

Ing. Paco Gilberto Ortiz Villacís
Magíster en Ciencias de la Educación

Curso didáctico de comunicación por microondas

*Aplicando las ciencias de la educación
a la enseñanza de ciencia y tecnología*



PACO GILBERTO ORTIZ VILLACÍS

Nació en la ciudad de Riobamba en 1968. Estudió en el colegio San Felipe Neri, de dicha ciudad, regentado por los padres de la Compañía de Jesús donde obtuvo la distinción como mejor egresado 1986. Obtuvo su título como ingeniero de telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en Quito en 1994 con un trabajo acerca del control inteligente del tráfico vehicular. Ha trabajado en diversos proyectos de telecomunicaciones por más de 25 años, tanto a nivel nacional como internacional (América Latina, Caribe, Asia, África) y ha participado como instructor en un sinnúmero de seminarios y cursos de capacitación en el área de la radiocomunicación por microondas.

Obtuvo su título de Magíster en Ciencias de la Educación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a inicios del 2018, con una nota final de 10/10 por lo cual obtuvo la distinción como mejor egresado de posgrados 2018. Ha realizado publicaciones en revistas académicas, a través de artículos que comparten experiencias de primera mano en el campo profesional de la ingeniería de telecomunicaciones.

Actualmente se desempeña como consultor y capacitador, tanto en el área de ingeniería como en el área de la enseñanza de la ciencia y la tecnología.

Curso didáctico de comunicación por microondas

*Aplicando las ciencias de la educación
a la enseñanza de ciencia y tecnología*

Ing. Paco Gilberto Ortiz Villacís
Magíster en Ciencias de la Educación

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Dr. Fernando Ponce S.J.

Rector

Dr. Fernando Barredo S.J.

Vicerrector

Dra. Fabiola Jarrín

Directora General Académica

Mtr. Santiago Vizcaíno

Director del Centro de Publicaciones

Dr. César Carrión

Dra. Andrea Muñoz

Mtr. Santiago Vizcaíno

Comité Editorial

Freddy Coello

Diseño

Curso didáctico de comunicación por microondas

ISBN: 978-9978-77-403-8

Centro de Publicaciones de la

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Av. 12 de Octubre y Robles

Edificio del Centro Cultural

Oficina: descanso entre planta baja y mezzanine

Apartado n.º 17-01-2184

Telf.: (593) (02) 299 1711 / 299 1700 ext. 1122 /1013/1711

publicaciones@puce.edu.ec

Instagram: @publicacionespuce

www.facebook.com/publicacionespuce

www.edipuce.edu.ec

RESUMEN

Mucha agua ha corrido bajo el puente desde que hacia 1850 todavía la agencia de noticias *Reuters* empleaba palomas mensajeras para enviar las noticias acaecidas en diversas ciudades de Europa. También muchas cosas han pasado desde aquel 9 de julio de 1884, cuando se dio la primera transmisión telegráfica entre las ciudades de Quito y Guayaquil; lo que daría inicio a la era de las telecomunicaciones en el país. En tan solo 150 años, tenemos un mundo fuertemente influenciado por las tecnologías digitales; esto nos obliga a pensar y repensar el papel de la educación en general y, específicamente, la educación en el área de ciencia y tecnología.

En esta obra se aborda el tema educativo a la par que el tema tecnológico, por ello se propone diseñar y realizar un programa integral de capacitación en comunicaciones radio eléctricas; va dirigido especialmente a los obreros y trabajadores de esta área que no han tenido aún la oportunidad de cursar los respectivos estudios superiores, pero que desean aprender los conceptos fundamentales de su actividad laboral.

En el mundo actual, las grandes compañías fabricantes han llegado a un dominio tal de las ciencias del electromagnetismo que posibilitan una comunicación inalámbrica casi omnipresente. Lo mismo si viajamos en un auto o si descansamos en un sofá, tenemos la posibilidad de enviar y recibir audios, mensajes, fotos o videos. Pero es preciso explicar que hay mucha ciencia detrás de las tecnologías de telecomunicaciones y que esa ciencia debe ser enseñada. Enseñada con eficacia y con eficiencia, haciendo uso de las mejores recomendaciones que nos presentan las ciencias de la educación, a fin de construir el conocimiento significativo, que propenda la superación personal de los individuos y la transformación positiva de la sociedad. En este contexto queremos mostrar un pequeño atisbo a la ciencia del electromagnetismo para tratar de inspirar a los educadores a realizar una enseñanza práctica, real, de carne y hueso, que cumpla los tres aspectos principales de la educación: informativo, formativo y transformativo. Partiendo de realidades tangibles construidas artesanalmente para primero experimentar y entender los fenómenos de forma concreta y, posteriormente, abstraer los conceptos.

Con el objetivo mencionado, realizaremos un programa de capacitación en comunicaciones inalámbricas, para ello, iniciamos con una introducción descriptiva de las mejores prácticas educativas, teniendo en cuenta el proceso cognitivo del ser humano y las teorías del aprendizaje. Posteriormente, basándonos en estudios de campo (encuestas) efectuadas entre los trabajadores de las telecomunicaciones y, también, con cursos piloto dictados a trabajadores, estudiantes e ingenieros de telecomunicaciones, identificamos la situación real

de conocimientos en la que deberemos desarrollar el curso de capacitación. Una vez identificado el camino pedagógico para el tema científico-tecnológico, edificamos el programa de una manera sencilla y enfocada siempre hacia la práctica. Utilizamos el tema de la comunicación por ondas radioeléctricas, específicamente en las frecuencias de microondas, pues los mismos conceptos son aplicables a las comunicaciones inalámbricas en general, a cualquier frecuencia del espectro. Este material de consulta es útil tanto para el docente y capacitador de ciencias como para el técnico o estudiante de telecomunicaciones.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	29
CAPÍTULO 1	31
1. ANTECEDENTES	31
1.1. Características de la enseñanza de ciencia y tecnología	31
ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	31
LITERATURA RECOMENDADA	37
1.2. BASES FILOSÓFICAS, PEDAGÓGICAS Y ÉTICAS DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	49
1.2.1 Filosofía de la educación	50
Parábola del Halcón	51
El idealismo	53
El realismo científico	53
El pragmatismo	54
El marxismo	54
El existencialismo	55
El personalismo	55
El buen vivir	56
Una Filosofía Ecléctica para la enseñanza de la tecnología de Comunicación por Microondas	56
1.2.2 Modelos pedagógicos en la educación	58
El Modelo Tradicional	59
El conductismo	60
El cognitivismo	61
Constructivismo	63
Filosofías y modelos. Resumen	64
Construir aprendizaje significativo	65
1.2.3 Ética del profesional de la docencia, del docente o capacitador	66
1.2.3.1. Principios universales	67
a. No maleficencia	67
b. Beneficencia	67
c. Autonomía	67
d. Justicia	67

1.2.3.2. Del profesional en general	68
a. Legalidad	68
b. Idoneidad	68
c. Confidencialidad	68
d. Fidelidad a las responsabilidades asumidas	68
e. Buena fe	68
f. Evitar conflicto de intereses	69
1.2.3.3 Ética para los docentes	69
a. Emocionalidad empática	69
b. Comunicación didáctica	69
c. Autoridad áulica	69
d. Integridad	69
e. Creatividad recursiva	70
f. Buen juicio	70
1.3 BASES TEÓRICAS Y PARTICULARIDADES DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA	70
Conceptuando a un buen profesor	70
1.3.1 Enseñanza de la Teoría Electromagnética	76
1.3.2 El Ciclo del Aprendizaje Científico	78
1.3.3 Particularidades de la enseñanza de la comunicación por microondas en el programa de capacitación en comunicación por microondas	80
1.3.4 Instituciones para la enseñanza de comunicación por microondas en el Ecuador	81
1.4. MARCO REGULATORIO DE LAS TELECOMUNICACIONES	81
1.4.1 Instituciones regulatorias nacionales	81
1.4.2 Instituciones regulatorias internacionales	84
1.5. MARCO METODOLÓGICO PREVIO AL DISEÑO DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN DE RADIOCOMUNICACIONES, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
1.5.1 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	86
1.5.2 UNIDAD DE ESTUDIO (POBLACIÓN / MUESTRA, ESCENARIOS/SUJETO, INFORMANTE CLAVE)	86
1.5.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ...	87
1.5.4 TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RESULTADO	87
1.5.5. Encuesta conocimientos básicos de la matemática	87
1.5.6 Encuesta conocimientos básicos de electricidad	88
1.5.7 Encuesta conocimientos básicos de radiocomunicaciones	88
1.5.8 Diagnóstico de interés	88
1.5.9 Diagnóstico de resultados de los cursos piloto	89

CAPÍTULO 2	91
2. CURSO DE COMUNICACIÓN POR MICROONDAS DIRIGIDO A LOS TRABAJADORES, OBREROS Y ESTUDIANTES DE LAS TELECOMUNICACIONES	91
2.1 DISEÑO DEL CURSO BÁSICO DE MATEMÁTICAS	92
2.1.1 Propuesta curso básico de matemáticas	93
Álgebra	93
Funciones	94
Función lineal	95
Función cuadrática. La parábola	96
La recta numérica y el plano cartesiano	97
Propiedad reflectora de la parábola	100
La elipse	103
Funciones trigonométricas	104
La función logaritmo	111
Propiedades de los logaritmos	113
Sistema binario	113
Lógica digital	116
2.2 DISEÑO DEL CURSO BÁSICO DE FÍSICA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA	121
2.2.1 Propuesta curso básico de física y tecnología eléctrica	123
Unidades y sistemas de medida	123
Medidas de tiempo y de frecuencia	126
Múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida	127
Electricidad y magnetismo	128
Circuitos eléctricos	132
Concepto de tierra (desde el punto de vista eléctrico)	134
Actividad práctica, diferencia entre AC y DC	136
Fuente de energía en las estaciones de telecomunicaciones	139
2.3 DISEÑO DEL CURSO BÁSICO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	140
2.3.1 Propuesta curso básico de ondas electromagnéticas	141
Fenómenos oscilatorios en la naturaleza	141
Frecuencia, resonancia y longitud de onda	147
Potencia de las señales radioeléctricas	153
Decibelio (dB) y decibelio sobre milivatio (dBm)	154
La frecuencia como variable independiente (x) de la función senoidal $y = \text{seno}(x)$	159
Espectro electromagnético	164
2.4 DISEÑO DEL CURSO DE MICROONDAS	166
2.4.1 Propuesta del curso de microondas	168

Conceptos fundamentales de los equipos de microondas	170
Modulador	170
Modulación de amplitud (AM)	171
Modulación de frecuencia (FM)	177
Modulación de fase (PM)	178
Conversión analógico/digital. Digitalización de señales	181
Conversión digital / analógico	185
Multiplexaje (PCM32)	186
Banda base analógica y banda base digital	187
Modulación digital	190
Modulación QAM	191
Ancho de banda espectral	193
Circuito de microondas	198
Guías de onda y cables coaxiales	199
Flanges de guías de onda	203
Branching	206
Filtros radio frecuencia (RF)	206
Circulador y duplexer	211
Transferencia de potencia. Medición de onda estacionaria VSWR y su equivalente ROE (relación de onda estacionaria)	216
Medición del ROE	218
Equivalencia entre ROE y VSWR	220
Conceptos de antenas	220
Antena Yagi	226
Antena de bocina	227
Antena de abertura	228
Antena sectorial	229
Antenas parabólicas	229
Lóbulo de radiación	233
Factor XPD (dB)	236
Equipamiento electrónico de microondas	237
Configuraciones de protección	240
Cálculo de radio enlaces	241
Umbral de recepción	244
Recomendación G.821, criterios de disponibilidad	246
Propagación de las señales radioeléctricas	248
Zonas de Fresnel	249
El factor atmosférico K	253
Visualización a escala real de la zona de Fresnel	258

Relación entre la primera zona de Fresnel y el lóbulo principal de la antena	259
Fenómeno de reflexión	261
Desvanecimiento por lluvia	263
Interferencia de señales radioeléctricas	265
Planificación de frecuencias	267
Estudio de caso, enlace Tarapoa-Shushufindi	272
Repetidores pasivos	278
Sistema de gestión	281
Normas de seguridad	282
Peligros de trabajo en altura	282
Peligros eléctricos	283
Peligros de radio frecuencia	284
Peligros de energía óptica	285
Peligros de descarga electrostática	286
2.5 EVALUACIÓN DEL CURSO	287
Evaluación del instructor y del entorno	287
Evaluación de conocimientos	288
Evaluación cualitativa del programa	289
CONCLUSIONES	291
BIBLIOGRAFÍA	295
ANEXO 1: encuestas	297

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. El idealismo	53
Tabla 2. El realismo científico	53
Tabla 3. El pragmatismo	54
Tabla 4. El marxismo	54
Tabla 5. El existencialismo	55
Tabla 6. El personalismo	55
Tabla 7. El buen vivir	56
Tabla 8. Eclecticismo	56
Tabla 9. El modelo tradicional	59
Tabla 10. El modelo conductista	61
Tabla 11. El Modelo cognitivista	63
Tabla 12. El Modelo constructivista	64
Tabla 13. Dimensión desempeño intelectual	73
Tabla 14. Dimensión entendimiento interpersonal	73
Tabla 15. Ejemplo de Función Lineal	95
Tabla 16. Función cuadrática	97
Tabla 17. Valores de $\sin(x)$	109
Tabla 18. Logaritmos de algunos números notables	112
Tabla 19. Equivalencia entre decimal y binario	114
Tabla 20. Código ASCII	116
Tabla 21. Operación not	117
Tabla 22. Operación not	117
Tabla 23. Operación NOT, asociación de valores	118
Tabla 24. Operación NOT, asociación de valores	118
Tabla 25. Operación lógica AND	118
Tabla 26. Operación lógica OR	119
Tabla 27. Tabla de verdad	120
Tabla 28. Sistemas de unidades internacional e inglés	124
Tabla 29. Ejemplo de equivalencias entre SI e inglés	124
Tabla 30. Múltiplos y submúltiplos de las unidades fundamentales	127
Tabla 31. Calibre de cables según AWG	133
Tabla 32. Voltajes medidos en una instalación doméstica (voltios AC)	135

Tabla 33. Potencias de radio frecuencia	153
Tabla 34. Valores notables de la transformación entre Watt y dBm	158
Tabla 35. Valores de $y = \text{seno}(x)$, x expresado en grados y en radianes	161
Tabla 36. Usos del espectro de radio en el Ecuador	165
Tabla 37. Intervalos y voltajes	183
Tabla 38. Codificación de intervalos	184
Tabla 39. Modulación vs velocidad digital máxima (throughput)	197
Tabla 40. Conectores de cable coaxial (excepto RJ45)	200
Tabla 41. Valores comunes del Shifter	214
Tabla 42. Algunos valores de VSWR y su correspondiente ROE	220
Tabla 43. Margen de desvanecimiento vs. confiabilidad	246
Tabla 44. Valores notables de la tasa de errores BER	247
Tabla 45. Valores notables de K versus radio ficticio de la tierra	253
Tabla 46. Canalización de frecuencias en 8 GHz	268
Tabla 47. Análisis de la banda de 8 GHz	268
Tabla 48. Perfil del enlace, distancia (km) versus altura del terreno (m)	274
Tabla 49. Ancho de banda neto (digital) versus modulación	278
Tabla 50. Evaluación del instructor y del ambiente	287
Tabla 51. Evaluación de conocimientos	288

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Para llegar a las altas cumbres del pensamiento se requiere de un buen andamio de conocimientos, hecho a la medida y con el objetivo claro	36
Gráfico 2: Elaboración del currículo	46
Gráfico 3. Taxonomía de Bloom	62
Gráfico 4. Filosofías, Paradigmas, Modelos y Métodos Pedagógicos	64
Gráfico 5. El Conocimiento se va construyendo sobre la base de conocimiento previo	65
Gráfico 6. Generador de campo electrostático construido para el programa de capacitación en microondas. Los hilos de nylon se separan (izq.); la bolita metálica es atraída (der.)	77
Gráfico 7. Solenoide construido para el programa de capacitación en microondas. La aguja de la brújula se desvía del norte	78
Gráfico 8. Motor eléctrico básico construido para el programa de capacitación en microondas	78
Gráfico 9. Desequilibrio Cognitivo	79
Gráfico 10. Ciclo del Aprendizaje Científico	80
Gráfico 11. Estadísticas de Líneas Celulares en el Ecuador	83
Gráfico 12. Participación en el Mercado de Internet Fija Nacional	83
Gráfico 13. Estadística de Internet Móvil a Nivel Nacional	84
Gráfico 14. Banda de 6 GHz	85
Gráfico 15. Programa de capacitación en microondas	91
Gráfico 16. Recta Numérica horizontal	97
Gráfico 17. Recta numérica vertical	98
Gráfico 18. Plano cartesiano	99
Gráfico 19. Función lineal $y = 2x + 1$	99
Gráfico 20. Parábola $y^2 = 16x$	100
Gráfico 21. Propiedad reflectora de la parábola	101
Gráfico 22. MAQUETA#1, cinta parabólica	102
Gráfico 23. Definición geométrica de elipse	103
Gráfico 24. Construcción de una elipse	104
Gráfico 25. Triángulo rectángulo	104
Gráfico 26. Triángulo rectángulo	105

Gráfico 27. Funciones trigonométricas definidas en el círculo de radio r	107
Gráfico 28. Circunferencia L y diámetro D	108
Gráfico 29. Seno de un ángulo no depende del tamaño del triángulo en el que se halla	109
Gráfico 30. La función $y = \sin(x)$	110
Gráfico 31. Función logaritmo	112
Gráfico 32. Función lógica “not” asociada a un circuito simple	117
Gráfico 33. Circuito que representa la operación AND	119
Gráfico 34. Representación en circuito de la operación lógica “OR”	120
Gráfico 35. Circuitos integrados de compuertas lógicas	121
Gráfico 36. Generador de Van der Graaf	128
Gráfico 37. MAQUETA #2, generador electrostático artesanal	129
Gráfico 38. MAQUETA #3, solenoide	130
Gráfico 39. MAQUETA #4. Motor eléctrico básico	131
Gráfico 40. Circuito eléctrico doméstico	132
Gráfico 41. Instalación eléctrica comercial	134
Gráfico 42. Medidor de voltaje, corriente y resistencia también llamado “multímetro”	135
Gráfico 43. Osciloscopio con voltaje de entrada nulo: ni AC ni DC. El eje de las X es el tiempo, graduado a 5 milisegundos por división. El eje de la y es voltaje graduado a 2 voltios por división	136
Gráfico 44. Osciloscopio muestra una señal de voltaje alterno, la mitad del ciclo es polaridad positiva y la otra mitad es polaridad negativa. La frecuencia es 60 Hz.	137
Gráfico 45. Voltaje suministrado por la pila cuando el hilo verde va al negativo: -1,5 Voltios. Y así se mantiene a lo largo del tiempo	137
Gráfico 46. Voltaje de la pila, con el hilo verde conectado al positivo: +1,5 voltios respecto al eje x y así se mantiene a lo largo del tiempo	138
Gráfico 47. Comparación de los voltajes alterno, continuo negativo y continuo positivo, respectivamente	138
Gráfico 48. Diagrama de energía en una estación de telecomunicaciones	139
Gráfico 49. Ondas de agua en la superficie de un estanque	142
Gráfico 50. Compresión del aire en un tubo	143
Gráfico 51. Amplificador	144
Gráfico 52. Amplificador realimentado oscila. Señal de salida voltaje alterno, senoidal	145
Gráfico 53. Oscilador de frecuencia determinada	145
Gráfico 54. Simbología de un oscilador de frecuencia f	146
Gráfico 55. Oscilador conectado a una antena	146
Gráfico 56. Antena dipolo de longitud L	147
Gráfico 57. Características de una onda sinusoidal	147
Gráfico 58. Dipolo resonante	149

Gráfico 59. Antena de radio AM. Para las ondas electromagnéticas, el suelo (la tierra) actúa como un espejo	150
Gráfico 60. MAQUETA #05, radio de AM que funciona sin pilas	151
Gráfico 61. Receptor de AM	152
Gráfico 62. Amplificador	154
Gráfico 63. Balance de pérdidas y ganancias	155
Gráfico 64. Círculo trigonométrico	159
Gráfico 65. Definición de radián	160
Gráfico 66. Rueda giratoria, velocidad angular w	161
Gráfico 67. La función $y = \sin(377t)$ vista en un osciloscopio	162
Gráfico 68. Gráficos para $y = \sin(x)$ en rojo. $Y = \sin(2x)$ azul. $Y = \sin(3x)$ en amarillo	163
Gráfico 69. Representación de cómo se vería una señal de 60 Hz y 1 mW de potencia en el analizador de espectro. Escala vertical 10 dB/div. Escala horizontal 10 Hz /div	163
Gráfico 70. Espectro de radios FM de la ciudad de Quito. La pequeña marca en forma de rombo señala la radio Ecuashiry en 104.9 MHz, captada por la antena con una potencia de -58 dBm	164
Gráfico 71. Espectro radioeléctrico	165
Gráfico 72. Ejemplo 1, enlace de microondas en un sistema de telecomunicaciones celular	169
Gráfico 73. Ejemplo 2, enlace de microondas en un sistema de telecomunicaciones celular-fijo	170
Gráfico 74. Ejemplo 3, enlace de microondas para conexión a Internet	170
Gráfico 75. Modulador	171
Gráfico 76. Señal modulante o banda base, sinusoidal de 61 kHz	171
Gráfico 77. Señal portadora de 4.5 MHz	172
Gráfico 78. Señal compuesta, portadora de 4,5 MHz (la envuelta) modulada en amplitud por la modulante de 61,5 kHz (la envolvente)	172
Gráfico 79. Cómo se ve en un analizador de espectros la señal portadora f_2 de 4,5 MHz	173
Gráfico 80. Y como se ve la señal f_2 de 4.5 MHz modulada en amplitud por una señal f_1 de 61 kHz	173
Gráfico 81. Gráfico del producto de dos señales sinusoidales en relación 73:1 para simular la relación entre 4.5 MHz y 61 kHz	174
Gráfico 82. Upconverter	175
Gráfico 83. Downconverter	176
Gráfico 84. Demodulador AM básico	176
Gráfico 85. Señal modulada en frecuencia	177
Gráfico 86. Ángulo de fase 45°	178
Gráfico 87. Ángulo de retardo $\theta = 125,9^\circ$	179

Gráfico 88. Modulador de fase	180
Gráfico 89. En rojo la señal portadora IF, en azul la señal modulante. En amarillo la señal IF modulada en fase	180
Gráfico 90. La palabra "hola" vista como una pequeña señal eléctrica de 200mV de amplitud. Escala vertical 100mV/div. Escala horizontal 1 ms/div	181
Gráfico 91. La palabra hola vista en la aplicación "oscilloscope" del teléfono celular	182
Gráfico 92. La misma palabra "hola", dicha frente a un analizador de espectros de audio (aplicación del teléfono celular)	182
Gráfico 93. Señal analógica de audio de 7 V de amplitud	182
Gráfico 94. Digitalización de señales	184
Gráfico 95. Conversión A/D	185
Gráfico 96. Conversión D/A	186
Gráfico 97. Multiplexor PCM 32	187
Gráfico 98. La voz humana es una señal analógica, pues los impulsos eléctricos son semejantes a la vibración de la voz	188
Gráfico 99. Trama Ethernet 802.3, 10 Base2, vista en el osciloscopio. Corresponde a un comando "ping" de 1500 bytes. Pueden observarse las ráfagas de datos a la derecha	188
Gráfico 100. Trama PCM30 vista en el osciloscopio (ITU G.703). Aparece una especie de "fantasmas" debido a que el osciloscopio solo puede sincronizar señales periódicas	188
Gráfico 101. AIS en código HDB3. Alarm Indication Signal. Se usa para señalar pérdida de tráfico de 2Mb/s, es todos 1 en código de línea HDB3 (alternancia de polaridad, con violación cada tres ceros)	189
Gráfico 102. Generador de patrones de 2 Mb/s. "Pattern"	189
Gráfico 103. Modulación ASK	190
Gráfico 104. Modulación FSK	191
Gráfico 105. Modulación PSK	191
Gráfico 106. Diagrama del modulador 16QAM	192
Gráfico 107. Diagrama de constelación de un modulador 16QAM	192
Gráfico 108. Visualización de la amplitud y fase de IF, correspondientes a la entradas de 4 bits	193
Gráfico 109. Espectro de salida del modulador	194
Gráfico 110. Ancho de banda de un filtro a los puntos de -3 dB	194
Gráfico 111. Ancho de banda de un filtro al 99 % de potencia	195
Gráfico 112. Espectro a la salida del modulador 4PSK. IF = 70 MHz	195
Gráfico 113. Tres espectros reales en RF en 8 GHz (amarillos) de un equipo con modulación 4PSK	196
Gráfico 114. 4 espectros en banda 6U, mod. 128 QAM, BW 40 MHz	197
Gráfico 115. Circuito de microondas	199

