^{\infty} |w(t)| dt \quad \text{Ecuación (1.23)}$$

**1.3.11.1. PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER**

A partir de la definición de espectro surgen muchos teoremas útiles e interesantes. Uno de particular interés es producto de trabajar con formas de onda reales. En cualquier circuito físico que puede construirse, la forma de onda de voltaje (o de corriente) son funciones reales (a diferencia de funciones complejas) de tiempo. (Couch II, Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, 2008)

Teorema. La simetría espectral de señales reales. Si  $w(t)$  es real, entonces

$$W(-f) = W^*(f) \quad \text{Ecuación (1.24)}$$

(El asterisco de superíndice denota una operación de conjugado).

Demostración. A partir de la primera ecuación se obtiene que

$$W(-f) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad \text{Ecuación (1.25)}$$

y tomando el conjugado de la primera ecuación resulta

$$W^*(f) = \int_{-\infty}^{\infty} w^*(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad \text{Ecuación (1.26)}$$

| Operación  | Función  | Transformada de Fourier  |
|--|--|--|
| Linealidad   | $a_1 w_1(t) + a_2 w_2(t)$  | $a_1 W_1(f) + a_2 W_2(f)$  |
| Retraso de tiempo  | $w(t - T_d)$   | $W(f) e^{-j\omega T_d}$  |
| Cambio de escala   | $w(at)$  | $\frac{1}{ a } W\left(\frac{f}{a}\right)$  |
| Conjugación  | $w^*(t)$   | $W^*(-f)$  |
| Dualidad   | $W(t)$   | $w(-f)$  |
| Conversión de frecuencia de señal real [ $w(t)$ es real] | $w(t) \cos(\omega_c t + \theta)$   | $\frac{1}{2}[e^{j\theta} W(f - f_c) + e^{-j\theta} W(f + f_c)]$                    |
| Conversión de frecuencia de señal compleja               | $w(t) e^{j\omega_c t}$   | $W(f - f_c)$   |
| Señal pasabanda  | $\text{Re}\{g(t) e^{j\omega_c t}\}$  | $\frac{1}{2}[G(f - f_c) + G^*(-f - f_c)]$  |
| Diferenciación   | $\frac{d^n w(t)}{dt^n}$  | $(j2\pi f)^n W(f)$   |
| Integración  | $\int_{-\infty}^t w(\lambda) d\lambda$   | $(j2\pi f)^{-1} W(f) + \frac{1}{2} W(0) \delta(f)$                                 |
| Convulación  | $w_1(t) * w_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} w_1(\lambda) \cdot w_2(t - \lambda) d\lambda$ | $W_1(f) W_2(f)$  |
| Multiplicación <sup>b</sup>                              | $w_1(t) w_2(t)$  | $W_1(f) * W_2(f) = \int_{-\infty}^{\infty} W_1(\lambda) W_2(f - \lambda) d\lambda$ |
| Multiplicación por $t^n$                                 | $t^n w(t)$   | $(-j2\pi)^{-n} \frac{d^n W(f)}{df^n}$  |

Tabla 1.7. De algunos de los teoremas de la trasformada de Fourier.

## 1.4. PROCESOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES

### 1.4.1. EFECTO DE FILTRADO SOBRE LAS SEÑALES

Al limitar la respuesta en frecuencia de un canal se eliminan algunos de los componentes de la frecuencia de estas señales y se ocasiona que se distorsione la representación en el dominio del tiempo. Una respuesta en frecuencia no uniforme resaltara algunos componentes a expensas de otros, lo que también causa distorsión. El desfaseamiento no lineal también afecta la representación en el dominio del tiempo.

Aunque los sistemas de comunicación reales tienen una base teórica sólida, también tienen muchas consideraciones prácticas. Siempre hay un compromiso entre fidelidad a la señal original (es decir, ausencia de cualquier distorsión en su forma de onda) y factores como ancho de banda y costo. Al incrementar el ancho de banda a menudo aumenta el costo de un sistema de comunicación. No solo es probable que las partes sean más caras, sino que el ancho de banda en sí podría ser escaso.

Por lo tanto algunos servicios están limitados por el costo, por regulaciones gubernamentales o por ambos, a usar menos del ancho de banda óptimo.

Ejemplo, los sistemas telefónicos utilizan alrededor de 3 KHz de ancho de banda de señal en banda base para voz. Esto es una transmisión distorsionada: es clara la diferencia entre escuchar una voz en vivo en la misma habitación y oír la misma voz por teléfono. El audio de alta fidelidad necesita por lo menos 15 KHz de ancho de banda para la señal en banda base. Pero la meta principal de la comunicación telefónica es que se entienda lo que se dice, y el ancho de banda usado es suficiente para esta aplicación. (Tomasi, 2003)

### 1.4.2. MULTIPLEXIÓN

Es el término que se usa en comunicaciones para referirse a la combinación de dos o más señales de información que van a compartir un mismo canal de comunicación.

- Multiplexión por división de frecuencias

Una de las ventajas de utilizar portadoras moduladas, incluso con canales que tienen la capacidad de llevar señales en banda base, es que es posible usar varias portadoras en frecuencias distintas. Cada una puede modularse por separado con una señal de información distinta, y los filtros en el receptor separan las señales y desmodulan cualquiera que sea requerida.

La transmisión de radio y televisión, en la cual el espectro disponible se divide entre varias señales, es un ejemplo cotidiano de FDM. Hay limitaciones para la cantidad de señales que es posible concentrar en un intervalo de frecuencia dado, porque cada una requiere un determinado ancho de banda.

- Multiplexión por división de tiempo

Otra forma de enviar muchas señales por un solo canal de comunicación es utilizando la multiplexión por división de tiempo (time-division multiplexing, TDM). En lugar de dividir el ancho de banda disponible del canal entre varias señales, se utiliza el ancho de banda completo para cada señal, pero solo durante una pequeña parte de tiempo.

En la televisión cada programa utiliza todo el ancho de banda del canal, pero solo durante una parte de tiempo.

### 1.4.3. DEFINICIÓN DE MODULACIÓN

Todos los sistemas de modulación son variantes de una pequeña cantidad de posibilidades. Una portadora se genera a una frecuencia mucho más alta que la frecuencia más alta de la banda base más alta. Por lo común, la portadora es una onda senoidal. La amplitud instantánea de la señal en banda base se usa para modificar algún parámetro de la portadora.

$$e(t) = E_c \text{Sen}(Wct + \theta) \quad \text{Ecuación (1.27)}$$

Dónde:

$E(t)$  = Voltaje instantáneo como una función de tiempo.

$E_c$  = Voltaje pico máximo.

$Wc$  = Frecuencia en radianes por segundo.

$t$  = Tiempo en segundos.

$\theta$  = Desfasamiento en radianes.

Es fácil efectuar las conversiones de uno a otro sistema si se recuerda que, según la teoría básica de corriente alterna (ac),  $w = 2\pi f$ .

La modulación se efectúa en el transmisor. Un proceso inverso, llamado demodulación o detección, se realiza en el receptor para restaurar la señal original en banda base.

### 1.4.4. MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN

La modulación y la codificación son operaciones realizadas en el transmisor para obtener una transmisión de información de información eficiente y confiable. Estas operaciones son tan importantes que merecen aquí una consideración adicional.

#### 1.4.4.1. MÉTODOS DE MODULACIÓN

La modulación comprende dos formas de onda: una señal moduladora que representa el mensaje, y una onda portadora que satisface la aplicación particular. Un modulador altera sistemáticamente la onda portador en correspondencia con las variaciones de la señal moduladora. Por ello, la onda modulada resultante "lleva" la información resultante.

Una señal modulada analógica y correspondiente forma de onda modulada obtenida a variar la amplitud de una onda portadora senoidal. Esta es la conocida modulación de amplitud (AM, por amplitude modulation) usada para la radiodifusión y otras aplicaciones. Un mensaje también se puede montar sobre una portadora senoidal mediante modulación de frecuencia

(FM, por frequency modulation) o modulación de fase (PM, por phase modulation). Todos los métodos para modulación de portadora senoidal se agrupan bajo el título de modulación de onda continua (OC).

La mayoría de los sistemas de transmisión a larga distancia en plena modulación de OC con una frecuencia de la portadora mucho más alta que la componente de frecuencia más alta de la señal moduladora. El espectro de la señal modulada consta entonces de una banda de componentes de frecuencias agrupados alrededor de la frecuencia de la portadora. En estas condiciones, se dice que la modulación de OC produce traslación de frecuencia.

Otro método de modulación, llamado modulación de pulsos, tiene un tren periódico de pulsos cortos como la onda portadora. Una forma de onda con modulación de amplitud de pulsos (PAM, por pulse amplitude modulation) está formada por muestras cortas extraídas de la señal analógica. El muestreo es una técnica importante de procesamiento de señales y, sujeta a ciertas condiciones, es posible reconstruir una forma de onda compleja a partir de muestras periódicas.

#### **1.4.4.2. BENEFICIOS Y APLICACIONES DE MODULACIÓN**

La modulación se ha descrito como una operación de procesamiento de la señal para la transmisión efectiva. La codificación es una operación de procesamiento de símbolos para mejorar la comunicación cuando la información es digital o puede aproximarse por medio de símbolos discretos. Tanto la codificación como la modulación pueden ser necesarias para una transmisión digital confiable a larga distancia.

La operación de codificación transforma un mensaje digital en una nueva secuencia de símbolos. La decodificación convierte una secuencia codificada en el mensaje original con, quizá, algunos errores producidos por contaminaciones en transmisión.

La codificación del canal es una técnica que se usa para introducir redundancia controlada a fin de mejorar aún más la confiabilidad en el rendimiento en un canal ruidoso. La codificación para control de errores va más allá en la dirección de reducción del ruido de banda ancha. Si se agregan dígitos de verificación adicionales en cada palabra de código binaria, se puede detectar, o incluso corregir, la mayoría de los errores que ocurran. La codificación para control de errores aumenta el ancho de banda y la complejidad del hardware, pero se recompensa en términos de comunicación digital casi libre de errores a pesar de una baja relación señal-ruido.

Las técnicas de codificación de fuente aprovecha el conocimiento estadístico de la señal de la fuente para permitir una codificación eficiente. Por ella la codificación de fuente se considera la dual codificación del canal en la que reduce la redundancia para alcanzar la eficiencia deseada.

Una señal PCM es generada mediante el muestreo del mensaje analógico, al digitalizar (cuantizar) los valores de las muestras y codificar la secuencia de muestras digitalizadas. En vista de confiabilidad, versatilidad y eficiencia de la transmisión de la información digital, la PCM se ha convertido en un método importante para la comunicación analógica.

#### **1.4.5. CODIFICACIÓN DE CONTROL DE ERRORES**

El diseñador de un sistema digital de comunicaciones es proveedor de una instalación al costo más conveniente para transmitir información desde un extremo del sistema a una velocidad y

nivel de confiabilidad y calidad aceptables para el usuario en otro extremo. Los dos parámetros principales del sistema que cuenta el diseñador son la potencia de la señal transmitida y el ancho de banda del canal. Estos dos parámetros juntos con la densidad espectral de potencia de ruido  $\frac{E_b}{N_o}$ .

Para un  $\frac{E_b}{N_o}$  fijo, la única opinión práctica disponibles para cambiar la calidad, de los datos de problemática a aceptable consiste en utilizar la codificación de control de errores.

Otra motivación práctica para el empleo de la codificación radica en ruido la proporción  $\frac{E_b}{N_o}$  requerida para una tasa de error de bits fija. Esta reducción es en  $\frac{E_b}{N_o}$  puede, a su vez, explorarse para reducir la potencia transmitida necesaria o reducir los costos de hardware requerido un tamaño de antena más pequeño en el caso de comunicaciones de radio.

El codificador de canal es el transmisor acepta los bits de mensaje y agrega redundancia de acuerdo con una regla preestablecida produciendo de ese modo datos codificados del canal en el receptor explota la redundancia para decir cuales bits del mensaje se transmitieron realmente. La meta combinada del codificador y el decodificador de canal. Es decir, se minimiza el número de errores entre la entrada del codificador del canal (obtenida de la fuente) y la salida de decodificador del canal (entregada al usuario).

Existen muchos códigos diferentes de corrección de errores que podemos usar. Históricamente estos códigos se han clasificado en códigos de bloque y códigos de convolución. El rasgo distintivo para esta clasificación particular es la presencia o ausencia de memoria en los codificadores de los dos códigos.

Para generar un código de bloque (n, K), el codificador del canal acepta información en bloques sucesivos de k bits, en cada bloque agrega n-k bits redundantes que se relacionan algebraicamente con los k bits del mensaje, produciendo por ello un bloque codificado completo de n bits, donde  $n > K$ . el bloque de n bits se denomina una palabra de código, y n se llama la longitud de bloque del código. El codificador del canal produce bits a razón de  $n_o = \binom{n}{k} R_s$ , donde  $n_o$  es la tasa de bits de la fuente de información. La razón adicional  $r = \frac{k}{n}$  se conoce como la tasa de código, donde  $0 < r < 1$ . La tasa de bits  $R_o$ , proveniente del codificador, se denomina tasa de datos del canal. Así la tasa de código es una razón adimensional en tanto que la tasa de datos producida por la fuente y del canal se mide en ambos casos en bits por segundo.

En un código de convolución, la operación de codificado puede verse como la convolución en tiempo discreto de la secuencia de entrada con la respuesta al impulso del codificador. La duración de la respuesta al impulso es igual a la memoria del codificador. En consecuencia el codificador en un código convolucional opera sobre la secuencia del mensaje entrante, empleando una "ventana de deslizamiento" igual en duración a su propia memoria, lo cual, a su vez, significa que en un código convolucional, a diferencia de un código de bloque, el codificador de canal acepta bits de mensaje como una secuencia continua, por lo que genera una secuencia de bits codificados a una tasa más alta. (Frenzel, 2003)

### 1.4.6. AMPLIFICACIÓN Y ATENUACIÓN DE LAS SEÑALES

La transmisión de señales a través de medios de comunicaciones, sufren atenuaciones o pérdidas que en muchos casos obligan a amplificarlas a través de elementos activos o pasivos. Para que lleguen a los receptores con valores que permitan su interpretación y decodificación. La potencia de la señal útil debe mantenerse en valores altos adecuados en relación con el nivel de ruido y, al mismo tiempo, lo suficientemente bajos como para que la señal no sufra distorsiones que la tomen inutilizable.

Los amplificadores se caracterizan por un valor que definimos, denominado ganancia, y las líneas de transmisión, que actúan como si fueran atenuadores, por otro valor que se denomina pérdida. Estas magnitudes están relacionadas con la potencia de la señal. Las variaciones de ella se miden utilizando unidades específicas denominadas *decibel*, *dBm*, *dBu*, *dBmV*, o *Neper*, unidades que son muy utilizadas en la electrónica.

Estas se utilizan para propósitos variados, entre otros, para expresar el nivel de voz, o el de potencia de los transmisores o receptores utilizados para enviar o recibir señales de radio, como las utilizadas en teléfonos celulares, sistemas de microondas o antenas satelitales de comunicaciones.

#### 1.4.6.1. GANANCIA DE UN AMPLIFICADOR

Definimos como ganancia a la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada.

$$G = \frac{P_S}{P_E} \quad \text{Ecuación (1.28)}$$

Como la potencia se mide en Watts, sus múltiplos o submúltiplos, la ganancia es un número que indica una relación entre la salida y la entrada de la señal.

#### 1.4.6.2. PÉRDIDA

Cuando se diseñan líneas de transmisión o elementos de comunicaciones como podría ser las antenas, no se hace para que actúen como atenuadores, pero este comportamiento es natural. A medida que la señal se va propagando, sea por un conductor o por un medio dieléctrico, la señal se va atenuando y por lo tanto la señal va perdiendo potencia.

Definimos pérdida como la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada.

$$P_{erd} = \frac{P_S}{P_E} \quad \text{Ecuación (1.29)}$$

$$\text{Como } P_S < P_E \text{ resulta } \frac{P_S}{P_E} < 1$$

#### 1.4.6.3. AMPLIFICADORES O ATENUADORES EN CASCADA

Sean dos amplificadores (o atenuadores) conectados en cascada, es decir uno a continuación del otro, la ganancia (o pérdida) de ambos será el producto de la ganancia de cada uno.

La potencia de entrada del amplificador  $A_2$  será la potencia de salida del amplificador  $A_1$ .

La ganancia de  $A_1$ , será

$$G_{A1} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \quad \text{Ecuación (1.30)}$$

Y la ganancia de  $A_2$ ,

$$G_{A2} = \frac{P_{S2}}{P_{S1}} \quad \text{Ecuación (1.31)}$$

Luego, la ganancia total será

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \frac{P_{S2}}{P_{S1}} \quad \text{Ecuación (1.32)}$$

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S2}}{P_{E1}} \quad \text{Ecuación (1.33)}$$

#### 1.4.6.4. EL DECIBEL

La ganancia expresada de valores pocos prácticos, además de no tener relación con el comportamiento del oído humano.

Le definimos como ganancia en decibel a la expresión:

$$G(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \quad \text{Ecuación (1.34)}$$

Y pérdidas en decibel a la expresión:

$$Perd(dB) = -10 \log_{10} \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \quad \text{Ecuación (1.35)}$$

La ganancia total en decibels es igual a la suma de las ganancias de cada amplificador, y que los valores resultantes son mucho más manejables.

Por otra parte, se podría, a modo de conclusión expresar:

- El dB es una unidad de medida relativa que indica la relación de potencia. No tiene un valor patrón de comparación.
- Es una unidad características logarítmicas. Esto significa, por ejemplo para obtener una ganancia en dB, de un valor doble al anterior, el aumento en potencia deberá ser considerablemente mayor.
- Sus características logarítmicas la convierten en una unidad de medida apta para determinar la potencia sonora, da la respuesta logarítmica del oído humano, estudiada en la ley de Weber-Fechner esa ley expresa que "la sensación subjetiva (o psicológica) es proporcional al logaritmo del estímulo físico.

En 1934 Weber describió un principio que establecía una relación cuantitativa entre magnitud de un estímulo físico, y como este es percibido por una persona. La ley tal como se le conoce en el presente, fue perfeccionada por Fechner en 1860, y es de aplicación no solo al sonido si no a otros estímulos, como podría ser la sensación de soportar un peso determinado en las manos. Por esta razón, en las técnicas que se utilizan en el uso de equipamientos audio frecuentes, los niveles de señal se expresan en decibels.

**1.4.6.5. LEY DE OHM**

La ley de Ohm compleja, para un circuito de corriente alterna:

$$V[\text{Volts}] = I[\text{Ampere}] * Z[\text{Ohm}]$$

Dónde

V = tensión.

I = corriente.

Z = impedancia.

La impedancia se puede expresar mediante un número complejo Z, tal que

|                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| $Z = R + j10(X_L - X_C)$ | <b>Ecuación (1.36)</b> |
|--------------------------|------------------------|

Dónde:

R = Resistencia óhmica.

J = Unidad imaginaria.

X<sub>L</sub> = Resistencia inductiva.

X<sub>C</sub> = Resistencia capacitiva.

Se ve que en el concepto de impedancia debe considerarse dos términos, uno real que es la resistencia óhmica, que no depende de la frecuencia, y un segundo imaginario.

El término está compuesto, a su vez, por las reactancias inductiva y capacitiva. Sus valores son función de la frecuencia serán.

|   |                        |
|---|------------------------|
| $\text{Reactancia inductiva } X_L = wL$ | <b>Ecuación (1.37)</b> |
|---|------------------------|

|  |                        |
|--|------------------------|
| $\text{Reactancia capacitiva } X_C = \frac{1}{wC}$ | <b>Ecuación (1.38)</b> |
|--|------------------------|

La pulsación resulta ser

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| $w = 2\pi f$ | <b>Ecuación (1.39)</b> |
|--------------|------------------------|

La reactancia puede expresarse de la siguiente manera

|                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| $X_L = 2\pi fL$ | <b>Ecuación (1.40)</b> |
|-----------------|------------------------|

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ | <b>Ecuación (1.41)</b> |
|---------------------------|------------------------|

Dónde:

L = inductancia [Henrio].

C = capacitancia [Faradio].

X<sub>L</sub> = reactancia inductiva.

X<sub>C</sub> = reactancia capacitiva.

La potencia aplicada a la impedancia Z, resulta igual a

|  |                        |
|--|------------------------|
| $P[\text{Watt}] = V[\text{Volt}] * I[\text{Ampere}]$ | <b>Ecuación (1.42)</b> |
|--|------------------------|



Retomando la primera ecuación de la Ley de Ohm despejando las variables y sustituyendo obtenemos

$$P = \frac{V^2}{Z} \quad \text{Ecuación (1.43)}$$

O

$$P = I^2 Z \quad \text{Ecuación (1.44)}$$

Por lo tanto para poder definir la ganancia en decibeles se utiliza la siguiente expresión:

$$G(\text{dB}) = 20 \log \frac{V_S}{V_E} \quad \text{Ecuación (1.45)}$$

$$G(\text{dB}) = 20 \log \frac{I_S}{I_E} \quad \text{Ecuación (1.46)}$$

Y para poder definir la pérdida en decibeles se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Perd}(\text{dB}) = -20 \log \frac{V_S}{V_E} \quad \text{Ecuación (1.47)}$$

$$\text{Perd}(\text{dB}) = -20 \log \frac{I_S}{I_E} \quad \text{Ecuación (1.48)}$$

#### 1.4.6.6. EL dBm

A diferencia de dB, que es una unidad de medida relativa, el dBm es una unidad de nivel absoluto, que mide la potencia (de salida o de entrada, según corresponda para un circuito amplificador o atenuador) respecto de un valor fijo de 1 mW.

$$\text{dBm} = 10 \log \frac{P_S[\text{mW}]}{1 \text{ mW}} \quad \text{Ecuación (1.49)}$$

Cuando la comparación se efectúa respecto de valores de potencia por debajo de 1 mW, el resultado será siempre negativo.

#### 1.4.6.7. EL dBu

El dBu es una unidad de nivel absoluto usada para comparar la tensión de salida respecto de un valor fijo de 0.775 V.

$$\text{dBu} = 20 \log \frac{V_S[\text{Volt}]}{0.775 \text{ Volt}} \quad \text{Ecuación (1.50)}$$

Esta unidad es muy usada en telefonía. El valor de 0.775 V es un valor que resulta de aplicar una señal de una potencia de 1 mW sobre una impedancia de 600  $\Omega$  [Ohm].

#### 1.4.6.8. EL dBmV

El dBmV es una unidad de nivel absoluto que se utiliza para comparar la tensión de salida respecto de un valor fijo de 1 mV.

$$\text{dBm} = 20 \log \frac{V_S [\text{mV}]}{1 \text{ mV}} \quad \text{Ecuación (1.51)}$$

#### 1.4.6.9. El Neper

El neper es una unidad relativa usada como alternativa al dB. Se diferencia de esta última en que la base de los logaritmos usados es el número  $e$ , en lugar de la base 10, usada por aquella otra unidad de medida.

$$\text{Neper (n)} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_S}{P_E} \quad \text{Ecuación (1.52)}$$

Como el concepto es similar, se pueden establecer relaciones entre  $dB$  y el *Neper*. (Castro & Fusario, 2013)

$$1 \text{ Neper} = 8,686 \text{ dB}$$

$$1 \text{ dB} = 0.115 \text{ Neper}$$

## 1.5. RUIDO

### 1.5.1. LIMITACIONES FUNDAMENTALES

Las principales limitaciones de un sistema de comunicación es el ancho de banda y el ruido conceptualizando el ancho de banda se aplica a los sistemas y a las señales como medida de velocidad.

El ruido se toma conforma a la relación de potencia de la señal al ruido  $S/N$ . Esta característica puede perjudicar al sistema si su potencia es muy baja, lo cual podemos tener como consecuencia la degradación o mal fidelidad en comunicaciones analógicas y produce varios errores comunicaciones digitales. (Hinostroza, 2010)

### 1.5.2. TIPOS DE RUIDO

El ruido en los sistemas de comunicación se origina tanto en el canal como en el equipo de comunicación. El ruido consiste en variaciones indecibles, casi siempre aleatorias, las cuales interfieren con las señales deseadas e impiden la comunicación. No es posible evitarlo por completo, pero si reducir sus efectos por diversos medios, como disminuir el ancho de banda de la señal, aumentar la potencia del transmisor y utilizar amplificadores de bajo ruido para señales débiles.

Es útil clasificar el ruido en dos tipos: *ruido interno*, el cual se origina dentro del equipo de comunicación, y *ruido externo*, que es una propiedad del canal.

#### 1.5.2.1. RUIDO EXTERNO

Si el canal es un enlace de radio, hay varias fuentes posibles de ruido. La "estática" que afectan las transmisiones de radio AM durante las tormentas eléctricas. La interferencia por el sistema de ignición del automóvil es otro problema común. El equipo eléctrico del hogar y de la industria, desde los atenuadores de luz hasta los limpiadores de vacío y las computadoras

también origina ruido inaceptable. El ruido que producen el Sol u otras estrellas no es tan evidente, pero es igual de importante para los especialistas en la comunicación.

**Ruido del equipo.** El equipo que produce chispas genera ruido. Algunos ejemplos son los motores de los automóviles y los motores eléctricos con escobillas. Cualquier voltaje o corriente de tiempo de subida rápido también tiene la capacidad de generar interferencia, incluso sin que se forme arco. Los atenuadores de luz y las computadoras están en esta categoría. El ruido de este tipo tiene un espectro de frecuencia amplio, pero su energía no se distribuye igual en el intervalo de frecuencias. Por lo general este tipo de inferencia es más grave en las frecuencias bajas, pero la distribución de frecuencias exacta depende de la fuente en sí misma y de cualquier conductor con el que ya conexión. Las computadoras, por ejemplo podrían producir fuertes señales en frecuencias múltiplos y submúltiplos de su frecuencia de reloj, y con poca energía en otras frecuencias.

**Ruido atmosférico.** A menudo se llama estática por que los rayos, que son una descarga de electricidad estática, son una fuente importante de ruido atmosférico. Este tipo de perturbación se propaga a larga distancia por el espacio. La mayor parte de la energía de las descargas atmosféricas esta desde frecuencias relativamente bajas hasta varios megahertz.

**Ruido del espacio.** El Sol es una poderosa fuente de radiación en un amplio intervalo de frecuencias, incluyendo el espectro de radiofrecuencia. Hay otras estrellas que irradian ruido, y a este se le conoce como ruido cósmico, estelar o celestial. Cuando se recibe en la tierra su intensidad es naturalmente mucho menor que el ruido solar debido a la gran distancia.

El ruido solar es un problema grave en la recepción por satélite, la cual es imposible cuando el satélite esta alimentado entre la antena y el Sol.

#### 1.5.2.2. RUIDO INTERNO

Todo equipo electrónico genera ruido. Tanto los componentes pasivos (resistores y cables) como los dispositivos activos (diodos, transistores y tubos al vacío) pueden ser fuente de ruido. Varios tipos de ruido.

**Ruido térmico.** Se produce por el movimiento aleatorio de los electrones en un conductor debido al calor. El término ruido se utiliza con frecuencia para referirse a este tipo de ruido, el cual se encuentra en todos los circuitos electrónicos.

La densidad de potencia de ruido térmico es constante con la frecuencia, desde cero hasta frecuencias muy por arriba de las utilizadas en los circuitos electrónicos. Es decir, hay la misma potencia en cada hertz del ancho de banda. Entonces, el ruido térmico es una combinación con igual proporción de ruido de todas las frecuencias. A menudo se llama ruido blanco por analogía con la luz blanca, la cual es una combinación con la misma proporción de todos los colores.

La potencia de ruido disponible de un conductor es una función de su temperatura.

$$P_N = kTB \quad \text{Ecuación (1.53)}$$

Dónde:

$P_N$  = Potencia de ruido en watts.

$k$  = Constante de Boltzmann,  $1.38 \times 10^{-23}$  joules/kelvin (J/K).

T = Temperatura absoluta en kelvin (K); se determina sumando 273 a la temperatura en grados Celsius.

B = Ancho de banda de la potencia de ruido en Hertz.

La potencia de ruido térmico se observa en todos los conductores y resistores a cualquier temperatura por arriba del cero absoluto. La única manera de reducirla es disminuir la temperatura o el ancho de banda de un circuito (o ambos). A menudo, los amplificadores con señales de nivel bajo se enfrían de modo artificial para reducir el ruido.

**Voltaje del ruido.** Con frecuencia intensa más el voltaje del ruido que la potencia. La potencia del ruido depende solo del ancho de banda y de la temperatura. La ecuación siguiente da la potencia en un circuito resistivo:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ecuación (1.54)}$$

A partir de esta ecuación, se tiene que

$$V^2 = PR \quad \text{Ecuación (1.55)}$$

$$V = \sqrt{PR} \quad \text{Ecuación (1.56)}$$

Donde obtenemos con la potencia de ruido relacionada con la ecuación anterior

$$V = \sqrt{kTBR} \quad \text{Ecuación (1.57)}$$

**Ruido de impulso o disparo.** Este tipo de ruido tiene un espectro similar al ruido térmico, ya que tiene igual energía en todos los hertz del ancho de banda, que puede comprender las frecuencias desde cd hasta el orden de los gigahertz. Pero los mecanismos que generan el ruido de impulso o disparo son diferentes. Este tipo de ruido se debe a variaciones aleatorias en el flujo de corriente en dispositivos activos, como tubos al vacío, transistores y diodos de semiconductores.

Este tipo de ruido se presenta, por lo común, mediante una fuente de corriente. La corriente del ruido para un diodo de tubo al vacío o de semiconductor está dada por la ecuación

$$V = \sqrt{2qI_oR} \quad \text{Ecuación (1.58)}$$

Dónde

$I_N$  = Valor RMS de la corriente de ruido, en amperios.

q = Magnitud de la carga de un electrón, igual a  $1.6 \times 10^{-19}$  coulombios.

$I_o$  = Corriente de polarización de cd (dc) en el dispositivo, en Amperios.

B = Ancho de banda en el cual se observa el ruido, en Hz.

Puesto que el ruido de disparo se parece mucho al ruido térmico en su amplitud aleatoria y en su espectro plano, se usa como sustituto del ruido térmico siempre que se requiera un nivel conocido de ruido.

**Ruido de partición.** Este ruido es similar al ruido de disparo en su espectro y en los mecanismos de generación, pero solo se presenta en dispositivos donde una sola corriente se separa en dos o más trayectorias. Un ejemplo de tal dispositivo es un transistor de juntura

(BTJ) bipolar, en donde la corriente del emisor es la suma de las corrientes del colector y la de base. A medida que los portadores de carga se dividen en una trayectoria o la otra, se produce un elemento aleatorio en las corrientes. Un efecto similar se observa en los tubos al vacío.

**Ruido de centelleo o exceso.** Este tipo de ruido también se conoce como ruido de fluctuación o parpadeo o ruido  $1/f$  (por que la potencia de ruido es inversamente proporcional a la frecuencia). Algunas veces se llama ruido rosa porque proporcionalmente tiene más energía en el extremo de frecuencias bajas del espectro que con el ruido blanco, al igual que la luz color rosa tiene una proporción más alta de rojo (el extremo de frecuencias bajas del espectro visible) que la luz blanca. El ruido de centello o parpadeo se observa en tubos de vacío, pero el problema es más grave en semiconductores y en resistores de carbono. Se piensa que lo ocasionan las variaciones en la densidad de los circuitos portadores de carga.

**Ruido del tiempo de tránsito.** Muchos dispositivos de juntura semiconductor generen más ruido a frecuencias que se aproximan a sus frecuencias de corte. Este ruido de alta frecuencia se presenta cuando el tiempo que invierten los portadores de carga para cruzar una juntura es similar al periodo de la señal.

Como la mayoría de los dispositivos se usan muy por debajo de la frecuencia a la cual los efectos del tiempo de tránsito son insignificantes, este tipo de ruido no es muy importante (excepto en algunos dispositivos de microondas). (Tomasi, 2003)

### 1.5.3. TRANSMISIÓN SIN DISTORSIÓN

El receptor debe restaurar exactamente la señal en banda base. Es natural que haya un retraso por la distancia sobre la cual tiene lugar la comunicación y quizá haya también un cambio en la amplitud. Es probable que ninguno de estos efectos ocasione problemas, aunque hay excepciones.

En la señal en banda base refleja distorsión, la cual tiene un efecto degradante en la señal. Hay muchos tipos posibles de distorsión; algunos se mencionan en seguida, aunque no todos ellos queden claros de inmediato.

Algunos tipos posibles de distorsión son:

- Distorsión armónica: las armónicas (múltiplos) de algunos de los componentes de la señal en banda base se suman a la señal original.
- Distorsión por intermodulación: componentes de frecuencia adicionales que se generan al combinar (mezclar) los componentes de las frecuencias de la señal original.
- Respuesta en frecuencia no lineal: algunos componentes frecuencias de la señal en banda base se amplifican más que otros.
- Respuesta de fase no lineal: desplazamiento de fase entre componentes de la señal.
- Ruido: tanto el transmisor como el receptor añaden ruido, y el canal también es ruidoso. Este ruido se suma a la señal y la enmascara.
- Interferencia: si más de una señal utiliza el mismo medio de transmisión, las señales podrían interactuar entre sí.

Una de las ventajas de la comunicación digital es la capacidad para regenerar una señal que se alteró con ruido y distorsión, siempre que todavía sea posible identificar si representa un uno o cero. En cambio en los sistemas analógicos, el ruido y la distorsión tienden acumularse. En algunos casos es posible eliminar la distorsión en un punto posterior. Si la respuesta en frecuencia de un canal no es plano constante pero es conocida, por ejemplo, para compensar se usa la ecualización con filtros. (Tomasi, 2003)

# CAPITULO II

## RADIO DIGITAL

---

### 2.1. INTRODUCCIÓN A LA RADIO

#### 2.1.1. DEFINICIÓN DE RADIO

Heinrich Hertz, 1887, fue capaz de producir las primeras ondas de radio. Las ondas de radio como la electricidad y la luz, son formas de radiación electromagnética: la energía se envía mediante ondas de campos magnético y eléctrico. En un conductor estas ondas se inducen y una corriente eléctrica que pasa a lo largo de un conductor eléctrico, pero esta no es la única forma de propagar la onda electromagnética (EM). Empleando una señal eléctrica muy potente como fuente de transmisión, una onda EM se puede propagar muy lejos a través del aire. Este es el principio de la radio. Las ondas de radio se producen en los transmisores, que consisten de una fuente de ondas de radio conectada alguna forma de antena, como por ejemplo:

- Antenas de baja frecuencia (aérea).
- Antena o mástil de AF (alta frecuencia), MAF (muy alta frecuencia).
- Antena de plato de microondas.
- Antena de dispersión troposférica.
- Antena de satélite.

La radio es una manera particular efectiva de comunicación entre localidades remotas y sobre regiones difíciles, en donde el tendido de cable y el mantenimiento no es posible o es particularmente costoso.

Una forma de comunicar información mediante ondas de radio es codificando (o más correctamente modulando) una portadora de alta frecuencia antes de la transmisión. La frecuencia de la portadora tiene que ser alta para que se pueda propagar como onda de radio.

La modulación con la portadora de audio puede seguir un régimen analógico o digital. La modulación analógica se lleva a cabo de manera similar a la del MDF. La modulación digital puede ser la modulación de encendido/apagado de la señal portadora (es decir, prendiendo o apagando la portadora), o mediante otros métodos tales como modulación por desviación de frecuencia (MDFr), modulación por desviación de fase (MDFa) o modulación de amplitud en cuadratura (MAC).

Después de la modulación, la señal modulada se amplifica y se aplica a la antena. La amplificación refuerza la intensidad de la señal suficientemente para que la antena convierta la energía de la corriente eléctrica en una onda de radio suficientemente potente.

Funcionamiento de un transmisor de radio simple: la señal de audio se filtra y se amplifica; después la señal filtrada modula a la portadora de radiofrecuencia (RF) generada por un

oscilador de alta calidad; después la señal modulada se filtra nuevamente para enviarla posible interferencia con otras ondas de radio de frecuencias adyacentes. Finalmente la señal se refuerza en un amplificador de alta potencia y se envía a la antena en donde se convierte a la forma de onda de radio. (Herrera E. , Introducción a las Telecomunicaciones Modernas, 2006)

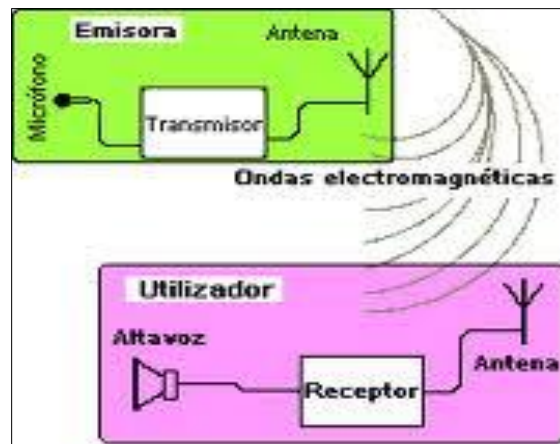


Figura 2.1. Transmisión simple de radio.

## 2.1.2. EL NACIMIENTO DE LA RADIO

La radio, conocida al principio, también como TSH (Telegrafía sin hilos) por ser su primer uso en el servicio telegráfico, ha estado desde sus inicios directamente relacionada con la Electrónica, por lo que ambas participaron de la misma historia y acontecimiento. El punto de partida se inicia con el descubrimiento del electrón en 1897 por J.J. Thomson, dado a conocer ante la Royal Institution de Londres el 30 de abril del mismo año; no obstante no fue hasta la exposición de la teoría científica del Dr. Lee de Forest sobre el funcionamiento de la válvula de tres electrones (año 1920), cuando se empezaron a producir los avances más importantes y prácticos sobre la radio.

### 2.1.2.1. EL DESCUBRIMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

James Clerck Maxwell, físico y matemático escoces, alumno de Faraday, en 1864 predijo la probabilidad de transmitir ondas electromagnéticas (ondas de radio). Si se empleaban frecuencias suficientemente elevadas. Podemos decir que Maxwell fue el auténtico precursor.

Posteriormente el alemán Heinrich Rudolf Hertz profesor de la Universidad de Bonn (1857-1894) conseguía la realización práctica de la teoría de Maxwell. El desafío para Hertz consistió en inventar el transmisor y el receptor. El emisor (excitador) estaba constituido por un carrete de Ruhmkorff de grandes dimensiones al que adaptó una especie de antena dipolo, mientras que el receptor (resonador), muy poco sensible, consistía en un anillo abierto, entre cuyas puntas podían saltar chispas. Hertz estudio las propiedades de las ondas electromagnéticas producidas por una corriente eléctrica oscilante de gran frecuencia, demostró su naturaleza ondulatoria y llegó a determinar su longitud de onda (en su honor la unidad de medida de la frecuencia es el Hertz).



Al cabo de poco tiempo el médico y físico francés Eduardo Branly (1846-1940) estudiando las variaciones de conductividad eléctrica de los metales bajo diversas condiciones, observó un fenómeno insólito: las limaduras de varios metales, bajo la influencia de ondas Hertzianas reducían considerablemente su resistencia eléctrica.

En el año de 1895 el profesor Ruso de matemáticas de la Universidad de Kazan, Alejandro Popoff, inventa la antena que asocio al tubo de limaduras de Branly para detectar tormentas lejanas. También realizó algunas transmisiones locales por radio.

La experiencia de una transmisión a distancia la realizó Branly en el colegio Lassalle de París, desde una ventana a otra atravesando un patio de unos 20 metros.

### **2.1.2.2. LA CONTRIBUCIÓN DE MARCONI (1874-1937)**

A los 20 años de edad el joven italiano Guillermo Marconi (reconocido mundialmente como el “padre” de la radio), basándose en las experiencias de Hertz, Branly consiguió realizar un sistema emisor-receptor, utilizando respectivamente el carrete de Ruhmkorff y el cohesor de Branly. Conectó ambos aparatos a tierra y los dotó de antenas, consistentes en hilo de cobre suspendido en el espacio y de considerable longitud, lo cual hizo que la transmisión se realizara en onda larga, contrariamente a las experiencias de Hertz y Branly realizadas con las ondas cortas.

En 1899 las señales de TSH cruzaban el Canal de la Mancha y en diciembre de 1901, tras varios intentos se estableció una comunicación entre Cornualles y Terranova, cruzando el océano Atlántico por primera vez. Continuamente se realizaban perfeccionamientos, y gracias al físico-matemático inglés Oliver Lodge (1851-1940) se puede aplicar el fenómeno de la sintonización en el emisor y en el receptor.

En los radios a Galena se utilizaban las propiedades de la galena como receptor de radio, sin más que conectar una antena mediante una aguja a una piedra galena en contacto con una resistencia y un condensador.

### **2.1.2.3. EL DIODO DEL DOCTOR FLEMING**

El ingeniero inglés J. A. Fleming en 1899 pasó a trabajar para Marconi, como asesor técnico en los trabajos preparatorios para conseguir comunicaciones de TSH a través del Atlántico. En 1900 el principal problema de la radiocomunicación consistía en conseguir receptores más sensibles y seguros, pues el cohesor de Branly resultaba inestable, incluso era afectado por la acción del transmisor de la propia estación y el autodecohesor de Marconi daba un servicio más seguro a costa de menor sensibilidad. En una palabra el receptor construía el eslabón débil de la cadena TSH.

Fleming, profundamente preocupado por este problema, en octubre de 1904 llegó a la conclusión de que tal vez fuera resultado por el “efecto Edison”. Partiendo de la base de que el “diodo” podría rectificar corrientes alternas de alta frecuencia, y la experiencia dio resultados positivos, llegando a la conclusión de que disponía de un detector más estable y sensible que todos los demás conocidos. El circuito era sumamente simple, no empleaba batería auxiliar y la corriente que pasaba por los auriculares es rectificadas por el diodo. En 1912 se construyó un

receptor con este tipo de detector. (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

#### **2.1.2.4. LA MÚSICA Y LA RADIO**

Cuando se inventó la radio, o todavía mejor cuando en torno a los años 20 y 30 se decidió que la radio iba servir para mandar música (radiodifusión pública), ya que la radio se había inventado mucho antes pero se usaba para comunicaciones de voz o de telegramas, se aplicó el ancho de banda para la música se oyera mejor, según lo que permitía la tecnología de entonces. La tecnología de radio que había en aquel momento, la radio de entonces, era de amplitud modulada (AM), la onda media de hoy.

Para mandar música que se decidió que la radio tuviera más graves y más agudos; la tecnología permitía con facilidad empezar a mandar a partir de 50 Hz, perdiendo solo entre 20 Hz y 50 Hz. Los graves suenan suficientemente bien. Sin embargo con la tecnología existente en aquel momento era muy caro pasar de los 5000 Hz, así que se subió de 3400 a 5000 Hz, dejando de lado desde 5000 hasta 16000 Hz. De manera que la radio de onda media transmite bien los graves y transmite mal los agudos, pero eso es lo que hay en estos momentos, es el estándar y no es previsible que cambie.

Después de unos años, ya en la década de los 40 y 50, se mejoró el sistema de radio y se invirtió un sistema denominado modulación de frecuencia (FM), se decidió que ya había que transmitir en que hoy conocemos con los términos de alta fidelidad, es decir tenía que transmitir muy buenos graves y agudos.

Entonces para la radio FM se decidió ese es un estándar actual, transmitir graves desde 50 Hz; no merecería la pena bajar más porque por debajo hay pocos sonidos. Para los agudos en lugar de parar en 16 000 o llegar hasta 16 000 Hz se decidió quedarse en 15 000 Hz.

El estándar europeo de Alta Fidelidad contempla la transmisión son distorsión de las frecuencias comprendidas entre 50 y 15 000 Hz. Para que un equipo se llame de alta fidelidad al menos tiene que oírse entre 50 y 15 000 Hz lo cual se hizo en la radio FM, la radio de Frecuencia Modulada. Por descontento, el que quiera comprar equipos de alta fidelidad mejores, se encuentra en el mercado equipos de alta fidelidad que van desde 10 Hz (no se oye), hasta 20 000 Hz o incluso más, aunque sean mucho más caros.

#### **2.1.2.5. MÚSICA ESTEREOFONICA**

En la radio FM se pensó que para oír la música de tal modo que la procedencia del sonido fuese distinguible había que poner dos altavoces: uno dedicado al oído izquierdo, donde los sonidos de la izquierda salieran un poco más fuertes y un poco antes y otro dedicado a los sonidos de la derecha con el mismo propósito. Es lo que llamamos música estereofónica y es lo que nos permite identificar.

En las emisiones de radio FM se mandan dos canales, canal izquierdo y canal derecho y cada uno de ellos admite entre 50 y 15 000 Hz, de nuevo el concepto de ancho de banda.

A mayor ancho de banda más frecuencias se transmiten y resulta una mejor calidad del sonido, pero también requiere de más medios, mejores equipos para su audición. (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

| Tipo de señal  | Separación entre los canales | Ancho de banda           |
|----------------|------------------------------|--------------------------|
| Telefonía fija | 4 KHz                        | 300-3 400 Hz             |
| Radio AM       | 9 KHz                        | 50-5 000 Hz              |
| Radio FM       | 100 KHz                      | 50-15 000 Hz (2 canales) |

Tabla 2.1. Características del sonido, en distintos sistemas.

Fuente: (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

#### 2.1.2.6. HISTORIA DE CB 27 MHZ

La historia de la CB o Banda Ciudadana, solo se abordaban los aspectos sociales y legales, que con ella estar relacionados.

Al hablar sobre la Banda Ciudadana hay que precisar en que banda de frecuencia trabaja en cualquier caso expresa la idea de la radio de comunicación y dialogo.

Siguiendo la historia; la CB, al ser este servicio destinado a los ciudadanos en general, por estar muy insertada en la sociedad, se vera la evaluación ligada, mas que ningun otro servicio, al hombre y sus necesidades

#### 2.1.2.7. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA CB EN ESTADOS UNIDOS Y EN EL MUNDO

En 1945 se terminaba la Guerra del pasifico entre EE.UU y Japon como ultima fase de la Segunda Guerra Mundial.

Donde habia tenido gran éxito las estaciones portatiles de comunicaciones por radio y los **Walkie-Talkie** (en ingles andar y hablar).

En nuevo uso que de aquellos emisores-receptores hacian algunos particulares en Estados Unidos la sugirio la idea a John Mulligan del estado de New York de que podria crear un servicio nuevo de telecomunicaciones. Algo asi como un servicio personal de radio a corta distancia.

Se puede considerar que Mulligan es el primer **cebeista** de la historia, por que obtuvo una autorización para emitir en frecuencias no atribuidas al servicio de aficionados, y no para servirse de la radio con fines utilitarios ni profesionales, si no con el objeto de mejorar las relaciones sociales entre ciudadanos gracias al uso de la radio.

Se organizaron varias reuniones, e incluso un congreso, que condujeron a la publicación por parte de la FCC en 1947, del texto legal conocido como **Docket Gosi**, creando el servicio personal de Radio (Personal Radio Service) en la banda de frecuencias de UHF de 460 a 470 MHz.

En 1947, por primera vez en la historia de la radio, los ciudadanos podria utilizar legalmente las ondas para comunicaciones de tipo diverso sin tener que demostrar un actividad profesional

que justificara el uso de la Radio y sin tener que ser radioaficionados ni por tanto atenerse a las reglas de tal afición.

Inicialmente se crearon dos clases de licencia de este primer Servicio Personal de Radio. La clase A autorizaba una potencia máxima de la salida de emisión de 60 voltios, mientras que la clase B autorizaba 5 voltios. Ambas clases de licencia permitían únicamente las comunicaciones en telefonía y con el tipo de emisión de amplitud modulada.

A los titulares de una estación de clase A se les asignaba una sola frecuencia de emisión y una sola frecuencia de recepción de la banda de 460 a 470 MHz, es decir, un solo canal de comunicación. Por lo que cada usuario solo podría comunicar con el resto de sus propios aparatos instalados, fijos o móviles, y con los demás usuarios tuvieran asignado el mismo canal (atribución y asignación).

Para las licencias en clase B se disponía de una sola frecuencia de emisión y recepción; de 465 MHz para fijo y móvil. Es decir, que todos los usuarios titulares de estas licencias compartían este único canal, el cual no podría ser asignado a los titulares clase A.

Una primera idea de algo parecido a la actual Banda Ciudadana había llegado a plasmarse forma de ley. Y ello gracias a John Mulligan, quien como se menciona puede considerarse como uno de los pioneros de la CB en el mundo.

Solo faltaba los equipos emisores-receptores (transceptores) para poner en práctica tan brillante idea. Sin embargo los nuevos usuarios no eran forzosamente técnicos que pudieran construirse sus propios aparatos y por otra parte trabajar en la banda de 460-470 MHz ya no podía contarse con el material retirado de la guerra.

La tecnología para frecuencias de UHF estaba poco desarrollada en 1947 y los aparatos para el servicio de CB eran muy caros, en particular los de clase A (con 60 voltios de emisión autorizados en esta frecuencia).

Diversos constructores fabricaron aparatos para este uso, pero resultaron excesivamente caros, por lo que no eran accesibles al público al que se destinaban.

La cuestión de la frecuencia de trabajo fue otro motivo de descontento de los posibles solicitantes de licencias de clase A o B. Efectivamente las ondas de frecuencia ultra alta (460 MHz) se propagan solo en línea recta, pues no rodean o atraviesan los obstáculos, por lo que su radio de comunicación está limitado al alcance óptico o al interior de una población donde las múltiples reflexiones o (rebotes) hace que se les pueda recibir en cualquier punto de la ciudad aun que exista obstáculos entre las antenas del emisor y del receptor.

Sin embargo sus principales promotores John Mulligan y Al Gross, en 1947 habían conseguido sentar las bases de la banda ciudadana por lo que al desarrollo este servicio de radio eléctrico estaba, ya contenido en las ideas de sus pioneros.

Mulligan había conseguido la creación del Servicio Personal de Radio para Ciudadanos y Gross desarrolló los primeros transceptores, que con el tiempo irían perfeccionando.

Se puede decir que en 1947 el **Docket Gossi** de la FCC si bien no supuso el acta de nacimiento de la CB, constituyó un precedente que con el tiempo conduciría a la verdadera Banda Ciudadana.

En 1947 solo le faltaba a la CB una banda de frecuencias mas propicia que la UHF para poder cubrir su objetivo esencial, la comunicación entre ciudadanos de todas las clases sociales y niveles culturales y técnicos.

#### 2.1.2.8. LA CB DE 27 MHZ EN EL MUNDO

La Banda Ciudadana, se entendio como un uso personal de comunicaciones por radio, y por tanto destinada a la comunicación de cualquier tema que pueda interesar a los ciudadanos esta recomendada y reglamentada en unos 60 paises del mundo.

En muchos de estos paises, los clubs de cebeistas se han agrupado en federaciones o asociaciones nacionales, las cuales a su vez han construido las Federaciones Continentales y la Union Mundial de la CB (World BC Union) con sede en Estados Unidos y animado aun por Al Gross, que recordando como pionero de la CB en EE. UU., practicamente igual en el mundo. (Radioafición y CB Enciclopedia Teórico-Practica en 60 Lecciones, 1983)

## 2.2. FUNDAMENTOS DE RADIO

### 2.2.1. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE LA RADIOCOMUNICACIÓN

La principal característica de la radiodifusión y al mismo tiempo la más evidente es su propagación por el espacio a través de la denominada energía electromagnética. Este principio técnico, muchas veces ignorado, constituye paradójicamente la base de su desarrollo como medio de comunicación y el límite de su configuración futura.

La propagación aérea ofreció a la radio y televisión el sustento de su proceso liberando a la comunicación de las limitaciones de su distribución alámbrica. Entre otros aspectos, la transmisión electromagnética permitió una propagación libre por el espacio, en todas direcciones y posibilitó las comunicaciones a larga distancia.

No toda la energía electromagnética, puede utilizarse para fines comunicativos. Aunque históricamente los lindes operacionales han aumentado considerablemente (en la actualidad se sitúan aproximadamente pequeñas las frecuencias empleadas para transmisión de radio y televisión. La parte del espectro electromagnético utilizada para las comunicaciones se denomina radioeléctrica.

La propagación se define como el comportamiento de determinadas frecuencias una vez que han sido realizadas por una antena. (Díaz, 1990)

## 2.2.2. LOS SISTEMAS DE RADIO

### 2.2.2.1. GENERALIDADES

Un sistema importante usa extensamente en telecomunicaciones en la radiodifusión de información desde un punto central hacia una amplia audiencia, y se le llama radiodifusión comercial. Dicho sistema puede operar con línea que concentran el punto central con todos sus destinos o puntos de recepción.

Esta idea de radiodifusión comercial puede entenderse a una audiencia mucho más amplia ya mucha distancia, usando un radiotransmisor para radiar la información a través de la atmosfera, a fin de que esta sea detectada por un radiorreceptor en cualquier parte dentro del rango que permite la potencia del transmisor de la señal.

Se ha considerado que las ondas de radio se propagan a través de la atmosfera sin ayuda de alambres. Estas ondas de radio pueden pasar a través del material aislado, aunque parte de la energía se pierde en el proceso; pero es reflejada por superficies conductoras. Este hecho puede causar que la propagación de las ondas de radio se vuelva irregular e impredecible. El desvanecimiento de las señales desvió a la presencia de grandes edificios.

Las ondas de radio también pueden propagarse en el vacío y, como ya se consideró, a lo largo de una línea de transmisión. En el caso de línea, la energía es transmitida a través de conductores separados por aislamiento.

### 2.2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO

#### ➤ **Bajas Frecuencias de Radio (VLF, LF, MF)**

A esas frecuencias, las ondas de energía radiada dejan la antena de transmisión siguiendo la curva de la superficie de la Tierra en todas direcciones, usualmente como una onda de superficie.

En término general, la distancia recorrida sobre la superficie de la Tierra depende de la potencia que genera el radiotransmisor. El nivel de potencia de cada transmisor se escoge a efecto de cubrir un área particular de la radiodifusión.

#### ➤ **Alta Frecuencia de Radio (HF)**

A esas frecuencias, la onda de tierra es absorbida o atenúa rápidamente, pero la radiación también se va hacia arriba hasta que la onda alcanza la ionosfera, que se extiende aproximadamente de 50 a 400 Km sobre la superficie de la Tierra.

A ciertas alturas la ionosfera, la recombinación entre electrones libres e iones positivos es menor que en la atmosfera más baja y, por esto, existen regiones de alta ionización en la atmosfera superior. Las ondas de radio se refractan en estas capas ionizadas a ángulos particulares de tal forma que son regresadas a la Tierra, a cierta distancia de la antena de transmisión.

Si usamos antenas direccionales en el transmisor, se puede lograr que la onda ionosferica alcance un destino particular a gran distancia, usando relativamente poca potencia comparada con la necesaria para hacer que una onda de radio es llamada onda ionosferica.

### ➤ **Muy Altas Frecuencias (VHF)**

A esa frecuencia, la energía de las ondas de radio se propaga a través del espacio en línea recta, igual que la energía luminosa. Usando antenas omnidireccionales (radiación igual en todas direcciones).

Por medio de una antena direccional, por ejemplo un reflector parabólico o plato, la energía puede dirigirse hacia el horizonte, dando una trayectoria de propagación de línea de vista.

Las ondas especiales también pueden apuntarse hacia abajo; es decir, hacia el suelo, donde serán reflejadas y podrán así alcanzar la antena receptora. Esta onda reflejada puede causar interferencia a la onda directa debido a la gran distancia que viaja, ya que la onda reflejada llega después que la directa.

Aún más, en enlaces HF punto a punto y gran distancia, se requiere de gran potencia de transmisión (por ejemplo 30 KW). En esta situación, es usual separar geográficamente el transmisor del receptor a efecto de prever que el receptor se empantane con el transmisor del mismo extremo del sistema. (Smale, 1993)

## 2.2.3. LA RADIOFRECUENCIA

### 2.2.3.1. *MODULACIÓN DE PORTADORA*

Los sistemas de comunicaciones trabajan con información en forma de señales electrónicas que ocupan una banda limitada del espectro, por la naturaleza de la señal y por el filtrado previo a la transmisión. La transmisión de estas señales se pueden realizar en banda base o modulando una portadora. La elección entre una u otra forma de transmisión dependerá del canal disponible y la necesidad de compartir dicho canal con otros sistemas de comunicaciones o con señales.

La transmisión en banda base se realiza casi siempre sobre canales formados por líneas de transmisión, y sigue ofreciendo una forma adecuada de transmisión en muchos sistemas, tanto analógicos como digitales. Los sistemas más actuales en este tipo de transmisión son las redes de área local para sistemas informáticos.

Cuando se utiliza el canal radioeléctrico, es muy difícil la transmisión de señales en banda base. Primero porque el tamaño de las antenas debe ser, al menos del orden de un cuarto de longitud de onda ( $\frac{\lambda}{4}$  donde;  $\lambda = \frac{c}{f}$  con;  $c = 3 \times 10^8$ ) para que su eficiencia sea alta. Esta condición elimina la posibilidad de transmitir señales de frecuencia baja que aparecen en la banda base de muchos sistemas. Por otra parte, la banda relativa que puede transmitirse en un sistema dado suele ser pequeña ( $\frac{B}{f} \ll 1$ ) limitando la banda en las portadoras de frecuencia más baja.

Cuando desea conseguir una mayor eficiencia del medio de transmisión y transmisor varias señales de forma simultánea, se puede trabajar con varias portadoras de forma simultánea en lo que se denomina acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA). Es indudable que en estos casos se hace necesaria la conversión de las señales de banda base a diferentes bandas de frecuencia más alta.

El complejo de los procesos de modulación va asociado al tratamiento digital de las señales. Un procesador digital de las señales. Un procesador digital de señales. Un procesador digital de señales (DSP) permite trabajar con funciones discretas en el tiempo relacionadas con operaciones que resultan muy complejas para los circuitos electrónicos convencionales o que se realizan con mayor precisión. Actualmente los procesos de los sistemas de comunicación se realizan en procesadores digitales. Las limitaciones más importantes de estos procesos son la velocidad de cálculo asociada a los procesadores, la frecuencia o ancho de banda de las señales que deben procesarse, los niveles de potencia y por supuesto el precio.

### **2.2.3.2. DIAGRAMAS DE UN SISTEMA DE RADIOFRECUENCIA**

Si se comparan dos sistemas de radiofrecuencias, como por ejemplo el utilizado para abrir automáticamente una puerta por proximidad y un teléfono móvil de última generación, se encontrarán grandes diferencias, pero ambos realizan una serie de funciones que son constantes en casi todos los sistemas de RF.

El aumento en la complejidad y la separación de funciones diversas etapas de realiza para conseguir una mayor precisión en la señal emitida y recibida, mayor protección contra interferencia y ruido, mayor alcance y menor interferencia hacia otro sistema. Todas estas características diferencian un diseño de otro, y el diseño final de un sistema dependerá de la aplicación, el desarrollo de la tecnología y, por supuesto, del precio final del producto a diseñar.

Dentro de un sistema de comunicaciones se pueden distinguir dos subsistemas claramente separados el transmisor y el receptor. El primero tiene como funciones principales la formación de la señal a transmitir o señal de banda base, la generación de la portadora, su modulación con la señal de banda base y la amplificación de la señal obtenida hasta el nivel de potencia deseado. Por otra parte el receptor debe separar la señal deseada del resto de las posibles interferencias y ruido eléctrico, amplificarla y de modularla para obtener la señal original de banda base. Por especial importancia, se consideran los generadores de señal portadora como subsistema independiente, que se aplican tanto a transmisores como a receptores.

El diseño del transmisor/receptor depende fundamentalmente del tipo de señal y de modulación utilizada. Algunos parámetros de esta señal son de especial interés, como su distribución espectral de potencia y ancho de banda, el nivel medio (componente continua), valor cuadrático medio (potencia media) y valor máximo (potencia pico) y las relaciones entre ellos. En general se trabajara con señales tanto analógicas como digitales, de banda ancha o estrecha y en sistemas sencillos o de gran número de canales sobre la misma portadora.

El transmisor y el receptor se caracterizan también por la frecuencia de portadora y banda de transmisión. La frecuencia de portadora determina en buena medida el tipo de tecnología en las etapas finales más próximas a la antena. El ancho de banda dependerá de la señal a transmitir y del tipo y profundidad de modulación. En cuanto al tipo de modulación, separamos los dos grandes grupos de modulación lineal y modulación angular, aunque algunos procesos contienen ambas formas simultáneamente (QAM). Otro factor de suma importancia es la potencia de transmisión y el rendimiento en la generación de dicha potencia de RF. En el otro extremo, será la sensibilidad del receptor, y en particular la capacidad de extraer la señal deseada del ruido e interferencias, lo que caracterice al receptor, los procesos de distorsión no



lineal y ruido son especialmente importantes en el diseño de los subsistemas de RF de un sistema de comunicaciones. (Sierra, Galocha, Fernández, & Sierra, 2003)

## 2.3. PROPAGACIÓN Y RADIACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO

### 2.3.1. PROPAGACIÓN DE ONDAS DE RADIO

El concepto de propagación se relaciona con las pautas de comportamiento de la energía electromagnética en su desplazamiento por el espacio una vez que ha sido radiada por la antena. La base técnica de la propagación se sustenta en la propia composición de las ondas, formada respectivamente por campos eléctricos y magnéticos, más concretamente por planos magnéticos y eléctricos que alterna continuamente su polaridad con respecto a la forma de la señal original. El campo magnético alterna y sostiene al eléctrico formando un ángulo recto con él. Una vez radiada la onda, esta continua su propagación por el espacio a una velocidad constante (alrededor de 300 metros por milésima de segundo) hasta que su energía desaparece.

La energía radiada desde la antena es máxima en el momento de su radiación y disminuye conforme se aleja de la fuente de origen. El flujo de energía, es decir, la relación entre la intensidad de la radiación a través de una superficie, es el producto del campo eléctrico y magnético, la intensidad de la señal varía en relación inversamente al cuadrado de la fuente.

En un espacio homogéneo, la energía electromagnética viaja en línea recta de forma parecida a la trayectoria de la luz. Cuando la onda incide en un medio de diferentes características (objeto sólido por ejemplo) se producen, al igual que la energía lumínica. Los fenómenos de refracción y reflexión comprendidas como la desviación de la onda de su original propagación directa. La direccionalidad de la energía electromagnética también puede quedar bloqueada o interferida cuando la onda se encuentra con objetos terrestres, como por ejemplo edificios, montes, etcétera. El efecto sobre la propagación de las ondas que produce estas colisiones depende de su longitud de onda. La diferencia entre interferencia y difracción no siempre es desviación producida por la onda en su propagación directa, mientras que el de interferencia se relaciona con la retribución de energía en el espacio como consecuencia del refuerzo cancelación de parte de la señal recibida.

Las diferentes frecuencias dentro del espectro electromagnético responden distintamente cuando inciden sobre la materia. Así, la atmósfera de la Tierra es casi transparente a las ondas en la energía lumínica, de infrarrojos y radio eléctrica, peor tienden absorber el resto de frecuencias con la excepción de la energía cósmica. De igual manera, el cristal puede ser casi transparente (no modifica su propagación a la luz visible pero no a los ultravioletas. Otras sustancias dieléctricas (no conductivas) son casi opacas a la luz visible pero transparente a la energía ultravioleta y a las denominadas microondas.

Las características de la longitud y frecuencia de la energía radiada también afectan a la propagación. Las ondas de longitud relativamente corta (por ejemplo las de VHF y UHF) se reflejan más fácilmente en edificios, montes, etc., que las de longitud más larga. Por el contrario las longitudes amplias (MF y LF, por ejemplo) tienen la propiedad de conservar una señal relativamente grande cuando encuentran una obstrucción, cosa que no ocurre con las

bajas longitudes que puedan incluso quedar completamente bloqueadas. Las señales de grandes longitudes de onda son afectadas en menor medida por las obstrucciones físicas, siendo capaces de producir detrás del obstáculo una señal de casi igual poder a la original.

En términos generales se pueden señalar que cuanto más grande sea la longitud (menor frecuencia) las ondas tienden a propagarse a lo largo de la superficie siguiendo la dirección de la curvatura de la Tierra. Cuanto más corta sea la longitud (mayor frecuencia), las ondas tienden a viajar en la línea recta y compararse según las leyes que gobiernan la propagación de la luz. Mirando al espectro radioeléctrico en su conjunto, se puede generalizar en cuanto a su propagación que las frecuencias más bajas (VLF, LF) pueden viajar a grandes distancias siguiendo la curvatura de la Tierra, las altas frecuencias (VHF, UHF, SHF y EHF) viajan en línea recta; y las intermedias (MF y HF) tienen características de ambas dependiendo de su posición en el espectro.

Mucha energía que se radia, ya sea por accidente o por diseño de la antena se emite directamente al espacio. Algunas de estas energías son completamente absorbidas por la atmósfera, y otras, por el contrario, viajan por el espacio hasta que se encuentran con la ionosfera, capa externa de la atmósfera donde los electrones libres procedentes de la ionización se encuentran en cantidades suficientes como para modificar la trayectoria de la onda radioeléctrica. La ionosfera tiende a variar su grado de ionización y su altura sobre la Tierra según sea de día o de noche y de acuerdo con las estaciones del año.

La propagación de las denominadas microondas (SHF y EHF) es direccional de forma parecida a la luz. La alta penetrabilidad de estas frecuencias hace que traspasen la ionosfera y sigan su camino hacia el espacio. Su gran direccionalidad y pequeña longitud de onda hace que se emplee "discos parabólicos" como antenas a fin de enfocar las ondas radioeléctricas en un haz concentrado y así conseguir una comunicación punto a punto más eficaz. Su casi total transparencia en la atmósfera hace que sean empleadas fundamentalmente en las comunicaciones especiales. (Díaz, 1990)

Con métodos digitales el proceso es similar al visto para el mundo analógico, pero con ciertas particularidades ya que transmitimos en códigos binarios.

Cuando las ondas de radio se transmiten desde un punto, se dispersan y propagan como frente de onda esféricos. Los frentes viajan en una dirección perpendicular al frente de onda.

Las ondas de radio y de luz como forma de radiación electromagnética y presentan propiedades. Justo como un rayo de luz se puede reflejar, refractar (doblamiento ligero) y difractar (ligera inclinación alrededor de obstáculos), también así las ondas de radio.

Los cuatro modos particulares de propagación de ondas de radio. Un sistema de transmisión de radio, normalmente se diseña para aprovechar alguno de estos modos. Los cuatro modos son:

- Propagación por línea de vista.
- Propagación por onda de Tierra (difracción).
- Propagación por dispersión troposférica (reflexión y refracción).
- Propagación por onda de cielo (refracción).

Un sistema de transmisión por línea de vista, como microondas, se apoya en el hecho de que las ondas viajan en línea recta. Este es quizás el tipo más simple de sistema; siempre que el

receptor este dentro de la línea de vista del transmisor, entonces la propagación por línea de vista (LV) es posible.

Las ondas de Tierra (o de superficie) tienen buen alcance, dependiendo de su frecuencia. Su propagación mediante difracción utilizando la Tierra como guía de onda.

Las señales de radio de baja frecuencia son las mejores adaptadas para la propagación por onda de Tierra, porque la calidad de doblamiento (mas correctamente difracción) está relacionado con la longitud de onda de radio. Entre más larga la longitud de onda, mayor es el efecto de difracción.

Otra forma de transmisión de radio sobre el horizonte es mediante la dispersión troposférica. Esta es una forma de reflexión de troposfera y trabaja mejor en ondas de radio de ultra alta frecuencia (UAF).

La última forma de propagación sobre el horizonte dado se conoce como por onda de cielo. Esta aparece por la refracción (deflexión) de las ondas de radio en la atmosfera de la Tierra y ocurre porque las diferentes capas de atmosfera superior de la Tierra (la ionosfera) tiene diferentes densidades, con el resultado de que las ondas de radio se propagan más rápidamente en algunas de las capas que en otras, dando lugar a la deflexión de ondas entre capas.

### 2.3.1.1. PROPAGACIÓN EN ESPACIO LIBRE

Las ondas de radio como la luz se propagan por el espacio libre en línea recta con una velocidad de  $300 \times 10^6$  m/s. En el espacio libre no hay pérdidas de energía, pero ahí atenuación debido a la dispersión de las ondas. La atmosfera no es totalidad un espacio libre pero en teoría así se maneja. La propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre de interés en las comunicaciones satélites.

#### Atenuación del espacio libre

Una antena que irradia en todas direcciones y es del todo eficiente, por lo que el radiador isotrópico tiene un patrón de radiación simple y predecible. Puesto que el espacio libre no absorbería energía, esto se cumple para cualquier distancia, sin importar cuán grande sea. La energía se dispersaría sobre una superficie más grande a medida que aumentara la distancia de la fuente.

El radiador isotrópico irradia lo mismo en todas direcciones, la densidad de potencia, en watts por metro cuadrado, sería simplemente la potencia total dividida entre el área de superficie de la esfera.

$$P_D = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde

$P_D$  = Densidad de potencia en watts por metro.

$P_t$  = Potencia total en watts.

$r$  = Distancia desde la antena en metros.

Es normal que sea la misma atenuación de ley cuadrática que se aplica a la luz y al sonido y, de ancho, a cualquier forma de radiación. Es importante entender que esta atenuación no se debe a ninguna pérdida de energía en el medio, si no solo a la dispersión de la energía a medida que se aparta de la fuente.

La fuerza de una señal se da con más frecuencia en términos de una intensidad de campo eléctrico en vez de la densidad de potencia, quizá porque es más fácil medir la primera. Es bastante fácil deducir una ecuación que relacione la intensidad del campo eléctrico a una distancia con la potencia radiada.

$$P_D = \frac{\xi^2}{\zeta} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Tomando la ecuación anterior

$$P_D = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Igualando las expresiones para la densidad de potencia simplificada

$$\xi = \sqrt{\frac{P_t * \zeta}{4\pi r^2}} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Para el espacio libre  $\zeta = 377 \Omega$  ecuación ya reducida

$$\xi = \sqrt{\frac{30 * P_t}{r}} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Donde

$\xi$  = Intensidad del campo eléctrico en volts.

$P_t$  = Potencia total en watts.

$r$  = Distancia desde la fuente en metros.

### Ganancia de la antena transmisora

Esto depende de la potencia del transmisor y la distancia del transmisor al receptor, pero hay otras dos determinantes muy importantes: la antena transmisora y receptora. Las características que son ganancia para una antena transmisora y área efectiva para una antena receptora.

Si la antena transmisora tiene ganancia en una determinada dirección, la densidad de potencia en esa dirección se incrementa por la cantidad de la ganancia, y la ecuación para densidad de potencia se convierte en

$$P_D = \frac{P_T G_T}{4\pi r^2} \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

Donde

$P_D$  = Densidad de potencia en watts por metro cuadrado.

$P_T$  = Potencia total del transmisor en watts.

$G_T$  = Ganancia de la antena del transmisor.

$r$  = Distancia del transmisor al receptor, en metros.

Es común hablar de la potencia radiada isotrópica efectiva (Effective Isotropic Radiated Power EIRP), la cual se calcula fácilmente:

$$EIRP = P_T G_T \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

### Ganancia de antena receptora

Una antena receptora parte de la energía de las ondas de radio que pasan por ella. Puesto que la potencia en la onda es proporcional al área por la que pasa, al parecer es razonable que una antena grande capte más energía que una pequeña, debido a que cubre un área más grande.

La potencia extraída de una onda por una antena receptora debe depender de su tamaño físico y de su ganancia. El área efectiva de una antena se define como

$$A_{eff} = \frac{P_R}{P_D} \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

Donde

$A_{eff}$  = Área efectiva de la antena en metros cuadrados.

$P_R$  = Potencia entregada al receptor en watts.

$P_D$  = Densidad de potencia de la onda en watts por metro cuadrado.

Al cambiar las ecuaciones de la densidad de potencia con la del área efectiva de la antena por metro cuadrado

$$P_R = A_{eff} P_D = \frac{P_T G_T}{4\pi} \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Donde el área efectiva de una antena receptora es

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

Donde

$G_R$  = Ganancia de la antena, como una relación de potencia.

$\lambda$  = Longitud de onda de la señal.

### Perdida de trayectoria

Al sustituir la ecuación de  $A_{eff}$  en se  $P_R$  obtiene una expresión para la potencia del receptor en términos de las ganancias de las dos antenas y la longitud de onda:

Es más común expresar esta ecuación en términos de la atenuación del espacio libre, es decir, la razón de la potencia recibida a la potencia del transmisor:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{\lambda^2 G_T G_R}{16\pi^2 r^2} \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

Aunque es más conveniente expresarla en decibeles y no directamente como una razón de potencia; lo más probable que la distancia entre el transmisor y el receptor este dada en kilómetros que en metros, y la frecuencia de la señal en megahertz;

$$\frac{P_R}{P_T} (dB) = [G_T(dBi)] + [G_R(dBi)] - (32.44 + 20 \log(d) + 20 \log(f)) \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

Donde

d = Distancia entre transmisor y receptor en kilómetros.

f = Frecuencia en megahertz.

El termino *dBi* indica las ganancias de las antena se dan con respecto a un radiador isotrópico.

La siguiente ecuación se expresa como una ganancia en decibeles entre las antenas transmisora y receptora. Donde la señal recibida es más débil que la señal transmitida, así que la ganancia es negativa como una pérdida. La pérdida encontrada de esta manera se llama pérdida de espacio libre o pérdida de trayectoria (path loss):

$$L_{fs} = 32.44 + [20 \log d(km)] + [20 \log f(MHz)] + [G_T(dBi)] - [G_R(dBi)] \quad \text{Ecuación (1.13)}$$

Donde

$$L_{fs} = 10 \log \left( \frac{P_T}{P_R} \right) \quad \text{Ecuación (2.14)}$$

En la ecuación se puede observar que  $P_T$  y  $P_R$  son los niveles de potencia en las antenas transmisora y receptora, respectivamente. No está incluida la atenuación debida a las pérdidas de línea de transmisión o desacoplamiento, pero estas pérdidas se incluyen al final cuando se obtiene el resultado de las pérdidas ya mencionadas anteriormente. (Blake, 2004)

### 2.3.2. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Antes de James Maxwell, se creía que las leyes de Issac Newton servían para modelar todos los fenómenos físicos de universo. Con respecto a la naturaleza de la luz, Cristian Huygens la consideraba de forma ondulatoria, mientras que Issac Newton aseguraba que tenía comportamiento de partícula; hasta que Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico.

Las ondas electromagnéticas transversales que se propagan por el espacio y otros medios. Recordando que estas ondas se caracterizan por la frecuencia y la longitud de onda.

Se relaciona con la frecuencia y la velocidad de propagación mediante y una ecuación simple

$$v = f * \lambda \quad \text{Ecuación (2.15)}$$

Donde

V = velocidad de propagación en metros por segundo.

f = Frecuencia en Hertz.

$\lambda$  = Longitud de onda en metros.

Las ondas de radio difieren de otras ondas encontradas en la naturaleza, como las ondas de agua y de sonido, en que no hay movimiento físico del medio y, de hecho, no hay necesidad de ningún medio físico. Las ondas consisten solo en campos eléctricos y magnéticos que varían con el tiempo.

#### 2.3.2.1. CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

Una onda electromagnética se propagan por el espacio consiste en campos eléctricos y magnéticos, perpendiculares entre sí y la dirección del desplazamiento de la onda. Los campos varían juntos, en tiempo y espacio, y hay una razón definida entre intensidad del campo eléctrico y se le conoce como impedancia característica del medio.

Para circuitos, se tiene la conocida ley de Ohm:

$$Z = \frac{v}{I} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

Donde

Z = Impedancia en ohms.

v = Fuerza electromotriz en volts.

I = Corriente en amperes.

La ley de Ohm para ondas electromagnéticas es muy similar:

$$\zeta = \frac{\xi}{H_v} \quad \text{Ecuación (2.17)}$$

Donde

$Z$  = Impedancia del medio en ohms.

$\xi$  = Intensidad de campo eléctrico en volts por metro.

$H$  = Intensidad del campo magnético en amperes por metro.

Para un medio sin perdida, esto es equivalente a

$$\zeta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad \text{Ecuación (2.18)}$$

Donde

$\mu$  = Permeabilidad del medio en henrios por metro.

$\epsilon$  = Permitividad del medio en faradios por metro.

Para el espacio libre

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{H}{m} \quad \text{Ecuación (2.19)}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} \frac{F}{m} \quad \text{Ecuación (2.20)}$$

Así que la impedancia de espacio libre es

$$\zeta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \Omega \quad \text{Ecuación (2.21)}$$

Para la mayoría de los medios en que se propagan las ondas electromagnéticas, la permeabilidad es la misma que la del espacio libre. Es probable que la permitividad se dé como una constante dieléctrica, que es simplemente la permitividad de medio en relación con la del espacio libre.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \text{Ecuación (2.22)}$$

Donde

$\epsilon_r$  = Constante dieléctrica (permitividad relativa).

$\epsilon$  = Permitividad del medio.

$\epsilon_0$  = Permitividad del espacio libre.

### 2.3.2.2. ONDAS PLANAS Y ESFÉRICAS

Desde un punto de vista conceptual, la fuente más simple de ondas electromagnéticas sería un punto en el espacio. Las ondas irradiarían igualmente desde esta fuente en todas direcciones. Una fuente de onda es decir, una superficie en la que las ondas tienen la misma fase, sería la superficie de una esfera. Esta fuente, conocida como radiador isotrópico.



Una fuente puntual real a distancia desde una fuente real son grandes en comparación con dimensiones con la fuente, por lo general este es el caso de la propagación radioeléctrica a distancia razonable desde la antena.

En consecuencia, muchos casos prácticos de propagación de ondas se estudian en términos de ondas planas, que a menudo son más simples de tratar que la ondas esféricas. La reflexión y la refracción son ejemplos de fenómenos cuyo estudio se simplifica cuando se supone ondas planas.

### 2.3.2.3. POLARIZACIÓN

La polarización de una onda plana es simplemente la dirección de su vector de campo electrónico. Si esto no tiene variación, la polarización se describe como lineal. La polarización es importante porque la polarización de la antena receptora debe ser la misma que la onda para tener mejor recepción.

A veces el eje de polarización gira a medida que la onda se mueve por el espacio, girando 360° por cada longitud de onda de recorrido. La polarización es circular por lo tanto la intensidad de campo es igual a todos los ángulos de polarización y elíptica si la intensidad del campo varía conforme cambia la polarización. La onda puede girar en cualquier dirección, se llama dextrógira o mano derecha se gira en el sentido de las manecillas del reloj a medida que se retira. Las ondas con polarización circular. Por ejemplo la radiodifusión FM por lo general utiliza polarización circular, produciendo una señal que puede ser recibida por antenas horizontales o verticales. (Blake, 2004)

### 2.3.3. EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro electromagnético es una representación de todas las radiaciones de origen electromagnético que existen en la naturaleza, ordenadas según su frecuencia o longitud de onda. Por conveniencia se divide en el espectro en varias regiones atendiendo a su frecuencia (bandas de frecuencia).

#### **Banda de frecuencia**

La división actual del espectro electromagnético en bandas de frecuencia va desde 30 KHz hasta 300 GHz, aunque, probablemente, en el futuro se pueda extender por la parte alta.

El nombre de cada tramo viene determinado por las siglas que en inglés indican su frecuencia. A las frecuencia se le llama LF o baja frecuencia o al siguiente tramo MF o frecuencia media. Posteriormente viene la HF o alta frecuencia. La VHF es la parte que va de 30 a 300 MHz, donde está la FM y parte de la televisión. Después tenemos la UHF, tiene un rango de 300 a 3000 MHz, que se utiliza una parte para la telefonía móvil y otra parte para la televisión. La siguiente, de 3 a 30 GHz, SHF o Súper Alta Frecuencia, es la que utilizamos para comunicarnos con los satélites. La última, la Extra Alta Frecuencia, entre 30 y 3000 GHz, todavía muy poco usada, básicamente para experimentación, y sin aplicaciones comerciales apenas.

En la parte baja del espectro se concentran las emisiones de radio y televisión, mientras que en la parte alta están las microondas, la luz visible y los rayos X, Gamma y cósmicos.

## La longitud de onda

Las bandas en que se divide el espectro vienen divididas por frecuencias. Pero todo fenómeno vibratorio, todo fenómeno cíclico, además de las frecuencias tienen asociado otro concepto denominado longitud de onda, tanto el sonido como las ondas electromagnéticas.

La longitud de onda es la distancia que hay entre esas dos sobrepresiones próximas que van viajando. Para calcularla basta con aplicar la fórmula física de: el espacio es igual a la velocidad por el tiempo ( $e = v * t$ ).

De manera que la fórmula es: longitud de onda igual a la velocidad dividida por la frecuencia cuya representación matemática es:

En el caso propuesto, ¿Cuál es la velocidad del sonido? 340 m/s ¿Y cuál es la frecuencia? 1 000 Hz, pues aplicando la fórmula resulta:

$$\text{Longitud de onda (pitido a 1000Hz)} = 340/1\,000 = 0.34\text{m} = 34$$

En el caso de las ondas electromagnéticas la fórmula permanece invariable y la velocidad es constante: la de la luz, que es también una onda electromagnética.

$$\lambda (\text{longitud de onda}) = v/f = 300\,000 \text{ Km/s dividido por } f(\text{Hz})$$

La velocidad de la luz es de 300 000 Km/s. si dividimos por la frecuencia en Hz (ciclos/segundo), obtendremos un resultado en metros. Una frecuencia de 300 MHz, trescientos millones de Hz, tendrá una longitud de onda de un metro.

La longitud de onda de una onda describe cuan larga es la onda. La distancia existe entre dos crestas o valles consecutivos es lo que llamamos longitud de onda. Las ondas de agua en el océano, las ondas de aire, y las ondas de radiación electromagnética tienen longitud de onda.

La letra griega  $\lambda$  (Lambda) se utiliza para representar la longitud de onda en ecuaciones. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda. Una longitud de onda larga corresponde a una frecuencia baja, mientras que una longitud de onda corta corresponde a una frecuencia alta.

La longitud de ondas de las ondas de sonido, en el rango que los seres humanos pueden escuchar, oscilan entre menos de 2 cm (una pulgada), hasta aproximadamente 17 m (56 pies).

La longitud de onda en la banda VHF (para la TV) está comprendida entre 1 m y 10 m, razón por lo que se llama ondas métricas. A las ondas de la banda HF se le llama ondas decamétricas por que se miden en decámetros, a la banda MF hectométricas, a las de LF Kilométricas entre 1 Km y 10 Km. Las ondas utilizadas en telefonía móvil (en la banda UHF) tienen una longitud de unos pocos centímetros.

### 2.3.4. BANDA RADIOELÉCTRICA

La división del espectro radioeléctrico en bandas ha sido un tanto variable, pero es comúnmente aceptada. En la imagen se presenta la designación de cada banda y los servicios típicos que tienen asignados. Una banda de frecuencias que reviste un interés especial para comunicación por radio son las frecuencias de microondas, las cuales cubren el rango de 500

MHz a 40 GHz y superiores. Esta banda ha sido dividida a su vez en varias bandas denominadas por letras desde los años cuarenta. La designación de las bandas de microondas aparece en la Tabla.

| Frecuencias típicas          |              | Designación de las bandas |            |
|------------------------------|--------------|---------------------------|------------|
| Radiodifusión AM             | 535-1605 KHz | Banda-L                   | 1-2 GHz    |
| Radio onda corta             | 3-30 MHz     | Banda-S                   | 2-4 GHz    |
| Radiodifusión FM             | 88-108 MHz   | Banda-C                   | 4-8 GHz    |
| TV VHF (2-4)                 | 54-72 MHz    | Banda-X                   | 8-12 GHz   |
| TV VHF (5-6)                 | 77-88 MHz    | Banda-Ku                  | 12-18 GHz  |
| TV UHF (7-13)                | 174-216 MHz  | Banda-K                   | 18-26 GHz  |
| TV UHF (14-83)               | 470-809 MHz  | Banda-Ka                  | 26-40 GHz  |
| Telefonía móvil GSN,<br>DECT | 900,1800 MHz | Banda-U                   | 40-60 GHz  |
| Hornos Microondas<br>(ISM)   | 2,45 GHz     | Banda-V                   | 60-80 GHz  |
| LDMS                         | 26-28 GHz    | Banda-W                   | 80-100 GHz |

Tabla 2.2. Espectro utilizado por diferentes servicios y designación de las bandas de microondas.

Fuente: (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

Con esta información se requiere resaltar una realidad de plena vigencia: la radiocomunicación está presente en la vida actual a través de la radio, tanto AM como FM, y la televisión, en forma de llamada telefónica, aunque el usuario no siempre sea consciente de que su interlocutor está a centenares o miles de kilómetros y que su voz pasa por radioenlaces, estaciones terrenas y trasponedores bordo de satélites, o quizá está moviéndose libremente por la calle de una ciudad de cualquier país del mundo.

El desarrollo de la tecnología de radio a derivado también en sistemas RADAR (Radio Detection And Ranging) para la detección, localización y seguimiento de blancos lejanos, tanto marinos como aéreos y terrestres, principalmente con fines militares pero también ayudando el tráfico aéreo civil, al guiado de naves espaciales, a determinar la situación meteorológica, etc. Igualmente son importantes las técnicas de radio determinación y radiolocalización.

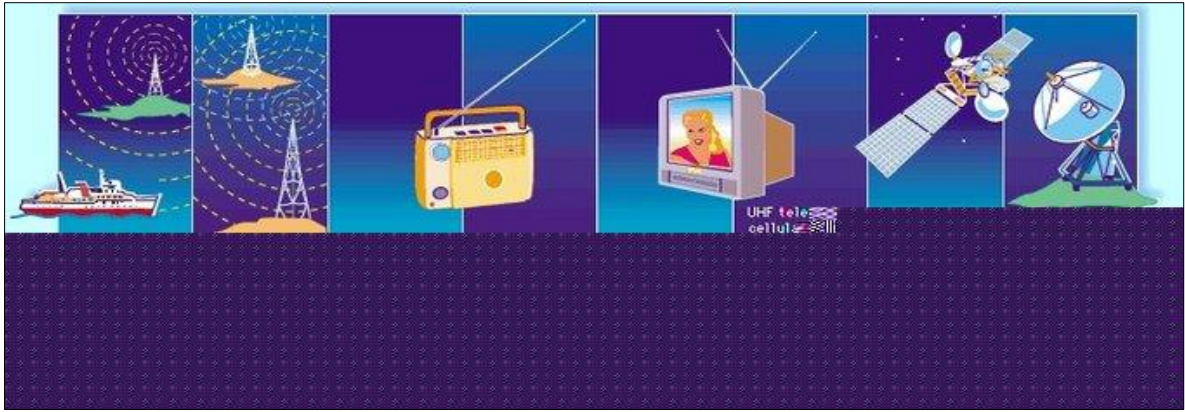


Figura 2.2. Espectro radioeléctrico.

### 2.3.5. LA ONDA CORTA

La Onda Corta, también conocida como SW (del inglés Short Wave) o HF (High Frequency) es una banda de radiofrecuencias comprendidas entre los 3 MHz y los 30 MHz (longitud de onda comprendida entre 100 y 10 m) en la que transmiten (entre otras) las emisoras de radio internacionales para transmitir su propagación al mundo y las estaciones radiofónicas.

Las ondas electromagnéticas siguen un camino que puede ser recto o curvo, dependiendo de su frecuencia. Cuanta más alta la frecuencia. Cuenta más alta es la frecuencia más recto es el camino, porque cuando más se parecen a las ondas de luz. Así que la UHF y de ahí para arriba se propagan en línea recta. Mientras que las ondas muy bajas frecuencia, las de onda larga pueden doblarse y, siguiendo el terreno, pueden incluso dar la vuelta al mundo. Por lo contrario, las ondas de radio o de TV en muy alta frecuencia requieren que se vean el emisor y receptor.

¿Qué ocurre en la onda corta? Lo que ocurre es que se manda hacia el cielo, en lugar de hacerlo "apuntando" al destino; en la parte alta de la atmosfera hay un conductor que hace que esa onda corta rebote y vuelva hacia la Tierra, llegando así a su destino, que puede estar fuera del alcance visual.

Esa parte alta de la atmosfera recibe el nombre de ionosfera, porque está constituida por iones, que se forman por incidencia de la luz del sol (fotones) sobre las moléculas y son como una malla que obliga a rebotar a la onda corta.

Un ion es un átomo o molécula al que se le arrancado un electrón. Cuando se crea un ion, se dice que se ioniza la materia. De acuerdo a los postulados de la física cuántica, las radiaciones electromagnéticas constituyen partículas, denominadas fotones. Estas partículas no tienen masa, pero sí energía que es directamente proporcional a la frecuencia de la emisión.

La ventaja es que la ionosfera no es maciza, está formada por iones separados algunos centímetros, decímetros. Una onda de longitud grande no pasa por esa especie de malla, rebota; pero si puede pasar una onda de longitud de onda muy corta, de centímetros.

De manera que para comunicarnos con satélites tenemos que ir a ondas de muy pequeña longitud, entre 1 y 10 cm, que se corresponden con frecuencias muy altas. Por ejemplo, la TV por satélite nos llega en unos 12 GHz, más o menos.

### 2.3.5.1. SERVICIOS QUE UTILIZAN EL ESPECTRO

Los servicios que se ofrece utilizando el espectro radioeléctrico son muchos y variados. Algunos de ellos que se encuentran a continuación: (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

- Telefonía móvil
  1. Hogar y oficina: teléfonos inalámbricos.
  2. Ciudad y carretera (teléfono móvil celular).
  3. Resto del mundo (teléfono vía satélite).
  4. Datos móviles
  
- Televisión (decenas de canales)
  1. Analógica VHF y UHF.
  2. Digital.
  
- Radio (decenas de emisoras)
  1. Amplitud modulada (OM, OL, OC).
  2. Frecuencia Modulada (FM).
  3. Radio Digital (DAB).

### 2.3.6. LA RADIACIÓN

Las ondas de radio son una forma de radiación electromagnética. Otras formas son los rayos infrarrojos, la luz visible, ultravioleta, rayos x y rayos gamma.

Los científicos suponen que la radiación electromagnética tiene una naturaleza dual. Bajo ciertas circunstancias esta actúa como un conjunto de onda, mientras que en otras su comportamiento se explica con más facilidad considerándola como un haz de partículas llamadas fotones.

La radiación electromagnética, tiene que ver con la creación de campos eléctricos y magnéticos con el espacio libre en algún medio físico. Las ondas que se propagan se conocen como ondas electromagnéticas trasversales (Transverse Electro-magnetic Waves TEM), esto significa que el campo eléctrico, el campo magnético y la dirección de recorrido de la onda son perpendiculares entre sí.

En las ondas de radio, las cargas son electrones que se desplazan en un conductor, o conjunto de conductores, conocido como antena.

Las ondas electromagnéticas viajan por el espacio libre (es decir por vacío) y por muchos materiales. Las ondas electromagnéticas no viajan bien por conductores con pérdida, como el agua de mar, debido a que los campos eléctricos causan corrientes que disipan muy rápido la energía de la onda, las ondas de radio.

Se reflejan de los buenos conductores, como el cobre y el aluminio, y se refracta cuando pasan de un medio a otro, de la misma forma como lo hace la luz.

La velocidad de propagación de una onda electromagnética en el espacio libre es la misma que la de la luz, cerca de  $300 \times 10^6$  m/s. La velocidad de propagación está dada por (Blake, 2004)

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon r}} \quad \text{Ecuación (2.23)}$$

Donde

V= Velocidad de propagación en el medio.

C =  $300 \times 10^6$  m/s, la velocidad de propagación en el espacio libre.

$\epsilon r$  = Permitividad relativa del medio.

## 2.3.7. ECUACIONES DE CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO

### 2.3.7.1. ECUACIONES DE MAXWELL

James Clerk Maxwell nació en 1831 en Escocia, con formación en física y matemáticas, trabajo sobre los resultados experimentales de Michael Faraday. En 1865, propuso cuatro ecuaciones en su obra *Dynamical Theory of Electromagnetic Field*, las cuales se presentan a continuación:

| Leyes                 | Expresión diferencial asociada  | Enunciado   |
|-----------------------|---|---|
| Ley de Gauss          | $\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho$  | El flujo del campo eléctrico en una superficie cerrada es proporcional a la carga dentro de la misma.   |
| Ley de Faraday        | $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$                            | La fuerza electromotriz ( <i>fem</i> ) inducida en un circuito, depende de las variaciones temporales del flujo magnético alrededor del circuito.                                   |
| Monopolo              | $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$   | El flujo magnético neto sobre una superficie cerrada es cero.   |
| Ley de Ampère-Maxwell | $\nabla \times \mathbf{B} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ | La tasa de cambio temporal del campo eléctrico, más la corriente estacionaria generada por cargas en movimiento, depende del campo magnético a lo largo de una trayectoria cerrada. |

Tabla 2.3. Representación de las cuatro Ecuaciones de Maxwell.

Fuente: (Perea, 2012)

$E$  y  $B$  representan al campo eléctrico y magnético respectivamente,  $\rho$  es la densidad de carga,  $J$  es la densidad de corriente. La forma de expresar las ecuaciones varia según las unidades utilizadas.

William Kindon Clifford, quien tenia un conocimiento profundo de la física, redujo las cuatro ecuaciones de Maxwell a una sola.

|                                       |
|---------------------------------------|
| $\nabla F = J$ <b>Ecuación (2.24)</b> |
|---------------------------------------|

### 2.3.7.2. ECUACIONES DE POISON Y LAPLACE

La expresión de la ley de Gauss, en el sistema internacional de unidades (SI) de acuerdo a las Ecuaciones de Maxwell corresponde a:

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{Ecuación (2.25)}$$

En donde  $E$  representa un campo eléctrico,  $\rho$  la densidad de carga y  $\epsilon_0$  la permitividad del medio. Debido a que  $E$  es un campo conservativo, se puede escribir como:

$$\nabla \cdot \nabla \Phi = \nabla^2 \Phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{Ecuación (2.26)}$$

En este ejemplo de ecuación de Poisson que expresa el potencial eléctrico según una función escalar. En una región carente de carga esta ecuación se convierte en:

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad \text{Ecuación (2.27)}$$

Así, se obtiene la ecuación de Laplace. (Perea, 2012)

### 2.3.8. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO

En la atmósfera de la Tierra, la propagación del frente de onda-radio puede alterarse por el comportamiento del espacio libre efectos ópticos como la refracción, reflexión, difracción, e interferencia.

Debido a que las ondas de luz son ondas electromagnéticas de alta frecuencia, tiene sentido decir que las propiedades ópticas también se aplican a la propagación de las ondas de radio.

#### 2.3.8.1. REFRACCIÓN

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo conforme pasa oblicuamente, de un medio a otro, con diferentes velocidades de propagación. La velocidad a la cual una onda electromagnética se propaga es inversamente proporcional a la densidad del medio en el cual se está propagando. Por lo tanto, la refracción ocurre siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro medio de diferente densidad.

La cantidad de inclinación o refracción que ocurre en la interfase de dos materiales de diferentes densidades es bastante predecible y depende del índice de refracción (también llamado índice refractivo). El índice de refracción simplemente es la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en un material dado.

$$n = c/v \quad \text{Ecuación (2.28)}$$

Donde

$n$  = índice de refracción (sin unidades).

$C$  = velocidad de la luz en el espacio libre ( $3 \times 10^8$  m/s).

$V$  = velocidad de la luz en un material dado (m/s).



El índice de refracción también es una función de la frecuencia. Sin embargo la variación en la mayoría de las aplicaciones es significativamente y, por lo tanto, reacciona una onda electromagnética, cuando conoce a la interface de dos materiales de transmisión que tiene índice de refracción diferente, puede explicarse con la Ley de Snell. La Ley de Snell simplemente establece que

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2 \quad \text{Ecuación (2.29)}$$

$$\frac{\operatorname{sen} \theta_1}{\operatorname{sen} \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{Ecuación (2.30)}$$

Donde

$n_1$  = índice de refracción del material 1.

$n_2$  = índice de refracción del material 2.

$\theta_1$  = ángulo de incidencia (grados).

$\theta_2$  = ángulo de refracción en (grados).

### 2.3.8.2. REFLEXIÓN

Reflejar significa lanzar o volver hacia atrás, y la reflexión es el acto de reflejar. La reflexión electromagnética ocurre cuando una onda incidente choca con una barra de dos medios y algo de la potencia incidente no entra al segundo material.

Debido a que todas las ondas reflejadas permanecen en el medio 1, las velocidades de las ondas reflejadas e incidentes son iguales. Consecuentemente, el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia ( $\theta_i = \theta_r$ ). Sin embargo la intensidad del campo reflejado es menor que la intensidad del campo de voltaje incidente. La relación de las intensidades de voltaje reflejado a incidente se llama coeficiente de reflexión.

La amplitud relativa de los campos incidentes y reflejados y, además, el desplazamiento de fase que ocurre en el punto de reflexión

$$T = \frac{E_r e^{j\theta_r}}{E_i e^{j\theta_i}} = \frac{E_r}{E_i} e^{j(\theta_r - \theta_i)} \quad \text{Ecuación (2.31)}$$

Donde

$T$  = Coeficiente de reflexión (sin unidades).

$E_i$  = Intensidad del voltaje incidente (volts).

$E_r$  = Intensidad del voltaje reflejado (volts).

$\theta_i$  = Fase incidente (grados).

$\theta_r$  = Fase reflejada (grados).

### 2.3.8.3. DIFRACCIÓN

La difracción se define como la modulación o redistribución de energía, dentro de un frente de onda, cuando pasa del extremo de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas de luz o de radio se propaguen.

Sin embargo, cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo o con discontinuidad de dimensiones comparables en tamaño a una longitud de onda, no se puede utilizar el simple análisis geométrico para explicar los resultados y el principio de Hygens (que deduce las ecuaciones de Maxwell).

La difracción ocurre en el extremo de obstáculo, que permite que ondas secundarias pasen desapercibidas por la esquina del obstáculo a lo que se llama la zona de sombras. Este fenómeno puede observarse cuando se abre una puerta queda aun cuatro obstáculos.

### 2.3.8.4. INTERFERENCIA

Interferir significa entrar en oposición, la interferencia es el acto de interferir. La interferencia de ondas de radio ocurre, cuando dos o más ondas electromagnéticas se combinan de tal forma que el funcionamiento del sistema se degrada.

Por otra parte, la interferencia se sujeta al principio de superposición lineal de ondas electromagnéticas y ocurre cada vez que dos o más ondas ocupan, simultáneamente el mismo punto en el espacio. El principio de superposición lineal indica que la intensidad total indica que la intensidad total de voltaje, en un punto determinado en el espacio, es la suma de los vectores de ondas individuales.

Dependiendo de los dos vectores, puede ocurrir o suma o resta (Esto implica simplemente que el resultado puede ser más o menos que cualquiera de los vectores, por que las dos ondas electromagnéticas pueden reforzar o cancelar).

Para frecuencias por debajo de VHF, las longitudes de onda relativamente grandes evitan que la interferencia se convierta en un problema importante. Sin embargo, con UHF y superiores, puede ser severa la interferencia de ondas. (Tomasi, 2003)

## 2.4. ANTENAS DE RADIOCOMUNICACIÓN

### 2.4.1. DEFINICIÓN DE ANTENA

Las líneas de transmisión suelen utilizarse para conectar generadores de señales a antenas transmisoras, o bien antenas receptoras a circuitos receptoras a circuitos detectores, donde las antenas son dispositivos recíprocos.

Cuando una antena de transmisión alimenta a una antena, esta una impedancia que depende de la frecuencia, y si la antena está adaptada a la línea, toda la energía transmitida a lo largo de esta se disipa en aquella y es radiada (salvo pérdidas producidas en la propia antena).

Desde el punto de vista del diseñador de antenas existen varios parámetros que intervienen en las especificaciones de su diseño, siendo de interés primordial los siguientes: el diagrama polar, el ancho del haz, el ancho de banda y la impedancia; siendo también importantes las especificaciones mecánicas, tales como sus dimensiones, peso, forma y material.

## 2.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS

### 2.4.2.1. DIAGRAMAS DE RADIACIÓN O DE DIRECTIVIDAD

Las antenas emiten ondas electromagnéticas, y en la mayor parte de las aplicaciones el principal parte estará centrado en la intensidad de las ondas en un punto distante. Para definir lo que es un punto distante, hemos de tener las dimensiones de la antena y la longitud de onda de la radiación emitida, pero en principios se refiere a la región de espacio en donde puede considerarse que la onda es plana y perpendicular la dirección de la antena.

A una distancia fija  $R$  de la antena se sitúa un detector, y se mide el campo  $E$ , cuyo valor varía con el ángulo  $\theta$  que forma con la línea de referencia  $\theta = 0$ . Dicha variación de  $E$  en función de  $\theta$  constituye lo que se denomina el diagrama de radiación o de directividad de la antena en el plano concreto en que se efectuó la medida.

Es evidente que el diagrama de radiación de cualquier antena es tridimensional y que, por lo tanto, para representarlo completamente, las medidas deben realizarse al menos en dos planos ortogonales.

La dirección de referencia,  $\theta = 0$ , se suele tomar normal al plano de la antena. Para antenas simétricas esta dirección es la del lóbulo principal.

### 2.4.2.2. LOBULOS

A veces lo que nos interesa es la potencia absoluta radiada en una dirección particular; por ejemplo la potencia real de salida de un emisor de radiodifusión determinará el alcance al que puede ser detectada la emisión. Sin embargo, suele ser normal, donde se muestra el diagrama de radiación, y entonces se utiliza un diagrama normalizado, con magnitudes trazadas respecto al máximo del lóbulo principal, cuyo valor se toma como unidad.

La dimensión finita de la longitud de onda, en relación con las dimensiones de la antena, hacen que se produzcan efectos de difracción en forma de lóbulos laterales. Estos lóbulos laterales, separados del lóbulo principal y entre sí por nulos o mínimos de campo, representan generalmente ineficiencias de la antena. En la mayor parte de las aplicaciones, el diseñador de antena procurará mantener al mínimo los niveles de estos lóbulos laterales.

### 2.4.2.3. ANCHO DEL HAZ

Una posible definición del ancho del haz podría ser la distancia entre los nulos existentes a cada lado del lóbulo principal.

En el diagrama de radiación, en la práctica su utilización presenta tres desventajas:

- Puede no haber ningún nulo.
- Si existe un nulo, su posición exacta puede ser difícil de precisar.

- El nivel de campo detectable en cualquier medida práctica está muy por encima del campo nulo.

Se define al ancho del haz como la separación angular, en un plano dado, entre los puntos situados a ambos lados del lóbulo principal que se encuentren a 3 dB por debajo de la potencia máxima. El ancho del haz será la distancia angular entre los puntos situados a ambos lados del lóbulo principal cuyo valor de campo será igual a  $1/\sqrt{2}$ .

#### 2.4.2.4. IMPEDANCIA Y ANCHO DE BANDA DE LA ANTENA

Las antenas son de dos tipos: resonantes y no resonantes. Las primeras tienen unas dimensiones de media longitud de onda aproximadamente, uno de sus múltiplos, y las segundas no cumplen esta condición. Es particularmente notable la diferencia entre los dos tipos, en los que se refiere la impedancia y al ancho de banda.

En los sistemas resonantes, la impedancia y el ancho de banda varían notablemente cuando apenas varía la frecuencia de fundamentos: la impedancia cambia de ser reactancia negativa, a reactancia pura, y la reactancia positiva, según la frecuencia, pasa por estar por debajo a estar por encima de la frecuencia de resonancia.

La impedancia en función de la longitud de onda para el caso de un dipolo. Las proximidades de la frecuencia de resonancia, es decir, para  $l = \frac{\lambda}{2}$ , existe un cambio brusco de la impedancia con la frecuencia, lo que da como resultado un ancho de banda pequeño. Esto significa que las características de la antena dependen mucho de la frecuencia, en cambio en las antenas no resonantes, el diagrama de radiación o la impedancia de entrada no varían tanto con la frecuencia, y a veces se denomina de banda ancha.

#### 2.4.2.5. GANANCIA

En cualquier antena físicamente realizable, existe una dirección para la cual la densidad de potencia es máxima. Para dar un valor cuantitativo a este máximo, se le compara con alguna referencia, siendo la más común la densidad de potencia que la misma dirección tiene una antena isotrópica, antenas cuyo diagrama de radiación de diagrama esférica. No existe ningún dispositivo real que produzca este diagrama, pero es útil herramienta teórica para la comparación de ganancias. Hay que distinguir dos tipos de ganancia. Comprensiblemente, la potencia aplicada debe ser la misma en la isotropa y en la comparada; sin embargo, esta puede referirse a la potencia de entrada o la potencia total radiada. Para la isotropa, que no tiene pérdidas, las potencias de entrada y radiada son idénticas, pero para la antena bajo prueba existen pérdidas que reducen su rendimiento o eficiencia en cierto porcentaje, dando como resultado una diferencia entre estos dos valores de ganancia.

La ganancia directiva ( $D$ ) y la ganancia de potencia ( $G$ ), donde  $D$  supone potencias radiadas iguales y  $G$  potencias de entrada iguales para ambas antenas, isotropa y bajo prueba.

Por lo tanto, podemos establecer la relación

|          |                        |
|----------|------------------------|
| $G = kD$ | <b>Ecuación (2.32)</b> |
|----------|------------------------|

Donde  $k$ , es un factor de eficiencia, es el cociente entre la potencia total radiada y la potencia total de entrada en la antena en estudio.

#### 2.4.2.6. ÁREA EFECTIVA

Si la antena conectada en sus terminales una carga adaptada, la cual está sometida por una onda electromagnética con una intensidad de campo eléctrico de valor eficaz, la potencia  $P_R$  que la antena que se encuentra puesta a la carga se expresa en función de la longitud efectiva de dicha antena como se muestra

$$P_R = \frac{V_{OC}^2}{4R_a} = \frac{E^2 l_{eff}^2}{4R_a} \quad \text{Ecuación (2.33)}$$

En el caso de una antena formada por un dipolo herciano, la longitud efectiva es  $l_{eff} = dl$ , la potencia entregada a la carga se escribe como

$$P_R = \frac{E^2 (dl)^2}{4R_a} = \frac{E^2 \lambda^2}{320\pi^2} \quad \text{Ecuación (2.34)}$$

Tomando la densidad superficial de potencia de la onda electromagnética es  $\frac{E^2}{\eta}$  donde se sabe que la antena actúa como un colector de energía de área  $A_e$ , por lo tanto la potencia que se obtiene es

$$P_R = \frac{E^2}{\eta} A_e \quad \text{Ecuación (2.35)}$$

La ecuación del área efectiva para el dipolo herciano es

$$A_e = \frac{3}{2} \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad \text{Ecuación (2.36)}$$

Esta ecuación es válida para un elemento de corriente, pero tomando en consideración la expresión de ganancia directiva máxima es  $D_o = \frac{3}{2}$ , el concepto del área efectiva es generalizado a cualquier tipo de antena, de la siguiente manera

$$A_e = D_o \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad \text{Ecuación (2.37)}$$

#### 2.4.2.7. CAMPO DE INDUCCIÓN

La región cercana (zona Fresnel), está ocupada principalmente por el campo de inducción, campo que no radia. La energía se almacena, durante medio ciclo, en los términos de campo de tipo  $\frac{1}{r^2}$ , y vuelve a la antena durante el medio ciclo siguiente. Los términos en  $\frac{1}{r^3}$  están confinados en una región muy próxima a la antena, y a medida que  $r$  aumenta llegan a ser despreciables.

#### 2.4.2.8. CAMPO DE RADICIÓN

En el campo lejano (zona de Fraunhofer), solo son significativos los términos  $\frac{1}{r}$  y son los que proporcionan la emisión del flujo de energía desde la antena.

Se comentó que en la mayor parte de las aplicaciones en el campo lejano, razón por la que los diagramas de radiación o directividad corresponden a dicha zona. La distancia a la antena, en la cual comienza a predominar el campo de radiación, se puede hallar mediante las ecuaciones precedentes, comparado, a la longitud de onda deseada, los coeficientes de los términos en  $\frac{1}{r}$  y en  $\frac{1}{r^2}$  para varios valores  $r$ .

#### 2.4.2.9. REDES DE ANTENAS

El diagrama de radiación horizontal circular la antena de dipolo no ser satisfactorio en ciertas aplicaciones. Colocando varios dipolos alineados, el diagrama puede modificarse para conseguir una gran variedad de diagramas de radiación que dependerán de los parámetros de la red. Empezando por la red más sencilla, la formada por dos elementos, después se considera redes de varios elementos alineados e igualmente espaciados.

#### 2.4.2.10. ADAPTACIÓN DE ANTENAS

El rendimiento de la conexión entre la línea de transmisión de la alimentación y la antena depende de la adaptación entre las impedancias de la una y la otra. En las aplicaciones de banda estrecha la impedancia de las antenas se puede calcular, o se puede medir, y se puede utilizar una línea de transmisión apropiada, con unidad de adaptación en caso de que fuera necesario. En la de banda ancha, sin embargo, puede que tal adaptación no sea posible. Las antenas no resonantes tienen un gran margen de funcionamiento en cuanto al ancho de banda, ya que la variación de su impedancia con la de la frecuencia es menor pronunciada que en el caso de las estructuras resonantes. Se puede apreciar el efecto de la resonancia en la impedancia de las terminales de la antena, considerando un simple dipolo de media onda.

La impedancia en resonancia del dipolo en media onda es aproximadamente de  $73 \Omega$  y, por lo tanto, un cable que tenga una impedancia característica nominal de  $75 \Omega$  proporcionara una buena adaptación. Sin embargo, para ciertas aplicaciones es más apropiado un cable simétrico de  $300 \Omega$ , la cual se adaptara a la impedancia característica de la línea.

### 2.4.2.11. ELEMENTOS PARASITOS

Utilizando varios dipolos en línea se puede conseguir una antena más directiva, pero esto no siempre es conveniente. Los circuitos de alimentación, que tiene que suministrar a cada elemento corrientes determinadas en módulo y fase, aumentan la complejidad y por lo tanto el coste de la antena.

Un elemento parásito no lleva ningún cable de alimentación; se coloca cerca del elemento excitado y capta corriente de él por medio de la inductancia mutua. El elemento parásito, por lo tanto, opera como un radiador más débil y separado, y el diagrama de radiación resultante es combinación de la radiación de ambos, el dipolo excitado y el parásito.

Alternativamente, un elemento parásito colocado atrás del elemento excitado actúa como reflector, sumándose la energía radiada a la emitida por el excitado, esta vez también en el sentido frontal.

Usando muchos elementos directores, como ocurre en una antena común de VHF, se consigue un haz altamente directivo. Cuando se usa en modo de recepción, este tipo de antena es más sensible en el sentido frontal, y por lo tanto discrimina las señales procedentes de otras direcciones. El ancho del haz disminuye conforme aumenta el número de elementos. (Dunlop & Smith, 1988)

### 2.4.3. TIPO DE ANTENAS

#### 2.4.3.1. DIPOLO

El dipolo aporta su máxima efectividad cuando mide la mitad de la longitud de onda de la frecuencia a transmitir. Por ejemplo de una emisora de FM que esta alrededor de los 100 MHz emite una longitud de onda de entre 1 m y 10, exactamente 3m, la antena ideal de FM es una antena de 1.5 m. En la TV de VHF la frecuencia más baja, aquí es del orden de los 60 MHz, con longitudes de onda del orden de 5 m, por lo tanto, la longitud de la antena será de 2.5 m. El tamaño puede ser una objeción a la hora de manejar el dipolo.

El dipolo plegado tiene un poco menor de efectividad, es decir, recibe peor los voltios o envía un poco menos de señal, pero la diferencia no es significativa.

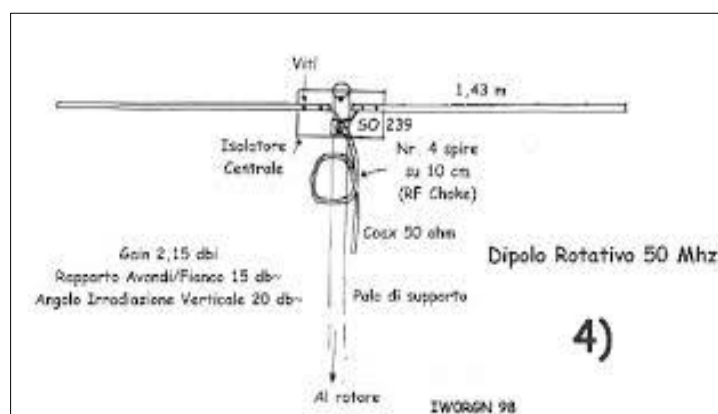


Figura 2.3. La estructura una antena dipolo sencilla.

### 2.4.3.2. BALUNS

El dipolo es una carga balanceada, esto quiere decir que las dos ramas tienen la misma impedancia respecto a la tierra, y por tanto debe ser alimentado por una línea de transmisión balanceada, como puede ser una línea bifilar. Sin embargo la línea de los transmisores de alta frecuencia es desbalanceada, y utiliza cables coaxiales con uno de sus conductores conectados a tierra, así que se debe transformar de un dispositivo desbalanceado en otro balanceado. Estos dispositivos se conocen como baluns (BALANCED UNbalanced).

Las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  son iguales y opuestas. La corriente  $I_2$  se divide en  $I_3$  e  $I_2 - I_1$  que fluye por la segunda rama del dipolo. La corriente  $I_3$  depende de la impedancia efectiva respecto a tierra,  $Z_g$ , proporcionada por el trayecto exterior del conductor.

Otros tipos de baluns son los de ferrita, cuyo uso se restringe a las bajas frecuencias, colocándose, por ejemplo, entre la antena y la entrada de la misma en el receptor de televisión.

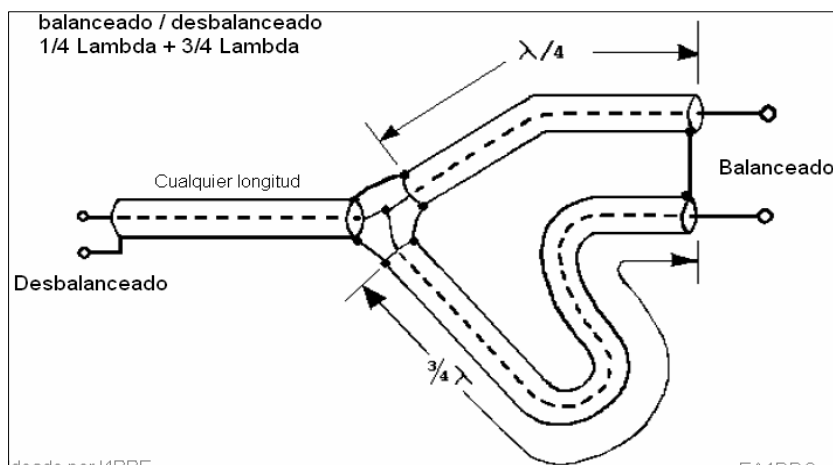


Figura 2.4. La estructura de una antena Balun.

### 2.4.3.3. DIPOLO DOBLE

Para aumentar la impedancia de la antena se puede utilizar el dipolo doble, que consiste en dos dipolos de igual diámetro, próximos y conectados en los extremos. Su funcionamiento se puede comprender a partir de un hipotético dipolo de longitud  $\lambda$  que diera continuación a la distribución de corriente de dipolo  $\frac{\lambda}{2}$ .

Se tiene dos dipolos  $\frac{\lambda}{2}$  que están en paralelo, por lo que sus campos se duplican proporcionando una potencia cuatro veces mayor al ser alimentados por la misma corriente que el dipolo simple, lo que a su vez indica que la impedancia aumenta cuatro veces. El dipolo doble presenta también mayor ancho de banda motivado por el hecho de que, al distribuir la frecuencia, el diodo será capacitivo, pero la conexión del otro dipolo se compensa inductivamente, y por encima de resonancia también ocurre la compresión, todo lo cual provoca que la banda sea mayor. La alimentación del dipolo doble se pueda realizar mediante una línea bifilar de  $300 \Omega$ .



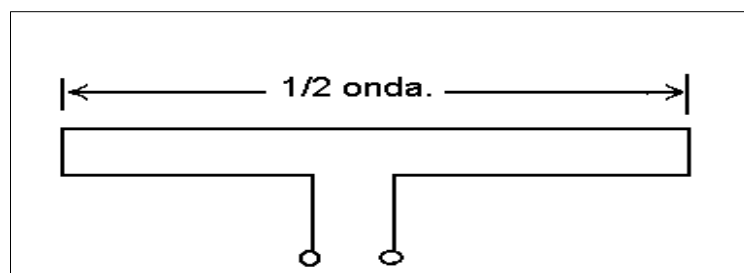


Figura 2.5. Estructura de una antena de Dipolo doble o doblado.

#### 2.4.3.4. ANTENAS PARA VHF

##### ➤ *Yagi-Uda*

Una antena sumamente popular es la Yagi-Uda que es un array compuesto por un dipolo (elemento activo) y por elementos paracitos no alimentados, que actúan como reflectores o como directores. Si el elemento parasito se hace menor que el dipolo, se conoce como director, y la radiación se produce en su sentido. Lo común es usar ambos elementos.

Se puede alcanzar una directividad de 3 si se utilizan un reflector y un director, y ganancias de hasta 14 dB o más con antenas de 8 a 10 elementos. Un gran inconveniente de la Yagi es su baja impedancia, típicamente puede ser de  $20 \Omega$  para un dipolo de media onda como elemento principal. Una solución consiste en utilizar un dipolo doble. Otro inconveniente es su escaso ancho de banda, del orden de 20 – 30 %, con lo cual si sirve para canales de VHF, no servirá generalmente, para otros de VHF ni, en absoluto, para UHF.

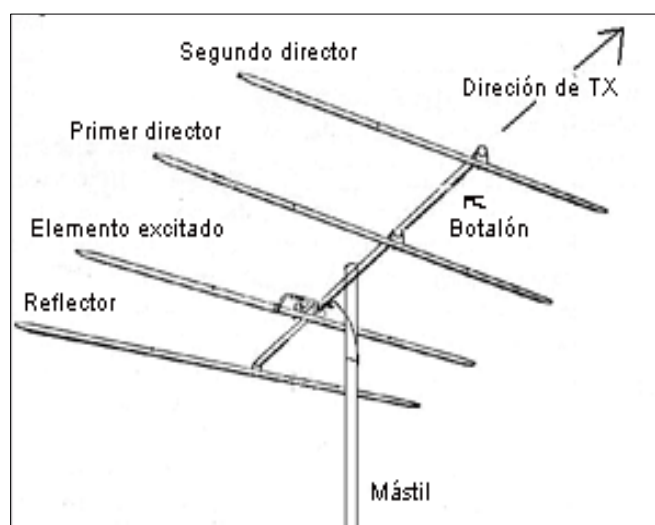


Figura 2.6. Estructura de una antena Yagi-Uda.

➤ **Periodica-logarítmica**

Esta antena se aprecia un significativo incremento del ancho de banda que aprovecha la idea básica de utilizar elementos de longitud variable que resuenen a diferentes frecuencias.

La regla de variación de la antena es

$$\frac{x_k}{x_{k-1}} = \frac{l_k}{l_{k-1}} = \frac{d_k}{d_{k-1}} = \frac{a_k}{a_{k-1}} = \tau \quad \text{Ecuación (2.38)}$$

Donde  $\tau$  es una constante de diseño (comprendida entre 0.8 y 0.96) y  $l_k$ ,  $d_k$  y  $a_k$  representa la longitud, la distancia y el diámetro del elemento  $k$ , respectivamente. Para evitar el fenómeno de reflexión que se producirá alimentando el dipolo más corto, por lo que se interconectan cada uno de los elementos y de esa forma se consigue que el patrón se oriente hacia la izquierda, para lo cual se logra alcanzar una ganancia entre los valores de 8 a 12 dB.

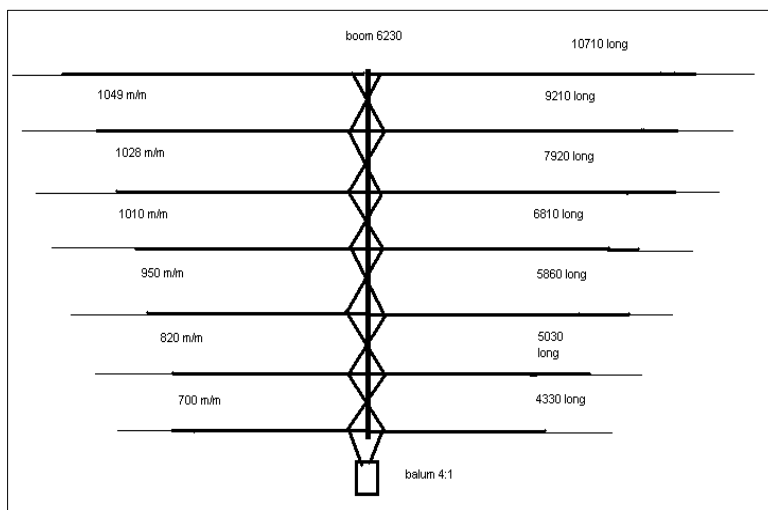


Figura 2.7. Estructura de una antena Logarítmica-Periódica.

#### 2.4.3.5. ANTENAS PARA UHF Y SHF

En UHF donde se llegan usar arrays igual que VHF, pero en el rango mayor de la banda se específicamente se ve en SHF (3-30 GHz), los elementos son muy pequeños por lo que las antenas se emplean de forma de abertura: bocinas, paraboloideas, de ranuras, de parches y de microtips, etc.

➤ **Antenas de bocina**

Las guías de onda son frecuentemente utilizadas para alimentar los reflectores parabólicos e lo especial con la terminación de una antena de tipo bocina. En una antena de bocina de longitud fija, la ganancia es máxima si el ángulo de ensanchamiento se incrementa hasta el momento

que logra ser perpendicular a la misma con un error de fase de  $0.75\pi$  en el plano  $H$  y de  $0.5\pi$  en el plano  $E$ .

Donde la directividad se describe de la siguiente manera

$$D = \frac{6.4ab}{\lambda_0^2} \quad \text{Ecuación (2.39)}$$

Siendo  $a$  el ancho de la abertura, y  $b$  la altura de la misma.

Para los puntos situados a una cierta distancia de la antena, se cruzan los campos producidos por la parte central de la abertura, en la parte central de antena mencionada, al igual que los campos que se producen en los bordes de la misma. Por lo cual puede producir un corte parcial de los campos, se buscan valores  $a$  y  $b$  que no se manejen valores de error de fase.

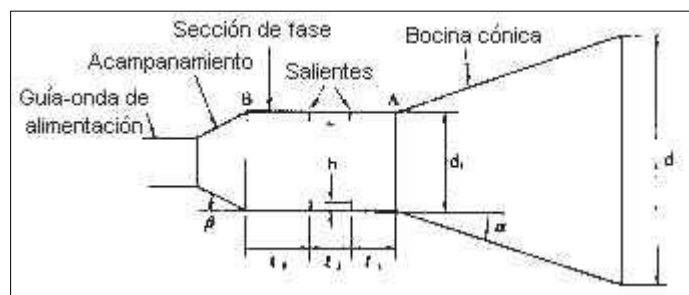


Figura 2.8. Estructura de una antena de Bocina.

### ➤ Reflector parabólico

A frecuencias de microondas, el reflector parabólico es el tipo de antena más ampliamente utilizado en los sistemas de comunicaciones. Este tipo de antena está constituida por un paraboloide metálico donde se ilumina por una antena de bocina situada en su foco. Los rayos que se originan son reflejados en dirección paralela partiendo del eje de la antena, siendo radiados hacia la superficie.

En las antenas reales se encuentran pérdidas debido al desbordamiento y pérdidas por la abertura por las variaciones de la fase, a los campos de la polarización cruzada, etc. Por lo cual contribuye a la eficiencia de la antena que sea menor a 1. La ganancia de la antena es

$$G = e_s \lambda_a \frac{4\pi}{\lambda_0^2} \pi a^2 \quad \text{Ecuación (2.40)}$$

Donde  $a$  es el radio de la sección circular de la antena parabólica,  $e_s$  es un término de la eficiencia real que tiene en cuenta el desbordamiento de la parábola y es el término de la eficiencia que compara la abertura de la antena. (Crespo, 2008)

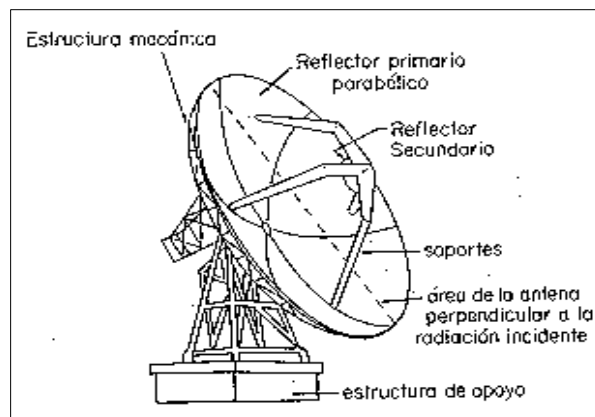


Figura 2.9. Estructura de una antena Parabolica.

## 2.5. CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN RADIOELECTRICO

### 2.5.1. SINTETIZADORES DE FRECUENCIA

Sintetizador significa forma una entidad al cambio partes o elemetos. Un sintetizador de frecuencia se utiliza para generar muchas frecuencia se utiliza para generar muchas frecuencias de salida a traves de la suma, resta, multiplicación y división de un número mas pequeño de fuente fijas de frecuencias. Dicho en forma mas sencilla, un sintetizador de frecuencia es un generador de frecuencias variables controlado por cristales. El objetivo de un sintetizador es doble. Debe producir tantas frecuencias como sea posible con un número minimo de fuentes, y cada frecuencia tiene que ser tan exacta y establece como cualquier otra frecuencia. El sintetizador idel de frecuencia puede generar cientos o hasta miles de frecuencias distintas con un oscilador de cristal simple. un sintetizador puede ser capaz de generar simultaneamente una frecuencia de salida, y puede ser sincrona cada frecuencia a una sola referencia o a una frecuencia maestra del oscilador. Los sintetizadores de frecuencia (a una sola referencia a una frecuencia maestra del oscilador) se utilizan extensamente en equipos de prueba y de medición (generadores de señal para audio y RF), equipo para la generación de tonos para marcar, unidades de control remoto (sintetizadores electrónicos), sistemas de comunicaciones de canales multiples (telefonía) y sintetizadores de música.

Hay dos métodos para la síntesis de frecuencia: directa e indirecta.

#### 2.5.1.1. SINTESIS DE FRECUENCIA DIRECTA

##### **Sintetizador de frecuencia de cristal múltiple.**

Sintetizador de frecuencia de cristales múltiples que utilizan mezclas no lineales y filtración para producir 128 frecuencias diferentes sintetizan un rango de frecuencias desde 510 a 1790 KHz espacios de 10 KHz. Un sintetizador asi puede utilizarse para generar frecuencias portadoras para las 106 estaciones radiofusoras de banda AM (540 a 1600 KHz).

**Sintetizador de frecuencia de un solo cristal.**

Un sintetizador de frecuencias de cristal simple nuevamente utiliza la suma, resta, multiplicación y división para generar frecuencias ( en espacios de 1 KHz) desde 1 a 999.999 Hz. Un cristal de 100 KHz es la fuente para el oscilador maestro de donde se deriva todas las frecuencias.

La frecuencia del oscilador maestro es una frecuencia base que repetidamente se divide en 10 para generar cinco frecuencias subbase adicionales (10 KHz, 1 KHz, 100 Hz, 10 Hz y 1 Hz). Cada frecuencia subbase se alimenta a un generador armonico separado (multiplicador de frecuencias), que consiste de un amplificador no lineal con un filtro sintonizable.

**2.5.1.2. SINTETIZADORES DE FRECUENCIA INDIRECTA****Sintetizadores de frecuencia de lazo de fase cerrada.**

Los sintetizadores de frecuencia PLL se han convertido rapidamente en el metodo mas popular para la síntesis de frecuencia. La referencia para una frecuencia estable en un oscilador controlado por cristal. El rango de las frecuencias generadas y la resolucion dependen de la red divisora y la ganancia de lazo abierto. El divisor de frecuencia es un circuito para dividir entre n, en donde n es cualquier numero entero, la forma mas sencilla de un circuito divisor es un contador digital ascendente-descendente programable con una frecuencia de salida de  $f_c = f_0/n$ , en donde  $f_0$  = la frecuencia de salida de  $V_{CD}$ .

Una forma de remedir este problema es programar la ganancia del amplificador asi como la relación de divisor. Por lo tanto, la ganancia de lazo abierto es

$$K_v = [n(K_d)(K_a)(K_0)]\left(\frac{1}{n}\right) = n(K_d)(K_a)(K_0) \quad \text{Ecuación (2.41)}$$

Para sintetizador de frecuencia que utiliza un lazo de fase cerrada y un elemento preescalar para realizar división fraccional. El preescalamiento tambien es necesario para generar frecuencias mayores 100 MHz por que no estan disponibles los contadores programables que operan de manera eficiente a frecuencias altas.

Un modo proporciona una salida por cada pulso de entrada (P), y el otro modo proporciona una salida para cada pulso de entrada P+1.

Matematicamente, la frecuencia de salida para el sintetizador  $f_o$  es

$$f_o = \left(n + \frac{m}{p}\right) P f_i \quad \text{Ecuación (2.42)}$$

En consecuencia , una vez que los registros m y n han sido cargados inicialmente, el elemento preescalar contara haci abajo (P+1) m veces hasta que el contador m se va a cero, el elemento preescalar opera en el modo P, el contador n cuenta hacia abajo (n-m) veces.

**2.5.2. FILTROS**

Los filtros son dispositivos que toman una forma de onda de entrada y modifica el espectro de frecuencia para producir la forma de onda de salida. Puede clasificarse de varias maneras, y una de ellas es por el tipo de material empleado, como elementos LC o Crista de cuarzo es por el tipo de función de transferencia que se lleva acabo, como las respuestas de Butterworth o Chebyshev.

Los filtros utilizan elementos de almacenamiento de energía para obtener una discriminación de frecuencia. Es cualquier filtro físico, los elementos de almacenamiento de energía son imperfectos. Por ejemplo una bobina o inductor físico posee en serie e inductancia, mientras un condensador o capacitor tiene alguna resistencia a fugas y capacitancia. Lo cual se puede definir cual es la calidad  $Q$  de un elemento de circuito o filtro.

Primera definición se enfoca en la eficiencia de almacenamiento de energía en un circuito el cual es

$$Q = \frac{2\pi (\text{maxima energia almacenado durante un ciclo})}{\text{energia disipada por ciclo}} \quad \text{Ecuación (2.43)}$$

La segunda definición se enfoca a la selectividad de frecuencia de un circuito y es

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad \text{Ecuación (2.44)}$$

Donde

$f_0$  = A la frecuencia de resonancia.

$B$  = El ancho de banda a 3 dB.

En este caso, conforme mas grande sea la  $Q$ , lo mejor es la selectividad de frecuencia ya que, para una  $f_0$  dada, el ancho de banda sera mas pequeño.

Para aplicaciones de filtrado pasabanda, la selectividad de frecuencia es la característica deseada, así que en estos casos se utiliza la ecuación de selectividad de frecuencia. Si se diseña un filtro pasivo (no necesariamente un circuito sintetizado a una sola frecuencia) con frecuencia central  $f_0$  y un ancho de banda 3dB.

Los filtros que emplean elementos  $L$  y  $C$  (concentrados se vuelven impracticos en su construcción arriba de 300 MHz por que la capacitancia e inductancia parasitas de las terminales afectan significativamente la respuesta de frecuencia para el caso de altas frecuencias.

Los filtros activos, los cuales utilizan amplificadores operacionales (opamp) con elementos de circuito RC, son practicos por debajo de 500 KHz debido a que los opamp requieren de un valor grande a la ganancia de lazo abierto sobre la banda operacional. Para filtros de muy baja frecuencia generalmente se prefieren los RC activos en lugar de los LC pasivos por que el tamaño de los componentes LC crece y la  $Q$  de las inductancias disminuye en este rango de frecuencias.

- Los filtros de cristal se fabrican a partir de elementos de cristal de cuarzo, los cuales actúan como circuitos resonantes en serie con una capacidad en paralelo causado por el soporte (montadura). Por lo tanto, es posible obtener un modo de operación resonante en paralelo y otro en serie. El elemento de cuarzo se vuelve demasiado pequeño para su fabricación arriba de 100 MHz, y por debajo de 1 KHz el tamaño del elemento se vuelve extremadamente grande. Los filtros de cristal suministran un excelente rendimiento debido a la Q inherentemente alta de los elementos, pero a su vez son más caros que los LC y de cerámica.
- Los filtros mecánicos utilizan las vibraciones de un sistema mecánico resonante para obtener la acción de filtrado. Dicho sistema generalmente consiste en una serie de discos separados a lo largo de un vástago para convertir las señales eléctricas a vibraciones mecánicas a la entrada y viceversa a la salida.
- Los filtros cerámicos se construyen a partir de discos piezoeléctricos de cerámica con conexiones a electrodos con recubierta de metal en lados opuestos de disco.
- Los filtros de onda acústica de superficie (SAW, por sus siglas en inglés) utilizan ondas acústicas que se lanzan y viajan a través de la superficie de sustrato piezoeléctrico (plancha). En este sustrato se depositan *dedos* metálicos entrelazados. La señal de voltaje en los dedos se convierte en una señal acústica (y viceversa) como resultado del efecto piezoeléctrico. La geometría de los dedos determina la respuesta de frecuencia del filtro y proporcional el acoplamiento de la entrada y salida.
- Los filtros en línea de transmisión utilizan las propiedades de resonancia de estas a circuito abierto o corto circuito. Estos filtros son útiles en frecuencias de UHF y de microondas, en los cuales las longitudes de onda son lo suficientemente pequeñas para que se puedan construir filtros para frecuencias de microondas en las cuales el tamaño de la cavidad se hace demasiado pequeño para hacerlo práctico.
- El filtro de Cheby-shev se emplea cuando se requiere de una característica aguda de atenuación para un número mínimo de elementos de circuito.
- El filtro de Bessel se usa a menudo en la transmisión de datos cuando la forma de pulsos debe preservarse, ya que intenta mantener una respuesta de fase lineal en la banda de paso.
- El filtro de Butterworth se utiliza a menudo como un compromiso entre las características de Chebyshev y Bessel.

### 2.5.3. AMPLIFICADORES

Para fines del análisis de los circuitos electrónicos, y en específico los amplificadores se clasifican en dos categorías principales; no lineales y lineales. Para la parte práctica los circuitos no lineales estos son de esta forma, en cierto grado pero para niveles altos si son potencialmente no lineales. El análisis de circuitos lineales se emplean a menudo para los niveles bajos de una real, ya que sintetiza el sistema y responde de manera exacta si el nivel de la señal es mínimo.

Los principales amplificadores lineales y no lineales se pueden clasificar en dos subcategorías las cuales se denominan circuitos con memoria y sin memoria.

- Circuitos con memoria contienen efectos inductivos y de capacitancia que causan que el valor actual a la salida sea una función de valor de entrada actual.
- Circuito sin memoria, entonces el valor la salida actual es una función solo de su valor de entrada actual.

Se dicen que los circuitos son lineales y sin memoria (circuitos con resistencia) y, después, lineales con memoria (circuito RLC).

En particular los amplificadores lineales con memoria pueden describirse por una función de transferencia donde la razón está entre la transformada de Fourier de la señal de salida con la transformada de Fourier de la de entrada.

La función de transferencia de un amplificador sin distorsión se obtiene  $K^{-j\omega c T_d}$ , donde  $K$  es la ganancia de voltaje del amplificador y  $T_d$  el retraso entre las formas de onda de salida y de entrada.

### 2.5.4. MEZCLADORES Y CONVERTIDORES

Un mezclador ideal es un circuito electrónico que funciona como multiplicador matemático de dos señales de entrada.

Los mezcladores se utilizan para obtener una traslación de frecuencia de la señal de entrada. Suponiendo una señal de entrada pasabanda con espectro distinto a cero, en una banda aproximadamente cerca de  $f = f_c$ . La representación de la señal se da

$$V_{entrada}(t) = R_e\{g_{entrada}(t)e^{j\omega c t}\} \quad \text{Ecuación (2.45)}$$

Donde  $g_{entrada}(t)$  = la envolvente compleja de la señal de entrada. La señal a la salida de mezclador ideal entonces

$$V_1(t) = [A_0 R_e\{g_{entrada}(t)e^{j\omega c t}\}] \cos \omega_0 t \quad \text{Ecuación (2.46)}$$

Un mezclador seguido por un filtro para una conversión ascendente o descendente.

La señal pasabanda de entrada con un espectro cerca de  $f = f_c$  se han convertido (es decir, se han realizado una traslación de frecuencia) a dos señales pasabanda de salida, una a la banda de frecuencia de conversión ascendente, donde  $f = f_c$  se ha convertido (es decir, se han realizado una traslación de frecuencia) a dos señales pasabanda de salida, una a la banda de



frecuencia de conversión ascendente, donde  $f_o = f_c + f_0$  y otra la banda de conversión descendente, donde  $f_d = f_c - f_0$ . Un filtro puede seleccionar el componente de conversión ascendente o el conversión descendente. Esta combinación de un mezclador de banda lateral única. Un filtro pasabanda selecciona el componente de salida con filtro para remover uno de los dos componentes de salida del mezclador de banda lateral. Un filtro pasabandas selecciona el componte de conversión ascendente, pero un filtro de banda base o un filtro pasabanda, dependiendo la ubicación de  $f_c - f_0$ , selecciona al componente de conversión descendente.

El resumen la envolvente compleja para la señal a la salida de un convertidor elevador es

$$g_2(t) = \frac{A_0}{2} g_{entrada}(t) \quad \text{Ecuación (2.47)}$$

Para el caso de un convertidor descendente existen dos posibilidades. Para  $f_d = f_c - f_0 > 0$ , donde  $f_0 < f_c$

$$g_2 = \frac{A_0}{2} g *_{entrada}(t) \quad \text{Ecuación (2.48)}$$

En la practica, la operación de multiplicación requerida por los mezcladores puede llevarse a cabo mediante uno los siguientes elementos

1. Un dispositivo de trasconductancia continuamente variable, como un FET de doble compuerta.
2. Un dispositivo lineal
3. Un dispositivo lineal con una ganancia discreta variable con el tiempo.

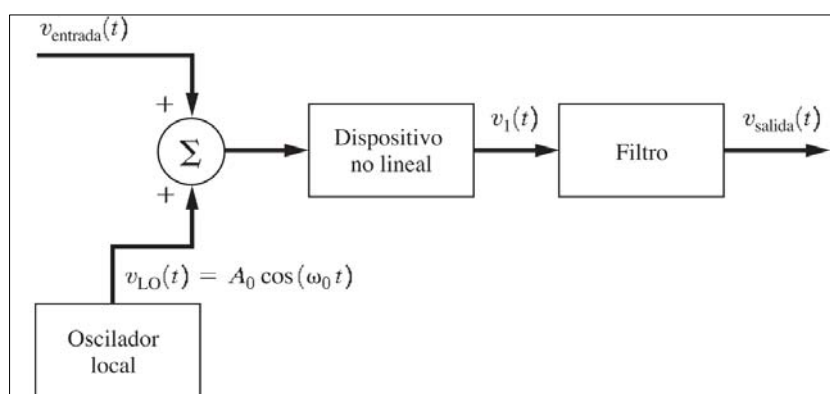


Figura 2.10. Un dispositivo no lineal utilizado como mezclador.

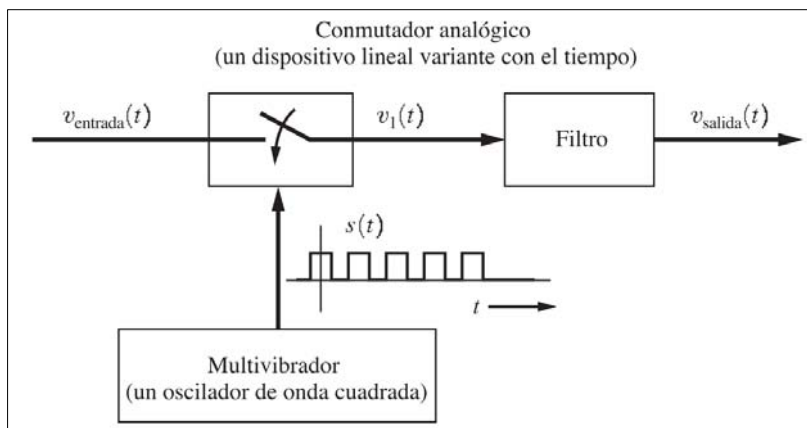


Figura 2.11. Un dispositivo lineal variable con el tiempo empleado como mezclador.

Los mezcladores a menudo se clasifican en desbalanceados, balanceados y balanceados dobles. De ahí se obtiene, en general (Tomasi, 2003)

$$V_1(t) = C_1 V_{entrada}(t) + C_2 V_0(t) + C_3 V_{entrada}(t)V_0 + \text{otros terminos} \quad \text{Ecuación (2.49)}$$

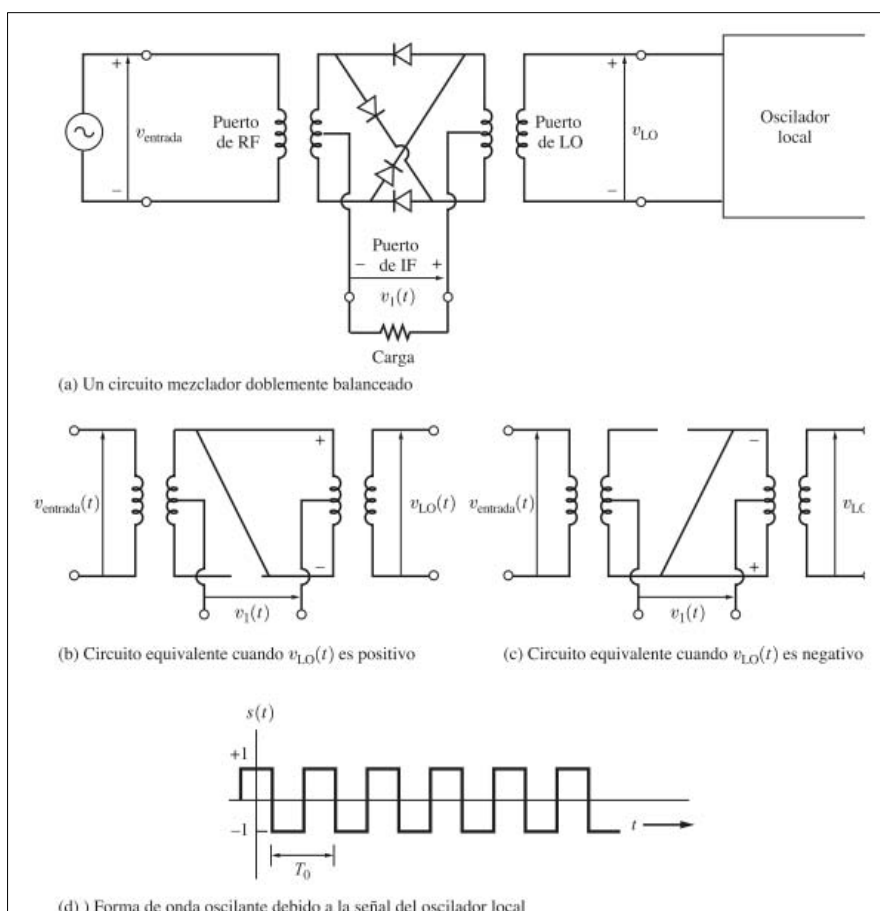


Figura 2.12. Analisis de circuito mezclador doblemente balanceado.

## 2.6. PROCESOS DE TRANSMISIÓN DE LA RADIO

### 2.6.1. CANALES DE RADIO

Se puede definir el canal como el enlace entre dos puntos de un trayecto de comunicaciones. El canal de radio, por lo general, es lineal y recíproco (permite estudiar el canal en una sola dirección). Se muestra alguno de los diferentes tipos de canales de radio que se estudian en la asignatura.

#### 2.6.1.1. EL CANAL DE PROPAGACIÓN

El medio físico que soporta la propagación de la onda electromagnética entre la antena transmisora y la receptora constituye el canal de propagación. El canal se asume lineal y recíproco, pero puede variar en el tiempo, como en el caso de las comunicaciones móviles.

#### 2.6.1.2. EL CANAL DE RADIO

El canal de radio está constituido por la antena transmisora, el canal de propagación y la antena receptora. Las antenas tienen el mismo patrón de radiación en transmisión y recepción si son lineales, bilaterales y pasivas, lo cual hace que el canal de radio sea recíproco al serlo las antenas.

#### 2.6.1.3. EL CANAL DE MODULACIÓN

Se extiende desde la salida del modulador hasta la entrada del demodulador, y comprende las etapas finales del transmisor, el canal de radio y las etapas de entrada del receptor. Su caracterización es importante a la hora de evaluar los diferentes esquemas de modulación. La linealidad del canal de modulación está determinada por los *front-ends* del transmisor y del receptor. Los sistemas que emplean modulaciones con multiniveles de amplitud, como QAM, requieren canales de modulación lineales: amplificadores lineales, mezcladores de baja distorsión y filtros con fase lineal (Bessel o Gauss). Esto genera dos problemas: amplificadores más caros y menos eficientes en cuanto a la potencia, lo cual es de importancia capital en un momento de comunicaciones móviles donde es impredecible la reducción de las dimensiones y el consumo de la batería del terminal portátil. El canal de modulación no es recíproco al no serlo *front-ends*.

#### 2.6.1.4. EL CANAL DIGITAL

Incluye todos los subsistemas que enlazan la secuencia digital sin modular del transmisor, con la secuencia regenerada en el receptor. En general, este canal no es lineal, no es recíproco y varía en el tiempo. (Crespo, 2008)

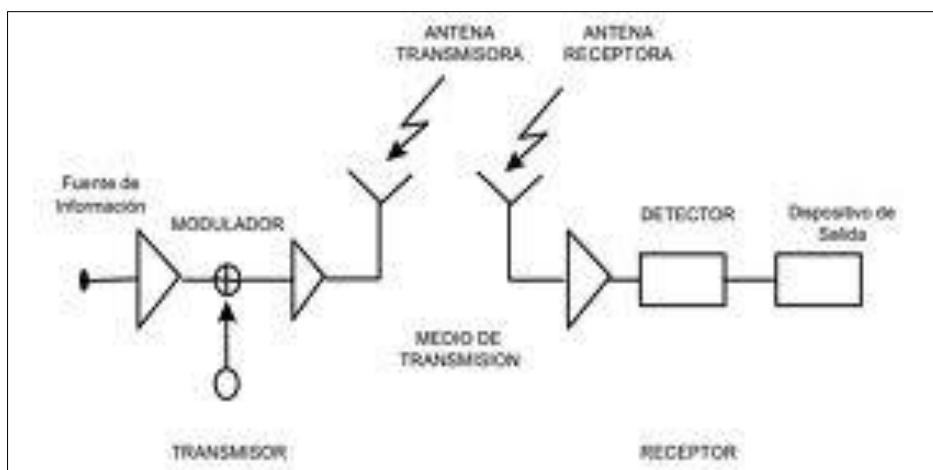


Figura 2.13. Diagrama de bloques de un sistema de Radiocomunicación punto a punto.

## 2.6.2. MODULACIÓN

La modulación es un proceso que consiste en combinar una señal que representa los datos (moduladora) con otra portadora. La señal obtenida (señal modulada) es susceptible de ser transmitida por un medio por el que, en un principio, no se podría hacer. Es definitiva, la modulación permite la adaptación de una señal a un medio de transmisión, siendo una tecnología muy frecuente en telecomunicaciones, se aplica, en radio, en televisión y en informática.

El objeto de la transmisión se denomina señal moduladora y a lo que le permite viajar en la señal portadora. Por ejemplo si deseamos enviar música muy lejos, caso de la radio, no nos sirve con una enorme altavoz, los que estuvieran cerca se quedarían sordos pero el sonido no llegaría más que unos centenares de metros. Sin embargo, las ondas de radio se pueden transmitir muy lejos pero el oído humano no las puede oír, no están en nuestro rango de frecuencias. La modulación combinada esta música que deseamos emitir con las ondas de radio que la transportaran.

Las técnicas de modulación, en el mundo analógico y digital, son:

- Modulación de amplitud.
- Modulación de frecuencia.
- Modulación de fase.

Podemos caracterizar una onda, en un instante dado, por su frecuencia (hercios), amplitud (volts) y fase (grados respecto a un origen de tiempo): por lo tanto, estos parámetros son los únicos que podemos variar para que incorporen la información que debe transmitir la onda portadora.

### 2.6.2.1. MODULACIÓN DE AMPLITUD (AM)

Por medio de la modulación se transforma la amplitud a la onda de radio para que esta vaya al ritmo de la música, al ritmo de lo que quiero enviar. Una vez en destino hemos de extraer la

música de la señal modulada, lo cual es muy sencillo mediante un diodo (un componente electrónico semiconductor) que incorpora cualquier aparato de radio.

#### **2.6.2.2. MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM)**

Hay otro sistema de enviarlo, que además resulta tecnológicamente más perfecto, que envía la señal mediante variaciones en la frecuencia.

Este método aumenta o disminuye la potencia según la fuerza del sonido a transportar, si el sonido es fuerte, frecuencia más alta, y viceversa. El circuito que recupera el sonido original de esa frecuencia variable, también muy sencillo, recibe el nombre de discriminador. De manera que cuando escuchamos una emisora de frecuencia modulada, lo que estamos recibiendo es una frecuencia que está variando.

Con métodos digitales el proceso es similar al visto para el mundo analógico, pero con ciertas particularidades ya que transmitimos en código binario.

#### **2.6.2.3. MODULACIÓN DIGITAL DE AMPLITUD (ASK)**

Puesto que la línea solo puede emitir sonidos, se intercala entre el ordenador y la línea algo que transforme a ondas de sonido el lenguaje binario. Por ejemplo, que cuando tengamos que enviar un 0 emita un sonido suave y cuando tengamos que mandar un 1 envíe un sonido más fuerte. Es decir, ponemos un modulador, la técnica es la misma, pero variando la amplitud.

Esta modulación que podría recibir el nombre de modulación en amplitud, para definir su naturaleza digital se denomina ASK (Amplitud-Shift Keying) por similitud a lo que hacía con el manipulador del código Morse (Morse Key) en telegrafía.

A cada valor de la señal de datos se le hace corresponder diferentes valores de amplitud de la señal portadora. Esta modulación, por sí sola, no se suele emplear en la comunicación de datos debido a que es muy sensible al ruido eléctrico y los errores resultantes originarían un rendimiento muy bajo en la transmisión de información.

#### **2.6.2.4. MODULACIÓN DIGITAL DE FRECUENCIAS (FSK)**

La modulación FSK (Frequency-Shift Keying) es un tipo de modulación de frecuencias cuya señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados.

En los sistemas de modulación FSK, la señal moduladora hace variar la frecuencia de la portadora, de modo que la señal modulada resultante codificada la información asociándola a valores de frecuencia diferentes.

#### **2.6.2.5. MODULACIÓN DIGITAL DE FASE (PSK)**

La tercera de las técnicas en modulación digital que se utiliza es cambiar la fase, el punto donde comienza la onda. Si la onda empieza hacia arriba, es el 0 fase 0; si la onda empieza hacia abajo, fase 180, fase 1.

Cambiando la fase se pueden enviar ceros y unos. A cada valor de la señal de datos se le hace corresponder diferentes valores de la fase de la señal portadora. Normalmente, se compara la fase del ciclo en un periodo con la fase del ciclo en el periodo siguiente, con lo que se obtiene una modulación con desplazamiento de fase diferencial (DPSK).

Independientemente de la técnica utilizada la base es siempre la misma, citar en los extremos un modulador que cambie la amplitud, la frecuencia o la fase, y un aparato que invierta la operación a la llegada de la señal. A través de la línea telefónica es un conjunto de Modulador-Demodulador comúnmente conocido como MODEM, un equipo para la transmisión de datos que, en el sentido de transmisión convierte las señales digitales en analógicas capaces de ser transportadas por la red y, en el sentido de recepción, realiza el proceso inverso para recuperar los datos transmitidos.

| Moduladora | Parámetro variado | Nombre | Uso                                      |
|------------|-------------------|--------|--|
| Analógica  | Amplitud          | AM     | Radio AM, TV video                       |
|            | Frecuencia        | FM     | Radio FM, TV audio                       |
|            | Fase              | PM     |  |
| Digital    | Amplitud          | ASK    | Transmisiones digitales por RTC (módems) |
|            | Frecuencia        | FSK    |  |
|            | Fase              | PSK    |  |

Tabla 2.4. Técnicas de modulación, según el parámetro que se varía.

Fuente: (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

Los módems actuales combinan la modulación en amplitud, fase y frecuencia. Lo más frecuente de encontrar son combinaciones de modulación en amplitud y modulaciones de fase, resultado que cada vez que se emite un sonido son enviados varios bits. (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

### 2.6.3. MULTIPLEXAJE

El acceso múltiple es una técnica por medio de la cual mucho de los suscriptores o estaciones locales pueden compartir el uso de un canal de comunicación al mismo tiempo o casi de esa forma, a pesar de que sus transmisores individuales puedan originarse desde ubicaciones bastante diferentes.

Existen diferencias sutiles entre el acceso múltiple y el multiplexado que deben señalarse:

- El acceso múltiple se refiere a que usuarios en localidades altamente dispersas compartan en forma remota un canal de comunicación, como un satélite o un canal de radio. Por otra parte, el multiplexado se refiere a que usuarios que utilizan un sitio local compartan un canal, como el teléfono.
- En un sistema multiplexado donde los requerimientos del usuario son por lo general fijos pero en contraste, en un sistema de acceso múltiple dichos requerimientos los cuales combinan en forma dinámica el tiempo, en cuyo caso es necesario para la asignación dinámica del canal.

Se encuentran cuatro tipos básicos de acceso múltiple:

1. **Acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA).**  
En esta técnica se asignan sub-bandas disjuntas de frecuencias a diferentes usuarios en un esquema de tiempo continuo.  
Para minimizar el nivel de interferencia entre usuarios, para lo que se asigna a bandas de canal adyacente, para lo que se utilizan bandas de seguridad, para actuar como zonas de bufer.
2. **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).**  
En esta técnica, se le asigna una función espectral completa al canal, tiene una corta duración llamada franja de tiempo. Donde las zonas de bufer en la forma de tiempo de seguridad, las cuales se intersectan (cruzan) entre las franjas de tiempo que se asignan a estas franjas. Esto se hace para minimizar el nivel de interferencia por causa de las imperfecciones del sistema, especialmente en esquemas de sincronización.
3. **Acceso múltiple por división del código (CDMA).**  
En el TDMA, la comparación se realiza al dividir los recursos a lo largo de la coordenada del tiempo en franjas de tiempo disjuntas. Por ejemplo, el salto de frecuencia puede emplearse para asegurar que durante cada franja de tiempo sucesiva, se reorientan las bandas de frecuencia asignada a los usuarios de una manera esencialmente al azar. De modo específico, durante la franja de tiempo 1, el usuario 1, ocupa la banda de frecuencia 1, el usuario 2 ocupa la banda de frecuencia 2, el usuario 3, la banda de frecuencia 3, etc. Durante la franja de tiempo 2, el usuario 1 salta a la banda de frecuencia 3, el usuario 2, a la banda de frecuencia 1, el usuario 3, a la banda de frecuencia 2, etc.
4. **Acceso múltiple por división del espacio (SDMA).**  
En esta técnica de acceso múltiple, la asignación de recursos se consigue explotando la separación espacial de los usuarios individuales. En particular, se recurre a antenas de haces múltiples para separar las señales de radio apuntándolas a lo largo de diferentes direcciones. De este modo se permite que usuarios diferentes tengan acceso simultáneamente al canal en la misma frecuencia o en la misma franja de tiempo.

#### 2.6.4. COMUNICACIONES POR SATÉLITE

En un sistema de comunicación por satélite geoestacionario se transmite una señal de mensaje desde una estación terrestre por medio de un enlace ascendente hasta un satélite, se amplifica en un transpondedor (es decir, circuitería electrónica) a bordo del satélite, y luego se retransmite desde este último por medio de un enlace descendente hasta otra estación terrestre. La banda de frecuencia más popular para las comunicaciones por satélite es la de 6 GHz (banda C) para enlace ascendente y 4 GHz para el descendente.

El empleo de esta banda de frecuencia ofrece las siguientes ventajas:

- Equipo de microondas relativamente económico.

- Baja atenuación debido a la lluvia; esta es la principal causa atmosférica de la degradación de señales.
- Insignificante ruido de fondo del cielo; este (producto de las emisiones de ruido aleatorias provenientes de las fuentes galácticas, solar y terrestre) alcanza su nivel más bajo entre 1 y 10 GHz.

Sin embargo la interferencia de la radio limita las aplicaciones de satélite de comunicación que aparecen en la banda 6/4 GHz, debido a que las frecuencias de transmisión de esta banda coinciden con aquellas utilizadas en los sistemas de microondas. Este problema se elimina en los más poderosos satélites de comunicaciones de *segunda generación* que operan en la banda de 14/12 GHz (es decir, la banda Ku); además el uso de estas frecuencias más pequeñas y, por tanto, menos costosas.

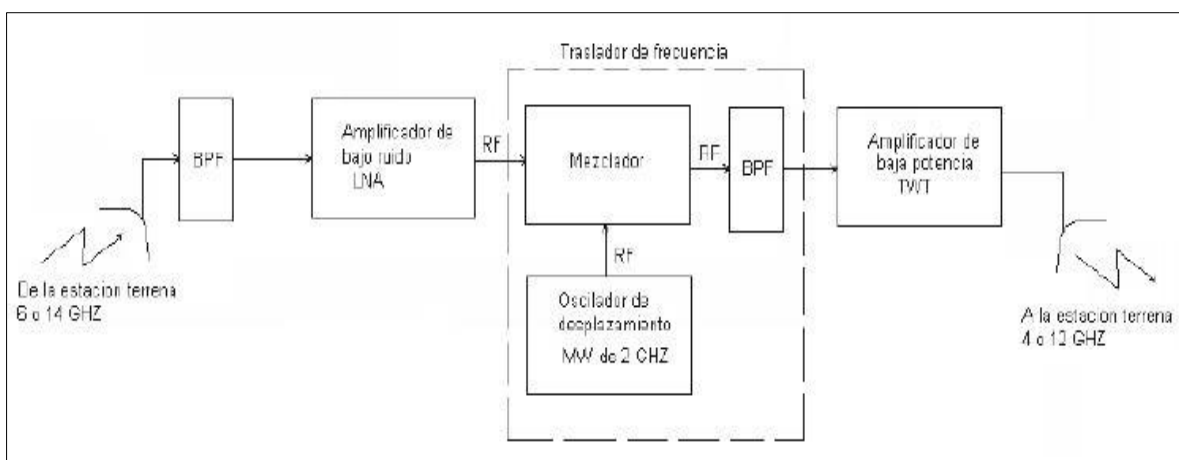


Figura 2.14. Diagrama de bloques de un transpondedor.

La conversión de frecuencia desde el enlace ascendente hasta la frecuencia de enlace descendente en dos etapas; conversión descendente hasta una frecuencia intermedia, seguida de amplificación, y después la conversión ascendente hasta la frecuencia de transmisión deseada.

El retardo del tiempo de propagación de una señal especialmente la voz enviada a través del satélite incurren en retardo de aproximadamente 270 ms. Por lo cual en cualquier desajuste en este tipo de transmisión la señal cambia su impedancia por lo tanto se altera la transmisión de la señal donde esta se produce un eco desde la parte del emisor, que se escucha después de la trayectoria de la señal con un retardo aproximadamente de 540 ms. Esta situación (inconveniente) se puede desaparecer del sistema por medio de un cancelador de eco, funciona como dispositivo que sustrae el tiempo de trayectoria y elimina este efecto, por lo que se hace a través de un filtro especial el cual se acopla a las características específicas del canal.

Para un transpondedor de un satélite, donde se puede tener acceso desde diferente localidad sobre la tierra a través de una línea visual de microondas, las cuales denominamos técnicas de acceso múltiple.

- En un canal de satélite, la no linealidad del transpondedor es la causa principal de la interferencia entre usuarios. Para enfrentar este serio problema, el amplificador de tubo de onda viajera en el transpondedor se opera a propósito por debajo de su



capacidad. En consecuencia, encontramos que un sistema FDMA la eficiencia de potencia del sistema se reduce en virtud de la demora de potencia necesaria del amplificador de tubo de onda viajera.

- En un sistema de TDMA, los usuarios tienen acceso al transpondedor de satélite uno a la vez. Por tanto, dicho transpondedor es en estas condiciones capaz de operar muy cerca de la eficiencia de potencia total permitiendo al amplificador de tubo de onda viajera operar hasta la saturación. Esto a su vez, significa que el TDMA utiliza de manera más eficiente el transpondedor que el FDMA, de lo cual se origina su amplio uso en la puesta en práctica de los sistemas de comunicación digital por satélite.
- El SDMA opera explotando las ubicaciones espaciales de las estaciones terrestres, lo cual consigue por medio de una conmutación a bordo. En forma específica, el transformador está equipado con antenas múltiples, eligiéndose el haz de la antena adecuada para la transmisión de radio hacia una estación terrestre en particular que está demandando el uso del transpondedor.

A parte del acceso múltiple, al igual tiene la capacidad, el canal que le permite una amplia cobertura del área, lo que hace mención a los satélites de transmisión los cuales tienen como objetivo transmitir una señal con muy alta potencia haciéndola lo más eficaz, esta última llegando hasta los receptores de muy bajo costo pero con un buen enlace. (Haykin, Sistemas de Comunicación, 2006)

## 2.7. SISTEMAS DE RADIO DIGITAL

### 2.7.1. EL CONCEPTO DE RADIO DIGITAL

La implantación de la radio lleva a complejadas enormes transformaciones de tres tipos: tecnológicas, económicas y sociales. Las transformaciones tecnológicas culminarán con la digitalización de todos los procesos radiofónicos. La radio del futuro contará con una calidad de sonido, con la posibilidad de comandar magnetofonos por la identificación de los programas, facilidad de montaje y de conexión de receptor a sistemas de grabación y también a los ordenadores, una recepción perfecta en aparatos del hogar, amplia cobertura del territorio, fuerte inmunidad al desvanecimiento y a las interferencias y una optimización de uso del espacio radioeléctrico. En este último sentido, con problema político que podamos superar con la implementación de la radio digital será el de la gestión del espacio radioeléctrico, y con ello la arbitraria política de atribución de frecuencias radiofónicas que ha sido una constante desde los años sesenta. Además, una mayor flexibilidad en el uso del canal radioeléctrico. Otra posibilidad del futuro que se abre con la digitalización de las comunicaciones es la convergencia técnica de los distintos servicios y su interacción potencial en una misma red. De esta forma, llegará el día en el que en un mismo aparato receptor tendremos a nuestro alcance los medios de comunicación, la información y los servicios de telecomunicaciones. Esto significaría que en una central recibiríamos la radio y la televisión. (Salas, 2006)

## 2.7.2. TRANSMISIÓN DIGITAL

Los recientes servicios de radio y televisión denominados digitales, por que esa es la naturaleza de la información que contienen, esta basado en nuevos procedimientos de modulación-demodulación, respecto de los clásicos, por conseguir dos objetivos fundamentales, que son:

- Limitar al mínimo el valor de ruido para obtener una relación G/T (ganancia/ruido) mas favorable que la que proporcionan los sistemas de modulación en amplitud (AM) y frecuencia (FM), ambos de naturaleza análogica.
- Permitir el posicionamiento de los nuevos servicios en el espacio radioeléctrico historico para mantener el espectro.

El primer objetivo es imprescindible para garantizar la extracción e identificación correcta de los datos de audio y video en los equipos de usuario, los cuales se caracterizan por su simplicidad como condicionante básico de bajo coste económico y el segundo por imposición de la distribución de frecuencias, en cuyas bandas estan la radio y la televisión desde su implantación.

### 2.7.2.1. NUEVO PROCEDIMIENTO

Por razones obvias, cada evento tecnológico aporta ventajas de algún tipo. En los casos concretos de los sistemas de transmisión y recepción digital, estos aportan mejoras en el servicio y ventajas económicas, aya que los circuitos integrados con arquitectura digital, y por tanto con diseño total o parcialmente ortogonal tiene un costo mas reducido que los analógicos con las mismas prestaciones.

El medio de transmisión digital aporta mayor inmunidad a las perturbaciones y distorsiones que el analógico, el ruido tiene condición regenerativa, no acumulativa como los clásicos analógicos pero, sobre todo, lo que justifica su implantación comercial mas alla de la oportunidad tecnológica es la posibilidad de obtener multiservicios o multiprograma mediante el procedimiento de multiplexado por división de tiempo, con el que se generan los denominados "paquetes" (de datos) que constituye el flujo binario a transmitir.

### 2.7.2.2. CONDICIONAMIENTOS DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL

Un flujo binario a transmitir mediante un procedimiento definido de modulación y transporte radiacion electromagnética o tendido de cable), debera adecuarse previamente para cumplir las siguientes condiciones:

- Debe contener suficiente señalización para permitir al receptor identificar el principio de los simbolos y de los datos especificos de cada servicio (canales, idiomas, servicios auxiliares, etc.).
- El flujo de datos en banda base no debe contener largas cadenas de bits iguales porque podria presentarse dificultad para regenerar el reloj. Para tal fin se emplea comunmente un sistema de aleatorización (de los datos) y su consiguiente proceso de desaleatorización en el receptor en el receptor con anterioridad a la decodificación.

- La información a transmitir debe protegerse mediante la incorporación palabras o símbolos de código (código de redundancia cíclica) para permitir al receptor detectar y corregir los bits que, como consecuencia del ruido del medio, contengan errores.
- El sistema transmisor en conjunto debe aportar la máxima eficiencia espectral para ocupar el mínimo ancho de banda, condición imprescindible para poder albergar los nuevos servicios en los canales asignados.

El canal asignado al transporte de la información tiene sus limitaciones impuestas en la necesidad de adecuar su ancho de banda al espectro de la portadora y en el ruido que contiene, que ha sido desde el principio de la radiodifusión mayor fuente perturbadora, ya que puede dar lugar a enmascarar los datos y imposibilitar con ello su separación o recuperación.

Así, la capacidad teórica de un canal se puede definir mediante la siguiente expresión:

$$C = B \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{Ecuación (2.50)}$$

B = ancho de banda.

S/N = relación de potencia a ruido en la entrada del desmodulador (receptor).

El ruido se define como la presencia en la información de señales indeseables que afectan a su posterior identificación y tratamiento en el receptor.

De las múltiples fuentes de ruido que se pueden sumar a una señal, la que presenta mayor dificultad para su atenuación es el ruido térmico, el cual se genera en los componentes electrónicos. Es denominado ruido blanco y puede ser descrito como un proceso aleatorio

*gausiano caracterizado por su función de densidad de probabilidad. Así:*

$$P(n) = \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left( - \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{n}{\sigma} \right)^2 \right) \quad \text{Ecuación (2.51)}$$

Donde,  $\sigma$  = variante de n.

El ruido blanco de origen térmico tiene una densidad espectral de potencia prácticamente plana para el espectro de frecuencias que se emplea en los servicios comerciales de radio y televisión.

### 2.7.3. DIFUSIÓN DIGITAL POR AM

En Estados Unidos la FCC ha adoptado el sistema (IBOC, por sus siglas en inglés) para difusión digital en la banda AM (es decir, onda media, 540 a 17000 KHz). Este sistema provee una transmisión simultánea de datos digitales de audio y datos digitales auxiliares a través de una señal AM convencional (modulada por audio analógico). En consecuencia se puede utilizar un receptor AM convencional para recibir el audio analógico. Un receptor IBOC, por su parte

puede emplearse, con un codec incorporado, para convertir la parte digital de la señal AM IBOC audio en estereo. Si la señal AM IBOC recibida es debil, el usuario escuchara el audio analógico convencional de la parte AM de la señal si es fuerte, entonces el audio decodificado tendra una calidad asi de estereo (ancho de banda de audio de 15 KHz), como se decodifica a partir de los datos IBOC.

Los datos de codec transmisor se dividen en seis grupos de OFDM colocados dentro, o adyacentes a las bandas laterales de la señal AM convencional. Tres de los grupos de OFDM se colocan en la banda lateral superior y tres en la inferior. Estas bandas laterales son independientes, pero los datos se dividen a fin de que solo se requiera una banda lateral para recuperar el audio a una calidad reducida. No obstante, para recuperar el audio completo en estéreo de alta fidelidad se necesita datos de ambas bandas laterales (todos los seis grupos de OFDM).

El ancho de banda de la señal IBOC es de 3 KHz, pero el espacio de portadora entre las estaciones sigue siendo de 10 KHz. En consecuencia, habra posibilidad de interferencia con las estaciones asignadas a los canales adyacentes. Sin embargo la frecuencia asignada de las estaciones AM es tal que los canales adyacentes se adjudican solo a ubicaciones lejanas.