Gráfico 116. Guías de onda y cable coaxial	199
Gráfico 117. Conectores más utilizados para cable coaxial (excepto k)	200
Gráfico 118. Características de una guía de onda elíptica	201
Gráfico 119. Diferentes flanges o conectores de guía de onda	201
Gráfico 120. Modos: transversal eléctrico y transversal magnético	202
Gráfico 121. Conector de guía de onda, pasa de elíptica a rectangular	202
Gráfico 122. Clasificación de flanges	203
Gráfico 123. Clasificación y ejemplo de flanges	204
Gráfico 124. Tamaño del rectángulo interno, de acuerdo con normas	204
Gráfico 125. Dimensiones físicas de la guía de onda rectangular R70 (WR137)	205
Gráfico 126. Componentes de guía de onda rectangular (tronquetos)	205
Gráfico 127. Tipos más comunes de filtros de frecuencia	206
Gráfico 128. Filtro de cavidad resonante banda de 7 GHz	207
Gráfico 129. Respuesta de un filtro pasabanda real	207
Gráfico 130. Espectro en RF del modulador 4PSK	208
Gráfico 131. Espectro filtrado en RF de un modulador 4PSK	208
Gráfico 132. Tres espectros reales en 8 GHz (amarillos) de un equipo con modulación 4PSK	209
Gráfico 133. Ancho de banda de un filtro	209
Gráfico 134. Respuesta en frecuencia del filtro BPF-C-BW36-3740 NORSAT	210
Gráfico 135. Ejemplo de filtro proyectado por fábrica. En el eje vertical, la pérdida de inserción ocasionada por el filtro. En el eje horizontal el delta (Δf) respecto a la frecuencia central	210
Gráfico 136. Filtro pasabanda de 6 cavidades, 6GHz	211
Gráfico 137. Circulador de microondas	211
Gráfico 138. Circulador de antena	212
Gráfico 139. Circulador con carga acoplada en el puerto P3	213
Gráfico 140. Duplexer o duplexor	213
Gráfico 141. Definición de shifter. La flecha grafica la frecuencia de transmisión. Tomar en cuenta que lo que para la estación A es frecuencia de TX, para la estación B es frecuencia RX. Y viceversa	215
Gráfico 142. Duplexer en la banda de 8 GHz	215
Gráfico 143. Ejemplo de branching para un equipamiento con dos canales f1 y f2	216
Gráfico 144. Transferencia de potencia	217
Gráfico 145. Banco de pruebas para la medición de ROE	218
Gráfico 146. Medición ROE versus frecuencia	219
Gráfico 147. Antena isotrópica versus dipolo de longitud λ	221
Gráfico 148. Dipolo para televisión doméstica	222
Gráfico 149. Patrón de radiación de la antena dipolo	222
Gráfico 150. Visualización del patrón de radiación del dipolo	223

Gráfico 151. Superposición de los campos eléctrico y magnético que dan lugar a la onda electromagnética	224	Gráfico 184. Radio de la primera zona de Fresnel a la distancia d_1 desde el foco A	251
Gráfico 152. Carga eléctrica oscilando en un dipolo. En azul el campo eléctrico. En rojo el campo magnético	224	Gráfico 185. Similitud del corte C-C'	251
Gráfico 153. Señal electromagnética en polarización vertical	225	Gráfico 186. Posible obstrucción del enlace por árboles	252
Gráfico 154. Ondas en una cadena de persiana. Compárese con la visualización propuesta para las ondas electromagnéticas	225	Gráfico 187. Refracción atmosférica, K adverso	253
Gráfico 155. Antena Yagi de 800 MHz, ganancia 12 dB, conector N hembra	226	Gráfico 188. MAQUETA #6 para simular el factor K	254
Gráfico 156. Antena de bocina de 15 GHz, ganancia de 20 dB, conector sma	227	Gráfico 189. Factor K infinito, radio de la tierra infinito, suelo recto, distancia d máxima	254
Gráfico 157. Polarización VERTICAL en una guía de onda rectangular	227	Gráfico 190. $K=4/3$, $r'=4/3 r$. Obsérvese la distancia d entre los árboles y la línea de vista	254
Gráfico 158. Polarización HORIZONTAL en una guía de onda rectangular	228	Gráfico 191. $K=1$. Radio real de la Tierra, $r'=r$	255
Gráfico 159. Antena de abertura para 4 GHz 232	228	Gráfico 192. $K=2/3$. La distancia d entre los árboles y la línea de vista disminuye notablemente (K adverso)	255
Gráfico 160. Antena sectorial, en su radome o carcasa impermeable, (Izq.) y abierta (Der.)	229	Gráfico 193. Modelo de rayo recto y tierra curvada (fotografías anteriores)	256
Gráfico 161. Antena parabólica estándar de 60 cm, 7 GHz	230	Gráfico 194. Modelo de rayo curvo y suelo plano	256
Gráfico 162. Antena parabólica en polarización HORIZONTAL	231	Gráfico 195. MAQUETA #7 para simular la refracción del rayo de microondas	257
Gráfico 163. Antena parabólica en polarización VERTICAL	231	Gráfico 196. La trayectoria del rayo es una línea recta mientras el agua está limpia y en reposo	257
Gráfico 164. Antena parabólica HP	232	Gráfico 197. El rayo empieza a sufrir alteraciones mientras la glicerina cae y cambia momentáneamente el índice de refracción	257
Gráfico 165. Escudo o <i>shield</i>	233	Gráfico 198. Al mezclar y uniformizar la solución formada por la mezcla de agua y glicerina y esperando a que la glicerina vaya hacia el fondo, se nota un fenómeno curioso: el rayo se curva debido al cambio gradual de índice de refracción	258
Gráfico 166. Ancho de lóbulo 30° de una antena	233	Gráfico 199. Zona de Fresnel graficada a escala, más real, es una elipse, pero ya no parece una sandía. Torres de 100 m de altura en A y B	258
Gráfico 167. Una antena parabólica se comporta como una linterna de mano	234	Gráfico 200. Comparación entre la primera zona de Fresnel y el área iluminada por el ancho de lóbulo de la antena UHX8-59W	259
Gráfico 168. Enlace de microondas "alineado"	235	Gráfico 201. Ejemplo del modelo de rayo curvado y tierra plana. Este SW grafica solo la parte inferior de la primera zona de Fresnel. Con $K=2/3$ este enlace es imposible	259
Gráfico 169. Patrón de radiación de una antena	235	Gráfico 202. Ejemplo de SW para cálculo de radioenlaces	260
Gráfico 170. Data sheet del fabricante de antenas parabólicas para microondas ...	236	Gráfico 203. Fenómeno de reflexión, el rayo reflejado, si llega en contrafase, llega a anular al rayo directo	261
Gráfico 171. Cuarto de equipos y torre	237	Gráfico 204. La diversidad de espacio contrarresta la reflexión	262
Gráfico 172. Diagrama de bloques de un equipo de microonda genérico en configuración 1+1 diversidad de frecuencia (1+1 FD)	238	Gráfico 205. Esta secuencia de varios minutos, demuestra que la reflexión no afecta por igual a los espectros centrados en distinta frecuencia. Por este motivo se recomienda combinar diversidad de espacio con diversidad de frecuencia en enlaces dificultosos	262
Gráfico 173. Radio Full Indoor	239	Gráfico 206. Pluviómetro	263
Gráfico 174. Radio Split 1+1	240		
Gráfico 175. Espectro de salida de un equipo full indoor en configuración 3+1	241		
Gráfico 176. Ejemplo de coordenadas geográficas	242		
Gráfico 177. Coordenadas geográficas	242		
Gráfico 178. Ejemplo de la definición de acimut	242		
Gráfico 179. Enlace de microondas básico	243		
Gráfico 180. Margen de desvanecimiento (fade margin)	245		
Gráfico 181. Definición de bit errado o simplemente "error"	246		
Gráfico 182. Construcción práctica de una elipse. La longitud de la piola "L" es constante	249		
Gráfico 183. Definición de elipsoide de Fresnel	250		

Gráfico 207. Zonas de intensidad de lluvia. Atlas mundial	263
Gráfico 208. Atenuación por lluvia, dependiendo de la frecuencia	264
Gráfico 209. Escenario de interferencia	265
Gráfico 210. Degradación de umbral por interferencia	266
Gráfico 211. Canal izquierdo OK, canal derecho K.O por efecto de la interferencia	267
Gráfico 212. Solución #1. Polarización alternada	269
Gráfico 213. Solución #2. Canal adyacente	270
Gráfico 214. Solución #3. Uso de tecnología co-canal	270
Gráfico 215. Uso eficiente del espectro	271
Gráfico 216. Tarapoa vista desde Shushufindi, a 37 km de distancia. Obsérvese el terreno ondulado y la vegetación selvática	273
Gráfico 217. Con ayuda de binoculares se logran ver las dos torres existentes en Tarapoa	273
Gráfico 218. Perfil realizado en Excel	274
Gráfico 219. Área de iluminación debida al ancho del lóbulo, misma escala vertical	275
Gráfico 220. Perfil realizado por un SW especializado, con ayuda de cartografía digital	276
Gráfico 221. Simulación de reflexión en el SW llamado DMLE	276
Gráfico 222. La reflexión no afecta por igual a los tres espectros	277
Gráfico 223. Configuración final del enlace	277
Gráfico 224. Frecuencias para un enlace entre A y B	279
Gráfico 225. Enlace físicamente obstruido entre A y B. Necesidad de un repetidor pasivo C	279
Gráfico 226. Alternancia de polarización entre las ramas de un enlace con repetidor pasivo	280
Gráfico 227. Ilustración de antenas y su conexión con guía de onda en un repetidor pasivo	280
Gráfico 228. Arquitectura cliente-servidor para un sistema de gestión de microondas	281
Gráfico 229. Implementos de seguridad para trabajo en torre	282
Gráfico 230. Malla de puesta a tierra	284
Gráfico 231. Precaución de radiofrecuencia, no mirar la salida de una ODU	284
Gráfico 232. Advertencia de seguridad óptica	286
Gráfico 233. Precaución electrostática	286

DEDICATORIA

A mi familia y amigos

A los esforzados e inquietos estudiantes de todos los lugares y de todas las épocas que incansablemente buscan conocimiento con la pasión por aprender y superarse.

A los esforzados trabajadores de las telecomunicaciones, que hacen de esta profesión un servicio a los demás.

A la memoria del Ing. Mario Cevallos Villacreses, profesor de la Escuela Politécnica Nacional durante 46 años, científico del electromagnetismo, maestro por vocación.

A los venerables padres jesuitas del Ecuador, por su abnegada labor educativa, fiel al paradigma pedagógico Ignaciano, “que la alegría de aprender se mantenga más allá de los días pasados en la institución”.

AGRADECIMIENTO

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y a la Escuela Politécnica Nacional, nobles instituciones de educación superior, que día a día se esfuerzan por alcanzar el ideal “la ciencia para el bienestar del hombre”.

A sus profesores, apasionados educadores y educadoras.

Enseñadles sin fruncir el ceño ni adoptar actitudes doctorales, con amable sencillez, con la alegría de ser comprendidos y escuchados, haciendo una pausa cuando convenga explicar un término oscuro. Podéis estar seguros de que acabarán por comprenderos, pues los corazones todo lo comprenden...

Fedor Dostoievski (Los Hermanos Karamazov)

INTRODUCCIÓN

El mundo moderno, fuertemente digitalizado, requiere que estemos “conectados”. Es relativamente sencillo para cualquier persona en la actualidad enviar imágenes o audio desde cualquier parte de una ciudad y a cualquier destinatario, sin importar el lugar del mundo de conexión. Este alcance y esta movilidad los tenemos gracias al uso de una porción del recurso natural llamado espectro electromagnético por medio del cual la señal llega hasta nuestros teléfonos inteligentes sea vía señal celular o vía *WiFi*.

Es tan fuerte la influencia de las redes sociales y de la autopista de información que incluso hay quienes afirman que la vida digital es la vida y que esta tecnología forma parte esencial del ser humano. ¿Qué tan ciertas son estas afirmaciones? Intentaremos dilucidar estas cuestiones por medio de una crítica reflexiva que nos llevará incluso a asignarles un rol en la educación a las tecnologías de la información y la comunicación.

El profesional que ha cursado estudios superiores en telecomunicaciones, tarda aún unos cuatro años más para ganar experiencia suficiente y “profesionalizarse” en alguna de las muchas áreas de las telecomunicaciones. Pero creemos que es perfectamente posible para el obrero de esta área e, incluso, para el público en general comprender en que se basan las modernas tecnologías de telecomunicaciones y cómo fue el paso de la tecnología analógica a la digital.

Con el objetivo de enseñar la tecnología involucrada a los trabajadores, obreros del área y, por qué no, al público en general, surge la idea de desarrollar un programa de capacitación; este podrá convertirse en un elemento potenciador de destrezas. La cuestión sin embargo, es por dónde empezar. Cómo llegar a un objetivo que implica conocer conceptos relacionados con la propagación de las ondas electromagnéticas, invisibles pero reales. El camino es hacer uso de las mejores prácticas de las ciencias de la educación, a fin de construir ese tan deseado aprendizaje significativo acerca de las comunicaciones por ondas de radio.

Entre el comienzo y el final de esta obra, hay un camino largo por recorrer. En primer lugar se realiza un reconocimiento del terreno, es decir, dar una mirada a lo que ha sido el desarrollo de las telecomunicaciones en el mundo y en nuestro país. Luego se realiza un estudio de la aplicación de las ciencias de la educación a la enseñanza de ciencia y tecnología; se ha considerado como un caso particular la enseñanza de la comunicación por microondas.

Basándose en herramientas de medición como encuestas de conocimientos previos, cursos piloto y entrevistas a personal técnico, se ha logrado determinar los prerequisites indispensables para acceder al curso de capacitación en microondas cuyo contenido se desarrolla de la manera más simple posible, sin ahondar demasiado, pero, a la vez, sin perder calidad técnica.

Este trabajo por lo tanto es una contribución que aspira a dos grandes objetivos:

1. Proveer parámetros pedagógicos al docente, al capacitador y al propio estudiante de ciencia y tecnología, a fin de que mejore el proceso de enseñanza-aprendizaje. Paralelamente, realizar una crítica constructiva a lo que ha sido la enseñanza de la ciencia en general en nuestro país.

2. Proveer al trabajador y al estudiante de las telecomunicaciones de un documento de estudio y de consulta, que despierte la motivación por aprender

Esta obra se desarrolla en dos grandes capítulos. En el primero, describe la visión científica, humanista y social que las Ciencias de la Educación ofrecen a todos los miembros de la comunidad educativa acerca del proceso de enseñanza / aprendizaje. En el segundo capítulo se desarrolla el programa para capacitación en comunicaciones por microonda en base a las recomendaciones de las ciencias de la educación. El proceso de enseñanza / aprendizaje siempre es perfectible, como toda obra humana, por ello este trabajo constituye también una crítica reflexiva, con el sincero afán de mejorar la calidad de la educación técnica del país.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES

1.1. Características de la enseñanza de ciencia y tecnología

La enseñanza de las tecnologías de las radiocomunicaciones en general y de las microondas en particular, se relaciona directamente con la enseñanza de las ciencias experimentales. Hay detrás de estas ciencias una vasta cantidad de conceptos y de herramientas matemáticas, de los cuales deberemos identificar solo los necesarios para poder introducir, pedagógicamente, en este amplio campo de la ciencia a los trabajadores de las telecomunicaciones.

Y es que hay que tomar en cuenta que la humanidad ha recorrido velozmente un largo camino hasta llegar al estado del arte actual de las ciencias y de las tecnologías de telecomunicaciones; por ello debemos empezar con el repaso del origen de estas ciencias, para enmarcar y concretar el área de conocimiento que será abordada en este trabajo. Pero, ¿dónde está este conocimiento y a quién le pertenece?

Una mirada a la historia de las ciencias, en particular a la historia de la electricidad y el magnetismo nos pueden ayudar a contestar esta pregunta inicial y provocadora. En palabras del gran científico Albert Einstein, “la ciencia no es más que una creación libre del espíritu humano, que comparada con la realidad es pequeña e infantil, pero a pesar de ello, es lo más valioso que tenemos...” (Einstein & Infeld, 1986). Con ejemplos de las unidades de medición y de los sistemas de numeración, de forma concreta podemos comprender lo que el gran Einstein nos ha dicho, que nuestra ciencia es “solo” una creación libre del espíritu humano que intenta interpretar una única realidad, el mundo físico donde vivimos; este ha estado aquí desde siempre, mucho antes que el ser humano apareciera. Esa creación libre debe responder a esa realidad.

Si una teoría no se ajusta a los resultados de esta última, es la teoría la que debe cambiar o mejorarse. En ciencia también pueden haber muchos criterios subjetivos, pero al final, el que se ajuste a la realidad es el que prevalecerá y descartará a los demás.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Fue el italiano Guillermo Marconi (Ingeniero, universidad de Bologna-Italia) alrededor del año 1895, uno de los primeros científicos en experimentar la comunicación por medio de las ondas “hertzianas”. Inicialmente, ni siquiera se sabía que estos disturbios tenían naturaleza

ondulatoria; se los llamó “hertzianos” porque, años antes, en el 1888, un científico alemán llamado Heinrich Hertz (físico, universidad de Berlín) descubrió que una chispa eléctrica producía un disturbio; este se propagaba por el éter y era capaz de reproducir otra chispa eléctrica más pequeña a unos metros de distancia.

Sin embargo, la audacia intelectual de Marconi (SIEMENS AG, 1997, pág. 8), fue la de concebir la utilización del descubrimiento de Hertz para transmitir ya no una pequeña chispa, sino un mensaje, telegráfico primero y telefónico después. Y lo consiguió, puesto que en 1901 logró enviar una frase simple entre Inglaterra y Norteamérica mediante las “ondas hertzianas” propagadas por el éter. Previamente, varios científicos trabajaron por separado y experimentaron con los fenómenos asociados a la recién descubierta “electricidad” y los efectos magnéticos que esta producía.

Algunos teóricos y brillantes matemáticos, se dieron modos de hacer cálculos y mediciones de los “campos eléctrico y magnético” que habían sido descubiertos por los experimentadores; es así como el científico inglés James Maxwell (matemático, universidad de Cambridge, Inglaterra) logró componer, cual sinfonía, una sola teoría acerca de la electricidad y el magnetismo (Maxwell, 1876), en un brillante desarrollo matemático conocido actualmente como las leyes de “Maxwell”, el cual llega incluso a predecir y explicar la radiación electromagnética como una onda de energía que se propaga a la misma velocidad que la luz.

Antes de Marconi, alrededor de 1846, ya existía la comunicación telegráfica de mensajes en código Morse que usaba pulsos eléctricos a través de alambres de cobre, para enviar y recibir mensajes de texto; fue conocido como el telégrafo alámbrico (SIEMENS AG, 1997). Al observar las inmensas posibilidades de comunicación que ofrecía la telegrafía inalámbrica de Marconi, muchos financistas le ofrecieron invertir y desarrollar su proyecto. Para 1912 ya habían instalados en los barcos más modernos de ese entonces telégrafos inalámbricos. Por ello, el trasatlántico Titanic, antes de hundirse lanzó un llamado de auxilio el éter, el mensaje radio telegráfico con las letras S.O.S (*Save Our Souls*).

El famoso éter al cual hemos nombrado ya varias veces, resultó ser una “creación libre del espíritu humano”, pero pasajera, ya que, posteriormente, los científicos determinaron su no existencia, pues, las ondas electromagnéticas no necesitan un medio físico para propagarse (como las ondas de sonido que usan el aire), sino que su naturaleza les permitía viajar también en el vacío.

El telégrafo inalámbrico primitivo permitía enviar mensajes en forma de código (el más simple de los códigos sería un pulso eléctrico es sí, dos pulsos eléctricos es no). Pero, en Estados Unidos, el experimentador Graham Bell, en 1876, ya había logrado enviar mensajes de voz directamente por los hilos de cobre, gracias a inventos previos como el micrófono (que convierte por semejanza, los sonidos en señales de electricidad) y el parlante (que hace lo contrario, convierte las señales eléctricas en sonidos audibles); ambos conformaron el “teléfono” ideado por Bell y cuyo nombre significa “sonido a distancia”. De allí en adelante, muchos investigadores apoyados por financistas, lograron que estas señales de audio pudieran ser enviadas directamente por las ondas hertzianas; es lo conocido como radio teléfono.

Casi de la mano se propuso que la señal hertziana, capaz ahora de portar la voz humana, sea transmitida al público en general. Paralelamente, el trabajo de investigadores como el norteamericano Lee De Forest—Dr. en Física, universidad de Yale—, inventor de los amplificadores de tubo como el “audiófono” y el “triódio” en el año 1907, posibilitaron el desarrollo de la radio difusión comercial y el establecimiento de las primeras empresas “radiodifusoras” en la ciudad de Detroit-EE.UU, en 1920, mediante la conocida técnica de la “modulación en amplitud” (radio AM), aún subsistente y negada a desaparecer. Aunque actualmente algunos receptores de radio para vehículo ya no la traen disponible.

En el prólogo de su libro titulado *A Treatise on Electricity and Magnetism* (1876), el científico escocés James Clerk Maxwell comenzó por evocar que la palabra electricidad proviene del vocablo griego *elektro*, con el cual se designaba al ámbar y al hecho de que esta sustancia frotada con un paño o piel de gato, podía atraer pequeños trozos de madera, una de las primeras manifestaciones de la electricidad estática. A su vez, la palabra *magnetismo* deriva de otra sustancia, capaz de atraer metales y existente en la región griega de Tesalia-Magnetia. Maxwell hizo referencia a que su tratado estaba basado en fenómenos que ya la humanidad conocía desde hace cientos de años.

Al célebre físico Isaac Newton se le atribuye la frase: si he podido ver más lejos es porque me he parado sobre los hombros de gigantes, denotando que sus descubrimientos se han basado en los trabajos de los científicos que lo precedieron. Y, a su vez, en palabras de Albert Einstein “Maxwell realizó un trabajo de unificación de la física, comparable al que realizó Newton casi dos siglos antes” (Einstein & Infeld, 1986, pág. 177).

Por ello, la historia de la ciencia nos muestra cómo el conocimiento actual se ha ido formando como un andamio o tinglado que se basa en trabajos anteriores y crece siempre sobre esa base. Por ello también, podemos afirmar que el conocimiento le pertenece a la humanidad entera y está en las obras publicadas por aquellos pensadores desde la antigüedad hasta nuestros días; ya sea en libros impresos o en internet en formatos digitales “pdf”. Pero, el conocimiento se queda en esos libros si no fuera porque incansables estudiantes de todas las épocas los abren y los leen una y otra vez, apropiándose de ese conocimiento, recreándolo y redescubriéndolo cada vez.

En el Ecuador, el 9 de julio de 1884, se realizó la primera comunicación telegráfica alámbrica entre Quito y Guayaquil. A fines de ese año, mediante conexión con el cable submarino, quedó también establecida la comunicación con los EE.UU. Para 1887 casi todo el país contaba con servicio telegráfico. En 1920, se inauguró la conexión Quito-Guayaquil a través del telégrafo inalámbrico. En ese mismo año, se graduó la primera promoción de telegrafistas del Ecuador. En 1925, empezaron las emisiones de la primera radio difusora del Ecuador, Radio El Prado, desde la ciudad de Riobamba, en la frecuencia de 5 MHz, con un transmisor de 25 vatios.

Posteriormente, apareció Radio París en Guayaquil, en 1927; La Voz de los Andes, en Quito, en 1931; en Cuenca, en 1938; en 1940, apareció Radio Quito. Por estos años, específicamente en 1941, se expidió un decreto ejecutivo con el primer reglamento de instalaciones

radioeléctricas del Ecuador. Radio Nacional Espejo emitió desde Ambato en 1949. En 1959, transmitió la primera televisora en blanco y negro, en Quito en el canal #4. En Guayaquil, en 1960, se inauguró la compañía ecuatoriana de televisión. En la década del 60, apareció el canal 2 en Guayaquil y el canal 8, en Quito. En 1975, se publicó la ley de radiodifusión y televisión, con el objeto de regular las frecuencias de emisión; por lo tanto, el espectro electromagnético (Usbeck, 2004).