#### 2.7.4. DIFUSIÓN DIGITAL POR FM

En Estados Unidos la FCC ha adoptado el sistema FM canal dentro de banda (IBOC) para la difusión digital en la banda de FM (es decir, de 88.1 a 107.9 MHz). Este sistema IBOC provee simultáneamente una transmisión de datos de audio digitales y datos digitales auxiliares a través de una señal FM convencional para recibir el audio analógico. En consecuencia se puede utilizar un receptor FM convencional para recibir el audio analógico. También es posible emplear un receptor de IBOC con su codec incorporado, para convertir la parte digital de la señal FM IBOC en un audio estereofónico casi de calidad de CD. Si la fuerza de la señal cae dentro de un rango debil a fuerte, entonces el receptor producira una mezcla de audio obtenido de las partes de AM y de IBOC:

Para generarla, los datos del codec transmisor se dividen en dos grupos de OFDM, que se colocan en forma adyacente a las bandas laterales de la señal FM convencional. Uno de los grupos de OFDM se ubican en la banda lateral superior y el otro en la banda lateral inferior. Ambos datos se dividen en tal forma que solo se requiere una banda lateral para recuperar el audio a una calidad limitada.

Para recuperar totalmente el audio estereofónico de alta fidelidad se necesitan los datos de ambas bandas laterales (los dos grupos de OFDM).

El ancho de banda de una señal FM IBOC es 400 KHz, pero el espacio de la portadora entre las estaciones se mantienen a 200 KHz. Por lo tanto, existe la posibilidad de interferencia de estaciones asignadas a los canales adyacentes. Sin embargo la frecuencia asignada a una estación de FM es tal que dichos canales solo se asignan a ubicaciones lejanas y existe poco traslape entre sus áreas de cobertura.

### 2.7.5. SEÑALIZACIÓN PASABANDA MODULADA BINARIA

Las señales pasabanda digitalmente moduladas se generan utilizando generalmente las envolventes complejas para la señalización de AM, FM, PM o QM (Modulación en cuadratura). La señal moduladora es de tipo digital, dado por los códigos de línea binarios o multinivel.

- **Modulación de encendido-apagado(OOK).** También llamada la modulación por corrimiento de amplitud (ASK). Consiste en la manipulación (conmutación) de una señal senoidal portadora a través de su encendido y apagado mediante una señal binaria unipolar.

La transmisión por radio en clave morse es un ejemplo de esta técnica. La OOK fue una de las primeras técnicas de modulación empleadas y anteceden a los sistemas analógicos de comunicación.

La señal de OOK se representa mediante

$$S(t) = A_c m(t) * \text{Cos } w_c t \quad \text{Ecuación (2.52)}$$

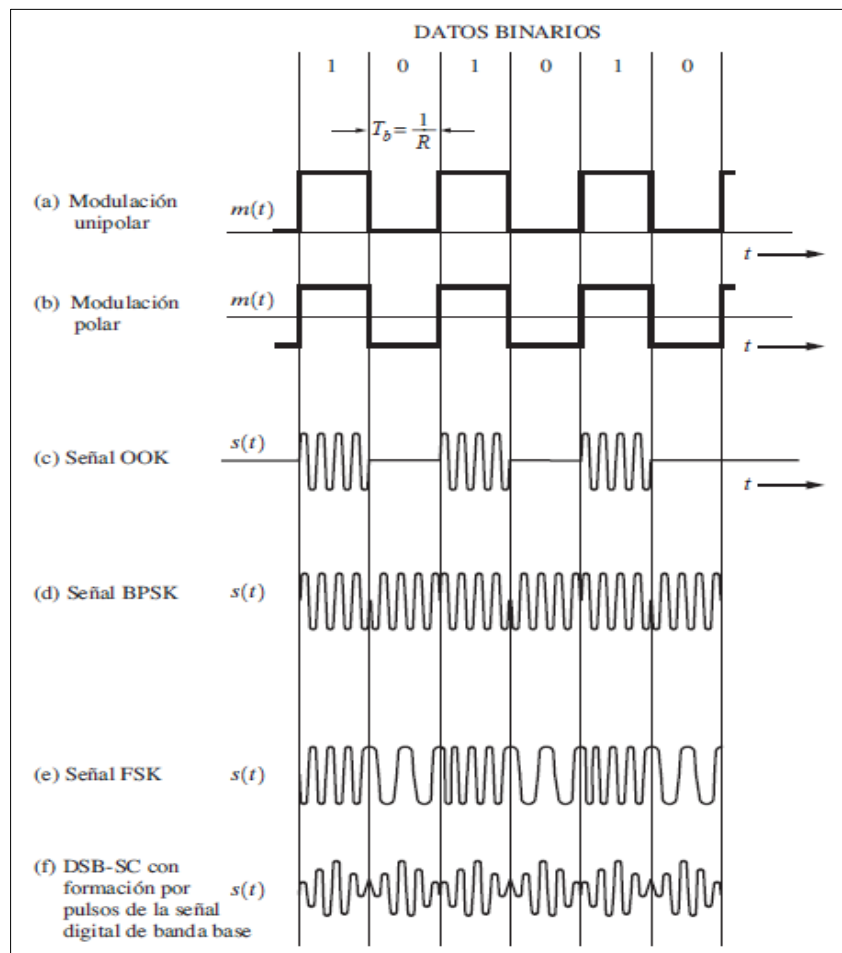


Figura 2.15. Señales pasabanda digitalmente moduladas.

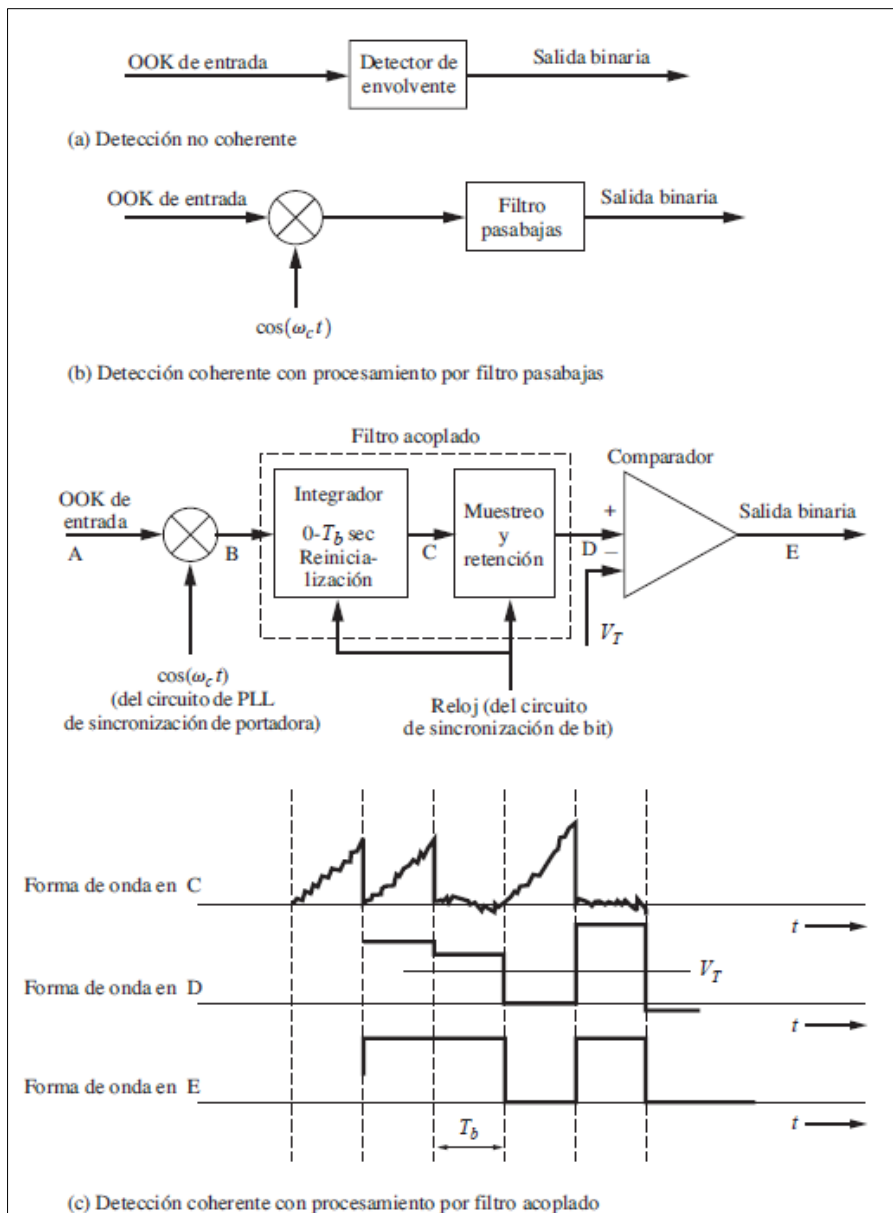


Figura 2.16. Detección de OOK.

- **Modulación por corrimiento de fase binaria (BPSK).** Consiste en corrimiento de fase de una portadora senoidal a  $0^\circ$  o  $180^\circ$  con una señal binaria unipolar. La BPSK es equivalente a la señalización PM con una forma de onda digital y a la modulación de una señal DSB-SC con una forma de onda digital polar.

La señal BPSK se representa mediante

$$S(t) = A_c * \text{Cos} [w_c t + D_p m(t)] \quad \text{Ecuación (2.53)}$$

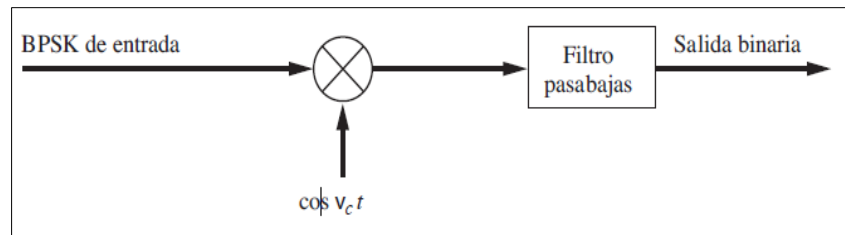


Figura 2.17. Detección de BPSK.

- **Modulación por corrimiento de fase diferencial (DPSK).** Las señales moduladas por corrimiento de fase no pueden ser detectadas en forma no coherente. Sin embargo, se puede emplear una técnica, parcialmente coherente donde la referencia de fase, para el intervalo de señalización actual se suministra mediante una versión retrasada de la señal que ocurre durante el intervalo de señalización previo. Donde la decodificación diferencial se genera mediante el retraso (del bit) y el multiplicador. La transmisión de una señal BPSK diferencialmente codifica, se conoce como DPSK.

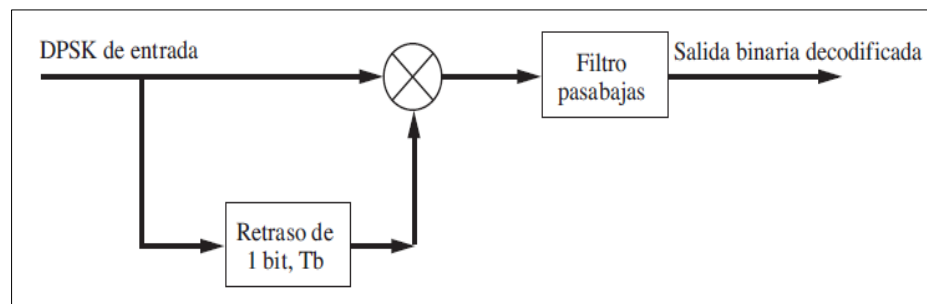


Figura 2.18. Detección de DPSK.

- **Modulación por corrimiento de frecuencia (FSK).** Consiste en el corrimiento de la frecuencia de una portadora senoidal desde una frecuencia de marca (correspondiente, por ejemplo, al envío de un 1 binario) a una frecuencia de espacio (correspondiente al envío de un 0 binario), de acuerdo con la señal digital de banda base. La FSK es idéntica a la modulación de una portadora de FM mediante una señal digital binaria. (Couch II, Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, 2008)

Esta señal FSK se representa a través de

$$s(t) = A_c * \text{Cos} \left[ w_c t + D_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda \right] \quad \text{Ecuación (2.54)}$$

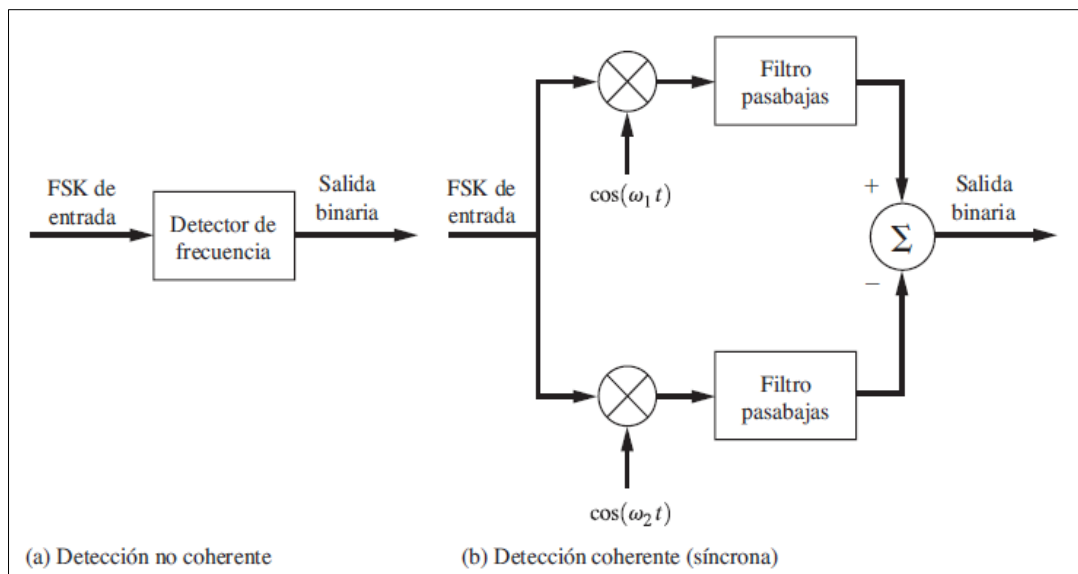


Figura 2.19. Detección de FSK.

## 2.7.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSCPTORES DIGITALES MODERNOS

Tal como se ha visto, en una comunicación analógica la señal a la salida del receptor sufre una degradación gradual de su SINAD en la medida que disminuye el nivel de la señal de RF recibida. Por el contrario, en un receptor digital la señal de voz pasa de escucharse con un nivel de recepción adecuado a dejar de escucharse si este nivel de RF baja de un determinado umbral y no experimenta esa degradación gradual de los transceptores analógicos.

Por otra parte, en los transceptores digitales de los sistemas de comunicaciones modernos se emplean codificadores de voz y ya deja de tener sentido el medir la calidad de la comunicación a partir de la relación SINAD. Es inmediato deducir que hay que medir la calidad en términos de la BER (o algo parecido). Existen también otras diferencias respecto a los sistemas analógicos, como por ejemplo que la potencia no puede medirse en transmisión continua si la transmisión es TDMA, como en el caso del sistema de comunicaciones móviles GSM.

Un **transmisor** (consiste en un generador de señales de comunicaciones que además contenga las unidades de señalización) para caracterizar equipos receptores, y un **receptor** (que contenga básicamente un conversor a FI y una tarjeta de adquisición con una frecuencia de muestreo suficientemente alta) para caracterizar equipos transmisores.

La EVM se define a partir de la diferencia entre la forma de onda de referencia y la forma de onda recibida. El intervalo de medida es una ranura temporal definida en el estándar correspondiente.

### 2.7.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSMISORES DIGITALES

Al igual que en el caso de los transmisores de FM, dos de las características que hay que medir son la potencia del transmisor y el error en frecuencia. Sin embargo no se puede hacer de la misma forma que en los métodos convencionales para transceptores analógicos puesto que el



formato digital obliga en muchos casos a medir en rafagas (por ejemplo si se utiliza, el acceso TDMA). En ese caso para el cual las estaciones móviles (MS) y las estaciones base (BS) no transmiten no señales no moduladas, no se puede medir la potencia con un metro estandar ni el error en frecuencia con un frecuencímetro. Una solución consiste en utilizar conversores analógico-digitales, y procesadores tanto para calcular directamente la potencia de la señal de RF a partir de la señal recuperada despues de la demodulacion como el error de frecuencia.

### Medida del error de fase y del error de frecuencia

Una de las diferencias de los sistemas móviles digitales respecto a los analógicos es la necesidad que tiene de sincronización entre los equipos terminales. Los transeptores de la estación base (BS) toman una referencia de frecuencia a partir del reloj de la red fija.

En los transeptores digitales se introduce la evaluación del error de fase, un nuevo parámetro que indica la habilidad de la MS para sincronizarse y mantenerse enganchada en frecuencia. Ambas medidas, la fase y la de frecuencia, se realizan simultaneamente ya que esta ultima, la medida del error de frecuencia, se hace mediante el calculo a partir del error de fase. Por ejemplo , en GSM se registra la trayectoria se recuperan los bits que han sido transmitidos. Como la modulación es de tipo MSK, esta información se relaciona directamente con el cambio de fase cuya medida puede hacerse con suficiente presión si la señal de RF se muestra al doble de la frecuencia de reloj, esto quiere decir  $2 \times 270 \text{ KHz} = 540 \text{ KHz}$ .

La fase recibida se mide afectada por un componente aleatorio debida al ruido AWGN mas variación lineal provocada por la diferencia de frecuencias entre el receptor y el transmisor. La pendiente de la recta de la señal nos proporciona el error de frecuencia medido respecto al transmisor.

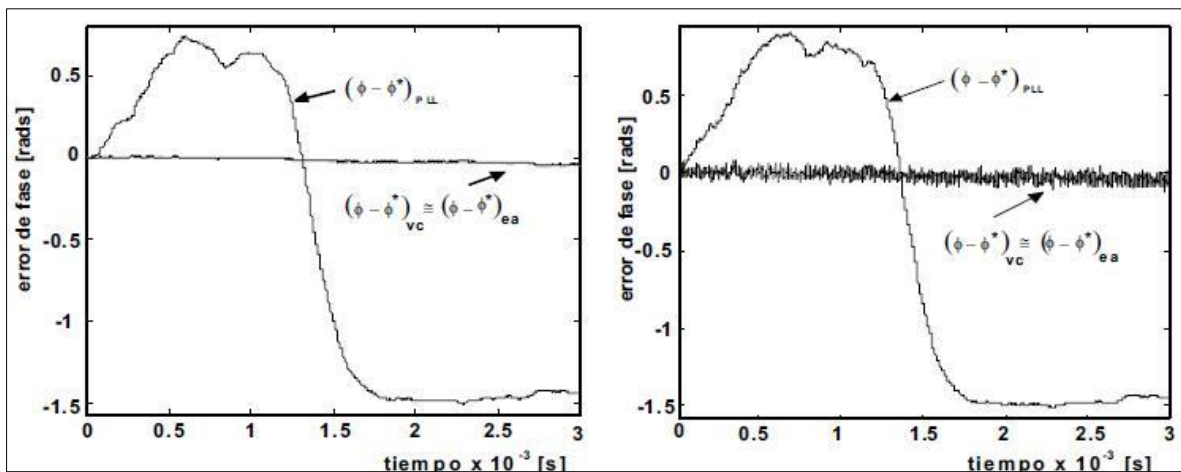


Figura 2.20. Error de Fase.

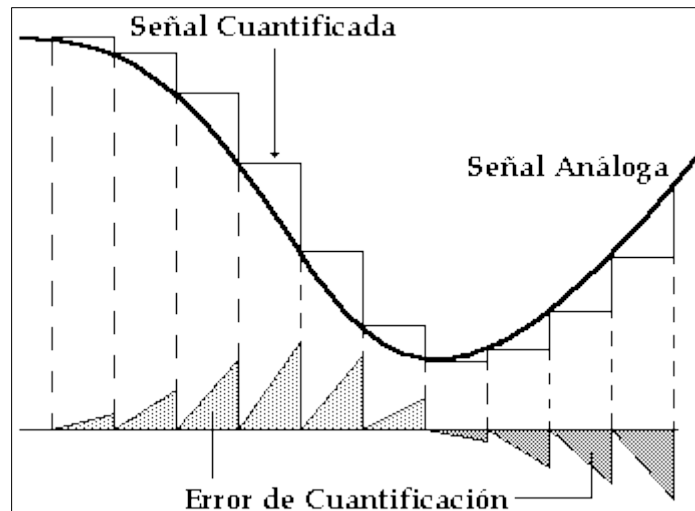


Figura 2.21. Error de Frecuencia.

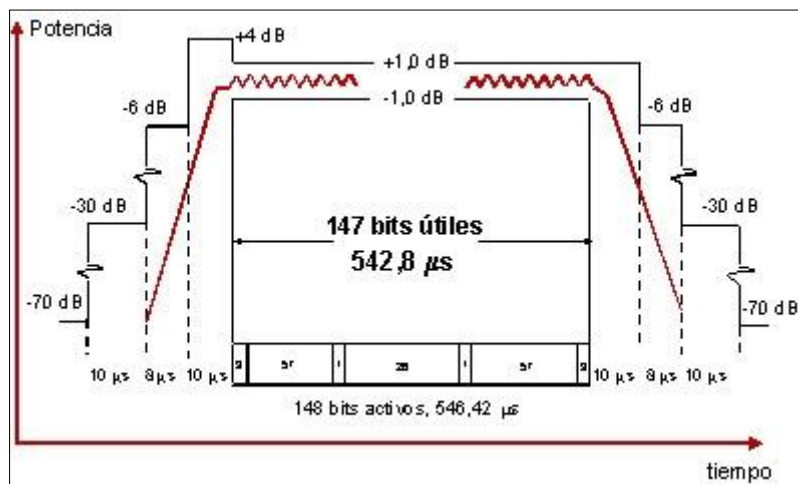


Figura 2.22. Mascara de la ráfaga GSM.

### Medida de la potencia

Además de medir la potencia de la forma que habitualmente se hace en los transmisores analógicos, en el caso de los transmisores digitales debemos considerar medidas asociadas al valor pico instantáneo de la transmisión, a la máscara temporal a la que se debe ajustar y la adecuada aparición temporal de la ráfaga en los sistemas TDMA.

*Potencia pico.* Los modernos sistemas de comunicaciones móviles controlan la potencia transmitida de manera que en las comunicaciones móviles que se encuentran más cerca de la estación base se hace innecesario transmitir con la máxima potencia. Cada uno de los niveles de potencia a los cuales se puede ajustar el transmisor debe ser verificado.

*Máscara de potencia.* En el caso del acceso TDMA, la transmisión del móvil se realiza en forma de ráfagas que deben cumplir determinados requisitos. Por ejemplo, no debe solaparse con las ráfagas de otros móviles que les preceden temporalmente ni con los que transmiten inmediatamente después. El nivel de potencia debe permanecer dentro de ciertos límites

durante el intervalo de tiempo correspondiente al periodo de la trama y esa sera la duración de la ráfaga. Además se dota de un periodo de guarda que se reserva para los intervalos de acceso y de descenso de las características de potencia.

*Tiempo de ráfaga.* Los móviles que se encuentran alejados de la BS deberán adelantar su transmisión para compensar el retardo que se produce por la duración de la propagación de la señal de RF en el espacio libre (la velocidad de propagación es el de la luz, que es muy grande pero no infinita). El tiempo de inicio de ráfaga debe ser ajustado de forma precisa para que el mencionado retardo sea debidamente compensado.

### **Medida del espectro**

Al igual que el analógico, el transmisor digital emite también señales espurias fuera de la banda asignada que pueden interferir a otros usuarios. Por tal razón es necesario controlar también la potencia que se emite fuera del radiocanal y para eso nos podemos ayudar de una medida con el analizador de espectros.

Otra fuente importante de emisiones espurias en las BS es la intermodulación. Entre las posibles causas de intermodulación una de las más importantes es debida a la ubicación cerca de transmisores potentes de otros servicios de radio que producen una inyección de señal en las etapas previas al amplificador de salida.

La intermodulación es generada por la no linealidad de las últimas etapas a varios transmisores pertenecientes a la BS. Notándose que las MS no se ven afectadas por la intermodulación.

### **2.7.6.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES DIGITALES**

La caracterización de los receptores digitales no puede hacerse de la misma forma que en el caso de los analógicos. Para esto hay que recurrir la contabilización de los errores que se producen en presencia de una señal débil para determinar la calidad del receptor, es decir la tasa de bits erróneos o BER.

**BER:** se aplica en la entrada del receptor una señal modulada digitalmente con una secuencia de bits conocida. Los bits detectados son comparados con la secuencia original y se determina tanto el número de errores como la tasa de error.

**BER residual o RBER:** se calcula mediante un procedimiento analógico, pero considerando solo las tramas de bits que han sido corregidas con éxito por el codificador de canal. En esas tramas hay bits menos importantes que no han sido protegidos por el codificador de canal y pueden hacerse detectado con error y pasar al vocoder.

**Tasa de rechazo de trama o FER:** es una medida del número de tramas que se suprime porque la calidad de bits importantes erróneos se excesiva.

### **Medida de la sensibilidad**

Define la habilidad del receptor para demodular y decodificar correctamente la información transmitida aún en el caso de que la señal de RF sea débil. Se puede hacer midiendo la RBER y la FER simulando diferentes condiciones de propagación, como son un entorno urbano, montañoso, rural, etc.

**Rechazo a una señal cocanal**

Es una característica similar al caso analogico y evalua la capacidad de recibir correctamente la información incluso en presencia de otra señal inteferente en el mismo radiocana. La evaluación de la robustez del receptor se realiza inyectando la señal deseada al receptor, el cual debe recibir correctamente la secuencia transmitida aun en presencia de una señal interferente que tendra una modulación GMSK y con el nivel de hasta 9 dB por debajo de la señal deseada.

**Rechazo a una señal en el canal adyacente**

Es una característica similar a la anterior, pero en este caso la señal interferente se encuentra situada en el canal adyacente inmediato o en el siguiente. En GSM esto significa una señal situada 200 o 400 KHz por encima o debajo de la frecuencia nominal de receptor, pero ademas en una ranura temporal adyacente (en GSM cada rafaga se trasmite dentro de una ranura temporal), simultáneamente de esta forma la situación de una BS con un segundo transmisor en el peor de los casos.

**Rechazo a la intermodulación**

Es una característica que al igual en los receptores analógicos mide la linealidad de receptor a partir de su habilidad para no generar productos de intermodulación con niveles altos. En la prueba se inyectan las señales de los generadores con el mismo nivel, situandose el primero en el cuarto canal adyacente y sin modular. El segundo modulador se situa en el octavo canal adyacente y modulado con formato GMSK. De esta forma, el producto de intermodulación aparece justamente en el canal util y su nivel no interfiere la recepción de la señal deseada. El nivel de los generadores debe estar al menos 58 dB por encima de el nivel de la señal deseada. (Gueulle, 1991)

## 2.8. LA EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE LA RADIO DIGITAL

### 2.8.1. RADIO DIGITAL TERRESTRE

#### 2.8.1.1. *IBOC (IN-BAND, ON-CHANNEL)*

Se trata del estandar de radio digital adecuado por los Estados Unidos. A fines de 2001, la Union Internacional de Telecomunicaciones (UIT) dio su aprobación a este sistema de radio digital.

Comercialmente, la compañía desarrolladora ha dado a conocer el estandar como Hz o HD Digital Radio, explicando que es su marca de fabrica para protección de sus derechos de propiedad intelectual. Se dice que actualmente hay mas de novecientas emisoras en los Estados Unidos que utilizan esta tecnología, lo que supone una cobertura del 75% de la población de este país, pero se espera aumentar dichas sumas.

Desde el año 2002, la Federal Communications Commission decidio implantar este modelo denomina "en banda y en canal" (por su denominación en ingles), iniciando en la banda de Amplitud Modulada. Las radiodadoras utilizarian las transmisiones por el sistema IBOC provisionalmente, en tanto se desarrollan los estandares para emisores definitivas. Se espera que mientras las radioemisoras adquieren e instalan los nuevos equipos para trasladarse a la

radio digital bajo este estándar, se efectúen transmisiones de modo “híbrido”, es decir, utilizado tanto señales analógicas y digitales dentro de los mismos canales de AM o FM. Es decir, la programación de las emisoras se efectuará en ambos formatos (analógico y digital), mientras dure la transición al sistema definitivo.

#### **2.8.1.2. EUREKA-147**

Desde principio de 1990, la Unión Europea procura unificar las transmisiones de radio más allá de los límites de las fronteras nacionales, mediante el apoyo a un estándar desarrollado al efecto, denominado Eureka-147.

Sin embargo, desde 1985, ya se había creado el Proyecto Eureka, con la participación de dieciséis países y la Unión Europea, como una manera de fomentar el desarrollo tecnológico y por hacer una posición competitiva de las compañías europeas en el mercado mundial.

Eureka clausuró el proyecto 147 a partir del 1 de enero del año 2000, dada la definición y puesta en funcionamiento del estándar. Los primeros servicios de transmisión se dieron en el Reino Unido y en Suecia a partir de 1995, pero su lanzamiento oficial se dio en Berlín en 1997, como mercado de mayor consumo de equipos electrónicos.

Al mismo tiempo, se formó el World DAB (Digital Audio Broadcasting) Forum, para estimar la cooperación y coordinación internacional para la introducción del formato Eureka 147 en el mercado de consumo. El trabajo técnico llevado a cabo originalmente por dicha entidad, quedó ahora en manos del comité técnico y comercial (Technical and Commercial Committee) del Foro World DAB.

Como casi todos los sistemas de radio digitales, el Eureka-147 utiliza un estándar con técnicas de compresión del audio. Debido a que este modelo fue el primero en crearse y estandarizándose como patrón para radio digital, sus técnicas de compresión son muy utilizadas a menudo como referencia. Se le tiene como un sistema “maduro” que se respeta a, menos veintinueve modelos y recomendaciones del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI-European Telecommunication Standards Institute).

También puede operar en las bandas de UHF y VHF, pero dice que no es todos los países, lo que sería un primer obstáculo, pues se trata de una eventual limitación territorial que tendrían que solventar las naciones que desean admitir este modelo tecnológico en dichas bandas.

Otro detalle que es necesario anotar es acerca de las personas que han presentado los Estados Unidos hacia el funcionamiento de la radio digital en la banda L, pues allí donde operan las comunicaciones de los aeropuertos, lo que podría atraer consecuencias, tales como interferencias no deseadas.

#### **2.8.1.3. DRM (DIGITAL RADIO MONDIALE)**

Se trata del proyecto de Eureka denominado 1559 para bandas AM. Es un estándar de radio digital propuesto por un grupo internacional de transmisores y fabricantes de equipos. Fue así creado, en marzo del 1988, el consorcio DRM.

En abril de 2001, el sistema fue aprobado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones como un estándar de radio digital en dicha banda. Ese mismo año, la especificación del sistema DRM fue el European Telecommunication Standards Institute (ETSI).

En el año 2003, el consorcio Eureka como el DRM acordaron trabajar juntos en el desarrollo de sus sistemas, tomando en cuenta su origen común y fines complementarios.

Técnicamente, el sistema DRM fue diseñado para utilizar transmisiones terrestres de bajo, media y alta frecuencia, por debajo de los 30 MHz. Estas bandas de frecuencia se caracterizan por dos formas de propagación de la señal, conocida como “propagación de onda aérea y onda terrestre”. El modelo DRM está diseñado para enfrentar condiciones severas de propagación, característico de la larga distancia en la onda aérea de alta frecuencia, al igual que la propagación menor con que comúnmente se asocia la transmisión en onda media y baja.

El Digital Radio Study Group de Australia señala una serie de ventajas para este formato de transmisión, entre las cuales están:

- Posibilidad de tratar con un amplio rango de condiciones de difusión, como las entradas en las bandas de transmisión alta, media y baja.
- Potencia para mejorar la calidad del audio y seguridad de la señal de servicios de transmisión que operan por debajo de las 30 MHz.
- Capacidad para transportar audio o datos (o ambos) con flexibilidad para tocar entre calidad del audio, capacidad de datos o señal robusta.
- Compatible con los canales de transmisión existentes para amplitud modulada (frecuencia media AM) MF-AM y los de frecuencia alta internacional.
- Provee un campo de acción para futuras mejoras en la calidad de audio o calidad en el transporte de datos a través del uso de canales de ancho de banda más amplios.
- Potencias para introducir servicios, digitales adicionales en banda de frecuencia media-amplitud modulada (FM-AM), una vez que los servicios analógicos cesen de operar.
- Lugares (y en algunos casos, infraestructura) existentes, que pueden ser utilizadas para la transmisión de servicios digitales.
- Posee (aunque puede ser cuestionable que utiliza) la codificación de audio más eficiente de todos los sistemas de radio (por ejemplo, el formato Mpeg-4).

También se señalan una serie de desventajas, entre las cuales tenemos la limitación en la posibilidad del espectro para servicios adicionales en la frecuencia media-amplitud modulada (MF-AM), debido a la operación actual de servicios analógicos en AM. Además, el sistema DRM tiene capacidad de datos limitada, en comparación con los sistemas de radio que utilizan banda ancha.

#### **2.8.1.4. ISDB-TBS (INTEGRATED SERVICE DIGITAL BROADCASTING- FOR TERRESTRIAL SOUND BROADCASTING)**

Como su nombre lo indica, se trata del Sistema de Transmisión Digital de servicios integrados para Emisión-Terrestre de Sonido (ISDB-TBS por sigla en inglés). En un modelo limitado o más restringido que el formato de banda ancha ISDB-T, que se utiliza para televisión digital. Ambos han sido desarrollados en Japón por la empresa NHK (Nippon) y fue inaugurado en diciembre de 2003.

Como ventajas para este esquema de transmisión, se señalan las siguientes:

- Se trata de un sistema avanzado que está diseñado para servicios de radio y televisión, ya sea fijos, portátiles y móviles.

- Tiene capacidad para prestar servicios en todo el mundo.
- Está diseñado para bajo consumo de poder, en receptores portátiles que permiten ser operados por baterías.
- Permite un uso formato eficiente de video Mpeg-4.
- Permite también el transporte de segmentos de video.
- Puede recibir señal en el interior de edificios con una simple antena.
- Puede ser aplicable a teléfonos móviles.

#### **2.8.1.5. DMB (DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING)**

El sistema de transmisión digital multimedia es un método integrado para la transmisión de radio, televisión y datos a aparatos móviles. Puede operar por transmisiones vía satélite (para lo cual utiliza el sistema DMB-S) o terrestre (DMB-T) en Mpeg-4. Según explican sus creadores, puede recibir señales de alta calidad inclusive en un vehículo que se desplace a 200 Kph. Fue lanzado en Corea del Sur el 1 de diciembre de 2003, tanto para servicios de televisión como de radio.

Desde abril de 2006, el servicio terrestre en Corea abarca 7 canales de televisión, 13 de radio y 8 canales de datos. Estos son transmitidos en seis multiplexores en la banda VHF para televisión, canales 8 y 12 (6 MHz). El servicio por satélite es proveído mediante suscripción y es posible accederlo en cualquier parte del país. El servicio terrestre no tiene costo, pero el acceso es limitado a regiones seleccionadas.

Puede efectuar transmisiones en bandas de radio frecuencia en VHF si la emisión es terrestre, y L (UHF), si es por satélite.

Es posible que sus ventajas sean precisamente al contar la posibilidad de recibir datos y audio de los sistemas DAB, dado que ambos están basados en el mismo protocolo. Además, se indica que los equipos, que ya se fabrican, son de bajo precio y múltiples funciones; y se dirigen a tecnología existente, tales como teléfonos, computadoras, agendas electrónicas y vehículos con capacidad de recibir este tipo de señales.

Dentro de las ventajas de este protocolo, se encuentra su compatibilidad con las redes DAB existentes, por lo que los aparatos multimedia que deseen utilizar el protocolo DMB-T puede utilizarlo también, mediante la adición de un multiplexor de transmisión. Además comparado con la tecnología móvil multimedia basada en televisión terrestre, el sistema DMB requiere un campo de potencia más bajo. Esto se debe a que la estructura de este modelo está pensada para equipo móvil.

Además, dado que está basada en tecnología de transmisión, es más eficiente en la emisión múltiple de datos de gran tamaño, a un costo más bajo, si se compara con la tecnología móvil multimedia de las redes de comunicaciones móviles. Se indica que no tiene limitación en el número de recipientes simultáneos.

## 2.8.2. RADIO DIGITAL SATELITAL

### 2.8.2.1. SISTEMA SDARS (XM Y SIRIUS)

En los Estados Unidos comenzaron a operar dos servicios de radio satélital por suscripción. Se trata del sistema XM, que comenzó a funcionar en noviembre de 2001, y sistema Sirius, que inició sus transmisiones en julio de 2002.

De acuerdo con la nomenclatura de la Federal Communication Commission (FCC) de los Estados Unidos, esta categoría de transmisión se denomina Satélite Audio Digital. Ambos operan en una frecuencia de banda de alrededor de 2.3 GHz que es parte del espectro de radiofrecuencia conocido como "Banda S".

Ahora bien mientras Sirius (cuya base de emisiones se encuentra en Nueva York) tiene tres satélites con ciento cincuenta repetidores. El primero emite sesenta programas de música y cuarenta de noticias, mientras que el segundo mantiene la proporción en 70% y 30%, respectivamente.

La organización Digital Radio Study Group de Australia, que hace el estudio comparativo sobre la ventaja de estas opciones de radio digital, señala solo dos ventajas para este esquema de radio digital, que son:

- Amplia cobertura (en este, continental), especialmente para receptores móviles.
- Su amplio ancho de banda permite que aproximadamente cien programas de audio sean transmitidos por cada sistema.

Las desventajas que podrían mencionarse son las siguientes:

- Solo parece estar diseñada para el mercado angloamericano (Estados Unidos principalmente, aunque bien podría tener clientela potencial en Canadá).
- La señal satélite puede ser bloqueada por edificaciones y otras construcciones.
- Cobertura pobre en interior de edificios.
- Requirla de repetidores terrestres para abarcar frecuencia de banda que no estén disponibles en todos los territorios (por ejemplo, la banda S no está disponible en todas las regiones).

### 2.8.2.2. WORLDSPACE

La empresa World Space Corporation desarrolló los sistemas de operación de radio digital por satélite que funcionan en la banda L, en aproximadamente 1.56 Hz. Según la terminología que utiliza la Unión Internacional de Telecomunicaciones, ambos sistemas son conocidos como sistemas D y Sistema D<sub>h</sub>. El primer sistema fue diseñado exclusivamente para entrega de servicios vía satélite, mientras que en el segundo (H) indica que es híbrido de transporte por satélite y terrestre. El sistema D<sub>s</sub> opera y provee cobertura para Asia, África, el Oriente Medio y algunas partes de Europa, a través de dos satélites geoestacionarios, y dirigidos a aparatos de radio. Estos dos satélites son denominados Afristar y Asiastar. Un tercer satélite fue pensado para cubrir América Central y Sudamérica, pero su lanzamiento ha sido suspendido indefinidamente.



Dentro de las ventajas que se mencionan están:

- Los receptores digitales son relativamente asequibles.
- Cobertura amplia.
- Satélites de bajo costo en comparación con otros sistemas de radio digital por satélite.

Desventajas que se apuntan su similares a las mencionadas para el sistema XM y Sirius, a saber:

- Los componentes satélites no están, diseñados especialmente para recepción móvil.
- Cobertura pobre en interior de edificios desde el satélite.
- Requiere repetidores terrestres en modo híbrido para superar los tres puntos indicados.
- En el caso de Eureka 47, la frecuencia requerida de las bandas L está cargada por servicios de punto a punto y de punto a multipunto.

### 2.8.2.3. RDS (RADIO DATA SYSTEM)

En este un sistema desarrollado por la European Broadcasting Union (EBU), entidad no gubernamental ni lucrativa que promueve la cooperación en transmisiones de radio y televisión. Es importante mencionar que esta la organización más grande del mundo de entidades de transmisión, y tiene setenta y un miembros activos en cincuenta y dos países de Europa, África del Norte y el Oriente Medio, así como cuarenta y seis miembros asociados en veintinueve países.

Este sistema permite introducir una señal digital con datos de transmisión en la frecuencia FM convencional con información adicional pertinente al programa que se está recibiendo en ese momento. Por eso se denomina también FM-RDS.

Las funciones que incluye este sistema son, en otras:

- Posibilidad de mantener una misma emisora de trayectos largos sin necesidad de cambiar de sitio en el día.
- Información en pantalla de la red de transmisión que sintoniza en ese momento y tipo de programa (noticias, deportes, música, etc).
- Información relacionada con el tráfico. (Salas, 2006)

## 2.9. APLICACIONES DE LA RADIO

Una de las aplicaciones de más éxito de las comunicaciones por radio es la telefónica móvil, que consiste en ofrecer el acceso vía radio a los abonados de telefonía, de manera tal que podrán realizar y recibir llamadas dentro del área de cobertura del sistema.

El método tradicional de comunicación telefónica es mediante el empleo de la red telefónica conmutada y el uso de teléfonos fijos, pero cada vez más, otras alternativas están cobrando fuerza y, en algunos casos, llegan a ser más un sustituto que un complemento de la primera. Así tenemos los sistemas de radio profesional, la radio mensajería y los sistemas celulares

(conocidos como la telefonía móvil) e inalámbricos, todos ellos haciendo uso de la tecnología radio, como los más importantes.

En la telefonía móvil analógica la voz se transportaba como una señal continua sin codificar, mientras que en la telefonía móvil digital la voz se digitaliza y trocea en paquetes que pueden compartir el mismo canal de frecuencias con otros paquetes procedentes de otras conversaciones, lo que permite aumentar la capacidad del sistema, aprovechando al máximo un recurso escaso como es el espectro radioeléctrico.

La telefonía móvil consiste en ofrecer el acceso vía radio a los usuarios de telefonía, de manera tal que pueda realizar y recibir llamadas dentro del área de cobertura del sistema, utilizando el espectro radioeléctrico para enlazar con las estaciones de radio.

### 2.9.1. USOS MÁS COMUNES

**Radio comercial:** la radio comercial local más usada, hasta la llegada del Internet, es la frecuencia modulada o FM. Las emisoras que trabajan en FM, más del 90% utilizan la parte del espectro que va de los 87 MHz a los 107 MHz.

**Televisión analógica:** la televisión, en uso hasta abril del 2010, utilizaba la banda de VHF (Very High Frequency) entre los 30 MHz y los 300 MHz, así como la de UHF (Ultra High Frequency) que va de los 300 MHz hasta los 3 GHz.

**Televisión digital:** la TDT emplea el rango UHF para emitir, pero lo aprovecha mucho mejor que la televisión analógica, ya que por cada canal analógico se puede emitir cuatro canales digitales. También se tiene TV por cable.

**Telefonía móvil:** los teléfonos móviles hacen uso de frecuencias más altas que las empleadas para la televisión. Así el servicio digital GSM emplea el rango de los 900 y 1800 MHz, mientras que la 3G y 4G (más modernas y capaces de transportar datos a alta velocidad, no solo voz) trabaja en los 2.1 GHz, aunque con el proceso de “refarming” o de neutralidad tecnológica, podría hacerlo en otras frecuencia más bajas.

**Telefonía fija inalámbrica:** los teléfonos inalámbricos más modernos trabajan en el rango de los 5.8 GHz, pero todavía hay muchos que usan la misma banda del GSM, como es el estándar DECT.

**Wi-Fi:** los estándares más modernos para los routers inalámbricos usan el rango de los 2.4 y 5 GHz, que permiten un ancho de banda mayor, ideal para Internet. Sin embargo, hay otros aparatos domésticos que operan en frecuencias similares que generan interferencias.

**Bluetooth:** La tecnología de transmisión de datos por vía inalámbrica a corta distancia también trabaja en la banda de 2.4 GHz, la misma que la de los hornos microondas, que son una causa de interferencia en este tipo de redes.

**RFID:** Las etiquetas de identificación por radiofrecuencia, como por ejemplo los chips que se les pone a las mercancías para tenerlas identificadas, funcionan con ondas de muy baja energía, que comunican a cortas distancias. En concreto, entre 125 y los 148.5 KHz. Hay algunas etiquetas que portan algo más de información y trabajan en frecuencias más altas,

como los 13.5 MHz; son las llamadas comunicaciones de proximidad (NFC/Near Field Communications), de gran uso en países como Corea o Japón.

Mandos a distancia: Los mandos que controlan a distancia el televisor, las videoconsolas y los Home Cinemas utilizan un rango próximo al infrarrojo, es decir sobre 390 THz, cercano a la luz visible. Los mandos para garajes usan otro rango.

Pero no todas las frecuencias disponen de las mismas capacidades de cobertura y de comportamiento frente al ruido y las interferencias, lo que hace que algunas sean más solicitadas para determinados usos que otras. Además los diferentes tipos de servicios requieren distintos márgenes (bandas de frecuencia) específicos.

### 2.9.2. EL DIVIDENDO DIGITAL

En 2007 la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) decidió que la banda de frecuencias que va de 790 MHz a los 862 MHz, que quedaría libre con la transición de la televisión analógicas la TDT, estaría reservada para servicios de banda ancha en el entorno rural, y algunos incluso, ya han empezado a adjudicarlos.

En consecuencia, el apagón de la televisión analógica va a suponer la liberación de una posición del espectro importante (la banda comprendida entre los 790 y 862 MHz, que se destinara, primeramente, en Europa a servicios móviles de banda ancha, según acuerdo adoptado en la WRC 2007. Estas frecuencias son muy conocidas por su calidad, como se ha podido comprobar con la subasta de la banda de 700 MHz en Estados Unidos, ya que al ser una banda baja, sus cualidades de propagación y penetración son muy superiores a las de las bandas más altas asignadas a los servicios móviles. (Huidobro, Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios, 2011)

# CAPITULO III

## TELEVISIÓN DIGITAL

---

### 3.1. INTRODUCCIÓN A LA TELEVISIÓN

#### 3.1.1. DEFINICIÓN DE TELEVISIÓN

La palabra televisión proviene de la palabra griega tele (que significa distante) y la palabra en latín visión (que significa vista). En consecuencia, televisión solo significa ver desde cierta distancia. En su forma más sencilla, la televisión es el proceso de convertir imágenes (ya sea estacionarias o en movimiento) a señales eléctricas. Se transmiten las señales eléctricas por un medio de transmisión para que sea capaz de llegar a un receptor lejano, se transforma la señal eléctrica de manera que se perciba en imágenes que se pueden percibir a simple vista. Por lo consiguiente la televisión es un sistema en el cual las imágenes transmiten la señal desde una ubicación central hasta enviarla a los receptores, donde se reproducen las señales en su formato más adecuado. (Tomasi, 2003)



Figura 3.1. Equipo de TV.

### 3.1.2. SISTEMAS DE TELEVISIÓN

Existen diversos sistemas especiales de circuitos cerrados que se basan o retornan los mismos fundamentos que los sistemas televisivos públicamente, por lo que se estudian del mismo modo.

La televisión ha ido evolucionando durante más de sesenta años, desde sistema de exploración mecánica de **John Logie Baird** hasta los modernos sistemas de color y de alta calidad que pueden transmitir tanto programas de entretenimiento como la información que se maneja como “teledatos”. Durante todo este periodo se ha mejorado la reproducción del sonido y las imágenes visuales. Pero se plantean los mismos principios básicos para la transmisión de información por los medios electrónicos.

La televisión se ha diseñado de manera que el cerebro del ser humano mediante el ojo (medio óptico) sea capaz de percibir de manera subjetiva tanto la energía luminosa y los efectos que esta misma llevan. (Dunlop & Smith, 1988)

### 3.1.3. HISTORIA DE LA TELEVISIÓN

La idea de transmitir imágenes o fotografías se experimentó por primera vez en la década de 1880 cuando **Paul Nipkow**, un científico alemán, realizó experimentos utilizando discos giratorios colocados entre una fuente de luz potente y el sujeto. En el disco se hizo una hilera de orificios en espiral, lo cual permitía que la luz explorara el objetivo de un nivel superior a un nivel inferior. Después de una revolución completa del disco, todo el objetivo se exploraba completamente. La luz que reflejaba el objetivo se dirigía hacia una celda sensible a la luz, la cual generaba una corriente proporcional, en intensidad, a la luz reflejada.

En 1925, **C. Francés Jenkins** en Estados Unidos y **John L. Baird** en Inglaterra, usando los discos para exploración conectados a amplificadores de tubo de vacío y a celdas fotoeléctricas, se realizó la primera reproducción de imágenes que fueran reconocibles, si bien su calidad era aún muy baja. Los científicos trabajaron varios años intentando desarrollar discos efectivos para la exploración mecánica que, con espejos y lentes mejorados, complementada con una fuente de más intensidad luminosa, mejoraron la calidad de la imagen reproducida. Sin embargo, en 1933, Radio Corporation of America (RCA) anunció un sistema de televisión que desarrolló **Vladimir K. Zvorykin**, el cual emplea una técnica de exploración eléctrica. El sistema de Zvorykin no requería de partes mecánicas móviles.

En 1941, comenzó en Estados Unidos la emisión comercial de señales de televisión monocromática (blanco y negro). En 1945, la FCC asignó 13 canales de televisión VHF: 6 canales de banda baja, 1 al 6 (44 a 88 MHz) y 7 canales de banda alta, 7 al 13 (174 a 216 MHz). Sin embargo, en 1948 se descubrió que el canal 1 (44 a 50 MHz) causaba problemas de interferencia, en consecuencia, este canal se registró a los servicios de radio móvil. En 1949, se iniciaron los experimentos de transmisión a color.

En 1952, los canales de UHF de 14 a 83 (471 a 890 MHz) fueron asignados por la FCC con el fin de proporcionar más estaciones de televisión. En 1953 la FCC adoptó el denominado Comité de Sistemas de Televisión Nacional (NTSC) para la emisión de televisión a color, la cual se utilizó en ese momento.

En 1974, **R. B. Dome** de la General Electric Corporation propuso el método de transmisión de sonido interportadora para la emisión de televisión que se utilizaba en la actualidad. (Tomasi, 2003)

### 3.1.4. DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN

La descripción de las redes de difusión de televisión que se aplican para transmitir la señal es de tres formas. En la actualidad, es posible recibir señales de televisión a través de tres medios: televisión terrenal, televisión por cable y televisión por satélite. En el caso terrenal, se trate de la televisión analógica o digital, el satélite constituye un medio de interconexión entre una serie de interconexión entre una serie de centros reemisores que cambian la modulación de la señal y la envía por la red de distribución terrestre.

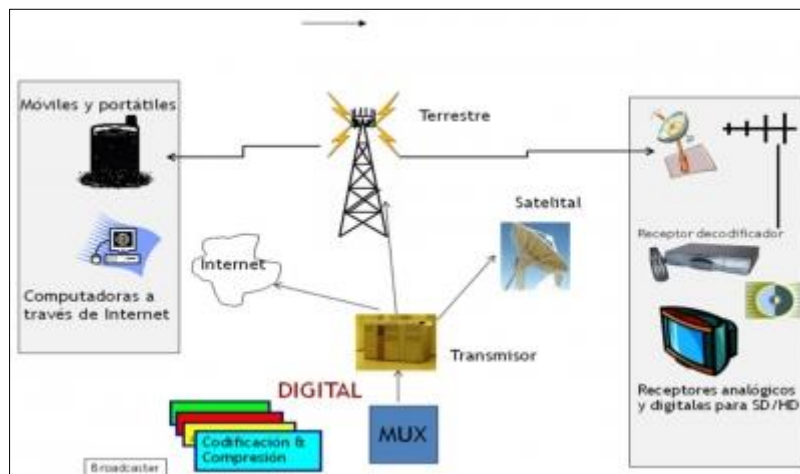


Figura 3.2. Distribución de TV terrestre.

En el caso de la televisión por cable el satélite se emplea en la cabecera de la central transmisora para captar los canales de televisión e inyectarlos, previo procedimiento, en la red de cable para la distribución a los usuarios. Sin embargo, es en los sistemas de televisión por satélite donde se encuentra mayor cobertura en el momento de la transmisión de las señales, lo que a su vez se tienen diferentes características de difusión que hacen más completo los sistemas de televisión. (Roldán, 2005)

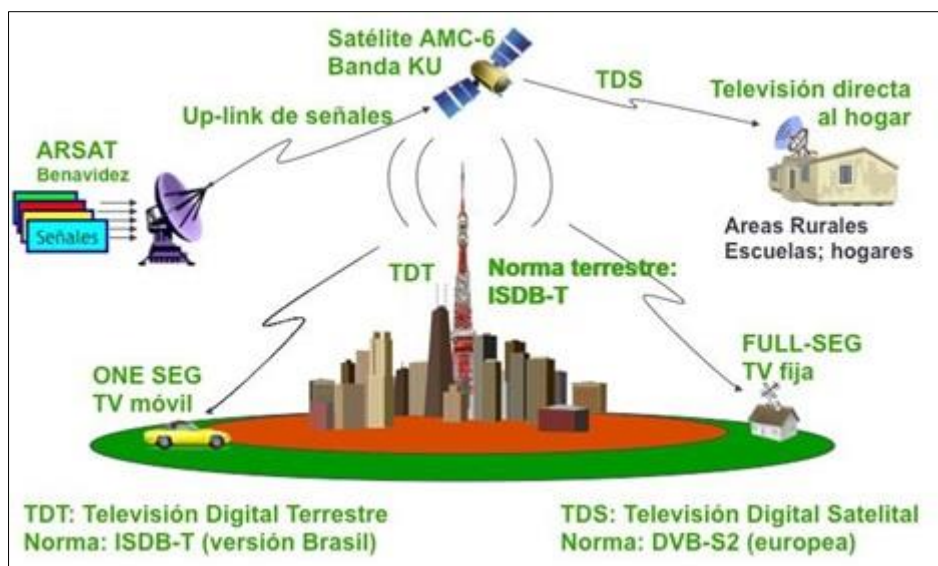


Figura 3.3. Distribución de TV vía satélite.

### 3.1.5. CONCEPTOS DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y TELEVISIÓN DIGITAL

#### 3.1.5.1. CONCEPTO DE TV ANALÓGICA

##### ➤ NTSC (Nacional Television Standards Committee)

Fue el grupo que se estableció en los años cuarenta las especificaciones de ese momento del sistema de televisión analógica en Canadá, los Estados Unidos y Japón. La imagen tenía un ancho de banda de canal de 6 MHz, 525 líneas verticales con resolución horizontal de 480 píxeles (son las líneas visibles) y vertical de 720 píxeles, las mismas que para el sistema PAL eran de 30 imágenes por segundo, la mitad de la frecuencia de la red eléctrica estadounidense que es de 60 Hz y una proporción dimensional de cuatro unidades horizontales por tres unidades verticales (relación de aspecto 4 x 3).

##### ➤ PAL (Phase Alternating Line)

El sistema utilizado en Europa y una gran parte del mundo, caracterizado por un ancho de banda en el canal de 8 MHz, 625 líneas de barrido vertical con resolución horizontal de 576 píxeles, un refresco de 25 veces por segundo y la misma proporción dimensional que NTSC, es decir, 4 x 3.

Se tiene una señal que es proporcional entre una y otra, se podía convertir a PAL y viceversa. Una variante del sistema se denomina SECA, que era utilizada en Francia, Rusia y algunas partes de África.

Según se incrementa el número de líneas y el número de píxeles por línea, así como la frecuencia de refresco o fotogramas por segundo, se obtienen imágenes de televisión más nítidas, por lo que se considera que el sistema PAL tiene una definición algo mayor que la del sistema NTSC.



La transmisión de señal de TV se realiza mediante difusión o broadcast, por lo que se envía desde un punto (pueden ser varios) para que sea recibido por todos aquellos interesados de esa señal de TV, ya que el aire es un medio barato que no requiere infraestructuras costosas. (Huidobro J. M., 2011)

### 3.1.5.2. CONCEPTO DE TV DIGITAL

El principal problema de la televisión analógica es que no tiene la capacidad al hecho de que las señales de video varían muy poco al pasar de un elemento de imagen (pixel) a los siguientes, o por lo menos existe una dependencia entre ellos. En pocas palabras, se utiliza totalmente el espectro electromagnético, además de que al crecer el número de estaciones transmisoras, la interferencia pasa a convertirse en un grave problema en el sistema analógico.

En la televisión analógica, los parámetros de la imagen y del sonido se representan por las magnitudes analógicas de una señal eléctrica, su transporte del emisor al receptor ocupa la señal un amplio ancho de banda. En el mundo digital esos parámetros se representan por números; en un sistema de base dos, es decir, usando únicamente los dígitos "1" y "0".

El proceso de digitalización de una señal analógica lo realiza el conversor analógico/digital. Esta representación, numérica en bits, permite que la señal de televisión realice procesos muy complejos, sin degradación de calidad, que ofrezca múltiples ventajas y que sea capaz de brindar nuevas posibilidades en los servicios al usuario. La señal de televisión digital directamente digitalizada por el conversor analógico/digital ofrece una gran cantidad de bits que no hacen viable su transporte y almacenamiento sin un consumo excesivo de recursos.

#### Ventajas

La digitalización de la televisión lleva consigo numerosas ventajas en el uso y manejo de la misma. Podemos resumir estas ventajas en los siguientes puntos:

#### **a) Menor consumo de frecuencia.**

Tanto la televisión analógica, como la digital, transmiten los canales con un ancho de banda de 8 ó 6 MHz, según la norma europeo o americana, respectivamente. Los métodos analógicos de transmisión de TV no se prestan a la compresión de ancho de banda, así que no pueden manejar suficiente información.

De acuerdo a la tecnología actual se considera universalmente que la transmisión analógica representa un desperfecto al no aprovechar al máximo los espacios del espectro radioeléctrico.

#### **b) Mayor número de canales de televisión.**

El incremento en la oferta de canales permite una mezcla entre canales abiertos y canales de pago. Además, cada canal radioeléctrico permite varios programas y servicios multimedia.

#### **c) Mejor calidad de imágenes y sonido.**



Por un lado, es una televisión sin ruidos, interferencias, doble imagen, y con formatos de imagen panorámico (16:9) y convencional (4:3) y múltiples subtítulos. La imagen tiene una mayor resolución que la analógica, siendo prácticamente igual al DVD.

En cuanto al sonido, será de calidad similar a un CD, con efecto Surround y multilingüe.

**d) Ofrece más servicios.**

El mejor aprovechamiento del ancho de banda gracias a la digitalización, permite numerosos servicios: transmisión de señales audio y video de alta fidelidad, servicios interactivos, acceso a la TV digital permite participar en eventos, concursos, ver el estado del tiempo, saber de las características de la programación, información del tráfico, etcétera.

### Arquitectura

Los distintos elementos que invierten en la difusión de televisión digital están esquematizados.

**a) Proveedor de servicios.**

Provee servicios interactivos o contenidos destinados a servicios interactivos. Puede ser, por ejemplo, un banco que ofrezca datos financieros mediante una pasarela segura a sus clientes, o el proveedor de información meteorológica para la aplicación del tiempo.

La comunicación se puede establecer mediante RTB (Radio Televisión Brunei), RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), Frame Relay, etcétera., con el operador. En concreto, los datos se envían a un servidor de aplicaciones del operador de televisión digital.

**b) Proveedor de contenidos.**

Provee contenidos de televisión y radio. Algunos ejemplos son Media par K (con cadenas Palomitas o Buzz), Surge Cable (con cadenas como canal to Cinemania), Time Warner (con cadenas como CNN), y otros. Transmite sus contenidos vía satélite o cable al centro de emisión del operador.

**c) Servidor de aplicaciones.**

Se encarga de preparar las aplicaciones para su codificación antes de ser emitidas. Integra los datos casi por completo en tiempo real, de los proveedores de servicios.

**d) Centro de emisión**

Recoge señales de los diferentes proveedores de contenidos, prepara la codificación y emisión de las distintas señales.

**e) Encoding/Mux.**

Codifica la información de video y audio (para los servicios interactivos) convirtiéndola en paquetes MPEG-2 (modulación). Se codifique el acceso (encripte) la información de manera que el sistema de acceso condicional de la plataforma. Por último, combina (o multiplexa) toda la información (video, audio y datos) para poder transmitir cada uno de los paquetes MPEG unos en seguida del otro.

**f) Decodificador OSTUB (Set-Top-Box).**

Dispositivo conectado a la Televisión que permite: decodifique el acceso (desencripte) la señal para que se compruebe los derechos del abonado según el algoritmo del sistema de acceso condicional del operador, y decodificador la señal MPEG-2 para convertirla en señal analógica que se enuncia al TV (demodulación). En el caso de servicios como TV por pago en que la transmisión va encriptada (codificación de acceso), también permite, desencriptar (decodificación de acceso) la señal para poder visualizarla. El STB (Set Top Box) también es un elemento fundamental para los servicios interactivos. Para este tipo de televisión es necesario un canal de retorno para el usuario que comunique las opciones deseadas al centro de distribución de contenidos de televisión.

En estos momentos esta comunicación se hace vía modem, pero en un futuro podría evolucionar hacia el uso de otras tecnologías por parte del usuario. (Cubero, 2009)

### 3.2. SEÑAL AUDIOVISUAL

La información audiovisual transmitida en banda base, tal como se envía a los receptores, tiene configuración analógica, ya que su magnitud se representa por variaciones de tensión en el tiempo. Por cuestiones de índole práctico, esta configuración puede combinarse y adoptar el formato digital para su tratamiento, registro o transmisión de la señales.

Las señales portadoras contienen información analógica o digital y se encuentran moduladas en amplitud, frecuencia o cuadratura, dependiendo de la norma de televisión que se emplee. Así, a modo de ejemplo, en las normas NTSC y PAL, para la transmisión de la señal portadora en video se modula en amplitud con su contenido de brillo y en cuadratura con el color, y la señal de audio la modulada en frecuencia, transmitiéndose simultáneamente dos portadoras; la señal de video (brillo y color) y la señal de audio (sonido), con una separación espectral en razón a la magnitud que se requiere para transmitir las señales portadoras en su respectivo ancho de banda que este sea capaz de contener la información sin ningún efecto que altere a la misma. (Perales, Televisión Actual, 2001)

#### 3.2.1. LA LUZ Y LA RESPUESTA DE LA VISIÓN HUMANA

La luz es una forma de radiación electromagnética, la potencia radiada por cualquier fuente luminosa se mide de forma objetiva en watts. La energía luminosa solamente es visible dentro de un intervalo de longitudes de onda muy restringido: desde  $4 \times 10^{-9}$  m. La sensación subjetiva de brillo depende de la longitud de onda de la luz que incide, por lo que se puede apreciar la impresión de un observador si una fuente luminosa es intensa (brillante) o débil (opaca).

La intensidad luminosa de la fuente se pondera la densidad espectral continua de la respuesta que es observada del patrón de luminancia. Las unidades que resultan son la **candela**, que se define como 1/60 de la intensidad luminosa por  $\text{cm}^2$  de un cuerpo negro manteniendo la temperatura de  $2042^\circ$  K. El **lumen** es la cantidad de luz que atraviesa una unidad de área situada a una distancia de la fuente puntual de la candela; es decir, la emisión total de una fuente de candela, es de  $4\pi$  lúmenes. El lumen es la unidad de flujo luminoso y, a diferencia de la respuesta observada del patrón de luminancia.

Refiriéndose a la televisión monocromática, la respuesta de la cámara al capturar una escena coloreada debe ajustarse lo más posible a la respuesta observada del patrón de luminancia, es decir, la salida eléctrica debe ser proporcional al brillo de la escena medida en lúmenes. A esta señal de salida se le denomina señal de luminancia. (Dunlop & Smith, 1988)

### 3.2.2. ACTUACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

#### 3.2.2.1. FRECUENCIAS Y BANDAS ASIGNADAS

Los canales de televisión con enlace terrenal están asignadas por el **CCIR** (*Comité Consultivo Internacional de las Radiocomunicaciones*) en cuatro bandas: dos en la región de VHF (*Very High Frequency*) y otras dos en la de UHF (*Ultra High Frequency*).

La interportadora corresponde a la diferencia entre las portadoras de audio y video, existiendo dos cuando se transmite audio dual (bilingüe) o estéreo (dos sonidos), y la modulación de la imagen que es transmitida (negativa o positiva).

|            |            |                            |   |
|------------|------------|----------------------------|---|
| <b>VHF</b> | Banda I    | 47-68 MHz<br>69-86 MHz     | Canales E2-E4<br>Canales por cable 501-503                          |
|            | Banda II   | 87-108 MHz<br>108-173 MHz  | Radio comercial en FM<br>Canales por cable S1-S10<br>Canales E5-E11 |
|            | Banda III  | 174-230 MHz<br>231-300 MHz | Canales por cable S11-S20   |
|            | Hiperbanda | 300-470 MHz                | Canales por cable S1-S40  |
| <b>UHF</b> | Banda IV   | 470-709 MHz                | Canales E21-E50   |
|            | Banda V    | 710-862 MHz                | Canales E51-E69   |

Tabla 3.1. Banda de VHF y UHF y asignación de servicio.

Fuente: (Perales, Televisión Actual, 2001)

#### 3.2.2.2. PORTADORAS DE TELEVISIÓN

Las señales radioeléctricas que reciben las antenas de los receptores de televisión están compuestas por dos o más portadoras, moduladas con la información de imagen y sonido constructivos de la emisión.

Las señales de Televisión transmitidas pueden proceder de un centro emisor o de un reemisor. El primero es denominado así comúnmente cuando recibe la información en banda base desde

los estudios de producción, se emite con las características correspondientes de la norma adoptada en la zona a la que da servicio. El reemisor, por su parte, está enlazado en una red de transporte de señal, este tipo de configuración es capaz de recibir una portadora modulada en frecuencia (sistema clásico) o en desplazamiento de fase (sistema digital), este se ubica en la zona de microondas, se procede a desmodular la señal y a emitirla en la norma correspondiente y en las frecuencias asignadas a la zona.

Un ejemplo, la descripción que sigue corresponde a la norma PAL y normas B-G.

Una emisión de televisión de la citada norma está formada básicamente por dos portadoras correspondientes a la imagen y al sonido. Pero puede contener una señal portadora complementaria para estéreo o dual, con lo que queda constituida del siguiente modo y finalidad:

1. **Portadora de imagen modulada en amplitud**, conteniendo los sincronismos necesarios para formar la escena en la pantalla, las señales de brillo (luminancia) y de color (crominancia) de las imágenes
2. **Portadora de sonido principal modulada en frecuencia.**
  - 3a. **Portadora de sonido complementaria**, también modulada en frecuencia, con información de otro canal o lengua (estéreo o dual) dando lugar con ello al sistema ZWEITON.
  - 3b. **Portadora autónoma modulada en fase (DQPSK)** con el contenido digital de diferentes canales de audio de condición de estéreo o dual, sistema denominado NICAM.

### 3.2.2.3. PORTADORAS DE IMAGEN Y SONIDO PRINCIPAL

La portadora correspondiente a la imagen está modulada en amplitud y se transmite en banda lateral vestigial. Su modulación es negativa, con un índice del 90%, de forma que antes era la mayor amplitud de los detalles de la escena, que corresponden al blanco saturado, la portadora conserva un 10%. Sin embargo, dado que la información de video está representada por una tensión de nivel, depende del contenido del brillo y que la portadora de imagen también se relaciona con los impulsos de sincronismo, se establecen dos franjas de modulación separadas por una línea de identificación denominada nivel de negro, y que son:

| Nivel de portadora | Contenido      |
|--------------------|----------------|
| 100% a 75%         | Sincronismos   |
| 75% a 10%          | Negro a blanco |

Tabla 3.2. Franjas de modulación.

Fuente: (Perales, Televisión Actual, 2001)

Si se consideran que el canal de TV deben ubicarse diferentes portadoras distanciadas en frecuencias, queda justificada la transmisión en banda lateral vestigial, con una separación de 1.25 MHz del borde inferior (banda lateral inferior), y 0.5 MHz del centro de la portadora principal de audio (banda lateral superior), que dando un margen en la parte del borde superior del canal de 0.25 MHz en VHF y 1.25 MHz en UHF.

La portadora de audio indica que está modulada en frecuencia con una desviación de  $\pm 75$  KHz para los máximos picos de audio y se le aplica un preénfasis de 50  $\mu$ s. La relación de potencias

con respecto a la imagen es de 10:1 (10 dB de atenuación) en orden a reducir al máximo las perturbaciones entre portadoras, dando el estrecho margen de separación (0.5 MHz) con el borde de la banda lateral superior de la imagen.

#### 3.2.2.4. PORTADORAS COMPLEMENTARIAS

La necesidad de transmitir sonido en estéreo o en dos lenguas (modo dual) ha dado lugar al seguimiento de un sistema analógico conocido como ZWEITON, entre otros nombres y, al poco tiempo, uno digital denominado NICAM.

El primero supone la emisión de una nueva señal portadora con las mismas características de modulada con la principal de audio, excepto en su nivel, ya que esta es atenuada a 7 dB, estando a un margen de la de audio a 224 KHz y, por tanto, a un margen de 5742 MHz de la que contiene el video. La emisión en estéreo, la señal portadora principal contiene el audio  $1+D/2$  y la complementaria de 5742 MHz el correspondiente a  $2D$ , recurriendo a una matriz en el receptor para separar los dos canales; canales izquierdo (I) y derecho (D). Para la emisión dual, cada canal contiene una lengua.

El sistema NICAM una de las más recientes innovaciones. Es un canal digital con una señal portadora separada de la imagen aun margen de 585 MHz y con una potencia de -20 dB respecto de la misma. Es autónomo el sistema, lo que supone que contiene los canales necesarios (generalmente dos) para su servicio de contenido estéreo o dual. (Perales, Televisión Actual, 2001)

#### 3.2.3. FACTORES BÁSICOS DE LA IMAGEN

Fundamentalmente, la transmisión y recepción electrónica de imágenes en movimiento se basa en un conjunto de principios generales que hacen posible técnicamente dicho proceso. El primero y principal se relaciona con el sistema de exploración de las imágenes, es decir, el método por el que la imagen es explorada en la cámara. Este procedimiento está vinculado estrechamente con el fenómeno de la persistencia de la visión que manipula la transmisión de en forma "ilusión" de movimiento e impide el parpadeo de la imagen. El segundo principio básico se centra en la estructura y está formada por un conjunto de pequeños puntos de luz que deben dar una adecuada resolución o definición a la escena filmada y reproducida. Estos elementos o puntos luminosos se representan en una pantalla cuyo formato rectangular (ratio 4:3) ha sido trasladando de la cinematografía, adoptado universalmente. En últimos términos, se encuentran las características técnicas del proceso de reproducción de imágenes de la misma manera consecuentemente la anchura del canal para su transmisión.

En la televisión mecánica de **Nipkow** la exploración se reducía al movimiento giratorio de un disco con un conjunto de aperturas en forma de espiral. En la televisión moderna, la estructura de exploración de la imagen sigue el método de lectura línea a línea, de izquierda a derecha, y de la parte superior a la inferior, de forma similar a la progresión que sigue el ojo humano cuando lee un material impreso.

En la actualidad para la exploración de la imagen se emplean dos tipos de sensores: los tubos electrónicos por medio de un haz de electrones; y los de estado sólido a través de circuitos integrados. Con la independencia del futuro de los últimos estados, la exploración por el medio más empleado en la actual estructura de la televisión.

En término genérico tubo electrónico, al igual que su homónimo “tubo de rayos catódicos”, se utiliza para describir las tecnologías que convierten los puntos de luz. Lógicamente, el primer paso se realiza en la cámara y el segundo en el aparato receptor de televisión. En consecuencia, para diferenciar ambas funciones, realiza las dos funciones en sus respectivos tubos electrónicos, se denominan “tubos capacitores” aquellos que situados en la cámara realizan la función de exploración de las imágenes; y “tubo de imagen” los que se reproducen o se regeneran en el receptor la señal de video en el punto de luz.

La lectura o barrido es doble y se realiza por medio de las bobinas de deflexión, una vertical y otra horizontal. Primero se realiza un movimiento horizontal, de izquierda a derecha, que corresponde a la exploración de los elementos de cada línea, y el otro sigue en movimiento verticalmente de la parte superior a la inferior, en líneas alternas, que involucra el análisis de cada uno de los campos que conforman una imagen. Cuando el haz completa el barrido horizontal de una línea vuelve al comienzo de otra línea. Este tipo se denomina retorno. Los impulsos de retorno donde indica el comienzo de la lectura de una nueva línea.

La frecuencia de repetición de una imagen para evitar el parpadeo es de aproximadamente 48 imágenes por segundo. Sin embargo, la frecuencia de imagen por segundo en la televisión no es de 48 Hz, sino de 25 Hz en Europa y 30 Hz en Estados Unidos. ¿Por qué no existe parpadeo de una frecuencia de 48 Hz? Necesitaría un canal más amplio que el del ancho de banda actual. Al igual de la misma manera si el cine mantuviera una frecuencia que se denomina fotogramas de 48 Hz necesitaría casi el doble de montaje para la proyección de la película (el fotograma en la cinematografía es de 24 por segundo).

El sistema de exploración empleado en la televisión para cada imagen es analizado y sincronizado en dos grupos de líneas espaciadas. En consecuencia, el área se ilumina en dos ocasiones aunque cada línea en la imagen está presente solo una única vez. Esta técnica es posible debido a que el ojo humano es prácticamente insensible al parpadeo cuando la variación de la luz se reduce a una pequeña parte del campo de visión.

Para evitar el parpadeo de la imagen, se adecuada la frecuencia de exploración de acuerdo al tiempo de permanencia de la visión, la exploración de la imagen por la cámara está entrelazada, es decir, la imagen se analiza por medio de dos barridos verticales, cada uno “lee” la mitad de las líneas (lectura de líneas alternas). Cada uno de los barridos verticales recibe el nombre de campo.

Durante el tiempo de retorno horizontal, de derecha a izquierda, y vertical, de abajo hacia arriba, no se produce una lectura del haz de electrones por lo que en consecuencia no se utiliza para transmitir la información de la imagen. Este tiempo se emplea para evitar impulsos de sincronización, el que permite un sincronismo entre el proceso de exploración de la cámara y el reproductor del receptor.

Otro aspecto importante en los sistemas de televisión es la estructura de la imagen y el formato de los receptores.

Cuanto más elementos contenga una imagen mayor será su calidad pero al mismo tiempo se incrementa la anchura de canal necesario para su transmisión. Si tenemos en cuenta que las imágenes de televisión se contemplan a una relativa distancia (entre un metro y medio y cuatro metros), la pantalla del receptor no excede de los 1.800 centímetros cuadrados, una estructura de compresión de las imágenes de 200.000 puntos es considerada adecuada.

Partiendo de lo anterior, la televisión tiene algunas características técnicas que limitan y condicionan la anchura de los canales necesarios para su transmisión. La calidad y cantidad de información la cual se transmite por televisión y está limitada por el número de puntos de luz que es dividida la imagen de la misma forma la velocidad de transmisión de los puntos de luz en el canal. En los sistemas actuales de televisión, la imagen se divide en unos pocos segundos en aproximadamente 200.00 elementos o puntos de luz individuales. Por lo que el contenido en conjunto con las características del contenido varía de imagen a imagen, la velocidad de transmisión oscila entre unos pocos impulsos a varios millones de segundo. Por lo tanto los canales de televisión deben tener una anchura suficiente para poder transportar de forma continua la frecuencia de varios millones de hertzios.

Cada canal de TV ocupa una anchura aproximada entre 6 y 8 MHz (algunos países alcanzan hasta 14 MHz) del espectro electromagnético, es decir, cientos de veces más amplios que un solo canal de televisión utiliza seis veces la parte del espectro destinado a todas las emisoras de onda media. Como consecuencia de la anchura de cada canal de televisión, el número de estaciones de televisión es pequeño. Además teniendo en cuenta que cualquier limitación de los canales tendría como consecuencia una disminución de la calidad de transmisión de la señal.

### 3.2.4. EL SISTEMA DE TELEVISIÓN ANALÓGICA

#### 3.2.4.1. TECNOLOGÍA DE LA TRANSMISIÓN

El transmisor de televisión realiza dos funciones: generar las señales portadoras de video y audio, además de modular la información sonora con la información visual se integren a sus respectivas ondas transportadoras. Las señales se transportan conjuntamente a través de un mismo canal.

La televisión emplea dos sistemas distintos de transmisión: uno de imágenes y otro de sonidos. El video opera como transmisor convencional de información visual que es modulado en amplitud, una transportadora con la información visual que procede de las cámaras y otras fuentes de video (magnetoscopio, ENG, EFP, etcétera.) y el sonoro funciona como un típico transmisor de FM modulando en frecuencia la señal portadora de la información sonora proveniente de los micrófonos y otras fuentes de sonido (magnetófono, disco, etc.). Ambas señales de audio y video son moduladas, amplificadas y se envían a la misma antena para su propagación. Si la antena se encuentra distante de los estudios de grabación (para favorecer las condiciones de propagación), las señales de audio y video son enviadas por medio de cables o enlaces de microondas.

Las dos señales portadoras moduladas tienen una frecuencia diferente aunque próxima para evitar las interferencias entre ellas además que facilita la recepción de tal manera que los sintonizadores de los televisores puedan recibir ambas señales portadoras simultáneamente como partes de un mismo canal.

El transmisor de video está separado del de audio, funciona básicamente como cualquier radiotransmisor. Al operar en bandas de frecuencia superiores (VHF o UHF), extremadamente es diferente a uno convencional de radio, pero sus operaciones y funcionamiento son prácticamente las mismas: generar, modular y amplificar las señales portadoras, enviarlas a la antena para su propagación.

El transmisor de video genera una señal portadora en la banda de VHF o UHF. Esta señal portadora es modulada con la información visual proveniente de la cámara y de otras fuentes de video, de la misma forma que los impulsos de sincronización que controlan el tiempo de exploración de la cámara. El generador realiza tres tipos de controles a la cámara: el tiempo de deflexión horizontal del haz de electrones (línea a línea), el tiempo de deflexión vertical (campo a campo), y los impulsos de “blanco” o barrido que cierran la lectura del haz durante el tiempo de retorno a las lecturas horizontal y vertical.

En muchos países han acordado limitar la anchura de la señal transmitida y aprovechar en consecuencia el empleo del espectro radioeléctrico. Básicamente hay dos métodos. El más sencillo consiste en eliminar enteramente una de las bandas lateral por medio de un sistema de modulación denominado de “banda lateral único” (superior USB o inferior LSB). El inconveniente de este procedimiento es el costo del equipo que se emplea antes de la desmodular la señal, deben tener los circuitos necesarios para recuperar la banda lateral suprimida en la transmisión. Otra técnica, empleada en la mayoría de los sistemas de televisión, consiste en suprimir una de las bandas pero no en su totalidad, sino solo una parte importante.

El transmisor de sonido está separado del de imagen. Su salida se combinara con la salida del transmisor de video en la antena. Su funcionamiento es similar a un radiotransmisor de FM pero con una frecuencia portadora superior (en la banda de VHF o UHF). La modulación en frecuencia del sonido produce un conjunto de bandas laterales que incrementan la anchura de la señal.

Una vez terminada la etapa de modulación, las señales proceden a ser amplificadas donde se les suministran una cantidad de potencia, para que se puedan enviar por medio de una antena común a través del “dixplexer” cuyo objetivo es el de combinar ambas señales para obtener una propagación simultánea.

#### **3.2.4.2. ANALISIS DE IMAGEN: TUBO DE CAMARA**

El tubo de cámara es el elemento fundamental en el sistema de exploración de la imagen en televisión, por este motivo su tratamiento se separa de las tecnologías de transmisión donde lógicamente se encuentra incluida. Como método de análisis de la imagen, el tubo de cámara se clasifica por otras tecnologías (por ejemplo el MOS, Metal Oxide Semiconductor) y el CCD, (harge Couppled Devides), más apropiadas para su transmisión digital y más idóneas para la miniaturización de las cámaras.

El tubo de cámara es la tecnología que convierte una imagen óptica en una secuencia de impulsos electrónicos (señal eléctrica). Esta transformación se realiza tecnológicamente gracias a la existencia de materiales fotoeléctricos (selenio, cesio, etcétera.), que se caracteriza por la emisión de una carga eléctrica proporcional a la intensidad de luz que recibe.

Con independencia de su tipología (fotoemisores o fotoconductores), los tubos de cámaras convencionales tienen los siguientes elementos:

- Una superficie fotosensible (donde se enfoca la imagen) que convierte cada punto (valor) de la luz en su correspondiente carga eléctrica y por tanto forma una imagen eléctrica.



- Un sistema de almacenamiento de la imagen eléctrica, es decir, un método de acumular cada una de las cargas eléctricas durante el intervalo de varios cientos de segundos entre las sucesivas exploraciones de cada línea de imagen.
- Un haz de electrones emitido desde un “cañón electrónico” y dirigido hacia la imagen eléctrica.
- Y un mecanismo para producir una corriente eléctrica o voltaje que es proporcional en cada instante a la carga eléctrica acumulada por la lectura del haz de electrones en cada punto.

Esta señal que proviene de la cámara es inicialmente muy débil (aproximadamente de unos pocos cientos de voltios), en consecuencia extremadamente vulnerable al ruido que se presenta siempre en los circuitos de transmisión sucesivos. Por lo tanto, la señal, una vez que sale de la cámara debe ser amplificada, proceso que se repetirá en distintas ocasiones hasta que es desmodulada por el receptor. Este proceso de amplificación de la señal de video se realiza en los tubos electrónicos o transmisores.

#### **3.2.4.3. TECNOLOGÍA DE LA RECEPCIÓN**

En el receptor, las señales portadoras de sonido e imagen, captadas por la antena receptora, producen corrientes eléctricas, idénticas a las señales generadas en la antena transmisora pero de inferior potencia. Estas señales son enviadas desde la antena receptora al equipo receptor por medio de las líneas de transmisión, que tienen las mismas características que las enumeradas en la etapa de emisión.

Los receptores de televisión reciben la señal captada por la antena receptora a través de la línea de transmisión, la procesa, y la envían al tubo de imagen para su posterior proyección en la pantalla del aparato receptor. El proceso anterior a la etapa de síntesis en el tubo de imagen está compuesto por un amplificador de entrada de alta frecuencia, un mezclador, un amplificador de frecuencia inmediata, un detector de video y un control automático de ganancia (AGC).

El primer circuito del receptor que recoge la débil señal que proviene de la antena receptora es un amplificador de alta frecuencia (paso-banda) que selecciona e incrementa el voltaje de las señales portadoras (sus bandas) de video y audio del canal sintonizado. Una vez amplificadas, son enviadas a un “mezclador” (básicamente es un osciloscopio que produce una onda senoidal que al mezclarse con la frecuencia que capta la antena receptora da una salida en frecuencia estable), que modifica la frecuencia de la señal portadora de video y audio a valores más manejables para los subsiguientes procesos de amplificación (generalmente a frecuencia situadas en la banda de 40 a 60 MHz, independientemente de la frecuencia del canal que se sintonice).

A la salida del AGC la señal audio y video son separadas por un amplificador, se envía respectivamente la señal visual, por otra parte a un detector de frecuencias (discriminador) la señal de audio.

Los controles del receptor están formados por cuatro elementos:

- El selector del canal que conecta los amplificadores y el mezclador superheterodino para amplificar y transformar en imagen y sonido a las señales portadoras de video y audio del canal sintonizado.

- Un control de sintonización que ajusta exactamente al mezclador superheterodino de tal manera que la respuesta del sintonizador se encuentre exactamente en el centro de canal seleccionado por el equipo receptor.
- Un control de brillo que ajusta la cantidad de energía captada por el tubo de imagen y adecua el brillo que genera la imagen.
- Un control de contraste que acomoda el voltaje alcanzado por la señal de video, en los amplificadores, genera un determinado contraste entre las zonas blancas y negras de la imagen.
- Control vertical y horizontal que ajusta exactamente el deflector vertical y horizontal respectivamente a los impulsos de sincronización correspondientes.

#### 3.2.4.4. EL TUBO DE IMAGEN

El elemento fundamental para la reproducción de la imagen en el equipo receptor (inversamente al tubo de cámara en el proceso de transmisión) es aquel instrumento que convierte la corriente eléctrica transmitida en sus correspondientes puntos de luz que se proyectaran en la pantalla de la televisión en forma de imagen. Esta tecnología se denomina tubo de imagen.

El tubo de imagen es similar al tubo de cámara pero realiza una función exactamente contraria. Básicamente está compuesto de dos elementos: una pantalla y un cañón electrónico.