En 1959, se instaló una red de enlaces de radio para comunicación telefónica entre Quito y Guayaquil, en la banda de VHF en 148 MHz, con una capacidad de 48 llamadas simultáneas; en 1966, tres enlaces en la banda de 6 GHz. En 1971, entró en funcionamiento la estación terrena de Guangopolo; esta permitió la conexión del Ecuador con el mundo, vía satélite, con su antena parabólica de treinta metros de diámetro, trecientas toneladas de peso y 64 dB de ganancia. En la década de los ochenta, ingresaron los primeros equipos PDH con tecnología digital a sustituir el sistema analógico con tecnología FDM (*frequency division multiplexing*) (Usbeck, 2004).

En 1995, se realizó la comercialización del servicio de telefonía celular 1G analógico, que contaba con solo tres radiobases operando en la banda de los 850 MHz: una en Quito, una en Guayaquil y una en Cuenca. En la actualidad, son casi 17 000 radio bases de tres operadoras que emiten sus servicios 2G (GSM), 3G (HSPA) y 4G (LTE) en las bandas de 850, 1 900 y 2 100 MHz.

En el año de 1993, se instaló en nuestro país un sistema de telecomunicaciones por microondas digitales de fabricación italiana¹. Era parte de un proyecto de modernización de las telecomunicaciones que hasta finales de la década de los 80 utilizaba tecnología analógica FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Allí comenzó la carrera profesional de muchos ingenieros; estos después colaboraron con los nacientes sistemas de telefonía celular, que ha permitido conocer de cerca la evolución de esta fase de la tecnología de telecomunicaciones.

Como hemos podido observar en los párrafos anteriores, el estado del arte actual de las telecomunicaciones (teléfonos móviles, internet de banda ancha) no sería posible sin haber tenido el conocimiento profundo de la naturaleza de las ondas electromagnéticas. Pero hay que anotar que dicho conocimiento no habría sido suficiente si paralelamente no se hubiera desarrollado la electrónica y particularmente la electrónica digital. La electrónica nos permite manipular las ondas electromagnéticas para lograr que transmitan la información deseada.

Se suele hacer una distinción entre electricidad y electrónica. En el primer caso es una fuente natural de energía originada por el flujo de electrones en los conductores eléctricos, generalmente de cobre, fenómeno con el cual se construyeron los primeros “dínamos” rotativos generadores de electricidad, que permitieron la iluminación comercial y el desplazamiento de las lámparas de aceite o las malolientes lámparas de gas de los hogares de Europa recién hacia 1882 (SIEMENS AG, 1997).

En cambio, la electrónica se relaciona con la electricidad pero a niveles bajos de energía, como señales ya sean de información o de control. Por ejemplo, electricidad es la energía con

¹ Italia es un país, como podemos ver, que tiene una larga tradición en el campo de la radio.

que funcionan las luces y los electrodomésticos de un hogar. Mientras que electrónica es el uso de las señales eléctricas en la reproducción de canciones MP3 o la información guardada en la computadora del hogar. A nivel tecnológico la electricidad deviene en electrónica a raíz del descubrimiento de los tubos de vacío que fueron utilizados para amplificar las débiles señales de radio en la década de 1920.

Luego se desarrolló el transistor, con lo cual vinieron los amplificadores de “estado sólido” –ya no el tubo de vacío que era de vidrio–. En un tubo de vacío, similar a los focos incandescentes, se logra que un débil voltaje como el captado por la antena receptora, aumente su magnitud; es decir, resulte “amplificado”. El factor de amplificación es lo denominado “ganancia”. Así, si a la salida del tubo de vacío, el voltaje sale amplificado diez veces, se dice que su ganancia lineal es diez. En cambio, si en este caso, a la entrada tenemos 0,5 voltios a la salida tendremos cinco voltios.

Sin embargo hay que notar que la señal de salida es idéntica a la señal de entrada solo que con mayor amplitud de voltaje (análoga: semejante). Y no ha habido entre la entrada y la salida ninguna otra manipulación que el de aumentar el nivel de la señal. Esto es lo que se conoce como electrónica analógica.

Las tecnologías analógicas (con electrónica o sin ella), en general, son las que usan directamente las propiedades naturales de cualquier magnitud física, para conseguir el fin deseado. Los niños que hablan a través de dos vasos plásticos interconectados por un hilo, están realizando una comunicación de tipo analógica, ya que la vibración del hilo es *semejante* al sonido de sus vocecillas.

Por otra parte tenemos las tecnologías digitales y, particularmente, la electrónica digital. Tanto la una como la otra suponen la transformación de una magnitud natural (por ejemplo el sonido, la temperatura, la luz, etc.) en una secuencia de impulsos lógicos. Al hablar de impulsos lógicos, se hace necesario explicar la codificación lógica. Como es bien sabido, cualquier señal se puede codificar. El ejemplo más sencillo es ponerse de acuerdo: un golpe significa “sí” y dos golpes significan “no”. O que el foco prendido significa “sí” y el foco apagado significa “no”. Tenemos dos estados de iluminación asociados a un mensaje mínimo “sí” o “no”.

Como parte del programa de capacitación en microondas tendremos la oportunidad de profundizar en este tema tan importante.

Es frecuente en la actualidad oír hablar del mundo digital más que del mundo analógico. Pero hay que recalcar que el mundo digital es producto de la tecnología y está basado en la codificación y decodificación electrónica de los fenómenos naturales (analógicos) del mundo.

Como se puede observar, el contenido del “programa de capacitación en microondas” tiene sus complejidades; así, para poder ser enseñado de forma eficaz será necesario estructurarlo y secuenciarlo; por lo tanto, se recurrirá a las técnicas pedagógicas y didácticas más adecuadas; entonces, se seguirá los siguientes principios generales enunciados por las ciencias de la educación:

a. La educación es un acto social, entre seres humanos, dependiente del entorno. Por lo tanto se deberán recalcar procedimientos y comportamientos adecuados.

b. El conocimiento se construye como un tinglado o andamio sobre los conocimientos precedentes. Es la base del constructivismo (Aubert, Flecha, García, Flecha, & Racionero, 2013)

c. El conocimiento no se encuentra en el profesor o en el instructor. El conocimiento le pertenece a la humanidad y se encuentra, fundamentalmente, en los libros y publicaciones, ya sean impresos o en formato digital “pdf”.

d. El conocimiento es una fortaleza en la carrera profesional de una persona y en su existencia misma.

A lo largo de todo el proceso educativo de una persona se va preparando el tinglado del conocimiento; pero, este depende mucho del entorno donde se desarrolla. No es solo cuestión de inteligencia, pues, si alguien es muy capaz, puede aprender rápido y absorber lo proporcionado por el entorno; mas, si el entorno es insuficiente, no le permitirá hacerlo plenamente. En consecuencia, los docentes y las instituciones educativas son parte de ese entorno (Aubert et al., 2013).

Por lo tanto, deberemos crear las condiciones más adecuadas para la realización de un buen curso. Así se harán demostraciones prácticas, para lo cual se incluirán los recursos tecnológico suficientes y acorde con las necesidades del grupo y los avances del tiempo; se resaltarán los vínculos de los contenidos con la realidad donde vivimos; además, se potenciará un buen ambiente, preferiblemente, bien iluminado y ventilado, en el cual no se olvide el ambiente amistoso, lo que procurará un entorno saludable, de confianza y estimulante.

Gráfico 1. Para llegar a las altas cumbres del pensamiento se requiere de un buen andamio de conocimientos, hecho a la medida y con el objetivo claro



Elaborado por el autor. Fuente: La Basílica. Cien años de historia. José Benítez S.J. Riobamba 1983

Así como el conocimiento se construye en un individuo, también se construye en una sociedad, como un tinglado, pero la sociedad históricamente hablando; este andamiaje, a su vez, queda registrado en los libros, las tesis, los artículos que escriben los individuos: esa es su forma de trascender. En las siguientes líneas se realizará una remembranza de la educación técnica en nuestro país, a través de la historia de la fundación de la Escuela Politécnica Nacional.

LITERATURA RECOMENDADA

Las propuestas realizadas se basan también en lecturas de obras entre las cuales podemos citar las siguientes:

1. Carlos Usbeck en su libro *El Ecuador y las Telecomunicaciones, una Historia Compartida*, nos señala el camino recorrido desde que el 9 de julio de 1876 se dio la primera transmisión telegráfica entre Quito y Guayaquil (Usbeck, 2012, pág. 45). Desde entonces, muchos proyectos de telecomunicaciones se han instalado y los técnicos ecuatorianos hemos tenido la oportunidad no solo de trabajar, sino también de aprender las tecnologías en uso en ese momento y, aún más, con el paso de los años, observar cómo ha ido evolucionando. Hemos aprendido también la importancia que tiene para nuestro país la formación en ciencia y tecnología, para el desarrollo.

2. Roberto Ares, en su libro *Manual de las Telecomunicaciones* (1997), nos guía paso a paso por lo que hasta ese momento eran consideradas las mejores tecnologías de comunicaciones: va desde la transmisión PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) hasta la transmisión SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). El autor de este libro estuvo varias veces en Ecuador para impartir cursos de capacitación en telecomunicaciones, en los cuales pudimos observar no solamente sus grandes dotes como capacitador y su dominio de los temas, sino sus grandes cualidades como ser humano, las cuales lo hicieron merecedor de la amistad y aprecio de sus estudiantes.

Hoy en día, los conocimientos contenidos en este libro se refieren a tecnologías ya pasadas, pero todavía se puede apreciar y rescatar el estilo claro y ameno que lo caracterizó y la forma didáctica como se explicaron los temas. Es asombroso que este importante ingeniero divulgador tecnológico sea también un reconocido ornitólogo de su país –Argentina–; lo cual muestra que una persona puede tener apasionamiento tanto por la tecnología como por la biología, dos ramas tan diferentes del conocimiento.

3. La empresa SIAE dispone de material de entrenamiento, en su publicación *Planning Criteria for Digital Radio Relay Networks* (2015), nos lleva por una serie de actividades que permiten al personal fundamentar ideas y conceptos relativos al trabajo con equipos de microonda.

4. La ya desaparecida empresa “Siemens Telecomunicazioni” (Milán-Italia) publicó en el año 2002 el material didáctico en formato *Power point* (2001) para la enseñanza de los conceptos más básicos de la comunicación por microondas. Ese material es todavía muy útil para ejemplificar conceptos generales. Aunque, las empresas al ser obras hechas por seres humanos, muchas veces siguen un ritmo de vida similar. Nacen, crecen y mueren. Pero, los

conocimientos profundos y las técnicas desarrolladas por estas empresas no se pierden, ya que sus exempleados pasan a formar parte de la nómina de nuevas empresas que están en camino ascendente hacia nuevos retos y éxitos. También con la compra y venta de patentes, los secretos tecnológicos no desaparecen; más bien pasan a formar parte de equipos sucesores, quizás, con una nueva marca.

5. Es muy honroso nombrar en este trabajo al libro escrito en el ya lejano año de 1938 por Albert Einstein y Leopold Infeld *La Evolución de la Física* (1986); libro recomendado para todo estudiante de ciencias y de ingenierías, porque a pesar de haber sido escrito hace muchos años sigue siendo útil, ya que, a través de sus páginas, nos muestra con elegancia, en lenguaje claro y ameno cómo el conocimiento se ha ido construyendo a lo largo de centurias; además, que es accesible a todo aquel interesado en aprender la evolución de esta ciencia tan importante.

Los expertos en lectura crítica recomiendan enterarse tanto de quién escribe como del contexto donde se lo hace; el fin es contrastar la información obtenida. Pues bien, este libro es de coautoría del famoso científico Albert Einstein –con ayuda de su colega polaco Leopold Infeld–, unos pocos años después de haber publicado su famosa *Teoría de la Relatividad* y de haber ganado el premio Nobel de 1921 por su descubrimiento del efecto fotoeléctrico. En este libro, los autores explican al lector, en forma didáctica y cualitativa, los fundamentos del campo eléctrico, magnético y del electromagnetismo.

6. José Miranda, José Luis Sebastián, Manuel Sierra y José Margineda (2002), en su texto *Ingeniería de microondas. Técnicas experimentales*, presentan los fundamentos teóricos de la tecnología en microondas, que es sumamente compleja. El estudio de las leyes que rigen el comportamiento de los campos eléctrico y magnético comprende una base matemática importante, en la cual se destaca el cálculo infinitesimal. Sin embargo, los conceptos básicos son accesibles al público general, ejemplificados con aparatos simples como son las bobinas y los condensadores. En sí, en este libro se encuentra la base teórica del funcionamiento de los equipos de microonda, para quien desee profundizar el tema científico.

7. Pablo Freire, en su *Pedagogía de la Esperanza* (2014), concibe la educación como una herramienta útil para la transformación social. Es lo buscado en este trabajo de tesis, incrementar el nivel de conocimientos del personal a fin de que mejoren sus oportunidades laborales.

8. En *Introducción al Cálculo Infinitesimal* de Juan Viedma (2005), es de utilidad los presupuestos manejados, en especial, para quien requiere cimentar este aprendizaje. Conuerdo completamente cuando afirma que “los problemas fueron antes que los métodos” y que “el martillar fue antes que el martillo” (Viedma, 2005, pág.11); asimismo, releva lo poca importancia práctica dada a la enseñanza de esta preciosa herramienta matemática.

“No es fácil moverse dentro de ideas abstractas sin entrever por lo menos de donde fueron abstraídas” (...). “El desarrollo lógico del tema requiere dar definiciones abstractas y después ir demostrando las relaciones importantes entre los conceptos definidos

(...) impecable desde el punto de vista lógico, pero inaccesible a los principiantes...” (Viedma, 2005, pág. 11).

Mas, el maestro se ha lucido y ha demostrado a todos cuanto sabe (sobre todo a sí mismo), pero ha sido incapaz de facilitar a los principiantes el acceso a ese vasto mundo del cálculo infinitesimal; desde ya a muchos les ha creado una barrera emocional y psicológica que esterilizará su posterior desarrollo y uso de los conceptos revisados y mal aprendidos. Por lo tanto, es obligación el hacer una conexión a la razón de ser que motivó el desarrollo del cálculo infinitesimal como herramienta fundamental para el conocimiento de la realidad física.

9. En el texto *Ética para Ingenieros* de G. Bilbao, J. Fuertes y J. Guibert, publicado en el 2006, se argumenta que todas las profesiones deben regirse por unos principios y unas normas morales. En el caso de los ingenieros, distanciándose de ciertos espíritus de cuerpo, el ejercicio de su profesión debe tener en cuenta su responsabilidad dentro de un marco social, para reflejar justicia, propia de una sociedad equitativa.

Se ha considerado a la Ingeniería como la especialidad que une, por un lado, el poseer conocimientos del mundo físico y su naturaleza y, por otro, la capacidad de construir artefactos y utensilios. Se trata de la unión de dos formas de conocimiento. Uno, más teórico relacionado con lo que la ciencia aporta, especialmente, las matemáticas y la física; otro más práctico, relacionado con la capacidad de manipular el mundo físico” (Bilbao, Fuertes, & Guibert, 2006, pág. 40). “Así, los ingenieros de telecomunicaciones deberán conocer la teoría de los campos y ondas electromagnéticos...” (Bilbao et al., 2006, pág. 38). “De acuerdo con la FEANI (Federación Europea de Asociaciones de Ingeniería), los ingenieros deberán tener conocimiento profundo, basado en la física y las matemáticas, de los fundamentos de la ingeniería de su especialidad” (Bilbao et al., 2006, pág.50)

10. *Nos Quieren más Tontos* de P. Carrera y E. Luque (2016), contiene reflexiones sobre el papel de la educación en la economía de mercado. Ya no importa el saber, lo que importa es el “saber buscar”, el “copia y pega” de la Internet. Ya no importa el “saber”, basta con el “saber hacer”. Las personas entrenadas, no educadas.

La nueva escuela se concibe como una institución dispensadora de servicios donde los clientes los compran en función de su capacidad económica. Para conseguir esa nueva escuela, la falta de reconocimiento social del profesorado, que ya no ostenta la exclusividad en la transmisión del saber, es una de las claves. Al mismo tiempo es necesario desacreditar aquello que se relacione con el saber y el conocimiento. Se impone una visión lúdica y banal de la realidad. Por ello, Vicente Romano habla de la infantilización social” (Carrera & Luque, 2016, pág. 27).

...los sistemas de educación y formación contribuirán a la competitividad europea, siempre que se adapten a las características de la empresa del año 2000 (...). La EU ha declarado que Europa y su economía deben convertirse en la economía del conocimiento más competitiva y dinámica del mundo, capaz de un crecimiento económico duradero (...). En esta línea, se han realizado múltiples encuentros ministeriales que pretenden normalizar el Espacio Europeo de Educación Superior como fue la conferencia interministerial de los signatarios de la Declaración de Bolonia el 14 y 15 de mayo del 2015..." (Carrera Pilar & Eduardo Luque, 2016, pág. 31).

Con respecto a la implantación de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación), los autores señalan que no es la "herramienta definitiva" para lograr el éxito escolar, sino solamente un instrumento más, que usado en forma conveniente, coadyuva para lograr el aprendizaje en los estudiantes. Cita el caso de los estudiantes de EE.UU, "donde una generación y media ha hecho su recorrido de manos de las nuevas tecnologías pero que presentan unos niveles bajísimos de éxito escolar, como demuestran los informes Pisa" (Carrera & Luque, 2016, pág.37).

Analicemos por ejemplo el calificativo de "analfabeto digital" con que muchas veces se tilda a personas que desconocen las últimas tecnologías de información. Hace poco llamaron de esta manera a un ingeniero eléctrico jubilado del ex INECEL (Instituto Ecuatoriano de Electrificación), que había trabajado cuarenta años en la central hidroeléctrica de Paute desde su construcción. Toda una eminencia en electromagnetismo y, actualmente, es escritor de poemas sobre la ancianidad y la enfermedad. Eso demuestra cómo esa frase descalifica injustamente a una persona solo por no conocer las tecnologías de moda y eso podría ser sesgado. Además, una persona "alfabeta digital" debería conocer el álgebra de Boole, el sistema binario, la lógica digital y diseño de computadores, el proceso de conversión analógico / digital, etc. De lo contrario solo conoce la corteza, las aplicaciones de alto nivel, el producto final, como un consumidor de tecnología.

Evidentemente, para saber hacer funcionar un ordenador, manejar un vídeo o el último trasto electrónico, para limpiar o vender, para manejar las armas en los modernos ejércitos, etc. (...) no es necesario un alto nivel cultural. Las tareas importantes, aquellas que requieren conocimientos y formación han sido encomendadas a transnacionales de la información y la comunicación. La escuela, el instituto y la universidad en Europa se están convirtiendo en centros esenciales de la estructura económica, pero cada vez más imposibilitados de permitir el acceso al saber que nos conduzca a comprender el mundo y por consiguiente a transformarlo... (Carrera & Luque, 2016, pág. 52).

Posiblemente, la desesperación de algunas empresas europeas y norteamericanas ante el avance de la industria china, ha llevado a convertir la educación en Ciencia en una cuestión

utilitaria. Pero, esa posición agrava el hecho de la contaminación a nivel mundial ejemplificado en el reciente escándalo de una fábrica de vehículos que prefirió falsificar las lecturas (el *firmware*) del medidor de emisiones, antes que realmente controlarlas. Cuando se supo el fraude, el producto fue echado del mercado norteamericano.

...En el Reino Unido, la empresa SERCO, ligada al sector de la fabricación de armamento, se ha hecho cargo de la gestión de numerosas escuelas, de la inspección y formación del profesorado. En Francia, el grupo Educinvest gestiona ya 250 escuelas privadas y realiza un volumen de negocio anual de 130 millones de euros. En Italia, la reforma Moratti (2006) entregó un cheque a las familias para que opten por la escuela privada... (Carrera & Luque, 2016, pag.56).

La UNESCO recibe el 70 % de su presupuesto del Banco Mundial y está muy ligado a las directrices de esta institución (...). Además el reconocimiento del Estado Palestino en 2012 provocó la retirada de la financiación de EEUU e Israel a dicha institución... (Carrera & Luque, 2016, pág.61).

...muchos mal interpretan la cuestión de las TIC, como si el conocimiento ya no fuera necesario, igual que no fueran necesarios el esfuerzo ni la utilización de la memoria... (Carrera & Luque, 2016, pág. 83).

...Las propuestas de la Unión Europea encierran un profundo desprecio por todo conocimiento que no sea aplicativo e inmediato. No se apuesta por una enseñanza sino por un sistema de instrucción ligado al mercado en el que todo se compra y se vende...el saber y el conocimiento se han convertido en algo obsoleto (...). El saber se ha convertido, en nuestras sociedades y nuestras economías que evolucionan rápidamente, en un producto perecedero. Lo que aprendemos hoy estará obsoleto o será superfluo el día de mañana (...); la cultura entendida en sentido amplio, al no tener aplicación inmediata en el mundo económico, es considerada como una rémora (...). Así el conocimiento se convierte en anecdótico, lo que importa es saber movilizar los recursos instrumentales independientemente de los conocimientos reales. Es determinante construir un PowerPoint, crear un *blog*, o manejarse en las redes sociales, pero no es importante saber con qué finalidad (Carrera & Luque, 2016, pág.147).

Críticas muy interesantes que, aunque no las compartamos en su totalidad, nos hacen repensar la forma de impartir el conocimiento, sobre todo en este curso de comunicación por microondas, en el cual hay mucha tecnología contenida, pero que el personal no sabe cómo funciona.

11. El texto de M. Acaso *Reduololución. Revolución en la Educación* (2013) proporciona aportes sobre la educación en los tiempos de Internet y de las redes sociales. Los sectores e

industrias relacionados con la gestión del conocimiento no paran mientras que los sistemas educativos no están al mismo ritmo de evolución.

Mención aparte requieren los “mandamientos” que el profesor visto como un *coacher* o acompañante de sus estudiantes, debe observar para ser un buen maestro:

Priorizarás la agenda de tus alumnos

Aprenderás a generar responsabilidad

No competirás con el teléfono móvil de tus alumnos, te aliarás con él.

No te rendirás al no obtener resultados inmediatos.

Valorarás la autoestima, la motivación, la confianza y otros aspectos emocionales de tus alumnos.

Tu objetivo como profesor ya no es tanto transmitir contenidos, sino ayudar a entrenar habilidades y actitudes

Actualizarás y adaptarás tus herramientas educativas permanentemente.

No dejarás que el proceso de evaluación formal condicione el proceso de aprendizaje.

Serás consciente de que lo que haces en el aula es mucho más importante que lo que dices.

Cuántas más conversaciones e interacciones generes, mejor (Acaso, 2016, pág.80).

12. En el texto *Aprendizaje Dialógico en la Sociedad de la Información*, A. Aubert y otros autores (2013), se presentan reflexiones sobre la concepción moderna de la educación. Excelente material para reconocer las capacidades y limitaciones de los diferentes modelos pedagógicos, entre ellos el conductismo y constructivismo.

Por ejemplo, acerca del conductismo:

Se trata de una enseñanza que fomenta la memorización mecánica de los contenidos, en detrimento de una memorización comprensiva, la reflexión y la creatividad. Esto está vinculado al hecho de que la motivación que se promueve es de tipo extrínseco, hay que aprender no por el conocimiento en sí mismo, sino por la recompensa (buenas calificaciones). Al poner frenos a la implicación activa de los y las estudiantes en el proceso, el aprendizaje resultante es de tipo memorístico y con poco sentido... (Aubert et al., 2013, pág.43).

Parece que los autores estuvieran describiendo la educación técnica universitaria a inicios de los noventa. Mientras más fielmente reproduzca el estudiante lo visto en clase, mejor nota y mayores promociones recibirá. Si por el contrario busca una vía diferente, se arriesga a recibir un cero, por mostrar su creatividad, porque no fue así como lo indicó el profesor.

Y es tanta la importancia de las notas como motivación extrínseca, que existe una práctica muy difundida entre los estudiantes de “conseguir” exámenes y pruebas de semestres anteriores para ir “bien preparado” al examen. Pero se ha perdido el fin de la evaluación que

originalmente perseguía: establecer el grado de asimilación de los conocimientos, para con eso hacer los ajustes necesarios y enmendar la metodología si fuera necesario.

En el campo de la psicología, las teorías constructivistas tienen su origen en los avances de la investigación psicológica que condujeron al abandono progresivo del conductismo y al paso a la psicología cognitiva cuya idea central es la implicación de la mente en el proceso de aprendizaje. Las teorías constructivistas, comparten el principio de actividad mental constructiva, que hace referencia a que el conocimiento se construye activamente por parte del estudiantado (Aubert et al., 2013, pág.46).