La pantalla está localizada en el interior del tubo de imagen y consiste en una lámina encorvada de cristal que cierra completamente la parte final del tubo. La pantalla en los equipos receptores monocromáticos está compuesta típicamente de dos tipos de materiales fluorescentes (Zinc y Cadmio), que proviene respectivamente una luz amarilla cuando inciden sobre ellos un haz de electrones de alta velocidad.

En el lado opuesto a la pantalla se encuentra un cañón electrónico (una estructura de metal cilíndrica) que produce y dirige un haz de electrones. Una parte de este cañón consiste en un elemento electrónicamente positivo en relación con el cátodo (el elemento que realmente emite los electrones). Este elemento positivamente cargado (ánodo) arrastra los electrones negativos fuera del cátodo, los conduce hacia la pantalla que se encuentra situada en el lado contrario del tubo de imagen. Los electrones son enviados hacia un disco horizontal, con una pequeña apertura circular en su centro, que deja pasar algunos electrones y a otros los intercepta. (Díaz, 1990)

### 3.3. TELEVISIÓN MONOCROMÁTICA Y A COLOR

#### 3.3.1. TELEVISIÓN MONOCROMÁTICA

##### 3.3.1.1. TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN MONOCROMÁTICA

La emisión de televisión monocromática involucra la transmisión de dos señales separadas: una señal de audio (sonido) y una señal de video (imagen). Cada transmisión de televisión emite dos señales totalmente separadas para la información de la imagen y sonido. La transmisión de audio utiliza la modulación de frecuencias y transmisión de video la modulación de amplitud.

Los dos transmisores totalmente separados (un transmisor de FM para la información del sonido y un transmisor de AM para la información de la imagen) cuyas salidas están combinadas en un puente diplexor, por lo que alimentan una sola antena. Un puente diplexor es una red que se utiliza para combinar las salidas de dos transmisores que operan a diferentes frecuencias y utilizan el mismo sistema de antena. La información de video se limita a las frecuencias menores a 4 MHz, pueden generarse mediante una cámara (para transmisiones en vivo), un video cassette o grabadora de cassette, o una grabadora de discos de video. El interruptor de video se utiliza para la selección de la fuente de información de video que se desea emitir en el sistema. La información de audio se limita a frecuencias menores a 15 KHz, puede originarse en un micrófono (de nuevo, solo para las transmisiones en vivo), mediante pistas de sonido en grabadoras de cassette o disco, en un cassette de audio o grabadora de discos independiente. El mezclador/interruptor de audio se utiliza para la selección de la fuente de sonido que es apropiada para emitir en el sistema.

| Numero de Canal | Banda de Frecuencias (MHz) | Número de Canal | Banda de frecuencias (MHz) | Numero de Canal | Banda de frecuencias (MHz) |
|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| 1               | 44-50                      | 29              | 560-566                    | 57              | 728-734                    |
| 2               | 54-60                      | 30              | 566-572                    | 58              | 734-740                    |
| 3               | 60-66                      | 31              | 572-578                    | 59              | 740-746                    |
| 4               | 66-72                      | 32              | 578-584                    | 60              | 746-752                    |
| 5               | 76-82                      | 33              | 584-590                    | 61              | 752-758                    |
| 6               | 82-88                      | 34              | 590-596                    | 62              | 758-764                    |
| 7               | 174-180                    | 35              | 596-602                    | 63              | 764-770                    |
| 8               | 180-186                    | 36              | 602-608                    | 64              | 770-776                    |
| 9               | 186-192                    | 37              | 608-614                    | 65              | 776-782                    |
| 10              | 192-198                    | 38              | 614-620                    | 66              | 782-788                    |
| 11              | 198-204                    | 39              | 620-626                    | 67              | 788-794                    |

| Numero de Canal | Banda de Frecuencias (MHz) | Número de Canal | Banda de frecuencias (MHz) | Numero de Canal | Banda de frecuencias (MHz) |
|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| 12              | 204-210                    | 40              | 626-632                    | 68              | 794-800                    |
| 13              | 2010-216                   | 41              | 632-638                    | 69              | 800-806                    |
| 14              | 470-476                    | 42              | 638-644                    | 70              | 806-812                    |
| 15              | 476-482                    | 43              | 644-650                    | 71              | 812-818                    |
| 16              | 482-488                    | 44              | 650-656                    | 72              | 818-824                    |
| 17              | 488-494                    | 45              | 656-662                    | 73              | 824-830                    |
| 18              | 494-500                    | 46              | 662-668                    | 74 <sup>a</sup> | 830-836                    |
| 19              | 500-506                    | 47              | 668-674                    | 75 <sup>a</sup> | 836-842                    |
| 20              | 506-512                    | 48              | 674-680                    | 76 <sup>a</sup> | 842-848                    |
| 21              | 512-518                    | 49              | 680-686                    | 77 <sup>a</sup> | 848-854                    |
| 22              | 518-524                    | 50              | 686-692                    | 78 <sup>a</sup> | 854-860                    |
| 23              | 524-530                    | 51              | 692-698                    | 79 <sup>a</sup> | 860-866                    |
| 24              | 530-536                    | 52              | 698-704                    | 80 <sup>a</sup> | 866-872                    |
| 25              | 536-542                    | 53              | 704-710                    | 81 <sup>a</sup> | 872-878                    |
| 26              | 542-548                    | 54              | 710-716                    | 82 <sup>a</sup> | 878-884                    |
| 27              | 548-554                    | 55              | 716-722                    | 83 <sup>a</sup> | 884-890                    |
| 28              | 554-560                    | 56              | 722-728                    |                 |                            |

Tabla 3.3. Asignación de Canal y Frecuencia de la FCC.

Fuente: (Tomasi, 2003)

### Estándares de la radiodifusión de televisión

El espectro de la frecuencia de un canal de radiodifusión de televisión estándar. Su ancho de banda total es de 6 MHz. La señal portadora de la imagen esta espaciado a 1.25 MHz arriba del límite superior. Por tanto las señales portadoras de sonido a 0.25 MHz abajo del límite superior. Por tanto las señales portadoras de imagen y sonido tienen siempre 4.5 MHz de separación. La señal subportadora de color está ubicada a 3.58 MHz arriba de la portadora de la imagen. La radiodifusión de televisión comercial utiliza una transmisión de banda lateral vestigial para la información de la imagen. La banda lateral inferior es de 0.75 MHz de ancho y la banda lateral superior de 4 MHz. En consecuencia las frecuencias bajas de video (un perfil general de la imagen) se enfatiza en relación a las frecuencias altas de video (detalles más exactos de la imagen). La señal portadora de sonido de FM tiene un ancho de banda de 75 KHz. La modulación de amplitud y fase se usan para codificar la información de color en la señal subportadora de color de 3.58 MHz.

### 3.3.1.2. RECEPCIÓN DE TELEVISIÓN MONOCROMÁTICA

#### **Sección de RF**

La sección de RF incluyen las antenas de UHF y de VHF, los circuitos de acoplamiento de la antena, los preselectores, amplificador de RF y mezclador/convertidor. Para los canales de VHF se emplea una antena de Yagi-Uda y para los canales de UHF se recurre a una antena sencilla en rizo o de lazo cerrado.

Los propósitos de una sección de RF o frontal son proporcionar una selección de canales (es decir, sincronización), para facilitar el rechazo de la frecuencia de imagen, para aislar al oscilador local de la antena (por consiguiente, previene que la señal del oscilador local radie), para convertir las señales de RF a señales de IF, para amplificar y acoplar la antena de transmisión. Las señales de VHF son captadas por la antena receptora, que se conecta a la entrada del equipo receptor, limitadas por la banda del preselector, después entra por el amplificador de RF y al salir es alimentada al mezclador/convertidor. El mezclador/convertidor barre la frecuencia del oscilador local con el RF para producir la frecuencia de diferencia, la cual es la IF.

Las señales UHF se captan por la antena de lazo cerrado y después se mezclan de inmediato a la IF. El mezclador de UHF es por lo regular un mezclador de diodo sencillo. Cuando se reciben señales de UHF, el amplificador RF solo funciona como un amplificador de IF adicional.

#### **Sección de IF**

La sección de IF de un receptor de televisión proporciona la mayor parte de la selectividad y la ganancia del receptor. La sección de IF consiste, por lo regular, de varios amplificadores sintonizados de bastante ganancia en cascada. En los receptores modernos, la sección de IF procesa las señales de IF de imagen y sonido. Estos receptores se denominan receptores de la señal interportadora. Las IF estándares que se usan en los equipos receptores de televisión comercial son de 45.75 MHz para la imagen y 41.25 MHz para el sonido. Las señales portadoras de IF están separadas por 4.5 MHz igual que las señales portadoras de RF. Los amplificadores de IF utilizan filtros pasa bandas sintonizadas que limita las bandas de las señales y evitan una interferencia de canales adyacentes.

Los filtros de paro de banda angosta especial, que se conocen como trampas de onda, se usan para atrapar o bloquear la imagen del canal adyacente y la frecuencia de la señal portadora del sonido (39.75 MHz y 47.25 MHz, respectivamente). Se usan 3 MHz en vez de 4 MHz a fin de minimizar la interferencia de la señal de color.

#### **La sección de video**

La sección de video incluye un detector de video y una serie de amplificadores de video. El detector convierte descendientemente las señales de IF de imagen a frecuencias de video. El segundo IF de sonido alimenta al equipo receptor de FM, donde se introduce la señal de audio y es alimentada a través de los amplificadores de audio. El detector de video es por lo regular un detector máximo de diodo sencillo. La señal de entrada de IF el voltaje de CA necesario para excitar al diodo a la conducción como un rectificador de media onda. La salida del detector de video es la señal de video compuesta que alimenta los amplificadores de video. Los amplificadores de video proporcionan la ganancia necesaria para que la señal de luminancia se utilice en el CRT. Por lo general, los amplificadores de video se acoplan directamente para proporcionar la restauración de la brillantez de imágenes. Los controles de contraste y

brillantez se ubican en la sección de video y el punto de arranque de AGC, se encuentra por lo general en la salida del primer amplificador de video.



Figura 3.4. Televisión Monocromática.

### 3.3.2. TELEVISIÓN A COLOR

#### 3.3.2.1. TRANSMISOR DE TELEVISIÓN A COLOR

En esencia, un transmisor de televisión a color es idéntico al transmisor de blanco y negro, excepto que se utiliza una cámara de color para generar la señal de video. Con las emisiones a color, todos los colores se generan, mezclando los tres diferentes colores primarios: rojo, azul y verde los cuales no se deben confundir con los tres pigmentos primarios: cian, magenta y amarillo. Una cámara a color es en realidad son tres cámaras en una, cada una con señales de salida de video separadas. Cuando se explora una imagen, se utilizan tubos de cámaras independientes para cada uno de los colores primarios. La cámara roja produce la señal de video R, la cámara verde genera la señal de video G y la cámara azul la señal de video B. Las señales de video R, G y B se combinan en un codificador para generar la señal de color compuesta, la cual, cuando se combina con la señal de luminancia, se modula en amplitud la señal portadora de RF.

#### 3.3.2.2. CÁMARA DE COLOR

Muestra una configuración de espejos que pueden usarse para dividir una imagen en los tres colores primarios. Los espejos cromáticos reflejan luz de todos los colores. Los espejos dicróicos están cubiertos para reflejar luz de una sola frecuencia (color) y permite que pasen otras frecuencias (colores). La luz reflejada de la imagen pasa por una sola lente de cámara, se refleja por dos espejos acromáticos y pasa por una lente relevadora. Los espejos dicróicos de A y B se montan en ángulos de 45° opuestos. El espejo A refleja la luz roja, en tanto que la luz

azul y verde pasa directamente por el espejo B, el espejo B refleja la luz azul y permite que la luz verde pase. En consecuencia, la imagen se separa en frecuencias de luz roja, verde y azul.

### 3.3.2.3. CODIFICACIÓN DE COLOR

Las señales de video R, G y B se combinan en proporciones específicas en la matriz de color a fin de generar la brillantez (luminancia), la señal de video Y las señales de video cromáticas (color) I y Q. La señal de luminancia corresponde a una señal de video monocromática. Las señales de color I y Q modulan en amplitud una señal subportadora de color de 3.58 MHz, para producir la señal de color total, C.

**Señal de luminancia.** La señal de luminancia (Y) se forma combinando 30% de la señal de video R, 59% de la señal de video G y 11% de la señal de video B. En términos matemáticos, Y se expresa como

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Los porcentajes que se muestran corresponden a la brillantez relativa de los tres colores primarios. En consecuencia, una esencia reproducida en blanco y negro por la señal Y tiene exactamente la misma brillantez que la imagen original.

La señal Y se transmite con un ancho de banda de 0 a 4 MHz. Sin embargo, casi todos los receptores limitan la banda de la señal Y a 3.2 MHz a fin de minimizar la interferencia con la señal de color de 3.58 MHz. La señal I se transmite con un ancho de banda de 1.5 MHz, mientras que la señal Q es transmitida con un ancho de banda de 0.5 MHz. No obstante, casi la mayoría de los equipos receptores limitan las señales I y Q a un ancho de banda de 0.5 MHz.

**Señal de crominancia.** La señal de crominancia (C) es una combinación de las señales de color I y Q. La señal I o señal de color en fase se genera combinando 60% de la señal de video R, 28% de la señal de video G invertida y 32% de la señal de video B invertida. En términos matemáticos, I se expresa como

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

La señal Q o señal de color en cuadratura se genera combinando 21% de la señal de video R, 52% de la señal de video G invertida y 31% de la señal de video B. Matemáticamente, Q se expresa como

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

**Ráfaga de color.** La fase de la señal subportadora de color de 3.58 MHz, es la fase de referencia para la demodulación de color. Por consiguiente, la señal subportadora de color debe transmitirse junto con la señal de video compuesto para que un equipo receptor pueda reconstruir la señal subportadora con la frecuencia y fase de referencia adecuada, por tanto determina la fase (color) de la señal que se recibe. Se integran de ocho a diez ciclos en la señal subportadora de 3.58 MHz en la entrada trasera de cada pulso de blanqueo horizontal. A esto se le da el nombre de ráfaga de color. En el equipo receptor, la ráfaga se elimina y se utiliza para realizar la función de sincronizar un oscilador de color de 3.58 MHz local.

**Frecuencias de exploración para la transmisión a color.** La frecuencia de la señal subportadora de color se determina por las relaciones armónicas entre la señal subportadora de color y las razones de exploración horizontal y vertical. El valor exacto para la señal subportadora de color



es 3.579545 MHz. La señal subportadora de sonido (4.5 MHz) es la 286 armónicas de la frecuencia de la línea horizontal. Por tanto, la razón de la línea horizontal ( $f_H$ ) para la transmisión de color no es exactamente 15.750 KHz.

$$f_H = \frac{4.5 \text{ MHz}}{286} = 15734.26 \text{ Hz}$$

El valor exacto de la razón de la exploración vertical ( $f_v$ ) es

$$f_v = \frac{15734.26}{264.5} = 59.94 \text{ Hz}$$

La frecuencia de la señal subportadora de color (C) se menciona con la cantidad de 455 armónicas, es la mitad de la razón de exploración horizontal. Por consiguiente

$$C = \frac{15734.26}{2}(455) = 3.579545 \text{ MHz}$$

**Intercalación de frecuencia.** La porción Y de la señal de video produce agrupaciones de energía en intervalos de 15.73426 KHz en el ancho de banda de video de 4 MHz. Así genera señales de color alrededor de una portadora de color de 3.579545 MHz, la energía de color se agrupa en los intervalos disponibles entre la información de blanco y negro. Esto se llama intercalación de frecuencia o a veces intercalar frecuencia y es una forma de multicanalizar (es decir, la información de color al igual que la de blanco y negro es multicanalizada de la forma por división de frecuencia, en el espectro de video total).

### 3.3.2.4. RECEPTORES DE LA TELEVISIÓN A COLOR

Un receptor de televisión a color es en esencia igual que un receptor de blanco y negro excepto por el tubo de imagen y la suma de los circuitos de decodificación de color.

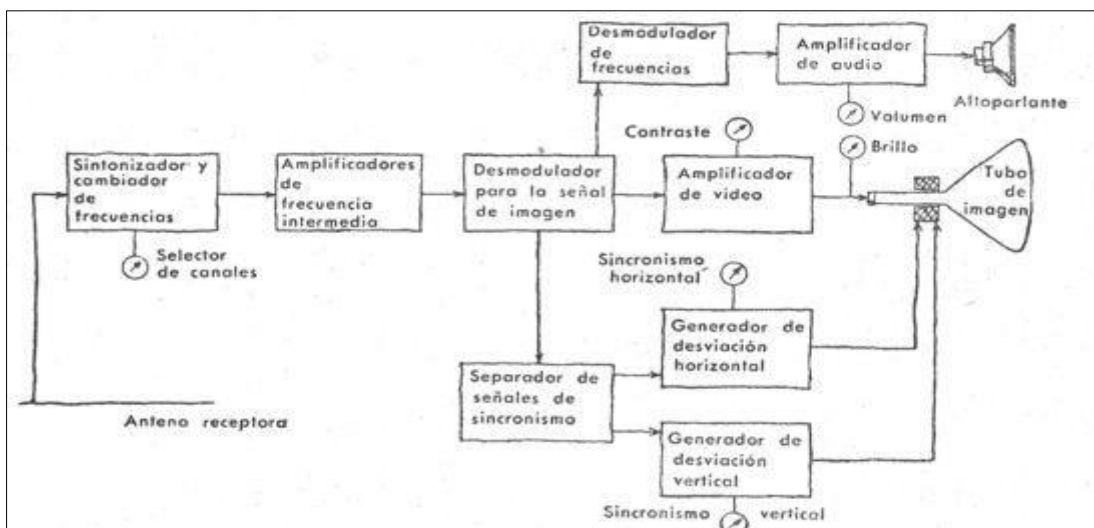


Figura 3.5. Diagrama de bloques de un equipo receptor de TV de color.

La señal de video compuesta se alimenta al amplificador pasa bandas de croma, se sintoniza a la señal subportadora de 3.58 MHz y tiene un filtro pasa-banda de 0.5 MHz. En consecuencia, se amplifica solo la señal C y pasa a los demoduladores B-Y y R-Y. La ráfaga de color de 3.58 MHz se separa del pulso de blanqueo horizontal, se utiliza el separador de ráfaga solo durante el tiempo de retroceso horizontal. Una señal subportadora de color síncrono de 3.58 MHz se



reproducirá en el circuito AFPC de color, el cual consiste de un oscilador de color de 3.58 MHz (frecuencia automática y control de fase). (Tomasi, 2003)



Figura 3.6. Televisión a Color.

### 3.4. TRANSICIÓN DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA A LA DIGITAL

#### 3.4.1. INTRODUCCIÓN

Se considera como período de transición, al tiempo que convivieran la televisión analógica y la digital.

Durante ese período de tiempo, además de la emisión del programa analógico actual, se emite de forma simultánea los nuevos programas digitales.

Para ello, se asignó un segundo canal para la programación en DTV. Esta nueva asignación del canal digital, este se quedara en principio, después del período de transición.

En Europa por ejemplo, entre otros países, fijaron este período hasta el año 2006. Esto significa que durante este lapso del tiempo, el Broadcaster emitirá su programación por dos canales. El programa analógico que emite por el canal actual y la nueva programación en digital, que se emite por el nuevo canal asignado. Tengamos en cuenta que en Europa se ha optado por emitir múltiples programas de SDTV, por un canal de 7 u 8 MHz de ancho de banda.

En EE.UU. se optado en principio, por un período de transición que comenzó en 1988 y finalizó en el año 2006, pero en otros países de Latinoamérica aún se encuentran en este período de transición de la TV analógica a la digital.

Durante el período, el Broadcaster emitirá dos programaciones; la analógica actual y la nueva programación en HDTV.

Después del período de transición, cuando los sistemas de TV transmitan únicamente los canales en formato Digital, el Broadcaster emitirá solamente programación en digital.

### 3.4.2. CRITERIO DE ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA DTV EN EE.UU.

El criterio seguido en EE.UU. para la asignación de canales para DTV (Digital Television).

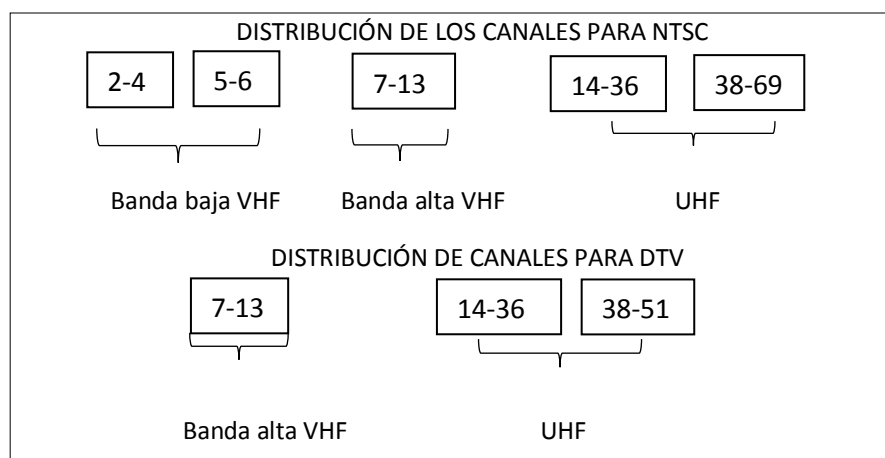


Figura 3.7. Distribución de canales en NTSC y DTV en EE.UU.

El espectro que abarcan los canales de aire analógico en la actualidad, comprenden la banda baja de VHF (canales 2 al 6), la banda alta de VHF (canales 7 al 13) y la banda de UHF (canales 17 al 36 y 38 al 69). El canal 37 no es utilizado para televisión.

Cada canal tiene un espectro de 6 MHz de ancho de banda. Para Televisión Digital (DTV), se han asignado los canales de banda alta (7 al 13) y los canales de UHF (14 al 36 y 38 al 51). El espectro para DTV es más reducido que el de televisión analógica, pues se han tenido en cuenta algunos criterios para su asignación.

La banda baja de VHF (canales 2 al 5) no se ha adoptado para DTV. El criterio empleado es que en esta banda se producen las mayores interferencias, especialmente en el canal 2. Además de los canales 3 y 4 utilizados por los Conversores de Sistemas de Cable y Videocassetas, pueden interferir con los nuevos canales de DTV.

Para Televisión Digital, el espectro comienza en la banda alta de VHF (canales 7 al 13). La banda de UHF se asignó parcialmente del canal 14 al 36. El canal 37 sigue siendo utilizado para comunicaciones. Otra parte de la banda de UHF asignada, comprende los canales 38 al 51. La posición de banda comprendida entre los canales 38 al 51. La posición de banda comprendida entre los canales 52 al 69 no se asignó para DTV. Una de las razones, que solo un 10% de las estaciones actuales, tiene asignado estos canales para NTSC y la segunda razón es que se le dará otro uso en el futuro.

### 3.4.3. ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA DTV

La asignación de frecuencias de DTV en EE.UU. realizada por el FCC (Federal Commission of Communication), ha sido la siguiente; a cada Broadcaster que tenía su frecuencia para transmisión de televisión analógica, se le asignó una nueva frecuencia para DTV.

Se describen tres casos que han surgido en EE. UU., durante la asignación de frecuencias para DTV.

**Primer caso:** En un Broadcaster por ejemplo, se tenía asignado para la emisión en NTSC, el canal 20 de UHF. Para el período de transición, se le asignó para DTV el canal 42 de UHF. Para

el período de transición, se le asigna para DTV el canal 42 de UHF. Este Broadcaster emitirá hasta que dure la transición dos canales, el canal 20 en NTSC y el canal 42 en DTV.

Finalizando el período de transición (después del 2006), a este Broadcaster se le dejara asignada una sola frecuencia para DTV, que puede ser la del canal 20 ó 42. En este caso pueden ser una de las dos frecuencias. La razón es que ambas se encuentran dentro del espectro de asignación de DTV. El Broadcaster en este caso, optará por una de ellas para seguir emitiendo en DTV, ya sea un programa de HDTV o múltiples programas de SDTV, en un canal de 6 MHz de ancho de banda.

En este caso, es muy probable que el Broadcaster elija la frecuencia del canal 42. Esto es debido a que se venía emitiendo la señal digital en ese canal, al igual por la asignación de Transmisor Digital y la Antena Transmisora al mismo.

**Segundo caso:** En este ejemplo, supongamos que el Broadcaster emite su programación en NTSC por el canal 55 de UHF. Para DTV se le asignó un nuevo canal que es el 24 de la misma banda. Durante el período de transición, este Broadcaster emitirá su programación analógica por el canal 55 y la de DTV por el canal 24.

Finalizando el período de transición, el Broadcaster no puede elegir la frecuencia como en el caso anterior, sino que se le asigna en forma automática el canal 24. Esto es debido a que el espectro de frecuencias asignado para DTV, tiene como límite el canal 51 de UHF y el canal 55 está fuera del mismo.

**Tercer caso:** Aquí el Broadcaster tenía asignado la frecuencia del canal 56 de la banda de UHF, para las emisiones en NTSC.

Para DTV se le asignado una nueva frecuencia, supongamos el canal 54, también de la banda de UHF.

Finalizando el período de transición, el Broadcaster no puede optar por elegir uno de los dos canales, sino que se le asigna en forma automática un nuevo canal. Esto es debido a que ambos canales (56 y 54), se encuentran fuera de la banda asignada para DTV. En consecuencia se le asigna un nuevo canal. A manera de ejemplo, supongamos que se asigna el canal 32 de la banda de UHF.

Durante el período de transición, se han asignado algunas frecuencias fuera de la banda de DTV. Sin embargo, finalizando este período, la frecuencia de DTV definitiva que tendrá el Broadcaster, deberá estar dentro de la banda asignada para DTV.

#### 3.4.4. IMPLEMENTACIONES PARA LA TRANSICIÓN DE LAS EMISIONES DE TELEVISIÓN ANALÓGICA A DIGITAL

Durante este período, los sistemas de televisión deberán emitir dos señales; la señal analógica actual y la nueva señal digital en Alta Definición. (HDTV). Para ello, el Broadcasters deberá adecuar sus sistemas en forma gradual, hasta converger a la emisión digital solamente. Pero mientras dure el período de transición, fijado por la FCC, ambas señales (analógica y digital), deberán emitirse en forma simultánea.

Una vez finalizado el período de transición, solo se emitirá la señal en formato digital. Tengamos en cuenta que la emisión analógica debe mantenerse por un largo tiempo, debido a

que la infraestructura de los sistemas receptores en su gran mayoría contienen este tipo de tecnología, por lo que la transmisión analógica seguirá por muchos años.

Solo considerando el procedimiento de la señal de video, sin tener en cuenta la señales de audio, cuya implementación es más simple. En todos los casos, la emisión de la señal digital corresponderá a un programa en HDTV.

### 3.4.5. INFRAESTRUCTURA ANALÓGICA EXISTENTE

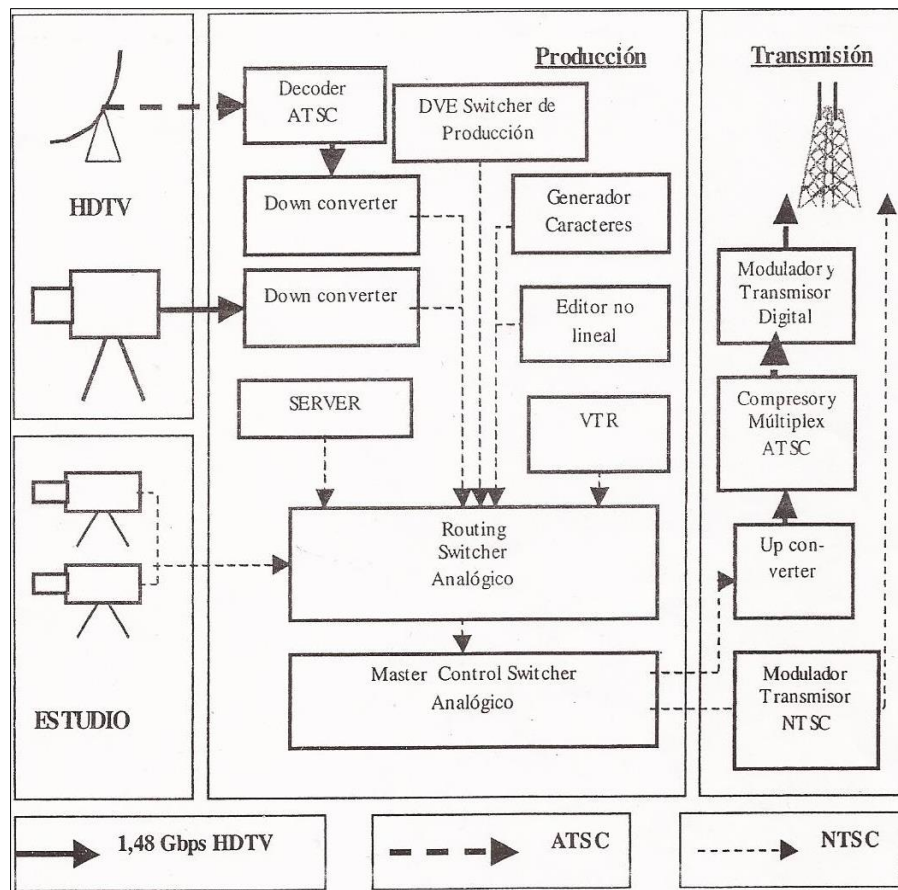


Figura 3.8. Infraestructura analógica existente y adaptación para HDTV.

Este sistema es similar a la mayoría de los sistemas de televisión aéreos de NTSC, que están funcionando actualmente en EE.UU. En este es más simple y se trata de aprovechar parte del equipamiento analógico existente, para implementar a bajo costo la transmisión de la señal digital en HDTV.

Los ejemplos que se mencionaron anteriormente son considerados para aprovechar las distintas alternativas existentes, durante la transición en EE.UU. se transmite en formato digital una señal de HDTV, además de la señal analógica actual. También podría se consideran para otros países (independientemente del estándar empleado), pudiendo emitirse como señal digital un programa de HDTV. Del mismo modo se puede cambiar la estructura existente, para emitir varios programas de SDTV.

En cualquiera de los casos, se trata de utilizar parte de la infraestructura existente y efectuar luego una ampliación a HDTV o SDTV.

En algunos casos, no es la situación ideal, debido a la pérdida de calidad. Sin embargo se aprovecha parte del equipamiento analógico existente, para transmitir una señal de HDTV. Lo que se trata de lograr es una mínima inversión inicial en equipos de HDTV, durante el periodo de transición.

Describiendo el sistema, la señal recibida de Satélite es decodificada a través de un *Decoder* ATSC, obteniéndose a la salida una señal de 1.48 Gbps en HDTV. Esta señal para poder ingresarla al *Routing Switcher* analógico, es convertida de 1.48 Gbps-HDTV a una señal analógica NTSC, a través del *Down Converter*.

El mismo proceso, se realiza con las señales de HDTV proveniente de las Cámaras de Estudio. Estas señales de digital HDTV se convierten a analógica NTSC.

El *Routing Switcher* es utilizado para rutiar las distintas señales que ingresan en sus entradas. Además de la señal de Satélite y de las Cámaras de Estudio, al *Routing Switcher* ingresan las señales analógicas provenientes de un Sistema de Edición no Lineal, un Generador de Caracteres, un Server y una Videograbadora (VCR).

La salida analógica del *Routing Switcher* es conectada a la entrada del *Master Control Switcher*. Este equipo, permite generar múltiples efectos, además de proveer otras facilidades adicionales.

El *Master Control Switcher* tiene dos salidas. La segunda de ellas, ingresa al *Modulador*, la salida de este envía la señal al *Transmisor*. Después se conecta a la primera *Antena Transmisora*, mediante una Línea de Transmisión. De esta manera, se transmite la señal analógica existente.

La primera salida analógica del *Master Control Switcher*, es convertida a través del *Up Converter*, una señal digital de HDTV. El *Up Converter* realiza dos funciones: la primera de ellas es la de un *Decoder*, o sea que convierte la señal analógica a una señal SDI. La segunda función, es convertir la señal SDI de 270 Mbps a una señal de 1.48 Gbps de HDTV. Esta señal, es comprimida y multiplexada a través del *Compresor y Múltiplex* de Transporte en HDTV en el estándar ATSC.

La salida del *Múltiplex* es conectada a la entrada del *Modulador 8-VSB*. El flujo digital modulado se envía al *Transmisor Digital*, la salida de este es conectada mediante la Línea de Transmisión a la segunda *Antena Transmisora*.

El sistema presentado en este caso, es el más simple y tiene algunas ventajas. Pero no presenta la calidad que se requiere de una señal de HDTV digital, al menos permite durante la transición, aprovechar el equipamiento analógico existente para transmitir la señal digital.

En esta infraestructura la inversión inicial a realizar es mínima. Aun con la pérdida de calidad que significa la conversión de la señal analógica a digital HDTV, es una buena opción para comenzar las emisiones de HDTV.

### 3.4.6. INFRAESTRUCTURA DIGITAL SDI EXISTENTE

Todos los equipos digitales son conmutables de 270 Mbps/4:3 a 360 Mbps/16:9. Este nuevo sistema se compuesto, por un sistema de recepción satelital y un pequeño estudio en HDTV.

La señal recibida de Satélite es decodificada a través de un *Decoder ATSC*, en cuya salida tenemos una señal de 1.48 Gbps en HDTV. Esta señal para poder ingresarla al *Routing Switcher Digital*, es convertida a través de un *Down Converter*. Un segundo *Down Converter* se utiliza con las señales de HDTV, provenientes de las cámaras de estudio. En este caso ambos *Down Converter* convierten la señal HDTV de 1.48 Gbps a una señal SDI de 270 Mbps.

La señal SDI de la primera salida del *Master Control Switcher*, mediante *Up Converter*, se convierte de SDI-270 Mbps a una señal de 1.48 Gbps-HDTV. Esta señal es comprimida y multiplexada para luego, enviarla al *Modulador 8-VSB*. La salida modulada es conectada al *Transmisor Digital* y la salida de este, se conecta a la primera *Antena Transmisora*, mediante la Línea de Transmisión.

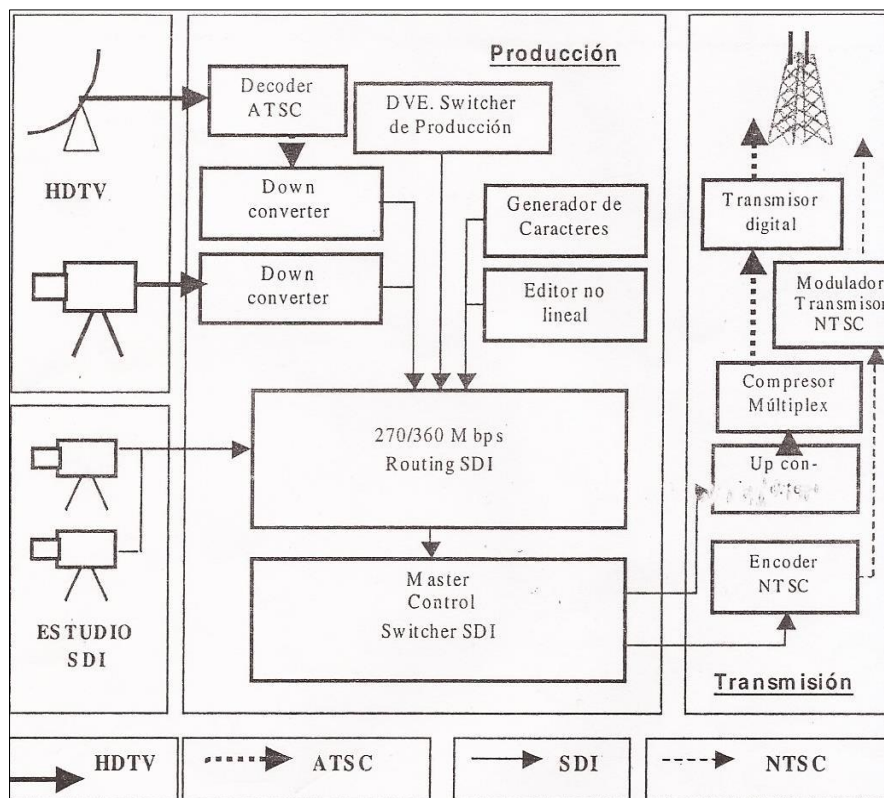


Figura 3.9. Infraestructura SDI existente y adaptación a HDTV.

La señal de la segunda salida del *Master Control Switcher*, ingresa un *Encoder NTSC*. Este equipo convierte la señal digital SDI a una señal analógica NTSC. Esta señal se envía al Modulador y la salida de es conectada al transmisor. La salida de RF del transmisor, es conectada a la segunda Antena Transmisora, mediante la Línea de transmisión.

Esta segunda opción requiere un mínimo de inversión, pues se aprovecha parte de la infraestructura SDI existente, para emitir un programa en HDTV. El *Up Converter* de SDI a HDTV, posee excelente calidad de imagen, para lo que significa una buena conversión de la señal.



## 3.4.7. INFRAESTRUCTURA EN BARRIDO PROGRESIVO 480p

Este formato en el estándar 525/60, está basado en 485 líneas activas con barrido progresivo, siendo la calidad mucho mayor que el formato 480i (entrelazado). El *Routing Switcher* opera en 360 Mbps y en 540 Mbps.

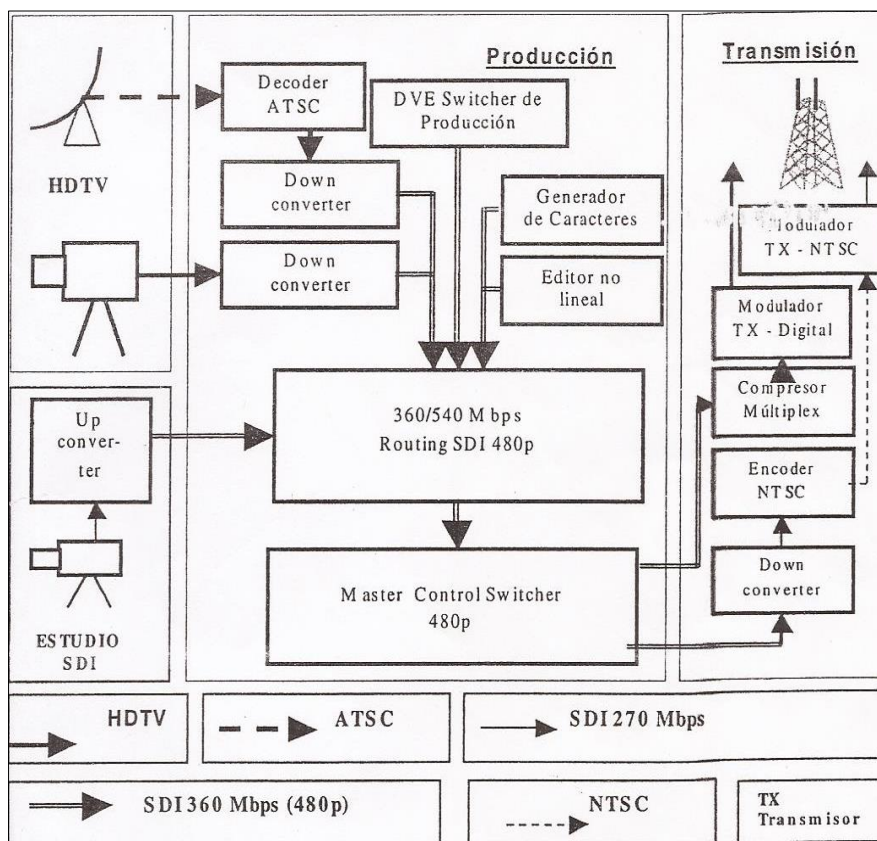


Figura 3.10. Infraestructura en 480p (progresivo) y adaptación a HDTV.

A la entrada del *Routing Switcher* SDI (480p) ingresan las señales de las cámaras de HDTV y del *Decoder* satelital ATSC, ambas convertidas a 480p mediante el *Down Converter*. A la salida de *Routing Switcher* es conectada a la entrada del *Master Control Switcher*. La primera salida del *Master Control Switcher*, es conectada al *Compresor* ATSC a la salida de este último se conecta al *Multiplex de Transporte*. Luego se tiene un Flujo de Transporte, que ingresa a la entrada del *Modulador 8-VSB*. Después se tiene la salida de RF modulada en 8-VSB que es enviada al *Transmisor Digital* al salir, alimenta a la primera *Antena Transmisora*, mediante la Línea de transmisión. En este caso la señal digital es transmitida en 480p en SDTV.

La segunda salida del *Master Control Switcher*, es conectada a la entrada del *Down Converter*. Este equipo convierte la señal de 480p a una señal de 480i. La señal digital es convertida a una señal analógica en el *Encoder* NTSC. Al transmitirse por el *Encoder* se envía al *Modulador*. La señal modulada obtenida en RF (NTSC), se envía al *Transmisor*. Después ser procesada la señal se conecta a la segunda *Antena Transmisora*, mediante la Línea de Transmisión.

Con el agregado del *Up Converter* la primera salida del *Master Control Switcher*, se puede convertir la señal de 480p (SDTV) a una señal de 1080i (HDTV).

Este formato 480p ofrece una excelente calidad para SDTV. Esta opción es interesante, si el sistema quedase definitivamente para transmitir en SDTV-480p.

Sin embargo, el paso a HDTV desde esta infraestructura, permite obtener una buena calidad de la señal digital. En este formato, la resolución es mayor que en 480i, debido al barrido progresivo. El problema fundamental, es que hay poca variedad de equipos con formato 480p en el mercado.

### 3.4.8. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE SDI Y NUEVA PLANTA EN HDTV

Otra de las alternativas interesantes que existe durante la transición consiste en utilizar la infraestructura existente en Digital Serie (SDI) y proyectar el resto de la planta en HDTV. La Transmisión Digital se realiza en HDTV.

Esta opción es interesante, pues permite producir y transmitir la señal durante una parte del día la programación en HDTV y durante otra parte del día permite producir y transmitir la señal en SDTV.

La salida del *Master Control Switcher* en digital HDTV, es conectada directamente a la primer entrada del *Compresor ATSC* la señal obtenida ingresa al *Multiplexse* tiene Flujo de Transporte. Este se conecta a la entrada del *Modulador 8-VSB*. La salida de RF modulada ingresa al *Transmisor Digital*, después este es conectado a la primer *Antena Transmisora*, mediante la Línea de Transmisión. La primera salida SDI del *Master Control Switcher*, interactúa a la entrada del *Encoder NTSC*. Este Equipo convierte la señal SDI a analógica NTSC. Esta señal es conectada a la entrada del *Modulador*. Enseguida la señal obtenida entra al *Transmisor Analógico*.

El Centro de Producción en SDI, permite operar en 270 Mbps con una relación de aspecto de 4:3 o en 360 Mbps en 16:9. También, con este último formato se logra una muy buena calidad de imagen.

Este sistema, resulta muy apropiado para la transición y aún después de la misma. La única desventaja es que si no se dispone de un Estudio SDI existente, resulta más caro invertir en ese equipamiento, pues simultáneamente se debe invertir en el equipamiento de HDTV.

Sin embargo, si el Broadcaster dispone de un sistema SDI, esta es la solución ideal, pues solo se requiere una mínima inversión inicial en el equipamiento de HSTV.



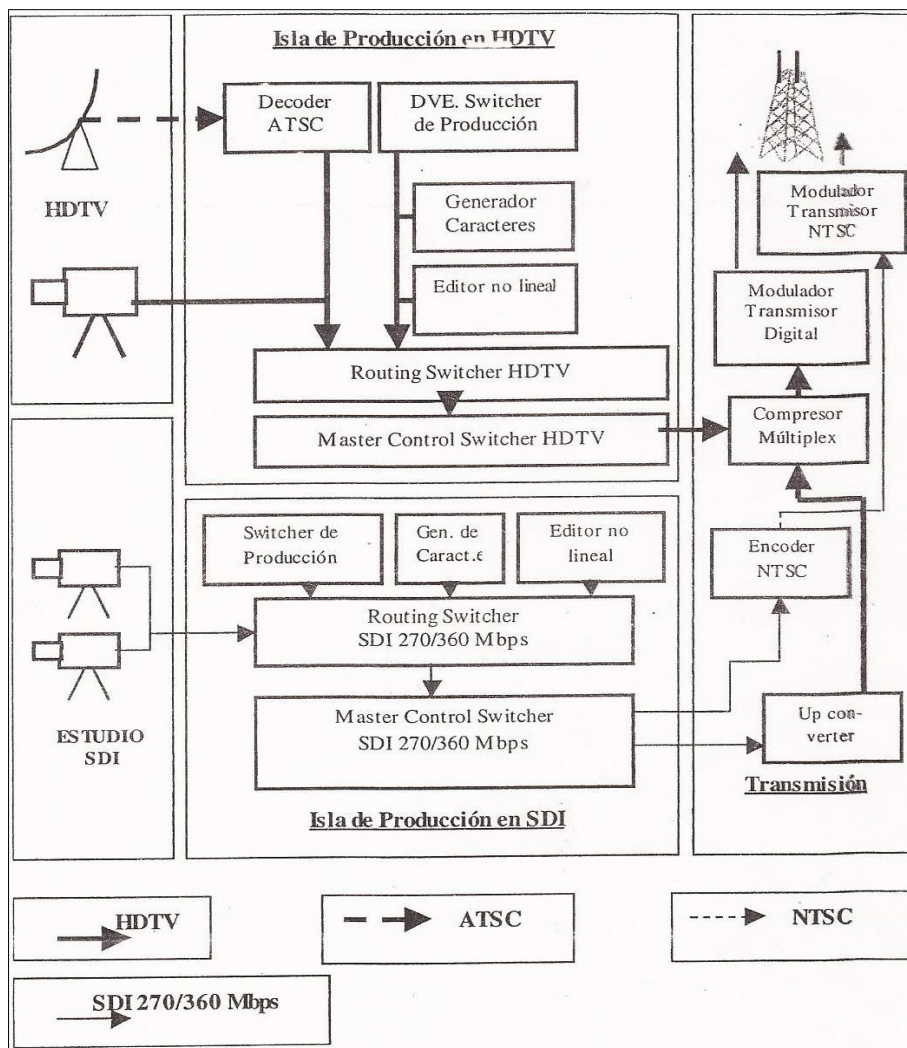


Figura 3.11. Infraestructura Digital Serie SDI y HDTV.

### 3.4.9. INFRAESTRUCTURA EN HDTV

Cuando el objetivo final consiste en emitir programación en HDTV, esta es la solución más apropiada. Es la más costosa por todo el equipamiento del sistema HDTV, debe adquirirse por completo, pero es la solución más idónea. Con este sistema se logra la más alta calidad de imagen en producción y emisión.

El Flujo de Transporte así obtenido se envía al *Modulador*, la señal obtenida es conectada a la *Transmisor Digital*. La señal de RF de salida del *Transmisor*, es conectada a la *Antena Transmisora* mediante la Línea de Transmisión. De esta manera, se transmite el programa digital en HDTV.

Simultáneamente, se debe transmitir la misma señal, pero analógica NTSC. Esto es a fin de que todos los usuarios que tengan receptores analógicos, puedan recibir esta misma señal. Para ello, la primera salida del *Master Control Switcher* en HDTV ingresa al *Down Converter*. Este

equipo convierte la señal de 1.48 Gbps de HDTV a una señal de 270 Mbps SDI. Luego a través de un *Encoder NTSC*, se convierte la señal SDI a una señal analógica NTSC.

Con esta señal de video compuesta, se envía al *Modulador*, la salida de este es conectada al *Transmisor*. Después la señal de RF del *Transmisor* es conectada a la segunda *Antena Transmisora*, mediante la Línea de Transmisión. (Simonetta, 2002)

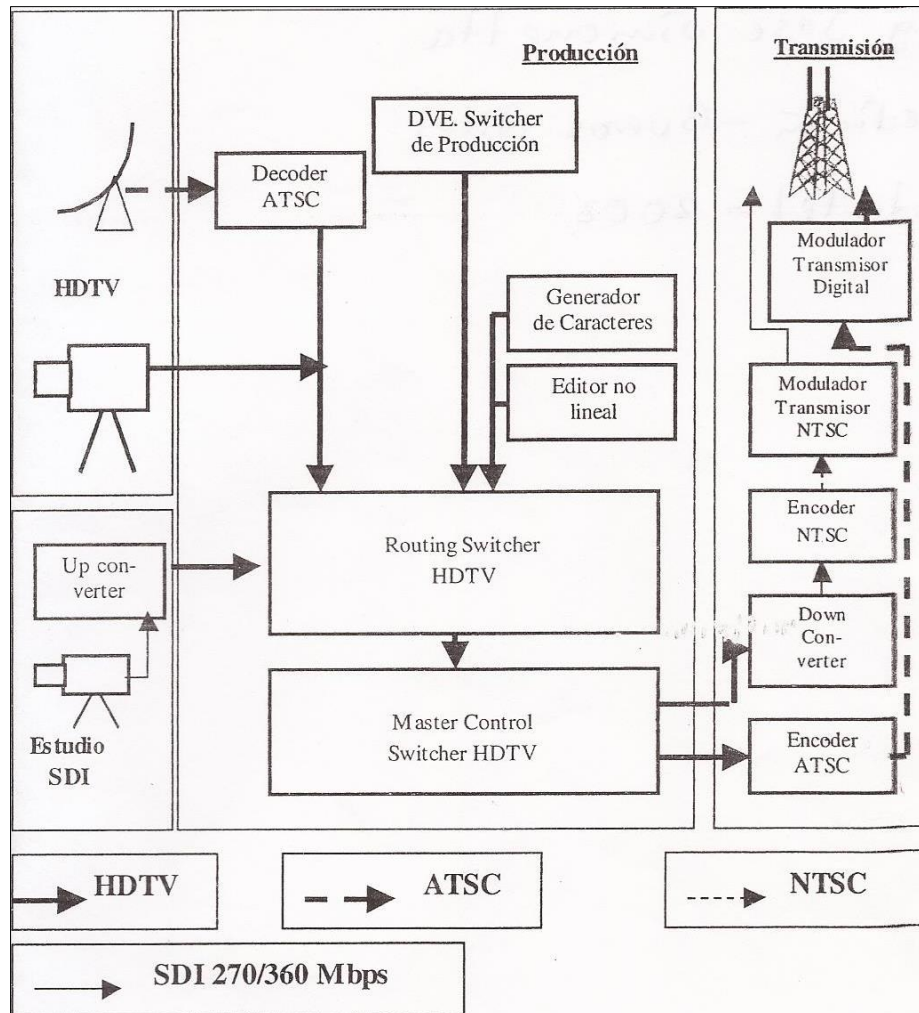


Figura 3.12. Infraestructura en HDTV.

### 3.5. LOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

#### 3.5.1. INTRODUCCIÓN DE TV DIGITAL

La parte análoga son aquellos procesos que resultan ser una representación del medio físico que se desea representar, como ejemplo, micrófonos y los sensores de imagen, respectivamente, en tensiones eléctricas analógicas que son lo más idénticamente posible, a las variaciones temporales de los correspondientes fenómenos físicos.

La señal codificada, es una interpretación, mediante símbolos de los fenómenos, como ejemplo, una fotografía es la manifestación analógica de una escena, que se describe en un texto el hecho acontecido, mediante un código que es el alfanumérico.

En un código binario, se disponen solo de dos símbolos "0" y "1", denominados como bits la codificación será digital o numérica.

Una de las principales ventajas de la codificación describiendo la parte analógica, es la mayor fidelidad entre la original y la copia, un ejemplo claro, es la fotocopia de una fotografía puede perder algunos detalles (características); la resolución de la copia es inferior a la original, en un texto, si se ve claramente (legible) no perderá el contenido con respecto al original.

En el caso de que se presente un agente externo como es: la interferencia, radiación, ruido, etcétera perturba a la señal digital modificando el valor de algún bit, esto no es tan directamente, estos causan efectos negativos en la señal de video produciendo una deformación de la imagen, sería más que producir efectos, son las pérdidas de sincronismo ocasionadas por las perturbaciones, entre otros aspectos que modifican a la señal. Es por este motivo por el que el flujo de los datos va acompañado de información suplementaria, que permite detectar un error y posiblemente corregirlo, esto se logra mediante los bits suplementarios (denominados bits de paridad) que marcan los errores durante la transmisión o grabación de una señal.

Entrando a la digitalización de una señal de video, al principio se calificó como interfaz a distancias muy largas, donde su ancho de banda base (5 MHz para la luminancia) necesita una frecuencia muestreo de mínimo 10 Megamuestras/seg. (Shannon), la muestra se codifica en PCM, si contiene 8 bits por muestra, la señal se transformara en un flujo binario superior a los 80 Mbits/seg. Lo que equivale en frecuencia al ancho de banda aproximadamente a 40 MHz, cuando se codifica digitalmente, lo cual complicaría la transformación de la señal.

La transmisión de TV digital se presentó como complicada a grandes distancias, por la calidad de información que esta integraba, lo cual se consideraba una dificultad hasta que se aparecieron métodos de compresión que redujeron dramáticamente los flujos binarios, estos sin ningún problema, los cuales contribuyen a una mejor calidad en la señal.

La compresión del video digital, fue el impulso que de forma categórica, conmutó la transmisión de la señal de televisión de analógica a digital.

En cuanto a la producción de programas de televisión, la grabación magnética de la televisión digital, se manifiesta una necesidad, principalmente, a la rápida o constante degradación de las copias analógicas. Los errores de velocidad acumulados después de las cortas generaciones de la señal; provocan considerables distorsiones, tanto en la luminancia como en la crominancia, de la señal de video analógica.

Por lo tanto para que la calidad de la señal sea invariable en múltiples generaciones, en las grabaciones magnéticas de la TV digital, por eso se impulsó la primera fase para la digitalización de la señal de televisión. Esta fase fue el diseño de un magnetoscopio que grabaría y reproduciría señales de TV digital, lo cual sustituye a la parte analógica del momento; los formatos B o C de una pulgada en un sistema totalmente analógico de señales de video compuesto.

Desde un punto de vista electrónico, la digitalización de la televisión aporta más ventajas que inconvenientes en la relación a la electrónica analógica:

Aunque es más compleja que la analógica, la electrónica digital ofrece mayor fidelidad de funcionamiento al no precisar de ajustes periódicos como ocurre con la analógica.

- Los equipos digitales pueden, fácilmente, se diseñan con interdependencia mínima, en lugar de los equipos monolíticos difíciles de sustituir en caso de avería, los módulos de conexión los cambios se realizan sin ningún problema.
- La circuitería digital responde con mucha mayor facilidad que la analógica, de sistemas de autodiagnóstico, cuando se localiza una avería indican automáticamente que elemento (placa o subsistema) hay que cambiar.
- La automatización digital ofrece muchas más posibilidades que la analógica, con lo cual en el caso de la televisión digital se mejora la producción y las emisiones automáticas de los programas.

Otras ventajas de lo digital sobre lo analógico son:

- La imagen digital es compatible o coexistente con datos y sonidos digitales, pudiendo ser tratados los tres de igual forma, característica imposible en los sistemas analógicos.
- Un aspecto importante de la transmisión de la TV digital es que bastan 15 dB para la relación señal a ruido al momento de la recepción, frente a los 45 dB necesarios en la transmisión analógica.
- El cifrado de la imagen digital se implementa más fácilmente que el de la analógica, la imagen digital ofrece un nivel de confidencialidad muy superior al del analógico, lo que ha permitido la expansión de la televisión de para Televisión por suscripción (Pay TV).

La tecnología que ya es conocida para las transmisiones de imagen y sonido es la analógica, que utiliza varias señales portadoras para transmitir la información completa de un canal de televisión, limitándose considerablemente a la incorporación de otras señales; un ejemplo de ello es el teletexto, que se introduce en el espacio entre las líneas de cancelación vertical de cuadro para insertar 360 bits de la información.

La base del sistema digital es la forma en que se transmite la señal; se realiza mediante señales portadoras que son moduladas por una señal cuadrada que lleva la información comprimida y en formato binario.

Considerando el sistema PAL, que tiene 25 imágenes por segundo con 625 líneas de exploración horizontal, podemos percibir una sensación de continuidad en la imagen que vemos debido al fenómeno fisiológico de persistencia de la visión. Estas imágenes, es transmitida mediante señales portadoras de alta frecuencia moduladas en amplitud (AM), fase (PM) frecuencia (FM).

En cada canal de televisión se utilizan tres señales portadoras, dos para la imagen y una de sonido, situadas en intervalos de frecuencia de 7 MHz. Este sistema de transmisión es el analógico, puesto que las variaciones entre el nivel de blanco y el de negro, corresponde a las modificaciones en la frecuencia de la señal portadora no resultan tan exactos, del misma forma tampoco los niveles de grises intermedios. No tenemos valores exactos, más bien porcentajes en el nivel de tensión de la señal y tensiones de referencia que tienen un nivel de tolerancia. Uno de los inconvenientes del sistema analógico es el ruido. (Couch II, Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, 2008)

### 3.5.2. IMAGEN Y SONIDO

Ha sido de relevante importancia la elección de la norma ISO/IEC13818, o MPEG, para almacenar y transmitir los programas de la televisión. El MPEG es un conjunto de algoritmos para la compresión de video y audio que permite reducir el tamaño de las secuencias a cifrar razonablemente. Por ello, concierne el proyecto DVB, el MPEG permite ampliar la variedad de transmisiones de televisión que hace posible si se quiere ver la imagen en formato 16:9 o 4:3.

Una señal de televisión consiste en una secuencia de imagen transmitida a gran velocidad, caracterizándose por su resolución y de la misma forma por la frecuencia de cuadro.

La norma MPEG define un tipo de cuadro variable, que puede tener entre 325 x 288 puntos hasta 720 x 576, con una frecuencia de cuadro de 25 cps o 50 cps, dependiendo de la calidad del programa que se desea emitir.

También existe una serie de sistemas de corrección de errores regularmente eficaces, se basan en la redundancia. Esto quiere decir, que parte de la información de cada cuadro se transmite dos veces la misma señal, para que al momento de llegar a su destino se compare con la original y el decodificador corrija los defectos (diferencias) acumulados en la transmisión. (Borque, 2000)

### 3.5.3. SEÑAL DE VIDEO

La denominada señal de video es la representación en forma de magnitud eléctrica de una imagen, la cual puede proceder de una cámara orientada a un objetivo (escena) o un equipo generador de una imagen artificial empleado como patrón para los efectos de ajuste y comprobación.

Obtener la señal de video implica hacer incidir la luz de la escena en el captador de la cámara y proceder a una conversión electroóptica con una función dependiente del tiempo como forma de analizarla y descomponerla en una sucesión de detalles discretos, los cuales forman líneas, un conjunto de líneas forman un campo y dos forman un cuadro. Nipkow fue el primero en poner en práctica un rudimentario procedimiento de análisis para convertir la imagen continua de una escena a una tensión discreta en el tiempo. La amplitud de las sucesivas muestras obtenidas, así se representaba el nivel de luminancia o brillo del área observada en un instante dando por el captor. Con el tiempo solo se ha modificado el modo de crear la imagen y la resolución de la misma.

Así, la imagen se hace incidir a través de un objetivo (perdiendo la dimensión del fondo) en la superficie fotosensible del captador, el cual, mediante su barrido interno, la convierte en una tensión eléctrica dependiente de sus variables. La tensión o valor promedio, es proporcional a la información luminosa del área elemental analizada.

El tratamiento dado en la cámara de video a las dos componentes de la imagen (luminancia y croma, corresponden al brillo y al color respectivamente) son muy diferentes. No obstante, la generalidad de ambas es que cada uno de sus detalles se encuentra relacionado con el espectro de frecuencias que ocupa la señal de video, de tal modo que no coinciden en el tiempo.

Respecto de la luminancia y la cualidad de imagen obtenida al ser reproducida, la característica asociada es el contraste, el cual representa la relación entre los valores máximo y mínimo de la luz. Una imagen de gran contraste supone la presencia de un elevado número de niveles de gris entre blanco y negro.

### 3.5.3.1. GENERADORES DE VIDEO

Un generador de video es un dispositivo de la rama de instrumentación de medida y control que proporciona una señal representativa de una imagen, la cual es barrida o descompuesta en un número finito de detalles que su tensión cualifica y cuantifica en forma de variaciones de amplitud.

Se pueden distinguir dos tipos de generadores de video: los activos, que son denominados comúnmente cámaras de video, y los pasivos, representativos de los generadores patrón. Los primeros son los que efectúan el análisis de la imagen que incide en su captador a través del objetivo. Los segundos los que ofrecen una imagen artificial para los efectos de ajuste y comprobación, no efectuándose en ellos ningún tipo de barrido, ya que generan una tensión representativa de un patrón de imagen, esto se puede ejecutar mediante los tres dispositivos siguientes: un reloj patrón, divisores y conformadores electrónicos.

#### **Captador de imagen**

Dispositivo de configuración termoiónica o de estado sólido (denominado comúnmente CCD), en el que incide la imagen sobre su superficie fotosensible y proporciona la tensión de video.

Los captadores termoiónicos corresponden a los denominados tubos Vidicon Saticon, Plumbicon, etcétera, estos presentan una superficie frontal de condición fotosensible en la que incide la luz de la escena que incide al objetivo de la cámara. La superficie es barrida por un fino haz electrónico que es generado y controlado por un conjunto de filamentos, cátodo y rejillas de control, aceleración y foco, el cual es desviado para tal efecto por un conjunto de bobinas externas a las que se les aplican tensiones triangulares procedentes de los generadores de barrido vertical y horizontal, consiguiendo con ello las líneas y los campos. El entrelazado de dos campos dará lugar a 25 cuadros de 625 líneas.

Los captadores de estado sólido (CCD) empleados actualmente en todas las cámaras consiguen lo mismo, pero no requiere una selección de un haz para efectuar el análisis de la imagen, ya que se recorre secuencialmente mediante sus señales de temporización horizontal (H) y vertical (V), cada uno de los fotodiodos discretos que forman la superficie de imagen.

#### **Generador de temporización**

Circuito destinado a proporcionar las señales para el barrido o la exploración de vertical y horizontal de captador. La configuración es dependiente del tipo de captador empleado en la cámara, ya que si es termoiónico es necesario generar ondas triangulares para aplicarlas a las bobinas de desviación situadas sobre el captador de estado sólido, las señales H y V son impulsos cortos destinados a los registros de desplazamiento internos para la selección secuencial de los fotodiodos discretos que configuran la superficie de imagen.

#### **Borrado**

Durante los retornos de horizontal y vertical, el captador no muestra la señal de video porque se encuentra inhabilitado, lo que supone surgimiento de ruido en la conexión de salida.



Como solución, se opta por aplicar impulsos de borrado (BLK, que corresponden a la abreviatura de blanking de la lengua inglesa) a un circuito puerta, la función de este es desviar la línea de video a masa o la abre durante los citados tiempos, evitando que el ruido alcance al sumador final en al que se insertan los impulsos de sincronismo en coincidencia con los tiempos de ejecución.

### **Amplificador**

Circuito destinado a amplificar las señales proporcionadas por el capacitor. Se manifiesta muy diferente complejidad en función de la cámara a la que está destinado, para mejoría del sistema se incorpora un control automático de ganancia (CAG) con mando externo de selección del margen dinámico de actuación. Con independencia de los complementos, el amplificador se debe caracterizar por su linealidad de respuesta en frecuencia para no degradar las frecuencias altas representativas de los detalles de la imagen más finos de la escena.

### **Corrección de gama**

Los dispositivos electroópticos, tales como el captador de imagen en el receptor, no son lineales en su característica luz-corriente. El captador de imagen tiene una curva de transferencia menor de la unidad, aunque en algunos tipos se aproxima, y en el TRC es mayor, pero no con la misma proporción, lo que supone una incertidumbre de los niveles de brillo de la imagen finalmente reproducida.

La señal por un amplificador de respuesta no lineal.

$$Y_T = Y_C * Y_R * Y_K = 1 \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

Donde

$Y_C$  = Gamma de la cámara (menor que la unidad).

$Y_R$  = Gamma del TRC (mayor que la unidad).

$Y_K$  = Factor de corrección de gamma.

### **Fijación del nivel de negro**

La señal de video de salida de la cámara tiene dos informaciones muy concretas que deban ser identificadas: la tensión representativa de la imagen y los impulsos de sincronismo que requiere el receptor para poder reproducirla en su pantalla.

Se requiere una línea divisoria coincidente con el negro de la imagen, línea que tiene cero voltios y que establece los límites entre ambas informaciones, empleándose para ello el denominado fijador.

### **Sumador**

Circuito que recibe la información de video en el nivel de negro y los impulsos de sincronismos para formar con ello el denominado video compuesto, o lo que es lo mismo:

$$U_C = U_V(t) + U_S(t) \quad \text{Ecuación (3.5)}$$

Dónde:

$U_c$  = Vídeo compuesto.

$U_v$  = Tensión de video.

$U_s$  = Tensión de sincronismo.

La salida del sumador de sincronismo es el circuito encargado de generar las tres señales necesarias, que son:

#### *Impulsos de sincronismo vertical*

Serie de 5 impulsos con una duración total correspondiente a 2.5 líneas (H) que está destinada a sincronizar el oscilador de barrido vertical del receptor. Cada impulso tiene una anchura de 27.3  $\mu$ s, lo que supone un periodo total de 32  $\mu$ s correspondiente a 0.5 H.

#### *Impulsos ecualizadores*

El disparo inicia siempre cada 20 ms para que las líneas puedan entrelazarse supone la eliminación de la diferencia del tiempo indicado, lo que consigue introducir los impulsos en los ecualizadores (igualadores) dicho proceso se realiza antes y después del grupo de impulsos de sincronización vertical. La ecualización consta de dos grupos de impulso de 2.35  $\mu$ s de ancho, separados en tiempo correspondiente a  $\frac{1}{2}$  H, ocupando un espacio cada grupo de 2.5 H.

#### *Impulsos de sincronismo horizontal*

Al final del periodo activo de línea (52  $\mu$ s) se inicia el retorno o borrado de 12  $\mu$ s para completar el periodo de 1 H y quedar el sistema en condiciones de explorar una nueva línea.

Durante el tiempo de retorno, el generador introduce los denominados impulsos de sincronismo horizontal, cuya finalidad es sincronizar al oscilador de barrido horizontal, para que el captador de la cámara y el tubo de imagen (TRC) tengan coincidencia de tiempo y se posibilite con ello la reproducción de la imagen captada.

El periodo de borrado se inicia en el pórtilo anterior, lo que provoca el disparo del oscilador de barrido de horizontal del receptor y le sigue el impulso de sincronismo con un ancho suficiente (4.7  $\mu$ s) para ser transferido sin dificultad de ancho de banda por los circuitos del receptor y finaliza con el pórtilo posterior con un elevado tiempo (5.8  $\mu$ s), para posibilitar la extinción sobre las oscilaciones. (Perales, Televisión Actual, 2001)

### 3.5.4. CODIFICACIÓN DIGITAL

Si deseamos representar seis niveles de gris con una señal portadora analógica, se envía una señal con variaciones del 0, 20, 40, 60, 80 y 100 por ciento de su frecuencia, utilizamos la frecuencia media, confiando en que los aparatos son lo suficiente mente precisos como para no enviar variaciones de 0, 22, 45, 50, 81 y 95 por ciento.

Cuando utilizamos una señal portadora digital no se utilizan intensidades intermedias; la señal portadora solo admite dos situaciones: máximo y mínimo, correspondiente a los estados binarios del lenguaje de los ordenadores. Cuando se transmite la información que describe



valores; por ejemplo, 256. Los circuitos digitales con numeración binaria, traducimos esta cifra a base dos, necesitándose 8 bits u ocho sucesiones de estados máximos y mínimos, que corresponden a los unos y a los ceros.

Se hace uso de la tecnología para digitalizar las imágenes, por tanto hay que transformarla en secuencias de unos y ceros que luego llevara la señal portadora digital. Lo primero a realizar es la elección del número de bits, o estados binarios que se necesitan para representar las señales. Al transmitirse las imágenes de unidad mínima, es el elemento pictórico o pixel con variaciones de 16 millones de tonos; por ello, se necesitan 24 bits para representar cada pixel de los 768 x 576 pixeles que integran cada imagen individual. A cada uno de los niveles de color se le llama cuanto de información, ya que el proceso de digitalización también se le llama cuantificación de la señal.

El aparato digitalizador de imagen es el dispositivo de acoplamiento de carga, que es una matriz de las unidades fotosensibles que transforma las señales luminosas en intensidades de corriente eléctrica y seguidamente en valores cuantitativos. Con esta tecnología se mejora la calidad y el ruido, así de la misma forma la incorporación de algoritmos para la detección y corrección de errores.

En un solo canal puede introducirse una sola transmisión de alta calidad o varias de poca calidad.

El sonido cobra mucha importancia en la televisión digital. El sistema MPEG admite la codificación y transmisión de una señal de audio de 504 canales en una sola secuencia de bits, así la calidad final depende del equipo receptor.

### 3.5.5. PRINCIPIO DE LA TRANSMISIÓN POR CABLE

La transmisión por cable combina la fibra óptica con el cable coaxial, el cual ofrece un ancho de banda para permitir la circulación en ambos sentidos de un elevado número de cadenas de televisión, imágenes, sonidos y millones de bits de información. Todos ellos integrado en una misma fuente (cable); considerándose comodidad y una gran fiabilidad.

### 3.5.6. FUNCIONAMIENTO DE LA RED POR CABLE

Una red por cable está formada por una cabecera, una red troncal y una red de distribución a usuarios.

La cabecera es el centro neurológico de la red, en ella se recibe, procesa, se controla la ciudad de imagen y se envía todo tipo de información para su posterior distribución al usuario. También recibe y procesa la información que desde el usuario se recibe a la cabecera mediante el canal ascendente denominado canal de retorno. La interactividad que se produce permite el suministro de una amplia gama de servicios de telecomunicaciones.

La información que se procesa en la cabecera se transforma en señal óptica, haz de luz, para que circule por la red troncal de fibra óptica y viceversa para el canal de retorno.

La red troncal de fibra óptica es la red de transporte de primer nivel por la que circula toda la información.

La señal óptica viaja hasta un nodo optoelectrónico que la transforma en señal radioeléctrica para distribuirla a través de cable coaxial hasta el usuario. El proceso se repite a la inversa desde el usuario a la cabecera de la red.

### 3.5.7. EL MODEM DEL CABLE

Se accede a internet a través del mismo cable que lleva las señales de televisión y la telefonía sin que los servicios sufran la menor interferencia entre ellos. En la actualidad la tecnología que se utiliza es el modem de cable.

Hay dos tipos de modem de cable: simétrico y asimétrico. Los módems simétrico permiten un flujo equivalente en la emisión y recepción de datos; siendo su capacidad de 10 Mbps, también los hay con mayor capacidad.

Los módems asimétricos reservan la mayor parte de su capacidad para la recepción de datos, y se puede llegar a trabajar hasta 56 Mbps, siendo menos su capacidad de emisión.

El modem de cable se conecta al ordenador mediante una tarjeta de interface de red.

Aunque el dispositivo ha sido denominado como su homónimo para la conexión en las redes telefónicas, el modem de cable es capaz de realizar otras funciones además de hacer la conexión de internet, es capaz de desmodular las señales.

Un modem de cable se conecta al ordenador, se activa y se envía una señal a la cabecera de la red; el equipo de gestión de modem de la cabecera identifica al usuario, realiza las comprobaciones pertinentes y autoriza la conexión a la red. (Borque, 2000)



Figura 3.13. Modem de TV por cable.

## 3.6. TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV)

### 3.6.1. INTRODUCCIÓN

La Televisión de Alta Definición Analógica, tuvo sus orígenes en Japón en el año 1968. En efecto, la NHK (televisión japonesa), comenzó en este año los estudios para desarrollar un sistema de televisión de Alta Definición, que no fuera compatible con los sistemas convencionales. Estos desarrollos fueron dirigidos por el **Dr. Takashi Fujio**.

Este fue el primer desarrollo de la Televisión de Alta Definición (HDTV) analógica. Los parámetros principales de este nuevo sistema eran; 1125 líneas/60 Hz, un ancho de banda en luminancia de 30 MHz y 15 MHz para cada una de las diferentes señales de color.

En el año 1974, el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR), organismo dependiente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), nombro en Europa una comisión denominada Grupo 11. Este tenía la misión de elaborar un estándar de HDTV.

En el año 1977 en EE.UU., la Sociedad de Ingenieros de Televisión para Imágenes en Movimiento (SMPTE), formo un grupo de trabajo para la elaboración de una norma de HDTV.

Durante el año 1980 este grupo propuso un estándar con 1100 líneas, barrido entrelazado y una frecuencia de campo de 60 Hz.

En el año 1981, la NHK de Japón comenzaba a efectuar demostraciones por todo el mundo del nuevo sistema de HDTV. Sin embargo, algunos países seguirían desarrollando sus propios sistemas.

En el año 1985 el CCIR propuso un estándar único de HDTV. Los parámetros básicos del mismo eran: 1125 líneas, una relación de aspecto de 5:3 y barrido entrelazado 2:1. Sin embargo, Europa no accedió a esta estándar, debido a la conversión de frecuencia de 50 a 60 Hz que debería realizar.

Este mismo año se sometió a estudio del CCIR, un estándar basado en 1125 líneas/60 Hz.

En 1986 surgió en Europa el proyecto Eureka. Este preveía la fabricación de los equipos de estudio y transmisión, para el desarrollo del sistema europeo de HDTV analógica.

En 1987 varios países de Europa, mediante el documento 11.297 solicitaron al CCIR un sistema HSTV. El mismo se basa en 1250 líneas y barrido progresivo.

En 1988 surgió un nuevo proyecto derivado del anterior. Se trataba del proyecto Eureka 256, que estaba orientado a la reducción de información de las altas velocidades binarias, que poseía la señal digital del HDTV.



Figura 3.14. Televisión en HDTV

### 3.6.2. LA RELACIÓN DE ASPECTO 16:9

La relación de aspectos 16:9 surge con el desarrollo de la Televisión de Alta Definición. Esta relación le da a la imagen una mayor realidad de presencia.

Los distintos tamaños de pantallas utilizados en cine y en televisión. En este caso, se muestra que la relación de aspectos 16:9 utilizada en HDTV, se asemeja a la relación utilizada en el cine de pantalla ancha.

Recordando que hoy en día, la relación 16:9 también se utiliza en Televisión Digital Estándar (SDTV).

La señal digital SDI de 270 Mbps, es una señal con una estructura 4:2:2/10 bits, con una frecuencia de muestreo de cada una de las señales diferenciadas de color de 6.75 MHz.

Sin embargo, la verdadera relación 16:9 en Televisión Digital Estándar, corresponde a una señal de 360 Mbps/4:2:2. En este caso, la señal de luminancia (Y) es muestreada a 18 MHz y cada una de las señales diferenciadas de color (Cb y Cr), son muestreadas a 9 MHz cada una.

Para una pantalla con una relación 4:3 y a una distancia de observación de 3H, el ángulo de visión horizontal es de 10°. A esa misma distancia, si se cambia la relación de aspecto de pantalla a 16:9, el ángulo de visión pasa a ser mayor a 20°.

### 3.6.3. LA SEÑAL DE VIDEO COMPUESTA EN HDTV ANALÓGICA

La señal de video compuesta de HDTV analógica es prácticamente igual en su conformación a la señal de video de la televisión convencional. La única diferencia reside en el pulso de sincronismo horizontal, que es de doble polaridad.

Para evitar problemas, en HDTV analógica se implementó el pulso de sincronismo de doble polaridad. La parte positiva de la señal no afecta en absoluto la sincronización horizontal.

### 3.6.4. ESTÁNDARES 1250/50 Y 1125/60

Desde que comenzó la televisión de Alta Definición analógica existen dos normas. La primera de ellas fue propuesta y desarrollada en Europa en 1250/50 y la segunda fue desarrollada en EE.UU en 1125/60.

Ambas normas, tiene en común el aumento del número de líneas de barrido, la relación de aspecto 16:9 y el barrido entrelazado.

Para poder efectuar el entrelazado, a la mitad de la línea 625 se inserta un pulso de sincronismo. De esta manera, el primer campo finaliza en la mitad de la línea 625 y el segundo campo comienza en la mitad de dicha línea.

### 3.6.5. DIGITALIZACIÓN DE LA SEÑAL DE HDTV

La digitalización de la señal de HDTV, es efectuada de la misma manera que la digitalización de la señal de televisión convencional.

Se verá a continuación, las diferencias que se presentan en la digitalización de la señal de HDTV.

En la digitalización, se muestrean 220 muestras por línea total o completa (parte activa de la línea más el retrasado), correspondiendo 1920 muestras por línea, para un total de 1152 líneas activas.

#### 3.6.5.1. FOMATOS DE HDTV

La frecuencia de muestreo debe cumplir con el teorema de Nyquist, además debe ser un múltiplo entero de 2.25 MHz. Este concepto viene en Televisión Digital Estándar, donde esta frecuencia es el mínimo múltiplo entero común para las frecuencias de barrido de 625/50 y 525/60. En este caso, la frecuencia de muestreo de luminancia es de 13.5 MHz es común para ambas normas o sea  $6 \times 2.25 \text{ MHz} = 13.5 \text{ MHz}$ .

El mismo criterio, se siguió para la elección de la frecuencia de muestreo utilizada en la digitalización de la señal de HDTV. Para la norma 1250/50 se eligió la frecuencia de muestreo de 72 MHz, que es 32 veces la frecuencias de 2.25 MHz.

En las normas 1250/50 y 1125/60, con una estructura 4:2:2, se muestran 1920 muestras por línea activa de luminancia y 960 muestras por línea activa de cada una de las señales diferenciadas de color Cb y Cr.

En 1080 líneas activas que corresponden a un cuadro se muestran 4, 147,200 muestras entre las de luminancia y de las señales diferenciadas de color Cb y Cr. A este formato de barrido se lo denomina 1920 X 1080. Aquí, de acuerdo a lo visto, se muestrean 1920 muestras por línea activa por 1080 líneas activas.

Los parámetros de este formato para 60 Hz están especificados en la norma SMPTE 274M, mientras que los parámetros para 50 Hz están especificados en la norma SMPTE 295M. A este formato se lo denomina 1080i o sea 1080 líneas activas con barrido entrelazado.

Un segundo formato de HDTV es el 1280 x 720 con barrido progresivo. Este corresponde a 1280 muestras por línea activa por 720 líneas activas.

### 3.6.6. DIGITALIZACIÓN DE LA SEÑAL. PARÁMETROS PARA 1125/60/2:1 Y 1250/50/2:1 EN LA ESTRUCTURA 4:2:2

Existen algunas diferencias entre ambas normas, en lo que respecta a la frecuencia de muestreo de la señal de luminancia y de las señales diferenciadas de color. Para la señal de luminancia, en la norma 1125/60 este valor es de 74.25 MHz, mientras que en 1250/50, este valor es de 72 MHz.

También, existe una ligera diferencia en el número de muestras de luminancia y de cada una de las señales diferenciadas de color, por línea total o completa.

| Parámetros   | 1125/60  | 1250/50                          |
|--|--|----------------------------------|
| Señales codificadas, R, G, B y/o Y, Cb, Cr.              | Estas señales se obtienen a partir de las señales con pre corrección de gamma, es decir E y Er-E'b-E'y ò E'r, E'g, E'b.  |                                  |
| Retícula de muestreo R, G, B, Y                          | Ortogonal, repetitiva en c/línea y en c/campo.   |                                  |
| Señales de retícula de muestreo Cb y Cr.                 | Ortogonal, repetitiva en cada línea y en cada campo. Las muestras de las señales Cr y Cb coinciden en el espacio con las muestras alternadas de la señal Y. Las primeras muestras activas de la señal diferenciada de color coinciden en el espacio con la primera muestra activa de la señal Y. |                                  |
| Frecuencia de muestreo de Y.                             | 74.25 MHz +/- 10 x 72 MHz +/- 10 x 10E-6 10E-6   |                                  |
| Frecuencia de muestreo de Cr, Cb.                        | 37.125 MHz +/- 10 x 36 MHz +/- 10 x 10E-6 10E-6  |                                  |
| Numero de muestras por línea<br>-R, G, B, Y              | 2200   | 2304                             |
| -Cr, Cb  | 1100   | 1152                             |
| Numero de muestras activas por líneas<br>-R, G, B, Y     |  | 1920                             |
| -Cr, Cb  |  | 960                              |
| Asignación del nivel de cuantificación<br>Datos de video | Codificación de 8 bits 256 T   |                                  |
| Referencia de temporización.                             | 1,00 a 254,75<br>0,00 y 255,75   | (T = 1/72 MHz =<br>13.889 nseg.) |
| Niveles de cuantificación<br>Nivel de negro R, G, B, Y.  |  | 16                               |
| Nivel medio Cb, Cr.                                      |  | 128                              |
| Valor de cresta nominal R, G, B, Y.                      |  | 235                              |
| Valor de cresta nominal Cb, Cr                           |  | 16 y 240                         |

Tabla 3.4. Parámetros de la cuantificación digital para 1125/60 y 1250/50.

Fuente: (Simonetta, 2002)

Otra diferencia que existe entre ambas normas, se presenta en los periodos del muestreo activo de las señales de luminancia y de las señales diferenciadas de color, con respecto a la referencia temporal de sincronización analógica OH.

### 3.6.7. CALCULO DE LA VELOCIDAD BINARIA

Para realizar el cálculo de la velocidad binaria en el formato 1080i de 60, para 4:2:2/10 bits. Este cálculo, lo podemos efectuar de dos maneras;

$$\text{Velocidad binaria en Mbps} = (\text{Frec. De muestreo de Y} + \text{Frec. De muestreo de Cb} + \text{Frec. De muestreo de Cr}) \times \text{N}^\circ \text{ de bits} \times \text{muestra.}$$

**Ecuación (3.6)**

Aplicado esta fórmula tenemos:

$$\text{Veloc. Binaria en Mbps} = (74,25 + 37,125 + 37,125) \times 10 = 1.485 \text{ Mbps} = 1.485 \text{ Gbps.}$$

**Ecuación (3.7)**

Al mismo resultado podemos llegar aplicado otra fórmula

$$\begin{aligned} \text{Veloc. Binaria en Mbps} \\ = (\text{N}^\circ \text{ de muestras totales de Y} + \text{N}^\circ \text{ de muestras totales de Cb} \\ + \text{N}^\circ \text{ de muestras totales de Cr}) \times \text{N}^\circ \text{ de líneas totales de barrido} \times \text{N}^\circ \text{ de cuadros por seg.} \times \text{N}^\circ \text{ de bits} \\ * \text{ por muestra.} \end{aligned}$$

**Ecuación (3.8)**

Aplicando esta fórmula resulta

$$\text{Veloc. Binaria en Mbps} = (2200 + 1100 + 1100) \times 1125 \times 30 \times 10 = 1.485 \text{ Mbps} = 1,485 \text{ Gbps.}$$

**Ecuación (3.9)**

Esta es la velocidad binaria de una señal digital de HDTV en Estudios, sin comprimir. Esta señal, corresponde a un formato 1080i o sea 1080 líneas activas con barrido entrelazado.

### 3.6.8. NIVELES DE CUANTIFICACIÓN PARA 8 Y 10 BITS

Los niveles de cuantificación, empleados en la señal de HDTV 1250/50 y 1125/60, son los mismos que los utilizados para una señal de SDTV.

| Parámetros                      | 8 bits | 10 bits |
|---------------------------------|--------|---------|
| Total de niveles                | 256    | 1024    |
| Nivel de negro de Y             | 16     | 64      |
| Nivel máximo de blanco de Y     | 235    | 940     |
| Nivel de cero para Cr y Cb      | 128    | 512     |
| Nivel mínimo de pico de Cb y Cr | 16     | 64      |
| Nivel máximo de pico de Cb y Cr | 240    | 940     |

Tabla 3.5. Nivel de cuantificación en HDTV para 8 y 10 bits.

Fuente: (Simonetta, 2002)

Al igual que Televisión Digital Estándar, en HDTV digital se emplea una estructura de muestreo 4:2:2, con una cuantificación de 10 bits por muestra de resolución. (Simonetta, 2002)

### 3.7. CIRCUITOS Y PROCESOS DE TELEVISIÓN DIGITAL

Los procesos digitales de audio y video implican la necesidad de conversión entre el formato analógico y el formato digital, lo que requiere la selección de circuitos para filtrar, muestrear y codificar.

#### 3.7.1. FILTRADO

La señal a tratar debe ser filtrada en el dominio de la frecuencia, para limitar el ancho de banda al valor máximo establecido en razón a la frecuencia de muestreo elegida. El incumplimiento de esta condición supone la aparición de frecuencias indeseables y con ello la alteración del proceso.