El conocimiento no se adquiere, el conocimiento se construye. El profesor ayuda al estudiante en la tarea de construir ese conocimiento con su experiencia; así, crea puentes hacia situaciones reales, que el estudiante puede verificar activamente por sí mismo, ya sea en el aula o en un laboratorio apropiado.

El paso de la asimilación a la construcción ha supuesto un cambio importante en el rol del alumnado en el aprendizaje, pasando de ser un sujeto pasivo que asimila, acumula y repite a ser un sujeto activo que construye continuamente su propio conocimiento” (Aubert et al., 2013, pág.47).

En esta obra existe también una definición muy completa de lo que es el aprendizaje significativo: “Un proceso individual de construcción de significado y atribución de sentido, diferente en cada persona porque cada una tiene unos conocimientos y experiencias previas diferentes y una disposición diferente ante el aprendizaje...” (Aubert et al., 2013, pág.57).

Materias como la física pueden resultar muy estimulantes para quienes posean una imaginación poderosa y soñadora; pero, en cambio, materias como la matemática pueden resultarles muy áridas si no hay conexión a la realidad física. Todos tenemos gustos y predisposiciones diferentes. Por eso, el trabajo en equipo -entendido como colaboración- puede resultar muy beneficioso para todo el grupo. La diferencia entre cooperar y colaborar es bastante clara. Cooperar quien termina su parte y se dedica a descansar. Colabora quien termina su parte, pregunta a los demás si hay algo en qué ayudar y lo hace. Colaborar requiere de una consciencia de formar parte de un equipo y de una gran dosis de interés en el éxito del grupo; lo que actualmente se denomina ser proactivo. Sin embargo hay algo mejor que simplemente ser proactivo. Es ser prosocial. Es decir ser proactivo con conciencia social. Definitivamente, un concepto superior que implica poner en su puesto al individualismo, la competencia y el egoísmo.

Así, “el constructivismo es un modelo pedagógico que valora los procesos, no solo los resultados (...). Desarrollos posteriores del constructivismo reconocen en mayor medida la influencia del contexto en el aprendizaje...” (Aubert et al., 2013, pág.63).

Hay mucho que decir en cuanto a procesos y resultados. Ciertos estudiantes de ingeniería, al inicio de la facultad, tuvieron la mala fortuna de contar con un maestro que tenía por divisa calificar solo las respuestas, bajo el concepto de que ningún profesional puede cometer un error en la vida real, por ejemplo, que un ingeniero civil no tendría justificación si el edificio que ha construido se cae; o que un médico opere y el paciente se muera. Por lo tanto, el proceso no cuenta sino solo el resultado. En sus exámenes de dos preguntas, solo podía haber notas de 0, 10 o 20.

Ahora sabemos que el proceso es muy importante, porque mejorándolos es como se obtienen resultados, por lo tanto hay que tomarlos en cuenta. Además existe un periodo, estimado de cuatro a cinco años, en el cual todo egresado de una universidad se “profesionaliza”, es decir adquiere destrezas de la vida real una vez que ha circunscrito su actividad. Ningún médico realiza una operación seria, apenas ha egresado de la universidad. Concepciones netamente conductistas que ocasionaron daño psicológico entre los estudiantes por haber sufrido una interrupción momentánea de la carrera de una forma injusta, porque valoraron el aprender no solo el pasar de semestre y por eso no hicieron trampa, no copiaron las respuestas, aunque pudieron haberlo hecho. Aquel maestro estaba equivocado y demostró con su actuación la poca vinculación con el ejercicio real de la profesión de ingeniero. Incluso existe la duda que conduce a un problema de ética, ¿ejerce la función de docente sin haberse capacitado para ello? ¿Y la institución, por qué permitía esa clase de abuso? ¿Mal entendida libertad de cátedra? ¿La libertad de cátedra faculta el capricho y la creencia personal? Por eso hay que capacitarse como profesor, es decir como profesional de la enseñanza. Ser el *amo* de cierto conocimiento no necesariamente implica ser buen profesor.

El aprendizaje depende también del contexto; es otra oportuna contribución del constructivismo. En el sentido de que el medio estimula o desestimula el aprendizaje, ya que, el contexto es el entorno: circunstancias, instituciones, compañeros, familia, la sociedad que nos rodea, el transporte público, etc. Como dice Maturana, el medio y la persona se influyen mutuamente; somos producto de esa interrelación; el medio lo conforman también las otras personas. Y nuestro país, ¿ofrece buenas oportunidades a los mejores cerebros?, ¿o más bien los limita?

¿Y qué se puede exigir a maestros que cobraban su sueldo con tres meses de atraso? ¿O una institución donde su gremio de trabajadores, impagos, la cierra a la fuerza durante cinco semanas? ¿O cuando un ministro, supuestamente agredido por los estudiantes al pasar, ordena a soldados y policías ingresar a la fuerza a los predios universitarios y apresar a cuanto estudiante se les cruce? Este era el entorno universitario allá por el año 1989. Nuevamente es el entorno, la sociedad, el cual pone condiciones y los límites. Educarse y educar en ese ambiente social agitado, fue cosa de héroes, pero, mejor es mirar juntos hacia el futuro y no repetir los errores del pasado.

Afortunadamente hay maestros de grandes cualidades científicas y humanas que, pese a las adversidades, modelan positivamente a sus estudiantes con su ejemplo, para ser excelentes profesionales y personas. Por ello la comunidad educativa lo reconoce: el aula magna de

ingeniería eléctrica de una prestigiosa institución lleva el nombre de uno de sus más ilustres maestros, don Mario Cevallos Villacreses.

13. Un texto de epistemología que aborda el proceso cognitivo del lenguaje, desde sus orígenes, es el de *El Árbol del Conocimiento* de Humberto Maturana y Francisco Varela (2003). Se realiza la afirmación muy interesante de que el lenguaje es el origen de la hominización. Hace dos o tres millones de años, los grupos cazadores-recolectores cohabitaron en pequeños grupos, en los cuales se proveían de alimento, seguridad y reproducción. Lo homínidos en este ambiente empezaron a intercambiar una especie de lenguaje onomatopéyico, el cual con el transcurso de los siglos se fue convirtiendo en el motor que desarrolló las habilidades sociales. El lenguaje sería, por tanto, lo que nos hizo humanos. Ahora bien, este definido como “un fluir de acciones coordinadas, conductuales, consensuadas” (Maturana & Varela, 2003, pág. 145), puede ser también de orden gesticular no solo vocal.

El lenguaje es nuestro instrumento cognoscitivo; nos permite reflexionar y nos lleva a la autoconsciencia. Los biógrafos afirman que el libro favorito de Albert Einstein fue “Los Hermanos Karamazov” de Fiodor Dostoyevsky, ya que haciendo uso de un lenguaje literario, el autor concibió situaciones en las cuales se menciona la conjunción en el espacio y en el tiempo. En este punto, cabe preguntarse si Albert Einstein dedujo los principios de la Teoría de la Relatividad pensando en alemán o en inglés. Pero el idioma es más que la forma exterior del lenguaje, entendido como medio cognoscitivo; nos permite hablar a nosotros mismos; por lo tanto, se convierte en parte de nuestra autoconsciencia y da forma visible a la personalidad, al alma.

Maturana va incluso más allá y asevera que el lenguaje no pudo haber surgido en un medio de pelea o de competencia. Tuvo que surgir en un medio de colaboración y mutua protección. Por eso afirma que el ser humano es fruto de este y del amor, entendiendo amor biológico como ese mecanismo de mutuo cuidado y aprovisionamiento. Afirma que la relación fundamental entre los seres humanos es la colaboración y no la competencia. Desde este punto de vista no existe el concepto de “sana competencia”; salvo si se procura el desarrollo de las capacidades grupales, esto es elegir al mejor para que realice una tarea particular, en favor del resto de miembros.

Si el humano es fruto del lenguaje y si necesitamos a los demás para conocer y perfeccionar el lenguaje, esto significa que para ser completamente humanos necesitamos a los otros. Es decir hay algo de lo humano que trasciende los límites del cuerpo físico en el que nos encontramos. El humano necesita a los demás para poder vivenciar su humanidad. Estos afectos hacen que veamos en el “otro” a un “otro” legítimo en la convivencia, no importa si apenas sabe leer y escribir o si tiene un PhD. Consideraciones muy importantes, por cierto, en el ámbito de la docencia, porque es la raíz del respeto entre educadores y educandos.

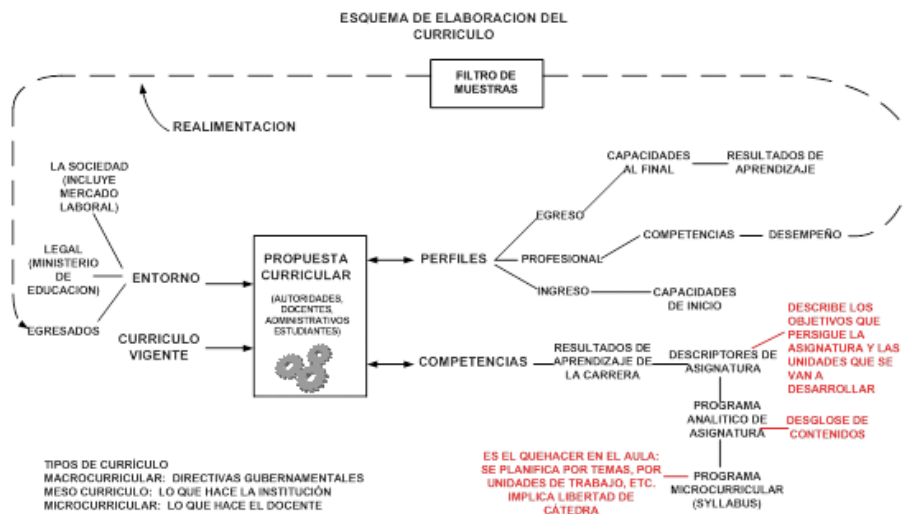
Consecuente con la temática del mencionado libro, el autor cita a San Juan que en el Evangelio inicia diciendo “Al Principio fue el verbo...”

14. Carlos Tunnermann, en *La Educación Superior frente a los desafíos* contemporáneos (2011), reflexiona sobre el papel de la Universidad y de la educación superior. Nombra a la

Universidad como “el hogar natural de la disidencia y de las nuevas ideas”, como la institución “más representativa de la inteligencia de un país” (pág.1). En esta era de globalización, cuál debe ser el papel de la Universidad, de los sistemas educativos los cuales deben tener pertinencia, calidad y equidad, orientando el rumbo de la sociedad hacia el desarrollo humano sostenible. El conocimiento tecnológico, el manejo de la información, destrezas en innovación, permitirán a una sociedad insertarse favorablemente en el contexto mundial. El contexto actual es de una sociedad del conocimiento; pero un conocimiento de crecimiento acelerado, de mayor complejidad y con tendencia a una rápida obsolescencia, lo cual incide en el quehacer de la Universidad (Tunnerman, 2011, pág. 2).

Aquí viene la cuestión nuevamente, ¿es posible clasificar el conocimiento como de corto y de largo plazo? Podría pensarse que sí, en el entendido de que un conocimiento a largo plazo debería ser sembrado como una competencia del estudiante. En el caso de la ingeniería de telecomunicaciones este conocimiento podrían ser las bases de cálculo infinitesimal y los conocimientos de electromagnetismo. Luego se puede sobreañadir conocimiento de corto plazo, como contenido útil en ese momento, por ejemplo la destreza para usar una aplicación de teléfono inteligente. El equipo de planificación de una universidad debe establecer cuál será el perfil de su egresado en cuanto a competencias científicas, destrezas manuales (largo plazo) y contenidos de corto plazo (relacionados con la tecnología de ese momento). Posteriormente, y en forma periódica (unos pocos años), a través de la realimentación, deberá monitorear y rastrear la calidad y eficacia de los egresados; a su vez mejorar y ajustar el perfil del egresado a la realidad del entorno. El siguiente gráfico ilustra esta situación:

Gráfico 2. Elaboración del currículo



Fuente: (Ríos, 2014). Adaptado por el autor

“La universidad, fiel a su propia esencia, debe seguir siendo el sitio de la búsqueda desinteresada del saber”. La universidad debe dilucidar acerca de las “megatendencias de la sociedad contemporánea” (Tunnerman, 2011, pág. 97), como son la cultura informática, las tecnologías inteligentes, las economías globalizadas. En sí, *aprender a aprender*. Parafraseando a Ignacio de Loyola, que la alegría de aprender se mantenga más allá de los años pasados en la institución educativa.

La universidad, como centro de la inteligencia de un país no debería ser vista como un negocio lucrativo. No olvidemos que se deben a las sociedades y no a los mercados. Que de su buena o mala gestión depende el éxito o fracaso de seres humanos.

“La calidad educativa no debe confundirse con el éxito en el mundo laboral (...) la referencia para medir el éxito deben ser los valores profesados por la Universidad, su misión y su compromiso ético con la sociedad a la cual se pertenece...” (Tunnerman, 2011, pág. 101). No hay que olvidar que la Declaración Mundial sobre Educación Superior (París 1998 y 2009) define a la educación superior como “un bien público social al servicio de la humanidad” (pág. 103). Este es el concepto ideal.

Como conclusión, hacer de la Universidad una comunidad donde profesores y estudiantes construyan y distribuyan conocimiento. Parafraseando a Paulo Freire: educar no es transferir conocimiento sino crear las condiciones para su construcción.

15. A su vez, Francisco Miranda, en *La Primera Escuela Politécnica del Ecuador* (1972), acentúa que la fecha histórica para la enseñanza de ciencias en el Ecuador inicia el 27 de agosto de 1869. Ese día, el Presidente Gabriel García Moreno firmó el decreto de creación de la Escuela Politécnica de Quito (...). Lunes 3 de octubre de 1870, sesión inaugural (...), felicitaciones a la República por esta nueva era de civilización y prosperidad...” (Miranda, 1972, pág.48).

La universidad establecida en la capital del Estado, se convertirá en Escuela Politécnica, destinada exclusivamente a formar profesores de tecnología, ingenieros civiles, arquitectos, maquinistas, ingenieros de minas y profesores de ciencias (...). El poder ejecutivo dará de las rentas nacionales la suma necesaria para hacer venir del extranjero los profesores necesarios con quienes se hará contrato especial (...); [así], la instrucción dada en la Escuela Politécnica será gratuita y en consecuencia no se cobrará a los estudiantes derecho alguno por su matrícula, exámenes ni títulos... (Miranda, 1972, pág.49).

La Compañía de Jesús, históricamente, desde su fundación hacia el año 1450 por Íñigo de Loyola, ha dedicado especial atención a la educación, primero en escuelas, luego en colegios y universidades alrededor del mundo. En años anteriores a la fundación de la Escuela Politécnica, el Presidente García Moreno había ya coordinado con esta comunidad religiosa para la búsqueda de eminentes profesores en Europa. Así, el día 3 de octubre de 1870 arrancaron los

primeros cursos en esta institución con algunos científicos y sacerdotes alemanes e italianos entre los cuales se destacaban: Juan Bautista Menten primer Decano Director, profesor de astronomía, geodesia e hidrotécnica, fundador del observatorio astronómico de Quito, -autor de las Tablas Logarítmicas y Trigonómicas con hasta cinco decimales, Quito 1874-. Teodoro Wolf catedrático de geología, mineralogía e idiomas. Luis Sodiro, catedrático de botánica, fundador del jardín botánico. Luis Dressel, subdecano de la Politécnica, catedrático de Química y fue quien analizó el petróleo y las aguas del Ecuador. José Kolberg, catedrático de Arquitectura, ferrocarriles y puentes. Entre los primeros alumnos de este centro se destacan: José María Troya, autor de un *Tratado de Física Aplicada*; José María Vivar autor de las *Observaciones Industriales*; Carlos Tobar autor del libro *Consideraciones acerca de la Educación*; asimismo, Alejandrino Velasco, padre del futuro presidente José María Velasco Ibarra.

En junio de 1875, profesores de la Politécnica instalaron la primera luz eléctrica de Quito. Para ese año, ya eran varios los profesores los que habían llegado de Europa a compartir sus conocimientos. Lamentablemente, el 6 de agosto de 1875, cayó asesinado el presidente García Moreno. Luego de un último curso regular, el 15 de septiembre de 1876 se declaró “cerrado el establecimiento de la Escuela Politécnica”; algunos profesores se vieron obligados por las circunstancias a marcharse del país (Juan Bautista Menten S.J., primer Rector, murió de pulmonía en Popayán el 15 de mayo de 1900; Teodoro Wolf falleció en Dresden-Alemania el 24 de junio de 1924; el Padre Luis Sodiro permaneció en Ecuador hasta su muerte, ocurrida en Quito el 15 de mayo de 1909).

Aunque la siembra fue dolorosa, la semilla no murió, fruto de la Politécnica fue una corriente científica, irreversible y netamente nacional (Miranda, 1972). En 1935, se dio la reapertura y su afianzamiento definitivo en 1945 por decisión del presidente José María Velasco Ibarra, hijo de uno de los primeros egresados de la Politécnica.

16. En *Las misiones pedagógicas alemanas y la educación en el Ecuador* (1993) de Jorge Gómez, el autor comenta al respecto de la primera Escuela Politécnica de Quito inaugurada en 1870 y afirma:

Los profesores y científicos alemanes destinados a la enseñanza en la Escuela Politécnica Nacional, no solo eran los mejores en sus países de origen y en sus especialidades como lo destacan varios historiadores, sino también los más baratos, puesto que, al menos la Compañía de Jesús, los envió costearo parte de sus gastos (pág.16).

La clara perspectiva científica que guiaba a los profesores jesuitas alemanes condujo una y otra vez a divulgar el papel de la ciencia, no solo como instrumento del conocimiento, sino además como factor del desarrollo científico y técnico del país. Ellos subrayaban que toda carencia de investigación científica derivaba en importación de productos y recursos del exterior, lo que coartaba las posibilidades de una verdadera industria nacional (Gómez, 1993, pág. 31).

Era cierto en 1870 y lo sigue siendo cierto en 2018. El conocimiento científico nos da fuentes de trabajo a nosotros mismos y a la sociedad.

En 1857 existían en el Ecuador 213 escuelas primarias de varones y 41 de mujeres... en 1873 existían 431 escuelas, de las cuales 255 eran públicas y 176 privadas” (Gómez, 1993). En la actualidad hay alrededor de 16.500 (sic) escuelas y colegios a nivel nacional (Archivo Ministerio de Educación).

Junto con el profesor de física, el padre Brugier, Kolberg realizó la primera instalación de luz eléctrica en Quito el 3 de junio de 1875, con 120 pares de pilas Bunser... (Gómez, 1993, pág. 39).

Tal vez la limitada influencia que ejerció el magisterio de los pedagogos alemanes de la Politécnica disminuyó el impacto de su modelo educativo de corte pragmático y moderno a nivel de todo el país, donde la educación siguió siendo la más fiel muestra del atraso y del feudalismo luego de casi un siglo de vida republicana... (Gómez, 1993, pág. 40).

Con la fundación de la segunda Escuela Politécnica no solo se recordará y reformulará los principios de la Politécnica de 1870, sino que se repetirá a Alemania el pedido de profesores especializados. El 28 de febrero de 1935 el gobierno de José María Velasco Ibarra creó la segunda Escuela Politécnica Nacional a cargo de un grupo de siete profesores alemanes: los ingenieros Max Forter, Federico Hahn, Hans Sober, el geólogo Walter Sauer; el astrónomo Jean Odermatt; el matemático Peter Thullen y el físico Ernst Grossman (Gómez, 1993).

A través de este breve bosquejo, hemos presentado los puntos necesarios para el estudio del tema, así como los aportes bibliográficos existentes e indispensables para aclarar los conceptos básicos; asimismo, las circunstancias históricas con respecto al desarrollo de este campo en el Ecuador.

1.2. BASES FILOSÓFICAS, PEDAGÓGICAS Y ÉTICAS DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA.

La enseñanza en ciencia y tecnología comparte los mismos principios de la enseñanza en general, desde la escuela y el colegio hasta la universidad, en el sentido que comparte una filosofía, unos modelos pedagógicos, uso de técnicas didácticas y por su puesto una ética profesional. Luego vendrán las particularidades en el caso de las ciencias exactas. La enseñanza de las ciencias es muy sensible del entorno, pues requieren rigurosidad; por ello demandan estabilidad y prosperidad social, sino veamos lo que afirmaba un científico norteamericano:

Quizás la ciencia nació muerta en ciertas sociedades. Un problema básico en el actual Tercer Mundo (político), es que las clases educadas tienden a ser los hijos de los ricos, interesados en mantener el *statu quo*, o bien no acostumbrados a trabajar con sus manos o a poner en duda la sabiduría convencional. La ciencia ha arraigado allí con mucha lentitud (Sagan, 2000, pág.186).

Para tener una perspectiva acerca de la importancia de la ciencia y tecnología, nos permitimos citar el siguiente manifiesto del gobierno Chino, emitido como directiva de las políticas de ese país hace ya más de 33 años:

...El nivel de educación pública en ciencia y tecnología es una señal importante del logro científico nacional. Es un asunto de la mayor importancia en el desarrollo económico, avance científico y progreso de la sociedad. Debemos prestar atención y potenciar esta educación pública como parte de la estrategia de modernización de nuestro país para conseguir una nación poderosa y próspera... (Sagan, 2000, pág 186).

Y podemos ver en qué posición mundial científica y económica está China en este momento. Actualmente es considerada una potencia mundial líder en la fabricación y diseño de tecnologías de información y comunicación. Lamentablemente, también es uno de los países más contaminadores: el río más turbio del planeta es el río chino Yangtze (Ares, 2015, pág. 240). Quizás olvidaron la educación integral de sus ciudadanos, olvidaron el respeto al medioambiente, la ética de las profesiones, en este caso de los ingenieros, no todo puede ser ánimo de lucro (Bilbao *et al.*, 2006).

Para nuestro programa de capacitación, comencemos respondiendo a las preguntas ¿para qué educar y capacitar, cuál es el rol del docente o instructor, cuál es el rol del estudiante? Esto nos lleva a preguntarnos ¿cuál es nuestra filosofía de la educación?

1.2.1 Filosofía de la educación

Poco antes de una conferencia sobre filosofía educativa, a un docente universitario, experto en su área –la química–, se le escuchó decir que la palabra “filosofía” le provocaba alergia. Después de haber asistido a la conferencia, cambió de parecer y mencionó que a este tipo de conferencias debían asistir *principalmente* las autoridades, quienes llevan el timón de la nave. Empecemos con un cuento motivacional:

Parábola del Halcón



Fuente: <https://pxhere.com/es/photo/795534>

Una vez un hombre iba de camino por senderos desconocidos para él, de pronto se encontró cara a cara con un halcón que estaba un poco herido. ¡Qué paloma tan extraña!, exclamó el caminante (...). La metió dentro de una funda y al llegar a su casa, lo primero que hizo fue limar su pico, luego recortó sus alas y al final cortó las garras de aquella ave extraña. Satisfecho con su labor dijo solemnemente ahora si eres una paloma de verdad (Tobar, 2016, pág. 1).

¿Cuál es el sendero desconocido? ¿Acaso es la educación?

Y es que la filosofía de la educación empieza por plantearnos preguntas verdaderamente complejas: ¿para qué educar?, ¿en qué educar?, ¿cuál es el rol del educador?, ¿cuál es el rol del estudiante?, ¿cuál es el rol de la institución educativa?

En palabras del pedagogo norteamericano John Dewey “La filosofía educativa es la teoría general de la educación”.

El examen filosófico de los temas más profundos requiere sin embargo del manejo de una terminología compleja, por ejemplo:

Ontología: filosofía del ser, entre ellas la cosmología y la antropología.

Epistemología: teoría del conocimiento científico.

Gnoseología: estudio filosófico del conocer y sus problemas.

Lógica: ciencia de las reglas del pensamiento correcto.

Axiología: teoría de los valores.
Ética: filosofía moral.
Estética: filosofía del arte.
Deontología: teoría de los deberes de una profesión.
Hermenéutica: ciencias del estudio de la interpretación de textos antiguos o sagrados.
Heurística: el arte de inventar, usa el pensamiento creativo.

Como podemos ver, los términos no son muy conocidos, pero son necesarios para acceder a las altas cumbres del pensamiento humano. Porque, la filosofía definida como “amor por la sabiduría”, se llega a convertir en la sabiduría misma. En el esfuerzo del ser humano por conocer el mundo que le rodea, las ciencias son subconjuntos de la filosofía.

Mientras que para las ciencias el objeto de estudio son las realidades específicas, el método es la observación experimental y el propósito es la explicación de los hechos; para la filosofía el objeto es la realidad en su conjunto, el método es interpretativo racional y el propósito es la cosmovisión total (Ayala, 2014, pág. 7).

¿En este contexto cuál es el concepto filosófico de educación y qué aspectos contiene?

Educación es todo esfuerzo deliberado por modificar, cambiar o desarrollar la conducta humana y comprende tres aspectos:

- Un aspecto informativo, la transmisión del saber;
- Un aspecto formativo, la formación de la persona,
- Y un aspecto transformativo, educación para el cambio (Ayala, 2014, pág.17).

La filosofía al tratar de comprender que es la realidad, lo que es el ser humano y lo que debería ser, influye en la filosofía de la educación, a la cual orienta desde sus fundamentos a fin de marcar el rumbo de la misión educadora; desde este punto de vista, la filosofía educativa puede ayudarnos a contestar las preguntas iniciales para qué educar, sobre qué educar.

Al existir varias corrientes filosóficas -y no era para menos, pues tan diversos somos los seres humanos-, se desprende que también existan varias corrientes de filosofía educativa, las cuales se diferencian unas de otras en sus concepciones fundamentales: idealismo, realismo, pragmatismo, marxismo, existencialismo, personalismo, buen vivir.

El idealismo

Tabla 1. El idealismo

Representantes	Sócrates, San Agustín
La Realidad	Son las Ideas. El modelo perfecto de las cosas. El mundo material es una copia imperfecta de las cosas
El Conocimiento	Es anterior a la experiencia sensible. Conocer es recordar las Ideas tal como el alma las conoció antes de ser aprisionada en el cuerpo. Contraste entre doxa (opinión) y episteme (ciencia).
El Hombre	Es el alma. El fin del hombre es llegar a conocer la verdad a través de la filosofía, que es contemplación de las Ideas.
Fines de la Educación	La formación del carácter moral del educando: a través de descubrir la verdad y vivir de acuerdo con ella.
El currículo	Compendio de verdades eternas e inmutables, conservadas por la tradición. Las humanidades predominan en el currículo.
La metodología	Diálogo pedagógico para llegar al conocimiento de las verdades eternas e inmutables.
El Maestro	Modelo de vida buena para el alumno.

Fuente: Tomado de Ayala, Fundamentos de Filosofía Educativa, [presentación PPT para docentes de la Escuela Politécnica Nacional], 2016

El realismo científico

Tabla 2. El realismo científico

Representantes	Francis Bacon, René Descartes
La Realidad	Universo material. Tiene existencia objetiva y concreta. Es captada por los sentidos y estudiada por las ciencias empíricas.
El Conocimiento	El conocimiento es resultado de la investigación científica. Conocer implica la interacción entre la mente y el mundo exterior.
El Hombre	Es razón: manifestación del desarrollo superior del cerebro y del sistema nervioso.
Fines de la Educación	Preparar al alumno intelectualmente, dándole a conocer las verdades científicas.
El currículo	Tiene predominio de las ciencias. Estas determinan los cambios curriculares.
La metodología	Transmisión magistral del conocimiento. Recursos: textos y laboratorio.
El Maestro	Experto en su materia. Debe desarrollar las destrezas científicas en sus alumnos.

Fuente: Tomado de Ayala, Fundamentos de Filosofía Educativa, [presentación PPT para docentes de la Escuela Politécnica Nacional], 2016

El pragmatismo

Tabla 3. El pragmatismo

Representantes	William James, John Dewey
La realidad	Hay una única realidad, espiritual y material a la vez, en evolución constante: proporciona experiencias nuevas.
El conocimiento	Conocer es solucionar problemas, gracias a la experiencia y la aplicación del método científico.
El hombre	Libertad: capacidad de autocontrolar los impulsos y deseos por medio de la reflexión y sus propósitos.
El currículo	Es el conjunto de experiencias que vive el alumno. Encaminado a la solución de problemas.
La metodología	Proyectos y trabajo grupal.
El maestro	Guía en el aprendizaje del estudiante. Se recomienda el video (copiar y pegar en el navegador): http://youtu.be/Vnan8SEwf1U

Fuente: Tomado de Ayala, Fundamentos de Filosofía Educativa, [presentación PPT para docentes de la Escuela Politécnica Nacional], 2016

El marxismo

Tabla 4. El marxismo

Representantes	Carlos Marx, Anton Makarenko
La realidad	La historia: la realidad humana que el hombre hace. Video recomendado: http://youtu.be/tHyKHB8PIg8
El conocimiento	Se verifica en la práctica. En sí, es teórico-práctico: científico. Es válido en la medida que soluciona problemas sociales.
El hombre	Ser social. Se hace en sus relaciones con los demás a través del trabajo. Las relaciones económicas determinan el modo de ser el hombre.
Fines de la educación	Determinados por las necesidades de la sociedad. La mejor manera de educar es el trabajo comunitario.
El currículo	Gran importancia a la ciencia, que es forjada mediante el trabajo colectivo.
La metodología	Clases magistrales. Valora al estudio y al trabajo.
El maestro	Intérprete de las necesidades sociales y concientizador de ideas políticas.

Fuente: Tomado de Ayala, Fundamentos de Filosofía Educativa, [presentación PPT para docentes de la Escuela Politécnica Nacional], 2016

El existencialismo

Tabla 5. El existencialismo

Representantes	Soren Kierkegaard, Martin Heidegger, Jean Paul Sartre, Albert Camus.
La realidad	El hombre como existencia. No es objetiva sino subjetiva. https://youtu.be/r4iHjpbhFrk
El conocimiento	No hay verdades objetivas ni universales. Es verdadero lo que cada uno vive como verdadero. No puede sistematizarse.
El hombre	Ser libre: el hombre no es pero tiene que ser. De ahí la responsabilidad de su autorrealización.
Fines de la educación	Debe formar al hombre para que sea el mismo, impedirle la masificación, ayudarlo a ser sujeto.
El currículo	No puede haber currículo establecido. El estudiante es libre de escoger lo que desea y necesita aprender.
La metodología	El alumno es libre de escoger también la manera de aprender.
El maestro	Proporciona al alumno un ambiente donde pueda desarrollar su libertad.

Fuente: Tomado de Ayala, Fundamentos de Filosofía Educativa, [presentación PPT para docentes de la Escuela Politécnica Nacional], 2016

El personalismo

Tabla 6. El personalismo

Representantes	Paulo Freire, María Zambrano, Emmanuel Mounier
La realidad	La persona. Las estructuras del universo de la persona. https://youtu.be/WypSsEbEX9Y
El conocimiento	No es objetivo, ni subjetivo, sino intersubjetivo. Comprende al hombre, al mundo y a Dios.
El hombre	Ser trascendente, libre y original. Trascendencia: apertura de la persona a lo infinito y absoluto.
Fines de la educación	Crear ambientes que favorezcan el desarrollo personal. "No es hacer sino despertar personas."
El currículo	Conjunto de actividades planeadas y encaminadas a crear un ambiente propicio para el desarrollo personal.
La metodología	Educación personalizada. Crear ambientes personalizantes. Individuo: tener / Persona: ser
El maestro	Orientador, guía del alumno en el proceso de aprendizaje.

Fuente: Tomado de Ayala, Fundamentos de Filosofía Educativa, [presentación PPT para docentes de la Escuela Politécnica Nacional], 2016

El buen vivir

Tabla 7. El buen vivir

Representante	François Hutart https://youtu.be/h4QoyPgqIB0?list=PLB2S8f3qlsykWUOGICI-dzlyRkaYsX0TWb
La realidad	Una, diversa y múltiple. Compleja y multidimensional
El conocimiento	Es una traducción y reconstrucción, mediada por el lenguaje y el pensamiento. Riesgo del error.
El hombre	Ser biológico, psíquico, social, afectivo y racional.
Fines de la educación	Desarrollar la personalidad en la convivencia social. Fortalecer la identidad en la diversidad. Formar conciencia ciudadana y planetaria.
El currículo	Abierto y flexible. Asignaturas son herramientas para construir nuevos conocimientos.
La metodología	Centrada en el estudiante y su contexto Educación cognitiva y holística
El maestro	Evaluar intereses y capacidades, gestionar el currículum, supervisar el PEA. Motivar y orientar al estudiante.

Fuente: Tomado de Ayala, Fundamentos de Filosofía Educativa, [presentación PPT para docentes de la Escuela Politécnica Nacional], 2016

Una Filosofía Ecléctica para la enseñanza de la tecnología de Comunicación por Microondas

El eclecticismo es una forma de pensar en la que la filosofía adoptada es la suma de las mejores características de otras filosofías. Para este trabajo, realizamos la siguiente síntesis ecléctica:

Tabla 8. Eclecticismo

La realidad	La realidad está formada por los sujetos (lo subjetivo) y los objetos (lo objetivo). Dos partes insolubles de una misma realidad. Lo subjetivo tiene en cuenta los afectos y desafectos de la persona, lo objetivo son los hechos. Por lo tanto, un criterio, un parecer, no puede ser objetivo 100 %, lo que sí se puede es tratar de ser “riguroso”. El Ecuador, un país en vías de desarrollo, proporciona un medio y un contexto educativo poco favorable al desarrollo de las ciencias. Tanto por su desarrollo histórico (Miranda, 1972) como por su posición en la economía mundial actual de país consumidor de tecnología. Sin embargo, no podemos cruzarnos de brazos, y al realizar cursos de capacitación y seminarios, estamos contribuyendo a elevar el nivel científico y tecnológico de nuestra población.
-------------	--

El conocimiento	<p>Le pertenece a la humanidad porque ella lo ha construido a lo largo de su historia. Está en los libros y en las bibliotecas, en los repositorios y campus universitarios. Es lo más valioso que tiene el ser humano, el conjunto de saberes que le permite entender el medio en el que existe y actuar en consecuencia. Los conocimientos de fondo, de los conceptos fundamentales, dan competencias; los conocimientos de forma (contenidos tecnológicos sobre todo), dan habilidades. Los conocimientos de larga duración se refieren a los conceptos fundamentales de una disciplina; los conocimientos de corta duración se refieren a las tecnologías de esa disciplina.</p> <p>Todo método que nos lleve al conocimiento es valedero. Puede ser inductivo, deductivo, empírico, heurístico (informal, inventivo, creativo). El conjunto de conocimientos es infinito como lo es el universo. Siempre hay algo que aprender, es necesario ser humilde intelectualmente, lo contrario nos empequeñece. El conocimiento puede ser profundo o superficial. De largo plazo o de corto plazo. Las universidades deben reflexionar estos temas conceptuales a la hora de elaborar el currículo y el perfil de los egresados. Docentes y discentes deben ser capacitados en el proceso cognitivo del ser humano, aún antes de iniciar un proceso educativo. El conocimiento no se adquiere, se construye (Aubert et al., 2013).</p>
El hombre	<p>Es un producto del lenguaje, para ser completamente humano, necesitamos a los otros. La relación fundamental entre seres humanos es la colaboración, no la competencia (Maturana & Varela, 2003). El otro es un otro legítimo en la convivencia. Docente-estudiante en este caso, en un diálogo permanente para construir conocimiento.</p>
Fines de la educación	<p>Un método efectivo para contribuir a la realización de las personas. No solamente para el éxito económico, la educación no es un negocio, es un bien sensible. La educación busca el progreso material y moral de la sociedad; la educación no es bancaria, no deposita conocimiento, lo construye (Freire, 2014), por lo tanto construye a la persona.</p>

El currículo	Debe ser planeado cuidadosamente porque define las competencias de las que se quiere dotar a los estudiantes. Los contenidos y la secuencia deben ser actualizados periódicamente, fundamentado en muchos factores como la realidad socioeconómica del medio y la opinión de los participantes (realimentación). En una institución educativa debe haber un consejo de planificación del currículo. En el caso del presente curso, debe tener en cuenta la base de conocimientos del personal técnico para realizar una tarea de nivelación previa.
La metodología	La metodología de educación es la forma práctica de la filosofía educativa. En este caso optamos por el modelo constructivista orientado a facilitar el acceso al conocimiento de radiocomunicaciones del personal de instalaciones (Aubert et al., 2013), y tiene un fin social (Freire, 2014). Ya que se trata de un contenido técnico, se recurre a maquetas e instrumentos de prueba que permitan visualizar conceptos abstractos en relación a la práctica. (Pejcinovic, B & Campbell, R. L., 2013), (Wankat & Oreovicz, 2015)
El profesor, el capacitador	Es un profesional experto en determinados contenidos que tiene habilidades y está capacitado para la enseñanza de los mismos. No es el poseedor del conocimiento. Lo que hace es ayudar a los estudiantes a construir un conocimiento específico sobre la base de lo que ya conocen. Este profesional debe conocer las prácticas y la ética del educador; asimismo, debe respetar la individualidad de cada estudiante y debe conocer los procesos cognitivos del ser humano, cómo aprende, a fin de conseguir el aprendizaje significativo, que se quede en la memoria de largo plazo. El maestro debe propender la creatividad por medio de técnicas didácticas variadas. En el caso de este curso, el instructor debe seguir estas buenas prácticas como cualquier maestro y debe animar a los estudiantes a encontrar el gusto por aprender, de modo que al salir del aula sientan que hay un universo de conocimientos que los espera.

Fuente: Elaborado por el autor

1.2.2 Modelos pedagógicos en la educación

Son marcos teóricos educativos; están fundamentados en las teorías psicológicas del aprendizaje, las cuales han identificado ciertos “paradigmas” o modelos a seguir, como medios más eficaces para lograr el aprendizaje en los estudiantes. Entre ellos tenemos el método tradicional, conductismo, el cognitivo y el constructivista.

Desde la perspectiva actual, sabemos que los modelos pedagógicos están relacionados con la época cuando aparecieron; por ejemplo, el conductismo salió a la luz en la época de la revolución industrial y se mantuvo mientras ese sistema de producción duró. Luego vino el constructivismo más acorde a los tiempos modernos, producto de la sicología del aprendizaje. Pensamos que los profesores tanto de Einstein como de Maxwell, más bien fueron expertos pedagogos hechos con la práctica, ya que, demostraban su experticia enseñando; al igual que un ingeniero, construyendo.

El profesional capacitador o docente aplicará en sus clases uno o más de los modelos pedagógicos, a fin de conseguir el aprendizaje significativo de su materia en sus estudiantes. Esto redundará y definirá su estilo personal de enseñar. El producto que entrega el profesional capacitador a la sociedad es la preparación de sus estudiantes a quienes al promover de curso, certifica que tienen las mínimas competencias en la materia y que son capaces de demostrarlo a través de su desempeño posterior. Veamos brevemente en qué consiste cada uno de los modelos mencionados:

El Modelo Tradicional

Es un modelo pedagógico asociado con la historia de la educación occidental. Apareció en Europa en el siglo XVII con el surgimiento del concepto y materialización de la escuela pública. Hace énfasis en la formación del carácter de los estudiantes en cuanto a virtud y disciplina. Los contenidos en su mayor parte fueron heredados de los clásicos griegos (*Paideia*).

El conocimiento es más bien memorístico. El maestro dicta y expone, el alumno escucha, repite y copia. De aquí el término alumno que significa “sin luz” (a, sin; *lumen*, luz). En épocas pasadas, este modelo implicaba un cierto enciclopedismo por parte del maestro, quien debía saber acerca de todo, pues no solo en la escuela, sino también en todo el pueblo, la gente acudía a él a buscar sabiduría y consejo en los diversos temas, incluso, en los personales y familiares.

Tabla 9. El modelo tradicional

Fines de la educación	Promover la virtud y la disciplina.
La metodología	Enseñar por repetición, al pie de la letra, sin reflexionar necesariamente lo aprendido.
Rol del maestro	El poseedor del conocimiento, quien establece las normas y las hace cumplir, es el centro de atención en la clase.
Rol del alumno	Receptor pasivo, obedece todo lo que se le dice.
Rol de la institución educativa	Lugar para adquirir el conocimiento: controlado y rígido, donde se vigila a los alumnos.

Fuente: Aubert et al., 2013. Adaptado por el autor

El conductismo

Es valioso por cuanto se trata de una de las primeras teorías preocupadas por entender cómo se desarrolla el aprendizaje humano. Se origina a partir de los estudios del psicólogo norteamericano John Watson (1878-1958) y el médico ruso Iván Pavlov (1849-1936), los cuales estudiaron los estímulos condicionales y las respuestas obtenidas (Aubert *et al.*, 2013).

El conductismo aplicado a la educación de los seres humanos, establece que la conducta humana es un proceso observable y cuantificable que obedece a estímulos y refuerzos. La enseñanza se convierte en un proceso de “adiestrar-condicionar” para así almacenar (aprender).

Los principios conductistas pueden aplicarse con éxito a procesos necesariamente memorísticos como, por ejemplo, el aprendizaje de las tablas de multiplicar o al establecimiento de las normas de disciplina necesarias en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Pero, el problema aparece cuando el niño sabe las tablas de multiplicar, mas no puede usarlas en una situación real que se le haya planteado -no hubo asimilación-; se nota entonces que el método conductista puede ser útil pero no es suficiente para el proceso de construir aprendizaje significativo. En cierto modo es un método primario.

Técnicas didácticas aún recomiendan el modelo pedagógico conductista, donde se usa el premio o el castigo, pero aclarando que se trata de premiar o castigar el acto, jamás a la persona del estudiante. Entre los estímulos están los de tipo positivo -dar un privilegio- y los de tipo negativo -quitar el privilegio-. A nuestras madres y abuelas muchas veces se les escuchó decir la frase “en una mano la miel y en otra la hiel”, lo cual refleja la utilización empírica del método conductista en la crianza de los hijos.

A primera vista parece un método apropiado para la educación de niños y jóvenes; también es utilizado en la educación de adultos. Por ejemplo, la entrega de un diploma de aprobación o certificado de asistencia a un curso, es un estímulo positivo. Pero, el problema es que produce aprendizaje memorístico. Fue bueno quizás en una época de la humanidad, sin embargo, las teorías involucradas en la psicología del aprendizaje señalan que actualmente no es suficiente.

Según las ciencias de la psicología, cuando una persona es ejemplo para otra se dice que ha habido un proceso de “modelado”. Pero el modelado puede ser positivo o negativo. Cuando el estudiante desea parecerse a su profesor en la vida adulta o como profesional, se dice que ha habido un modelado positivo. Por el contrario, ha habido modelado negativo, cuando el estudiante dice “no quisiera ser como el profesor”.

Es decir la conducta del profesor modela la del alumno, ya no por premios o castigos sino por imitación, por razones subjetivas, es decir donde intervienen afectos y desafectos. Sin embargo, parafraseando a Paulo Freire: la educación configura un mundo y los educandos confirmarán en su vivir el mundo en el que fueron educados. Por ello, un profesor tirano o maltratador de estudiantes podría contribuir a que alguno de ellos se convierta en un profesor maltratador o sarcástico. De la misma manera un profesor competente y gentil.

Tabla 10. El modelo conductista

Principales autores	Iván Pavlov, John Watson, Frederic Skinner
Fines de la educación	Enseñar mediante condicionamientos de conducta, premios y castigos.
La metodología	Generar estímulos, las estrategias de enseñanza que parten de objetivos; los contenidos se transmiten utilizando medios didácticos, pero, en general, es memorística y cuantitativa.
Rol del profesor	Guiar al estudiante hacia la consecución de un objetivo instruccional; también es el poseedor del conocimiento. No admite crítica por parte de los estudiantes.
Rol del estudiante	Receptor pasivo del conocimiento que debe acatar las normas y someterse a los procesos rígidos de evaluación de acuerdo con la mentalidad vigente.
Rol de la institución educativa	Depósito del saber, vigilante del proceso educativo, establece las normas y las hace cumplir tanto por los alumnos como por los docentes.

Fuente: Aubert *et al.*, 2013. Elaborado por el autor

El cognitivismo

Es el modelo pedagógico desarrollado en la década del sesenta como alternativa al conductismo; se centra en el proceso cognitivo del ser humano, que potencia la atención puesta por el estudiante, asimismo, valora su percepción de las cosas, por lo tanto, imbrica la memoria y la inteligencia con la asimilación, hecha en virtud de sus vivencias previas. Uno de los procesos cognitivos más evidentes es el de la lectura.

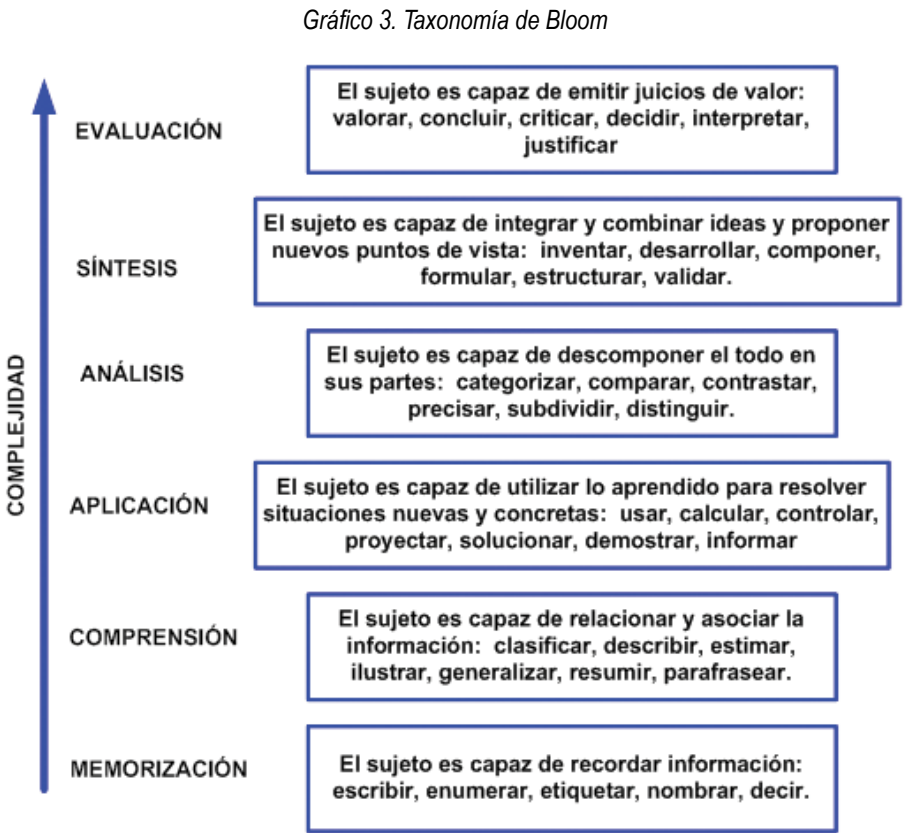
Antiguamente definida como la capacidad de decodificar el mensaje escrito en los símbolos del alfabeto, luego se vio que verbalizar la letra escrita no puede ser todo el proceso de lectura. Hace falta entender el significado de lo que el autor del escrito nos dice y en qué contexto lo hace; en ello participa también nuestra propia psicología y nuestras vivencias, las cuales nos dan las percepciones del entorno y, por lo tanto, a lo que asociamos lo leído (Aubert *et al.*, 2013).

Uno de los representantes más destacados de este modelo pedagógico es el psicólogo suizo Jean Piaget (1896-1980), quien sostuvo que el descubrimiento es el fundamento de lo aprendido. Por este motivo, el cognitivismo propende esta acción como su principal metodología, ya que se requiere de un alto grado de procesamiento de la información para que llegue a convertirse en conocimiento significativo para una persona. Esto es diferente a la visión solamente reactiva del conductismo.

En este modelo pedagógico, el psicólogo estadounidense Jerome Bruner (1915-2016) propone que en los seres humanos el sentido de descubrimiento es natural, pues en los niños ya

se observa esta tendencia a la búsqueda de razones en el mundo que les rodea; es decir es una curiosidad natural, ya que proporciona placer.

Uno de los científicos más destacados en el proceso cognoscitivo del ser humano es el psicólogo estadounidense Benjamin Bloom (1913-1999), quien junto a un equipo investigador de la universidad de Chicago, desarrolló lo que se conoce como Taxonomía de Bloom, que constituye un esfuerzo por clasificar (taxonomía) las etapas del proceso cognitivo, de acuerdo con sus niveles de complejidad. De allí tenemos la siguiente clasificación, dependientes del uso de los verbos -la acción del sujeto, en el principio fue el verbo según la Biblia-:



Fuente: Olivera, 2011. Elaborado por el autor

Los autores de esta clasificación, con Benjamin Bloom a la cabeza, señalaron desde el principio que su trabajo no estaba “escrito en piedra” y que, por lo tanto, sería solamente una referencia en el estudio del desarrollo cognitivo del ser humano. Sin embargo, esta clasificación no tiene en cuenta elementos altamente influyentes en el proceso educativo de una persona como son su imaginación, su creatividad y, aun, su fortaleza (Dettmer, 2006). Evidentemente, los niveles nombrados están en permanente interrelación entre ellos, prácticamente

en un ir y venir de esfuerzos y actitudes por aprender. Se cita el caso de estudio del propio Albert Einstein, en el cual se aprecia que su capacidad imaginativa y de creación fantástica, fueron aún más importantes que su capacidad de adquirir conocimiento, como la clave de sus mayores éxitos científicos.