#### 3.7.2. MODULACIÓN

##### 3.7.2.1. MODULACIÓN EN CUADRATURA (NTSC Y PAL)

Tanto los estándares o mejor conocidos en la actualidad como la norma NTSC (National Television System Commite, USA, 1953) como la norma PAL (Phase Alternation Line, Alemania, 1963) emplean la modulación en cuadratura o QAM con la señal portadora suprimida.

Modular en cuadratura supone el empleo de dos moduladores de amplitud con idéntica frecuencia pero con fase diferentes en cuadratura, a los que se aplican las tensiones para diferenciar el color, procediendo a la suma vectorial de la salida de las dos señales moduladas mediante un sumador lineal. Se obtiene así una señal portadora modulada en amplitud y fase, cuyo modulo significa la saturación y el argumento del vector, este es el que define el tono o matriz de color.

$$|C| = \sqrt{Im^2 + Qm^2} \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

$$\varphi = \arctg = \frac{1}{Q} \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

La elección de la frecuencia de la señal subportadora es fundamental por la forma en que afecta al patrón de interferencia. Si bien su valor debe corresponder a un múltiplo impar de la mitad de la frecuencia de línea, este mismo tiene límites impuestos por el ancho de banda de la luminancia y por la proximidad de la señal portadora de audio.

El múltiplo elegido en NTSC es el 455, con lo que correspondiente en la ecuación, donde la frecuencia de línea es de 15.750 Hz de esta norma, es de:

$$f_{sc} = (2n + 1) * fH/2 = 455 * 15751 = 3583 \text{ MHz} \quad \text{Ecuación (3.12)}$$



Sin embargo, este valor crea conflictos espectrales con la señal portadora de audio, la cual esta situada a 4.5 MHz de la imagen, originando una interferencia visible, que es capaz de ocasiona un armónico para la frecuencia de líneas.

Una consecuencia de la modificación de la frecuencia de líneas es la alteración de la frecuencia de cuadro, la cual pasa de los 60 Hz característicos antes del color a 59.59 Hz, este valor que también es incluido en los márgenes de corrección de los circuitos correspondientes de los receptores.

La norma PAL aporta una solución a la sensibilidad a los errores de la norma NTSC, recurriendo para ello a la inversión secuencial de línea a línea de la fase de la componente R-Y con la finalidad de que en el proceso de restitución de la fase original de las líneas invertidas que tiene lugar el receptor, el error se cancela al tener fases opuestas, la línea anterior y la actual, obteniéndose una información de imagen que es el promedio de dos líneas sucesivas.

En a) Se considera un error por cualquiera de los motivos mencionados, en b) El error es el mismo pero invertido por la línea de R-Y, la cual pasa a tener 270° y no 90°, y c) Se produce la cancelación si ambas líneas se encuentran en el mismo tiempo, lo que requiere la selección de un dispositivo de retardo de 1 H.

Se demuestra en el desarrollo del sistema que la estructura interferente podría ser reducida al mínimo, para que permita la integración en la elección del valor de la señal superportadora, para lo cual se considera la frecuencia de cuadro, con lo que se adoptó finalmente la siguiente expresión, que la determina:

$$f_{SC} = \left(284 - \frac{1}{4}\right) f_H + f_v = 4,43361875 \text{ MHz} \quad \text{Ecuación (3.13)}$$

Dónde:

$f_H = 15.675$  Hz como frecuencia de horizontal o línea.

$f_v = 25$  Hz como frecuencia de cuadro.

Tal expresión también puede ser escrita de la forma que indica la norma PAL BG:

$$f_{SC} = \left(\frac{1.135}{4} + \frac{1}{625}\right) f_H = 4,43361875 \text{ MHz} \quad \text{Ecuación (3.14)}$$

Esta última expresión tiene su justificación en antecedentes históricos de obtención de las frecuencias mediante un cristal de cuarzo y una cadena de divisores.

La salva tiene un valor de 135° (180°-45°) en las líneas en las que R-Y tienen fase normal y 225° (180°+45°) en las que la fase se invierte. En la norma PAL la salva está compuesta por 10+1 ciclos de la señal portadora, la cual se sitúa en el pódico posterior de los impulsos en forma horizontal, como en la norma NTSC.

### 3.7.2.2. MODULACIÓN EN FRECUENCIA (SECAM)

La norma SECAM (Sequential Couleur A Memoria, 1967) se aleja del sistema de modulación en cuadratura para evitar el indeseable efecto del cambio del color por las alteraciones de fase, la norma corresponde a la modulación de frecuencia con transmisión secuencial línea a línea de cada uno de los componentes R-Y y B-Y. Por razones de compatibilidad con el ancho del canal de televisión, no es posible transmitir de modo simultáneo dos señales portadoras de FM para las dos componentes de color, al realizar él envió secuencial y la memorización en el receptor

de la línea de televisión anterior, disponiendo de ambos procesos, se puede posibilitar la reproducción de todos los colores.

Las componentes R-Y y B-Y son ponderadas para que igualen en nivel al color blanco en la condición de modulación al 75 %, y la del color rojo es combinada para obtener modulaciones de distinto signo (magnitud) con la posibilidad de disminuir la interferencia visual que provoca la fase diferencial en los cambios de color. Las componentes quedan del siguiente modo:

$$D_R = -1.9 (R - Y) \quad \text{Ecuación (3.15)}$$

$$D_B = 1.5 (R - Y) \quad \text{Ecuación (3.16)}$$

Tales componentes son enfatizadas como forma de reforzar las frecuencias altas y aplicadas secuencialmente al modulador de FM, se refiere a los siguientes valores de su RF en la condición de reposo (sin modulación):

$$f_{0R} = 4,40625 \text{ MHz} = 282 f_H \quad \text{Ecuación (3.17)}$$

$$f_{0B} = 4,40625 \text{ MHz} = 272 f_H \quad \text{Ecuación (3.18)}$$

La presentación de frecuencias con las componentes de color es de 280 KHz para la señal de rojo y 230 KHz para la de azul.

La señal subportadora de croma se interrumpe durante los impulsos de sincronismo de líneas a efectos de protección y también durante el periodo de borrado de campo, aunque no en su totalidad, ya que durante las líneas 7 al 15 del primer campo y 320 a la 328 del segundo se intersectan líneas denominadas de identificación de color para controlar el conmutador secuencial del receptor.

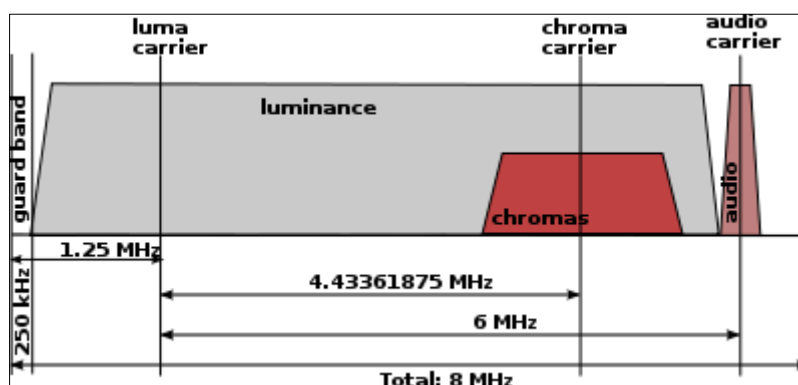


Figura 3.15. Composición de la señal SECAM.

### 3.7.3. CONVERSIÓN A/D Y D/A

#### 3.7.3.1. CONVERSIÓN A/D

La señal de video en formato o por componentes previamente separadas (los dos sistemas se emplean en la práctica) es aplicada a un convertidos A/D en el que tiene lugar las acciones de muestreo, cuantificación y codificación, obteniendo con ello una sucesión de palabras binarias en formato paralelo que se aplica al decodificador de TV.

El circuito tiene conexiones externas en el bloque de cuantificación compuesto por 256 comparadores para prefijar los niveles inferior y superior de la señal de entrada. Puede muestrear a una frecuencia superior a 40 MHz y proporciona 8 bits de resolución, con salida compatible en binario natural o complemento a dos.

### 3.7.3.2. CONVERSIÓN D/A

La información de imagen en formato digital debe ser convertida a tensión analógica y filtrada para conseguir su reconstrucción, recorriéndose para ello a convertidores D/A de alta velocidad.

Por lo general los convertidores son de 8 bits y admite una velocidad de proceso superior a 30 MHz. Permite niveles TTL y proporciona dos salidas analógicas complementarias sobre cada 75 Ohm. (Tomasi, 2003)

### 3.7.4. MUESTREO

El muestreo supone la conversión de tiempo continuo a tiempo discreto de la señal de entrada para cuantificar posteriormente sus muestras discretas, generar con ello una información digital en correspondencia. Se efectúa el cambio de condición mediante un circuito de muestreo y retención, manipulada por la denominada frecuencia de muestreo  $f_s$ .

El muestreo a intervalos periódicos (ortogonal) convierte la señal de entrada en impulsos PAM (Pulse Amplitude Modulation) que constituyen las denominadas muestras, cuyo valor instantáneo se determina mediante la siguiente expresión:

$$e(t) = A * \text{Sen}wt - \left(\frac{A}{2}\right) (\text{Cos } 2wt) \quad \text{Ecuación (3.19)}$$

Un aspecto de suma importancia en el proceso descrito es la elección de la frecuencia de muestreo ( $f_s$ ). Conforme a los teoremas de Nyquist-Shannon, la frecuencia de muestreo debe tener la condición de que su valor sea al menos dos veces de la frecuencia máxima de la señal a muestrear.

Si la frecuencia de muestreo no cumple la condición de ser al menos el doble que la máxima de ( $f_B$ ), se produce solapamiento entre la señal en banda base y el espectro generado por el muestreo. Con ello, se introducen frecuencias a la imagen que alteran el contenido. El citado efecto es denominado "aliasing" y debe ser evitado eligiendo adecuadamente la frecuencia de muestreo y filtrando la señal de entrada para suprimir las posibles frecuencias de valor superior al máximo establecido.

En televisión digital es necesario el muestreo síncrono, lo que supone que la frecuencia de muestreo debe corresponder con un múltiplo de la frecuencia de línea ( $f_H$ ). También se requiere la condición de igualdad en el número de muestreos entre campos, con lo que se obtienen con este modo 576 líneas activas de imagen, por lo que no se tiene en cuenta la media línea de final del primer campo, a diferencia del proceso analógico básico, en el que intervienen 575 líneas.

En la norma de televisión digital 601 del CCIR, el valor de 13.5 MHz corresponde a la frecuencia con la que se muestra solo la luminancia, empleando un valor a la mitad de la frecuencia de luminancia (6.75 MHz) para la croma.

Se emplea con ello el sistema denominado muestreo por componentes en el que la información visual se integra al proceso previamente separando sus componentes YUV (luminancia, B-Y y R-Y) y se muestrean de modo síncrono con multiplexado temporal.

### 3.7.5. CODIFICACIÓN

Cada muestra discreta que recibe el convertidor se compara internamente con una referencia de televisión a efectos de cuantificarla, obteniendo una información numérica que es posteriormente codificada a binario.

De este modo el convertidor, como bloque funcional que incorpora los circuitos de cuantificación y codificación, proporciona una palabra binaria de  $n$  bits de longitud en formato paralelo o serie por cada muestra discreta que recibe. Se obtiene así el audio o el video en condiciones de poder ser aplicado a los procesadores correspondientes.

En la citada norma 601 del CCIR, a longitud de la palabra es de 8 bits, lo que supone una resolución de 256 niveles de cuantificación que se distribuyen del siguiente modo en la señal de imagen:

**LUMINANCIA:** 220 niveles para la señal. El nivel 16 corresponde al negro y el 235 al blanco. Se reserva un 10% para absorber situaciones de sobre modulación.

**CROMA:** 224 niveles para las señales diferencia de color, estando situado el cero analógico en el número digital 128. Tal condición da lugar a valores extremos de 240 y 16, que corresponde a  $128 \pm 112$ .

Se reservan 16 niveles por cada extremo para situaciones como la indicada en la luminancia.

### 3.7.6. DECODIFICADOR

El decodificador es el bloque funcional encargado del tratamiento de las informaciones de luminancia y croma para obtener finalmente las tensiones de las componentes YUV que se aplican al procesador. Recibe el video digital en formato compuesto o por componentes y un reloj síncrono con la información de imagen para la desmodulación en cuadratura y otros procesos en los que sea requerida una referencia de tiempo.

#### 3.7.6.1. ENTRADA DE SEÑALES

Admite señales de entrada en formato video compuesto o luminancia y croma separadas externamente con niveles TTL, adaptándose con ello a las diferentes arquitecturas existentes para televisión digitalizada.

En la condición de señal separadas, el circuito dispone de dos buses de 8 bits, empleándose uno para la luminancia y otro para las componentes UV multiplexadas.

#### 3.7.6.2. PROCESO DE LUMINANCIA

La información de luminancia de entrada ante señales de video en formato 4:2:2 o bien separada si es compuesto es aplicada a un convertidor de relación de muestreo para reducir el flujo binario, y desde la salida de este a un circuito de preénfasis para realizar la parte alta del

espectro de la señal, a una trama de croma para evitar el indeseable efecto de la intermodulación entre las dos componentes de imagen y una línea de retardo variable de compensación de tiempo entre Y y C, aplicando la salida de la cascada de circuito de interfaz de comunicación con el exterior.

#### **3.7.6.3. PROCESO DE CROMA**

La información de croma en la condición de señal subportadora con formato digital de video compuesto o las componentes UV del formato 4:2:2 es aplicada a una interfaz de entrada para direccionarla al circuito correspondiente en razón a su condición. Así, si corresponde a componentes UV es direccionada a un filtro de croma, a una línea de retardo de compensación de tiempos entre Y y C, a un bloque de interpolación en orden a cancelar los posibles errores de los datos y a un multiplexor como etapa final. Si la información de color procede del video compuesto, se separa de la luminancia, se desmodula en cuadratura con el reloj de referencia aplicado, filtrándose posteriormente mediante filtros de paso bajo para reducir su banda a 1 MHz y, donde estos, inciden en el multiplexor de salida que da lugar al bus de datos de croma de 8 bits.

#### **3.7.6.4. RELOJ Y SINCRONIZACIÓN**

El circuito incorpora un reloj de 27 MHz del que se extrae mediante divisores internos la frecuencia de 13.5 MHz (1/2) para el proceso de luminancia y la de 6.25 MHz (1/4) para la de croma.

#### **3.7.6.5. INTERFAZ DE SALIDA**

Este bloque proporciona los buses digitales de 8 bits de luminancia y de las componentes UV multiplexadas. Sus niveles son compatibles con los TTL.

Incorpora este bloque una entrada (FEIN) para control de habilitación de los datos de salida y una salida (HREF) con una referencia de tiempo de horizontal, la cual puede ser requerida por los siguientes procesadores para efectos de sincronización.

#### **3.7.7. PROCESADOR**

En televisión digital se denomina procesador al bloque funcional encargado de la gestión de los datos de imagen para conseguir funciones diversas como; la conversión a 100 Hz, imagen congelada, segmentada, imane dentro (PIP) y fuera de la imagen (POP), zoom, entre otros efectos.

#### **3.7.8. PROCESO DE VIDEO**

Aportan al proceso digital un aumento de calidad de la imagen, lo que constituye su razón principal, y nuevas prestaciones por la incorporación de circuitos complementarios.

La mejora de la calidad de la imagen se consigue al aumento del ancho de banda de la información de luminancia que se obtuvo al posibilitar el proceso de la separación de las componentes de luminancia y croma en el dominio del tiempo, además también por la reducción del ruido ya que en los procesos digitales este es regenerativo, a diferencia de la condición acumulativa que tienen los procesos analógicos.

### 3.7.9. SEPARACIÓN DE LUMINANCIA Y CROMA

La separación de las componentes Y, C con filtros de transferencia en el dominio de la frecuencia, como se efectúa en los receptores básicos, tiene los inconvenientes de la reducción del ancho de banda de la luminancia y de la aparición de intermodulación (cruce de luminancia y croma) por lo que la luminancia comparte la parte alta del espectro radioeléctrico con la información de color.

La selección depende de la complejidad del receptor. Para receptores no excesivamente sofisticados el filtro de peine responde a la configuración indicada, presentando error en el proceso de separación que afecta al cruce de luminancia y croma, pero este no es tan grande estadísticamente, ante las imágenes cotidianas, no existe una gran diferencia en los niveles y en los colores entre dos líneas consecutivas.

#### 3.7.10. MATRIZ

Este bloque funcional puede estar contenido en un circuito de los que intervienen en el proceso o bien ser un circuito independiente, el proceso que realiza es de incorporar generalmente funciones complementarias tales como la conmutación para señales externas en formato RGB procedentes del descodificador de teletexto, el euro conector u otras procedencias.

#### 3.7.11. PROCESO DE AUDIO

Los procesos digitales son también aplicados a las informaciones de audio para mejorar su calidad, especialmente en los aspectos del ruido y del ancho de banda, para sean posibilitadas prestaciones adicionales.

Es independiente el proceso digital de las condiciones de modulación de las señales portadoras que transportan las informaciones de audio, en el momento que comienza la desmodulación en el formato analógico (convencional Zweiton) o de los convertidores D/A del digital (NICAM) o de cualquier otro.

##### 3.7.11.1. SELECCIÓN DE FUENTE DE AUDIO

Un circuito adicional comúnmente implantado en el bloque del proceso digital es el correspondiente a la selección entre dos o más fuentes de audio, las cuales pueden proceder de los demoduladores del receptor o del euroconector, entre otras posibles fuentes de la señal de entrada de audio.

##### 3.7.11.2. CONVERSIÓN A/D

A diferencia del proceso equivalente de video, en el que se emplea el convertidor de analógico al digital en formato binario con salida en complemento a dos, para el proceso de audio se emplean comúnmente los sistemas PDM y PCM en diferentes variantes.

El flujo de datos obtenidos en formato serie puede ser fácilmente convertido a analógico después de ser tratado en el procesador mediante simples filtros de paso bajo a modo de integradores, lo que constituye la gran ventaja de este procedimiento.

### 3.7.11.3. PROCESADOR

El procesador es un circuito con funcionamiento en tiempo real destinado al control de los parámetros de la información de audio y, opcionalmente, a la introducción de efectos sonoros.

Así, mediante filtros digitales el procesador permite el control de los tonos para la modificación de los parámetros de amplitud-frecuencia mediante coeficientes de control, para el balance de efecto de sonorización (loudness) se hace con multiplicadores el control de balance entre canales, además el volumen independiente es para las salidas destinadas a los altavoces y los auriculares. (Perales, Televisión Actual, 2001)

### 3.7.12. COMPRESIÓN

#### 3.7.12.1. COMPRESIÓN DE VIDEO

Desde los inicios de la televisión y debido a la gran cantidad de información contenida en la imagen, se ha tratado de ocupar el menor margen de frecuencias en el espectro radioeléctrico con la señal de video sin alterar la calidad de las imágenes reproducidas.

Las acciones emprendidas para reducir el ancho de banda del video han se realizan los siguientes procesos: limitar el número de imágenes captadas por segundo de línea de televisión por imagen, el número de elementos sensores del capacitor CCD, el número de píxeles de la pantalla del televisor, mezclando la luminancia y la crominancia, filtrando la señal, etcétera, alcanzándose un valor de 5 MHz que ha permitido presentar imágenes de TV de calidad aceptable.

La digitalización, a pesar de las reducciones en la imagen que se introducen, inherentemente, el muestreo y la jerarquización establecida por la recomendación UITGO, ha producido un efecto contrario elevado dicho ancho de banda a valores inaceptablemente grandes, en especial para su transmisión.

Sin embargo la aparición de potentes métodos de compresión, han permitido reducir drásticamente los elevados flujos binarios de la TV digital hasta tal punto que los anchos de banda de estos flujos comprimidos son comparables e incluso inferiores a sus homólogos en el mundo analógico a igualdad de calidad de imagen.

El factor de compresión es el cociente entre el número de bits antes y después de la compresión durante un cierto intervalo de tiempo.

#### ***Tipos de compresión***

Una imagen compuesta de grandes zonas uniformes como ejemplo cielo azul es pobre en detalles y encierra un gran número de píxeles iguales; en esta imagen hay redundancia espacial.

La redundancia espacial de una imagen se mide con su histograma que consiste en un gráfico que relaciona los valores de las muestras de la imagen, en el eje horizontal, con las veces que se repiten estos valores, en el eje vertical.

Por otra parte, la señal de televisión se compone, básicamente de una sucesión de imágenes fijas entre las que también puede haber igualdad o gran similitud, hay por lo tanto redundancia temporal que tampoco se completa en la digitalización sin compresión.

La compresión de la señal de video se basa en las siguientes acciones:

- Eliminación de aquella información no apreciada por el sistema visual. Para ello la normativa europea DVB (Digital Video Broadcasting) adopta el estándar JPEG (Joint Photographic Experts Group) que a su vez utiliza el algoritmo de la Transformada Discreta del Coseno (DCT) que transforma las muestras de video de un campo o cuadro TV en coeficientes cuyos valores dependen de las variaciones espaciales en el campo o cuadro. Esta transformación, además de aportar una cierta compresión, permite la aplicación de otros métodos de compresión más contundentes.

La DCT es una compresión Loss, porque la información eliminada durante su aplicación no puede ser recuperada en la descompresión.

- Eliminación de las redundancias mediante codificaciones RLC (Run Length Coding) y predicciones *intraframe* e *interframe*. En esas compresiones no hay pérdidas de información, son Loss-less.
- Las palabras de la información que resultan de las compresiones anteriores se codifican con mayor o menor número de bits en función de la escasez o abundancia de cada palabra en dicha información. Esta codificación se le conoce por Codificación de Longitud Variable (VLC).

El conjunto de estas compresiones forman parte de la norma MPEG (Motion Picture Expert Group) y constituyen con el cifrado de la señal comprimida de Codificación de fuente (Source Codig) de la DVB.

El objetivo de la comprimir la señal de video, es maximizar el factor de compresión lo cual implica respetarlos cientos criterios como la calidad de la imagen comprimida (en el caso de compresión con pérdidas), el tiempo de compresión y descompresión, de la misma forma el esfuerzo computacional (software).

La compresión y la descompresión pueden ser simétricas o asimétricas en función de que los tiempos computacionales requeridos para estas dos operaciones sean iguales o desiguales.

La compresión de las imágenes se realizan en sus tres componentes R, G y B. en este último caso, dado que en este espacio colorimétrico gran parte se repite en cada componente, es conveniente convertir la imagen RGB, al sistema HSB (tono, saturación y brillo) en el que la mayoría de la información de los detalles se encuentra principalmente en el brillo, el tono y la saturación apenas contienen lo básico de la información de la imagen. En el sistema HSB se obtienen relaciones de compresión superiores que en el RGB y con menor esfuerzo computacional.

### **3.7.12.2. COMPRESIÓN DE LA SEÑAL DE AUDIO**

Se describe el principio en el que se basa la compresión de audio, de forma que se aprovechan las características del sistema auditivo, consiste en analizar la señal espectralmente, cada cierto tiempo (T), el sonido que se está captando y con este análisis confeccionar la curva del umbral de audibilidad en mascarada (UAE).



De este umbral se determinan las frecuencias enmascaradas  $f_1 f_2 \dots f_n$ , por lo tanto, el resto del espectro del sonido analizando no se oye.

La compresión del audio se analiza, conservando, solamente las amplitudes correspondientes a las frecuencias  $f_1 f_2 \dots f_n$ .

El mecanismo de detección de estas frecuencias en mascaraduras, consiste en un conjunto de N filtros, normalmente 32, cuyos anchos de bandas se reparten por igual en todo el margen de audio (de 20 Hz hasta 20 KHz) y que controlado por le UAE, permite el paso por los filtros a las frecuencias enmascaradas.

Los intervalos de tiempo durante los cuales se repite este proceso, se llama tramas y tienen una duración (T) múltiplo de periodo de muestreo del audio digital ( $T_m$ ).

Este modelo psicoacústico utilizado para compresión de audio permite eliminar las señales de las subbandas inferiores al umbral de enmascaramiento, señales no percibidas por el receptor. Además, el ruido de cuantificación que genera las N subbandas, tiene un nivel inferior a la curva de enmascaramiento, por lo que tampoco se aprecia los sonidos en este nivel.

Esta compresión es el Loss y puesto que se pierde información; la contenida en las frecuencias enmascaradas.

### 3.7.12.3. ESTRUCTURA DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN

A modo de sintetizar, la estructura de la señal de televisión en el cuadro contiene las siguientes especificaciones: (Couch II, Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, 2008)

|  |  |
|--|--|
| Número de líneas   | 625 por segundo                                    |
| Numero de cuadros  | 25 por segundo                                     |
| Análisis de la imagen  | Por entrelazado 2:1 formando 50 campos             |
| Frecuencia de campo  | 50 Hz o 60 Hz                                      |
| Frecuencia de línea  | 15.625 Hz  |
| Relación de aspecto  | 4:3 (convencional) o 16:9 (TV avanzada)            |
| Modulación de la señal de video  | AM, con modulación negativa                        |
| Modulación de la señal de audio  | FM (Norma B, G, I)                                 |
| Separación de la señal portadora de audio de FM1 respecto de la imagen | 5.5 MHz  |
| Separación de la señal portadora de audio de FM2 respecto de la imagen | 5.742 MHz  |
| Separación entre canales   | 7 MHz en VHF (norma B)<br>y 8 MHz en UHF (norma G) |
| Nivel de las portadoras de audio respecto de la de imagen              | -13 dB para la FM1<br>-20 dB para la de FM2        |

Tabla 3.6. Estructura de la señal de Televisión.

### 3.7.13. GRABACIÓN MAGNETICA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

#### 3.7.13.1. GRABACIÓN MAGNETICA DE IMPULSOS

La grabación de los altos ritmos de los flujos binarios de la televisión, exige la utilización de cabezas rotatorias como en la televisión analógica. De lo contrario, durante el transmisor por

delante del entrehierro de la cabeza, el soporte se magnetizara repetidamente en sentidos opuestos al tratar de grabarse varios impulsos del mencionado flujo resultando un magnetismo remanente aleatorio.

La señal a grabar en el caso de la TVD son los impulsos de un flujo binario. Por facilidad del cálculo, se supone que la subida y la bajada de este impulso, de duración “ $\tau$ ”, son lineales respecto al tiempo.

La ecuación de es creciente durante  $\tau$  será:

$$i_s = \frac{2A}{\tau}t, \quad -\frac{\tau}{2} < t < \frac{\tau}{2} \quad \text{Ecuación (3.20)}$$

Igualmente es decreciente durante  $\tau$ :

$$i_s = -\frac{2A}{\tau}t, \quad -\frac{\tau}{2} < t < \frac{\tau}{2} \quad \text{Ecuación (3.21)}$$

En los intervalos  $\theta$ :

$$i_s(\text{positivo}) = A \quad e \quad i_s(\text{negativo}) = -A$$

La señal reproducida son por lo tanto impulsos que marcan las transiciones de flujo binario grabado cuya componente continua no se reproduce.

La amplitud de los impulsos reproducidos, tanto los positivos como los negativos, en función creciente de la amplitud (A) y del nivel de continua (C) de los impulsos grabados, es inversamente proporcional a la duración ( $\tau$ ) de las transiciones de los impulsos. Esta duración es más breve cuando mayor es el ritmo de los bits del flujo grabados. Por consiguiente, si el ritmo de los bits del flujo grabado es al mínimo, la magnitud de  $\tau$  será mayor y la amplitud de los impulsos reproducidos menor, corriéndose el riesgo de que se confundan con el ruido, la amplitud (A) y la continua (C) de los impulsos grabados sería la duración mínima.

El proceso se puede describir de la siguiente forma, la información digital de video que se quiere grabar se codifica previamente, de forma que el ritmo del flujo binario codificado no ha de ser excesivamente elevado, la codificación puede propiciar incertidumbres durante la detección de las transiciones reproducidas demasiado frecuentes.

### 3.7.13.2. PARÁMETROS DE LOS CÓDIGOS PARA LA GRABACIÓN DE VIDEO DIGITAL

Según se ha dicho antes, el ruido y el jitter (fluctuación) introducidos durante la codificación de una información digital para su grabación magnética, limitan respectivamente los bajos y los altos ritmos de bits de la información codificada.

Venta del Jitter ( $T_w$ ) para que esta transiciones sean eficientemente discriminadas, definiéndose uno de los parámetros que miden la calidad de un código para la grabación y que es la relación entre  $T_w$  y el periodo de los bits de datos ( $T_d$ ) antes de la codificación. Esta relación es el **Margen de Jitter (MJ)**:

$$MJ = \frac{T_w}{T_d} \quad \text{Ecuación (3.22)}$$

Otra relación importante a tener en cuenta en el codificador una señal digital para su grabación es la Relación de **Densidad (RD)**:

$$RD = \frac{T_m}{T_d} \quad \text{Ecuación (3.23)}$$

Siendo  $T_m$  el intervalo de tiempo mínimo entre dos transiciones de la señal codificada.

La relación de densidad es coincidente con el concepto de Densidad de Grabación (DG), que se define como el cociente entre el número de bits de datos grabados y el número de transiciones de la señal reproducida, suponiendo que estas transiciones están separadas entre sí al mínimo ( $T_m$ ).

Es importante que el tiempo máximo entre transiciones ( $T_M$ ) no sea excesivamente amplio con el fin de evitar pérdidas de sincronismo. Las señales codificadas con los códigos de grabación presentan un espectro de energía limitado. La codificación para la grabación (bits de código), se trata entonces codificar cada uno de los bits que integra la información que contiene la señal, o bien transformado grupos de bits de datos en grupos de bits de código (codificación por grupos).

### 3.7.13.3. CÓDIGOS POR BITS

#### Código FSK (Phase Shift Keying). Código FM

A los valores binarios "0" y "1" del flujo de datos, se les asigna diferentes secuencias de impulsos con cada frecuencia correspondiente a la información " $f_0$ " y " $f_1$ " son los múltiplos de la mitad de la frecuencia de bits de datos ( $f_d$ ):

$$f_0 = K_0 \left( \frac{f_d}{2} \right) \quad \text{Ecuación (3.24)}$$

$$f_1 = K_1 \left( \frac{f_d}{2} \right) \quad \text{Ecuación (3.25)}$$

$K_0$  y  $K_1$  son números enteros superiores a cero.

Los periodos respectivos serán:

$$T_0 = \left( \frac{1}{f_0} \right) = \left( \frac{2T_d}{K_0} \right) \quad \text{Ecuación (3.26)}$$

$$T_1 = \left( \frac{1}{f_1} \right) = \left( \frac{2T_d}{K_1} \right) \quad \text{Ecuación (3.27)}$$

Los códigos FSK son auto sincronizables, esto se logra por la alta frecuencia con que aparecen las transiciones, por otro lado, introduce un aspecto negativo que refiere a la densidad baja de grabación de los bits de datos.

#### Código MFM (Modified FM)

En el código MFM se mejora la eficiencia (F o M) de la señal de FM suprimiendo las transiciones de la codificación entre los valores binarios de "ceros" y "unos", conservándose las transiciones entre los valores de "ceros" los cuales se ubican en medio de los valores de "unos".

El nivel DC aumenta en relación al del código MFM.

$$T_m = T_d \quad \text{Ecuación (3.28)}$$

$$T_w = \frac{T_d}{2} \text{ (valor típico)} \quad \text{Ecuación (3.29)}$$

$$T_M = 2T_d(\text{secuencia } 101) \quad \text{Ecuación (3.30)}$$

$$L_c = \text{un bit de datos } (T_d) \quad \text{Ecuación (3.31)}$$

$$RD = 1$$

$$MJ = 0.5$$

$$FoM = 0.5$$

### Código Miller

Se diferencia del Código MFM en que se omite la última transición cuando se presenta un valor binario par de “unos” entre dos valores binarios de “ceros”. Con ello se elimina la componente DC de la Codificación MFM.

$$T_m = T_d \quad \text{Ecuación (3.32)}$$

$$T_w = \frac{T_d}{2} (\text{valor típico}) \quad \text{Ecuación (3.33)}$$

$$T_M = 3T_d(\text{secuencia } 01101) \quad \text{Ecuación (3.34)}$$

$$L_c = 2(T_d) \quad \text{Ecuación (3.35)}$$

$$RD = 1$$

$$MJ = 0.5$$

$$FoM = 0.5$$

### Código RNRZ (Random NRZ)

Los datos en el Código RNRZ se transforman de forma aleatoria, sumando los bits del módulo, corresponde a un flujo binario aleatorio de igual frecuencia que los datos.

Estadísticamente, el resultado de esta suma tiene igual número de niveles altos que bajos por lo que el nivel DC se anula por completo.

$$T_m = T_d \quad \text{Ecuación (3.36)}$$

Y se considera que:

$$T_w = T_d \quad \text{Ecuación (3.37)}$$

Por consiguiente:

$$RD = 1$$

$$MJ = 1$$

$$FoM = 1, \text{valor máximo}$$

Considerando que el flujo de datos sea igual al de bits aleatorios, el flujo de códigos será todo los valores binarios serán “ceros”, o bien si los bits de datos aleatorios son inversos, los valores binarios del código serán “unos”.

### 3.7.13.4. CÓDIGOS POR GRUPOS

La codificación por grupos consiste en que cada palabra de datos de “d” bits se le asocia una palabra de código de “c” bits mayor que “d”. Se asocia el valor  $2^d$  palabras que se selecciona entre  $2^c$  posibles, esta combinación contiene la menor cantidad de componentes continuas y de bajas frecuencias. Normalmente, se adjudican las palabras más reconocidas de código a las de datos más frecuentes. Se pasa de datos a código a través de tablas de conversión (code book).

Otra característica de los códigos por grupo es el valor de la suma digital (DSV) de una palabra de código, de la misma forma es la diferencia entre el número de unos y el de ceros de dicha palabra. La suma de los DSV de todas las palabras de código determina su componente continua. Esta suma es el DSV acumulado (DSVA).

Los códigos por grupos más usuales son:

#### Código EFM (“Eight to Fourteen Modulation” 8/4)

Este código se utiliza en la grabación magnética de algunos formatos y sobre todo en la grabación óptica en discos (CD y DVD).

Sus características básicas son:

$$d = 8, \quad c = 14$$

#### Código EFM para la grabación magnética

Los flujos digitales codificados con el EFM para la grabación magnética, han de cumplir las siguientes características para que el contenido de la componente continua y de bajas frecuencias sea lo menor posible y sus altas frecuencias sean las grabables:

- El número de los primeros bits consecutivos e iguales de una palabra de código habrá de ser inferior o igual a cinco.
- El número de los últimos bits consecutivos e iguales de una palabra de código, habrá de ser igual o inferior a seis.
- El número de bits consecutivos e iguales comprendidos entre el segundo y el decimotercero, ambos incluidos, de una palabra de código, eso será ni mayor que siete ni menor que dos. Esta última condición impone que:

$$T_m = 2T_c \quad \text{Ecuación (3.38)}$$

Por lo tanto:

$$FoM = 2 * \left(\frac{8}{14}\right)^2 = 0.653$$

- El DSV acumulado no será nunca superior a dos.

De esta forma se asegura que el valor de DC se mantenga prácticamente nulo a lo largo de toda la codificación de la señal.

Si el decodificador recibe una palabra de código, la rechazara activándose el proceso de detección y corrección de errores.

**Código EFM para la grabación óptica**

En la grabación óptica, las transiciones de bits a lands, y viceversa ocurren en medio de cada valor binario “uno” de las palabras de código, con el fin de obtener la mayor densidad de datos grabados en un disco, es conveniente que la separaciones entre transiciones sean grandes pero sin que ocurran pérdidas de sincronismo. Por ello se impusieron las siguientes condiciones:

- Dos valores binarios “uno” no pueden estar separados menos de  $3T_c$  ni más de  $11T_c$  números de bits. Esta condición solo la cumplen 267 palabras de código con valor  $2^{14}$  de las que solamente se utilizan 256.

En este código,  $m = 3$

Luego se obtiene:

$$FoM = 3 * \left(\frac{8}{14}\right)^2 = 0'98$$

Con el fin de no violar la condición anterior, dos palabras de código consecutivas quedaran separadas por tres bits. Los valores de los bits están condicionados por los valores de los códigos de las palabras de separación. La longitud de las palabras código pasa de 14 a 17, durante la decodificación se procesara solo los 14 bits de la señal, los 3 restantes de separación serán descartados.

**Código 4/5 (Group Code Recording, GCR)**

Código también utilizando en la grabación óptica. Evita la pérdida de sincronismo al no permitir más de dos valores binarios “cero” consecutivos, produciéndose las transiciones de bit a land y viceversa en medio de los valores binarios “uno”. Por lo tanto:

$$T_M = 3T_c \quad \text{Ecuación (3.39)}$$

En este código:

$$d = 4 \text{ y } c = 5$$

| Decimal | Datos | Código |
|---------|-------|--------|
| 0       | 0000  | 11001  |
| 1       | 0001  | 11011  |
| 2       | 0010  | 10010  |
| 3       | 0011  | 10010  |
| 4       | 0100  | 11101  |
| 5       | 0101  | 10101  |
| 6       | 0110  | 10110  |
| 7       | 0111  | 10111  |

| Decimal | Datos | Código |
|---------|-------|--------|
| 8       | 1000  | 11010  |
| 9       | 1001  | 01001  |
| 10      | 1010  | 01010  |
| 11      | 1011  | 01011  |
| 12      | 1100  | 11110  |
| 13      | 1101  | 01101  |
| 14      | 1110  | 01110  |
| 15      | 1111  | 01111  |

Tabla 3.7. Conversión del código 4/5

Fuente: (Cubero, 2009)

**Código 2/3**

Código por grupos aplicado en la grabación óptica. En este código

$$d = 2, \quad c = 3$$

Se elimina las apariciones de valores binarios “uno” contiguos en palabras consecutivas. Las transiciones tienen lugar en medio de cada valor binario “uno”.

| Datos | Código |
|-------|--------|
| 00    | 101    |
| 01    | 100    |
| 10    | 001    |
| 11    | 010    |

Tabla 3.8. De conversión del código 2/3.

Fuente: (Cubero, 2009)

| Datos |    | Palabras ilegales |     | Sustitución |     |
|-------|----|-------------------|-----|-------------|-----|
| 00    | 00 | 101               | 101 | 101         | 000 |
| 00    | 01 | 101               | 100 | 100         | 000 |
| 10    | 00 | 001               | 101 | 001         | 000 |
| 10    | 01 | 001               | 100 | 010         | 000 |

Tabla 3.9. En sustitución de las situaciones de dos palabras de código consecutivas.

Fuente: (Cubero, 2009)

### 3.7.13.5. GRABACIÓN DEL AUDIO QUE ACOMPAÑA AL VIDEO DIGITAL

Uno de los requisitos impuestos en el desarrollo de la grabación del video digital, es el de elevar la calidad y cantidad del audio que acompaña al video. La calidad deseada se alcanza mediante su digitalización.

En cuanto a la cantidad, se decidió la posibilidad de grabar cuatro canales independientes, si esta grabación del audio se hiciera en pista longitudinales, como en anteriormente se realizaba en los formatos analógicos, el ancho de la cinta aumentaría al igual que el consumo. En principio se decide grabar longitudinalmente, únicamente una pista de órdenes, otra de control (control track) y una tercera para el código de tiempo.

Otra configuración (D2 y otros posteriores), consiste en que cada extremo de cada pista está ocupado por el segmento de audio, solamente en el centro se encuentra ocupado por un solo segmento de video.

La grabación de los segmentos de audio se debe cumplir con las siguientes condiciones a fin de no perder información alguna de los cuatro canales de audio:

- Cada canal de audio ha de grabarse en un segmento de audio.
- En cualquier instante una de las cuatro cabezas se puede grabaren cualquiera de los cuatro audios.

### 3.7.13.6. PRESTACIONES DE LOS MAGNETOSCOPIOS DIGITALES

#### Recomendaciones iniciales

La UER (Unión Europea de Radiodifusión) está basada con la gran experiencia adquirida con la grabación analógica, se recomienda la siguiente serie de características o prestaciones a tener en cuenta en el desarrollo de los magnetoscopios o VTR ("Video Tape Recorder") digitales. Donde se mencionan las principales:

- Normalización de las entradas y salidas del magnetoscopio.
- Variación continua de la velocidad acelerando o relentizando en imagen parada ("Dynamic Tracking").
- Edición cuadro a cuadro.
- Reconocimiento de la imagen sobre un monitor a tasas de las velocidades de rebobinado.
- Conmutación posible entre las normas de 525 y 625 líneas.
- Grabación, montaje, reproducción y borrado de cada una de las señales de audio de alta calidad que acompañan al video, independientemente unas de otras (varios canales).
- No acumulación de desfase temporal entre audio y video en el proceso de la post producción.
- Transparencia total para un número ilimitado de copias.



- La calidad del audio digital superior o igual a la de los mejores magnetófonos actuales.
- División de la electrónica en módulos separados con interdependencia mínima.
- Conectores de adaptación sobre los módulos para el control con osciloscopios o a través de convertidores digital-analógico enchufables.
- Posibilidad de grabación de información auxiliar correspondiente al estado del canal de entrada y a los datos del usuario.
- El código temporal, grabado en tiempo real necesario para la edición, deberá poder leerse en rebobinado rápido.
- Disponibilidad de una pista analógica de audio de referencia, con el fin de facilitar el posicionamiento y preparación para el montaje al rebobinar rápido.
- Entrada de reloj externo para poder sincronizarse a una base de tiempos externa, esto con el fin de asegurar el sincronismo con otros equipos digitales en el estudio.
- Salidas digitales, además de analógicas, para la conexión a otros equipos digitales y facilitar la post-producción y el mantenimiento, evitándose además la degradación propia de las conversiones digitales a analógicas y viceversa.
- Relativo a la cinta magnética, se elige el formato "cassette" por ofrecer una protección permanente a la cinta, mucho mayor que el formato en bobina o carrete, protección mecánica muy necesaria para evitar sobre todo la destrucción digital grabada, por lo que no brinda una garantía de conservar la información intacta a diferencia de su contraparte analógica. Además el formato cassette permite mayor uniformidad de condiciones de contacto cabeza-cinta, muy necesario para evitar pérdidas de información grabada impuesta por las normas internacionales de video y audio numéricos, y el criterio de consumo cinta produce que la grabación magnética digital muy sensible a cualquier imperfección en la grabación.

#### **Otras prestaciones de diferentes formatos comercializados**

Con el tiempo a iniciativa de los fabricantes aparecieron otras características en los VTR digitales que aumentaron sus prestaciones como son "Pre-Read" (Lectura avanzada), Lectura confidencial, Borrado con cabeza rotatorias, Compresión DV, Cassete con memoria, "Clip-Link", "Fire Wire" a "i-Link", Transferencia de datos a alta velocidad, "Auto Edit-Optimize", Auto-diagnosis, Auto-repetición, Auto-funcionamiento, Mando a distancia, etcétera.

- *"Pre-read"*

Permite modificar una imagen grabada según se reproduce. Para ellos se precisa de otra colección de cabezas que pueden ser las utilizadas para el "Dynamic Tracking" (DT) para que se lea lo grabado (G) en una zona de la cinta y será mezclado inmediatamente con otras señales exteriores (E) (efectos, corrección de colorimetría, rótulos, entre otras características). El conjunto se graba por una cabeza rotatoria convencional (CG) en la zona mencionada de la cinta. Por lo tanto, el tiempo empleado en la modificación de la señal será igual al tiempo de tránsito desde la zona de la cabeza de lectura avanzada (DT) hasta la zona de grabación (CG).

- *Lectura confidencial (LC)*

Consiste en reproducir según se va grabando. Entre otras aplicaciones la lectura confidencial permite verificar la grabación en curso.

- *Borrado con cabeza rotatoria (BR)*

Estas cabezas borran previamente a la grabación y se origina una banda de guarda en los puntos de edición. Con este tipo de borrado la edición se hace con mayor precisión siendo más eficaz que el realizado “grabando sobre lo grabado anteriormente”; evita solapes que provocaría errores en la imagen.

- *Transferencia de datos de alta velocidad*

El mecanismo del tambor de cabezas y el interface SDTI (“Serial Data Transport Interface”), se usa para transmitir video comprimido, permite realizar transferencias de datos sin degradación, permite realizar las copias varias veces la velocidad normal, entre magnetoscopios o entre un magnetoscopio y otro equipo como una estación de edición.

El interface SDI (“Serial Digital Interface”), permite transferir imágenes y sonido de alta calidad a magnetoscopios con entrada/salida SDI a través de una sola conexión digital.

- *“Auto Edit Optimize”*

Cuando se inserta una toma en cinta, las nuevas pistas han de estar perfectamente en fase con las antiguas y de la misma longitud, con el fin de que no existan errores en los puntos de montaje durante una edición. La función “Auto Edit Opimize”, permite ajustar, durante un “preroll” en pocos segundos, el posicionamiento del tambor de cabezas de forma que las pistas que se van a grabar a que coincidan exactamente con las que van a remplazar.

- *Auto-diagnosis*

A través de un cierto interface (RS-232C), se puede comprobar el estado de funcionamiento del VTR sin interferir en sus operaciones, por ejemplo se puede comprobar si hay obstrucción de las cabezas, la tasa de errores de bits, etcétera.

- *Auto-repetición*

Esta función permite que cuando el magnetoscopio llega al final de la cinta o al primer fragmento en blanco o al primer punto de índice, proceda al rebobinado automáticamente y vuelve a reproducir el segmento.

- *Funcionamiento automático del VTR con la alimentación eléctrica*

La función programada en el VTR (Grabación, Reproducción, Auto-repetición) se debe poner en marcha en cuanto el equipo recibe alimentación eléctrica. Esta característica de automatismo es útil cuando el VTR debe funcionar sin operador.

La alimentación eléctrica puede ser CA o CC, esto último favorece el manejo del VTR en exteriores.

- *Mando a distancia sin cable*

Este mando permite controlar varios VTR, conectados entre sí, enviando órdenes al que actúa como maestro (Master). (Cubero, 2009)

## 3.8. LA EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL

### 3.8.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de televisión digital son un conjunto de dispositivos que interactúan entre sí formando una cadena de transmisión y recepción. Resulta evidente pensar que si existe un conjunto de normas y formatos “estándares” para la transmisión de televisión, será muy complicado visualizar contenidos entre las diversas regiones del mundo. La estandarización ha contribuido con la globalización y ha convertido en el consumo de contenidos audiovisuales de mejor calidad. Esto entre otras cosas, hace que los medios de comunicación sean una industria altamente lucrativa y de vanguardia.

Desde el inicio de los sistemas de televisión el desarrollo de estándares se ha dado bajo la influencia de potencias tecnológicas en bloques geográficos diferentes.

### 3.8.2. LOS ESTÁNDARES PARA SISTEMAS DE TV Y CATV

Un listado de las frecuencias para los canales de difusión aéreo de TV. El denominado estándar B del sistema CCIR, el cual es un sistema de modulación negativa de 625 líneas /cuadro y 25 cuadros/segundos, eran los estándares o actualmente conocido como normas de TV dominante en Europa. Además de estos estándares (normas) para la TV convencional, existieron estándares (normas) estadounidenses para la TV digital. Cuando se difunden señales de TV de un país a otro vía satélite, se emplean los estándares o normas del país del origen, si es necesario, la señal se convierte a los formatos que demanda el país en donde se localiza la estación terrestre receptora.

Los sistemas de CATV ocupan cable coaxial con amplificadores para distribuir señales de TV, depende del tipo de la transmisión de la distribuidora al subscritor. Las señales de cable no se radian, las frecuencias que normalmente se asignaran al radio bidireccional y a otros servicios al aire pueden utilizarse para canales de TV adicionales en el cable. En consecuencia, se estandarizaron las asignaciones de los canales de CATV.

Existen tres diferentes conjuntos de estándares (normas) para los canales de TV por cable: el sistema estándar de cable, el sistema HRC (Harmonic related carrier o señal portadora armónica relacionada de sus siglas, en inglés) y el sistema IRC (Interval related carrier o señal portadora incrementalmente relacionada de sus siglas en inglés). Los sistemas estándar en **IRC** utilizan números pares para la frecuencia del flanco inferior del canal, el **HRC** cuenta con asignaciones de canal, por lo que la frecuencia de la señal portadora visual corresponde a cada canal, además cuenta con asignaciones de canal de forma que la frecuencia de la señal portadora visual es par para cada canal. Las tres tienen una capacidad de 124 canales (siempre y cuando el sistema por cable tenga amplificadores de banda ancha que operan hasta a 800 MHz). Para recibir estos canales por cables el usuario debe contar con un aparato de TV con capacidad de CATV o un convertidor reductor para convertir el canal de CATV a un canal al aire. Esto significa que existe un conmutador de codificación en hardware o un circuito incorporado en la TV que permite al usuario adaptar inicialmente la Televisión para una

codificación apropiada de canales (es decir, seleccionar canales de difusión al aire, por cable estándar, actualmente normas, HRC o IRC).

### 3.8.3. LOS PRINCIPALES ESTÁNDARES DESARROLLADOS PARA LA TV DIGITAL

#### 3.8.3.1. DVB-S

Es la primera especificación de televisión por satélite apropiada por el ETSI (European Telecommunications Standards Institut) con la denominación **ETSIEN 300421** en el año 1993. En este estándar se definen las características de la radiodifusión de televisión digital y datos a través de satélite FSS o BSS para la banda Ku. Permite la transmisión de varios programas de calidad estándar o **HDTV** a través de un multiplexor basado en las especificaciones **MPEG-2**.

Actualmente, el **DVB-S** también denominado sistema A por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) *UIT-R, BO.1546 (01-13), 2012* es utilizado en servicios de empresas como Dish Network, Sky Brasil, Sky México, entre otros.

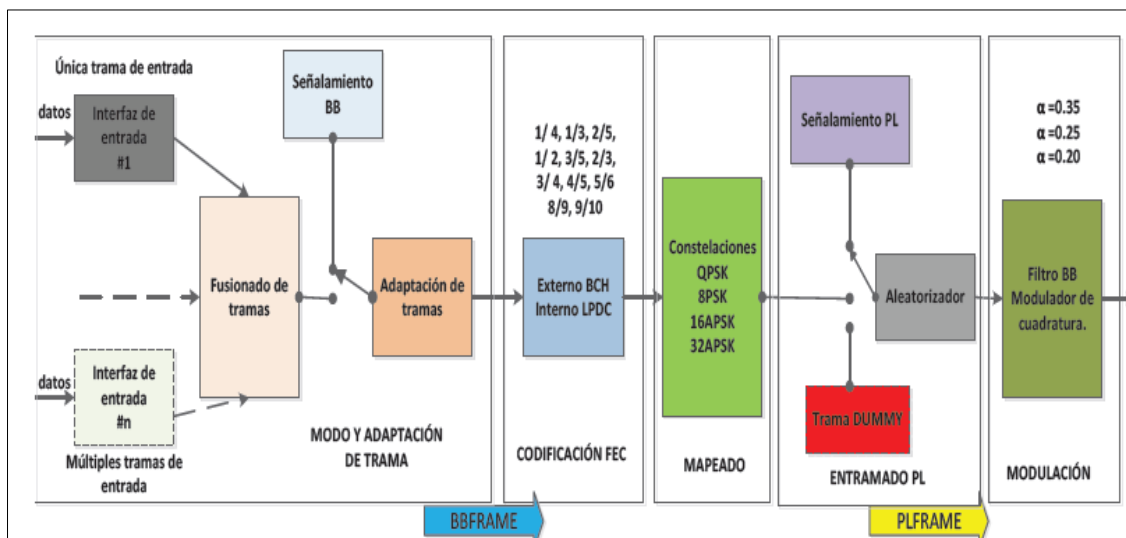


Figura 3.16. Estándar DVB-S.

En el podemos apreciar que para la transmisión satelital, las señales de audio y video digitales pasan por una etapa o proceso de codificación de canal y multiplexado. De esta etapa se obtiene una cadena de datos que son codificados de forma que no permiten errores y se procesan digitalmente las señales moduladas en radiofrecuencia. Es la última etapa que comúnmente se conoce como adaptación al satélite.

#### 3.8.3.2. DVB-DSNG

La UIT-R define DSNG (digital satélite news gathering) como una transmisión temporal o/u ocasional de noticias de televisión o audio para motivos de su radiodifusión, usando estaciones terrenas móviles con antenas transmisoras portátiles y transportables *UIT-R, SNG 770-1, 1994*. El equipo debe ser capaz de transmitir los programas de video generados en el sitio. Opcionalmente, el sistema debería ser capaz de proveer interacción entre los dos sitios de comunicación.

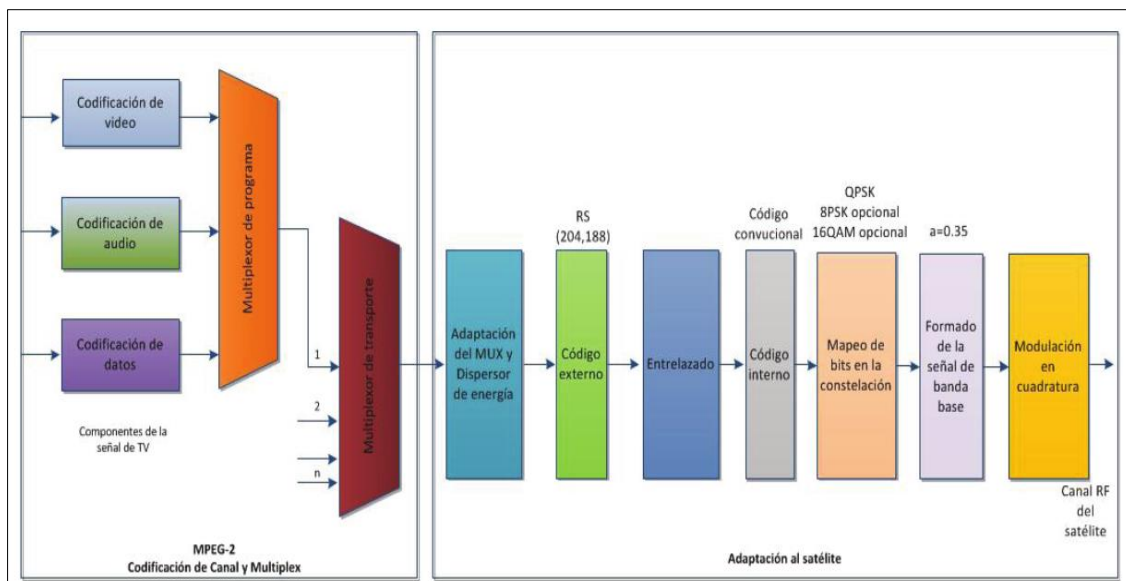


Figura 3.17. Estándar DVB-DSNG.

Se observa de manera funcionalmente las características del estándar de la transmisión *EN 3012010, 1999*. La diferencia con el estándar DVB-S reside en la posibilidad de utilizar diferentes modulaciones digitales en la etapa de adaptación al satélite. Un esquema de mayor jerarquía que QPSK reduce el consumo de ancho de banda en el canal de transmisión satelital, la cual compromete un mayor consumo de potencia en el satélite.

### 3.8.3.3. DVB-S2

Los estándares de televisión por satélite han seguido una tendencia evolutiva que engloba características de los estándares predecesores, como en el caso de **DVB-DSNG** con respecto a **DVB-S**. Un inconveniente es la principal limitación de estos sistemas, esta se encuentra en la eficiencia de los códigos de protección por lo consiguiente para no es capaz de verificar completamente los errores en el canal y del algoritmo de compresión de los contenidos audiovisuales.

Las investigaciones en el campo de las comunicaciones digitales, impulsaron innovaciones tecnológicas. Como resultado de esto, se lograron ofrecer servicios de mayor capacidad que llevaron a la **DVB** a definir en 2003 el estándar **DVB-S2 EN 302307, 2009** como la segunda generación de servicios por satélite. Este nuevo estándar ya no está orientado solamente a la radiodifusión de TV por satélite, si no que se desarrolló de acuerdo a las tendencias en los servicios audiovisuales y de datos.

Existen 3 aplicaciones diferentes para DVB-S2:

- Radiodifusión de televisión **SDTV** y **HDTV**.
- Servicios interactivos, incluyendo acceso a internet, para aplicaciones de consumo.
- Distribución de contenidos de datos y servicios de internet.

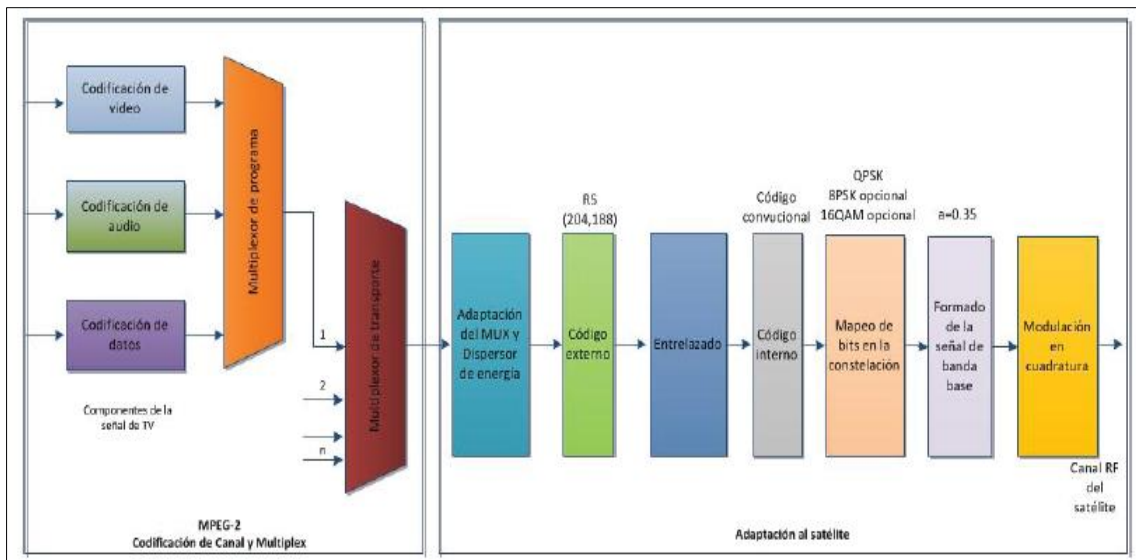


Figura 3.18. Estándar DVB-DSNG.

Al tratarse de un sistema que permite la transmisión de datos de diferente tipo, el estándar DVB-S2 incorpora una etapa de adaptación de la trama digital que incluye incorporación de datos de señalización y multiplexado. La adaptación al satélite por su parte, incorpora códigos de protección contra errores tipo **LDPC** (Low Density Parity Check) y **BCH** (Error Detection Correction Codes) que hacen más robusta la integrada de los datos. Además se incorporan esquemas de modulación de mayor jerarquía que QPSK, se perfecciona la etapa de filtrado de la señal modulada. DVB-S2 también puede incorporar características adaptativas de canal en el caso de comunicación full-duplex, favoreciendo la disponibilidad del enlace por satélite.

### 3.8.3.4. ISDB-S

**ISDB** (integrated services digital broadcasting) fue creado en Japón para las transmisiones de radio y televisión digital. Sustentado por la organización conocida como **ARIB** (association of radio industries and businesses) se crearon diferentes estándares libres.

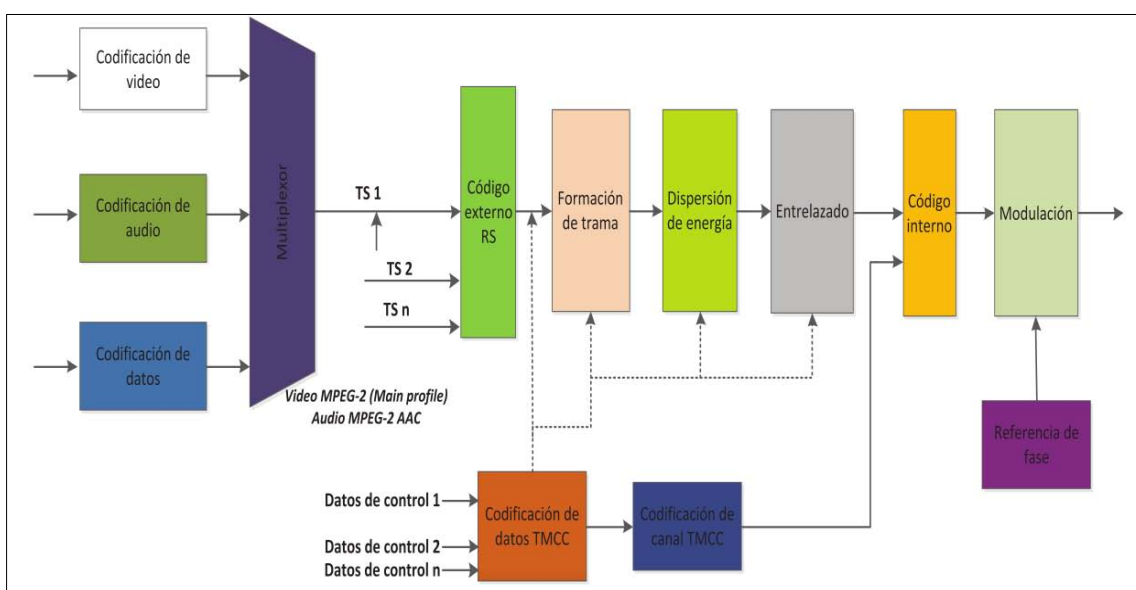


Figura 3.19. Estándar ISDB-S.

En el diagrama de bloques de este sistema, en donde las principales diferencias con los de la ESTI están contenidas en el códec de audio y la etapa de procesamiento digital de la trama de datos para su transmisión al satélite.

De la misma forma que la norma europea **BDB, ISDB** cuenta con una gama de estándares dependiendo del medio de transmisión. Los más conocidos son el de televisión satelital **ISDB-S** y el de televisión por cable **ISDB-C**.

### 3.8.3.5. ABS-S

Este sistema ha demostrado en pruebas de campo y de laboratorio un desempeño similar al **DVB-S2**, con una complejidad menor. El principio de funcionamiento y características son muy similares a su homologo estandarizado por la ETSI.

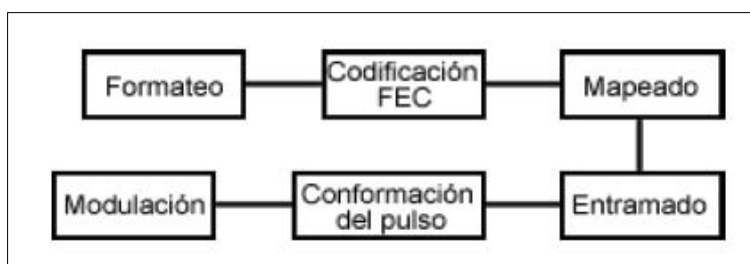


Figura 3.20. Estándar ABS-S.

### 3.8.3.6. DVB

La televisión digital, como recurso tecnológico capaz de desplazar a los clásicos sistemas basados en procedimientos analógicos, surge en Europa bajo la norma **DVB** (Digital Video Broadcasting). Tiene la capacidad para transmisión de condición multiprograma, se aplica a los servicios de distribución por cable y la radiodifusión por enlace de tierra y desvía del satélite.

El nuevo sistema está apoyado en la compresión con procedimiento **MPEG** para sus contenidos de audio, video y datos. Emplea protección de los datos basado en el sistema Reed-Solomon, se obtiene un entrelazado en la sucesión numérica para aumentar la rigidez, la aleatorización para reducir al mismo tiempo el ancho de banda y el procedimiento de modulación específico para cada uno de los tres medios de transmisión que admite este sistema.

| NOMBRE | MEDIO DE TRANSMISIÓN             | PROCEDIMIENTO DE MODULACIÓN |
|--------|----------------------------------|-----------------------------|
| DVB-T  | Transmisión por enlace de tierra | COFDM                       |
| DVB-S  | Transmisión por satélite         | QPSK                        |
| DVB-C  | Distribución por cable           | QAM                         |

Tabla 3.10. De los sistemas de DVB.

Fuente: (Perales, Radio y Televisión Digitales Tecnología de los Sistemas DAB, DVB, IBOC y ATSC, 2006)

El proyecto DVB se inició en 1992 mediante la unión de un considerable número de instituciones públicas y privadas, por medio de empresas o fabricantes, con el propósito de reactivar el mercado de la electrónica de consumo.

La televisión digital por cable, esta escasa de formarse como el medio más apropiado para la transmisión de estas señales, la de enlace por tierra, denominada comúnmente **TDI** (televisión digital terrestre), es muy incierta, la única con repercusión comercial en las televisiones es la de pago vía satélite, pero en pocos casos es consciente de que está disfrutando de un avance tecnológico europeo determinado como **DVB**. Al anunciado (y tantas veces retrasado) apagón de las emisiones en formato analógico (SECAM y PAL para Europa), el DVB tendrá grandes posibilidades de ser el sustituto, pero tendrá que competir con otros procedimientos que han ido evolucionando. Es el medio de transmisión más actual pero no el único descrito tecnológicamente, el sistema de televisión por satélite **MAC**, en el que también se invirtió una suma económica impresionante, que igualmente se presentó como la solución a los viejos estándares, para que, después de más de 10 años de permanencia, se crea en el estándar DVB.

| PARAMETRO  | DVB-C  | DVB-S                           | DVB-T            |
|--|--|---------------------------------|------------------|
| Modo de codificación de video.                     | MPEG-2 (MP@ML)   |                                 |                  |
| Modo de codificación de audio.                     | MPEG-I (Capa 2)  |                                 |                  |
| Tamaño de los paquetes de transporte.              | 188 octetos más los correspondientes a la protección FEC |                                 |                  |
| Modo de aleatorización de los datos.               | $1 + X^{14} + X^{15}$                                    |                                 |                  |
| Codificación externa para protección de los datos. | Código Reed-Solomon de condición (204, 188 T = 8)        |                                 |                  |
| Modo de entrelazado de datos.                      | Código Forney  |                                 |                  |
| Codificación interna.                              | NO   | $R_c = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$ |                  |
| Filtrado en coseno.                                | 15%  | 35%                             | NO               |
| Sistema de modulación.                             | QAM de rango 16 a 64                                     | QPSK                            | COFDM de 2K u 8K |
| Ancho de banda.                                    | 8 MHz  | 27-36 MHz                       | 7-8 MHz          |

Tabla 3.11. Norma de televisión digital DVB.

Fuente: (Perales, Radio y Televisión Digitales Tecnología de los Sistemas DAB, DVB, IBOC y ATSC, 2006)



| MEDIO    | ANCHO DE BANDA | RELACIÓN SEÑAL/RUIDO | NIVEL DE RECEPCIÓN |
|----------|----------------|----------------------|--------------------|
| Cable    | Reducido       | Alto                 | Alto               |
| Satélite | Elevado        | Bajo                 | Muy bajo           |
| Terrena  | Reducido       | Medio                | Medio              |

Tabla 3.12. Cuadro comparativo de señal/ruido y al nivel de señal.

Fuente: (Perales, Radio y Televisión Digitales Tecnología de los Sistemas DAB, DVB, IBOC y ATSC, 2006)

### 3.8.3.7. ATSC

Una alternativa tecnológica al sistema europeo **DVB**, es el **ATSC** (Advanced Television System Committee) desarrollado en Estados Unidos a diferencia del primero se caracteriza por la implantación de este sistema en los países por el actual interés de la televisión digital.

El sistema comprende dos partes: el sistema de transmisión y receptor. El sistema de transmisión comprende a una etapa de codificación. Las especificaciones para el modulador y la etapa de codificación no fueron vistas como necesarias para los propósitos del estándar, lo cual provocó que se dejaran a elección del proveedor de servicios para su implementación.

Se considera el inicio de la televisión digital en Estados Unidos el desarrollo que la empresa General Instruments presento a los organismos reguladores correspondientes en 1990.

En el sistema de televisión digital que puede ser ubicado en un canal convencional de la televisión analógica, ocupa un ancho de banda de solo 6 MHz y ofrece una imagen que se considera de alta definición (HDTV), pues cuenta con dos millones de pixeles para pantallas de 16:9 de razón.

El evento tecnológico del ámbito de interés de las instituciones públicas para que el Gobierno de Estados Unidos propusiera en mayo de 1993 la formación de una alianza entre fabricantes de equipos y componentes de la electrónica de consumo, con el propósito de que las instituciones académicas públicas y privadas participaran para crear un nuevo estándar de televisión en todo su territorio. Desde el inicio, tres son las fechas fundamentales de desarrollo del ATSC:

#### **23 de Febrero 1995**

Los miembros de la organización, agrupados bajo el nombre de “La gran alianza”, aprueban el estándar que se creó “ATSC”.

#### **24 de Diciembre 1996**

El gobierno estadounidense aprueba el estándar ATSC para su implantación con enlace de tierra, como la televisión convencional, y para que se encuentre en el mismo espacio espectral.

#### **2006 de Diciembre de la TV analógica**

Se concreta el proyecto de transmisión simultánea de los sistemas analógico (NTSC) y digital (ATSC) hasta el año 2006, años en el que se estima que se producirá el denominado apagón

del viejo sistema. Para entonces, la implantación de los nuevos canales digitales deberá cubrir todo el territorio nacional.

Una característica añadida posteriormente al sistema ATSC, es la posibilidad de que el radiodifusor determine la calidad a ofrecer, comprendida por el número de líneas y de píxeles, para reducir el ancho de banda, con esta modificación, que se perciba el espectro con los nuevos servicios en la señal o bien la transmisión en “multiplex” y de imágenes.

Naturalmente, los receptores para el estándar ATSC deben ser capaces de identificar la imagen y el sonido de todas las posibles variantes del sistema. Es posiblemente transmitir y recibir imágenes organizadas en los modos de exploración progresiva o entrelazada. (Perales, Radio y Televisión Digitales Tecnología de los Sistemas DAB, DVB, IBOC y ATSC, 2006)

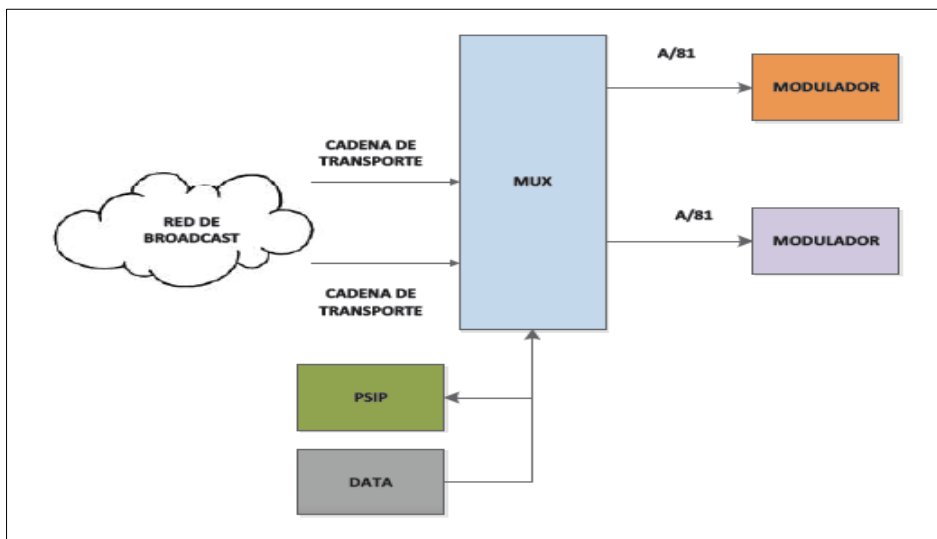


Figura 3.21. Estándar ATSC.

| Resolución vertical | Resolución horizontal | Píxeles cuadrados | Relación de aspectos | Cuadros por segundo (Hz)       | Barrido (tipo) |
|---------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|----------------|
| 1080                | 1920                  | Sí                | 19:9                 | 23,976; 24,2997; 30            | Progresivo     |
|                     |                       |                   |                      | 29,97; 30                      | Entrelazado    |
| 720                 | 1280                  | Sí                | 16:9                 | 23,976; 24,2997; 39; 59,94; 60 | Progresivo     |
|                     |                       |                   |                      |                                | Progresivo     |
| 480                 | 704                   | NO                | 4:3, 16:9            | 23,976; 24,2997;30;59,94; 60   | Entrelazado    |
|                     |                       |                   |                      | 29,97; 30                      | Progresivo     |
|                     | 640                   | Sí                | 4:3                  | 23,976; 24,2997; 30; 59,94; 60 | Entrelazado    |
|                     |                       |                   |                      | 2997; 30                       | Entrelazado    |

Tabla 3.13. De las especificaciones del sistema ATSC.

Fuente: (Perales, Radio y Televisión Digitales Tecnología de los Sistemas DAB, DVB, IBOC y ATSC, 2006)

### 3.9. SISTEMAS SATELITALES

Entre las características de flexibilidad de los satélites destaca capacidad de poder usarse para una amplia diversidad de servicios. Su aplicación inicial dominante durante una década fue para telefonía internacional y en pequeña proporción para tráfico de televisión internacional. Después, al desarrollarse los sistemas nacionales se impulsaron la diversificación de los servicios fijos al iniciarse los datos y de distribución doméstica de señales de televisión y casi al mismo tiempo se establecieron los sistemas de servicios móviles para aplicaciones marítimas. Actualmente el proceso de diversificación se está extendiendo aún más con nuevos servicios a través de sistemas de satélites de usos múltiples y especializados, de orbitas geoestacionarios, medias y bajas, enlazados con estaciones terminales fijas, transportables, móviles y portátiles.

#### 3.9.1. SERVICIO DE VIDEO

Los servicios de video representan las aplicaciones de los satélites que han tenido mayor crecimiento en los últimos años, abarcando actividades de entrenamiento e información, negocios, educación y capacitación, en forma incipiente en otras áreas.

Inicialmente solo se transmitían señales de televisión por el sistema Intelsat para eventos de interés internacional, pero por la propia naturaleza la demanda para esta aplicación, es ocasional, se ha tenido un bajo incremento. La mayoría de las señales de televisión actualmente se transmiten por sistemas regionales y nacionales, en los últimos años ha estado evolucionando una tendencia hacia el desarrollo masivo de los servicios de televisión directa a los hogares de cobertura nacional y regional.

Debido a sus múltiples ventajas, en los últimos años se inició la digitalización de las señales de televisión, que se acentúan en forma acelerada con la reciente adopción de las normas de compresión.

También se previó que la compresión impulsaría los servicios que pueden presentarse por medio de señales de este tipo, lo cual da el hecho que está ocurriendo en las nuevas tecnologías, compensando la reducción en las anchuras de banda necesarias.

#### 3.9.2. RADIODIFUSIÓN

Las empresas comerciales de televisión que producen programas para su difusión a través de estaciones conectadas en cadena han adoptado en forma general su distribución desde sitio de origen de los programas por medio de sistemas satelitales. Las estaciones operan bajo esta modalidad por medio de redes punto a multipunto a través de las cuales reciben los programas y los retransmiten por medio de repetidores que operan en las frecuencias de radiodifusión terrenal para televisión que cada estación tiene asignada, a fin de transmitir las señales a los receptores de televisión dentro de una zona de servicio.

Esta aplicación mediante uso ocasional de la capacidad de los satélites ha adquirido mucho auge en los últimos años extendiéndose a los servicios de noticias, debido en parte a diseños más eficientes de las estaciones transportables, al uso de banda Ku en lugar de banda C, que permite la conveniencia de antenas de menor dimensión, y el uso de las nuevas tecnologías

para la compresión de las señales, lo que puede reducir el costo del servicio ocasional del satélite.

### 3.9.3. TELEVISIÓN POR CABLE

Los sistemas de televisión por cable también hicieron uso de los sistemas de satélite para recibir parte o la totalidad de los programas que distribuyen a sus suscriptores. En esencia utilizar el mismo arreglo que las cadenas de televisión, pero como distribuyen muchos programas simultáneamente, en cada sistema pueden requerir varias antenas apuntando a distintos puntos, se procesan las señales y se enciman a la red de cables.

Cuando un grupo de sistemas de cable se asocian para determinados propósitos lo que es posible gracias a que cada sistema opera en distintas áreas geográficas y por tanto no compiten directamente entre sí, puede por sí mismo generar programas para uso de todos ellos y también transmitir a través de una estación terrena propia o compartida parte de los canales de programas que utilizan. Al ir adoptando las transmisiones en los puntos de origen a las nuevas tecnologías de compresión, incluyendo la recién normalizada MPEG-2, estos sistemas lo podrán recibir de la misma cantidad de canales 1/6 o de menor anchura de banda que el sistema anterior, con los que se abaten considerablemente los costos de uso de la capacidad satelital.

### 3.9.4. TELEVISIÓN DIRECTA

El concepto de transmitir señales de televisión por medio del satélite para su recepción directa para los usuarios no es una nueva definición, se discutió en los foros internacionales desde hace más de dos décadas.

En general prevalecía la concepción de que los servicios de televisión sin un pago específico, pertenecían al usuario final conocido como radiodifusión, además era difícil evaluar las dificultades y soluciones técnicas como las económicas para hacer realidad el servicio directo por satélite, así como su posible evolución y sus alternativas.

Al utilizarse los satélites para distribuir señales a los sistemas de televisión por cable se hizo atractiva su recepción libre, que no estaba prevista, cuando ocurrieron las condiciones técnicas y económicas para que un sector de la población pudiera adquirir y usar equipos construidos para lograrla transmisión, teniendo acceso a un mayor número de canales, aunque dichas señales no estuvieran destinadas al público en general.

Las redes para servicios de televisión directa tienen la misma conectividad punto a multipunto y configuración estrella que las cadenas de televisión abierta y las de televisión por cable, en estas, puede haber más de un punto de origen de las señales.

Las características técnicas que pueden considerarse como las apropiadas para este tipo de servicios son:

- Empleo de satélites geoestacionarios especializados de alta potencia, con lo que se refiere al diámetro de las antenas, por consiguiente se reduce el costo y aumenta la conveniencia de las antenas de las estaciones receptoras. El tamaño mínimo de antenas circulares corresponde a un diámetro de 45 a 60 centímetros si el satélite

transmite señales digitales en la parte de la banda Ku atribuida por la UIT al servicio de radiodifusión directa por satélite (abreviada DBS en inglés), ya que es lo que se puede usar para mayor potencia radiada, pero se requiere también de un espaciamiento mayor entre satélites.

- Empleo de señales digitales comprimidas, de preferencia con la norma MPEG que permite transmitir simultáneamente a través de un transpondedor, con un número de programas de 6 a 10 o más veces mayor, que empleando señales de televisión convencional.
- Uso de un sistema de control de acceso de las terminales tanto para los grupos de señales como para canales específicos de programas y de cifrado o encriptación para seguridad. El mismo sistema permite dar de alta y de baja a las terminales receptoras, además de realizar otras funciones de administración del servicio.

### 3.9.5. TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN

Para establecer y desarrollar los servicios de radiodifusión terrenal de televisión de alta definición se requiere utilizar necesariamente la compresión de las señales de video (que deben entonces ser previamente digitalizadas), sin la cual no sería posible en muchos países la planificación de los canales y sus coberturas debido al amplio anchura de banda que se ocuparía, saturándola posible cobertura nacional con un número menor de estaciones que las actualmente existentes. La norma MPEG-2 es la referencia para la parte de la tecnología requerida que se aplica a la compresión de las señales. Las características del formato para la televisión avanzada que se identifica con las siglas ATSC. Dicho formato, que permite aproximadamente el doble de resolución óptica tanto vertical como horizontal del sistema NTSC usando hasta la fecha en muchos países, se desplazará progresivamente a este, en forma previsible será adoptado en gran parte del mundo, pero muy posiblemente su desarrollo será lento.

A parte de la anchura de banda ocupada un poco más que la de las señales portadoras de radiofrecuencia para prestar este servicio que con el formato NTSC (aun con la compresión), los equipos receptores de radiodifusión terrestre del usuario final tendrá un alto costo y por lo tanto un mercado limitado debido a dos razones.

- Requiere efectuar múltiples funciones adicionales que solo realizan los actuales sistemas, en combinación con componentes externos cuando utilizan el servicio de televisión directa por satélite (incluido en un receptor decodificador integrado conocido como IRD), pero se realiza con menor capacidad de procesamiento que lo que es necesario para altas definiciones.
- Deben contar con pantallas de mayor tamaño y nueva tecnología para aprovechar la posibilidad de una mejor calidad de las imágenes. (Rosado, 2008)

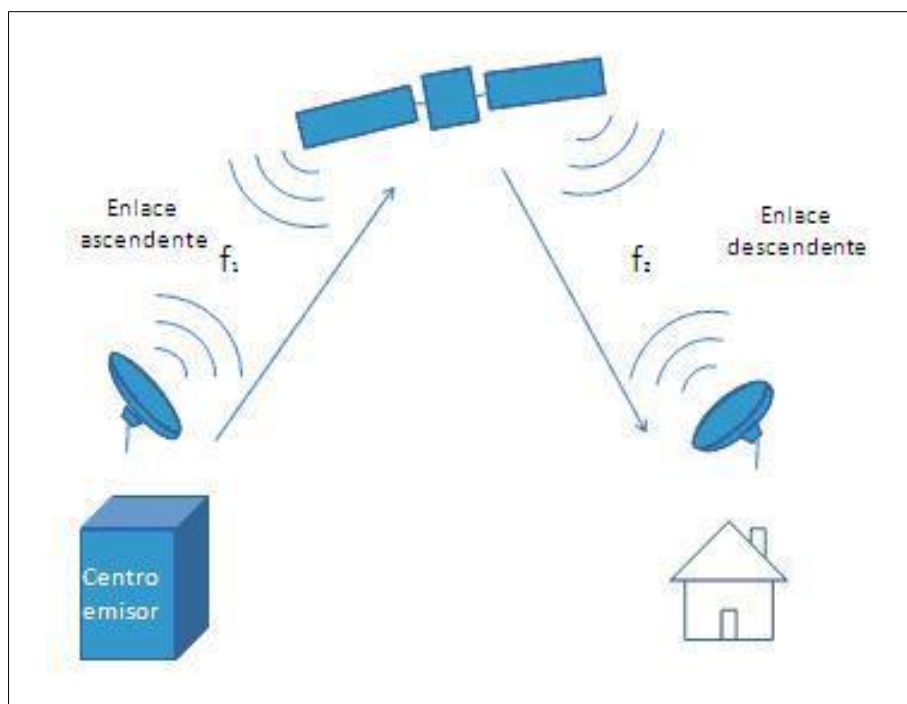


Figura 3.22. Transmisión de la TV por satélite.

# CAPÍTULO IV

## LAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES ALTERNATIVAS E INTERACTIVAS DE LA RADIO Y TELEVISIÓN TRADICIONAL

---

### 4.1. INTRODUCCIÓN A LOS NUEVOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Las Telecomunicaciones constituye el campo de estudio más cambiante, se describe tecnológicamente a los sistemas de forma rápida va evolucionando durante el tiempo, este campo de estudio se considera con un amplia gama de infraestructura, varios factores para una comunicación de calidad, amplia cobertura y por supuesto con nuevos dispositivos para su recepción.

En apenas unos años, el uso de los microprocesadores, las fibras ópticas y los satélites han modificado sustancialmente la estructura de esta industria, la oferta de productos realizadas por los distintos fabricantes y las diferentes prestaciones suministradas por los operadores de comunicaciones entre otros beneficios.

Donde la transformación de la tecnología se integran nuevos elementos electrónicos (componentes), cada uno tiene diferentes características, principios de funcionamiento, y diseños electrónicos, se incorporan a los Sistemas de las Comunicaciones Modernas (Sistemas Digitales), las cuales tienen varios beneficios para la sociedad. Se involucra la terminología ligada a los circuitos que forman parte de los nuevos sistemas electrónicos, estos describen concretamente los avances tecnológicos que se han venido realizando en los últimos años se hace referencia al desarrollo de los dispositivos multimedia como comúnmente se conocen, en el ámbito de Telecomunicaciones esto se define como “Tecnologías de las Comunicaciones”. (Held, 1995)

### 4.2. LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

Los servicios no suelen estar limitados por la técnica, en estos momentos se encuentra gradualmente avanzada y capaz casi de resolver todos los problemas, de forma que la imaginación del operador o a cualquier empresa se le puede ocurrir crear nuevas aplicaciones, ofrecen a sus clientes, un servicio nuevo; por lo tanto es complicado intentar clasificar los servicios.

Hasta hace relativamente poco tiempo era muy común clasificarlos en servicios de voz, de datos, de texto y de video o imagen, pero esto es una clasificación antigua. La estructura de los diferentes servicios de comunicación se compone por su contenido, las redes que lo enlazan, la

visión (Imagen), completando la parte audiovisual y el acceso al internet. Pero es que los servicios están cambiando constantemente, de manera que intentar clasificarlos servicios es complicado, no existen reglas fijas que nombren a los distintos servicios, visto de otra forma para clasificarlos se puede ver las distintas necesidades en un momento determinado.