Tabla 11. El Modelo cognitivista

Principales autores	Jean Piaget, Jerome Bruner, Anton Makarenko, Paulo Freire, David Ausubel, John Dewey, María Montessori
Fines de la educación	Los contenidos y los métodos son medios para desarrollar capacidades y valores. Más que saber contenidos resulta mejor dominar los procesos y herramientas para aprender.
La metodología	Se centra en el desarrollo de estrategias de aprendizaje orientadas a los objetivos cognitivos y afectivos
Rol del profesor	Facilitar el aprendizaje a sus alumnos, se centra en la confección de estrategias didácticas. Su papel deja de ser protagónico en beneficio de la participación cognitiva de los estudiantes.
Rol del estudiante	Es un actor de su propio aprendizaje, no es un receptor pasivo. Sujeto que aprende a aprender. Es modificable en lo cognitivo y afectivo.
La inteligencia	Existe en forma potencial, se puede desarrollar por medio de contenidos y métodos.
Limitaciones	Suele ser individualista

Fuente: Aubert et al., 2013. Elaborado por el autor

Constructivismo

La estructura cognoscitiva es la forma en que cada persona tiene organizado su propio conocimiento, el cual fue construyendo a lo largo de su experiencia como sujeto desde el momento que aprende a hablar. Este modelo pedagógico sostiene que el aprendizaje es la integración de nueva información a la estructura cognoscitiva del sujeto. Dicha estructura cognoscitiva depende también del entorno social en el que crece el individuo.

El entorno puede estimular o desestimar el crecimiento del andamiaje cognoscitivo de una persona (Aubert *et al.*, 2013). Entendiendo como entorno la suma de factores en los que se desenvuelve la persona desde su infancia: el hogar, la escuela, los compañeros de clase, la ciudad, las instituciones públicas, los medios de comunicación, la existencia de clubes y sociedades científicas, etc.

De poco servirá que una persona tenga capacidades intelectuales excelentes si ha crecido en un entorno deficiente. El popular juego de las damas chinas ofrece un buen ejemplo de entorno, no es suficiente ser un buen jugador pues la situación del tablero depende de lo que hagan los demás jugadores permitiendo o denegando oportunidades de juego.

Tabla 12. El Modelo constructivista

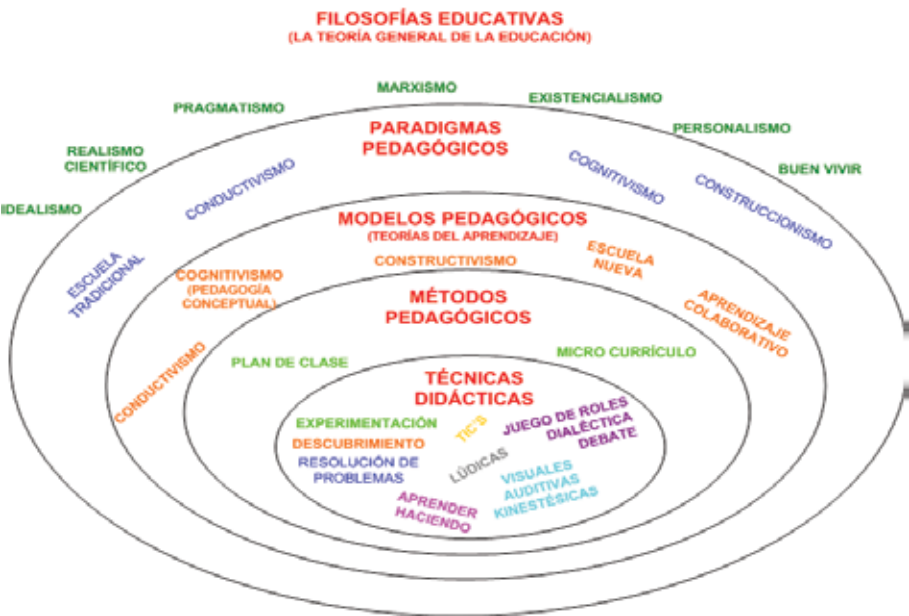
Principales autores	Jean Piaget, David Ausubel, Jerome Bruner.
Fines de la educación	Formar sujetos activos capaces de tomar decisiones y emitir juicios de valor.
La metodología	Participación activa entre profesores y estudiantes. Inter aprendizaje.
Rol del profesor	Quien facilita el acceso a los contenidos propiciando la inserción de los mismos dentro de la estructura de conocimientos que ya poseen los estudiantes, para ayudar a hacer crecer esa estructura y además prepararla para la adquisición de nuevos conocimientos.
Rol del estudiante	Sujetos activos que interactúan en el desarrollo de las actividades de clase para construir, crear, facilitar, criticar y reflexionar sobre todo nuevo contenido o información en proceso de convertirse en conocimiento.
Rol de la institución educativa	Estímulo a las actividades académicas, potenciación de laboratorios, creación de aulas-laboratorio, generación de cursos y seminarios, congresos, casas abiertas.

Fuente: Aubert et al., 2013; Wankat & Oreovicz, 2015. Elaborado por el autor

Filosofías y modelos. Resumen

La siguiente figura esquematiza los diferentes modelos pedagógicos en el marco más amplio de las filosofías educativas:

Gráfico 4. Filosofías, Paradigmas, Modelos y Métodos Pedagógicos

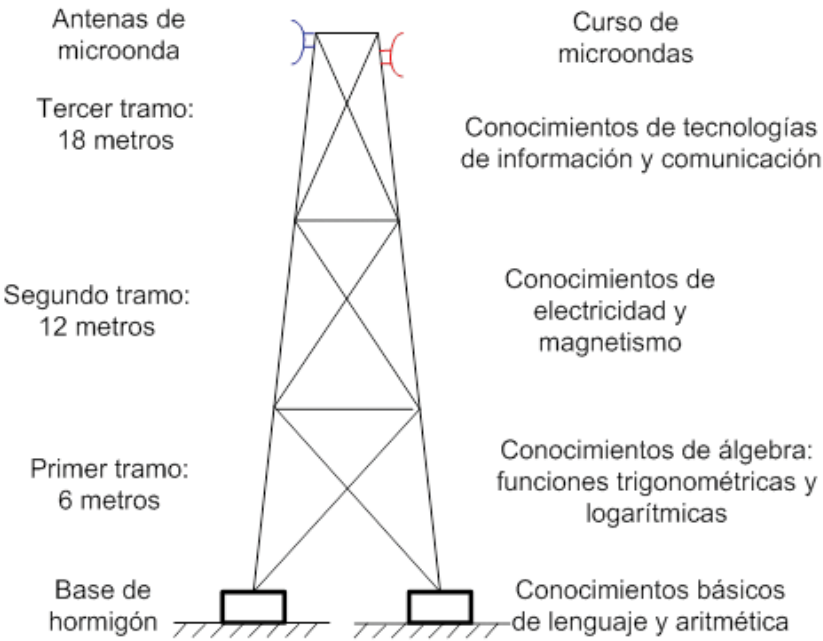


Fuente: (Aubert et al., 2013). (Wankat & Oreovicz, 2015). Elaborado por el autor

Este programa de capacitación en microondas está basado mayoritariamente en el modelo constructivista y cognitivista. Cognitivista porque el instructor se define como un facilitador del acceso de los estudiantes hacia el descubrimiento de un contenido que son las tecnologías de microondas; es constructivista porque implica los conocimientos que ya tienen los participantes, para ayudarles a construir el suyo propio, mediante la reflexión y la práctica, la cual, a partir de las encuestas realizadas, primero refuerza las bases cognitivas pertinentes.

El conocimiento en tecnologías de microondas se construirá como una torre de telecomunicaciones, primero la base de hormigón (los fundamentos); sigue, el primer tramo con gruesos perfiles de hierro; luego, el segundo tramo con perfiles más ligeros y así hasta alcanzar el objetivo:

Gráfico 5. El Conocimiento se va construyendo sobre la base de conocimiento previo



Fuente: Elaborado por el autor

Construir aprendizaje significativo

El aprendizaje memorístico ocurre cuando la persona es capaz de repetir y utilizar mecánicamente un contenido, pero sin llegar a entenderlo. Por el contrario, el aprendizaje significativo de un cierto contenido, se da cuando este ha sido incorporado en la estructura cognitiva del individuo; es decir se inserta en ella, forma parte de ella, ya que ha habido un proceso de asociación con los conocimientos precedentes (Serrano, 2016).

Algo tiene significado cuando es capaz de evocar en nuestra mente una experiencia o un hecho. El aprendizaje significativo de un concepto debe irse construyendo poco a poco; es un proceso de larga duración que tiene muchas ventajas; entre ellas queda en la memoria de largo plazo, lo que significa que cuando un conocimiento ha sido incorporado, su poseedor lo puede usar de forma casi automática, ya sin reparar demasiado en él y menos dependiente del contexto -por lo tanto más abstracto-, para proyectarse sobre la adquisición de un conocimiento nuevo. El aprendizaje significativo también favorece el pensamiento abstracto, el cual es una competencia de la mente que solo usa el entendimiento para, a su vez, construir más significado” (Serrano, 2016, pág. 40).

Un buen profesor muy recursivo, tenderá a crear aprendizaje significativo, utilizando todos los recursos didácticos que están a su alcance de acuerdo con el contenido de su materia. Por su parte, el estudiante, al conocer cómo funciona el mecanismo de aprendizaje significativo, participa activamente en la construcción de su propio conocimiento y se esmera para realizar las actividades a él encomendadas. En el caso de la enseñanza de ciencia y tecnología, los laboratorios son el lugar apropiado para construir significado.

En el caso de las matemáticas, se da un fenómeno interesante: se parte de lo concreto, se atraviesa lo semiconcreto y se llega a lo abstracto; pero una vez abstraído un concepto, este se vuelve el insumo cuasiconcreto para elevar un nuevo ciclo de abstracción. Cada especialidad puede tener sus propias estrategias de aprendizaje significativo. El proceso de enseñanza-aprendizaje significativo (PEAS), en el caso de la teoría electromagnética, necesita de una sólida base matemática, orientada con anterioridad a su campo de acción que son los fenómenos electromagnéticos, los cuales, por su parte, deben ser paralelamente vivenciados por los estudiantes en el laboratorio apropiado.

En sí, solo el aprendizaje significativo, al contrario que el aprendizaje memorístico, posibilita la recursividad y la creatividad, es decir posibilita la construcción de conocimiento nuevo. Esto implica la iniciativa. Las instituciones de educación se nutren de los logros académicos de sus estudiantes, por lo tanto, deben propiciar, respetar y respaldar las iniciativas que por pequeñas que parezcan pueden dar origen a grandes ideas, muy significativas.

1.2.3 Ética del profesional de la docencia, del docente o capacitador

Ética es una disciplina filosófica que trata de explicar qué es la moral, como se fundamenta y cómo se aplican sus principios a los diferentes ámbitos de la vida humana (Ayala, 2010, pág. 23). La moral, por su parte, está constituida por las normas que rigen el comportamiento de los integrantes de una sociedad; establece que es lo permitido y que no lo es, a fin de lograr la convivencia armónica entre sus miembros. Esta, por lo tanto, puede variar de una sociedad a otra y de una era a otra. También existe la moralina, definida como una falsa moral, frívola, superficial y sesgada.

En este amplio marco de carácter filosófico se desarrolla la Eduética o ciencia que estudia las normas morales dentro de la actividad educativa, especialmente, a ser tenidas en cuenta por todo docente.

Para un profesional de la enseñanza, ya sea docente o capacitador, la ética de la profesión establece una serie de principios a ser observados: universales, profesionales, docentes. Nos remitimos, en este punto, al autor Boris Tobar, experto en la materia, tomando literalmente el siguiente apartado: (Tobar, 2016)

1.2.3.1. Principios universales

a. No maleficencia

Respeto a la integridad de los estudiantes

Tiene origen en el la máxima de la medicina *primum non nocere*, que quiere decir “lo primero es no hacer daño”.

No causar daño moral (no calumniar ni difamar)

No causar daño psíquico-emocional. ¡Cuidar las palabras!

No causar daño físico. ¡No cabe la agresión física como método para algo...!

b. Beneficencia

Buscar el aprendizaje del estudiante

Hacer el bien a toda persona que necesite de mis servicios.

Hacer todo lo que esté al alcance del docente para que el estudiante aprenda y se desarrolle como profesional, persona y sujeto social.

Hacer el bien desde la solidaridad, “ser un samaritano mínimo”.

(Si en una situación no está claro si el estudiante gana o no gana el puntaje en juego, el profesor por este principio, automáticamente concede).

c. Autonomía

“Respetar las decisiones del otro”

Que el estudiante se eduque en un clima de libertad y mínimo control externo.

Que en el pensar, sentir y actuar el estudiante actúe desde su conciencia y responsabilidad.

El estudiante debe tomar una decisión informada. (Haz por ellos lo que con ellos te has puesto de acuerdo en hacer).

Una de las negaciones de este principio es el paternalismo autoritario.

d. Justicia

“Dar a cada uno lo que le corresponde” Ulpiano.

Presupuesto: los recursos son limitados y existe hoy una desigual distribución de los mismos.

Cada persona debe tener acceso a los servicios (derechos) necesarios y un nivel de bienestar adecuado garantizado por el Estado.

Propiciar a todo estudiante las mismas condiciones y oportunidades educativas para

las que fuera capaz y los medios para que la educación funcione adecuadamente. (Si el profesor le ayuda con un punto a un estudiante, tiene que darles la misma oportunidad a todos).

1.2.3.2. Del profesional en general

a. Legalidad

“La legalidad es el marco de referencia mínimo para la gestión académica”

El marco legal del Estado y de las normas internas de la institución es la cancha...

No cabe la manipulación de la ley para el engaño a personas, instituciones o al Estado.

Si se considera que X reglamento o ley es injusta, se puede, levantar una crítica a ella e impulsar su reforma, pero mientras tanto se debe ser legal...

b. Idoneidad

“Ser sujeto capaz, perito y prudente”

El profesional es aquel que hace bien su trabajo ¡hacer bien el bien! con calidad académica, con capacidad de gestión didáctica y manejo de la prudencia-justicia en las decisiones.

La decisión prudente-justa debe buscar que el fin sea bueno y sincero, el fin sea bueno y permitido y, por último, que los efectos secundarios sean efectos y no medios.

c. Confidencialidad

La confidencialidad es el derecho a la protección de los datos de los actores del proceso educativo, con el fin de evitar que se revele dicha información a terceros, sin autorización de la persona implicada.

Manejar con cautela la información reservada.

No es privacidad, pues esta hace énfasis en lo jurídico con el fin de proteger-controlar la información personal.

d. Fidelidad a las responsabilidades asumidas

Se refiere a ejecutar con calidad y a tiempo las tareas previamente asumidas o asignadas por la institución.

La responsabilidad es una virtud humana, que se entiende como la habilidad para responder por una tarea frente a sí mismo (ser coherente) o frente a la sociedad (ser profesional).

e. Buena fe

Se refiere a la franqueza y honestidad que deben anteceder a las acciones y decisiones.

El móvil de una acción o del conjunto del proceso educativo se debe realizar con recta intención.

La persona que hace hábito de este principio se constituye como alguien digna de crédito; se acredita por sus acciones.

La buena fe excluye, el engaño...

f. Evitar conflicto de intereses

En la toma de decisiones, el criterio que se debe manejar es el del bien supremo del estudiante y evitar tomar decisiones motivadas por intereses personales, familiares o corporativos, afectivos, que lleven a perjudicar el bien específico de los estudiantes, la institución y del país.

En este sentido, es necesario tomar decisiones marcadas por criterios objetivables, que eviten la discrecionalidad o arbitrariedad.

1.2.3.3 Ética para los docentes

a. Emocionalidad empática

No es simpatía ni antipatía que son expresiones primarias.

Es el vínculo emotivo-razón con el estudiante.

El acto educativo está coloreado por la relación emocional.

La emocionalidad crea atmósfera de confianza, de libertad o de miedo y control.

b. Comunicación didáctica

El docente desarrolla sesiones pedagógico-didácticas para generar procesos de enseñanza-aprendizaje significativos PEAS:

Parte de conocimientos previos del estudiante, genera implicación emocional.

Desarrolla con claridad la tesis, argumentos, principios.

Incluye recursos para el aprendizaje kinestésico.

Realiza síntesis para que los estudiantes generen conclusiones.

c. Autoridad áulica

El docente tiene a cargo un grupo al cual debe dirigir con orden y respeto.

Crear un ambiente apropiado para que se genere el proceso de enseñanza aprendizaje.

No se confunde con el autoritarismo, que es el abuso de autoridad.

Mantiene la tensión entre control y libertad.

d. Integridad

El docente -aunque no quisiéramos- es un referente moral de los estudiantes.

Por eso, está llamado a cultivar una conducta coherente entre lo que se piensa, siente y hace.

Se asocia a la rectitud y honradez, con ser correcto, congruente.

e. Creatividad recursiva

El uso de diversidad de recursos: visuales, audibles, dialecticos, experienciales y experimentales son claves.

El docente no puede ser plano, monocorde en el desarrollo del PEAS.

Es necesario cultivar la capacidad creativa para mantener el ritmo de la clase, para romper con la linealidad.

Incluir el humor en el aula es saludable.

f. Buen juicio

Dar un juicio no solo desde la legalidad formal.

Juzgar no solo desde la situación coyuntural del sujeto.

Juzgar no solo desde la justicia universal.

La sabiduría está en articular las tres dimensiones.

1.3 BASES TEÓRICAS Y PARTICULARIDADES DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Conceptuando a un buen profesor

...Los conceptos fundamentales de la ciencia y la ingeniería cambian lentamente mientras que la tecnología cambia rápidamente. Los métodos para enseñar ingeniería siguen siendo los mismos y siguen las mismas reglas; los conceptos fundamentales son tan verdaderos hoy como hace 25 años... (Wankat & Oreovicz, 2015, pág. ix).

De hecho, la parte introductoria de este trabajo de tesis está fundamentada en libros como “La Evolución de la Física” escrita por Albert Einstein y Leopold Infeld por el año 1938 -por ejemplo la diferencia entre una onda longitudinal y una onda transversal-. También citamos el tratado de Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, publicado en 1876. Esto muestra claramente cómo los conceptos fundamentales de electromagnetismo se mantienen y se mantendrán vigentes; si bien la tecnología permite la manipulación de las ondas electromagnéticas a tal punto en la actualidad de poder enviar fotos y videos mientras nos desplazamos en el auto; lo cual era imposible en 1938 o, peor, en 1876.

Esto respondería también a otra de las interrogantes planteadas en la parte introductoria de este trabajo ¿se puede clasificar el conocimiento entre de largo plazo y de corto plazo?

La respuesta es sí. Conocimiento de largo plazo es aquel que se refiere a los conceptos fundamentales de una disciplina ya sea ciencia o ingeniería, la naturaleza de las ondas electromagnéticas en este caso. Conocimiento de corto plazo se refiere a los conocimientos de las tecnologías en boga en ese momento histórico. Por ejemplo, la telefonía celular que pasó en el lapso de unos 15 años de 2G a 4G; que en el año 2003, podía enviar correo e imágenes muy lentamente a unos 200 kbps; y, ahora, en el 2017, puede llegar a 10 Mbps.

Un ingeniero muy experto en sistemas 2G llamados también GSM (global system mobile) al paso de pocos años, si no ha tenido la oportunidad de mantenerse vigente, tendría que reaprender la tecnología de la telefonía celular 4G, aunque el conocimiento fundamental siga siendo el mismo: las ondas de radio.

Por estos motivos, al diseñar un curso sobre radiocomunicaciones, deberemos separar los contenidos entre fundamentales y tecnológicos. Es decir, una base en lo fundamental más un desarrollo en competencias para lograr una capacitación completa al personal técnico.

Otra cuestión importante es aquella que pregunta si un buen ingeniero es también un buen profesor:

¿Si soy un buen investigador, automáticamente seré un buen profesor? (...). El Instituto de Ingeniería de Australia recomienda a las escuelas de ingenieros desarrollar políticas para asegurar que su staff tome cursos formales de enseñanza aprendizaje...”(Wankat & Oreovicz, 2015, pág. 6).

Una práctica común en las universidades de todo el mundo ha sido la creación del cargo de “ayudante de cátedra”, por el cual un estudiante interesado en llegar a ser profesor puede aprender la profesión mediante la técnica *on the job training*, entendido como *aprender sobre la marcha*. Recordemos, sin embargo, que este texto está pensado para proveer conocimientos básicos justamente al personal de las telecomunicaciones que aprende en la práctica misma; es decir, no tuvieron la oportunidad de asistir a clases formales en una Universidad; además, dedujeron que el *on the job training* no era suficiente para ellos. Al aprender de este modo, el ayudante de cátedra estará expuesto a repetir los mismos errores que su mentor; por ejemplo, sobre la enseñanza, muchas cosas serán un misterio; lo que perjudica el proceso enseñanza-aprendizaje, en especial, con un fin significativo.

En la actualidad, los jóvenes que estudian electrónica, aprenden a programar un pequeño módulo llamado *Arduino*, el cual les permite crear secuencias de movimientos en un pequeño vehículo, dotado de procesador “ATmega” y de sensores ultrasónicos y controlados por *bluetooth*. En 1993, los estudiantes utilizaban un procesador que debía leer las instrucciones de una UVRAM (Ultraviolet Random Access Memory), para lo cual era necesario tener el programador / borrador de tales memorias. Esto es un ejemplo de que el conocimiento sobre contenido tecnológico suele caducar, aunque el fin -mover el vehículo- siga siendo el mismo.

Otra cuestión, es la preocupación humana. Hace pocos años, un joven talentoso, experto programador y capacitador de “ATmega” sorprendió afirmando que los egresados de su universidad eran buenos profesionales porque, cuando estudiantes, sufrieron malos tratos y recriminaciones por parte de algunos docentes, ayudantes de laboratorio, etc. Una cuestión muy extraña. Seguramente, un sicólogo podría encontrar el nombre del síndrome por el cual el maltratado agradece a su maltratador.

Si los profesionales egresados de un centro de educación superior son buenos profesionales es gracias a su talento excepcional y si no hubieran sido maltratados, posiblemente tendrían un desempeño profesional superior.

“Malditos estudios superiores, que me convirtieron en un ser inferior” decía un grafiti al interior de un prestigioso centro de educación. Posiblemente se daban casos de maltrato psicológico. Y es grave, puesto que el maltrato de este tipo hace mella años después y baja la autoestima del profesional y genera un rencor difícil de olvidar hacia el docente que abusó de su poder y de la situación de vulnerabilidad en que se encontraba el estudiante. Además, el maltrato psicológico a los estudiantes, a la larga afecta el desempeño del centro de estudios que lo permite (mal entendido espíritu de cuerpo), pues se crea un ambiente poco apto para la creatividad y la heurística tan necesarias para la verdadera innovación tecnológica.

En definitiva de un mal ambiente no pueden emerger ideas nuevas. Rigurosidad académica sí, mucha. Rigurosidad científica, ¡por supuesto! Si la ciencia misma tiende a ser objetiva. Pero en un ambiente respetuoso y cordial entre maestros y estudiantes.

Estas reflexiones van más allá.

De acuerdo con el código de ética para ingenieros de Estados Unidos:

Un ingeniero prestará servicios solamente en las áreas de su competencia. Enseñar cuando no es de su competencia puede entonces considerarse antiético (...). Ya que la enseñanza es un servicio profesional, enseñar cuando uno no es competente, posiblemente es antiético... (Wankat & Oreovicz, 2015, pág. 7).

Deberes para con la propia profesión: se habla de la competencia profesional y su correlativa responsabilidad. Se trata de definir en términos generales qué es un buen profesional, delimitar el ámbito de actuación de la profesión, estableciendo las condiciones de acceso a la misma y descalificando el intrusismo (Galo Bilbao *et al.*, 2006, pág. 283).

Y aún más allá.

¿Si soy un buen investigador y tengo un grado de Doctor PhD (Philosophical Doctor en universidades americanas, Doctor simplemente en universidades europeas) automáticamente soy un buen profesor?

La respuesta es no. Automáticamente nadie puede destacarse en una actividad para la cual no se ha preparado y en la cual aún no tiene la competencia.

Y qué decir del intríngulis laboral. Profesores que por poseer un título más alto, ¿menosprecian a sus colegas? ¿Aunque éstos tengan una trayectoria de treinta años en la docencia? Ideas prejuiciadas que no le hacen bien a la institución ni al ánimo de colaboración que debe regir en un centro de enseñanza superior. Toda actitud egoísta debe ser desterrada de un centro de educación superior. Recordemos que la universidad es la casa de las ideas, del libre pensamiento, de la creatividad (Tunnerman, 2011). . La relación fundamental entre seres humanos es la colaboración y no la competencia (Maturana & Varela, 2003).

Las sociedades y las instituciones cambian con el pasar de los años. Es necesario hacer ajustes. Los docentes y estudiantes de ingeniería y ciencias, ahora pueden potenciarse

conociendo la moderna sicología educativa y teorías del aprendizaje, el proceso cognitivo del ser humano, a fin de lograr eficacia y eficiencia hacia el aprendizaje significativo único que posibilita la creatividad.

Entonces, ¿a quién se considera “buen profesor”? Tomando literalmente la clasificación presentada en la obra “Teaching Engineering” (Wankat & Oreovicz, 2015, pág. 8), la cual señala dos dimensiones intelectual e interpersonal:

La dimensión intelectual se considera la más importante. El buen profesor debe ser ante todo intelectualmente muy despierto. Debe dar claridad y organización a sus presentaciones las cuales a su vez deben ser actualizadas. Presentaciones aburridas pueden opacar el contenido más emocionante. Profesores de gran desempeño necesitan mostrar energía, entusiasmo, amor por el material presentado, usar lenguaje y pronunciación claros y comprometer a los estudiantes a involucrarse con el material del curso. Luego viene la dimensión del entendimiento interpersonal (*rapport*) que es desarrollada por profesores que muestran interés por sus estudiantes como individuos, conocen de ellos algo más que sus nombres y siempre los animan a tener pensamiento independiente aunque no coincida con el suyo propio. Tienen tiempo para atender sus consultas dentro y fuera de clase. Estas dos dimensiones interactúan para crear un cuadro comparativo donde se puede observar cuándo alguien puede ser considerado buen profesor:

Tabla 13. Dimensión desempeño intelectual

	Dimensión 1: Desempeño intelectual
Alto	Extremadamente claro y emocionante
Medio	Claro e interesante
Bajo	Difuso y aburrido
Muy bajo	-----

Fuente: Wankat & Oreovicz, 2015, pág. 8

Tabla 14. Dimensión entendimiento interpersonal

	Dimensión 2: Entendimiento interpersonal
Alto	Acogedor, abierto, predecible, orientado al estudiante
Medio	Relativamente acogedor, alcanzable, democrático, predecible
Bajo	Frío, distante, controlador, impredecible
Muy bajo	Atacante, sarcástico, desdenoso, controlador e impredecible

Fuente: Wankat & Oreovicz, 2015, pág.8

Muy interesante cuadro. Como ejercicio mental podemos pensar en nuestros propios maestros.

Insistimos, tener un mayor grado académico no necesariamente implica ser buen profesor. Esto es una idea sin fundamento científico. Cualquier profesional (PhD, magíster, ingeniero,

licenciado, médico, etc.), que domine un área específica de conocimiento puede llegar a ser un buen maestro, siempre y cuando se haya capacitado para ello; haya tenido la suerte de contar con magníficos maestros modeladores o bien goce de este don en forma innata. Saber llegar a los estudiantes, sembrar en ellos el amor a las matemáticas, a la física, a una ciencia en particular, en nada disminuye la rigurosidad académica.

Actualmente, existe una disposición en la Ley de Educación Superior, que indica que profesor universitario puede ser alguien que tenga al menos grado de Magíster, pero con la limitante de que la maestría tiene que ser “afín” a la disciplina en la cual se ejercerá la docencia (Gobierno del Ecuador, 2010, LOES, pág. 24). ¿Por qué ser experto en un área específica de conocimiento parece implicar que sabrá llegar a los estudiantes y sabrá enseñarles no solo con carácter informativo sino formativo y transformativo? Esta “afinidad” habría que revisar y complementarla con “experiencia profesional” y “preparación pedagógica adecuada”, por el bien de los estudiantes, además, por los logros científicos y académicos que toda institución de enseñanza superior anhela -subir *ranking* por ejemplo-.

Entre las principales técnicas didácticas aplicadas a la enseñanza de las disciplinas ingenieriles y científicas tenemos las siguientes:

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Es una técnica clásica que sirve para asegurar el correcto entendimiento de los contenidos. Se pueden crear varios niveles de problemas a resolver: de rutina, de estrategia, de creatividad.

CONFERENCIAS

En este grupo están también las clases magistrales. Ha sido la forma más común de enseñar ingeniería, pero las modernas técnicas pedagógicas dicen que esta técnica debe ser minoritariamente usada para las clases de ciencias e ingeniería, pues promueven la actitud pasiva de los estudiantes de modo que se llega a un modelo conductista que no favorece la creatividad.

APRENDIZAJE ACTIVO

El estudiante debe ser instruido para hacer algo referente a la clase; no sentarse en forma pasiva a escuchar una charla. Por ejemplo subrayar, manipular objetos didácticos, graficar, resumir, explicar, discutir. Cooperar en grupos de discusión.

APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

Usar casos y problemas reales para someterlos al escrutinio dirigido de los estudiantes. Generalmente se los realiza como actividades grupales.

ENSEÑANZA CON TECNOLOGÍA

Las calculadoras de bolsillo hace tiempo que son una herramienta básica de todo estudiante de ingeniería. También, aunque con menos impacto, lo son las computadoras y el software asociado a los cálculos matemáticos y a programas de simulación.

Se incluye la televisión, videos y cursos online. Útiles como refuerzos, el material debe ser bien seleccionado por el profesor. Es muy importante usar elementos de calidad que provean de buen audio y buena claridad de video.

DISEÑO Y LABORATORIO

Si le quitamos los laboratorios y el diseño a la carrera de ingeniería, bien podríamos cambiar el título profesional por el de matemáticas aplicadas. Y no es que haya algo de malo en un título de matemáticas aplicadas, pero no es lo que el estudiante y las compañías andaban buscando (Wankat & Oreovicz, 2015, pág. 213).

Por este motivo es que las carreras de ingeniería no pueden ser enseñadas plenamente en cursos a distancia por Internet. Necesitan de los laboratorios para poner en práctica los conceptos vistos en la teoría. Así como el ser humano es una compleja interrelación entre lo emocional y lo racional, entonces, también, la ingeniería es una interrelación entre la teoría y la práctica.

Y es que las actividades en un laboratorio pueden incluir todas las técnicas didácticas anteriormente vistas: resolución de problemas, conferencia, trabajo en grupo, proyectos, etc. El laboratorio es por excelencia el lugar donde se realizan los vínculos entre la teoría y la práctica. El estudiante aprende a tener cuidado con los instrumentos que usa, aprende a observar normas de seguridad, a trabajar en equipo, a estar en contacto con la realidad, en un ambiente controlado y dirigido por el profesor de laboratorio. El laboratorio es el lugar donde lo abstracto se torna concreto y donde el estudiante adquiere habilidades experimentales (Wankat & Oreovicz, 2015, pág. 231).

Las clases de laboratorio además desarrollan ciertas habilidades en el estudiante que con solo las clases teóricas no podría aprender. Por ejemplo, adquiere destrezas sicomotoras, coordinación ojo-mano.

Analicemos estos casos, si en un laboratorio puede suceder que el equipo de pruebas no funcione y el estudiante tenga que darse modos para tratar de cumplir. O puede ser que los insumos necesarios se hayan agotado; o los resistores o los transistores. O pueden ocurrir situaciones reales que el mejor de los simuladores no prevén, por ejemplo, al diseñar un circuito electrónico en una baquelita real pueden darse capacitancias parásitas que en el simulador no suceden; o un interruptor real puede sufrir de micro rebotes de contacto que se controlan por medio de colocar un capacitor en paralelo.

Otras habilidades que se desarrollan en un ambiente de laboratorios están: trabajo en equipo, relaciones interpersonales, necesidad de acudir a nuevas fuentes, nexos con otros profesores y estudiantes, contacto con el mundo real para distinguir entre lo teórico y lo práctico, capacidad de improvisación positiva y autogestión, reglas de seguridad tanto de los bienes como de las personas.

Es importante que la institución mantenga laboratorios en buenas condiciones, bien equipados y bien mantenidos. Pero, eso demanda costos y hace necesario compartir los instrumentos por grupos de estudiantes.

Antes de ir al laboratorio, es importante que los estudiantes hayan realizado una preparación previa de acuerdo al tipo y los objetivos de la práctica. Algunas prácticas pueden ser de las más sencillas 100 % guiadas, como seguir una receta de cocina (Wankat & Oreovicz, 2015); pero, también hay prácticas que demandan habilidades heurísticas que implican diseño e invención.

Naturalmente, una clase de laboratorio debe ir en consonancia con las clases teóricas. Si solo se queda en lo teórico, se queda en el mundo de las ideas, con lo cual el filósofo Platón estaría muy de acuerdo. Mas, el mundo real es pragmático y las disciplinas ingenieriles combinan lo teórico con lo práctico; sus profesionales deben ser capaces de construir cosas que funcionen.

Como ejemplo, si es el caso estudiar circuitos eléctricos, construir muchas bobinas, conectarlas con capacitores y crear circuitos LC (inductor, capacitor). Solo “aprenderse” las fórmulas de un cierto libro de texto, no es objetivamente suficiente. La ciencia no puede ser reducida a recetario.

1.3.1 Enseñanza de la Teoría Electromagnética

Existe una materia en toda carrera de ingeniería eléctrica o electrónica que lleva el nombre de *Teoría Electromagnética* y que debe ser el espacio donde se aprenden los conceptos fundamentales de los campos eléctrico y magnético.

Empezando por el nombre de esta disciplina, la neurolingüística señala que existe una especie de auto limitación al suponer, desde el nombre, que no debe haber un laboratorio para esta. Como su nombre al parecer lo estaría indicando, es solo teoría. Creemos que se trata de un error, debería haber laboratorio paralelo o incluso previo. Aunque suene contradictorio debe haber un laboratorio de teoría electromagnética, donde se pueda tocar el campo eléctrico, sentir el flujo eléctrico gaussiano y palpar las líneas de campo magnético de Ampere. De allí, en clase, aplicar las integrales de superficie y las ecuaciones diferenciales de segundo orden que los relacionan. De lo contrario, el maravilloso mundo de la electricidad y el magnetismo seguirá sin ser bien comprendido por generaciones de estudiantes.

En el ejercicio profesional existe la oportunidad de hacer amistad con ingenieros de otras latitudes. Por citar un caso, el de un ingeniero italiano con quien se instaló un proyecto de radio enlaces en el Caribe, que narró a los amigos cómo, durante su periodo estudiantil diseñó y construyó un transmisor de FM, cuya antena fue instalada en el campanario de la iglesia de su pueblo natal, a cambio de pasar las misas dominicales. Su tesis de grado consistió en la construcción de una antena de lóbulo orientable, construida con una matriz de diodos. Esto da una idea acerca de cómo para esta persona la teoría electromagnética era algo práctico y bien comprendido... al contrario que para quienes lo escuchaban, profesionales latinoamericanos que no llegaron a entender bien de que se trata la materia. Esto empezó seguramente cuando el profesor de matemáticas avanzadas, un “matemático puro” sin formación como profesional de la docencia y sin visión curricular, mostró como algo puramente abstracto, sin aplicación práctica en la carrera de ingeniería eléctrica, el cálculo infinitesimal necesario -con sus integrales triples, operador nabla, divergencia y rotacional- enseñando con un divorcio tal de la

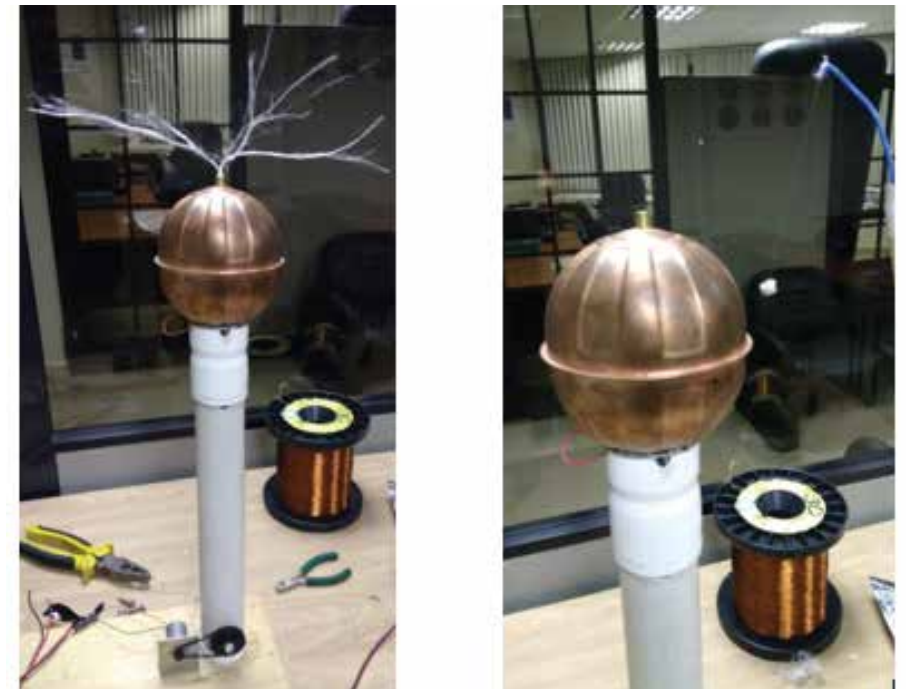
práctica que al llegar a dicha asignatura de teoría electromagnética, no se entendió cómo lo uno se entrelaza con lo otro. Hubo que abandonar toda esperanza de aprender, aceptando inconscientemente que este conocimiento fuera propio solo de universidades y estudiantes de otros países más adelantados.

Una típica pregunta del examen, escribir las diez ecuaciones de Maxwell, así, de memoria, sin entenderlas, ni haber experimentado nunca un campo eléctrico estático, sin haber construido un solenoide, sin haber calculado y medido un flujo magnético. Por lo menos haber enrollado alambre en torno a una brújula y ver cómo se desvía la aguja cuando se conecte una pila al alambre.

Como recomendación para las instituciones aludidas: revisar el currículo, crear la base matemática bien orientada y las prácticas de laboratorio, de lo contrario esta área del conocimiento seguirá siendo una laguna mental para los egresados. Se debe terminar con la mediocridad de la enseñanza superior de modelo conductista, memorística, pasiva, orientada a las notas, no al placer de entender algo.

Nuevamente salta a la palestra el constructivismo educativo. Si el cálculo diferencial e integral no fue bien comprendido, si no fue captada la utilidad práctica de esta hermosa herramienta matemática, el electromagnetismo tampoco podrá ser entendido a profundidad.

Gráfico 6. Generador de campo electrostático construido para el programa de capacitación en microondas. Los hilos de nylon se separan (izq.); La bolita metálica es atraída (der.)



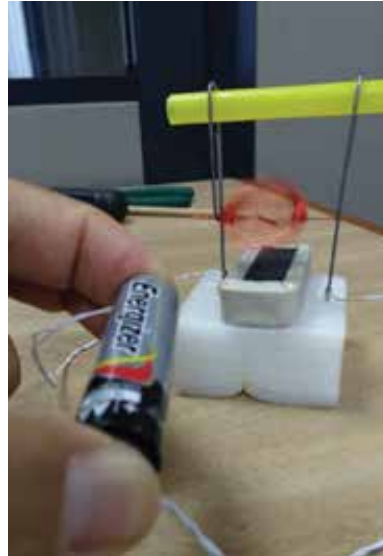
Fuente: el autor

Gráfico 7. Solenoide construido para el programa de capacitación en microondas. La Aguja de la brújula se desvía del norte



Fuente: el autor

Gráfico 8. Motor eléctrico básico construido para el programa de capacitación en microondas



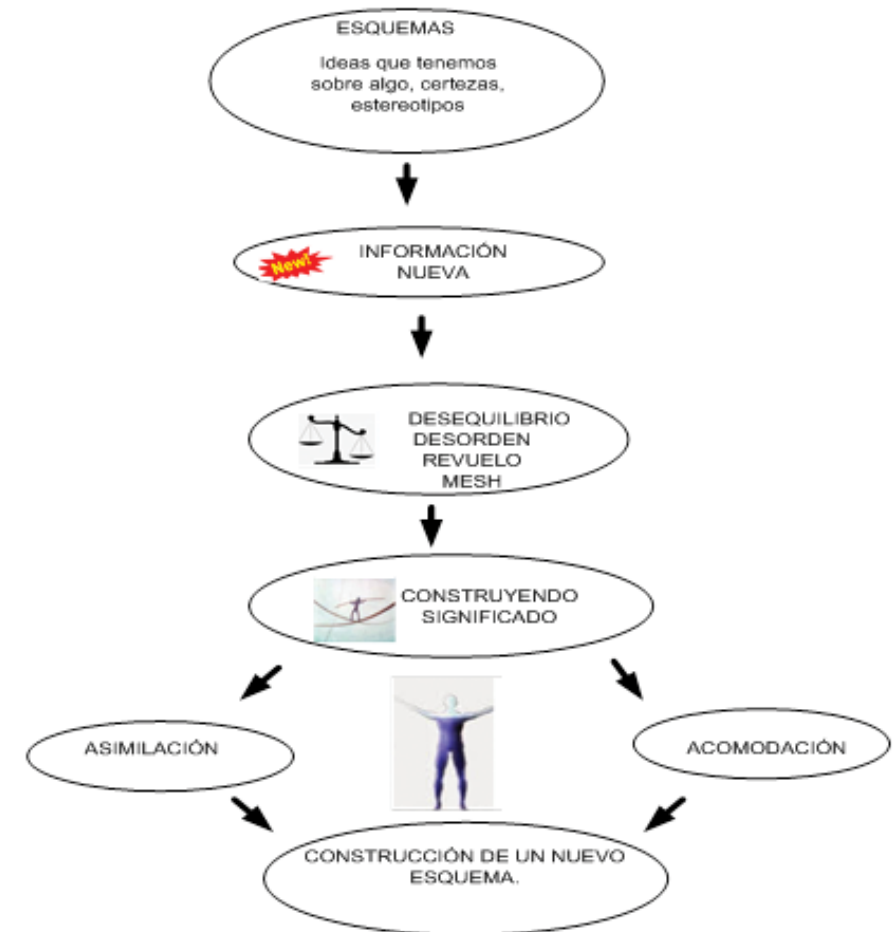
Fuente: el autor

1.3.2 El Ciclo del Aprendizaje Científico

Es de suma utilidad revisar este ciclo, el cual ha sido desarrollado, basándose en la teoría del constructivismo de Jean Piaget; este se utiliza como un buen método para la enseñanza de las disciplinas ingenieriles y científicas, entre ellas la teoría electromagnética (Wankat & Oreovicz, 2015).

Como sabemos el constructivismo indica que ningún estudiante es una hoja en blanco en la que llega el profesor a escribir. Al contrario, este ya sabe ciertas cuestiones extraídas de sus vivencias y estudios anteriores. Además, en la hoja, que no está en blanco, escribirá él mismo; no el profesor. Ya que, el constructivismo implica mover esquemas para construir significado (Lehmann, 2015).

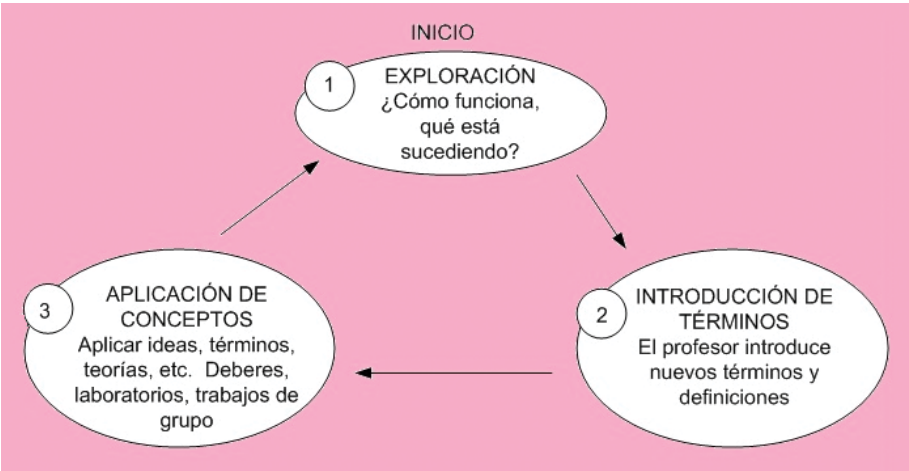
Gráfico 8. Desequilibrio Cognitivo



Fuente: Lehmann, 2015. Adaptado por el autor

Basándose en el desequilibrio cognitivo que propone el modelo pedagógico del constructivismo, se ha diseñado un ciclo de aprendizaje de la ciencia:

Gráfico 10. Ciclo del Aprendizaje Científico



Fuente: Wankat & Oreovicz, 2015, pág. 361. Adaptación del autor

Si se fabrica un solenoide enrollando cien vueltas de alambre de bobina # 24 en un tubo de PVC de 2 pulgadas. Se conecta una pila a los extremos del alambre y se acerca una brújula al solenoide. ¿Qué sucede? El solenoide ha desviado la aguja de la brújula. El profesor introduce el concepto acerca de que toda corriente eléctrica produce un campo magnético y explica que campo magnético es la zona próxima a un imán donde los objetos metálicos experimentan una fuerza. Los estudiantes son requeridos de explicar los términos aprendidos y nombrar otros casos donde se haya experimentado una fuerza magnética. Incluso, alguien muy despierto propone acercar limallas de hierro para poder ver las formas como el campo magnético es generado. Finalmente, el hecho natural queda impreso dentro de los esquemas de conocimiento de los estudiantes.

1.3.3 Particularidades de la enseñanza de la comunicación por microondas en el programa de capacitación en comunicación por microondas

En coherencia con lo expresado en el apartado precedente, al ser el contenido parte de una disciplina de carácter científico y tecnológico (ingenieril), el programa de capacitación en microondas para empleados y trabajadores, deberá contemplar todas las directivas anteriormente nombradas siguiendo los métodos pedagógicos mencionados.

El curso deberá ser teórico-práctico. La parte teórica son los conceptos fundamentales sobre los que deberemos averiguar en qué estatus se hallan los trabajadores a través de encuestas de conocimientos. Entre los conceptos fundamentales están los conceptos básicos de aritmética, álgebra y trigonometría. Entre los fundamentos de física están los sistemas de unidades, la conversión entre sistemas, la electricidad y el magnetismo, los circuitos eléctricos.

Vamos a diseñar una serie de maquetas de bajo costo y con materiales fáciles de adquirir

para reforzar las explicaciones teóricas: campo eléctrico y magnético, antenas parabólicas, elipsoides y patrones de radiación. La descripción y uso de este material se verá en el desarrollo de la propuesta.

También se realizarán demostraciones con instrumentos de medición como son el generador de barrido de radio frecuencia, el analizador de espectros, el osciloscopio. Se realizarán algunas prácticas por parte de los estudiantes, por ejemplo la obtención de la respuesta de frecuencia de un filtro de RF (radio frecuencia).

1.3.4 Instituciones para la enseñanza de comunicación por microondas en el Ecuador

La comunicación por microondas y la teoría electromagnética generalmente son parte de la carrera de ingeniería en electrónica y telecomunicaciones. Por lo tanto para realizar estos estudios a nivel superior se cuenta a nivel nacional con las siguientes instituciones:

Escuela Politécnica Nacional	Ingeniería electrónica y de telecomunicaciones
Universidad Católica Santiago de Guayaquil	Ingeniería de telecomunicaciones
Universidad Técnica Particular de Loja	Electrónica y telecomunicaciones
Universidad Nacional de Chimborazo	Ingeniería electrónica y de telecomunicaciones
Escuela Politécnica del Chimborazo	Ingeniería electrónica en telecomunicaciones y redes
Universidad Estatal Península de Santa Elena	Electrónica y telecomunicaciones
Universidad Técnica Estatal de Quevedo	Ingeniería telemática
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	Ingeniería electrónica y de telecomunicaciones
Universidad Israel	Ingeniería en electrónica digital y telecomunicaciones
Universidad de Cuenca	Ingeniería electrónica y de telecomunicaciones
Universidad del Azuay	Ingeniería electrónica
Escuela Politécnica del Litoral	Ingeniería en telecomunicaciones
Universidad Técnica de Ambato	

Se recomienda revisar las mallas curriculares de estas instituciones en los correspondientes sitios Web. Podremos observar la presencia generalizada de las asignaturas Teoría Electromagnética y Comunicación por Microondas.