La clasificación que se hacen de los principales servicios de telecomunicaciones (Huidobro J. M., Manual de Telecomunicaciones, 2004)

| <b>Servicio según su contenido</b> |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Servicios de Voz</b>            | <b>Servicios de Texto y Gráficos</b> |
| -Telefonía Básica                  | -Telex                               |
| -Telefonía Móvil                   | -Fax                                 |
| -Trunking                          | -Paging                              |
| <b>Servicios de Datos</b>          | <b>Servicios de Video</b>            |
| -Conmutación de paquetes (x.25,IP) | Videoconferencia                     |
| Conmutación de tramas (F,Relay)    | Videotelefonía                       |
| -Conmutación de celdas (ATM)       | -Video                               |

Tabla 4.1. Clasificación de los servicios según su contenido.

Fuente: (Roldán, 2005)

### 4.3. LA TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE LAS SEÑALES ELECTROMAGNÉTICAS

En el momento de enviar señales radioeléctricas, disponemos de varias alternativas de transmisión, en función de la banda de frecuencia utilizada, entre ellos se encuentran los infrarrojos y la radiofrecuencia.

Los sistemas de transmisión por **infrarrojos** se caracterizan por el empleo de frecuencias muy altas, justo por debajo del rango de frecuencias de la luz visible, para el transporte de información. Los infrarrojos tienen unas características de propagación muy particulares, ya que no pueden pasar a través de objetos opacos y se reflejan en determinadas superficies. Las longitudes de onda de operación se sitúan alrededor de los 850-950 nm, es decir, a una frecuencia de emisión comprendidas entre los 315 GHz y los 352 GHz.

En cuanto a los sistemas de **radiofrecuencia**, encontramos dos tipos. En primer lugar, están las tecnologías de banda estrecha en la que se transmite y recibe en una banda de frecuencia lo más reducida posible. Requieren de una sintonización muy precisa tanto del emisor como del receptor con fin de evitar las interferencias, se utiliza un filtro en el receptor de radio que se encarga de dejar pasar únicamente la señal esperada en la(s) frecuencia(s) asignada(s). La señal es capaz de traspasar sin dificultad las paredes y los obstáculos que se presenten. Esta transmisión de banda estrecha es utilizada en redes de sensores o redes de corto alcance como Zibgee.



Pero en otros casos existen aplicaciones en las que las características de la información a transmitir requieren de mayor ancho de banda. En estos casos, es necesaria una tecnología de transmisión que proporcione, por una parte, robustez frente a interferencias y, por otra parte, la capacidad para absorber los datos de grandes números de usuarios y garantizar un cierto nivel de confidencialidad. Con estos objetivos surgen las técnicas de **espectro enganchado** (*SS, Spread Spectrum*), empleadas por la mayor parte de los sistemas, con las cuales se consume más ancho de banda pero la señal más fácil de identificar. El receptor conoce completamente los parámetros de la señal difundida. En caso de no estar sintonizado correctamente, la señal aparece como ruido de fondo en el equipo receptor. (Roldán, 2005)

#### 4.4. LA TECNOLOGÍA DIGITAL

Es posible a lo largo del tiempo que se ha investigado, que las tecnologías se fortalecieron ayudando a lanzar una nueva revolución de las comunicaciones. Una de estas áreas es la de la tecnología digital y sus distintas aplicaciones.

La tecnología digital tuvo un papel vital en el desarrollo de nuevas líneas de comunicaciones, de técnicas de manipulación de la información y equipos. Los canales y dispositivos de comunicaciones preexistentes también se vieron afectados por estas tecnologías. Pero antes de explorar el mundo digital se consideran las diferencias entre ambos sistemas (analógicos-digitales).

Los dispositivos de comunicaciones que usamos, tales como cámaras de video y micrófonos, crean y procesan señales analógicas, no digitales, en algunas ocasiones los equipos y sistemas no son por completo compatibles entre sí. Esta situación obliga a la adopción de un proceso de conversión “analógico al digital” y “digital a analógico” para que sea posible utilizar un conjunto mixto de equipos analógicos y digitales, en los sistemas globales de comunicaciones. Esta conexión de dos vías es crucial para la integración de la tecnología digital en la estructura contemporánea de las comunicaciones, que se basa, en buena medida, en los estándares analógicos. Esta es una consideración importante, ya que la tecnología digital tiene ventajas distintivas sobre su contraparte analógica.

La información puede representarse y por tanto transmitirse a través de los canales apropiados, tanto en forma analógica como digital. La voz o una señal de audio estándar, por ejemplo, son por naturaleza analógica. Sin embargo, a través de un proceso de conversión analógico al digital, la información analógica puede convertirse en una representación digital y posteriormente transmitirse.

##### 4.4.1. CONVERSIÓN DE ANALÓGICO A DIGITAL

En una conversión analógico-digital, la señal analógica se convierte en una señal digital. El lenguaje binario está en el centro de la comunicación digital; utiliza dos números, 1 y 0, representados por elementos diferentes del código, para intercambiar información. Los números 1 y 0 se llaman bits, término que proviene de la palabras binary digits (dígitos binarios), y representan los trozos más pequeños de información en un sistema digital. Son los bloques básicos de la construcción de un sistema de información digital.

La PCM (Modulación por Impulsos Codificados) es un método de codificación por el cual una señal analógica puede convertirse en una representación digital, una señal digital. La información de la PCM consiste de dos estados, presencia o ausencia de un impulso, lo que también puede expresarse como “on” (encendido, 1) y “off” (apagado, 0).

Cuando la señal analógica se digitaliza se toman muestras a intervalos específicos de tiempo. En lugar de convertir toda la señal analógica en un formato digital, se toma una muestra o segmento, solo algunas partes específicas de la señal se examinan y convierten por medio del procedimiento descrito anteriormente. Para realizar este proceso, se toman bastantes muestras para obtener una representación suficientemente precisa de la señal original.

Una muestra se codifica y se representa, mediante la palabra apropiada. La palabra puede transmitirse como pulsos de “encendido” o “apagado”, en el momento que la información alcanza el final de la línea de transmisión, es detectada por el receptor. En ese instante, se transmite un valor que corresponde a la señal analógica original en el punto de muestreo, ya que la palabra representa una cantidad conocida.

Finalmente, para los propósitos mencionados, la señal analógica se convierte a un formato digital mediante un **convertidor analógico al digital (ADC)**. Una vez que la información codificada se transmite, puede reconvertirse en la señal analógica original mediante un **convertidor digital analógico (DAC)** que hace que la señal sea nuevamente compatible con los equipos y sistemas analógicos. Por ende, los ADC y DAC actúan como puentes entre los mundos analógico y digital.

#### **4.4.1.1. LAS VENTAJAS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DIGITAL**

En la comunicación digital, podemos examinar algunas de las ventajas principales de los equipos y sistemas que utilizan esta forma de comunicación. Estas características son la motivación principal de su utilización cada vez más extendida.

- **COMPATIBILIDAD COMPUTACIONAL**

Una vez que la señal se encuentra digitalizada, puede ser procesada por un ordenador. La capacidad de manipular la información codificada en forma digital, como las imágenes producidas por una cámara de video, es central para las industrias de la producción de video, audio, médica y autoedición, entre otras.

Un pixel se representa por una palabra binaria que es equivalente a un nivel a esta escala. El nivel, a su vez, está determinado por la magnitud del brillo de la sección correspondiente en la escena original, representada por el pixel.

Una vez que la imagen fue digitalizada, una computadora con el programa apropiado puede manipular los datos de la imagen. Pueden crearse efectos especiales, en diversas disciplinas científicas, las cualidades y defectos pueden aumentarse y corregirse representativamente, en su caso mejorar la calidad de la imagen.

- **LA INTEGRIDAD DE LOS DATOS DURANTE LA TRANSMISIÓN**

Cuando las señales digitales se transmiten a través de largas distancias, la integridad de los datos se preserva aun después de haber atravesado un número de estaciones repetidoras. Una repetidora es un dispositivo que fortalece o amplifica una señal en su viaje a través de un camino de transmisión.

Cuando una señal analógica, pasa a través de una repetidora, puede introducirse ruido en la transmisión, en lo que afecta adversamente a la señal. Este problema debe multiplicarse por el número de veces que la señal es amplificada. El ruido se acumula, y la calidad de la señal se deteriora progresivamente.

Una transmisión digital es menos vulnerable al ruido y a las interferencias en general, esta cualidad contribuye todavía aún más la eficiencia en la transmisión de la señal digital.

- **LA RENTABILIDAD**

Con la producción masiva de equipos digitales conlleva a la reducción de los costos de manufactura, los sistemas de comunicación digital se vuelven cada vez más rentables de construir y mantener. Los equipos digitales en conjunto con los sistemas de comunicación son más estables y requieren de menor mantenimiento que las configuraciones analógicas compatibles.

Esta estabilidad y durabilidad superior se debe en parte a los **circuitos integrados (CI)**. Un CI es un semiconductor, un dispositivo de estado sólido. Es un solo chip, se describe como la unidad que puede contener el equivalente de bastante más de 100,000 transistores, diodos y resistores, son los elementos fundamentales de los equipos de comunicación electrónica. En esencia, el CI es un chip del que mucho se menciona en los sistemas digitales y que contribuyo a lanzar la nueva revolución de las comunicaciones.

La creación de este chip tiene un enorme impacto sobre la industria de las comunicaciones. En lugar de conectar miles de componentes individuales, es mejor colocar una sola pieza en el equipo, por lo que se usa un solo chip. Si el equipo no funciona adecuadamente, solo es necesario reemplazar un chip, lo que hace más sencillo y viable el aislamiento de los fallos de cada componente, reduciendo a un más los gastos y el tiempo necesarios para el almacenamiento.

Un ejemplo claro donde se presenta este tipo de circuitería, son los pequeños ordenadores portátiles con pantallas de paneles de cristal líquido (LCD) los cuales se volvieron muy populares.

#### 4.4.1.2. **LAS DESVENTAJAS DE UN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DIGITAL**

Con cualquier tecnología existen ventajas y desventajas. La tecnología digital no es ninguna excepción.

- **MAYORES DEMANDAS DE CANAL**

Una vez que la información analógica es digitalizada, el gran volumen de bits que se produce durante la operación exige el uso de un sistema de comunicaciones con una mayor capacidad de canal, este factor incrementa el requerimiento del ancho de banda de la señal digital y de realizar la transmisión por medio de un canal de comunicación más estrecho.

- **ERROR DE CUANTIFICACIÓN**

El proceso de digitalización puede introducir otro problema, un error de cuantificación, si sucede que no hay superficie niveles para representar la señal analógica. Por ejemplo, un sistema de video está controlado por un código basado en una palabra de dos bits, solo

podrán reproducirse cuatro colores diferentes. La señal analógica original y la escena que la cámara toma no tendrán una representación totalmente precisa.

Para transmitir la señal, se deberá ser colocada en un canal de comunicaciones de mayor capacidad para acomodar la información adicional. Por este hecho, usualmente se hace un compromiso entre la precisión del proceso de digitalización y las exigencias características del canal.

- **EL PREDOMINIO DEL MUNDO ANALOGICO Y SUS ESTANDARES**

Otra desventaja de la tecnología digital es que vivimos, en cierta medida, en un mundo analógico. Muchas formas de información, además de los dispositivos y sistemas que la producen y transmiten, son analógicas por naturaleza. Estos incluyen los teléfonos, televisores y radios. Esta situación exige la implementación de conversores analógico al digital y digital a analógico.

## 4.5. DEFINICIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE COMUNICACIONES

Formulado de un modo simple, los estándares son una serie de parámetros técnicos que controlan la operación de diversos equipos y sistemas de comunicación. Los estándares dictan como se genera, almacena e intercambia la información.

Un numero de organizaciones nacionales e internacionales se dedican a la terea de determinar estándares. Entre las que se mencionan, la **Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE)**, la **Internacional Organization for Standards (ISO)**, la **RCC** y el **International Telegraph and Telephone Consultative Committee (CCITT)**.

La influencia de un estándar sobre un sistema de comunicación puede variar. Algunos estándares son obligatorios y se imponen legalmente (normas). Otros estándares voluntariamente para evitar el caos que resultaría si diferentes organizaciones adopten distintos estándares.

Prevalece la idea de permitir que una industria determine sus propios estándares, especialmente en la industria de las telecomunicaciones. Según el punto de vista de la **NTIA (National Telecommunications and Information Administration)**.

### 4.5.1. LA IMPORTANCIA DE LOS ESTÁNDARES

La cuestión de los estándares es vital por varias razones. Primero, si no existen estándares, sería casi imposible desarrollar cualquier tipo de sistemas de comunicaciones eléctricas y alentar la idea de la compatibilidad de los equipos. Sin estándares, el teléfono y la televisión que se adquiere podrían no ser compatibles con su sistema telefónico local o con las señales de radiodifusión de su estación local de televisión.

También pueden existir dos o más estándares en la misma industria, y según las circunstancias, esto no podría afectar adversamente a la industria ni dificultar su crecimiento global. Un ejemplo de esta situación es el desarrollo paralelo de los formatos Beta y VHS para cintas de video. Aunque incompatibles, cada uno creó su propio campo de mercado. Esto es válido aun

cuando el estándar Beta disminuyó su participación en el mercado y el VHS se volvió, con el paso de tiempo, el estándar de mayor demanda en el mercado.

- La presencia de dos estándares fuertes en un mercado podría también acelerar el desarrollo global de una industria. La competencia podría estimular a los fabricantes a introducir equipos mejores para lograr una mayor participación en el mercado.
- En ocasiones permite que la existencia de varios estándares pueden a veces ser beneficiosos, pero no siempre se alcanza el resultado deseable. Este factor podría tener un efecto adverso sobre las organizaciones que intentan integrar una tecnología nueva y en desarrollo al campo de las comunicaciones.
- La importancia de los estándares es la protección al consumidor y la industria. Un estándar aceptado contribuye a garantizar que una pieza del equipo que se adquiera en ese momento, no sea reemplazada por un nuevo dispositivo por consiguiente incompatible con el anterior en un tiempo determinado. Aunque ocurren nuevos desarrollos y los equipos pueden volverse obsoletos, este proceso sucede gradualmente, como en el caso de los CD.

Esta situación también adquiere un grado de mayor importancia a medida que la industria de las comunicaciones se hace cada vez más internacional en su alcance. Esto ocurre generalmente en las industrias del automóvil, la computación y otras industrias principales que se han involucrado en el mercado internacional debido a sus oportunidades de ventas, manufactura e inversión. (Couch II, Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, 2008)

## 4.6. TELÉFONIA CELULAR COMO RADIORECEPTOR

### 4.6.1. HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR

El inicio de la telefonía celular se dio en 1947, **Douglas Ring** y su grupo de trabajo de Bell Labs (Filial de AT&T) propusieron un sistema basado en celdas hexagonales (debido al uso de la palabra celdas “células” se denominaron teléfonos celulares a los dispositivos terminales de esta tecnología). Así pues en las puntas de los hexágonos se encontrarían estaciones bases con tres antenas. Estas se encuentran apuntando en tres direcciones realizando así la unión con las estaciones bases adyacentes y para que sean capaces de cubrir un mayor territorio.

Además se propusieron ideas como el reuso de frecuencias (mediante multiplexación, modulación etcétera), e ideas fundamentales para este sistema como la es itinerante (roaming), con esto se refiere a que permite el seguimiento a las terminales móviles, es decir, permitirles la movilidad de una base a otra y el traspaso (hand-over) lo cual permite mantener una llamada mientras la conexión se cambia de una estación base a otra. Desafortunadamente las tecnologías necesarias para implementar estas ideas no existían para esos tiempos las cuales estuvieron disponibles once años después; además las frecuencias requeridas por AT&T a la FCC en 1958 fueron otorgadas luego de una década más tarde; esto debido a un estudio intensivo por parte de la FCC para evitar futuros monopolios por parte de AT&T como lo hizo con las líneas telefónicas fijas, inclusive aún la FCC veía a la telefonía móvil como un lujo y no una necesidad primaria. Pese a esto el primer sistema celular fue implementado en 1969 a petición del departamento de transporte de los EE.UU. con el fin de promocionar la nueva

metrolínea de alta velocidad entre New York y Washinton, por parte de Bell System (conjunto de compañías entre las que se encontraba AT&T y Bell Labs). Debido al buen funcionamiento de dicho sistema, la FCC anunció la autorización de la petición de espectro por parte de AT&T de 1958, esto en caso que, Bell System que fuera capaz de demostrar en un plazo de dos años, referente a un sistema similar pero en automóviles, con ello en mente el 21 de Diciembre de 1970 Bell Labs patentó un sistema de comunicación de telefonía celular para estaciones móviles (por ejemplo automóviles). Debido a regulaciones por parte de la FCC, Bell System debió derivar la fabricación del hardware a Motorola, con quien previamente habían trabajado. Con lo que no contaba Bell System, es que innovadoramente **Marty Cooper** y **John Mitchell** (Ingenieros de Motorola) desarrollarían el primer teléfono celular de mano en un estrecho calendario de tres meses, denominado **Dynatac**, prototipo mostrado el 3 de Abril de 1973 y patentado en Octubre de ese mismo año. Esto influyó en la decisión por parte de la FCC que posteriormente ampliaría el espectro disponible para la telefonía celular, pero luego de unos años de intensa investigación y estandarización con objetivo de interoperabilidad (habilidad de dos o más sistemas para intercambiar información) entre los fabricantes y los operadores de estos servicios.

#### 4.6.2. TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS MOVILES

El evidente desarrollo experimentando por los sistemas de acceso radioeléctrico en los últimos años, consiguió que los usuarios tuvieran acceso a los nuevos sistemas de radio, consiguiendo que estos servicios demanden cada vez mayores distancias y mejor calidad.

En este escenario, queda claro que la evolución de los actuales sistemas de acceso radioeléctrico busca aumentar la oferta de los servicios, la capacidad de transmisión y la movilidad entre diferentes puntos.

Los nuevos sistemas tienden cada vez a estar más cerca del usuario final. Los sistemas pueden usarse en muy diferentes entornos. La diferencia que se marcan en los sistemas de telefonía celular, más que en el tipo de acceso, se sustituye en el tipo de servicio que presta en diferentes formatos y modelos como son: voz o multimedia.

Los sistemas van a primar cada vez más la movilidad de los usuarios, llegándose al concepto de las comunicaciones personales. En este sentido, los sistemas **GSM** y **DECT**, al ser estándares europeos con banda ya asignada, son considerados los principales candidatos para soportar el concepto de las comunicaciones personales en Europa.

El principal problema que tiene que afrontar **GSM** (Global System for Mobile Communications) en este proceso evolutivo es el aumento de capacidad de transmisión. El DCS, que no es sino una variante del GSM, solventa este problema trabajando en una frecuencia más alta, con lo que existe más bandas disponibles. El desarrollo de las antenas adaptativas, aumenta la capacidad de transmisión de las señales.

El sistema **DECT** (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), implemento una solución más adecuada buscando obtener una calidad igual a la del par de cobre y permitir la transmisión simultánea de voz y datos. La principal línea de avance en este sistema se centra en el aumento de la movilidad de los equipos receptores, por ejemplo entre diferentes islas de cobertura DECT, para garantizar un mejor nivel de calidad.

Además, este tipo de interrelaciones entre diferentes redes móviles puede interpretarse como el primer paso hacia un sistema universal, en el sentido de evolucionar sin discontinuidades hacia los sistemas de tercera generación como el **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*).

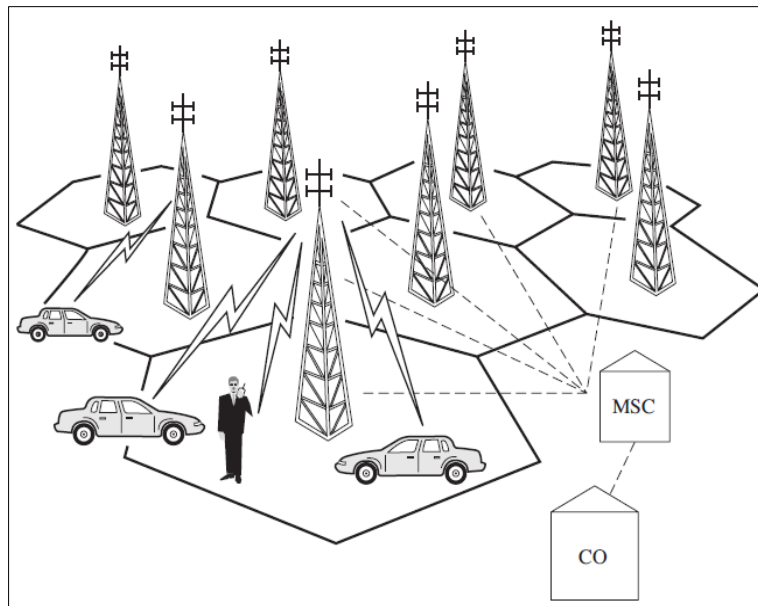


Figura 4.1. Representación de conexión con los dispositivos móviles.

Estos sistemas duales permiten:

- El incremento de la capacidad de transmisión, desde el punto de vista del usuario se traduce en una disminución de la probabilidad de bloqueo y pérdida de la llamada, es decir un aumento en el grado del servicio que brindan las diferentes compañías telefónicas.
- La extensión de la cobertura móvil en entornos de interior como residenciales y de trabajo. De esta manera los sistemas duales juega un papel en la evolución continua hacia las comunicaciones personales, es decir, a la implementación de un sistema único.
- Se Facilitó la transmisión de datos a alta velocidades para avanzar hacia la integración de servicios avanzados.

Por lo consiguiente al menos desde la perspectiva europea, el concepto de **comunicaciones personal (PCS)** se alcanzó en tanto se hizo posibles las llamadas de persona a persona independientemente de la localización, esto depende de los medios de transmisión y/o de la elección tecnológica.

**Servicio de Comunicaciones Personales o PCS** es el nombre de la frecuencia de 1900 MHz de banda de radio digital utilizada para servicios de telefonía móvil en Canadá, México y los Estados Unidos. Acceso múltiple por división de **código (CDMA), GSM, y D-AMPS** sistemas se pueden utilizar en las frecuencias PCS. La FCC, dejaron de lado la banda de frecuencias de 1850-1990 MHz para uso de teléfonos móviles en 1994, como la original banda de teléfonos celulares (824-894 MHz) se está convirtiendo en asignación de frecuencias. **Dual-band GSM** teléfonos se logró que este sistema trabajara dentro del rango de frecuencias (850 y 1900 MHz), a pesar de que son incompatibles con las bandas de frecuencias (900 y 1800 MHz)



europas y asiáticas. Para la descripción del sistema GSM en un formato de telefonía mundial, este opera en tres o cuatro diferentes bandas de frecuencia, ofreciendo sus servicios a las compañías aéreas de América del Norte, en apoyo al nivel de frecuencias europeo y nacional. Fuera de los EE.UU., PCS se considera para referirse a **GSM-1900** y en Hong Kong, PCS se usa para referirse a **GSM-1800**.

### 4.6.3. TRANSMISIÓN DE DATOS EN SISTEMAS MOVILES

Las aplicaciones de transmisión de datos, en las que el usuario utiliza una terminal móvil o una portátil, se ha extendiendo rápidamente.

#### 4.6.3.1. APLICACIONES MOVILES DE DATOS

##### ***Gestión de flotas de vehículos***

La gestión de flotas de vehículos se ha realizado hasta este momento utilizando sistemas móviles para telefonía. Los sistemas orientados a transmisión de datos presentan en este campo muchas ventajas, lo que permite la utilización de aplicaciones informáticas específicas. Un caso en particular interés es el que incorpora un sistema de Localización Automática de Vehículos (sistema LAV) asociado al sistema móvil, permitiendo automatizar completamente la gestión de la flota.

##### ***Sistema de distribución de información***

Destinados a la distribución de información de interés general hacia los usuarios: económica, tráfico, meteorología, deportiva, etcétera.

##### ***Formalización de pedidos***

Un sistema de datos permite solicitar ofertas, elaborar presupuestos y formalizar pedidos en tiempo real, aunque el valor de las pérdidas de información depende de los factores que varían frecuentemente a través del tiempo.

##### ***Oficinas móviles***

Para trámites bancarios, venta de billetes, entre otras transacciones, utilizando terminales móviles situadas en ubicaciones temporales (ferias, congresos, acontecimientos deportivos, etcétera.)

##### ***Dispositivos de cobro a distancia***

Dispositivos de gestión de tarjetas de crédito, principalmente los cajeros automáticos u otro tipo de sistemas de cobro, que permiten ser usados en ubicaciones temporales o móviles.

##### ***Mensajería bidireccional***

Envío de textos cortos en su modalidad móvil, que permite interactuar y comunicarse entre dos puntos, donde se ubican ambos usuarios.

##### ***Correo electrónico***

Las aplicaciones de correo electrónico para los usuarios móviles, por medio del uso de las redes de internet, considerando como interfaz los sistemas wifi entre redes móviles.

##### ***Consultas y actualizaciones relativas a bases de datos***



Mediante una terminal móvil transportable pueden realizarse las consultas y actualizaciones para diferentes aplicaciones: como lo son las consultas clínicas, el acceso a fichas técnicas durante reparaciones de algún equipo, actualización de lecturas de contadores en tiempo real (gas, electricidad, entre otros servicios).

#### ***Sistemas de recolección de datos, telemando y telemedía***

Lo que fue provocado por la necesidad de recopilar en un punto central las medidas efectuadas por lectores remotos, lo que quiere decir, que se encuentran distantes del punto central, los parámetros pueden ser (intensidad de tráfico, temperatura, caudal de ríos, velocidad del viento, radioactividad, etcétera).

#### ***Transferencia de archivos***

Al manejar en los equipos una gran cantidad de información relativamente para lo cual existen distintas aplicaciones. Por ejemplo, algunas aplicaciones de reparación de ordenadores y otras aplicaciones más de transmisión de documentos gráficos.

### **4.6.3.2. POSIBLES FORMAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS EN LOS SISTEMAS MÓVILES**

#### ***Sistemas de radio mensajería***

Estos sistemas pueden considerarse como sistemas móviles para transmisión de datos, en tanto que permiten el envío de un mensaje (numérico o caracteres) hacia un terminal móvil, comportándose como un sistema que opera en modo de paquete. Sin embargo, su carácter unidireccional descarta que puedan ser utilizados para cualquier tipo de aplicación transaccional.

#### ***Sistema GSM/DCS***

Desde el principio de la definición de este estándar, el GSM incorporó facilidades específicas para transmisión de datos, que reducen algunas de las dificultades inherentes a los sistemas celulares analógicos. Posteriormente se han incorporado a este estándar las técnicas específicas que lo convirtieron en una alternativa muy interesante para todo tipo de aplicaciones.

#### ***Sistemas TETRA***

El sistema denominado "trunking" digital TETRA constituye una alternativa para las aplicaciones de datos, tanto en su versión voz-datos, como en la que solo contienen los datos. Este sistema, definido por el ETSI, ha sido optimizado para comunicaciones móviles de tipo profesional (por ejemplo, aplicaciones de grupos cerrados de usuarios).

### **4.6.3.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS MÓVILES PARA DATOS EN FORMA DE PAQUETE**

#### **Parámetros del sistema**

En un sistema móvil de datos en modo paquete pueden ser distinguidos los siguientes parámetros de interés general:

- **Tiempo de tránsito:** Es el tiempo que transcurre desde que un paquete es entregado en el punto de origen del sistema hasta que aparece en el punto de destino.

- Tiempo de establecimiento de la llamada: En un sistema con conexión, es el tiempo transcurrido en la fase de establecimiento de la llamada, anterior al envío del primer paquete de datos.
- Tiempo de reposición de una llamada: Comparado con el anterior para el caso de la reposición de la información.
- Flujo máximo de la transmisión: Capacidad neta máxima en términos de bits, octetos u otro tipo de unidad de volumen de información que puede transmitir un usuario en el momento de carga, sin que el tiempo de tránsito sobrepase el límite prefijado.
- Longitud máxima de los paquetes: Número máximo de unidades de información (bits, octetos, etcétera) que puede tener un paquete.
- Tiempo máximo de almacenamiento: Periodo máximo de almacenamiento de un mensaje en caso de que el destinatario no pueda ser alcanzado o localizado.

### **Funciones**

Un sistema móvil de datos en modo de paquete debe incorporar las siguientes funciones:

- Función de itinerancia: Los sistemas deben soportar la facilidad de seguimiento de los móviles, cuando estos se desplazan entre las distintas células radio, actualizando automáticamente su posición, de forma que puedan recibir cualquier transmisión de datos, independientemente de su localización.
- Función de traspaso: En sistemas con conexión, la función de traspaso debe entenderse como la que asegura que una llamada virtual establecida no es interrumpida.
- Seguridad: Esto puede conseguirse mediante la utilización de palabras clave para el acceso, y la posibilidad de que el sistema pueda denegarlos a ciertas terminales, de forma que se encuentre protegida la información del usuario.

En otros casos, este cifrado de la información de usuario puede realizarse por la propia aplicación, independizando esta función del sistema de radio.

- Capacidad de almacenamiento de mensajes: Capacidad para poder almacenar los mensajes y retransmitirlos cuando sea posible, evitando el envío de los mensajes de forma repetitiva a móviles que están situados fuera de la cobertura de la red del sistema móvil.
- Ahorro de energía en terminales móviles: Los sistemas de datos en modo paquete pueden incorporar la posibilidad de que el receptor se active exclusivamente en determinados tiempos (recepción discontinua), reduciendo de este modo el consumo de energía.

#### 4.6.4. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS MÓVILES MODERNOS Y ACTUALES

Los años ochenta se lograron cambios en los mercados de las comunicaciones móviles lo que se inició a la **primera generación** de los sistemas móviles, particularmente en el sector de los negocios. Desde radiotaxis en radiobúsqueda (pagers), se hizo común oír el zumbido de la búsqueda de personas, usar un teléfono sin hilos en casa o ver a personas utilizando el teléfono en su coche mientras conducía. En los noventa nos hemos embarcado en la **segunda generación** de sistemas móviles que usan extensamente técnicas digitales, asistimos a una gran proliferación de tecnologías e iniciativas de nuevos servicios (GSM, DECT, Telepunto, PCN, entre otros).

Para ese momento los servicios habían sido explorados hasta el máximo de sus capacidades y no podrán satisfacer los requisitos de los usuarios en demanda y calidad. Las expectativas fueron de poder alcanzar a una penetración de hasta un 40% de la población activa para el año 2005; esto representa una población de unos 100 millones de usuarios o más. Será el momento para un sistema se denomina en Europa **Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)**, está siendo desarrollado en RACE y en el estándar en el ETSI, grupo SMG5, y tiene un paralelo en el **Future Public Land Mobile Telecommunication System (FPLMTS)** que se está estandarizando en el CCIR.

El sistema UMTS para desarrollo de nuevas técnicas y conceptos, lo que involucra una nuevo estándar denominándolo **tercera generación** de telefonía móvil. En los aparatos posteriores se cubrirán con mayor detalle las actividades que se están desarrollando en Europa dentro del marco de la aplicación de técnicas telemáticas avanzadas en base al transporte.

##### 4.6.4.1. UMTS

Desde el punto de vista de los servicios, el **UMTS** soportara una mayor variedad de servicios con mejor calidad y mayores velocidades de transmisión que los actualmente ofrecidos por sistemas como **GSM/DCS 1800 y DECT**. El UMTS soporta la voz, los datos, las fotografías, los gráficos, la multimedia y otras clases de servicios. Adicionalmente se considera como esencial para el UMTS ofrecer mejor calidad en término de cobertura y la probabilidad de bloqueo.

Se ha fijado para UMTS los siguientes objetivos:

- Sistema para soportar una alta densidad de usuarios.
- Sistema que soporte una gran variedad de servicios, tanto de bajo como de alta velocidad, incluyendo subconjunto de los servicios de **RSDI** (Red Digital de Servicios Integrados) de banda estrecha y ancha, tanto por conmutación de circuitos como de paquetes.
- Sistema que ofrece para la aplicación de voz una calidad, coste y fiabilidad semejante a las de la red fija presente.
- Sistema capaz de soportar teléfonos de un tamaño relativamente pequeño que puedan ser usados en cualquier lugar de Europa y en todo el mundo; en la casa, la oficina, la ciudad y áreas rurales.

- Sistema para soportar una gama de terminales desde el teléfono móvil básico a terminales más sofisticados que ofrecen una mayor gama de servicios o una selección específica de estos.
- Sistema que funcionan en diversos entornos, incluyendo entornos no necesariamente RDSI de banda ancha, sino en otras ubicaciones con diferentes características.
- Disponer del estándar desde el año 1999.
- Definir una evolución viable para los sistemas e infraestructuras actuales.
- Diseño suficientemente flexible que permita el desarrollo de los nuevos sistemas que comenzaron a partir del siglo XXI.

#### Arquitectura del sistema

El sistema **UMTS** se implantará a través de un conjunto de subredes, tanto públicas como privadas, cuya combinación permita la provisión de servicio en cualquiera de los entornos como son el rural, los urbanos interiores, etcétera.

Adicionalmente, los puntos de acceso de la radio de UMTS deberán ser capaces de conectar o integrarse con las redes fijas existentes a lo largo de Europa, aunque principalmente son ideados para su conectividad a redes **RDSI** de banda ancha, los cuales deberán ser capaces de operar en otro tipo de entornos. Otro aspecto crítico para el sistema UMTS es el de las técnicas de manejo de las grandes cantidades de información, principalmente para brindar una información auténtica, y la inteligencia necesaria para controlar llamadas y movilidad de los usuarios. (Rey, 1999)

## 4.7. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MULTIMEDIA

Mientras los electrodomésticos suelen estar destinados a la realización de tareas cotidianas, para que resulten lo más cómodas posibles, los aparatos electrónicos de consumo, cada vez más habitualmente en nuestros hogares, suelen ser dedicados actividades de entretenimiento.

La era digital está transformando radicalmente estos dispositivos, que cada vez integran más funciones, teniendo un ámbito de aplicación mayor para el que fueron creados. El ejemplo más claro es el teléfono móvil, aparte de contener las funciones básicas de teléfono, ha ido integrando funciones propias de una agenda, grabadora, cámara de fotos, consola de video juegos, entre otras funciones.

Los contenidos digitales, asignados a partir de estos aparatos, pueden ser además fácilmente retocados, pueden ser transferidos de unos a otros usuarios. Así, estos dispositivos, tradicionalmente que se encuentran aislados unos de otros, están incorporando funciones de comunicación entre los dispositivos electrónicos, posibilitando la transferencia de información (videos, fotos, música, etcétera) de una forma más rápida y sencilla.

El objetivo final es simplificar el intercambio de contenido entre los diferentes aparatos del hogar moderno, tratándose de música, fotos o videos digitalizados, tratándose de ver u oírlos en la computadora, el televisor o el aparato que uno quiera elegir. (Huidobro J. M., 2011)

### 4.7.1. TELÉFONIA MÓVIL

Los **teléfonos móviles** de última generación son auténticas centrales personales de comunicación multimedia. El teléfono móvil es ya mucho más un dispositivo para hablar en movilidad. Permite hacer fotos, grabar video, realizar pagos, enviar correos electrónicos, reproducir ficheros de audio, escuchar la radio, jugar, etc. Se trata de auténticos equipos multifunción de bolsillo y, por lo que parece, cada vez tiende a integrarse más funciones.

Para adaptarse a estas tendencias, los móviles incorporan una serie de características técnicas y estéticas, entre las cuales cabe destacar:

- **Eliminación de la antena**

Quedan pocos móviles con antena externa pero algunos fabricantes aún se arriesgan a incorporarla. Los móviles con antena son más incómodos cuando se llevan al bolsillo, pero la cobertura es mejor y consumen menos energía, ya que la ganancia del elemento radiante es mejor.

- **Cámara**

La cámara de fotos ya es algo habitual en la mayoría de los terminales con capacidad de envío de MMS (Mensajes Multimedia). No son las imágenes obtenidas de las cámaras de estos dispositivos tan de buena calidad como las de las cámaras digitales, pero la ventaja de esta es que siempre la tienes a la mano cuando la necesitas. Algunos modelos incluso incluyen flash para tomar fotos con poca claridad.

Los móviles más avanzados además pueden grabar unos segundos o minutos de video y almacenarlos en la memoria interna del móvil para su posterior envío a MMS.

- **Sonidos polifónicos**

La polifonía es garantizada incluso en los móviles más asequibles, que pueden reproducir al menos ocho o doce instrumentos simultáneamente. Algunos terminales pueden reproducir también archivos MP3 (MPEG1-nivel 3), con absoluta fidelidad y la voz o sonido original.

- **Pantalla a color**

La pantalla a color es uno de los requisitos básicos para poder disfrutar de los MMS. Además, las pantallas están fabricadas con LED orgánicos, una tecnología que permite ver las imágenes a plena luz del día. Los más ambiciosos incluyen pantallas táctiles para navegar de una forma más rápida y sencilla por sus menús, e incluso dos pantallas.

- **Bluetooth e infrarrojos**

Estas tecnologías inalámbricas sirven para intercambiar información (como tonos e imágenes) sin cables de forma gratuita con otros móviles, sintonizador de la agenda con el PC y conectar accesorios (como manos libres) sin usar cables.

Bluetooth soporta mayores distancias y un mayor número de dispositivos conectados simultáneamente que los infrarrojos.

- **Mandos**

Para moverse con comodidad por los menús, para manejar los juegos y navegar por Internet con más soltura, los nuevos móviles vienen con una placa de control.

- **Diseño**

La enorme competencia entre fabricantes en este sector, exigen diseños innovadores y vanguardistas. Las marcas piensan incluso en el tacto y emplean metales con texturas agradables parecidas a la goma. (Haykin, 2006)



Figura 4.2. El celular y sus aplicaciones (software).

#### 4.7.2. PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO

El **crystal líquido** que incorporan actualmente las pantallas de televisión corresponde a sustancias derivadas de compuestos orgánicos sintéticos y naturales que presentan la propiedad de comportarse mecánicamente como líquidos pero con propiedades ópticas semejantes a los sólidos cristalinos. Muestran estas sustancias unas propiedades intermedias entre el sólido y el líquido, que se pueden encontrar con la característica de ordenación monodireccional o bidireccional como los sólidos y, simultáneamente, es capaz de presentar fluidez como las propiedades de los líquidos.

El nombre del cristal líquido se debe al trabajo del físico alemán **Otto Lehmann**, el cual demostró que la fase líquida intermedia contenía regiones con estructura molecular cristalina, asignándole dicho nombre.

El cristal líquido fue una simple curiosidad de laboratorio hasta que en la década 1950-1960 se comenzó a buscar utilidad práctica. Derivado de estas investigaciones surgieron los visualizadores numéricos que desplazaron el tradicional reloj de agujas y, años más tarde, las pantallas para televisión, entre otras aplicaciones.

#### 4.7.2.1. TIPOS DE CRISTALES Y COMPOSICIÓN DE UNA PANTALLA

Fueron clasificados en 1922 por **Georges Friedel** en tres grupos, en razón de sus sustancias constitutivas. Estas son:

##### **ESMETICO**

Los basados en sustancias que tienen moléculas alargadas con tendencia a distribuirse en dos o tres capas. Los ejes de las moléculas están paralelos entre si y normales al plano de la capa.

##### **NEUMATICO**

Estos cristales no presentan la buena ordenación del anterior, ya que si bien sus moléculas están ordenadas con sus ejes mayores paralelos entre sí, las capas no están bien definidas.

##### **COLESTERICO**

Sus moléculas se disponen en capas ordenadas en paralelo, con la dirección de orientación de los ejes desplazadas en cada capa de modo helicoidal.

Un LCD está formado por dos delgadas placas de cristal y por una capa intermedia de un compuesto que da lugar al efecto de cristal líquido, el cual presenta una estructura molecular cristalina que se altera con la influencia de un campo electrónico generado como consecuencia de la aplicación de una tensión.

Se forma así un visualizador pasivo que no genera luz como los TRC (Tubo de Rayos Catódicos). Es un dispositivo que permite “transmisibilidad” o impide “reflectividad” el paso de la luz con las tensiones aplicadas a sus electrodos, los cuales están formados por delgadísimas capas de sustancias de condición conductora y transparente depositadas en las caras interiores de los dos cristales que encierran el dispositivo.

#### 4.7.2.2. CONFIGURACIÓN DEL LCD Y FUENTE DE LUZ

Para la descripción de la célula de cristal líquido que da lugar en un visualizador para televisor a un pixel o detalle de imagen. Es obvio que se requiere un elevado número de células para formar una imagen de calidad.

Un generador de temporización externo al LCD selecciona secuencialmente las líneas (barrido vertical) y cada una de ellas en un circuito de excitación aplica, también de modo secuencial, la información de video a las células (barrido horizontal) las cuales modulan la luz, dando lugar al contraste y a la imagen.

El LCD aplicado en televisión debe tener un modo de visualización transmisivo, es decir, que disponga de fuente luminosa interna, pues en otro modo no sería posible ver la imagen en ambientes con escasa o nula iluminación.

##### **CONTROL DE LA MATRIZ**

Para esta disposición surge la técnica denominada de transmisores de capa delgada, dando lugar así al visualizador TFT (Thin Film Transistor) que es ampliamente utilizada en las pantallas de los receptores con LCD:

Tales transistores de capa delgada constituyen los elementos de control de cada punto del matiz, ya que están asociados a la selección de fila y columna, que realiza el registro al

excitador respectivamente. Son de configuración unipolar y de condición transparente, ya que están situados junto a cada pixel de cristal líquido de la pantalla.

### **PANTALLAS DE COLOR**

Hasta ahora se ha considerado la célula LCD solo como moduladora de luz interior con la tensión aplicada a sus electrodos, tensión que, en la práctica, es la señal de video, pero sin tener en cuenta el color.

Dando que la luz interna es blanca y, por tanto, con componentes de los colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B), si se intercalan filtros a modos de gelatinas, se obtendrá color de modo similar al que proporciona un TRC. Tales filtros se depositan sobre un sustrato por medio de fotolitografía.

#### **4.7.2.3. EL RECEPTOR DE TV CON LCD**

Un receptor de televisión equipado con pantalla LCD solo difiere del convencional con TRC en los circuitos de barrido, al margen de las funciones complementarias (sintonía automática, datos en pantalla, etcétera) que incorpore la miniaturización externa a la que se hayan sometido sus circuitos.

#### **Registro Y**

Para el primer caso, el número de líneas de la pantalla y de los biestables, el registro deberá corresponderse con el número de líneas activas de cuadro del estándar al que está destinado al receptor de TV, y para el segundo únicamente con línea de campo.

Las salidas de los biestables excitan las puertas de los transmisores de película delgada (TFT) que controlan cada pixel de imagen.

#### **Excitador X**

En cada línea de barrido para que estas modulen la intensidad de la luz que atraviesa el LCD, no existe un único modo de efectuarlo, recurriéndose a las técnicas analógicas y digitales.

En el modo digital, las señales unitarias RGB son muestreadas y convertidas a formato digital primero y, después, a formato PWM (Modulación de Anchura de Impulsos), de tal modo que lo que se aplica a cada pixel es un impulso de anchura dependiente del nivel de la muestra, lo que supone que el tiempo de permanencia del pixel depende del tiempo, lo que determinara el nivel de brillo obtendrá.

#### **Temporizador**

El bloque temporizador es el encargado de proporcionar las señales de barrido del LCD. Parte de una frecuencia de reloj generada mediante un cristal de cuarzo o bien en configuración VCO, con varicap. Su valor corresponde a un múltiplo de la frecuencia de líneas como forma de sincronización mediante un PLL.

#### **Proyectores de video con LCD**

Está basado en la utilización de pantalla de cristal del modo transmisivo, para que en el momento de incorporar una fuente luminosa se disponga como un reflector, implica un conjunto de lentes con las que se enfocan y proyectan la imagen sobre una superficie blanca que es parte de la pantalla. Es un procedimiento similar empleado en los receptores miniatura, con la diferencia de la incorporación de una lámpara de gran potencia que emite una franja de



luz que es modulada por las células del tipo transmisor del LCD y el juego de lentes. (Perales, Televisión Actual, 2001)



Figura 4.3. Pantalla LCD.

#### 4.7.3. PDA

**La agenda personal o PDA (Personal Digital Agenda)** es una pequeña terminal concebida a modo de agenda de papel, es capaz de almacenar los mismos datos que en estas, es decir, información de contactos, datos personales y una agenda de tareas y citas.

No obstante, las PDA han ido progresivamente incorporando funcionalidades avanzadas que lo asemejan a un ordenador portátil de pequeño tamaño.

Las PDA suele incorporar mucho más aplicaciones informáticas que los teléfonos móviles (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Power Point, Acrobat Reader, etc.), además de pantallas de color, más grandes, táctiles y con sistemas de reconocimiento de escritura. Por otro lado, tienen una mayor capacidad de datos y de almacenamiento. Son, por lo tanto, más potentes para trabajar con herramientas ofimáticas y navegar por Internet.

Mediante la adopción de tecnologías inalámbricas para el acceso a internet, los usuarios pueden navegar por la red, conectados a la base de datos de la compañía suscrita, recibir pedidos, gestionar su agenda de contactos y consultar el correo electrónico, entre otras tareas.

Una característica que es considerada respecto a las PDA del Palm es que este fabricante ofrece un sistema operativo propio que requiere aplicaciones diseñadas exclusivamente para sus modelos de agendas. Al lograr un nuevo avance referente al momento en el que se logra sincronizar la agenda con el ordenador, este sistema operativo resulta totalmente compatible con el entorno Windows.

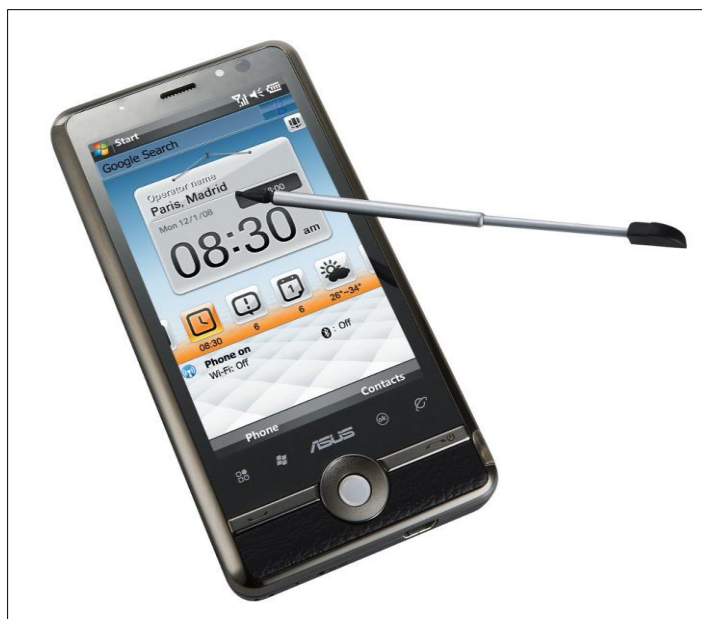


Figura 4.4. PDA (Personal Digital Agenda).

#### 4.7.4. CAMARA FOTOGRAFÍA DIGITAL

En el año 2003 las ventajas mundiales de **cámaras digitales** alcanzaron los 49 millones de unidades, superando ya el número de unidades de cámaras analógicas tradicionales.

Las razones de su éxito son, sin lugar a duda, la inmediatez de resultados que proporcionan, la posibilidad de visualizar en una pequeña pantalla la imagen captada, la facilidad con que se archivan ordenadamente las imágenes y la posibilidad de retocarlas mediante un programa gráfico.

Las características más importantes para determinar la calidad de una cámara digital son los megapíxeles (millones de píxeles o puntos de imagen) de resolución que ofrezca la óptica.

La óptica es otro factor determinante, tanto en la fotografía digital como en la tradicional, pues es a través de las lentes, por donde se capta la imagen.

Las cámaras compactas digitales que se utilizan actualmente por los usuarios, se presenta en la parte trasera dos formas de ver la fotografía que se captura: un visor óptico y una pantalla LCD.

El visor óptico es una herramienta útil para mejorar la calidad de la imagen, en cambio en las pantallas LCD no se distinguen los detalles completamente al momento que la luz solar impacta en la pantalla, además, que la cámara consume mucho más energía, reduciendo el tiempo útil de la batería.

Las fotografías capturadas por la cámara digital pueden ser impresas en el papel en las impresoras que tengan los usuarios o en los laboratorios digitales que se encuentran en tiendas físicas o por Internet, ofrecen la posibilidad de plasmar cualquier fotografía que se

deseo en papel, además de guardarlas en tarjeta de memoria, en CD o enviarlas por correo electrónico.



Figura 4.5. Cámara Digital.

#### 4.7.5. CINE EN CASA

Otro reciente dispositivo de gran éxito entre los cinéfilos, es el cine en casa, también conocido como **Home Cinema** o **Home Theatre**. Este dispositivo de sonido que mejora sensiblemente la calidad de los sistemas audiovisuales. Las casas se están convirtiendo en auténticas salas de proyección, con sistemas de una altísima calidad de imagen y audio.

Un sistema común de cine en casa cuenta con varios elementos fundamentales:

- **Reproductores de video**

La mejor opción es adquirir un sistema de cine en casa con reproductor de DVD y VHS integrados, aunque también pueden ser adquiridos por separado y ser conectados al sistema de cine en casa mediante el Euroconector. Es importante asegurarse que el DVD permita la reproducción de todo tipo de discos y formatos digitales (DVD-Video, DVD-R/RW, DVD+R/RW, CD MP3, CD audio, CD-R/RW, VCD, DivX, etc.).

- **Elementos de proyección**

La configuración dependerá en este caso mucho del presupuesto disponible, existiendo una gran variedad de productos de distintas tecnologías y dimensiones. Desde el clásico televisor con un tamaño mínimo de 28 pulgadas para aprovechar las excelencias de la calidad de la imagen de este formato, hasta los nuevos paneles de plasma. Lo ideal para ver películas en

formato DVD es contar con un televisor con formato panorámico (16:9) ya que se trata del formato nativo del DVD.

- **Altavoces**

Uno de las principales características del formato DVD es la notable mejoría en la calidad del sonido, totalmente natural, nítido y envolvente; aunque este detalle no podremos apreciarlo sin unos altavoces con unas características determinadas.

Los sistemas de altavoces que cumplen la especificación conocida por 5.1, consisten en 5 altavoces independientes, además de otro no direccionado o con salida dedicada al efecto de baja frecuencia para el *subwoofer* los juegos y películas en formato DVD incluyen ya una serie de estándares de audio como Dolby Digital y Digital Surround, para aprovechar las capacidades de calidad que ofrecen. El sistema Dolby Digital, básicamente, reparte los bits que componen el audio en 5 canales de alta calidad (dos frontales principales estéreo, uno central y dos traseros de efectos también estéreo), más otro canal de efectos de baja frecuencia, siendo dirigido cada canal a uno de los correspondientes 6 altavoces. Existen además sistemas con altavoces inalámbricos para facilitar aún más su instalación.



Figura 4.6. Sistema de un Cine en casa (DVD, Audio y Pantalla).

#### 4.7.6. CONSOLA DE VIDEOJUEGOS

Las videoconsolas actuales ofrecen la posibilidad de conectarse a Internet en sus mejorados modelos, aunque esta conexión está aun únicamente orientada a los juegos en la red. La próxima generación de videoconsolas hará que estos dispositivos se conviertan en auténticos centros de ocio doméstico, ofreciendo además de la capacidad de jugar en red, la posibilidad

de reproducir audio y video en otro tipo de formatos, como al acceso a todo tipo de servicios y contenidos en Internet.

En general el coste de estos dispositivos no es un problema, pues relativamente el precio se ajusta a los sistemas y funciones que ofrecen los equipos de videojuegos. El principal problema para los usuarios es que los juegos en la gran mayoría de las veces no son compatibles de una plataforma a otra.

Las consolas fijas, que requieren de un monitor o un televisor para jugar, están evolucionando hacia una mayor integración con el sistema audiovisual. Por ejemplo, PlayStation2 lo consigue mediante un aparato conocido por PSX. Ese dispositivo, que tiene mando a distancia, permite jugar con videojuegos, ver películas en DVD y, además grabar programas de televisión y almacenar contenidos de Internet. Se incluye un sincronizador de televisión, un sistema de conexión de banda ancha a la Red (Internet), un grabador de DVD y un gran disco duro con una capacidad para almacenar más de 200 horas de televisión. (Frenzel, 2003)



Figura 4.7. Videoconsolas y Video electrónica moderna.

## 4.8. SISTEMAS INTELIGENTES MANIPULADOS CON LA RADIOCOMUNICACIÓN (DOMÓTICA)

### 4.8.1. INTRODUCCIÓN

La **domótica** es la ciencia en su conjunto con los elementos desarrollados para mejorar la calidad de un servicio de forma que proporcionan algún nivel de automatización o automatismo dentro de la casa; pudiendo ser desde un simple temporizador para encender y apagar una luz o aparato a una hora determinada, hasta lo más complejos sistemas capaces de interactuar con cualquier elemento eléctrico del hogar.

La vivienda domótica es, por lo tanto, aquella que integra una serie de automatismos en materia de electricidad, electrónica, robótica, informática y telecomunicaciones; con el objetivo de asegurar al usuario un aumento de confort, de la seguridad, del ahorro energético, de las facilidades de comunicación, y de las posibilidades de entretenimiento. La domótica busca la integración de todos los aparatos del hogar, de forma que todo funcione en perfecta armónica, con la máxima utilidad y con la mínima intervención por parte del usuario.

El concepto de vivienda inteligente (*Smart house*), el cual era de hecho empleado antes de que naciese el de domótica. El término inteligente se utiliza en ámbitos informáticos para distinguir aquellos terminales con capacidad autónoma de procesamiento de datos, de aquellos sin esa capacidad. El problema es que el concepto de hogar inteligente se ha basado principalmente en funciones futuristas que a las novedades comerciales del momento. No obstante, este término es muy utilizado sobre todo en Hispanoamérica y Norte América, también describe lo que es la domótica, aunque sin estar limitado a la vivienda, sino a cualquier tipo de edificio. (Huidobro J. M., 2011)



Figura 4.8. De un Hogar Domótico.



## 4.8.2. DISPOSITIVOS DOMÓTICOS

Para que una vivienda tradicional, pueda convertirse en una vivienda domótica, es necesario instalar y configurar una serie de dispositivos, que deberán interconectarse entre sí a través de una red interna denominada red de control o red domótica, así como al exterior.

Los dispositivos que se deben instalar en la vivienda para posibilitar su automatización, control y seguridad son, básicamente: la pasarela residencial, el sistema de control centralizado, los sensores y actuadores, y los electrodomésticos inteligentes.

### 4.8.2.1. LA PASARELA RESIDENCIAL

La pasarela residencial (residential gateway) es el dispositivo frontera entre las distintas redes de acceso externas y las redes internas del edificio inteligente.

La pasarela residencial era, por lo tanto, el dispositivo encargado de realizar las siguientes actividades:

- ***La adaptación de protocolo a todos los niveles***

Las redes de edificio pueden utilizar distintos tipos de protocolos y medios físicos. Por lo general, se distinguen tres tipos de redes (control, datos y multimedia), pero incluso dentro de dichas redes se pueden utilizar tecnologías distintas. La pasarela deberá adaptar los protocolos para que todos los dispositivos se puedan entender entre sí.

- ***La gestión de las propias redes internas***

Desde la pasarela se monitorizara y supervisara el funcionamiento (configuraciones alarmas, gestión de fallos, cargas remotas y reinicios) de todas las redes de comunicaciones internas del edificio, permitiendo detectar y resolver anomalías, así como cambiar parámetros de configuración.

- ***La gestión de dispositivos internos***

La pasarela permite el control de todos los dispositivos internos. En la actualidad, para realizar dicho control se basa, generalmente, en los dispositivos de control centralizados. Es decir, la pasarela es la intermediaria a la hora de enviar un comando a un determinado sensor o actuador.

- ***La gestión de servicios internos***

La pasarela es el punto de acceso único a los servicios ofrecidos por los operadores de telecomunicaciones, proveedores de servicios y contenidos. Desde la pasarela, el servicio será dirigido al dispositivo o dispositivos apropiados para su disfrute.

- ***La gestión de seguridad de las comunicaciones***

La pasarela es la interfaz de comunicaciones entre la vivienda y el exterior. La pasarela debe permitir establecer una serie de reglas (como dirección IP de los dispositivos que pueden entrar al edificio, usuario y claves que puedan acceder al edificio, números de teléfono que pueden acceder al programa de control de pasarela, etcétera).

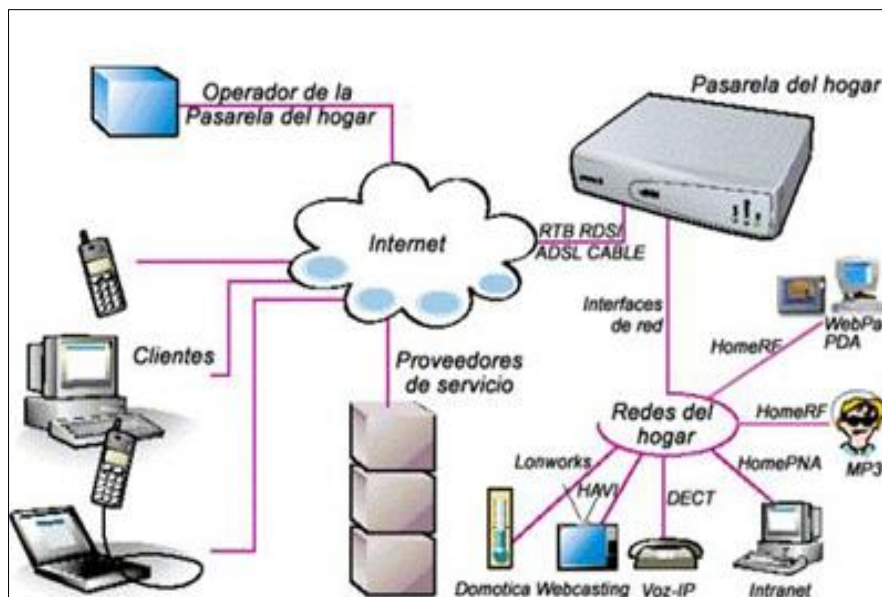


Figura 4.9. Estructura de la Pasarela Residencial.

#### 4.8.2.2. EL SISTEMA DE CONTROL CENTRALIZADO

El sistema de control centralizado es un cerebro electrónico encargado de recoger toda la información proporcionada por los sensores distribuidos en los distintos puntos de control de la vivienda, procesarla y generar las ordenes que serán ejecutadas por los actuadores e interruptores.

La información recibida de los sensores en la unidad de control centralizada se trata de un algoritmo que se introduce en la memoria del sistema; además, la unidad de control es capaz de proporcionar información del estado del sistema al operador. Por otro lado, el operador tiene la posibilidad de intervenir en el proceso, o la capacidad de tomar el mando por completo. Las decisiones deseadas serán enviadas a los distintos actuadores, con el fin que se produzca la acción correspondiente.

Las distintas interfaces soportadas por estos sistemas, para su programación y control, son las siguientes:

- **La interfaz local**

Generalmente, la interfaz que presentan es muy básica, a nivel de comando de texto, debido a la poca resolución y tamaño de la pantalla.

Es decir no es una interfaz muy amigable para realizar operaciones complejas.

- **La interfaz de voz**

La forma de control remoto tradicionalmente más utilizada era la telefónica. Para ello, el sistema de control centralizado debe estar conectado a una toma telefónica fija o disponer de una tarjeta modulo radio GSM en su interior.

Los sistemas de control centralizado suelen integrar un interfaz de voz, que permiten al usuario conocer o programar el estudio de su vivienda en cualquier momento y desde cualquier teléfono fijo o móvil, con tan solo marcar un número de teléfono.



Cuando sea el usuario el que llame al sistema, deberá autenticarse mediante la inserción de una contraseña numérica mediante el teclado del teléfono.

- ***Interfaz de mensajes móviles***

Este medio de comunicación es mucho más rápido y barato que en el caso de realizar una llamada al usuario, aunque también es menos fiable, ya que dicho mensaje podría no llegar al destinatario (problemas técnicos en el servidor de mensajes del operador móvil).

El usuario también podría enviar SMS en el que estuviese escrito un determinado comando a ejecutar sobre la central; no obstante, esto último es poco viable, el usuario debería aprenderse de memoria dichos comandos o bien llevar el manual correspondiente.

- ***La interfaz Web***

Es la última interfaz en ser incorporada en estos dispositivos y la que ofrece una mayor facilidad para el usuario. Es además, una interfaz muy potente, pues permite realizar varias operaciones más rápidamente, por ejemplo, la interfaz de voz.

Esta conexión puede realizarse desde el propio hogar u edificio desde un PC, TV o Web PAD. No obstante, el verdadero potencial está en poder ser utilizada por un PC remoto a través de Internet, para lo cual es necesario conectar la central a Internet mediante alguna tecnología de banda ancha con conexión permanente y de alta velocidad. El propio usuario podría utilizar cualquier tipo de conexión (RTC, RDSI, ADSL, cable, LMDS, etcétera).

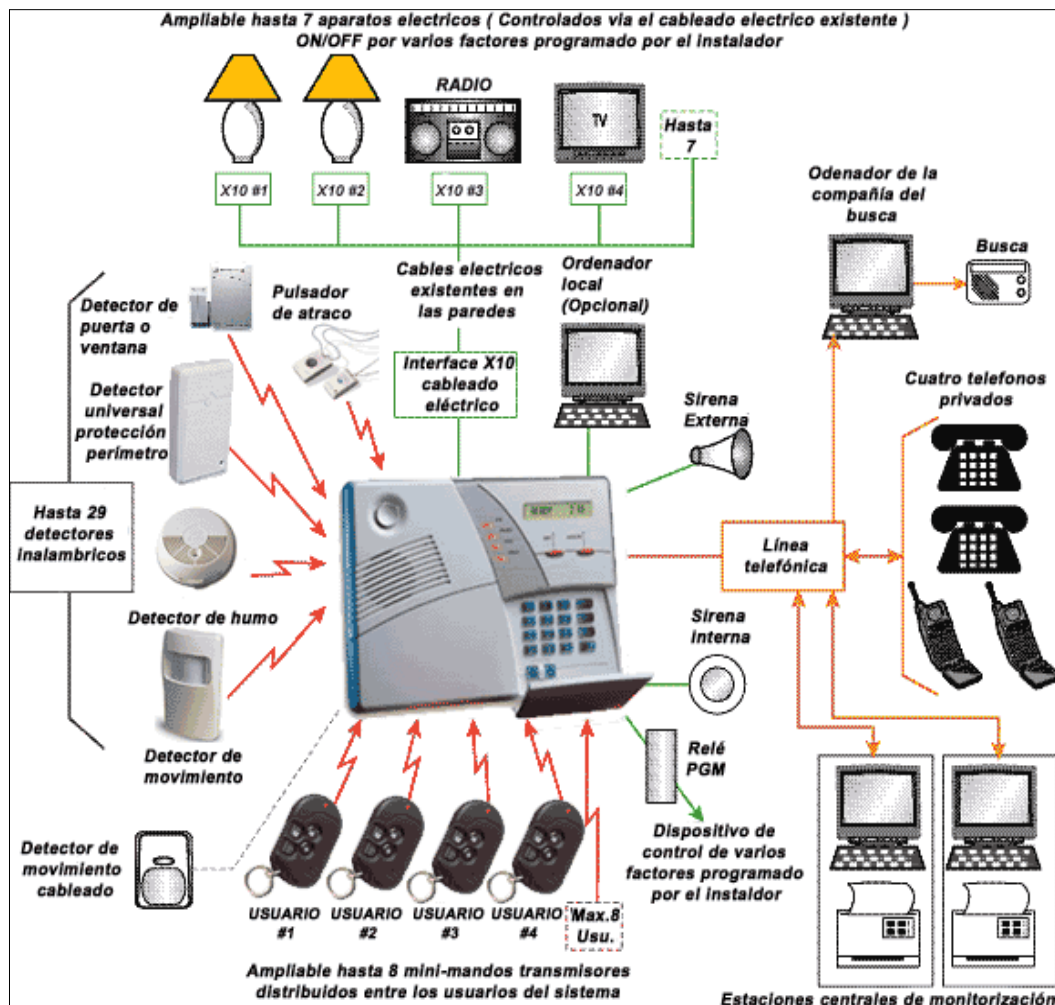


Figura 4.10. Sistema de Control Central.

#### 4.8.2.3. LOS SENSORES

Los sensores son los elementos encargados de recolectar la información obtenida del medio físico, en sus diferentes parámetros que controlan como son: la temperatura ambiente, la existencia de un escape de agua, la presencia de luz solar suficiente en una habitación, entre otras funciones. Es enviada al sistema de control centralizado donde la información es interpretada adecuadamente, para que se puedan realizar las acciones pertinentes en ese momento.

Existe una gran variedad de sensores o detectores utilizados para la automatización en edificios, siendo los que comúnmente se utilizan:

- **Termostato de ambiente**

Es el encargado de medir la temperatura de la zona, consigo permitir modificar los parámetros del ambiente para mejorar el clima del lugar.

- **Detector de gas**

Es utilizado para la detección de posibles fugas de gas, pudiendo evitar así la intoxicación de los usuarios del edificio o reducir la posibilidad de una explosión.

- **Detectores de humo y calor**

El detector de incendio más utilizado es el detector de humo, ya sea de tipo iónico (reacciona ante los humos y gases tóxicos invisibles) u óptico, pues facilitan la detección del fuego antes de que la estancia adquiera una temperatura elevada. Estos detectores pueden ser instalados en cualquier estancia de la vivienda, a excepción de la cocina. En las estancias donde puede existir una cierta cantidad de humo, deberá instalarse detectores de calor (de temperatura máxima o termovelocimétricos, que reaccionan a instante a los cambios bruscos de temperatura).

- **Sonda de humedad**

Está destinada a detectar posibles escapes de agua, evitando así inundaciones que dañen las moquetas, parque, tarimas, alfombras, etcétera.

- **Sensores de presencia**

Se emplean para la detección de intrusos en la vivienda o bien para automatizar funciones como la iluminación.

Los detectores de intrusión pueden ser volumétricos para la detección de movimiento o perimetrales para la detección de rotura o forcejeo de puerta de acceso y ventanas. Lo ideal es tener una combinación de ambos sistemas, aunque los detectores volumétricos pueden ser un problema en hogares con animales domésticos (perros, gatos, entre otro tipo de animales).



Figura 4.11. Tipos de Sensores.

#### 4.8.2.4. LOS ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos utilizados por el sistema de control centralizado, para modificar el estado de ciertos equipos o instalaciones (el aumento o la disminución de la calefacción o el aire acondicionado, el corte de suministro de gas o agua, el envío de una alarma a una central de seguridad, etcétera).

Entre los más comúnmente utilizados son: los contadores (o relés de actuación) de carril DIN, los contadores para base de enchufe, las electroválvulas de corte de suministro (gas y agua), las válvulas para la zonificación de la calefacción por agua caliente, y sirenas o elementos zumbadores para el aviso de alarmas en curso, entre muchos más.

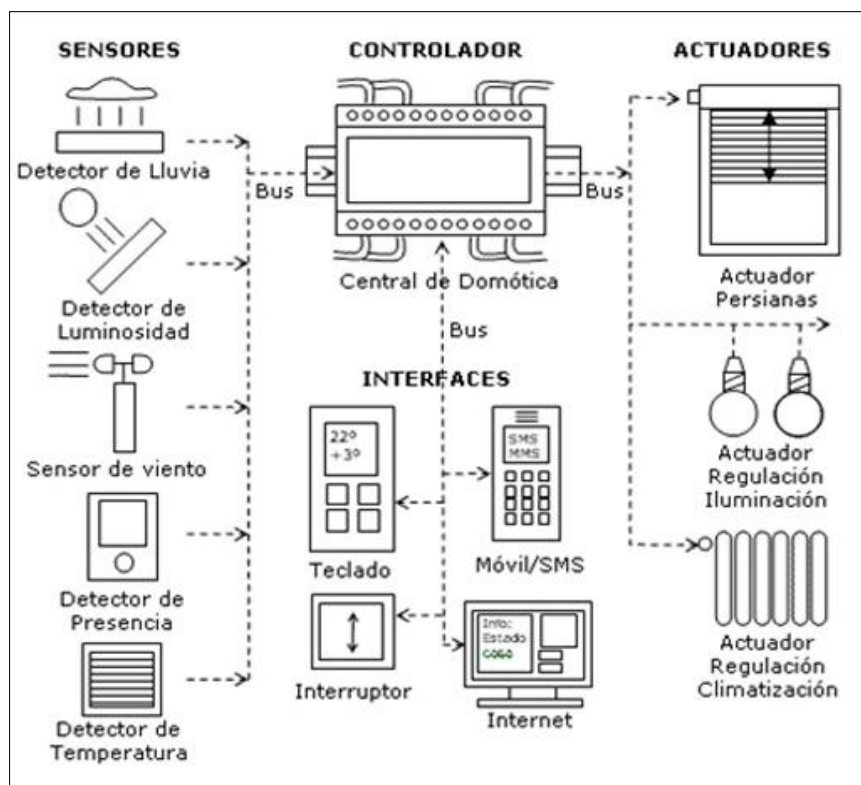


Figura 4.12. Diagrama de Actuadores y Sensores.

#### 4.8.2.5. LOS ELECTRODOMÉSTICOS INTELIGENTES

Los equipos electrodomésticos tradicionales, conocidos usualmente como aparatos electrodomésticos de “línea blanca”, nos facilitan las tareas cotidianas, mejorando así nuestro tiempo disponibles para el ocio. La nueva generación de electrodomésticos (frigoríficos, lavadoras, lavavajillas, hornos, microondas, secadoras, etcétera), que ya forman parte del mobiliario de los hogares (especialmente en el área de cocinas). Estos equipos electrodomésticos, conocidos como electrodomésticos inteligentes o electrodomésticos domóticos, están interconectados a través de la red de control y de la pasarela residencial, este sistema tienen la función de intercambiar información y realizar el enlace entre los diferentes equipos electrónicos, ser programados, procesados y controlados por el teléfono o por Internet. Los equipos electrodomésticos en su mayoría funcionan con un nivel de potencia eléctrica que deben ser conectadas a la red eléctrica.

El elemento de control de la red de electrodomésticos inteligentes, dependen del fabricante en cuestión: el propio frigorífico o un sistema de control centralizado específico puede ser independiente del que gestiona los sensores y actuadores de la vivienda. El frigorífico es el ejemplo de electrodoméstico más adecuado para realizar esta función, porque sus amplias

puertas permiten empotrar un ordenador con una amplia pantalla plana táctil desde la que se controlan el resto de los equipos electrodomésticos del hogar.

Por otro lado, los nuevos equipos electrodomésticos se suelen caracterizar por una alta eficiencia, un bajo nivel de ruido, un bajo consumo y la incorporación de sistemas ahorro energético.

Su programación y control es además mucho más sencilla que el de los equipos electrodomésticos tradicionales, ofrece intuitivas interfaces gráficas en sus pantallas táctiles.

### 4.8.3. APLICACIONES Y SERVICIOS DE LA DOMÓTICA

En el caso concreto de mencionar las relaciones existentes entre los sistemas técnicos domóticos y sus usuarios, prestando especial atención en las aplicaciones y servicios disponibles, por medio de las interfaces que hacen posible la comunicación entre las personas y los sistemas tecnológicos.

Las aplicaciones y servicios que la Domótica ofrece a sus usuarios finales, establece una clasificación de los mismos en tres principales áreas sociotécnicas, las cuales son: seguridad; cultura, ocio y entretenimiento; confort y ahorro energético.

Aprovechando la existencia de hogares conectados en los que se ubican múltiples equipos inteligentes, la Domótica permite no solo que interactúen entre sí, sino que también lo hagan con otros dispositivos que pueden encontrarse en el exterior de la vivienda, bien sea un automóvil, en el servidor de un proveedor de servicio externo, o bien en los diferentes equipos de comunicación móvil.

Un servicio domótico integra aplicaciones y servicios aislados, lo que permite la creación de nuevos y sofisticados servicios a partir de otros más básicos, donde el conjunto electrónico es más atractivo y eficiente que la suma de cada uno de los equipos electrónicos.

#### 4.8.3.1. SEGURIDAD

La seguridad es una de las aplicaciones más adelantada de la domótica, la que hoy en día contribuye en mayor medida en sus principales funciones en los sistemas domóticos de los hogares.

Mejorar la seguridad de los hogares es una importante necesidad social que repercute no solo en la protección de los bienes privados, sino también en la salvaguardia de los propios individuos.

En el caso de la seguridad perimetral y de intrusión, se combina cámaras y sensores para detectar la presencia de personas no deseadas. Los sistemas de seguridad técnica reúnen sensores de incendio, humo, agua, gas, falla en el suministro eléctrico o en la línea telefónica. La seguridad personal de asistencia de pánico permite a ancianos o personas con discapacidad emitir un aviso remoto ante una situación de peligro.

#### ***Seguridad perimetral y de intrusión***

Las aplicaciones de videovigilancia permiten observar lo que a cada momento ocurre en la vivienda desde fuera de ella, sin importar la distancia. En una pantalla se remonta la visualización de las imágenes proporcionadas por todas las cámaras instaladas en la vivienda,

aplicación que resulta útil para comprobar, por ejemplo, el estado de los niños durmiendo en sus camas, para supervisar el trabajo de la empleada doméstica, para confirmar una alerta de intrusión, para comprobar que puertas y ventanas están cerradas, entre otras. Estas imágenes pueden almacenarse para su visionado futuro, o pueden monitorearse en tiempo real desde muchos dispositivos con conectividad como la PC o teléfonos móviles. Los videos se complementan con la información que proporcionan los sensores perimetrales, volumétricos y detectores de presencia distribuidos por la vivienda, que en caso de alarma desencadenaran una serie de acciones previamente programadas, como puede ser la activación de una sirena, él envió de un aviso por SMS al propietario, el parpadeo de las luces, la notificación de la incidencia a la empresa de seguridad correspondiente, entre otras acciones.

Este mecanismo activa y desconecta de forma periódica las luces y la televisión, sube y baja las persianas, o incluso pueden reproducir sonidos pregrabados como conversaciones, ladridos de perro, etcétera.

### ***Seguridad técnica***

Las aplicaciones de seguridad técnica permiten configurar según las preferencias del usuario el comportamiento de la vivienda al producirse una alerta. Ante la detección de un escape de gas o agua, el corte del suministro eléctrico, un conato de incendio, entre otras. El sistema puede alertar al usuario con un mensaje SMS o un mensaje electrónico, avisar a la compañía de seguridad correspondiente y cerrar las válvulas o llaves de paso pertinentes para evitar algún problema. Así mismo el usuario puede monitorizar y modificar a voluntad el estado de funcionamiento de los sistemas instalados en la vivienda desde una terminal con conexión a Internet.

### ***Seguridad personal***

El usuario cuenta con una terminal portátil de fácil transporte como una pulsera o collar, que incorpora un botón de pánico. Ante una situación de peligro el usuario pulsa dicho botón, enviando así una alarma que será recibida en el centro asistencial. Este centro tiene información de las personas a las que atiende, como sus datos médicos, su ubicación o sus teléfonos de contacto, de forma que cuando recibe la señal de auxilio puede tomar con rapidez medidas de socorro. Esta respuesta puede canalizarse a través de familiares o vecinos, enviando personal del propio centro a la vivienda o solicitando aquellos servicios especializados que sean precisos (ambulancia, atención médica, policía o cualquier servicio de urgencias). Es bastante común que junto al pulsador se instale en la vivienda un sistema de audio de comunicaciones sin hilos, cuyo funcionamiento se dispare de forma automática con el botón de pánico, y permita al usuario hablar con el centro de atención desde cualquier estancia, sin necesidad de descolgar el teléfono ni acercarse a él.

La teleasistencia avanzada añade a lo anterior funcionalidades como el despliegue de cámaras que permitan visualizar rápidamente y a distancia el estado de las personas en caso de alarma, la posibilidad de actuar remotamente sobre dispositivos del hogar (por ejemplo, para abrir las puertas automáticamente a los servicios de emergencia), las medidas de parámetros médicos del usuario (tensión, glucosa, ritmo cardiaco).

#### **4.8.3.2. CULTURA, OCIO Y ENTRETENIMIENTO**

Con el objetivo de disfrutar en casa el usuario puede disponer a su gusto de múltiples formas de entretenimiento. Estos servicios emplean la sub red multimedia para ser accesibles desde

distintos puntos de la vivienda, y entablan la comunicación entre usuario y proveedor a través de la pasarela residencial. Por otro lado, la cultura y muy particularmente la educación, encuentran en la domótica un vehículo de transmisión con posibilidades realmente prometedoras.

### ***Video e imagen***

Los servicios de video facilitan la visualización de películas, documentales, noticias, acontecimientos deportivos, entre otras cosas. Las posibilidades que brindan estos servicios son mucho más amplias que las ofrecidas por la televisión convencional. La conexión de banda ancha a Internet multiplica el número de canales a los que se pueden tener acceso. La descarga de video bajo demanda y la televisión a la carta son ejemplos de personalización y adaptación de los contenidos al perfil de cada usuario.

El usuario puede consultar desde el televisor la previsión del tiempo en su ciudad, el estado del tráfico entre su lugar de residencia y la oficina, gestionar cuentas bancarias, interactuar en programas y concursos, conversar e intercambiar opiniones en tiempo real con otros televidentes, ente otras.

Asimismo, la fotografía y la grabación digital de video son actividades que se presentan a un interesante conjunto de servicios, como pueden ser su edición y/o impresión remota, su presentación en pantallas del propio hogar o en otras viviendas, la creación y gestión de álbumes y bibliotecas virtuales de medios en línea, entre otros.

### ***Audio***

La digitalización y las redes globales de datos han supuesto una verdadera revolución para la distribución convencional de música: ya no es necesario desplazarse a una tienda física para adquirir un disco de determinado artista, ni siquiera es preciso comprar un álbum completo: se pueden descargar canciones individuales y reproducirlas luego con total flexibilidad. De forma similar, los servicios de radio digitales permiten sintonizar centrales de miles de emisoras con una calidad de sonido óptima desde cualquier punto del mundo. La importancia social de la nueva radio es principalmente para el ocio (música, programas de humor).

### ***Juegos***

Las redes de datos con conectividad externa de banda ancha a través de la pasarela residencial permiten nuevas formas de videojuegos en red, con usuarios múltiples que bien podrían estar repartidos por el interior de la misma casa, en el vecindario más próximo, o en la otra punta del mundo. Los servicios de alquiler de juegos en línea o las plataformas virtuales multijugador, con sus comunidades y foros asociados.

### ***Teleeducación***

Para cada nivel educativo la teleeducación debe adoptar una modalidad específica para ser óptima. En efecto, para la enseñanza primaria la característica presencial es del todo necesaria, jugando la educación a larga distancia un papel limitado. Sin embargo, la teleeducación si cuenta con mecanismos complementarios especialmente útiles para pequeños y jóvenes, como son el acceso a una gran biblioteca universal a través de la Red o la posibilidad de enriquecer, reforzar y personalizar la enseñanza presencial con juegos, pequeños experimentos interactivos y prácticos en línea.



Aunque en la universidad puede persistir de forma transitoria una cierta resistencia al cambio, lo cierto es que la creciente complejidad de la vida laboral imprime requisitos profesionales en constante evolución. Aquí, el ineludiblemente, el cambio es continuo, en este sentido la teleenseñanza puede facilitar enormemente que el trabajador se actualice desde su casa, y en los tiempos que disponga.

#### **4.8.3.3. CONFORT Y AHORRO ENERGÉTICO**

Se refiere aquellas aplicaciones y servicios que permiten mejorar la calidad de vida de los usuarios al portar soluciones que facilitan la realización de tareas domésticas rutinarias, que suponen una comodidad añadida y que simultáneamente optimizan el consumo energético.

##### ***Iluminación***

En una vivienda domótica el usuario puede decir que luz o grupo de luces controla cada interruptor, pudiendo cambiar esta decisión cuando lo desee. Igualmente, es posible regular la intensidad de dichas luces, generando distintos ambientes según sus deseos y necesidades, ver la televisión, leer, dormir, etcétera. También se puede alertar al usuario sobre la existencia de bombillas o circuitos averiados. Hacer uso de los detectores de presencia para pagar automáticamente las luces de aquellas estancias en las que no haya nadie. Las posibilidades son ciertamente amplias.

##### ***Climatización***

Según los sistemas instalados, es posible diferenciar zonas de la vivienda con regulación independiente de temperatura. De esta manera se puede optimizar el consumo de aire acondicionado o calefacción. En este mismo campo se sitúa el control de ventanas, toldos y persianas motorizadas, sobre las que se actúa en función de las condiciones climatológicas, la hora del día y los deseos concretos del usuario.

##### ***Lectura remota de contadores***

Este servicio permite tanto a técnicos de la empresa de luz, gas o agua, como a los propios usuarios, comprobar la lectura de los respectivos contadores que se sitúan en el interior de la vivienda.

##### ***Portero automático integrado***

La señal de audio (y video, si la hubiera) del portero automático se integra con el teléfono y la televisión, de forma que sea posible usar ambos aparatos para atender a una llamada del portero automático. De este modo el usuario no tendrá que desplazarse hasta la consola del portero automático para entablar una conversación con el que llama o para abrirle la puerta. Esta aplicación puede sofisticarse de modo que la llamada del portero se desvíe automáticamente a un teléfono móvil en caso de que la vivienda este vacía, como complemento al sistema de simulación de presencia.

##### ***Escenas***

La aplicación para generar escenas nos permite crear una secuencia de acciones que queremos se ejecuten con una sola orden. Una vez creadas, las distintas escenas serán rápidamente accesibles desde el sistema de control centralizado. También podremos asociar escenas a un pulsador de la vivienda, o definir escenas que automáticamente se disparen al detectarse un determinado evento en la vivienda. Un ejemplo práctico, de escena sería aquella que, con un



simple orden del usuario cuando este salga de vacaciones, cierre todas las persianas, luces, llaves de paso del gas y del agua, active los sistemas de seguridad de la vivienda.

#### **Control de consumo y eficiencia energética**

Los sistemas domésticos admiten aplicaciones de control de consumo energético que permiten, por ejemplo, la programación de encendido del lavavajillas durante la noche para ahorrar en la factura eléctrica, o la desconexión momentánea de la lavadora al encender el horno para evitar picos de consumo. Asimismo, el sistema de control puede optimizar el gasto energético en calefacción, aire acondicionado o iluminación según las medidas proporcionadas por los sensores diseñados para la vivienda. (Martín & Saéz, Domótica: Un enfoque sociotécnico, 2006)

## 4.9. NUEVAS TECNOLOGÍAS SATELITALES

### 4.9.1. DESARROLLO DE LA COMUNICACIÓN POR SATÉLITE

Las decisiones de privatización han tenido como objetivo acelerar el desarrollo y hacer más eficientes las telecomunicaciones nacionales, así como establecer las condiciones que permitan participar con la fuerza necesaria en los mercados globalizados. Las políticas mundiales de desregulación han eliminado las fronteras entre sistemas satelitales domésticos, regionales e internacionales, la demanda de nuevos servicios han crecido sustancialmente. Común denominador es el que los gobiernos se mantienen como entes reguladores, que fijan las normas y políticas conforme a los objetivos e intereses propios de cada país. En dichas privatizaciones se observa también la presencia de empresas de servicios de telecomunicaciones, tales como la telefonía y televisión, con participaciones importantes en las sociedades respectivas. Asimismo, es común observar la participación de empresas de tecnología satelital, por su importancia en el desarrollo de los distintos proyectos, así como para dinamizar la industria al ampliar las posibilidades de transferencia de tecnología.

En los sistemas más recientes se observa un acelerado crecimiento en pocos años, pues las privatizaciones realizadas, que combinan a empresas de servicios de telecomunicaciones y empresas de tecnología con grupos o entidades financieras, logran establecer esquemas tarifarios competitivos en beneficio de todos los participantes de la industria.

| Sistema o empresa   | País      | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|---------------------|-----------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Deutsche Telekom    | Alemania  | DFS Kopernikus-2        | 1990               | 10                  |
|                     |           | DFS Kopernikus-3        | 1992               | 10                  |
| Nahuelsat           | Argentina | Nahuel 1 A              | 1997               | 12                  |
| Optus Communication | Australia | Optus B1                | 1992               | 14                  |
|                     |           | Optus B2R               | 1994               | 14                  |

| Sistema o empresa                        | País                   | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|--|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Embratel                                 | Brasil                 | Brazilsat B1            | 1994               | 12                  |
|  |                        | Brazilsat B2            | 1995               | 12                  |
|  |                        | Brazilsat B3            | 1998               | 12                  |
|  |                        | Brazilsat B4            | 2000               | 12                  |
| Telesat Canada                           | Canadá                 | Anik E1                 | 1991               | 14                  |
|  |                        | Anik F1                 | 2000               | 15                  |
|  |                        | Nimiq 1                 | 1999               | 14                  |
|  |                        | Anik F2                 | 2002               | 15                  |
| Asia Pasific Telecom Satellite           | China                  | Apstar 1                | 1994               | 12                  |
|  |                        | Apstar 3                | 1996               | 12                  |
|  |                        | Apstar 4                | 1997               | 12                  |
| Asia Satellite Telecom                   | China                  | Asiasat 1               | 1990               | 10                  |
|  |                        | Asiasat 2               | 1995               | 13                  |
|  |                        | Asiasat 3SA             | 1999               | 15                  |
| China Telecom and Broadcasting Satellite | China                  | Dongfanghong 3R         | 1997               | 8                   |
|  |                        | Zhongxing 8             | 2000               | 10                  |
| Sino Satellite Communication             | China                  | Sinosat 1               | 1998               | 15                  |
| South Korea Telecom                      | Corea del Sur          | Koreasat 1              | 1995               | 10                  |
|  |                        | Koreasat 2              | 1996               | 10                  |
|  |                        | Koreasat 3              | 1999               | 15                  |
| Egyptian Radio and TV Union              | Egipto                 | Nilesat 101             | 1998               | 12                  |
|  |                        | Nilesat 102             | 2000               | 12                  |
| Thuraya Satellite Communications         | Emiratos Arabes Unidos | Thuraya 1               | 2000               | 12                  |
| Hispasat                                 | España                 | Hispasat 1A             | 1992               | 10                  |
|  |                        | Hispasat 1B             | 1993               | 10                  |
|  |                        | Hispasat 1C             | 2000               | 15                  |

| Sistema o empresa                | País           | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|----------------------------------|----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Alascom                          | Estados Unidos | Aurora 2                | 1991               | 12                  |
| American Mobile Satellite        | Estados Unidos | AMSC-1                  | 1995               | 12                  |
| Columbia Communications          | Estados Unidos | Columbia 515            | 1989               | 9                   |
| DirecTV                          | Estados Unidos | DirecTV-1               | 1993               | 15                  |
|                                  |                | DirecTV-2               | 1994               | 15                  |
|                                  |                | DirecTV-3               | 1995               | 15                  |
|                                  |                | DirecTV-4               | 1999               | 15                  |
|                                  |                | DirecTV-5               | 2001               | 12                  |
| EchoStar Communications          | Estados Unidos | EchoStar 1              | 1995               | 12                  |
|                                  |                | EchoStar 2              | 1996               | 12                  |
|                                  |                | EchoStar 3              | 1997               | 12                  |
|                                  |                | EchoStar 4              | 1998               | 12                  |
|                                  |                | EchoStar 5              | 1999               | 12                  |
|                                  |                | EchoStar 6              | 2000               | 12                  |
| Hughes Communications            | Estados Unidos | SBS 5                   | 1998               | 10                  |
|                                  |                | SBS 6                   | 1990               | 10                  |
| Loral Orion Network Systems      | Estados Unidos | Orion 1                 | 1994               | 12                  |
| NASA Goddard Space Flight Center | Estados Unidos | TDRS I-F3               | 1998               | 10                  |
|                                  |                | TDRS I-F4               | 1989               | 10                  |
|                                  |                | TDRS I-F5               | 1991               | 10                  |
|                                  |                | TDRS I-F6               | 1993               | 10                  |
|                                  |                | TDRS I-F7               | 1995               | 10                  |
|                                  |                | TDRS 2-F1               | 2000               | 11                  |
|                                  |                | TDRS 2-F2               | 2001               | 11                  |

| Sistema o empresa            | País                   | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| PanAmSat                     | Estados Unidos         | Galaxy 5                | 1990               | 10                  |
|                              |                        | Galaxy 6                | 1992               | 10                  |
|                              |                        | Galaxy 1RR              | 1994               | 9                   |
|                              |                        | Galaxy 8                | 1995               | 15                  |
|                              |                        | Galaxy 9                | 1996               | 15                  |
|                              |                        | Galaxy 8i               | 1997               | 14                  |
|                              |                        | Galaxy 11               | 1999               | 15                  |
|                              |                        | Galaxy 4R               | 2000               | 15                  |
|                              |                        | Galaxy 10R              | 2000               | 15                  |
|                              |                        | PAS-2                   | 1994               | 15                  |
|                              |                        | PAS-3R                  | 1995               | 15                  |
|                              |                        | PAS-4                   | 1996               | 15                  |
|                              |                        | PAS-5                   | 1997               | 15                  |
|                              |                        | PAS-6                   | 1997               | 15                  |
|                              |                        | PAS-6B                  | 1998               | 15                  |
|                              |                        | PAS-7                   | 1998               | 15                  |
|                              |                        | PAS-8                   | 1998               | 15                  |
|                              |                        | PAS-IR                  | 2000               | 15                  |
|                              |                        | PAS-9                   | 2000               | 15                  |
| PAS-10                       | 2001                   | 15                      |                    |                     |
| SES Americom                 | Estados Unidos         | AMC-1                   | 1996               | 15                  |
|                              |                        | AMC-2                   | 1997               | 15                  |
|                              |                        | AMC-3                   | 1997               | 15                  |
|                              |                        | AMC-4                   | 1999               | 15                  |
|                              |                        | AMC-5                   | 1998               | 15                  |
|                              |                        | AMC-6                   | 2000               | 15                  |
|                              |                        | AMC-7                   | 2000               | 15                  |
|                              |                        | AMC-8                   | 2000               | 15                  |
|                              |                        | AAP-1                   | 2000               | 15                  |
|                              |                        | GStar 4                 | 1990               | 10                  |
|                              |                        | Satcom C1               | 1990               | 12                  |
|                              |                        | Satcom C3               | 1992               | 12                  |
|                              |                        | Satcom C4               | 1992               | 12                  |
| Spacenet 4                   | 1991                   | 10                      |                    |                     |
| Sirius Satellite Radio       | Estados Unidos         | Sirius 1                | 2000               | 15                  |
|                              |                        | Sirius 2                | 2000               | 15                  |
|                              |                        | Sirius 3                | 2000               | 15                  |
| TCI Satellite Entertainment  | Estados Unidos         | Temposat 2              | 1997               | 12                  |
| Wold Space                   | Estados Unidos         | AfriStar                | 1998               | 15                  |
|                              |                        | AsiStar                 | 2000               | 15                  |
|                              |                        | Ameristar               | 2002               | 15                  |
| XM Satellite Radio           | Estados Unidos         | XM Rock                 | 2001               | 15                  |
|                              |                        | XM Roll                 | 2001               | 15                  |
| Lockheed Martin Intersputnik | Estados Unidos / Rusia | LMI 1                   | 1999               | 15                  |

| Sistema o empresa                 | País                            | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Eutelsat                          | Europa                          | Eutelsat 2-F1           | 1990               | 9                   |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F2           | 1991               | 9                   |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F3           | 1991               | 9                   |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F4           | 1992               | 9                   |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F6*          | 1995               | 11                  |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F7*          | 1996               | 14                  |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F8*          | 1997               | 14                  |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F9*          | 1998               | 14                  |
|                                   |                                 | Eutelsat 2-F10*         | 1998               | 14                  |
|                                   |                                 | Eutelsat W-F1           | 2000               | 12                  |
|                                   |                                 | Eutelsat W-F2           | 1998               | 12                  |
|                                   |                                 | Eutelsat W-F3           | 1999               | 12                  |
|                                   |                                 | Eutelsat W-F4           | 2000               | 12                  |
|                                   |                                 | Sesat                   | 2000               | 10                  |
|                                   |                                 | Eurobird (Europesat 1)  | 2001               | 12                  |
| Atlantibid 1                      | 2001                            | 12                      |                    |                     |
| Atlantibird 2                     | 2002                            | 12                      |                    |                     |
| Mabuhay Philippines Satellite     | Filipinas                       | Agila 2                 | 1997               | 14                  |
| Europe Star                       | Francia                         | Europe Satr FM1         | 2000               | 13                  |
| France Telecom                    | Francia                         | Telecom 2A              | 1991               | 10                  |
|                                   |                                 | Telecom 2B              | 1992               | 10                  |
|                                   |                                 | Telecom 2C              | 1995               | 10                  |
|                                   |                                 | Telecom 2D              | 1996               | 10                  |
| Telediffusion de France           | Francia                         | TDF-2                   | 1990               | 8                   |
| India Space Research Organization | India                           | Insat 1D                | 1990               | 7                   |
|                                   |                                 | Insat 2A                | 1992               | 9                   |
|                                   |                                 | Insat 2B                | 1993               | 9                   |
|                                   |                                 | Insat 2C                | 1995               | 9                   |
|                                   |                                 | Insat 2D-R              | 1992               | 7                   |
|                                   |                                 | Insat 2E                | 1999               | 10                  |
|                                   |                                 | Insat 3B                | 2000               | 14                  |
|                                   |                                 | Insat 3C                | 2002               | 10                  |
| PT Satelit Palapa Indonesia       | Indonesia                       | GSAT 1                  | 2001               | 5                   |
|                                   |                                 | Palapa B2R              | 1900               | 8                   |
|                                   |                                 | Palapa B4               | 1992               | 8                   |
|                                   |                                 | Palapa C1               | 1996               | 14                  |
|                                   |                                 | Palapa C2               | 1996               | 14                  |
| Asia Cellular Satellite           | Indonesia, Filipinas, Tailandia | Telkom 1                | 1999               | 15                  |
|                                   |                                 | Garuda 1                | 2000               | 14                  |

| Sistema o empresa             | País          | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|-------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Inmarsat                      | Internacional | Inmarsat 2-F1           | 1990               | 10                  |
|                               |               | Inmarsat 2-F2           | 1991               | 10                  |
|                               |               | Inmarsat 2-F3           | 1991               | 10                  |
|                               |               | Inmarsat 2-F4           | 1992               | 10                  |
|                               |               | Inmarsat 3-F1           | 1996               | 13                  |
|                               |               | Inmarsat 3-F2           | 1996               | 13                  |
|                               |               | Inmarsat 3-F3           | 1996               | 13                  |
|                               |               | Inmarsat 3-F4           | 1997               | 13                  |
|                               |               | Inmarsat 3-F5           | 1998               | 13                  |
| Intelsat                      | International | Intelsat 603            | 1999               | 13                  |
|                               |               | Intelsat 604            | 1991               | 13                  |
|                               |               | Intelsat K              | 1992               | 10                  |
|                               |               | Intelsat 701            | 1993               | 15                  |
|                               |               | Intelsat 702            | 1994               | 15                  |
|                               |               | Intelsat 703            | 1994               | 15                  |
|                               |               | Intelsat 704            | 1995               | 15                  |
|                               |               | Intelsat 706            | 1995               | 15                  |
|                               |               | Intelsat 707            | 1996               | 15                  |
|                               |               | Intelsat 709            | 1996               | 15                  |
|                               |               | Intelsat 801            | 1997               | 14                  |
|                               |               | Intelsat 802            | 1997               | 14                  |
|                               |               | Intelsat 803            | 1997               | 14                  |
|                               |               | Intelsat 804            | 1997               | 14                  |
|                               |               | Intelsat 805            | 1998               | 14                  |
|                               |               | Intelsat 806            | 1998               | 14                  |
|                               |               | Intelsat 901            | 2001               | 13                  |
|                               |               | Intelsat 902            | 2001               | 13                  |
|                               |               | Intelsat 903            | 2001               | 13                  |
|                               |               | Intelsat 904            | 2002               | 13                  |
| Intelsat 905                  | 2002          | 13                      |                    |                     |
| Intelsat 906                  | 2002          | 13                      |                    |                     |
| Intelsat 907                  | 2003          | 13                      |                    |                     |
| Intelsat 10-1                 | 2003          | 13                      |                    |                     |
| Intelsat 10-2                 | 2003          | 13                      |                    |                     |
| Israel Aircraft Industries    | Israel        | AMOS-1                  | 1996               | 10                  |
| NuevoTelespazio               | Italia        | Italsat F2              | 1996               | 8                   |
| Broadcasting Satellite System | Japon         | BSAT-1A                 | 1997               | 10                  |
|                               |               | BSAT-1B                 | 1998               | 10                  |
|                               |               | BSAT-2A                 | 2001               | 10                  |
|                               |               | BSAT-2B                 | 2001               | 12                  |
| Japan Satellite System        | Japon         | JCSat-1                 | 1989               | 12                  |
|                               |               | JCSat-2                 | 1990               | 12                  |
|                               |               | JCSat-3                 | 1995               | 12                  |
|                               |               | JCSat-4                 | 1997               | 12                  |
|                               |               | JCSat-5                 | 1999               | 14                  |

| Sistema o empresa                  | País          | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|------------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Space Communications               | Japon         | Superbird 4             | 2000               | 13                  |
|                                    |               | Superbird 5             | 2000               | 15                  |
|                                    |               | Superbird A1            | 1992               | 10                  |
|                                    |               | Superbird B1            | 1992               | 10                  |
|                                    |               | Superbird C             | 1997               | 13                  |
| Telecom Advancement Organization   | Japon         | BS-3N                   | 1994               | 7                   |
|                                    |               | N-Star A                | 1995               | 10                  |
|                                    |               | N-Star B                | 1996               | 10                  |
| SES                                | Luxemburgo    | Astra 1A                | 1988               | 10                  |
|                                    |               | Astra 1B                | 1991               | 10                  |
|                                    |               | Astra 1C                | 1993               | 15                  |
|                                    |               | Astra 1D                | 1994               | 15                  |
|                                    |               | Astra 1E                | 1995               | 15                  |
|                                    |               | Astra 1F                | 1996               | 15                  |
|                                    |               | Astra 1G                | 1997               | 15                  |
|                                    |               | Astra 1H                | 1999               | 15                  |
|                                    |               | Astra 2A                | 1998               | 15                  |
|                                    |               | Astra 2B                | 2000               | 15                  |
|                                    |               | Astra 2C                | 2001               | 15                  |
|                                    |               | Astra 2D                | 2000               | 12                  |
|                                    |               | Astra 1K                | 2001               | 13                  |
| Binariang                          | Malasia       | Measat 1                | 1996               | 12                  |
|                                    |               | Measat 2                | 1996               | 12                  |
| Arab Satellite Communications Org. | Medio Oriente | Arabsat 2A              | 1996               | 14                  |
|                                    |               | Arabsat 2B              | 1996               | 14                  |
|                                    |               | Arabsat 3A              | 1999               | 15                  |
| Satmex                             | México        | Solidaridad 2           | 1994               | 14                  |
|                                    |               | Satmex 5                | 1998               | 15                  |
|                                    |               | Satmex 6                | 2003               | 15                  |
| Telenor Satellite Service          | Noruega       | Thor 1                  | 1990               | 12                  |
|                                    |               | Thor 2                  | 1997               | 12                  |
|                                    |               | Thor 3                  | 1998               | 12                  |
|                                    |               | TV-Sat 2                | 1989               | 10                  |
| Gazkom Joint Stock                 | Rusia         | Yamal 1                 | 1999               | 12                  |
|                                    |               | Yamal 2                 | 1999               | 12                  |
| Informcosmos                       | Rusia         | Ekran M1                | 2001               | 3                   |
|                                    |               | Gals 1                  | 1994               | 7                   |
|                                    |               | Gals 2                  | 1995               | 7                   |
| Interputnik                        | Rusia         | Express 3               | 1996               | 5                   |
|                                    |               | Gorizont 33             | 1996               | 3                   |
|                                    |               | Gorizont 34             | 1996               | 3                   |
|                                    |               | Gorizont 35             | 2000               | 3                   |
| Media Most                         | Rusia         | Bonum 1                 | 1998               | 12                  |
| Russian Ministry of Communications | Rusia         | Express-A2              | 2000               | 6                   |
|                                    |               | Express-A3              | 2000               | 6                   |

| Sistema o empresa                   | País            | Nombre de los satélites | Año de lanzamiento | Vida útil de diseño |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Russian Space Agency                | Rusia           | Luch 2                  | 1995               | 5                   |
| Singapore Telecom, Chunghwa Telecom | Singapur, China | SingTel-1               | 1998               | 12                  |
| Nordiska Satellitaktiebolaget       | Suecia          | Sirius 2                | 1997               | 14                  |
|                                     |                 | Sirius 3                | 1998               | 12                  |
| Shinawatra Satellite                | Tailandia       | Thaicom 1               | 1993               | 14                  |
| Shinawatra Satellite                | Tailandia       | Thaicom 2               | 1994               | 14                  |
|                                     |                 | Thaicom 3               | 1997               | 14                  |
| Eurasiasat SAM                      | Turquia         | Eurasiasat              | 2001               | 15                  |
| Turkish PTT                         | Turquia         | Turkasat IB             | 1994               | 13                  |
|                                     |                 | Turkasat IC             | 1996               | 13                  |

Tabla 4.2. Principales Sistemas Satelitales Geoestacionarios de Comunicaciones.

Fuente: (Neri, 2003)

#### 4.9.2. SISTEMAS DE SERVICIO FIJO

Una red de comunicaciones de servicio fijo consiste en uno o varios satélites y las estaciones terrenas que se intercomunican a través de ellos, con la particularidad de que las estaciones siempre permanecen en el mismo punto geográfico donde se han instalado inicialmente, es decir, son fijas.

Un caso muy particular es el de las unidades llamadas “móviles”, que consiste en un plato parabólico, el equipo electrónico necesario de transmisión y recepción, y una planta propia de energía eléctrica, montados en una camioneta o camión; estas unidades móviles son especialmente útiles cuando se desea ofrecer un servicio temporalmente, o cubrir algún acontecimiento de corta duración que se desarrolle en un lugar carente de instalaciones propias de transmisión o recepción, por ejemplo, la transmisión de un encuentro deportivo, una reunión internacional de funcionarios, una campaña electoral, las comunicaciones de auxilio e información en algún caso de siniestro.

La mayor parte de las estaciones terrenas que existen en el mundo operan en la modalidad de servicio fijo, sin importar si la red de comunicaciones a la que pertenecen es doméstica, regional o internacional.

#### 4.9.3. SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN DIRECTA DE TV

Se describe, a manera de ejemplo, dos sistemas de distribución directa de **TV digital (DirecTV y SES)**, que tiene mucha similitud con el servicio fijo, ya que las antenas parabólicas de recepción de los usuarios siempre permanecen fijas. Sin embargo, las frecuencias de los enlaces ascendentes o alimentadores son mucho más altas que las empleadas para el servicio fijo tradicional.



#### 4.9.3.1. DIRECT-TV

En una segunda etapa de radiodifusión televisiva, el servicio digital se inició formalmente en los Estados Unidos en 1994, con el lanzamiento del servicio DirecTV. Los satélites que actualmente transmiten televisión digital en la banda Ku son aparatos de muy alta potencia, construidos esencialmente para eso; sus amplificadores mejoran potencias de transmisión de 200 watts o más, lo que hace posible que los usuarios puedan recibir los canales de TV con alta calidad a través de antenas pequeñas, del orden de medio metro de diámetro, a pesar de que la banda Ku las atenuaciones son mayores que en la banda C.

#### 4.9.3.2. SES GLOBAL

La familia de satélites ASTRA pertenece a la empresa Société Européenne des Satellites (SES), con sede en Luxemburgo, que data desde 1988 y que en el año 2001 adquirió el 100% de la flota de la compañía estadounidense GE America Communications (GE Americom), convirtiéndose así en uno de los consorcios satelitales más importantes del mundo: SES Global.

SES Astra es el proveedor principal de transpondedores para el servicio de DBS o TV directa a los hogares y cuenta con 14 satélites; uno de ellos, es el Astra 1H, tiene dos transpondedores en banda Ka de 70 W cada uno, para servicios multimedia, además de varios otros en la banda Ku para la distribución normal de TV.

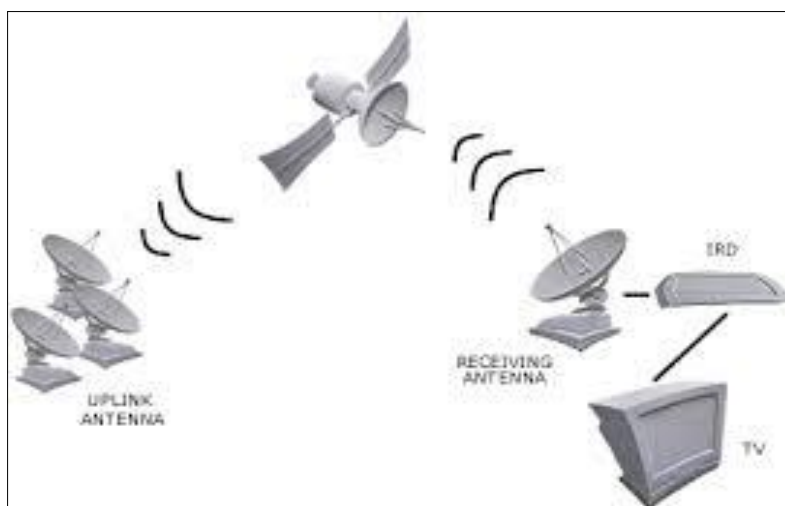


Figura 4.13. Satélite para la transmisión de TV Digital.

#### 4.9.4. SISTEMAS DE RADIO DIGITAL

La radiodifusión directa, exclusivamente mencionando la radio digital se transmite en hogares, automóviles u otros dispositivos móviles se encuentran las señales en las bandas L y S es un servicio novedoso y propiamente del Siglo XXI. A continuación se describen los sistemas Worldspace, Sirio y XM Satellite Radio.

##### 4.9.4.1. WORLDSPACE

Afristar, AsiaStar y AmericaStar fueron colocados en órbita, respectivamente, en 1998,2000 y 2002. Cada satélite geostacionario transmite tres haces destinados hacia tres áreas del servicio.

Cada uno de los tres haces de cada satélite pueden entregar cerca de 50 canales de audio y programación multimedia en el segmento de la banda L, que está asignado por UIT para la transmisión de audio.

El satélite retransmite la señal en uno, dos o en sus tres haces. Los receptores terrestres recogen la señal y reproducen el sonido en aparatos modulares caseros, con calidad cercana a la de un disco compacto.

#### 4.9.4.2. SIRIO

Este sistema ofrece 50 canales musicales libres de segmentos comerciales y 50 canales de noticias, deportes, comedia e infantiles, directamente en los vehículos de sus clientes dentro del territorio norteamericano.

El enlace comienza en sus estudios de distribución nacional, donde se crean los programas y transmiten hacia las estaciones repetidoras en tierra y los tres satélites en órbita, los cuales a su vez la reenvían hacia los receptores en los vehículos.

Las señales de radio también son distribuidas a través de los transmisores localizados en las grandes áreas urbanas, para completar la cobertura satelital en donde los altos edificios podrían bloquear la señal momentáneamente.

El módulo del sistema es un sistema activo con varios elementos para “escuchar”, la señal terrestre y la señal en el espacio satelital; recoge las señales disponibles, las amplifica, filtra el ruido e interferencia y realiza la conducción hacia el módulo receptor. El conjunto electrónico del segundo módulo convierte las señales de 2.3 GHz (banda S) a una frecuencia intermedia más baja, y después a banda base.

#### 4.9.4.3. XM SATELLITE RADIO

XM ofrece 100 canales de sonido con calidad digital en territorio norteamericano: 71 canales musicales (más de la mitad de ellos libres de mensajes comerciales) y 23 canales de noticias, deportes y voz.

Las estaciones terrenas alimentan y transmiten las señales hacia los satélites, los cuales a su vez las retransmiten hacia los receptores de radio en la Tierra, en banda S. cada receptor usa una antena pequeña (del tamaño de una antena de teléfono móvil). Además del sonido codificado, la señal recibida contiene información adicional acerca de la transmisión (título de la canción, artista y género de la música) que es desplegada en la radio.

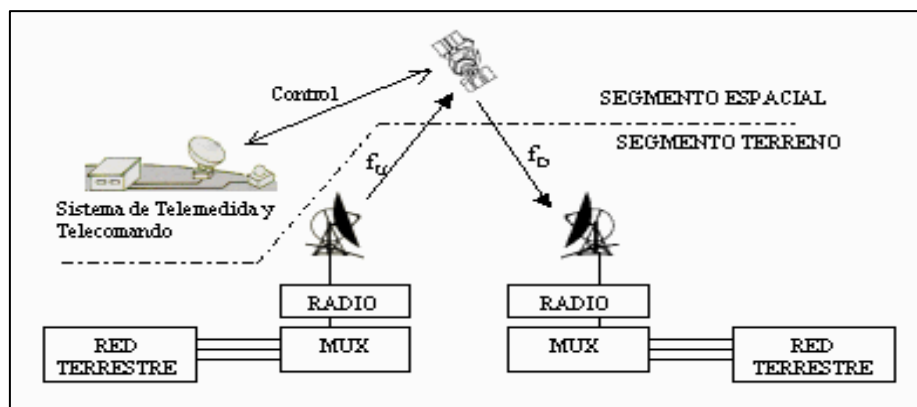


Figura 4.14. Transmisión vía Satélite de Radio Digital.

#### 4.9.5. SISTEMAS DE SERVICIO MÓVIL Y CONSTELACIONES DE BANDA ANGOSTA

Muchos usuarios que requieren comunicarse por satélite tiene la característica de que sus equipos no permanecen fijos, sino que se mueven o cambian de lugar constantemente, por ejemplo, en bancos, plataformas marítimas, aviones, trenes, camiones de carga y automóviles. Las redes de comunicación que satisfacen esta demanda pertenecen a la rama del servicio móvil vía satélite.

En cualquiera de los casos, el equipo de comunicaciones de vehículo o de la terminal de usuario debe tener una antena capaz de permanecer en contacto con el satélite, independientemente de su movimiento, por ejemplo, el oleaje o del cambio de dirección en el caso de un barco, o de las curvas y pendientes del camino en el caso de un automóvil.

Las redes de comunicaciones móviles por satélite surgieron muchos años después de las de servicio fijo, ya es una realidad, la cual tiene un gran potencial de desarrollo con una mayor visión para el futuro.

##### 4.9.5.1. *INMARSAT*

**INMARSAT (International Maritime Satellite Organization)** es una organización internacional que inició sus operaciones en febrero de 1982 para presentar el servicio de telefonía y transmisión de datos a embarcaciones y plataformas marítimas. Contar con un sistema eficiente como este permitió a las embarcaciones navegar con mayor seguridad y les facilitó, dentro de una variedad de aplicaciones, realizar con anticipación sus trámites de llegada y partida a puertos, así como los de carga y descarga. Con los años el servicio fue evolucionando en cuanto a tipos de usuarios, y actualmente se ofrecen enlaces para fax, teléfono y datos de hasta de 64 kb/s a más de 200,000 barcos, aviones (a partir de 1989), vehículos terrestres y terminales portátiles.

##### 4.9.5.2. *GLOBALSTAR*

La consideración **Glostar** consiste de 48 satélites triaxiales en órbita baja. Con cobertura mundial, brinda el servicio móvil de telefonía y transmisión de datos a unidades fijas o montadas en vehículos, así como a terminales personales

Estos satélites emplean antenas de arreglos con control de fase, una unidad que les permite ubicarse en el espacio por medio del sistema global de posicionamiento (**GPS o Global Positioning System**) y baterías de níquel-hidrógeno de alta eficiencia.

##### 4.9.5.3. *ICO*

Esta consideración de órbita intermedia está diseñada para dar servicios de conectividad a Internet y transmisión de voz, fax y datos a terminales móviles y fijas.

El primer satélite de la constelación fue lanzado con éxito en 2001, para iniciar un programa piloto, lo que en un tiempo después el servicio global inició a fines de 2003.



Figura 4.15. Ejemplo de los sistemas móviles vía Satélite.

#### 4.9.6. SATELITES MULTIMEDIA DE BANDA ANCHA Y COBERTURA GLOBAL

Dentro de estos nuevos servicios destacan el acceso a Internet, las aplicaciones en medicina remota, las comunicaciones personales globales de banda ancha, la transmisión de voz, video y datos en tiempo real, las redes privadas multimedia, el acceso a redes de educación a distancia en áreas remotas, la interconexión a altas velocidades con redes mundiales desde cualquier localidad, la intercomunicación entre supercomputadoras y las redes de área local, videotelefonía, videoconferencias, la distribución codificada de información a muchos usuarios simultáneamente, entre otros.

Su baja altitud reduce el tiempo de recuperación de datos, debido a un menor trayecto de propagación de las señales, lo cual es satisfactorio para aplicaciones en tiempo real como telefonía, videoconferencias y ciertos tipos de transmisión de datos. Asimismo, por la mayor cercanía a la Tierra, la atenuación es menor, permitiendo tener terminales de bajo costo ya que la potencia de transmisión se reduce, tanto la que los satélites necesitan emitir para comunicarse con la terminal del usuario como la que las terminales de usuario requeridas para la transmisión hacia el satélite.

##### 4.9.6.1. SISTEMAS LO MULTIMEDIA DE COBERTURA GLOBAL

###### Teledesic

Este sistema, liderado por empresas norteamericanas, está planeado para brindar servicios de comunicaciones satelitales de Internet inalámbrico, incluyendo servicios fijos y móviles de banda ancha basados en el Protocolo de Internet (IP).

La constelación tenía en ese momento las siguientes características principales:

- 288 satélites activos en total, uso de la banda Ka y altitud nominal de aproximadamente 1375 Km.
- 12 planos orbitales circulares con nodos espaciados alrededor del ecuador a 15°. Inclinación aproximada de las orbitas de 84.75°, y cada plano orbital con un mínimo de 24 satélites activos, espaciados uniformemente alrededor de la órbita.

- Por lo menos un satélite a 40° arriba del horizonte, minimizando el bloqueo para el usuario de estructuras y del terreno, limitando además los efectos de desvanecimiento de las señales por efecto de la lluvia.
- Tasa instantánea máxima de 10 Gbps por satélite y terminales del usuario con comunicación simétrica y asimétrica a tasas de hasta 64 Mbps.
- Huella de cobertura de cada satélite con 1650 Km de diámetro, dividida en células más pequeñas de solo 80 Km aproximadamente. Haces puntuales dirigidos electrónicamente en función del movimiento del satélite y la distribución de las terminales terrestres.
- Comunicación directa de cada satélite con hasta ocho satélites a través de enlaces intersatelitales operando en la banda de los 60 GHz.

### **SkyBridge**

Su diseño, servicios y orientación de mercado son similares; sin embargo, tiene algunas diferencias, desde un contexto tecnológico.

La constelación tenía en ese momento las siguientes características principales:

- 80 satélites activos en total, uso de la banda Ku (y no Ka como Teledesic), todos con altitud nominal de aproximadamente 1649 Km.
- Conformada por 20 planos orbitales circulares, con una inclinación de 53°. Dichos planos tienen una separación de 18° en el ecuador y cada uno contiene un mínimo de 4 satélites activos, espaciados uniformemente alrededor de la órbita.
- La huella de cobertura de cada satélite tiene 700 Km de diámetro, y cada aparato radia 18 haces puntuales que son dirigidos para iluminar las células fijas en la zona o huella de cobertura.
- No utiliza enlaces intersatelitales, por lo que se compone de telepuertos de comunicación, que enlazan a las terminales de usuario dentro de un área de servicio, y está diseñada para una cobertura “mundial” pero solo entre las latitudes 68° Sur y 68° Norte, donde habita casi la totalidad de los usuarios potenciales.

#### **4.9.6.2. SISTEMAS GEO MULTIMEDIA DE COBERTURA GLOBAL**

### **Spaceway**

Este sistema norteamericano ha sido diseñado para brindar cobertura global a través de una flota de satélites GEO operando en la banda Ka. Se tuvo contemplado iniciar sus operaciones en el año 2003 para la región de Norteamérica y competir a tiempo con el estelito Anik F2. La cobertura global se alcanza durante el año 2005.

Las características más importantes del sistema son:

- Uso de la banda Ka y conformado por la flota final de 20 satélites geoestacionarios colocados en 15 posiciones orbitales (5 satélites estarán orbitando como respaldo).

- Empleo de procesadores digitales a bordo y tecnología de haces puntuales con conmutación de paquetes para ofrecer comunicaciones punto a punto.

### Astrolink

Astrolink es otro sistema norteamericano de satélites GEO propuesto para operar también en la banda Ka. Comenzó sus operaciones en el año 2003.

Sus características más importantes del sistema son:

- Uso de la banda Ka, con 46 haces puntuales ( $0.8^\circ$  de ancho de haz) en cada satélite.
- Terminales de usuario con diámetros de 65 cm, 85 cm o 125 cm, operando a niveles de potencia desde 0.25 W a 10 W.
- Interconexión con la red terrestre a través de telepuertos regionales que emplean antenas de 2.4 m hasta 4.5 m de diámetro y amplificadores de 200 W de potencia.
- Todos los satélites tienen tecnología de procesamiento digital a bordo y el ancho de banda empleado es bajo demanda, basado en las necesidades del usuario.
- Los satélites están enlazados entre sí a través de "Enlaces Terrestres Intersatelitales" (en inglés InetrSatellite Ground Link) para proporcionar una red de telecomunicaciones global. (Neri, 2003)

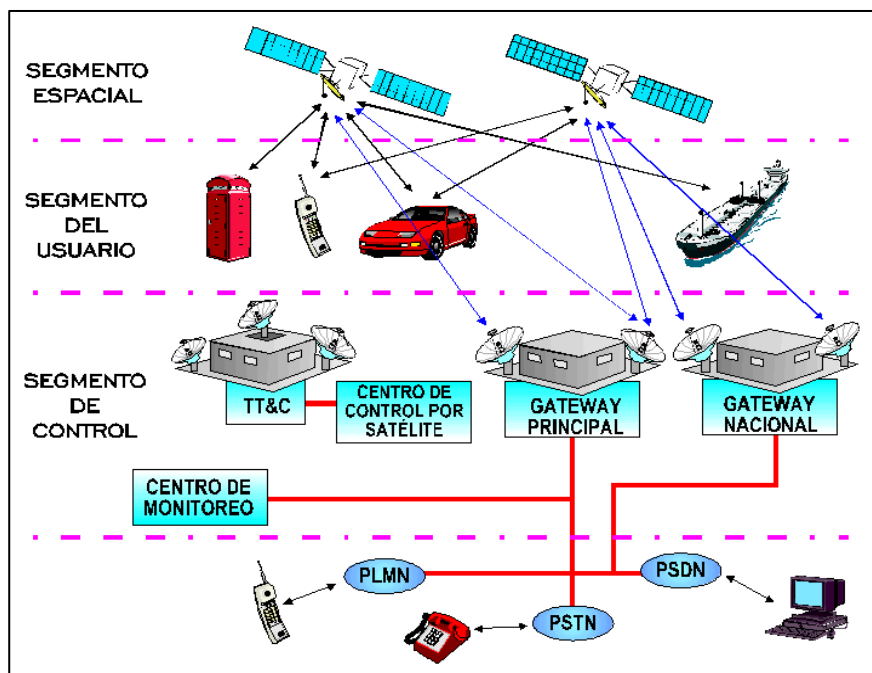


Figura 4.16. Sistemas satelitales para equipos multimedia.

## 4.9.7. MÁS INFORMACIÓN SOBRE SATÉLITES ACTUALES

### 4.9.7.1. SISTEMAS GPS EXTENDIDOS

El **GPS Extendido (“Augmented GPS”)** nace de la necesidad en ciertas fases de la navegación aérea de alcanzar requisitos de precisión, fiabilidad e integridad, no es capaz de suministrar el GPS. Ello implica la necesidad de incorporar sensores en las aeronaves, estaciones monitoras del sistema, seudolitos, etcétera. Todo ello es lo que se conoce como sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS: Global Navigation Satellite System), cuya primera generación (GNSS1), basada en el GPS y en el GLONASS opera durante la primera década del siglo XXI y la segunda generación (GNSS2) será la evolución lógica del GPS y la apuesta de Europa de llevar a la práctica un sistema civil que resuelva las actuales incertidumbres asociadas a los sistemas GPS y GLONASS. Para resolver estos problemas se utilizan dos tipos de mejoras o de GPS Extendido: regionales, conocidos como GPS Expandido de Área Extensa (WAAS: Wide Area Augmentation System en denominación estadounidense), y locales, conocido como GPS Expandido de Área Local (LASS: Local Area Augmentation System).

#### ***GPS Extendido Regional***

Estos sistemas se utilizan en todas la fase del vuelo incluido el aterrizaje de precisión categoría 1.

- **Estaciones de Referencia.** En número de varias decenas, están distribuidas a lo largo de la zona de control, observan todos los satélites GPS y en su caso GLONASS visible, determinan las seudo distancias y las correcciones ionosféricas.
- **Estaciones Maestras.** Utilizan los datos que los envían las estaciones de referencia y generan un mensaje que contiene las correcciones para cada satélite GPS y en su caso GLONASS. El mensaje incluye las efemérides del satélite, su reloj y la corrección atmosférica.
- **Satélite Geoestacionario.** Reciben el mensaje de las estaciones maestras y lo retransmiten a los usuarios que se usan en las señales portadoras en la banda de las señales GPS formato definido por el comité Especial 159 de la RTCA. Esta señal puede ser utilizada para establecer una seudo distancia adicional del receptor al satélite geoestacionario incrementando la presión, disponibilidad e integridad del sistema.

#### ***GPS Extendido Local***

La filosofía es conceptualmente idéntica a la de los sistemas descritos en el apartado anterior pero retransmite el mensaje con las correcciones mediante estaciones terrenas en la banda VHF, contiene los siguientes elementos:

- **Estaciones de Referencia del Área Local.** Típicamente se usan cuatro y están instaladas en posiciones precisas alrededor de la zona. Su función es recibir las señales GPS, calcular la seudo distancia y enviarla a la estación central de proceso.
- **Estación Central de Proceso.** Es la encargada de calcular los errores del sistema GPS y de enviarlas a los transmisores de VHF.



- **Transmisores de Datos en VHF con el formato especificado por el RTCM.**
- **Seudolitos.** Se emplean si se requiere para alcanzar la categoría. Como su nombre sugiere son básicamente satélites GPS situados sobre el suelo.
- **Sensores adicionales embarcados (Radioaltímetros).**

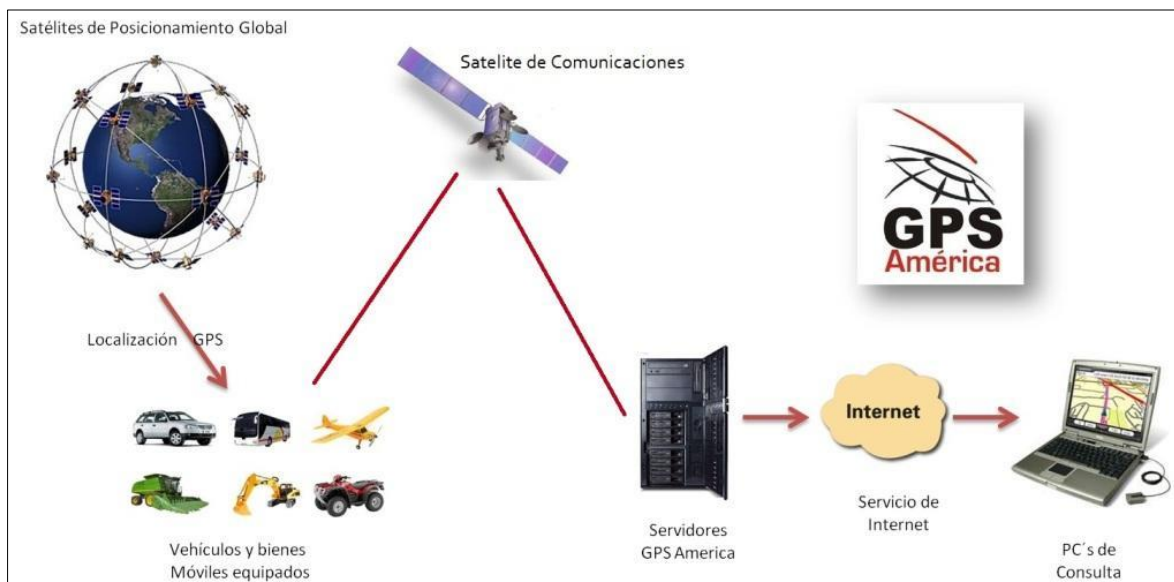


Figura 4.17. Una aplicación del sistema GPS Satelital.

#### 4.9.7.2. EL SISTEMA GALILEO

El **GALILEO** se postuló como el futuro sistema europeo de navegación por el satélite. Su filosofía es similar a la del GPS, incorporando entre otras mejoras, las técnicas asociadas a los sistemas extendidos, el uso de cuatro señales “navegación”, un transpondedor para servicios de salvamento y una optimización de las orbitas para mantener la precisión hasta latitudes de 70°N. Su despliegue se previó para el año 2008.

Dejando aparte las estrategias de estos sistemas, las principales diferencias entre el GALILEO y el GPS no son de carácter tecnológico si no conceptuales: se ha diseñado con criterios estrictamente civiles, optimizando los servicios suministrados y garantizando su interoperabilidad con el GPS y el GLONASS.

#### 4.9.8. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE NAVEGACION POR SATELITE

##### 4.9.8.1. NAVEGACIÓN

La navegación marítima ya se basa en el sistema GPS. Garantizando su instalación incluso en barco de pequeños tonelaje.

La dificultad y coste del sistema radica en buena parte en la red de comunicaciones y la gestión de la información. Como red de comunicaciones existen varias alternativas: las redes privadas de comunicaciones móviles con la banda UHF, los sistemas *trunking*.

Los sistemas públicos de comunicaciones móviles (GSM en Europa), comunicaciones por satélite, etcétera.



#### **4.9.8.2. CIENCIAS GEOGRÁFICAS**

El GPS se está introduciendo con gran rapidez en campos tan diversos como navegación militar (aérea, marítima y terrestre), guiado de misiles, control de equipo, guiado de sistemas de armas, de posicionamiento de tropas, entre otras funciones.

De hecho, el mercado militar ha sido el primer mercado profesional en desarrollarse. Por otro lado, la generación del uso del GPS ha supuesto la modificación drástica en las doctrinas militares, tanto estratégicas como tácticas.

#### **4.9.8.3. SINTETIZACIÓN DE SISTEMAS**

Como se ha indicado con anterioridad el sistema GPS permite obtener una referencia temporal común precisa con receptor fijo o móvil en cualquier punto de la tierra. Es una de las posibilidades más importantes y menos apreciadas del sistema. Entre ellos está la posibilidad de sincronizar las infraestructuras de telecomunicaciones del mundo. (Tarazona, 2009)

# CAPITULO V

## CONCLUSIONES

---

### 5.1. ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS ANALÓGICOS RESPECTO A LOS DIGITALES

Tomando en consideración los antecedentes de los sistemas de Telecomunicaciones podemos encontrar sistemas básicos que van de lo simple a lo complejo, estos están estructurados con elementos y dispositivos electrónicos, que funcionan para las necesidades y comodidades del usuario, de acuerdo a la época o momento al que se hicieron dichas contribuciones, el desarrollo tecnológico, social y económico que se desarrollaba, además de plantear las bases de los sistemas actuales.

Al paso del tiempo se han encontrado nuevos avances durante la historia de la electrónica por ende los sistemas de telecomunicaciones, hablando cronológicamente se han encontrado mejorías como en los sistemas que se han ido desarrollando durante varios años hasta la actualidad. Teniendo como fundamento los descubrimientos que han realizado cada uno de los científicos e investigadores que se presentan en el trabajo, considerando esta información podemos ver que ha sido un proceso largo para encontrar mejores sistemas y avances en esta área de la investigación (un enfoque por fases o etapas).

De los inicios a la actualidad se han encontrado muchos cambios, varios en beneficios a la sociedad, la economía y las nuevas tecnologías de comunicación. De esa misma manera de forma paralela se habla de las contribuciones a la ciencia como es en el área médica, en los análisis climatológicos y en el ambiente entre otros.

Otra cosa que se puede mencionar que con las redes tanto alámbricas como inalámbricas se han logrado alcances de amplia cobertura por todo el mundo, enfocando particularmente (los satélites) además de los circuitos y sistemas que logran que esto suceda. Describiendo la modernidad de la era digital, en dichos sistemas se encuentra; más calidad, mejor infraestructura en los circuitos, nuevas funciones para el desarrollo tecnológico, disminución del tamaño de los equipos, aparatos y/o dispositivos, al igual que el acceso nuevos servicios y aplicaciones en los sistemas de radio y televisión.

En general los sistemas de Telecomunicaciones son sistemas que han evolucionado de acuerdo a cada una de las necesidades de las personas, esto se argumenta para una mejor calidad de vida y para un fácil acceso a cada uno de los servicios y aplicaciones que estos disponen.

### 5.2. CONTRIBUCIÓN DE LA RADIO DIGITAL

Una visión general de la radio se puede mencionar que es uno de los sistemas más remotos de Telecomunicaciones al igual que en la parte electrónica era uno de los sistemas más sofisticados de aquel tiempo, una de las razones principales por lo que se hacia esta mención

es por el simple hecho de tener la capacidad de que la señal no se traslade por un medio físico (palpable), por lo general este medio es el aire, además esto implica el costo de un medio físico con respecto al aire, este medio es gratis entonces la transmisión en el aire (medio) sin costo, incluso era uno de los medios de comunicación con mayor afluencia por las dos ventajas antes descritas pero hay otra que es por la interacción con la gente de una ciudad, localidad, región hasta años recientes la comunicación con una nación, en la actualidad la difusión viene siendo por todo el mundo.

Algunas de las características de la radio hicieron que esta fuera evolucionando con el tiempo, siendo capaz de transmitir una señal como patrón para diferentes usos y aplicaciones, algunas que describiré a continuación:

- Radiodifusión Estereofónica
- TV Abierta
- Radio de Onda Corta
- Avances Médicos
- Telefonía Celular
- Internet Inalámbrico
- Evolución de los Sistemas Satelitales
- Otras Aplicaciones

Durante un lapso de tiempo se fue estudiando los diferentes aspectos que dieron origen a esta forma de comunicaciones hasta Maxwell que fue el que dio inicio algunas pruebas para crear un sistema a distancia, hasta la fecha con los nuevos avances. Describiendo a la radio como tal, se realizaron diferentes contribuciones y avances a las tecnológicas que existen hasta el momento, son diversas en todas las áreas del conocimiento, se podría decir que esta parte de la evolución de la radio hasta nuestros días, ha sido la segunda fase de las Telecomunicaciones.

Para darnos una pauta de lo que ha sido la radio, es necesario mencionar las redes alámbricas (telefonía fija, fax y televisión por cable, entre otras). Pero no por ser medios menos sofisticados pierden su importancia, incluso esto trae consigo las referencias de las comunicaciones por radio. Los sistemas de radio digital describe la tendencia a las nuevas tecnologías de punta que se encuentran en este momento, esto es porque se transmiten con una mejor calidad sin exceptuar que aún tiene algunos errores en su transmisión, la cobertura que pueden alcanzar los sistemas de radio y otra ventaja en la actualidad es la capacidad de recepción por diferentes dispositivos electrónicos.

Para finalizar, la era moderna tiene muchas aplicaciones hacia el futuro de la radio digital, donde este sistema va contribuir con una amplia gama de posibilidades en la conexión con el mundo exterior.

### 5.3. CONTRIBUCIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

Para describir la televisión se aborda primero la parte de la radiocomunicación esto es porque gran parte del sistema de TV se basa en las radiofrecuencias para poder transmitir la señales de televisión (TV abierta), igual se transmite por un medios físicos (cable), lo más reciente por vía satélite para alcanzar una cobertura amplia de espectadores. Retomando este sistema de TV en conjunto con la propagación de las ondas radioeléctricas, se describiría a la televisión

como un complemento e innovación de la radio-interacción (estéreo) porque en este caso además de propagar ondas de sonido, también se estudia el comportamiento de las de Imagen entonces para su análisis requiere mayor complejidad.

Remontándonos a los antecedentes, la televisión surge de la necesidad de mayor interacción y animación de efectos, planteado desde la radio-estéreo, ya esta se consideraba muy básica con los elementos contenidos. La TV comprende desde las principales características y elementos que la integran, como es: imagen y sonido, con la descripción de estos sistemas, para su estudio se plantea por separado a cada uno de estos, después se reestructura en conjunto. Comentando esta parte, en principios se estudia a la tecnología de la TV analógica dividida en dos secciones: la TV Analógica Monocromática (Blanco y Negro) y la TV Analógica Policromática (Color), que por sus características que al igual que por sus funciones son muy similares una de otra.

Pero en general el sistema analógico más reciente, se obtiene lo que se conoce en esta época como una televisión a color con una estructura básica y con señales de forma alámbrica o inalámbrica que aun en nuestros días sigue vigente. Antes de que siga adelante la transmisión de esta señal inalámbrica se logra mediante dos tipos de interfaces que los conocemos comúnmente como antenas las cuales se clasifican de entrada-salida o transmisor-receptor, estas mismas son aplicables para cualquier otro sistema de radio.

Aplicando a la historia de la televisión, un sistema con una mejor calidad, mayor eficiencia y con una gran nitidez, me refiero a la Televisión Digital más específicamente a la mencionada en el texto del trabajo HDTV con sus respectivas normas. La evolución de la tecnología de la TV, se da con las siguientes características:

- Mejor cobertura
- Calidad
- Sistemas Múltiples (Aplicaciones y Servicios)
- Reducción de los dispositivos
- Entre otras ventajas

Al mencionar a la TV analógica respecto con la digital se aprecian algunas diferencias respecto una de la otra, por tal motivo aumentan los beneficios para la sociedad en general, donde el objetivo o esencia se mantiene no se pierde de vista. Por su puesto para que los sistemas digitales puedan desplazar a los sistemas analógicos va tardar tiempo, porque la parte analógica es la base para las Telecomunicaciones modernas (digitales).

#### 5.4. LOS BENEFICIOS DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ERA DIGITAL

Para considerar este aspecto fue necesario describir los antecedentes de los sistemas de Comunicación y su trascendencia durante varios años, donde las circunstancias han obligado a plantear nuevos modelos que cumplan con las expectativas sociales, económicas y laborales, para contribuir con un nuevo porvenir en la solución de los diversos problemas que se presentan a lo largo del tiempo, además para su mejora y ampliación en los servicios de dichos equipos (sistemas) que se utilizan para diversas acciones para los cuales se crearon.

Planteado las necesidades y la comodidad del usuario, se ha logrado que los diferentes dispositivos permanezcan (que hacen la misma acción), como también mejorar y ampliar otros dispositivos para brindar nuevos servicios. Algunos ejemplos claros de este punto son:

- Equipos de Cómputo (Nuevas versiones y con más aplicaciones).
- Teléfono Celular (Nuevos Modelos, y con una gama de aplicaciones).
- Televisión (Mejor calidad, mayor extensión de comunicación y un rango mayor en los canales).

Pero mencionando los sistemas de Telecomunicaciones con los que ya existían con los actuales tienen la misma esencia pero con mucha mayor calidad en el servicio, además más aplicaciones, pero los principios siguen siendo los mismos que sus antecesores. La era digital, su propósito fundamental fue retomar todo lo ya planteado por los sistemas analógicos pero con nuevas versiones con una mayor variedad de servicios, con mecanismos de seguridad más eficientes, brindar al cliente un menor tiempo de realizar alguna actividad, al igual que la interacción que hay con el mundo exterior.

Los dispositivos poco a poco como ha ido transcurriendo en el tiempo en los últimos años se han hecho más completos, para satisfacer las necesidades de los usuarios en cada uno de los ámbitos o áreas de estudio que traen consigo los dispositivos electrónicos, esto complementado con lo que la sociedad requiere en el tiempo se tiene la fórmula perfecta para avanzar tecnológicamente. Un claro ejemplo son los Equipos Multimedia, ya adaptados para aplicarlos a la Domótica que esto simplemente es la interconexión e interacción de los equipos en su conjunto para realizar un fin en beneficio de los usuarios (necesidades y comodidades), todo esto en común hace que sea más sencillo y simple el trabajo de las personas y a su vez el manejo de la tecnología.

Para culminar, la tecnología ha traído muchos alcances a la sociedad, en general se seguirá ampliando la posibilidad de más herramientas para la educación, trabajo y la diversión.

## 5.5. LA APLICACIÓN DE LA DIGITALIZACIÓN, Y EL DESARROLLO HACIA EL FUTURO

En este apartado tratare de explicar concretamente unas de las principales aplicaciones de la digitalización de los sistemas. Comenzare por describir cómo es posible que el proceso de digitalización ha cambiado el nivel tecnológico por una sencilla razón, la se relaciona con que los equipos y dispositivos eléctricos ya son capaces de realizar sus propias acciones por si solos, esto quiere decir en pocas palabras que tiene un sistema autómatas.

Como funciona un sistema autómatas, con sensores y actuadores, los cuales se definen de la siguiente forma:

**Sensores.** Estos son capaces de captar algún hecho, evento o ambiente dentro de una área de referencia, los cuales interactúan con los circuitos electrónicos de dicho sistema, la cual manda una señal que proporciona algún dato (bits) que permite tomar una decisión.

**Actuadores.** Como lo indica su nombre, actúan, se resume en los elementos del sistema que realizan la acción para la cual fue diseñado ese equipo o dispositivo electrónico.

La digitalización, otro de sus propósitos ha sido manejar la información con exactitud, menor tasa de error, para obtener a la salida del sistema lo más auténtica la información enviada. Manejando algunas condiciones es necesario mecanismos de seguridad lo cual lo maneja un proceso digital cuando este sea requerido, para mantener la información de manera confidencial y no sea transferible.

### **TELEMÁTICA Y SU INNOVACIÓN**

Hablando específicamente de la relación entre las Telecomunicaciones y la informática se obtienen variedad de aplicaciones como algunas de las ya descritas, pero adentrándose más profundamente a la modernidad, en algún tiempo futuro obtendremos servicios más sofisticados y completos hablando digitalmente; uno de los más mencionados es la *Teletransportación* el cual consiste tener virtualmente algún objeto real, pero con la diferencia de los sistemas actuales es que este objeto va tener una textura de las dimensiones reales y se aplicaría para cualquier acción para la cual este mismo se le da uso. Entonces ya contextualizando la parte virtual va tener un papel extremadamente importante en unos cuantos años para lograr diferentes funciones, tanto tecnológicas como para beneficios a la sociedad. Por lo tanto la informática y las Telecomunicaciones lo que se denomina Telemática será la próxima fase de importancia de los sistemas modernos, donde gran parte de los servicios y aplicaciones serán ya manejados por medio de redes a distancia, sin tener algún problema de hacer las funciones eficientemente como si se hiciera de manera personal, de esta forma se manejarán las empresas e industrias, por lo que esto igual involucra muchas ramas tecnológicas como es: la robótica, la mecatrónica y obviamente los sistemas digitales.

Concluyendo se obtendría con esta nueva infraestructura pues poder manipular equipos y sistemas de una manera remota, con menor tiempo, economizando costos, otra situación sería el esfuerzo por parte del usuario sería mucho menor (más fácil), por lo que respecta se espera que sea de una calidad perfecta y eficazmente la realización de las diferentes actividades.

## OBJETIVO

Describir los antecedentes históricos, la estructura y mencionar los principales procesos de los Sistemas de Comunicación para poder plantear las características, funciones y principales procesos de transmisión de la Radio Digital, mencionar las principales características de la señal audiovisual como la trascendencia que ha logrado la Televisión en el tiempo, como los sistemas que logran que tenga una mejor amplitud en la recepción, también describir los estándares además de mencionar los beneficios que con esto conciben como la relación de las principales tecnologías alternativas de los Sistemas de Radio y Televisión Digital, además de hablar como estos sistemas contribuyen con el usuario y mencionar como los nuevas tecnologías tendrán mejor porvenir en un futuro

## INTRODUCCIÓN

El tema que se presentara en este trabajo de investigación no solo es de amplio interés en el área de Telecomunicaciones, sino también en general, por que describe como la tecnología se ha desarrollado para mejorar los diferentes sistemas de comunicación en formato analógico en sistemas digitales con presentaciones mejoradas. La información que se presentara en este trabajo de investigación, abarcara desde el inicio de las Telecomunicaciones y como se ha dado su evolución durante el transcurso del tiempo, desde las comunicaciones remotas hasta la actualidad donde se puede apreciar redes de comunicación de diferente naturaleza. Principalmente, los temas que se trataran a lo largo de este trabajo es sobre las Telecomunicaciones tanto en el área de Radio como de Televisión, planteados desde sus inicios hasta la era digital a la cual ya forma parte de este tiempo, pero no solo eso, se compara cuáles han sido algunas ventajas y desventajas de dichos cambios, cuales son las afectaciones y beneficios que trae consigo la modernidad. Esto se describirá ampliamente para los sistemas de comunicación digitales principalmente la Radio y la Televisión que han gozado de amplia popularidad durante más de 50 años. Se consideran los estándares tanto analógicos como digitales para tener presente los aspectos electrónicos y de informatización que forman estos cambios al paso del tiempo. Retomando la parte electrónica se describirá los procesos que se requieren para que una señal analógica sea convertida eficientemente en una señal digital, los circuitos principales para realizar los procesos descritos que son de conversión analógico-digitales y las características de los sistemas que se manejaran, tales como los sistemas de codificación MPEG.

Pero antes de continuar con más información nos centraremos en la parte básica de los elementos de las comunicaciones que se describirán más profundamente durante este trabajo, los cuales son: Emisor, Receptor y Canal, inicialmente se conceptualizaran en forma general como: Emisor (Lugar de donde procede la señal), Receptor (Lugar a donde llega la señal), Canal (Medio por el que se transmite). Para tener utilidad, la señal contiene un mensaje que es la información que se desea difundir. Para lograr una mejor comprensión de los elementos anteriores, se debe dar una correcta descripción de los conceptos mencionados anteriormente. Con tales fundamentos, bases y herramientas se pueden tratar las señales, como puede ser la descripción de los sistemas y las características de los procesos con poder obtener la señal-información deseada que se transmite de un lugar a otro. Para dar una clara explicación dentro del contexto de comunicaciones, este trabajo abarcara desde el inicio, la clasificación y definición de una señal hasta poder hablar de sistemas de transmisión

multimedia con redes inalámbricas como el Internet, la recepción de celulares o la transmisión de señales a los dispositivos radiales (Radio y Televisión).

Además se mencionara como la señal digital nos brinda información adicional de las señales que llegan al receptor, aparte de obtener una señal óptima y de mejor calidad que su equivalente analógico. Adicionalmente se describirá como a los medios alternativos de comunicación digitales proporcionan mayor interactividad que la Radio y Televisión tradicionales.

Para culminar esta introducción podemos decir que hay una infinidad de ejemplos que entran en el contexto de las comunicaciones en el trabajo se abordarán diferentes ejemplos sencillos, lo cual tiene como propósito aclarar cada uno de los temas y puntos a tratar a lo largo del trabajo, donde se traducirán en forma coloquial para poder ser comprendidos de una mejor manera.

## METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

- Nombrar el título de la tesis de acuerdo alguna necesidad o alguna situación actual.
- Discutir y mencionar los principales aspectos del tema.
- Plantear los objetivos que se quieren alcanzar en dicho tema.
- Buscar algunas referencias donde es posible encontrar información sobre el tema.
- Estructurar el tema:
- Analizar la información del tema.
- Dividir los capítulos que se presentaran en el trabajo.
- Describir concretamente cada uno de los puntos que se presentaran en cada tema de manera sintetizada.

## RESUMEN

En el contenido se mencionan varios aspectos relacionados con las nuevas tecnologías que se utilizan en la era digital, principalmente de la Radio y la Televisión, concretamente se retoman sistemas anteriores para referirse a los actuales.

Describiendo los sistemas en el área de Telecomunicaciones, se plantean los antecedentes, la historia, descripción y funciones de los sistemas, en este capítulo se contextualiza la información de manera que los siguientes capítulos se basen en este mismo capítulo, con el fin de poder comprender cada uno de las modificaciones que se han hecho en lo largo del tiempo de las tecnologías y representar esquemáticamente cada uno de los sistemas.

Radio y Televisión digital se desglosa en muchos puntos, entre los cuales destacan la historia, la circuitería y los procesos además de la conversión analógica a la digital la cual se relaciona



con las nuevas tecnologías, se mencionan las normas que se rigen estos sistemas, como también hace referencia a los satélites (como sistemas de comunicación a distancia).

Al hacer referencia de las características de los sistemas anteriores se mencionan los nuevos dispositivos de la era digital moderna como lo son: la telefonía móvil y celular, cine en casa, las cámaras digitales, sistemas de inteligencia o lo cual se denominaría como domótica o en algunos particularmente aplicado a los hogares se les llaman como casa Inteligente describiendo brevemente de esto es la incorporación de los sistemas que se mencionan en los sistemas digitales, esto se hace de manera automática por medio de sensores que controlan a cada uno de los dispositivos electrónicos, entre otras conceptos que se plantean en el cuarto capítulo.

La última parte del trabajo se encapsula en los comentarios y/o observaciones que se rescatan sobre el trabajo, se hace mención concretamente de los beneficios, los cambios concretos que se han logrado para realizar nuevas funciones en los dispositivos electrónicos, en particular se menciona un porvenir de las tecnologías, además una visión amplia sobre algunos aspectos que estos sistemas traerán más adelante en un futuro próximo, mostrando las ventajas y desventajas de estos.

## HIPÓTESIS

Establecer un trabajo de investigación documental que al Describir las Nuevas Tecnologías de la Radio y Televisión Digital permita ver las ventajas al contrastarlas con su contraparte analógica.

# ANEXO I

## SEÑALES

---

### 1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES

Una **señal eléctrica** es un tipo de señal generada por algún fenómeno electromagnético. Estas señales pueden ser dos tipos: analógicas, si varían de forma continua en el tiempo, o digitales si varían de forma discreta.

Una señal eléctrica puede definirse de dos maneras:

- La diferencia de potencial (o tensión) entre dos puntos cargados eléctricamente en el transcurrir del tiempo
- La variación de la corriente que pasa por el conductor a través del tiempo.

La señal puede generarse artificialmente por un circuito eléctrico (oscilador). Sin embargo en la mayoría de las aplicaciones prácticas, la señal eléctrica representa la variación de otra magnitud física en el transcurrir del tiempo, convertida en electricidad por un transductor. Se considera como señal la información útil para el circuito. Cualquier información indeseada, inútil o dañina, introducida involuntariamente en el sistema, es denominada como ruido.

**Univaluadas** significa que en cada instante hay un valor único de la función. Este valor puede ser un número real, en este caso se describe una señal de valor real, o puede ser un número complejo, de igual forma se describe una señal de valor complejo. En cualquier situación la variable independiente, es decir, el tiempo, es de valor real.

Es posible identificar cinco métodos de clasificar las señales con base en diferentes características.

#### 1.1.1. SEÑALES EN TIEMPO CONTINUO Y TIEMPO DISCRETO

Una manera de clasificar señales se basa en cómo se define estas como función del tiempo. En este contexto, una señal  $x(t)$  se dice que será una señal en tiempo continuo si está definida para todo el tiempo  $t$ . Las **señales en tiempo continuo** surgen naturalmente cuando una forma de onda física tal como una onda acústica o una onda luminosa se convierten en una señal eléctrica. Esta conversión se realiza por medio de un transductor; los ejemplos incluyen al micrófono, el cual convierte las variaciones de voltaje o corriente, y la fotocelda, que hace lo mismo con las variaciones de la intensidad luminosa.

Una **señal en tiempo discreto** se define solo en instantes de tiempo discreto. De tal modo, en este caso la variable independiente tiene únicamente valores discretos, los cuales suelen estar espaciados de manera uniforme. Una señal en tiempo discreto se deriva a menudo de una señal en tiempo continuo muestreándola a una tasa uniforme. Dejemos que  $T$  denote el periodo de muestreo y que  $n$  denote un entero que adquiere valores positivos y negativos. El

muestreo de una señal en tiempo continuo  $x(t)$  en el tiempo  $t = nT$  produce una muestra de valor  $x(nT)$ .

$$x[n] = x(nT), \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

De este modo, una señal en tiempo discreto se representa por medio de una secuencia de números...,  $x[-2], x[-1], x[0], x[1], x[2], \dots$ , los cuales adquieren un continuo de valores. Tal secuencia de números se conoce como una serie de tiempo, que se escribe como  $\{x[n], n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$  o simplemente  $x[n]$ .

Se usa el símbolo  $t$  con el fin de denotar la señal en tiempo continuo y el símbolo  $n$  para denotar la señal en tiempo discreto. De manera similar, el paréntesis (.) se usaran para denotar cantidades de valor continuo, en tanto que los corchetes [.] indican cantidades de valor discreto.

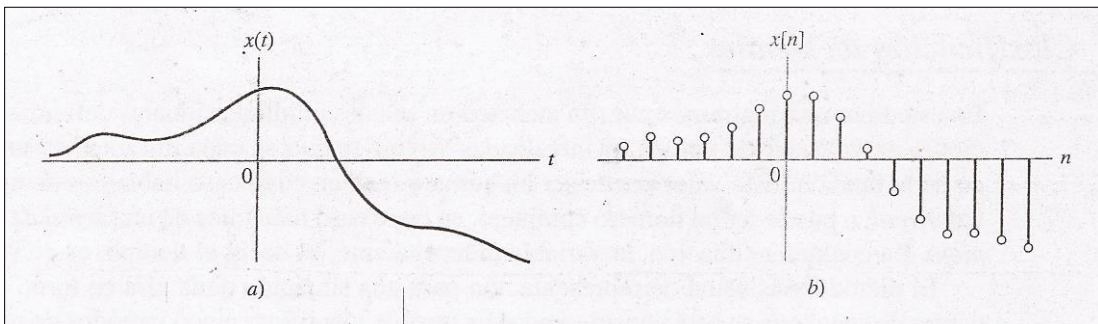


Figura 1.1. Señales. a) Señal en tiempo continuo y b) Señal en tiempo discreto.

### 1.1.2. SEÑALES PARES E IMPARES

Una señal en tiempo continuo  $x(t)$  se dice que será una señal par si satisface la condición

$$x(-t) = x(t) \quad \text{Ecuación (1.2)}$$

Para la señal  $x(t)$  se dice que será una señal impar si satisface la condición

$$x(-t) = -x(t) \quad \text{Ecuación (1.3)}$$

Las señales pares son simétricas en torno al eje vertical u origen del tiempo, en tanto que las señales impares son antisimétricas (asimétricas) en torno al origen del tiempo.

Una señal de valor complejo  $x(t)$  se dice que será conjugada simétrica si satisface la condición

$$x(-t) = x^*(t) \quad \text{Ecuación (1.4)}$$

Donde el asterisco denota complejo conjugado. Sea

$$x(t) = a(t) + jb(t) \quad \text{Ecuación (1.5)}$$

Donde  $a(t)$  es la parte real de  $x(t)$ ,  $b(t)$  es la parte imaginaria y  $j$  es la raíz cuadrada de -1.

$$x^*(t) = a(t) - jb(t) \quad \text{Ecuación (1.6)}$$

Con las ecuaciones, se concluye consecuentemente que la señal de valor complejo  $x(t)$  es conjugada simétrica si su parte real es par y la parte imaginaria es impar. En forma similar se aplica a una señal discreta.

### 1.1.3. SEÑALES PERIÓDICAS, SEÑALES NO PERIÓDICAS

Una señal periódica  $x(t)$  es una función que satisface la condición:

$$x(t) = x(t + T) \quad \text{para todo } t \quad \text{Ecuación (1.7)}$$

Donde  $T$  es una constante positiva. Claramente, si esta condición se satisface para  $T = T_0$ , por ejemplo entonces también se satisface para  $T = 2T_0, 3T_0, 4T_0, \dots$  el valor más pequeño de  $T$  que cumple la ecuación se denomina periodo fundamental de la señal  $x(t)$ . Por consiguiente, el periodo fundamental  $T$  define la duración de un ciclo completo de la señal  $x(t)$ . El recíproco del periodo fundamental  $T$  donde se obtiene la frecuencia fundamental de la señal periódica  $x(t)$ ; esta describe el número de ciclos con que se repite la misma señal periódica  $x(t)$ .

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación (1.8)}$$

La frecuencia  $f$  se mide en Hertz (Hz) o ciclos por segundo. La frecuencia angular, medida en radianes por segundo, está definida por

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Ecuación (1.9)}$$

Puesto que hay  $2\pi$  radianes en un ciclo completo. Para simplificar la terminología,  $\omega$  se denomina a menudo simplemente como frecuencia.

Cualquier señal  $x(t)$  para la cual no hay valor de  $T$  que cumpla la condición de la ecuación recibe el nombre de señal aperiódica o no periódica.

### 1.1.4. SEÑALES DETERMINISTAS, SEÑALES ALEATORIAS

Una **señal determinista** es aquella en torno a la cual no hay incertidumbre con respecto a su valor en cualquier tiempo. En consecuencia, encontramos que las señales deterministas pueden modelarse como funciones de tiempo completamente especificadas.

Por otra parte una **señal aleatoria** es aquella en la que hay incertidumbre en el momento de la transmisión de la señal. Tal señal debe verse como parte de un grupo de señales, donde las señales se clasifican con diferentes formas de onda. Además cada señal tiene cierta probabilidad de ocurrencia. El agrupamiento de tales señales se conoce como un proceso aleatorio. El ruido generado en el amplificador de un receptor de radio o televisión es un ejemplo de una señal aleatoria.

### 1.1.5. SEÑALES DE ENERGÍA, SEÑALES DE POTENCIA

En sistemas eléctricos, es posible que una señal represente un voltaje o una corriente. Considere un voltaje  $v(t)$  que se crea en los extremos de una resistencia  $R$ , produciendo una corriente  $i(t)$ .

$$p(t) = \frac{v^2(t)}{R} \quad \text{Ecuación (1.10)}$$

O, equivalente,

$$p(t) = Ri^2(t) \quad \text{Ecuación (1.11)}$$

Puede expresarse la potencia instantánea de la señal como

$$p(t) = x^2(t) \quad \text{Ecuación (1.12)}$$

Con base en esta conversión, definimos la energía total de la señal en tiempo continuo  $x(t)$  como

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt \quad \text{Ecuación (1.13)}$$

Y su potencia promedio como

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2(t) dt \quad \text{Ecuación (1.14)}$$

De acuerdo con la ecuación anterior se puede observar fácilmente que la potencia promedio de una señal periódica fundamental  $T$  está determinada por

$$P = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x^2(t) dt \quad \text{Ecuación (1.15)}$$

La raíz cuadrada de la potencia promedio  $P$  recibe el nombre de medio cuadrático (rms) de la señal  $x(t)$ .

En el caso de una señal en tiempo discreto  $x[n]$ , se remplazan por las sumas correspondientes. La energía total de  $x[n]$  se define por medio de

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x^2[n] \quad \text{Ecuación (1.16)}$$

Y su potencia se define mediante

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{n=-N}^N x^2[n] \quad \text{Ecuación (1.17)}$$

La potencia promedio en una señal periódica  $x[n]$  con periodo fundamental  $N$  está dada por

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x^2[n] \quad \text{Ecuación (1.18)}$$

Una señal se conoce como una señal de energía si y solo si la potencia promedio de la señal satisface la condición

$$0 < E < \infty$$

Por otra parte se conoce como una señal de potencia si y solo si la potencia promedio de la misma cumple la condición

$$0 < P < \infty$$

## 1.2. OPERACIONES BÁSICAS SOBRE SEÑALES

Este aspecto suele implicar una combinación de operaciones básicas. En particular es posible identificar dos clases de operaciones como se menciona a continuación.

### 1.2.1. OPERACIONES EFECTUADAS SOBRE VARIABLES DEPENDIENTES

**Escalamiento de amplitud.** Considere que  $x(t)$  denota una señal en tiempo continuo. La señal  $y(t)$  es la resultante del escalamiento de amplitud aplicado a la señal  $x(t)$ , se define

$$y(t) = cx(t) \quad \text{Ecuación (1.19)}$$

Donde  $c$  es el factor de escala. El valor  $y(t)$  se obtiene multiplicando el valor correspondiente de  $x(t)$  por el escalar  $c$ . El dispositivo que realiza esta función es un amplificador electrónico. Una resistencia efectúa también escalamiento de amplitud cuando  $x(t)$  es una corriente,  $c$  es la resistencia y  $y(t)$  es el voltaje de salida.

De manera similar a la ecuación anterior, para señales de tiempo discreto escribimos

$$y[n] = cx[n] \quad \text{Ecuación (1.20)}$$

**Suma.** Considere que  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  denotan un par de señales en tiempo continuo. La señal  $y(t)$  obtenida de  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  está definida por

$$y(t) = x_1(t) + x_2(t) \quad \text{Ecuación (1.21)}$$

Un ejemplo físico de un dispositivo que suma señales en un mezclador de audio, el cual combina señales de música y voz.

De manera similar a la ecuación mencionada, para señales en tiempo discreto escribimos

$$y[n] = x_1[n] + x_2[n] \quad \text{Ecuación (1.22)}$$

**Multiplicación.** Sean  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  un par de funciones de señales en tiempo continuo. La señal  $y(t)$  resultante de la multiplicación de  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$  esta definida por

$$y(t) = x_1(t)x_2(t) \quad \text{Ecuación (1.23)}$$

Un ejemplo físico de  $y(t)$  es una señal de radio AM, en la que  $x_1(t)$  consta de una señal de audio más un componente de dc, y  $x_2(t)$  esta compuesta por una señal senoidal llamada onda portadora.

De manera similar a la ecuación de tiempo continuo, para señales en tiempo discreto escribimos

$$y[n] = x_1[n]x_2[n] \quad \text{Ecuación (1.24)}$$

**Diferenciación.** Sea  $x(t)$  una señal en tiempo continuo. La derivada de  $x(t)$  con respecto al tiempo se define como

$$y(t) = \frac{d}{dt} x(t) \quad \text{Ecuación (1.25)}$$

Por ejemplo un inductor realiza diferenciación. Consiste que  $i(t)$  denota la corriente que fluye por un inductor. El voltaje  $v(t)$  que se crea en el inductor y  $L$  es el valor de inductancia, está definido por

$$v(t) = L \frac{d}{dt} i(t) \quad \text{Ecuación (1.26)}$$

**Integración.** Sea  $x(t)$  una señal en tiempo continuo. La integral de  $x(t)$  con respecto al tiempo  $t$  esta definida por medio de

$$y(t) = \int_{-\infty}^t x(T) dT \quad \text{Ecuación (1.27)}$$

El voltaje  $v(t)$  que se crea en el capacitor, la corriente que circula  $i(T)$  y el valor de capacitancia  $C$  se definen de la siguiente manera

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(T) dT \quad \text{Ecuación (1.28)}$$

### 1.2.2. OPERACIONES EFECTUADAS SOBRE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

**Escalamiento de tiempo.** Sea  $x(t)$  una señal en tiempo continuo. La señal  $y(t)$  obtenida por el escalamiento de la variable independientemente, tiempo  $t$ , por un factor se define como

$$y(t) = x(at) \quad \text{Ecuación (1.29)}$$

Si  $a > 1$ , la señal  $y(t)$  es una versión comprimida de  $x(t)$ . En el caso en tiempo discreto, escribimos

$$y[n] = x[kn], \quad k > 0 \quad \text{Ecuación (1.30)}$$

**Reflexión.** Sea  $x(t)$  una señal en tiempo continuo. Sea  $y(t)$  la señal obtenida al sustituir el tiempo  $t$  con  $-t$ , como se muestra

$$y(t) = x(-t) \quad \text{Ecuación (1.31)}$$

La señal  $y(t)$  representa la versión reflejada de  $x(t)$  en torno al eje de la amplitud.

Los siguientes dos casos son de interés especial:

- Señales pares, para los cuales  $x(-t) = x(t)$  para todo  $t$ ; es decir, una señal par es la misma que su versión reflejada.
- Señales impares, para las cuales se tiene que  $x(-t) = -x(t)$  para todo  $t$ ; es decir, una señal impar es el negativo de su versión reflejada.

Se aplican observaciones similares a las señales en tiempo discreto.

**Corrimiento en tiempo.** Sea  $x(t)$  una señal en tiempo continuo. La versión recorrida en el tiempo de  $x(t)$  se define como

$$y(t) = x(t - t_0) \quad \text{Ecuación (1.32)}$$

Donde  $t_0$  es el corrimiento en el tiempo.

En el caso de una señal en tiempo discreto  $x[n]$ , definimos la versión recorrida en el tiempo de  $y[n]$  se describe de la siguiente forma

$$y[n] = x[n - m] \quad \text{Ecuación (1.33)}$$

Donde el corrimiento  $m$  debe ser un entero; este puede ser positivo o negativo.

### 1.3. SEÑALES ELEMENTALES

La lista de señales elementales incluye a las exponenciales y senoidales, la función escalón, la función impulso y la función rampa. Estas señales elementales sirven como bloques fundamentales para la construcción de señales más complejas. También es posible usarlas para modelar muchas señales físicas que ocurren en la naturaleza.

#### 1.3.1. SEÑALES EXPONENCIALES

Una señal exponencial real en su forma general, se escribe como

$$x(t) = Be^{at} \quad \text{Ecuación (1.34)}$$

Donde tanto  $B$  y  $A$  son los parámetros reales. Dependiendo si el parámetro  $a$  es positivo o negativo, es posible identificar dos casos especiales:

*Decaimiento exponencial, para el cual  $a < 0$*

*Crecimiento exponencial, para el cual  $a > 0$*

El capacitor tiene capacitancia  $C$ , y la pérdida se representa por medio de la resistencia  $R$  en derivación. El capacitor se carga conectando una batería en sus extremos, después la batería se detiene la carga en el tiempo  $t = 0$ . Sea  $V_0$  el valor inicial del voltaje que se crea en el capacitor. Se observa con claridad que la operación del capacitor para  $t > 0$  se describe de la siguiente forma

$$RC \frac{d}{dt} v(t) + v(t) = 0 \quad \text{Ecuación (1.35)}$$

Donde  $v(t)$  es el voltaje medio en los extremos del capacitor en el tiempo  $t$ .

$$v(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{Ecuación (1.36)}$$

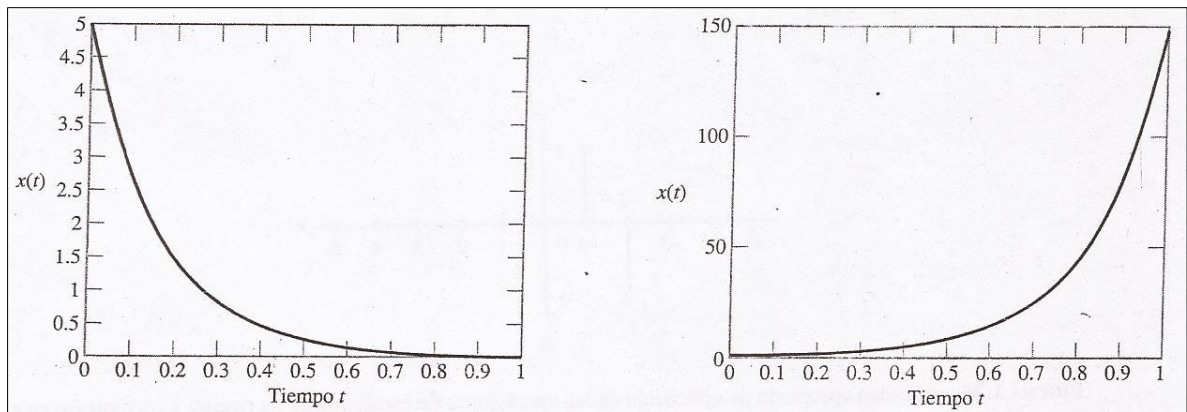
La ecuación muestra que el voltaje en el capacitor decae exponencialmente con el tiempo a una velocidad determinada por la constante de tiempo  $RC$ . Cuando mayor es la resistencia  $R$  (cuanto menos aislado este el capacitor), será mas lenta la velocidad de decaimiento de  $v(t)$  con el tiempo.

En el caso de tiempo discreto, es una práctica común escribir una señal exponencial real como

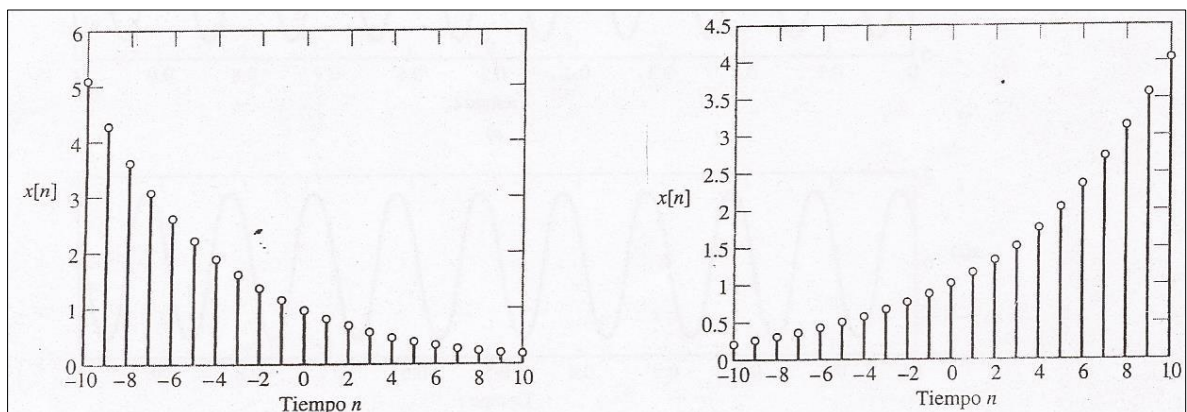
$$X[n] = Br^n \quad \text{Ecuación (1.37)}$$

La naturaleza exponencial se muestra en sus diferentes formas.





(a)



(b)

Figura 1.2. Decaimiento y crecimiento de una señal exponencial a) continuo y b) discreto.

### 1.3.2. SEÑALES SENOIDALES

La versión en tiempo continuo de una señal senoidal, en su forma más general, puede escribirse como

$$x(t) = A \cos(\omega t + \Phi) \quad \text{Ecuación (1.38)}$$

Donde

$A$  = La amplitud.

$\omega$  = Frecuencia en radianes por segundo.

$\Phi$  = Angulo de fase en radianes.

Una señal senoidal es un ejemplo de una señal periódica, siendo el periodo de esta señal, se presenta del siguiente modo

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{Ecuación (1.39)}$$

La generación de una señal senoidal, formado por un inductor y un capacitor conectado en paralelo. Se supone que las pérdidas en ambos componentes del circuito son suficientemente pequeñas como para que se consideren ideales.

La consideración de dicho circuito para  $t \geq 0$  se describe por medio de

$$LC \frac{d^2}{dt^2} v(t) + v(t) = 0 \quad \text{Ecuación (1.40)}$$

Donde  $v(t)$  es el voltaje en el capacitor en el tiempo  $t$ ,  $C$  es la capacitancia y  $L$  es la inductancia.

$$v(t) = V_0 \cos(\omega_0 t), \quad t \geq 0 \quad \text{Ecuación (1.41)}$$

Donde  $\omega_0$  es la frecuencia angular de oscilación del circuito:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{Ecuación (1.42)}$$

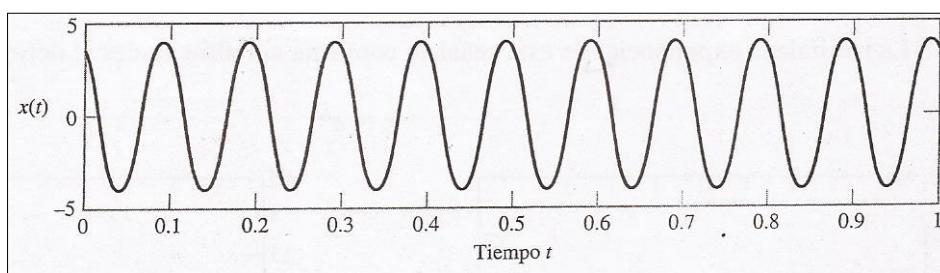


Figura 1.3. Representación de la señal senoidal continua.

A continuación se presenta la versión en tiempo discreto de una señal senoidal, escrita como

$$X[n] = A \cos(\Omega n + \varphi) \quad \text{Ecuación (1.43)}$$

El periodo de una señal en tiempo discreto se mide en muestras.

Para todo entorno  $n$  algún entero  $N$ . Sustituyendo  $n + N$  por  $n$  en la ecuación se obtiene

$$x[n + N] = A \cos(\Omega n + \Omega N + \varphi) \quad \text{Ecuación (1.44)}$$

Para que la condición se cumpla, en general, se requiere que

$$\Omega N = 2\pi m \text{ radianes} \quad \text{Ecuación (1.45)}$$

O también

$$\Omega = \frac{2\pi m}{N} \frac{\text{radianes}}{\text{ciclo}}, \quad m, N \text{ enteros} \quad \text{Ecuación (1.46)}$$

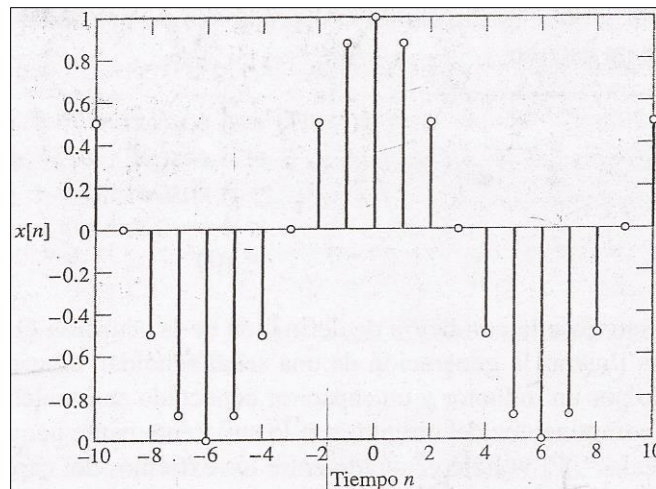


Figura 1.4. Representación de la señal senoidal discreta.

### 1.3.3. SEÑALES SENOIDALES AMORTIGUADAS EXPONENCIALMENTE

La multiplicación de una señal senoidal por una señal exponencial decreciente de valor real produce una nueva señal conocida como una señal senoidal amortiguada exponencialmente. Específicamente, al multiplicar la señal senoidal  $A \cos(\omega t + \Phi)$  por la señal exponencial  $e^{-\alpha t}$  se produce una nueva señal que se describe de la siguiente manera

$$x(t) = Ae^{-\alpha t} \text{sen}(\omega t + \varphi), \quad \alpha > 0 \quad \text{Ecuación (1.47)}$$

Para tiempos  $t$  creciente, la amplitud de las oscilaciones senoidales disminuye de modo exponencial, tiende a cero para un tiempo infinito.

La generación de una señal senoidal amortiguada exponencialmente, se considera el circuito en paralelo, compuesto por una capacitancia  $C$ , una inductancia  $L$  y una resistencia  $R$ . La resistencia  $R$  representa el efecto combinado de pérdidas asociadas con el inductor y el capacitor. La operación de circuito se describe por medio de

$$C \frac{d}{dt} v(t) + \frac{1}{R} v(t) + \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau = 0 \quad \text{Ecuación (1.48)}$$

Donde  $v(t)$  es el voltaje en el capacitor durante un lapso de tiempo. La solución esta dada por

$$v(t) = V_0 e^{-\frac{t}{2CR}} (\omega_0 \cos(t)) \quad \text{Ecuación (1.49)}$$

Donde

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4C^2R^2}} \quad \text{Ecuación (1.50)}$$

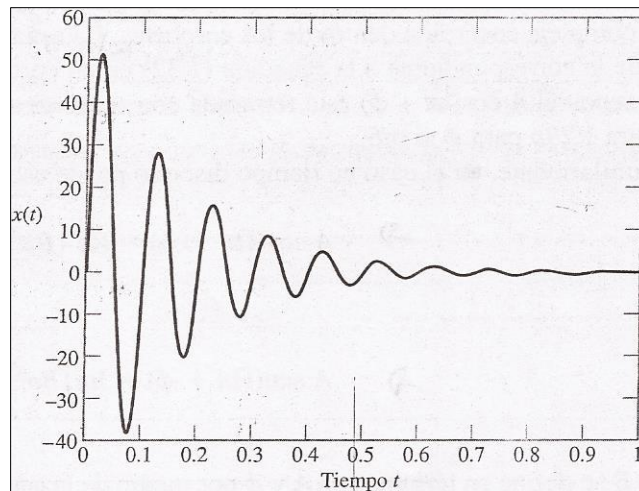


Figura 1.5. Señal amortiguada exponencialmente en tiempo continuo.

### 1.3.4. FUNCIÓN ESCALÓN

La versión en tiempo discreto de la función escalón, se denota con  $u[n]$ , se define por medio de

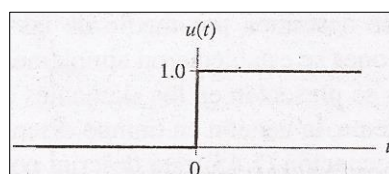
$$u[n] = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación (1.51)}$$

La versión en tiempo continuo de la función escalón, se denota comúnmente por  $u(t)$ , está definida por

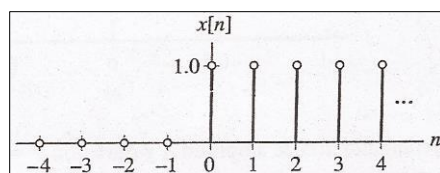
$$u(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación (1.52)}$$

Se manifiesta una discontinuidad en  $t = 0$ , puesto que el valor de  $u(t)$  cambia de manera instantánea de 0 a 1 en ese momento.

La función escalón  $u(t)$  se aplica eléctricamente en una batería o fuente de DC en  $t = 0$  cerrando un interruptor, por ejemplo. Como una señal de prueba, es útil en la salida de un sistema, puesto que la entrada escalón revela en gran medida qué tan rápido el sistema responde a un cambio abrupto en la señal de entrada.



(a)



(b)

Figura 1.6. a) La función escalón en tiempo continuo y b) La función escalón en tiempo discreto.

### 1.3.5. FUNCIÓN IMPULSO

La versión en tiempo discreto del impulso, denotada comúnmente por  $\delta[n]$ , se define por medio de

$$\delta[n] = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación (1.53)}$$

La versión en tiempo continuo del impulso unitario, denotada de la siguiente forma  $\delta(t)$ , definido a partir del siguiente par de relaciones:

$$\begin{aligned} \delta(t) &= 0 && \text{para } t \neq 0 \\ \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt &= 1 \end{aligned} \quad \text{Ecuación (1.54)}$$

El impulso  $\delta(t)$  también se conoce como la función delta Dirac. Notese que el impulso  $\delta(t)$  es la derivada de la función escalón  $u(t)$  con respecto al tiempo  $t$ . Inversamente, la función escalón  $u(t)$  es la integral del impulso  $\delta(t)$  con respecto al tiempo  $t$ .

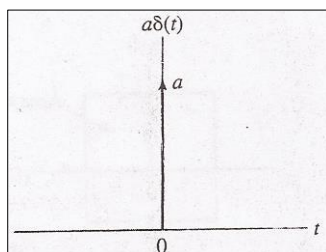
En contraste, la visualización del impulso unitario  $\delta(t)$  para tiempo continuo reunirá una más minuciosa atención. Una manera de visualizarla como la forma límite de un pulso rectangular de área unitaria.

El impulso unitario  $\delta(t)$  es una función par de tiempo  $t$ , como se muestra

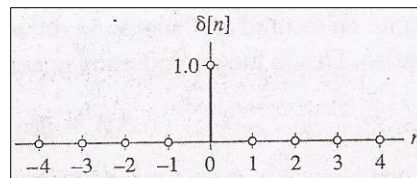
$$\delta(-t) = \delta(t) \quad \text{Ecuación (1.55)}$$

Una de las propiedades de utilidad del impulso unitario  $\delta(t)$  es la propiedad de escalamiento de tiempo, descrita por

$$\delta(at) = \frac{1}{a} \delta(t), \quad a > 0 \quad \text{Ecuación (1.55)}$$



(a)



(b)

Figura 1.7. Representación de la función impulso unitario a) continuo y b) discreto.

### 1.3.6. FUNCIÓN RAMPA

La función de impulso  $\delta(t)$  es la derivada de la función escalón  $u(t)$  con respecto al tiempo. Por lo consiguiente, la integral de función  $u(t)$  es una función de rampa de pendiente. Esta última señal de prueba es comúnmente denotada por  $r(t)$ , la cual formalmente se define como sigue

$$r(t) = \begin{cases} t, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación (1.56)}$$

De modo equivalente es posible escribir

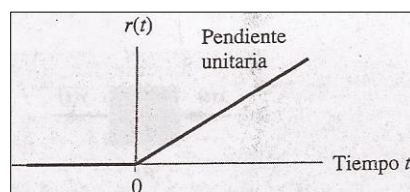
$$r(t) = tu(t) \quad \text{Ecuación (1.57)}$$

Si la variable de entrada se representa como desplazamiento angular de un eje, entonces la rotación de velocidad constante del eje brinda una representación de la función de rampa. Como una señal de prueba, la función de rampa permite evaluar cómo un sistema en tiempo continuo respondería a una señal que aumenta linealmente con el tiempo.

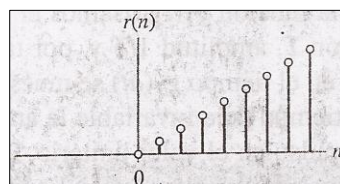
$$r[n] = \begin{cases} n, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación (1.58)}$$

La versión en tiempo discreto de la función de rampa se define mediante (Haykin & Van Veen, Señales y Sistemas, 2003)

$$r[n] = nu[n] \quad \text{Ecuación (1.59)}$$



(a)



(b)

Figura 1.8. Tiempo discreto de la función rampa a) continuo y b) discreto.

# ANEXO II

## OSCILADORES

### 2.1. INTRODUCCIÓN A LOS OSCILADORES

Un oscilador es un sistema que proporciona una señal periódica de RF (entre algunos KHz y centenares de GHz) sin necesidad de atacarlo con otra señal de RF, si no a partir de una fuente continua de alimentación. Transforma la energía de la señal continua en señal periódica. En general, en todo oscilador se puede distinguir varias partes o estructuras.

- Una estructura resonante, cuya frecuencia propia de resonancia es cercana a la frecuencia de funcionamiento del oscilador. Está constituida por elementos discretos en las bandas bajas de frecuencia, y línea de transmisión o cavidades resonantes en las bandas altas. Los parámetros característicos de la estructura resonante son la frecuencia propia ( $f_0$ ) y el factor de calidad ( $Q$ ).
- Un elemento amplificador o de resistencia negativa, que permita compensar las pérdidas de los circuitos pasivos. Está constituido por un dispositivo activo que depende de la frecuencia de trabajo y de la potencia deseada (válvulas de vacío, transistores, bipolares, FET y diodos GUN o IMPATT). Los parámetros característicos serán la ganancia, el margen de frecuencias de trabajo y la potencia máxima que aporta el dispositivo.
- En una estructura de acoplamiento, constituida por redes pasivas (con elementos concentrados y/o distribuidos), que optimiza el oscilador de acuerdo con las especificaciones deseadas. Un parámetro importante de la red de acoplo es la potencia reinyectada de la red resonante al dispositivo activo. Una parte de la potencia se deriva hacia la resistencia de carga que constituye la puerta de salida del oscilador.

### 2.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN OSCILADOR

Al conectar la alimentación de un oscilador, las oscilaciones son principio nulas. Cualquier variación aleatoria de la tensión sobre sus elementos, como por ejemplo las debidas al ruido térmico, se amplifica automáticamente y va incrementándose cada vez más.

Uno es un cuadripolo amplificador de ganancia compleja  $A(j\omega, v)$ , que posee una cierta dependencia con la potencia o tensión de salida, lo que supone una no linealidad. El otro es un circuito pasivo de retroalimentación de función de transferencia  $B(j\omega)$ , que posee una fuente dependencia con la frecuencia. El conjunto posee una función de transferencia dada por:

$$H(j\omega) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{A(j\omega, v)}{1 - A(j\omega, v)B(j\omega)}$$



En realidad si la condición de arranque se mantuviera, la oscilación sería indefinidamente creciente. En la práctica, al aumentar el nivel de la oscilación el elemento activo entra en régimen no lineal, reduciendo su ganancia hasta satisfacer la condición de régimen permanente:

$$G(j\omega_0, v) = A(j\omega_0, v)B(j\omega_0) = 1$$

## 2.3. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN OSCILADOR

Los parámetros o especificaciones que determinan la calidad de un oscilador. Asimismo se dan unas ideas básicas de cómo se puede revisar las magnitudes de cada uno de los parámetros.

- Frecuencia, Margen de sintonía
- Estabilidad
- Potencias y rendimientos
- Nivel de armónicos y espurias
- Pulling o estabilidad de carga
- Pushing o estabilidad de alimentación
- Deriva con temperatura
- Espectro de ruido

### 2.3.1. FRECUENCIA, MARGEN Y FORMA DE SINTONÍA

Se entiende por **frecuencia de un oscilador** la de la frecuencia fundamental. De nuevo, conviene resaltar que aunque la medida se suele realizar con un contador de frecuencias, es conveniente comprobar con el analizador de espectros en nivel de armónicos y la presencia de espurias. La frecuencia del oscilador puede ser fija o variable, sido en este último caso una función de alguno de los elementos que forman el oscilador. En realidad casi todos los osciladores se pueden considerar de frecuencia variable ya que en ellos se suele incluir algunos elementos para ajuste de la frecuencia.

Se entiende por sintonía el margen de frecuencias que puede barrer el oscilador cuando se modifica un parámetro de ajuste de frecuencia.

**Sintonía mecánica.** Modificando mecánicamente la frecuencia de resonancia del resonador. La forma típica de hacerlo en baja frecuencia es utilizando condensadores de láminas al aire o mediante inductancias con ferritas de posición variable. En microondas se utilizan postes metálicos o dieléctricos entrantes en la cavidad resonante o próxima a ella.

**Sintonía eléctrica.** Se puede variar la frecuencia aplicando una tensión a un elemento de control que hace variar las condiciones del circuito de sintonía. Se les denomina Osciladores Controlados por Tensión (VCO). Las formas más frecuentes de control son:

- Mediante la variación de polarización en un elemento de ganancia (estables).
- Utilizando un diodo de capacidad variable (varactor).
- Utilizando cavidades polarizadas por campo magnético (YIG).

En función a la forma de realizar la sintonía:



**Sintonía continua.** Aquellos en que la frecuencia puede considerarse cualquier valor dentro del margen de sintonía.

**Sintonía discreta.** Aquellos en que la frecuencia solo puede ser considerada algunos valores dentro de su margen de sintonía.

Los osciladores por amplitud relativa de su margen de sintonía:

**Osciladores sintonizables en banda estrecha.** Normalmente el margen de sintonía es inferior al 10% de la frecuencia central de oscilación.

**Osciladores sintonizables en banda ancha.** Se agrupan en este tipo todos los osciladores de frecuencia variable que pueden llegar hasta una o varias octavas. Por los componentes de sintonía que introducen, se asocia a los osciladores de bajo factor de calidad.

## 2.4. ESTABILIDAD DE UN OSCILADOR

Esta variación proviene del hecho que el equilibrio que se analiza al estabilizarse la oscilación es dinámico, la amplitud y la fase de la oscilación varían de unos ciclos a otros, a su vez producen variaciones estos parámetros en la respuesta de los elementos activos y en el circuito resonante.

Si por alguna causa se produce una variación de fase  $\Delta\phi$  en el amplificador, la frecuencia varía de manera que tienda a compensar esa variación de fase, introduciendo en el circuito LC una fase  $-\Delta\phi$  hasta que se recobre el equilibrio de fases.

$$Fase (B) = \phi = \operatorname{atan}\left(\frac{1-\omega^2 LC}{\omega RC}\right) = \operatorname{atan}\left(Q \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega \omega_0}\right) \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

La variación de fase corresponde a una cierta variación de la frecuencia que puede calcularse como:

$$\left. \frac{d\phi}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} = -\left(Q \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega^2 \omega_0}\right) \cos^2 \phi \Big|_{\omega=\omega_0} = -\frac{2Q}{\omega_0} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

### 2.4.1. POTENCIA, RENDIMIENTO Y NIVEL DE ARMÓNICOS

Se entiende por potencia de salida ( $P_{\text{sal}}$ ) de un oscilador la potencia de RF que entrega a la carga nominal (normalmente 50  $\Omega$ ). Su medida se realiza normalmente con un bolómetro o termistor. En osciladores de forma de onda no sinusoidales o en osciladores de bajo factor de calidad ( $Q$ ) conviene realizar, además, una medida sobre un osciloscopio o con el analizador de espectros.

El nivel de armónicos se define normalmente de forma relativa a la potencia en el fundamental:

$$\text{Nivel de armónico} = \frac{\text{Potencia del armónico } i}{\text{Potencia del fundamental}} = \frac{P_i}{P_1} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

$$\text{Nivel de armónico} = \frac{\text{Potencias de espurias}}{\text{Potencia del fundamental}} = \frac{P_{\text{esp}}}{P_1} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Normalmente estas magnitudes se dan en dBc (decibelios respecto a portadora) como:

$$\text{Nivel de armónico (dBc)} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_i}{P_1} \right) \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Otro parámetro de especificación importante es el rendimiento de potencia del oscilador, definido como:

$$\eta_{osc} = \frac{\text{Potencia en la carga}}{\text{Potencia DC}} \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

#### 2.4.2. PULLING

El pulling mide la variación de frecuencia del oscilador cuando se modifica la impedancia de carga. Depende sobre todo del factor de calidad  $Q$  del circuito de sintonía y de la forma de acoplo entre osciladores y la carga.

#### 2.4.3. PUSHING

Es la variación de la frecuencia del oscilador con la tensión de polarización del dispositivo. Se suele medir de forma absoluta como la derivada de la frecuencia con la tensión de alimentación en el punto de trabajo, o bien de forma relativa como el cociente entre dicha derivada y la frecuencia de oscilación. En ocasiones se especifica como el cambio máximo de frecuencia para un cambio dado en la tensión de alimentación.

Depende igualmente del factor de calidad  $Q$  y del tiempo de dispositivo activo utilizado. Se puede también mejorar empleando estabilizadores de tensión, a costa de un mayor consumo de potencia continua.

#### 2.4.4. DERIVA DE FRECUENCIA CON LA TEMPERATURA

Otro parámetro a especificar es la deriva de la frecuencia con la temperatura, debida fundamentalmente al cambio de las características de los componentes resonantes que forman el oscilador que es de especial importancia en el proceso de encendido y en el transitorio térmico.

En oscilaciones con redes de sintonía de bajo  $Q$  esta deriva se debe en gran medida a cambios en los parámetros del dispositivo activo con la temperatura. Por el contrario, en osciladores de alto  $Q$  esta deriva se asocia a cambios en la frecuencia de resonancia debido a variaciones de los componentes, dilataciones, etcétera. Se suelen medir como un coeficiente de variación absoluto o relativo respecto a la frecuencia de oscilación.

#### 2.4.5. ESPECTRO DE RUIDO. ESTABILIDAD A CORTO PLAZO

Todo oscilador genera un espectro de ruido que se encuentra concentrado alrededor de la frecuencia fundamental y que se debe en parte al ruido generado en el dispositivo, además de las variaciones rápidas de los parámetros de las componentes que lo forman. Expresando de

forma genérica una señal de frecuencia fija acompañada de ruido, se describe la señal de oscilador como:

$$V_0(t) = V_0(1 + n(t))\cos(V_0t + \phi(t)) \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

El ruido de fase también se puede cuantificar trabajando con la función de Lesson  $L(f_m)$ , que se modela, relaciona la densidad espectral de potencia de ruido  $S_v(f)$ , para una banda de 1 Hz y para una distancia en frecuencia  $f_m$  de la frecuencia de oscilación, con la potencia del oscilador. La función (en dB) viene dada por:

$$L(f_m)|_{B=1 \text{ Hz}} = 10 \log[\mathcal{L}(f_m)] \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

Dónde:

$S_v(f)$  = Función de densidad espectral de potencia de la señal.

$P_0$  = Potencia de oscilador (potencia total de la señal).

$f_m = |f - f_0|$  = Distancia en frecuencia de oscilación.

#### 2.4.6. ESTABILIDAD A LARGO PLAZO

Aunque puede asociarse al espectro de ruido en la zona muy próxima a la frecuencia de oscilación, la estabilidad a largo plazo suele responder a otro mecanismo y se mide como derivas de la frecuencia media en periodos de tiempo mucho más largos. En muchos osciladores se especifica una estabilidad a largo plazo sin indicar el tiempo entre medidas, lo que supone una medida de la estabilidad a lo largo de la vida del oscilador o al menos en periodo muy grandes, como un año o más.

#### 2.4.7. RUIDO DE FASE DE UN OSCILADOR. MODELO DE LESSON

Se trata de un espectro continuo cuya máxima densidad espectral de potencia se sitúa en la frecuencia de oscilación. La densidad espectral desciende hacia los dos lados de forma casi simétrica y llega a estabilizarse en el nivel del ruido térmico (de característica plana) a cierta distancia de la frecuencia de oscilación.

Los modelos usuales de ruido no sirven para un oscilador. Deben tenerse en cuenta las siguientes diferencias importantes:

- El ruido blanco, de origen térmico, es solo uno de los componentes del ruido, y únicamente es dominante a frecuencias muy alejadas de la frecuencia de oscilación. La relación entre la potencia de señal y la densidad espectral de potencia del ruido térmico es mucho mayor que la que existe, por ejemplo en un receptor.
- Señal y ruido no pueden separarse como en otras aplicaciones. El concepto de relación señal a ruido no tiene sentido en este caso, salvo a que se indiquen las bandas de ruido consideradas.
- El ruido no afecta por igual a la amplitud y la fase de la señal, como ocurre con el ruido aditivo en un receptor. En un oscilador siempre existe algún elemento que limita la amplitud de las oscilaciones, aunque solo sea la saturación del elemento aditivo. La

amplitud esencialmente constante y presencia del ruido se traduce fundamentalmente, en fluctuación de fase.

El ruido de amplitud existe, pero su nivel está habitualmente del orden de 30 dB por debajo del nivel de ruido de fase. Si fuera necesario reducirlo a un nivel más bajo es posible siempre colocar un limpiador, que entrega a su salida una señal de amplitud constante. Sin embargo, el ruido de fase no puede eliminarse tan fácilmente.

Una forma bastante usual de cuantificar el ruido de fase consiste en la medida de la derivación eficaz de frecuencia que provoca el ruido contenido en un ancho de banda determinado. La medida, en este caso, consiste en utilizar un demodulador de FM seguido de un filtro con el ancho de banda dado. La potencia de señal en salida del filtro es directamente proporcional al cuadrado de la desviación eficaz de frecuencia.

Para poder diseñar un oscilador con un bajo nivel de ruido es necesario poder calcular cuál es el ruido del oscilador a partir de sus componentes, y conocer cómo afecta cada uno de ellos en el comportamiento global del mismo. El modelo más utilizado es el modelo de Lesson, perfeccionado por Sauvage, que permite calcular con facilidad el ruido de fase a partir de pocos datos donde el oscilador. Básicamente el modelo de Lesson puede resumirse en estos puntos:

- El oscilador se puede descomponer fundamentalmente en dos cuadripolos separados. Uno de ellos es el que contiene el elemento activo y es, por tanto, el que introduce el ruido electrónico. El segundo cuadripolo contiene el resonador, ya sea LC, cristal o de otro tipo, que actúa de filtro.
- El ruido que introduce el elemento activo consta de un ruido blanco, cuyo nivel está relacionado con el factor de ruido del dispositivo  $f$ , y un ruido flicker, de característica  $\frac{1}{f}$  en baja frecuencia. La frecuencia del ruido flicker  $f_c$ , varía en un dispositivo a otro, pero está habitualmente entre 10 Hz y 10 KHz. Esta frecuencia de corte es el punto en el que el ruido cambia de una característica  $\frac{1}{f}$  a una característica plana. El ruido global será menor cuanto menores sean el factor de ruido y la frecuencia de corte del ruido flicker.
- El resonador se caracteriza como un filtro paso bajo para la perturbación (es decir, para la modulación parasita debida al ruido) de ancho de banda  $\frac{f_0}{2Q}$ . se trata de la mitad del ancho de banda del resonador en paso de banda. Las componentes de ruido que caigan dentro del ancho de banda del resonador se realimentan a la entrada del elemento activo, y por tanto la densidad espectral en esas frecuencias es más elevada. Cuanto mayor sea el  $Q$  del circuito menor será un ancho de banda y, por tanto, menor la retroalimentación del ruido.

Utilizando estas ideas, el modelo de Lesson concluye que el ruido del oscilador sigue la expresión:

$$\mathcal{L}(f_m) = \frac{\frac{1}{2}kTof}{P_{sav}} \left(1 + \frac{f_c}{f_m}\right) \left(1 + \left(\frac{f_c}{2Qf_m}\right)^2\right) \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Donde

$f$  = Factor de ruido del dispositivo.

$f_c$  = Frecuencia de corte del ruido flicker del mismo.

$k$  = Constante de Boltzmann.

$T_o$  = Temperatura de referencia (290 K).

$P_{sav}$  = Potencia de señal que se realimenta al dispositivo activo.

$f_o$  = Frecuencia de oscilación.

$Q$  = Factor de calidad del circuito resonante cargado.

Para comparar directamente el ruido de fase de dos osciladores estos deben de ser de la misma frecuencia. En general, un incremento en  $N$  veces de la frecuencia de oscilación provoca un incremento del ruido de fase en las cercanías de la frecuencia de oscilación en  $20 \log(N)$  dBc/Hz.

## 2.5. TIPOS DE OSCILADORES

Dejando a un lado los osciladores de potencia de microondas, en el margen de algunos KHz a 10 GHz se utilizan casi exclusivamente componentes activos de tres terminales para el diseño de osciladores (Transistores bipolares, FET, tubos de vacío, etcétera), siendo el transistor bipolar el más utilizado, siempre que los niveles de potencia requeridos lo permitan, ya que aportan un alto rendimiento de conversión de potencia con bajos niveles de ruido térmico, siendo  $T = \frac{1}{f}$ .

En el caso de circuitos para osciladores es especialmente importante la estabilidad con la temperatura.

- Los osciladores RC son de bajo  $Q$ , por lo tanto, poseen muy mala estabilidad. Se utilizan en frecuencias inferiores a 10 MHz en la forma de circuitos integrados o usando amplificadores operacionales para formar multivibradores. Poseen baja estabilidad de frecuencia. Su principal ventaja es su gran capacidad de sintonía controlada por tensión, en márgenes que superan una década.
- Los osciladores LC poseen mejor estabilidad y ruido que los anteriores, se utilizan con mayor incidencia por su sencillez y amplio margen de sintonía, tanto mecánica como electrónica. Se considera fundamentalmente las frecuencias entre 100 KHz y 500 MHz. Actualmente se aplica la misma concepción de diseño a circuitos integrados de microondas sobre arseniuro de galio (AsGa), donde los componentes pasivos L y C se integran en el mismo circuito. En este último se menciona que los factores de calidad y los de estabilidades conseguidas son muchos menores.
- Dentro de los osciladores de alta estabilidad podemos destacar los que utilizan resonadores de cristal de cuarzo y los filtros de onda acústica superficial (SAW). Aunque como filtros, los últimos poseen mejores prestaciones su alto precio comparado con el cristal de cuarzo hace que este sea el elemento más común cuando se desea alta estabilidad de frecuencia en el margen de 1 MHz a 300 MHz. En frecuencias superiores a 300 MHz se utilizan cavidades resonantes y líneas de transmisión resonantes como elementos de retroalimentación del oscilador, o

multiplicadores de frecuencia asociados a un oscilador de cristal de frecuencia más baja.

### 2.5.1. OSCILADORES LC

Los osciladores LC son los que poseen una red de retroalimentación compuesta por bobinas y condensadores, normalmente se ha clasificado en varios tipos en función de la forma que toma la red. Se presenta algunos de los esquemas más frecuentes, donde se ha separado claramente los elementos activos en la red LC de retroalimentación, se han omitido las redes de polarización y acople a la carga. En este caso todas las redes resonantes son inversoras, para conseguir compensar la inversión de fase que se produce en el elemento activo.

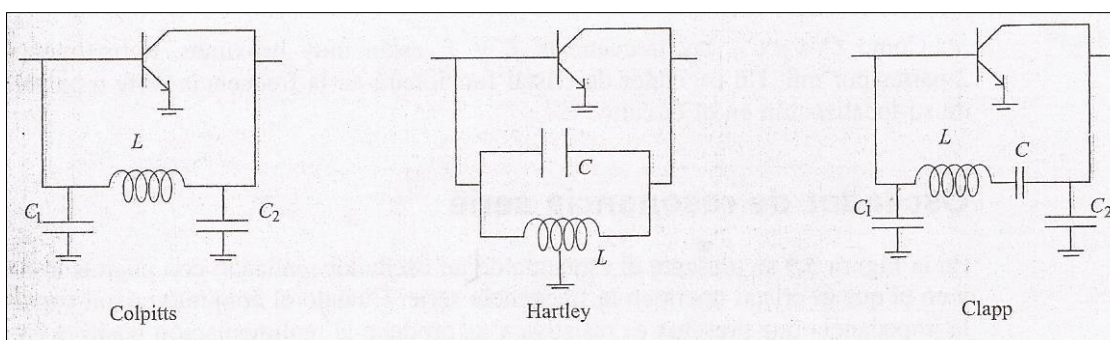


Figura 2.1. Circuitos osciladores LC.

### 2.5.2. OSCILADORES DE CRISTAL DE CUARZO

Los cristales de cuarzo tienen propiedades piezoeléctricas de forma que cuando se aplica entre sus caras una diferencia de potencial se produce una deformación de cristal, y viceversa. Basado en esta propiedad, la frecuencia de resonancia mecánica del cristal puede excitarse desde una terminal eléctrica, comportándose como un circuito resonante de muy alto  $Q$  ( $< 10^5$ ) y coeficiente de temperatura del orden de  $0.1 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ .

Con un cristal de cuarzo adecuadamente tallado y metalizado, se pueden construir osciladores de gran estabilidad, con derivadas inferiores  $10^{-5}$ , que pueden alcanzar valores de hasta  $10^{-10}$ . En cuanto al margen de frecuencia, se construyen láminas de cuarzo que resuenan en el modo fundamental entre 1 y 30 MHz, en armónicos de hasta 300 MHz.

Despreciando la resistencia, la impedancia que presenta el cristal vale:

$$Z(s) = \frac{1}{C_0 s} \frac{s^2 + \frac{1}{LC}}{s^2 + \frac{1}{LC_0} + \frac{1}{LC}} \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

La forma de la reactancia del cristal, en la que se aprecian dos resonancias, la resonancia serie  $f_s$ , de impedancia nula y la resonancia paralela  $f_p$ , que corresponde a un polo, dada por:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad f_p = \frac{\sqrt{1 + \frac{C}{C_0}}}{2\pi\sqrt{LC}} = f_s \sqrt{1 + \frac{C}{C_0}} \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

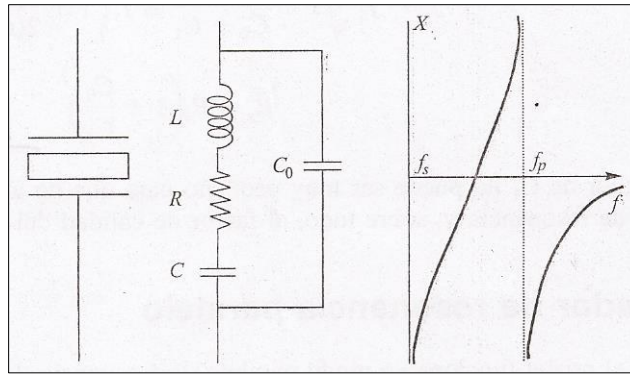


Figura 2.2. Circuito equivalente del cristal de cuarzo.

### 2.5.3. OSCILADORES DE RESONANCIA SERIE

Un oscilador construido con puertas lógicas inversoras y en el que el cristal opera en la frecuencia serie. Cuando el conjunto cristal-capacidad resuena, la impedancia que presenta es resistiva y se produce la realimentación positiva entre la puerta de salida y entrada.

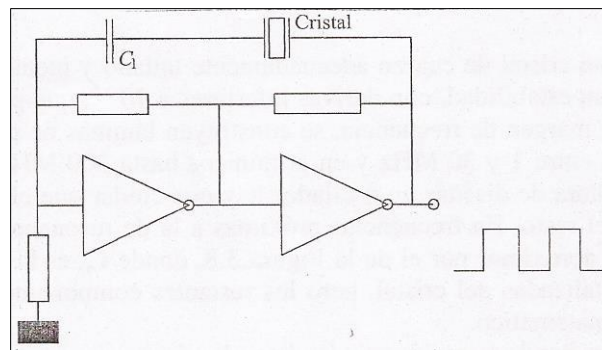


Figura 2.3. Cristal en montaje serie.

Despreciando los elementos disipativos, la reactancia serie del conjunto cristal-condensador es:

$$Z = \frac{1}{C_1 s} + \frac{1}{C_0 s \left( s^2 + \frac{1}{LC} \right)} = \frac{C_0 + C_1}{C_0 C_1} \frac{s^2 + \frac{1}{LC} \left( 1 + \frac{C}{C_1 + C_0} \right)}{s^2 + \frac{1}{LC_0} + \frac{1}{LC}} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

La nueva frecuencia de resonancia serie y la resistencia serie equivalente que presenta el circuito quedan como:

$$f_s' = f_s \sqrt{\left( 1 + \frac{C}{C_0 + C_1} \right)} = f_s \left( 1 + \frac{C}{2(C_0 + C_1)} \right) \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

$$R_s' = R_s \left( 1 + \frac{C_0}{C_1} \right)^2 \quad \text{Ecuación (2.14)}$$

### 2.5.4. OSCILADOR DE RESONANCIA PARALELO



Cuando el cristal funcional en modo paralelo, la frecuencia del oscilador se encuentra entre  $f_s$  y  $f_p$ , muy cerca de esta última, se comporta como una inductancia. Para ajustar  $f_p$  se suele colocar una pequeña capacidad  $C_L$  en paralelo con el cristal. La frecuencia de resonancia en este caso queda:

$$f_p' = f_s \left( 1 + \frac{C}{2(C_0 + C_1)} \right) \quad \text{Ecuación (2.15)}$$

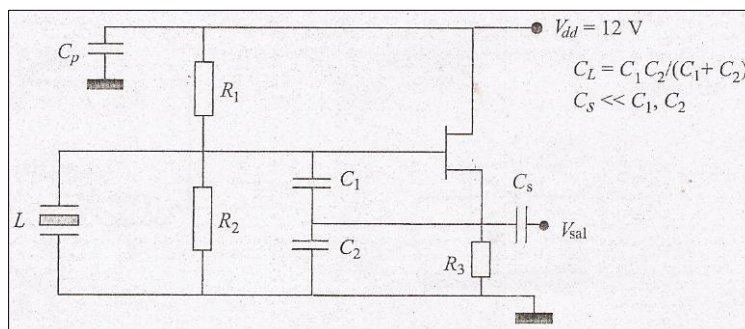


Figura 2.4. Circuito Colpitts con cristal.

### 2.5.5. OSCILADORES CONTROLADOS POR TENSIÓN

Los VCO (Voltage Controlled Oscillator) son osciladores sintonizables electrónicamente, entre los que se pueden distinguir varios tipos:

- Multivibrador. Se emplean hasta frecuencias de unos pocos MHz y se basan en un circuito multivibrador digital en el que la frecuencia de oscilación puede variarse por medio de una tensión continua que controla, por ejemplo, la corriente de carga de un condensador. Posee una estabilidad mala pero en cambio ofrece márgenes de variación de frecuencia muy grandes, 10:1 y superiores.
- Osciladores con varactor. Son osciladores que incluyen un diodo varactor (varicap) en el circuito, de forma que al modificar su capacidad con la tensión continua aplicada al varactor, se modifica la frecuencia de oscilación. Se emplea en osciladores LC y de cavidad en frecuencias desde algunos centenares de KHz hasta algunos GHz. Dado que el factor de calidad de los varactores es bajo, no ofrecen una alta estabilidad y se obtienen márgenes de sintonía del orden de una octava como máximo. Los varactores se utilizan también como elementos de sintonía fina de los osciladores de cristal, donde se desacoplan mucho del cristal para que afecten poco al factor de calidad del circuito, lo que supone que el margen de ajuste es necesariamente pequeño.
- Osciladores de cavidad YIG (Yttrium Iron Garnet). Son osciladores de microondas que utilizan una cavidad ferromagnética cuyas propiedades (frecuencia de resonancia) dependen del campo magnético de polarización. Se polarizan con una bobina por la que circula la corriente de control de la frecuencia. Permiten variaciones amplias de la frecuencia (del 30 al 60%) en banda de microondas (de 500 MHz a 20 GHz).

### 2.5.6. OSCILADOR CONTROLADO POR VARACTOR



Un diodo varactor es unión P-N que aprovecha la capacidad de la unión en polarización inversa. Como la profundidad de la zona de carga depende de la tensión inversa de polarización, la capacidad equivalente varia también con esa tensión, siendo máxima para tensiones pequeñas y disminuyendo conforme se aumenta la tensión inversa.

La capacidad de la unión puede aproximarse por la expresión

$$C_d(v) = C_r + K(V - \phi)^{-\alpha} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

Donde

$C_r$  = Capacidad residual para  $V \rightarrow \infty$ .

$V$  = Tensión inversa de polarización.

$\phi$  = Potencial termodinámico de polarización.

$\alpha$  = Numero entre 1 y 2 que depende del tipo de unión.

$K$  = Constante.

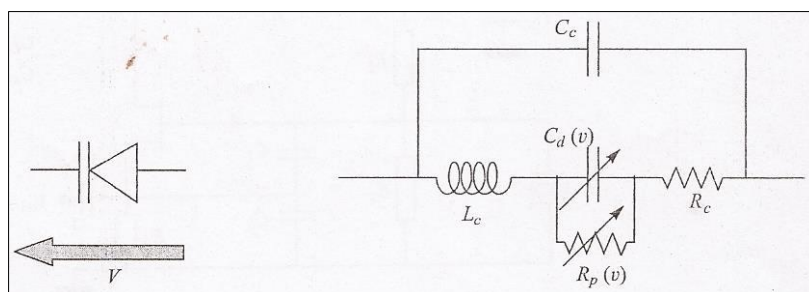


Figura 2.5. Circuito equivalente del varactor.

En el caso de utilizar el varactor como la capacidad única de un circuito resonante LC, la frecuencia de oscilación sería aproximadamente:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_d}} \quad \text{Ecuación (2.17)}$$

Y la relación entre la máxima y mínima frecuencias de sintonía queda: (Sierra, Galocha, Fernández, & Sierra, 2003)

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = \sqrt{\frac{C_{máx}}{C_{mín}}} \quad \text{Ecuación (2.18)}$$

## ANEXO III

# FILTROS

---

## 3.1. INTRODUCCIÓN DE FILTROS DE RADIOCOMUNICACIÓN

Una característica particular de operación de todos los radiorreceptores consiste en que el campo electromagnético incidente en la antena (dispositivo de entrada), además de contener la portadora útil, está compuesto de un inmenso número de otras oscilaciones electromagnéticas provenientes de diferentes fuentes; es necesario que el receptor tenga la capacidad de separar la portadora útil de todas las otras oscilaciones. Uno de los métodos más eficientes es separar las oscilaciones por medio de las frecuencias que sintoniza el receptor, esto se realiza a través de filtros selectivos. Otros tipos de selectividad que se emplean en los sistemas de radiocomunicación son: de polarización, espacial, temporal y estadística. En función de la aplicación, modulación, tipo de señal de banda base y potencia de portadora, algunos sistemas pueden emplear uno o varios tipos de selectividad. La selectividad frecuencial es la que permite mayores grados de separación de señales y es la que emplea en todos los radiorreceptores.

Los filtros compuestos de inductancias y capacitancias así como sus equivalentes de microcintas, helicoides además de los de cavidad resonante son los más ampliamente usados en la etapa de entrada de los radiorreceptores. Las características más sobresalientes de estos filtros son:

1. Gran intervalo de frecuencias de operación 1 KHz-300 GHz.
2. Frecuencia de resonancia variable tanto por medios mecánicos como electrónicos.
3. Simples y baratos.
4. Facilidad de ajuste.
5. Capacidad de manejar pequeñas y grandes señales: pW-MW
6. Introducen pérdidas pequeñas.
7. Se pueden hacer entonables electrónicamente.
8. A frecuencias de UHF y más altas, las capacitancias e inductancias se simulan con secciones de líneas de transmisión.
9. A frecuencias de VHF y UHF, los filtros L-C pueden considerarse como una transición entre filtros L-C convencionales y cavidades resonantes.
10. La característica amplitud frecuencia se puede ajustar.

Entre las principales limitaciones de estos filtros están:

1. Selectividad baja o moderada  
( $Q = 10 - 2000$ )
2. Selectividad y ancho de banda función de la frecuencia de operación.
3. A frecuencias menores de 1 KHz resultan voluminosos.

## 3.2. TIPOS DE FILTROS

### 3.2.1. FILTRO RESONANTES L-C

Las formas básicas de los filtros resonantes L-C son circuitos resonantes serie y circuitos resonantes paralelo. Los elementos esenciales de estos filtros son los inductores y capacitores.

**Inductores.** Los inductores son elementos que idealmente, solo deben almacenar energía en un campo magnético. Un inductor real se aleja de este comportamiento puesto que es construido con un conductor eléctrico, y todo conductor a temperatura arriba del cero absoluto presenta una resistencia finita diferente de cero, la cual crece conforme se aumenta la frecuencia de operación a causa del efecto operación superficial (skin). Esto quiere decir que un inductor real además de tener la propiedad de almacenar energía en un campo magnético, también tiene la capacidad de transformar energía eléctrica en calor.

Se denomina factor de calidad  $Q$  y aplicando su definición se obtiene

$$Q = \frac{\omega L}{R_s} \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Un inductor, entre las espiras o entre sus terminales se presenta una caída de voltaje cuando por este circula una corriente, también almacena energía en un campo eléctrico.

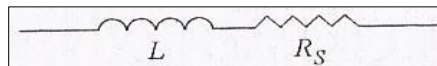


Figura 3.1. Circuito con un inductor.

**Capacitores.** Los capacitores son elementos cuya función es almacenar energía en un campo eléctrico. Un capacitor físico se aleja de este comportamiento, ya que el dieléctrico entre las placas tiene pérdidas, además las terminales y las placas de capacitor tienen cierta inductancia, por lo tanto un capacitor físico no solo tiene capacidad de almacenar energía en un campo eléctrico sino también almacena energía en campo magnético y transforma la energía eléctrica en calor. La presencia de la inductancia parasita determina la máxima frecuencia de operación de los condensadores.

Con  $R_1$  se representa la existencia de corrientes de fuga, la cual varía significativamente en función del tipo de condensador. Con  $R_2$  se muestran las pérdidas del dieléctrico, las cuales crecen con la frecuencia de operación. De una manera similar a los inductores, se puede definir un factor de calidad para los capacitores. En este caso el factor de calidad es la relación entre la energía almacenada en el campo eléctrico a la energía disipada en calor.

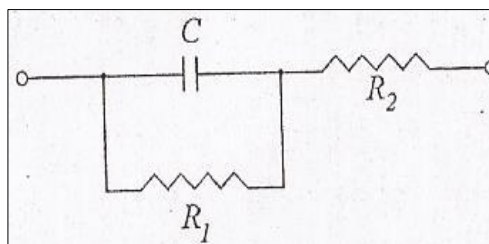


Figura 3.2. Circuito equivalente de capacitores físico.

El diagrama de un circuito resonante serie conectado a una fuente de voltaje

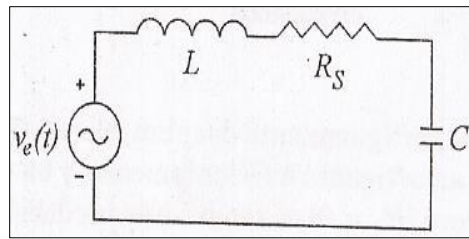


Figura 3.3. Circuito de un filtro resonante serie.

La impedancia del circuito resonante es

$$Z = j\omega L - \frac{j}{\omega C} + R_S = \frac{j(\omega^2 LC - 1) + R_S \omega C}{\omega C} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

El módulo de la impedancia es

$$|Z| = \frac{\sqrt{(\omega^2 LC - 1)^2 + (R_S \omega C)^2}}{\omega C} = R_S \quad \text{Ecuación (3.3)}$$

La impedancia de un circuito resonante serie tiene un mínimo, y este se obtiene a partir de la frecuencia de resonancia

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)} = \omega_r \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

La impedancia que presenta el circuito es pequeña y los efectos de almacenamiento de energía se compensan, por lo tanto la fase entre el voltaje aplicado y la corriente es idéntica a cero. Si esta condición de resonancia se generaliza para circuitos más complejos, la frecuencia de resonancia es aquella frecuencia, en la cual, la parte imaginaria de la impedancia del circuito se hace idéntica a cero. Otra forma de expresar la condición de resonancia, es aquella bajo la cual el circuito resonante se comporta como puramente resistivo.

### 3.2.2. FILTROS RESONANTES PARALELO

El diagrama de un circuito resonante paralelo se muestra, cuando  $R_S$  representa pérdidas del inductor.

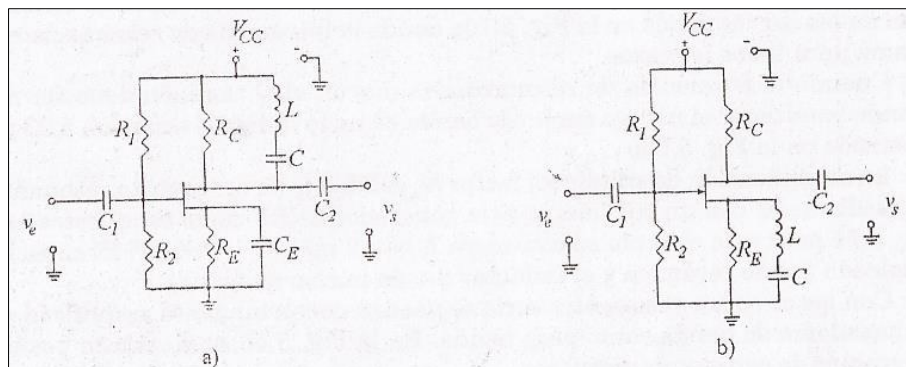


Figura 3.4. Amplificadores selectivos circuito resonante serie: a) rechazador de banda, b) pasa banda.

La impedancia del circuito resonante es

$$Z = \frac{(R_S + j\omega L) \left( \frac{1}{j\omega C} \right)}{R_S + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \quad \text{Ecuación (3.5)}$$

$$Z = \frac{R_S + j(\omega L - \omega^3 L^2 C - \omega C R_S^2)}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega C R_S)^2} \quad \text{Ecuación (3.6)}$$

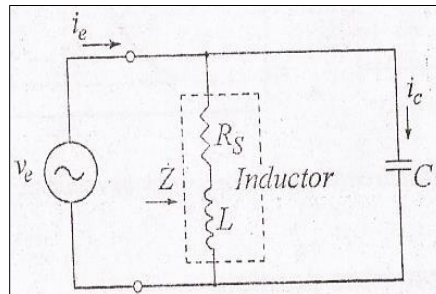


Figura 3.5. Circuito resonante paralelo.

La condición de resonancia se obtiene cuando la corriente y el voltaje están en fase, esto implica que la impedancia que presenta el circuito resonante paralelo sea puramente resistiva, y esta condición se cumple aplicando la siguiente ecuación

$$\omega_r L - \omega_r^3 L^3 - \omega_r C R_S^2 = 0 \quad \text{Ecuación (3.7)}$$

Despejando  $\omega_r$  a se obtiene

$$\omega_r = \sqrt{\frac{L - C R_S^2}{L^2 C}} \quad \text{Ecuación (3.8)}$$

Dándole a la ecuación anterior otra forma

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC} \left( 1 - \frac{C R_S^2}{L} \right)} \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

Si  $L \gg C R_S^2$  de la ecuación descrita con anterioridad se aproxima a

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \text{Ecuación (3.10)}$$

Si se disminuye la condición de resonancia en la ecuación de impedancia del circuito resonante

$$Z = \frac{1}{(\omega C)^2 R_S} = R_S Q^2 \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

A diferencia del circuito serie que presenta una bajo resistencia  $R_S$  a la frecuencia de resonancia, el circuito paralelo presenta una alta resistencia  $R_S Q$  a la frecuencia de resonancia.

La corriente en las ramas del circuito paralelo es  $Q$  veces la corriente proporcionada por la fuente de señal, o sea se presenta amplificación de corriente.

Esta equivalencia solo es aplicable en frecuencias cercanas a la frecuencia de resonancia, pero como se exige que  $Q > 1$ , el ancho de banda sea pequeño y para este modelo es una buena aproximación para el intervalo de frecuencias de operación en la mayoría de las situaciones prácticas.

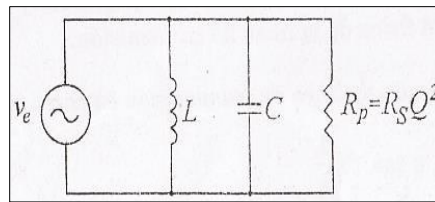


Figura 3.6. Circuito equivalente.

Este tipo de circuitos es ampliamente empleado en la radiocomunicación ya que con ellos fácilmente se construyen amplificadores selectivos. En los intervalos LF, MF, HF, VHF los inductores y capacitores son elementos discretos en frecuencias de UHF y microondas, los inductores, capacitores e inclusive los circuitos resonantes serie y paralelo se pueden simular con secciones de línea de transmisión en corto circuito o circuito abierto.

### 3.2.3. CIRCUITOS RESONANTES ACOPLADOS MAGNÉTICAMENTE

Los circuitos resonantes acoplados magnéticamente se emplean extensivamente en la radioelectrónica, ya que estos facilitan realizar su conjunto de funciones:

Aislamiento de corriente directa, inversión de fase, transformación de impedancias, manipulación de la característica amplitud-frecuencia de los filtros L – C.

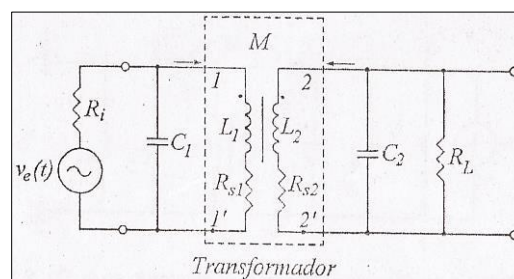


Figura 3.7. Circuito eléctrico de un filtro resonante acoplado magnéticamente.

$M$  es la inductancia mutua entre el primario y el secundario del transformador y está relacionado con el factor de acoplamiento  $k$  por medio de la siguiente relación

$$M = k(L_1 L_2)^{1/2} \quad \text{Ecuación (3.12)}$$

O

$$k = \frac{M}{(L_1 L_2)^{1/2}}, \quad Q < k < 1 \quad \text{Ecuación (3.13)}$$

Dónde:

- $L_1$  y  $L_2$  = Son las inductancias del primario y secundaria del transformador,
- $R_{S1}$  = Representa las pérdidas del primario,
- $R_{S2}$  = Representa las pérdidas del secundario,
- $R_i$  = Es la resistencia interna de la fuente de señal,
- $R_L$  = Es la resistencia de carga.

Si las frecuencias de resonancia de los circuitos asociados al primario y secundario son próximas y la frecuencia de operación son cercanas a las frecuencias de resonancia se pueden introducir las siguientes aproximaciones.

|                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| $R_{p1} = Q_1^2 R_{S1}$ | <b>Ecuación (3.14)</b> |
| $R_{p2} = Q_2^2 R_{S2}$ | <b>Ecuación (3.15)</b> |

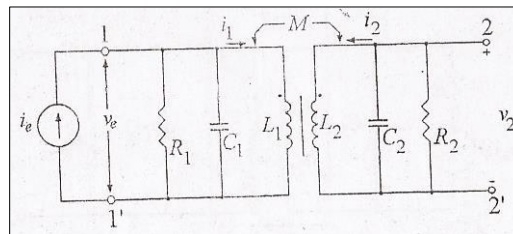


Figura 3.8. Circuito equivalente.

Para el caso particular en que los dos circuitos resonantes tengan la misma frecuencia resonante y el mismo ancho de banda se tiene que

|   |                        |
|---|------------------------|
| $a_0 = \frac{w_0^2}{1-k^2}$                                   | <b>Ecuación (3.16)</b> |
| $a_1 = \frac{2w_0^3}{Q_0(1-k^2)}$                             | <b>Ecuación (3.17)</b> |
| $a_2 = \left(\frac{w_0}{Q_0}\right)^2 + \frac{2w_0^3}{1-k^2}$ | <b>Ecuación (3.18)</b> |
| $a_3 = \frac{2w_0}{Q_0}$                                      | <b>Ecuación (3.19)</b> |

Se concluye que los filtros resonantes acoplados pueden utilizarse para ampliar el ancho de banda de un solo circuito resonante, así como también mejorar su selectividad.

### 3.2.4. FILTRO DE CRISTAL DE CUARZO

Los filtros L-C tienen una serie de ventajas y limitaciones, las cuales determinan sus áreas de aplicación.

Los filtros de cristal de cuarzo emplean uno o varios cristales de cuarzo como elementos selectores de frecuencia. El principio de funcionamiento de estos filtros se basa en el efecto piezoeléctrico.

El efecto piezoeléctrico consiste en el hecho de cuando a una estructura cristalina en un determinado eje se le aplican oscilaciones eléctricas, aparecen en otro eje vibraciones mecánicas, cuya amplitud es proporcional a la magnitud del voltaje aplicado.

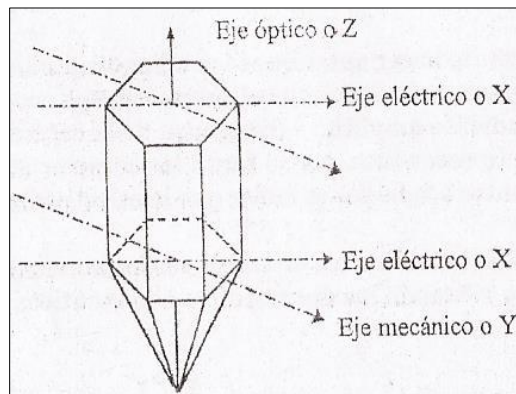


Figura 3.9. Estructura cristalina del cuarzo con sus ejes óptico, mecánico y eléctrico.

Si el cristal se aplican oscilaciones eléctricas a lo largo del eje eléctrico aparecerán vibraciones mecánicas a lo largo del eje mecánico, si se aplican vibraciones mecánicas a lo largo del eje mecánico aparecen oscilaciones eléctricas a lo largo del eje eléctrico, la transferencia de energía tiene lugar pérdidas pequeñas.

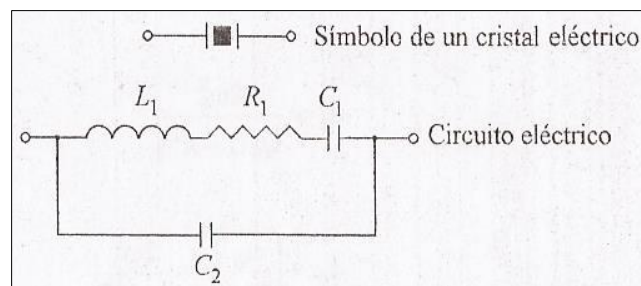


Figura 3.10. Circuito eléctrico de un resonador de cuarzo.

Un resonador de cuarzo físico tiene un circuito equivalente más complejo ya que presenta un conjunto de frecuencias de resonancia serie secundaria. Para propósito de descubrir los efectos de primer orden, que tiene lugar en el resonador, cuando esto se utiliza como elementos de selección en filtros u osciladores. Las frecuencias de resonancia se denominan sobretonos y se emplean cuando se requieren osciladores de alta frecuencia.

| Frecuencia de oscilación  | Q       | R<br>$\Omega$ | L<br>H   | $C_1$<br>$\times 10^{-3}$ | $C_2$<br>pF |
|---------------------------|---------|---------------|----------|---------------------------|-------------|
| 1 MHz (fundamental)       | 65,000  | 250           | 2814477  | 9                         | 4.0         |
| 2 MHz (fundamental)       | 110,000 | 70            |          | 10                        | 3.5         |
| 5 MHz (fundamental)       | 85,000  | 15            |          | 24                        | 6           |
| 10 MHz (fundamental)      | 50,000  | 12            | 0.010554 | 24                        | 6           |
| 20 MHz (fundamental)      | 25,000  | 12            |          | 24                        | 6           |
| 45 MHz (tercer sobretono) | 90,000  |               |          | 15                        | 5           |
| 100 MHz (5º sobretono)    | 130,000 | 40            |          | 0.3                       | 5           |

Tabla 3.1. Valores típicos de resonadores de cuarzo de propósito general.

Fuente: (Jordón, 2002)



La impedancia del cristal de cuarzo, de acuerdo con el circuito equivalente

$$Z(j\omega) = \frac{\left(\frac{1}{j\omega C_2}\right)(R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_1})}{\frac{1}{j\omega C_2} + R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_1}} \quad \text{Ecuación (3.20)}$$

Si se desprecia el efecto de R se obtiene

$$Z(j\omega) = \frac{j(\omega L - \frac{1}{\omega C_1})}{1 - \omega^2 LC_2 + C_2/C_1} \quad \text{Ecuación (3.21)}$$

En todos los intervalos se comporta como capacitancia, como resistencia pequeña cuando  $f = f_p$ , siempre será mayor la frecuencia de resonancia paralelo que la frecuencia de resonancia serie.

$$f_s = 1.000000 \text{ MHz}; f_p = 1.001124 \text{ MHz}$$

Y para el cristal de cuarzo de 10.0 MHz se tiene que:

$$f_s = 10.000000 \text{ MHz}; f_p = 10.02012 \text{ MHz}$$

Si se constituye un filtro con cristal de cuarzo

La función de transferencia del filtro es

$$H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_e(j\omega)} = \frac{R_L}{R_L + Z} \quad \text{Ecuación (3.22)}$$

### 3.2.5. FILTRO DE MICROCINTA

Conforme crece la frecuencia de operación es difícil o imposible construir los filtros con elementos discretos, y es necesario simular las inductancias y capacitancias con líneas de transmisión.

Todo radioreceptor después de la antena contiene un filtro pasa banda para separar total o parcialmente la portadora de un conjunto de oscilaciones interferentes. La frecuencia central del filtro es idéntica a la frecuencia de la portadora. También todo radioreceptor como dispositivo de salida antes de la antena transmisora contiene un filtro pasa banda para evitar emisiones espurias fuera de la banda que emplea la portadora modulada, este filtro tiene su frecuencia central igual a la frecuencia de la portadora modulada. Ya que la frecuencia de la portadora puede estar en el intervalo de 30 KHz a 300 GHz, un buen sistema de radiocomunicación tiene frecuencias mayores que la parte superior que la banda UH, los filtros de RF ya no se construyen con elementos discretos (filtros helicoidales). Entre las diferentes líneas de transmisión, las de cinta y microcinta tiene una aplicación generalizada en el desarrollo de filtros para receptores y transmisores en la parte superior de la banda de UHF y más altas frecuencias. Las principales ventajas de la fabricación de filtros (y de otros elementos pasivos de microondas y milimétricas) son: facilidad de fabricación, bajo costo, alta estabilidad, compatibilidad con elementos activos y pasivos así como la construcción híbrida y monolítica.

Una línea de transmisión de microcinta está formada por una cinta conductora paralela a un plano de tierra.

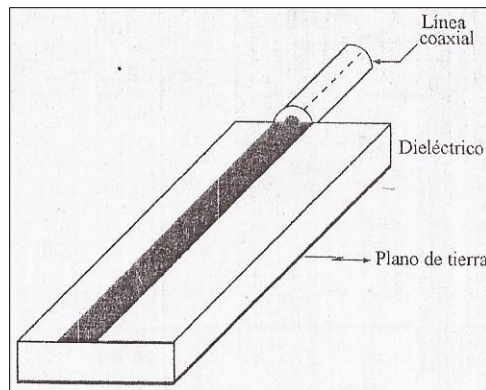


Figura 3.11. Construcción de una microcinta.

Como sucede para toda otra configuración de línea de transmisión, las de microcinta tienen un circuito equivalente con parámetros concentrados correspondientes a un filtro pasa bajas.

La reactancia del inductor es

$$X_L = \omega L \quad \text{Ecuación (3.23)}$$

Y la reactancia de una microcinta en corto circuito con impedancia característica  $Z_0$  es

$$X_L = \omega L = Z_0 \tan\left(\frac{2\pi f}{v_g} l\right) = Z_0 \tan\left(\frac{l}{v_g}\right) \quad \text{Ecuación (3.24)}$$

Donde  $v_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$ ,  $l$  es la longitud de la microcinta,  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío.

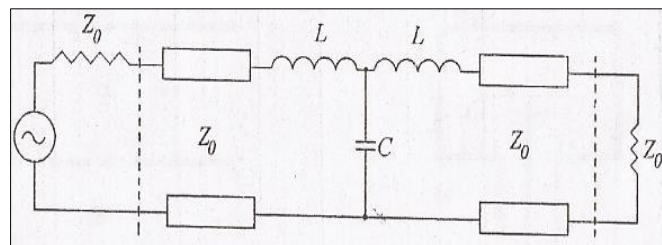


Figura 3.12. Circuito equivalente con elementos concentrados de una línea de transmisión.

### 3.2.6. FILTROS DE CAVIDAD RESONANTE

Los filtros de sección de microcinta tienen  $Q$  relevante pequeños y esta característica se hace acentuada conforme crece la frecuencia de operación. Una forma de recuperar esta limitación es emplear filtros de cavidad resonante. Una cavidad resonante puede considerarse como un volumen encerrado por una superficie conductora y dentro del cual se puede excitar un campo electromagnético. Energía eléctrica y magnética son almacenadas en la cavidad, la conductividad finita de la superficie conductora que delimita la cavidad presenta cierta pérdida de potencia, de esta manera el circuito resonante equivalente presentara una cierta resistencia efectiva y el  $Q$  del circuito será finito ( $Q$  mayores de 500 se pueden obtener con facilidad).

Para incrementar la selectividad y/o manipular el ancho de banda del filtro se pueden unir dos o más cavidades resonantes.

El acoplamiento con los circuitos de entrada y salida es por medio de guía de onda, entre las cavidades resonantes se realizan en forma de aberturas. La profundidad de penetración de los tornillos influye en la capacitancia entre paredes, así se determina la frecuencia de resonancia.

### 3.2.7. FILTRO DE ONDA ACÚSTICA SUPERFICIAL

Los filtros de onda acústica superficial (o SAW) así como otros dispositivos que operan bajo el mismo principio, se basan en la aparición de ondas mecánicas (acústicas) en lugar de ondas electromagnéticas, como tiene lugar en los filtros L-C, de cavidad resonante, de microondas, etcétera. En el caso de los filtros de cristal de cuarzo, en los filtros SAW se requiere de un material piezoeléctrico para convertir la energía electromagnética de entrada en energía mecánica y viceversa.

Los filtros SAW más básicos (o transversales) consisten de dos transductores con un arreglo interdigital de electrodos metálicos depositados sobre un sustrato piezoeléctrico altamente pulido.

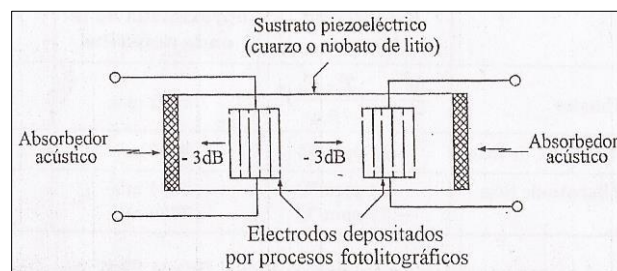


Figura 3.13. Configuración simple de un filtro SAW.

Los electrodos (espaciados  $\frac{1}{2}\lambda$  ó  $\frac{1}{4}\lambda$ ) de la frecuencia central apropiada aplicado a través de ello genera que la superficie del cristal se expanda y contraiga, lo cual provoca la aparición de ondas de superficie u ondas Rayleigh. Puesto que la velocidad de la onda acústica o superficial es de  $10^5$  veces menor que la velocidad de la luz, su longitud de onda es  $10^5$  veces más corta que la longitud de onda electromagnética de la misma frecuencia.

Los filtros SAW sean de dimensiones pequeñas, pero también impone un límite superior de la frecuencia de operación asociado con los electrodos cuando se vuelven muy delgados para su fabricación por fotolitografía. El límite inferior de las frecuencias de operación también están asociadas con el tamaño de los electrodos, si el dispositivo se hace grande se vuelve impráctico. Por tal motivo el intervalo de operación típico de los filtros SAW está en intervalo de 10 MHz a 3 GHz.

De forma simplificada el transductor SAW es un radiador bidireccional, esto significa que la mitad de la potencia se dirige hacia el transductor de salida y la otra mitad restante hacia el otro extremo del sustrato. Por cuestiones de reciprocidad solo la mitad de la energía acústica interceptada por el transductor de salida es convertida en energía eléctrica, esto implica que estos dispositivos tengan asociadas pérdidas de 6 dB. Otros factores, tales como la eficiencia de acoplamiento, pérdidas resistivas, desacoplamientos de impedancia hacen que las pérdidas introducidas por filtros prácticos estén en el intervalo de 15 a 30 dB.

Para reducir las pérdidas es indispensable modificar la construcción de los radiadores tal que incluyan reflectores acústicos en la estructura interdigital para que redireccionen la energía acústica que normalmente se pierde en la estructura convencional.

Estos filtros también se pueden diseñar especialmente en función de su aplicación, las formas típicas de las respuestas de los filtros SAW sus aplicaciones son: (a) en sistemas de bandas dispersas (b) televisión de alta definición y (c) las redes locales inalámbricas.

### 3.2.7.1. ESPECIFICACIÓN DE LOS FILTROS SAW

Los requerimientos del sistema donde los filtros SAW serán incluidos son los elementos de partida para su especificación.

Las tablas de los parámetros típicos que se pueden alcanzar con el sistema SAW para asegurar que las características deseadas se pueden satisfacer completamente. Como es típico en el diseño de filtros construidos con cualquier tecnología, no es posible optimizar simultáneamente todos los parámetros de un filtro debido a su independencia.

El parámetro con frecuencia más importante a considerar de un filtro SAW es su ancho de banda fraccional (ancho de banda de paso dividido por la frecuencia central). En la siguiente tabla se muestran anchos de banda fraccional óptimos para diferentes materiales. Conforme al ancho de banda fraccional de un filtro crece, se reduce el número de electrodos interdigitales en la superficie del sustrato, lo cual implica que filtros con anchos de banda fraccionales más amplios requieren materiales que permitan alcanzar acoplamientos más altos.

|                  | Estabilidad térmica  | Velocidad aproximada de la onda acústica | Ancho de banda fraccional óptima |
|------------------|--|--|----------------------------------|
| Cuarzo           | $\frac{\Delta f}{f} = -\left(T - \frac{T_0}{5.4}\right)^2$ | 3150 m/s                                 | 0.1% - 5%                        |
| Titanio de litio | -23 ppm/°C   | 3280 m/s                                 | 4% - 9%                          |
| Niobato de litio | -94 ppm/°C<br>-72 ppm/°C                                   | 3404 m/s-<br>3889 m/s                    | 7%-67%                           |

Tabla 3.2. Las propiedades de sustrato piezoeléctricos empleados en la fabricación de filtros SAW.

Fuente: (Jordón, 2002)

Las características principales de los filtros SAW transversales o bidireccionales y de los filtros de bajas pérdidas se muestran en la tabla que se presenta a continuación, las definiciones de los parámetros.

| Parámetros                             | Filtro bidireccional | Filtro de bajas pérdidas |
|--|----------------------|--------------------------|
| Frecuencia, $f_0$                      | 10 MHz -2500 MHz     | 10 MHz -100 MHz          |
| Ancho de banda fraccional, %BW         | 0.1% - 67%           | 0.1 % - 20 %             |
| Ancho de banda de transición, $B_T$    | 200 kHz (min)        | 200 KHz (min)            |
| Pérdidas de Inserción, IL              | 15 dB – 30 dB        | 3 dB – 15 dB             |
| Remplazo, REJ                          | 35 dB – 60 dB        | 1.5 - 4.0                |
| Factor de Forma, SF                    | 1.15 -4.0            | 0.1 dB – 2.0 dB          |
| Ondulación de respuesta de amplitud    | 0.1 dB – 1.0 dB      | 0.1 dB – 2.0 dB          |
| Ondulación de la respuesta de fase, OR | $1^0 - 10^0$         | $1^0 - 10^0$             |
| Ondulación del grupo de retardo, GDF   | 10 ns -250 ns        | 10 ns -500 ns            |

| Parámetros          | Filtro bidireccional | Filtro de bajas pérdidas |
|---------------------|----------------------|--------------------------|
| Estabilidad térmica | Tabla Anterior       | Tabla Anterior           |

Tabla 3.3. Valores típicos de los parámetros más importantes de los filtros SAW bidireccionales y de bajas pérdidas.

Fuente: (Jordón, 2002)

### 3.2.8. FILTROS HELICOIDALES

Una de las grandes bondades de los filtros L-C es que introducen pequeñas pérdidas de inserción pero tienen selectividades relativamente pequeñas por el bajo valor del factor de calidad de los inductores se vuelve compleja y se pueden recurrir a los filtros de sección de líneas de transmisión o filtros de cavidad resonante. Existe un intervalo de frecuencias donde los filtros de líneas de transmisión no resultan prácticos por su tamaño. Filtros que permiten cubrir dichas zona de transición entre filtros resonantes de parámetros concentrados y los de parámetros distribuidos, que posibilitan tener grandes valores de selectividad, así como conservar pequeñas pérdidas de inserción son los filtros helicoidales. Por lo cual son de gran importancia para desarrollar filtros de RF de entrada de los radioreceptores y filtros de salida de los transmisores. De una manera simplificada un resonador helicoidal se puede observar como un inductor dentro de una cavidad resonante. (Jordón, 2002)

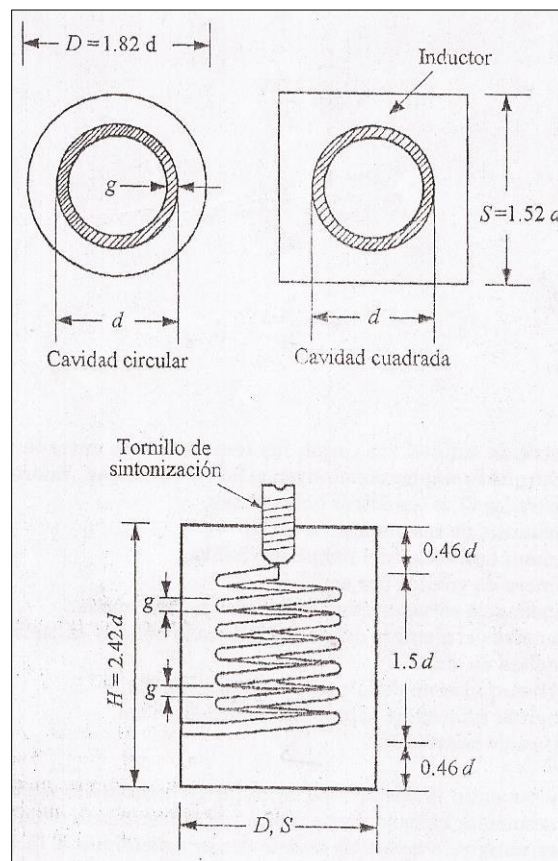


Figura 3.14. Configuración de un filtro helicoidal.

Para una frecuencia dada y suponiendo un diámetro del inductor, se pueden conocer todos los parámetros para el diseño y construcción del filtro resonante por medio de las siguientes ecuaciones.

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| $Q = 35.9d\sqrt{f}$       | <b>Ecuación (3.25)</b> |
| $N = \frac{2674}{df}$     | <b>Ecuación (3.26)</b> |
| $P = \frac{1759}{d^2f}$   | <b>Ecuación (3.27)</b> |
| $Z_0 = \frac{1759}{d^2f}$ | <b>Ecuación (3.28)</b> |
| $g = \frac{1}{2p}$        | <b>Ecuación (3.29)</b> |

Dónde:

$Q$  = Es el factor de calidad sin carga; las terminales de entrada y salida, y el dieléctrico que se emplee disminuye el factor de calidad. Valores de 1000 son típicos para los  $Q$  de los filtros helicoidales.

$f$  = Es la frecuencia de resonancia en MHz.

$N$  = Es el número de vueltas del inductor o hélice.

$p$  = Es el número de vueltas por cm.

$Z_0$  = Es la impedancia característica de la línea de transmisión.

$g$  = Es el diámetro de alambre del que se fabrica la hélice y es también el espacio entre vueltas en cm.

$d$  = Es el diámetro interno de la cavidad circular en cm.

$S$  = Es la longitud interna de la cavidad cuadrada en cm.

$H$  = Es la altura de la cavidad.

Para incrementar la selectividad de los filtros helicoidales se pueden emplear más de un resonador helicoidal y para cambiar la frecuencia se puede introducir un capacitor, aunque la presencia de este tiende a disminuir el factor de calidad, por lo cual se suele evitar su empleo. Los filtros helicoidales también se pueden sintonizar electrónicamente, lo que se requiere es sustituir a los capacitores variables por diodos de capacidad variable. (Jordón, 2002)

## BIBLIOGRAFÍA

- Arnau, A., Ferrero y De Loma, J. M., Jiménez, Y., & Sogorb, T. (2000). *Sistemas Electrónicos de Comunicación I*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Astola, J., & Yoroslasky, L. (2007). *Advances in Signal Transform Theory and Applications*. Suidem.
- Benuit, H. (2006). *Digital Television*. Focal Press.
- Blake, R. (2004). *Sistemas Electrónicos de Comunicación*. THOMSON.
- Borque, A. (2000). *Televisión Instalación-Analógica-Digital*. PARANINFO.
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (1997). *Electrónica: Teoría de Circuitos*. PEARSON EDUCACION.
- Brown, J., & Glazier, E. V. (1978). *Telecomunicaciones*. BOIXAREU.
- Carballas, J. A. (1993). *Los Servicios de Telecomunicaciones, Redes, Aplicaciones y Costes*. RAMA.
- Castro, A. R., & Fusario, R. J. (2013). *Comunicaciones Una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas*. ALFAOMEGA.
- Comunicaciones de Radio en la Era Digital Volumen dos: Tecnología VHF/UHF*. (2000). HARRIS.
- Couch II, L. W. (2008). *Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos*. PEARSON PRENTICE HALL.
- Couch II, L. W. (2008). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. PEARSON PRETICE HALL.
- Crespo, C. (2008). *Radiocomunicación*. PEARSON PRETICE HALL.
- Cubero, M. (2009). *La Televisión Digital Fundamentos y Teorías*. ALFAOMEGA.
- Díaz, A. (1990). *Radio y Televisión Introducción a las nuevas Tecnologías*. PARANINFO.
- Dunlop, J., & Smith, D. (1988). *Ingeniería de las Telecomunicaciones*. Gustavo Gili.
- Frenzel, L. E. (2003). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. ALFAOMEGA.
- Gómez, G. (Febrero de 2007). *La radio y la televisión en la era digital*. Obtenido de La radio y la televisión en la era digital:  
[http://www.amarc.org/documents/articles/Radio\\_TV\\_en\\_era\\_digital.pdf](http://www.amarc.org/documents/articles/Radio_TV_en_era_digital.pdf)
- Gonzales, R., Santos, D. J., & Prol, M. (1999). *Fundamentos Electrónica de Comunicaciones*. TÓRCULO EDICIÓN.
- Gueulle, P. (1991). *Comunicaciones Electrónicas Técnica y Realización*. PARANINFO.
- Haykin, S. (2006). *Sistemas de Comunicación*. LIMUSA WILEY.
- Haykin, S., & Van Veen, B. (2003). *Señales y Sistemas*. LIMUSA WILEY.
- Hayt, W. H., & Buck, J. A. (2006). *Teoría electromagnética*. Mc Graw Hill.
- Hecht, E. (1999). *Óptica*. ADDISON WESLEY.



- Held, G. (1995). *Diccionario de Tecnología de las Comunicaciones*. PARANINFO.
- Herrera, A. (s.f.). *Electrónica Analógica*. FES CUAUTITLAN-UNAM.
- Herrera, E. (1998). *Introducción a las Comunicaciones Modernas*. LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- Herrera, E. (2002). *Comunicaciones II Comunicación Digital y Ruido - Una introducción a la teoría de la comunicación digital y el ruido*. LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- Herrera, E. (2006). *Introducción a las Telecomunicaciones Modernas*. LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- Hinojoza, V. M. (2010). *Comunicaciones Digitales*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez .
- Huidobro, J. M. (2004). *Manual de Telecomunicaciones*. ALFAOMEGA RA-MA.
- Huidobro, J. M. (2011). *Telecomunicaciones Tecnología, redes y servicios*. RA-MA.
- Huidobro, J. M., Millán, R. J., & Roldán, D. (2005). *Tecnología de Comunicaciones*. COPYRIGHT.
- Ibarra, R., & Serrano, M. (2001). *Principios de Teoría de las Comunicaciones*. NORIEGA.
- Irwin, J. D., & Nelms, R. M. (2011). *Basic Engineering Circuit Analysis*. John Wiley and Sons.
- Jaramillo, G. A., & Alvarado, A. A. (1997). Electricidad y Magnetismo. En G. A. Jaramillo, & A. A. Alvarado. TRILLAS.
- Jordón, H. (2002). *Fundamentos de los Sistemas Modernos de Comunicación*. ALFAOMEGA.
- Joskowicz, J. (Febrero de 2013). *Breve Historia de las Telecomunicaciones*. Obtenido de Breve Historia de las Telecomunicaciones:  
<http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/ccu/material/docs/Historia%20de%20las%20Telecomunicaciones.pdf>
- Joskowicz, J. (02 de 2013). *Breve Historia de las Telecomunicaciones*. Recuperado el 13 de 04 de 2014, de Breve Historia de las Telecomunicaciones:  
<http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/ccu/material/docs/Historia%20de%20las%20Telecomunicaciones.pdf>
- Kalivas, G. (2009). *Digital Radio System Design*. John Wiley and Sons.
- Kraus, H., & Bostian, C. (1984). *Estado Sólido en Ingeniería de Radiocomunicaciones*. LIMUSA.
- Landeros, S., Chávez, S. A., & González, J. C. (Noviembre de 2012). *Análisis de la eficiencia de los estándares de transmisión de televisión*. Recuperado el 21 de 06 de 2014, de Análisis de la eficiencia de los estándares de transmisión de televisión:  
[http://www.ingenieria.unam.mx/~revistafi/ejemplares/V14N3/V14N3\\_art05.pdf](http://www.ingenieria.unam.mx/~revistafi/ejemplares/V14N3/V14N3_art05.pdf)
- Lathi, B. (2001). *Introducción a la teoría y sistemas de comunicación*. LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- Limann, O. (1989). *Fundamentos de Televisión*. MARCOMBO BOIXAREN EDITORES.
- Los Sistemas de Información*. (s.f.). Recuperado el 05 de 04 de 2014, de Los Sistemas de Información: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/info2/SI-Sistemas%20de%20Informacion.pdf>



- Marshall, S. V., DuBroff, R. E., & Skitek, G. G. (1997). *Electromagnetismo Conceptos y Aplicaciones*. PRENTICE HALL HISPANOAMERICA.
- Martín, H., & Saéz, F. (Junio de 2006). *Domótica un enfoque sociotécnico*. Recuperado el 15 de 07 de 2014, de Domótica un enfoque sociotécnico: [http://www.gsi.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro\\_domotica.pdf](http://www.gsi.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_domotica.pdf)
- Mirabito, M. M. (1998). *Las Nuevas Tecnologías de la Comunicación*. MULTIMEDIA.
- Mirabito, M. M. (2005). *Las Nuevas Tecnologías de la Comunicación*. GEDISA.
- Mitra, S. K. (2007). *Procesamiento de Señales Digitales Un enfoque basado en computadora*. Mc Graw Hill.
- Montesinos, J. (1990). *Comunicaciones Analógicas y Digitales*. PARANINFO.
- Morón, J. (2011). *Señales y Sistemas*. Fondo Editorial Biblioteca Universidad Rafael Urdaneta.
- Neri, R. (2003). *Comunicaciones por Satélite*. THOMSON.
- Ortega, B., Flores, S., & Almenar, V. (1999). *Fundamentos de Telecomunicación*. Universidad Politecnica de Valencia.
- Penagos, H. (2009). *Sistemas de Comunicaciones Digitales*. Escuela de Colombia Ingeniería.
- Perales, T. (2001). *Televisión Actual*. PARANINFO THOMSON LEARNING.
- Perales, T. (2006). *Radio y Televisión Digitales Tecnología de los Sistemas DAB, DVB, IBOC y ATSC*. LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- Perea, J. L. (2012). *Teoría Electromagnética*. RED TERCER MILENIO.
- Pérez, C., Zamanillo, J. M., & Casanueva, A. (2007). *Sistemas de Telecomunicación*. Universidad de Cantabria.
- Petrozella, F. D. (2011). *Programmable Logic Controles*. Mc Graw Hill.
- Pierce, J., & Noll, A. (1995). *Señales La Ciencia de las Telecomunicaciones*. REVERTÉ.
- Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2007). *Tratamiento Digital de Señales*. PEARSON PREATICE HALL.
- Radioafición y CB Enciclopedia Teórico-Practica en 60 Lecciones. (1983). MARCOMBO BOIXAREO EDITORES.
- Rey, E. (1999). *Telecomunicaciones Móviles*. ALFAOMEGA.
- Roadstrum, W., & Wolaver, D. (1999). *Ingeniería Eléctrica para todos los Ingenieros*. En W. H. Roadstrum, & D. H. Wolaver. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR.
- Rodero, E. (1998). *La radio del futuro es una radio*. Recuperado el 12 de 05 de 2014, de La radio del futuro es una radio: <http://www.ie.itcr.ac.cr/palvarado/PDS/pds.pdf>
- Roldán, D. (2005). *Comunicaciones Inalámbricas, Un enfoque aplicado*. ALFAOMEGA.
- Rosado, C. (2008). *Comunicación por Satélite Principios, Tecnología y Sistemas*. LIMUSA.

- Salas, J. F. (2006). *Aproximaciones de la Radio Digital y sus Estándares*. Recuperado el 21 de 06 de 2014, de Aproximaciones de la Radio Digital y sus Estándares: <http://www.derechoinformatico.uchile.cl/index.php/RCHDI/article/viewFile/10788/11036>
- Shanmugam, K. S. (1985). *Digital and Analog Communication Systems*. John Wiley and Sons.
- Sierra, M., Galocha, B., Fernández, J. L., & Sierra, M. (2003). *Electrónica de Comunicaciones*. PRENTICE HALL.
- Simonetta, J. (2002). *Televisión Digital Avanzada*. Buenos Aires, Argentina: INTERTEL.
- Smale, P. H. (1993). *Introducción los Sistemas de Telecomunicaciones*. TRILLAS.
- Sobey, E. (2011). *Radio Controlled Car Experiment*. Sobey.
- Stremler, F. G. (1989). *Sistemas de Comunicación*. ALFAOMEGA.
- Stremler, F. G. (1993). *Introducción a los Sistemas de Comunicación*. ADDISON-WESLEY.
- Tarazona, E. (2009). *La evolución multimedial a través de la historia de la telefonía móvil*. Recuperado el Mayo de 2015, de La evolución multimedial a través de la historia de la telefonía móvil: <http://evel.io/wp-content/uploads/2009/10/La-evoluci%C3%B3n-multimedial-a-trav%C3%A9s-de-la-historia-de-la-telefon%C3%ADa-m%C3%B3vil.pdf>
- Thornton, S., & Rex, A. (2013). *Modern Physics for Scientist and Engeneers*. Cengage Learning.
- Tocci, R. J. (1993). *Sistemas Digitales*. PRENTICE HALL HISPANOAMERICA.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Eléctricas*. PEARSON EDUCACIÓN.
- Wangness, R. K. (2001). *Campos Electromagnéticos*. LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- Wanhammar, L. (2009). *Analog Filters Using MATLAB*. Springer Science.
- Ziemer, R., & Tranter, W. H. (1981). *Principios de Comunicación Sistemas, Modulación y ruido*. TRILLAS.