1.4. MARCO REGULATORIO DE LAS TELECOMUNICACIONES

1.4.1 Instituciones regulatorias nacionales

En primer lugar tenemos la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, publicada en el registro oficial el 18 de febrero de 2015 (Asamblea Nacional, 2015). En ella consta en general el marco

jurídico ecuatoriano para la administración, control y regulación de los servicios de telecomunicaciones inventados o por inventarse, estableciendo los deberes y derechos tanto para prestadores como para usuarios de los servicios.

La ley de telecomunicaciones, define lo que es el espectro electromagnético:

Espectro radioeléctrico. Conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, entre otros. Su utilización responderá a los principios y disposiciones constitucionales. (Asamblea Nacional, 2015, pág.4).

El espectro radioeléctrico constituye un bien del dominio público y un recurso limitado del Estado, inalienable, imprescriptible e inembargable. Su uso y explotación requiere el otorgamiento previo de un título habilitante emitido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, de conformidad con lo establecido en la presente Ley, su Reglamento General y regulaciones que emita la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (Asamblea Nacional, 2015, pág.8).

Por lo tanto, en el Ecuador la institución que norma las actividades técnicas de las telecomunicaciones es la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

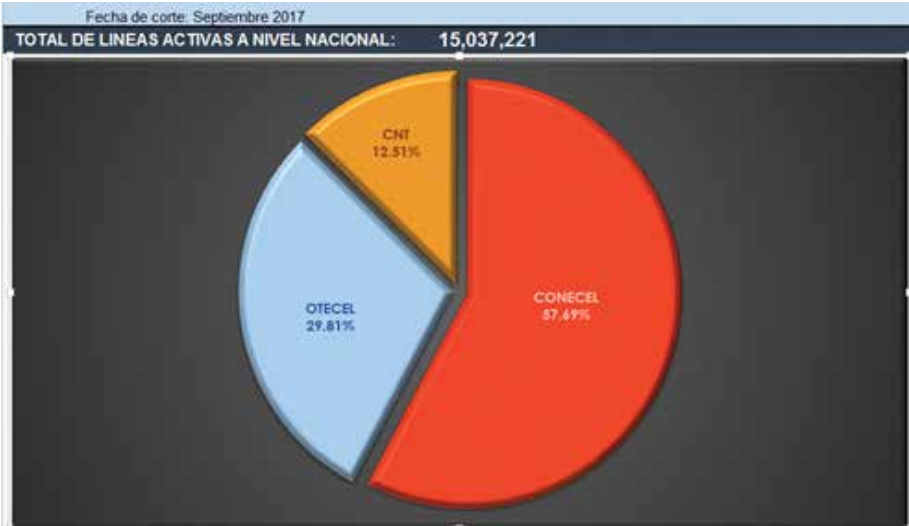
La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) está adscrita al Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. Es la entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes. (Arcotel, 2017).

El control y autorización para uso del espectro electromagnético es de vital importancia debido a que, técnicamente, este es un recurso natural de ocupación limitada en una misma área geográfica; no se agota en el sentido de terminarse para siempre -como por ejemplo los recursos naturales no renovables como el petróleo-; lo hace en el sentido de uso exclusivo, dado que en una misma ubicación geográfica no pueden haber dos o más emisiones, usando la misma frecuencia; porque se produce *interferencia*, con lo cual no funciona bien ni la una ni la otra.

Por ello, la ARCOTEL concede el uso de frecuencias a los diversos operadores dependiendo del servicio de telecomunicaciones, que quieran brindar y la zona del país que quieran cubrir. También, la ARCOTEL desempeña un papel de control de calidad de los servicios ofrecidos, estableciendo fuertes multas cuando los operadores incumplen los contratos de concesión, de cobertura y los objetivos de disponibilidad; este es el porcentaje que se mantienen totalmente operativos durante el año.

Veamos algunas estadísticas que pueden encontrarse en la página Web de la institución (<http://www.arcotel.gob.ec>), para darnos -a través de ellas- una idea clara de la función que desempeña:

Gráfico 11. Estadísticas de Líneas Celulares en el Ecuador



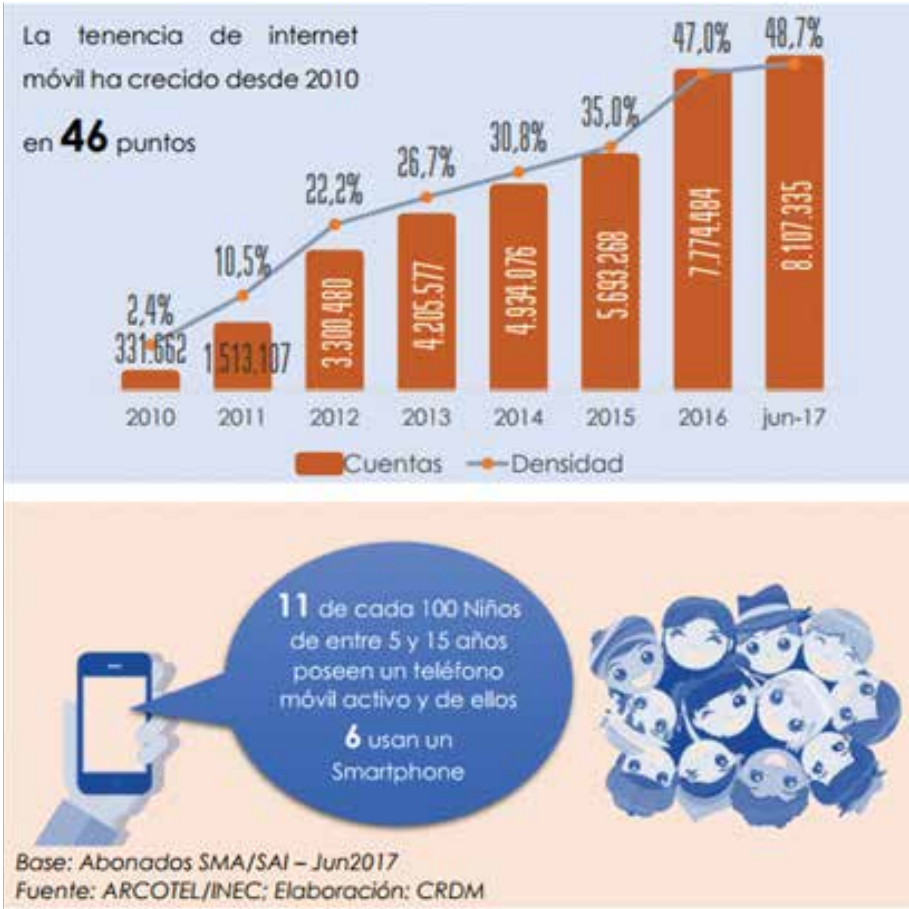
Fuente: Arcotel, 2017

Gráfico 12. Participación en el Mercado de Internet Fija Nacional



Fuente: Arcotel, 2017

Gráfico 13. Estadística de Internet Móvil a Nivel Nacional



Fuente: Arcotel, 2017

1.4.2 Instituciones regulatorias internacionales

El Ecuador ha suscrito convenios con diversas organizaciones internacionales que regulan los servicios de telecomunicaciones, particularmente, el uso del espectro radioeléctrico. Entre ellas tenemos:

-UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones. Ginebra 1992. Anteriormente llamada CCITT Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico.

La UIT emite una serie de “recomendaciones” a fin de regular los servicios de telecomunicaciones a nivel mundial. Sus directivas aparentemente no son más que recomendaciones, pero en la práctica todos los países y todos los fabricantes las observan fielmente a fin de evitar conflictos de interconectividad de redes.

Las normas de la UIT se dividen en UIT-T para las telecomunicaciones en general y UIT-R para la regulación del espectro de radio.

Como ejemplo, veamos algunas normas de la serie “G”:

G.703: regula la forma de los impulsos eléctricos a fin de asegurar la compatibilidad a nivel eléctrico de las señales de comunicación; esto es impedancia, amplitud, frecuencia.

G.821: establece las normas para el control de los objetivos de calidad en un enlace digital; tasa de errores de bit, segundos indisponibles, segundos errados, segundos severamente errados y minutos degradados.

G.811: establece las normas de estabilidad y deriva de frecuencia para relojes de referencia primarios, basados generalmente en la oscilación del átomo de cesio.

Por su parte las normas de la serie F, regulan el espectro de microondas:

UIT-R. F384-6: Portadoras, espaciamiento y guardas en las que se subdivide la banda de 6GHz para su uso en enlaces de microonda.

Gráfico 14. Banda de 6 GHz

AB [MHz]: 29,65		SHIFTER [MHz]: 252,04	
No. Canal	Frecuencias Tx (MHz)	Frecuencias Rx (MHz)	
1	5 945,2	6 197,24	
2	5 974,85	6 226,89	
3	6 004,5	6 256,54	
4	6 034,15	6 286,19	
5	6 063,8	6 315,84	
6	6 093,45	6 345,49	
7	6 123,1	6 375,14	
8	6 152,75	6 404,79	

Fuente: Arcotel, 2017. Adaptación del autor

Hay que tener en cuenta que la industria de las telecomunicaciones es muy dinámica y, muchas veces, las empresas fabricantes de equipos desarrollan normas propias que con el tiempo, debido a su utilidad probada y a su aceptación en el mercado, la UIT las recoge y les da estatuto formal.

- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES POR SATÉLITE (2002)
 - PRINCIPIO DE RECIPROCIDAD EN SISTEMAS SATELITALES ANDINOS
 - ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE TELECOMUNICACIONES ANDINAS (ASETA)
 - CONVENIO INTERAMERICANO DE RADIOCOMUNICACIONES
- Y otras más antiguas o de menor interés.

1.5. MARCO METODOLÓGICO PREVIO AL DISEÑO DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN DE RADIOCOMUNICACIONES, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

1.5.1 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Técnicas cualitativas y cuantitativas han sido empleadas en el diseño de esta propuesta de capacitación. Si bien el objetivo de un programa de capacitación en microondas y de radiocomunicaciones, en general, está bien definido, es muy importante saber cómo están los conocimientos básicos de los participantes.

Entre las técnicas cualitativas que hemos utilizado está la encuesta de interés para conocer la predisposición de los trabajadores a capacitarse y algunas charlas personales informales para conocer un poco a las personas a quienes dirigimos la capacitación.

En la parte cuantitativa, se ha recurrido a dos herramientas principales: las encuestas y los cursos piloto. Las primeras están concebidas para conocer si el participante sabe o domina las herramientas elementales necesarias. Por ejemplo, para explicar lo que significa un decibelio (que es la unidad de medida más común en radiocomunicaciones), antes hay que saber lo que es el logaritmo de un número.

Una vez que se han realizado las encuestas a un grupo de trabajadores, se procede a diseñar los cursos básicos en una primera aproximación. Durante el desarrollo de los cursos piloto, surgen muchas inquietudes y dudas por parte de los asistentes de lo cual se ha tomado nota, para incluir esos temas en un siguiente curso piloto. Como una interacción entre las encuestas y los cursos piloto, recogiendo experiencias, se llega a la elaboración de una versión final, tanto de los cursos básicos como del curso central.

Es una investigación proyectiva por cuanto, partiendo de un diagnóstico, se elabora una propuesta para el programa de capacitación en microondas a los empleados y trabajadores. Esta propuesta tiene en cuenta las particularidades del contenido a impartir relacionado con los conceptos fundamentales de la ciencia del electromagnetismo y con sus aplicaciones tecnológicas como medio de transporte de información.

El resultado es un programa amigable que cuenta con maquetas y material impreso para estudio y consulta de los trabajadores y empleados. Este programa también puede ser usado para ingenieros en fase de profesionalización, ya que, si bien sus conocimientos posiblemente superen los contenidos de este programa, sí es útil para afianzarlos en el sentido de hallar aplicaciones reales y descubrir puntos de vista prácticos extraídos de la experiencia en campo.

1.5.2 UNIDAD DE ESTUDIO (POBLACIÓN / MUESTRA, ESCENARIOS/SUJETO, INFORMANTE CLAVE)

La población donde se han realizado las encuestas y los cursos piloto, son los trabajadores, empleados y proveedores de la empresa SIAE, los cuales al momento suman veinte personas. En este caso, la población es igual a la muestra.

1.5.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En la parte cualitativa se realizaron charlas informales con algunos trabajadores para conocer un poco de sus vivencias y de la forma como llegaron al área laboral de las telecomunicaciones. Posteriormente, se realizó también una encuesta a fin de determinar el grado de interés que los trabajadores tendrían en recibir esta capacitación.

En la parte cuantitativa, se realizaron dos cursos cortos a modo de experimento, estos los llamamos cursos piloto. Paralelamente se elaboraron encuestas informales y/o verbales para medir el conocimiento de los temas. Luego, tenemos la elaboración de encuestas estructuradas para evaluar conocimientos básicos en matemáticas, encuesta de conocimiento básico en física, encuesta de conocimiento básico en ondas electromagnéticas.

Finalmente, se realizó una encuesta de satisfacción acerca del curso recibido y las sugerencias que tuvo el personal para mejorar tanto los contenidos como la ejecución. Esto se verá en la parte de las conclusiones.

1.5.4 TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RESULTADO

Los datos cualitativos nos sirven para orientar los cursos hacia las personas involucradas, generar un ambiente de calidez y de confianza.

Con las encuestas de carácter evaluativo inicial, se realizará un análisis de información cuantitativo a fin de determinar el contenido de los cursos básicos, donde se requieren los mayores refuerzos. Los cursos piloto sirven para ajustar contenidos y tiempos en el desarrollo real, en el cual influyen limitantes personales, materiales y de tiempo, ya que, muchas veces, los trabajadores acuden a la capacitación haciendo un esfuerzo muy grande después de un día de trabajo.

Como se había indicado en la parte introductoria de este trabajo, el curso está dirigido principalmente al personal y trabajadores de las telecomunicaciones, pero también a los estudiantes de esta rama y a los profesionales que deseen afianzar sus conocimientos con ejemplos prácticos. Los formatos de las encuestas se encuentran en el anexo 1.

1.5.5. Encuesta conocimientos básicos de la matemática

Partiendo de estas encuestas y de la experiencia de los cursos piloto, se necesita realizar una introducción acerca del álgebra y del concepto de función matemática $y=f(x)$, identificando la variable dependiente y la variable independiente y su forma gráfica en el plano cartesiano.

Principalmente, es necesario realizar una introducción a la función logaritmo $y = \log(x)$. Como se verá más adelante en el desarrollo del curso la unidad de medida para las potencias de las señales radioeléctricas es el decibelio (dB), sin embargo, la definición de esta unidad necesita antes el concepto de logaritmo y de su par el antilogaritmo.

Durante el desarrollo de los cursos piloto, se ha notado además la necesidad de realizar un repaso de los ángulos y sus unidades de medida: grados y radianes; las funciones trigonométricas seno, coseno y tangente: $y=\sin(x)$, $y=\cos(x)$, $y=\tan(x)$. También de la definición geométrica de círculo y elipse.

Especial interés tendrá la función $y=\sin(x)$, ya que, fundamentada en ella se definirán más adelante los parámetros de las ondas como son la amplitud, la frecuencia, el periodo, la longitud de onda y la fase. Esta función es muy útil para una comprensión clara de los fenómenos oscilatorios de la naturaleza.

Para el correcto entendimiento de la antena parabólica, se necesitará también un repaso de la función cuadrática en la forma $y^2 = 4px$

En cuanto a las magnitudes físicas, se realizará un repaso acerca de las unidades del SI (sistema internacional de medidas) y una explicación de la forma práctica de conversión de unidades desde y hacia el sistema inglés.

1.5.6 Encuesta conocimientos básicos de electricidad

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Es necesario realizar un repaso de electricidad básica. La ley de ohm.

Diferencias entre corriente alterna y corriente continua

Concepto de tierra eléctrica ya que hay mucha confusión al respecto.

Conceptuar campo magnético.

Conceptuar campo eléctrico.

Concepto y cálculos de la potencia eléctrica.

Interacciones entre la electricidad y el magnetismo como dos manifestaciones externas de una misma naturaleza.

1.5.7 Encuesta conocimientos básicos de radiocomunicaciones

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este es el núcleo del curso a diseñar. En general, los conocimientos son vagos en esta área. Es necesario establecer las definiciones y los conceptos sobre todo de las ondas electromagnéticas, espectro radio eléctrico, unidades de frecuencia, conceptos de longitud de onda, zona de Fresnel, banda base, modulación, etc. Todos estos conceptos básicos serán estudiados durante el curso como tal.

1.5.8 Diagnóstico de interés

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Enriquecedor saber que un alto porcentaje de los trabajadores encuestados manifiesta el gusto por aprender a manejar los equipos de comunicaciones y conocer la técnica que está detrás de ellos.

Si bien para muchos, la principal motivación es económica; la gran mayoría expresa que simplemente le gusta su trabajo. Hay un atractivo especial en la tecnología de las telecomunicaciones,

instalando equipos, solucionando problemas, comunicándose con la gente. Este trabajo hace que los técnicos de telecomunicaciones se sientan útiles al país y a los demás.

1.5.9 Diagnóstico de resultados de los cursos piloto

Partiendo de las encuestas y de la experiencia profesional, particularmente de capacitaciones impartidas y recibidas en ocasiones anteriores, se ha diseñado el contenido de cursos piloto, los cuales, de manera general, han permitido vivenciar la situación de capacitación de los trabajadores de manera real.

A diferencia del primer curso piloto, la realización final de éste se ve totalmente enriquecida con las demostraciones experimentales gracias al uso de instrumentos de prueba como son el generador de RF (Radio Frecuencia), osciloscopio, analizador de espectros, generador de audio frecuencia, a parte de las maquetas utilizadas en los primeros cursos -elipsoides, antena parabólica, bobina electroimán y motor eléctrico-. En esta versión final del curso, también se ha realizado una introducción a la tecnología digital de comunicaciones, la cual es muy común actualmente en telecomunicaciones.

CAPÍTULO 2

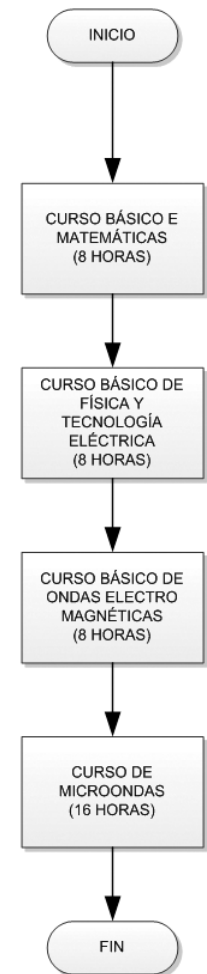
2. CURSO DE COMUNICACIÓN POR MICROONDAS DIRIGIDO A LOS TRABAJADORES, OBREROS Y ESTUDIANTES DE LAS TELECOMUNICACIONES

Siguiendo los resultados obtenidos y mostrados en el capítulo anterior, se diseña y estructura el programa de capacitación en microondas compuesto de un curso básico de matemáticas, curso básico de física y tecnología eléctrica, curso básico ondas electromagnéticas y, finalmente, el curso de microondas. La experiencia, dictando el curso ya en la práctica, ha determinado que lo deseable es que se eleve la duración a un total de 72 horas para poder realizar suficientes ejercicios en clase.

El programa de cada curso se lo realiza utilizando como base el diseño “microcurricular” (Ríos, 2014).

*Gráfico 15.
Programa de capacitación en
microondas*

Fuente: el autor



2.1 DISEÑO DEL CURSO BÁSICO DE MATEMÁTICAS

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN MICROONDAS PARA TRABAJADORES DE LAS TELECOMUNICACIONES

PROGRAMA DE CURSO

A. DATOS INFORMATIVOS:

CURSO:	BÁSICO DE MATEMÁTICAS
CÓDIGO:	BM
PROGRAMA:	CAPACITACIÓN EN MICROONDAS
N.º HORAS	16

B. DESCRIPCIÓN DEL CURSO:

Este módulo es un repaso necesario, que debe preparar a los asistentes en los conceptos básicos de las matemáticas, determinados como indispensables previo a las explicaciones de la tecnología de microondas.

C. PRERREQUISITOS

PRERREQUISITOS	
CURSO	CÓDIGOS
NINGUNO	NINGUNO

D. OBJETIVO GENERAL:

Recordar, definir, re significar conceptos básicos de matemáticas a fin de que los asistentes puedan continuar con los cursos básicos subsiguientes, hasta llegar debidamente preparados al curso de microondas.

E. RESULTADOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Al completar en forma exitosa este módulo, los estudiantes deben ser capaces de:

RESULTADO DE APRENDIZAJE DEL CURSO	NIVEL DE DESARROLLO INICIAL/MEDIO/ALTO
Álgebra y funciones lineales	alto
Gráfico de funciones en el plano cartesiano	alto
Función cuadrática. Estudio de la parábola.	alto
Funciones trigonométricas	alto
Función logarítmica	alto
Sistema binario	medio

F. CONTENIDOS

ÁLGEBRA Y FUNCIONES

Concepto de álgebra y funciones.

Variables dependientes y variables independientes

La función lineal

GRÁFICO DE FUNCIONES

Definición del plano cartesiano

Gráfico de funciones en el plano cartesiano

FUNCIONES MAS USADAS EN TELECOMUNICACIONES

3.1 Funciones trigonométricas

3.2 Función logaritmo y antilogaritmo

3.3 Propiedades de los logaritmos

SISTEMA BINARIO Y LÓGICA DIGITAL

4.1 Numeración en base 10

4.2 Numeración en base 2

4.3 Lógica digital

G. METODOLOGÍA, RECURSOS:

Las clases son un repaso de las matemáticas básicas de secundaria. Se hace siempre referencia a situaciones cotidianas, donde se extraen ejemplos prácticos. Se realiza una actividad lúdica para ejercitar el concepto de función. Se realizan ejercicios en clase.

Los asistentes dibujarán funciones en el plano cartesiano en sus cuadernos y en la pizarra.

2.1.1 Propuesta curso básico de matemáticas

Álgebra

La *aritmética* es la ciencia que estudia los números y las operaciones que se pueden realizar entre ellos.

Por ejemplo entre dos números cualquiera, el 7 y el 3, podemos establecer las cuatro operaciones básicas:

Suma: $7+3 = 10$

Resta: $7-3 = 4$

Multiplicación: $7 \times 3 = 21$ (la operación de multiplicación usa como su signo la "x", o el punto ".", o el "**"), por ejemplo $7^*3 = 21$

División: $7/3 = 2.33$

Y otras operaciones más complejas:

Potenciación: $3^2 = 3 \times 3 = 9$ (que se lee tres al cuadrado igual 9)
Radicación: $\sqrt{81} = 9$ (que se lee raíz cuadrada de 81 igual a 9, porque 9^2 es 81)

Por su parte el *álgebra* (invento y palabra árabe) es la ciencia matemática que generaliza las operaciones aritméticas. Para ello, en lugar de colocar valores numéricos particulares, utilizamos letras del alfabeto para lograr la generalización, de esta manera las operaciones anteriores quedarían de la siguiente manera:

Suma: $a + b = c$
Resta: $a - b = d$
Multiplicación: $a \times b = e$
División: $a / b = f$
Potenciación: $a^b = c$ (que se lee *a* elevado a *b* es igual a *c*)
Radicación: $\sqrt{a} = b$ (que se lee la raíz cuadrada de *a* es igual a *b*)

Posteriormente, con el uso de paréntesis, se pueden realizar operaciones combinadas:
 $a = 2 \times (b + 3)$ (que se lee *a* es igual a 2 veces el resultado de la sumar *b* más 3)
Atención: La operación que está dentro del paréntesis se hace primero.
 $y = x + 1$ (que se lee *y* es igual a *x* + 1)

Por ejemplo la expresión:
 $y = 2 \times b$ expresión (1)
Si $x = 2$, $b = 10$, nos da como resultado $y = 2 \times 2 + 10 = 14$
Si $x = 5$, nos da como resultado $y = 2 \times 5 + 10 = 20$, manteniendo el *b* fijo en 10.

Es decir, la expresión (1), nos da valores para “*y*” dependiendo de los valores de *x* y de *b*.

Funciones

En matemáticas es muy útil el concepto de función para expresar que el valor de una variable cualquiera *Y*, depende del valor que tome otra variable *X*. En este caso, se dice que *Y* es función de *X*, lo cual se escribe como $Y = f(X)$ (se lee *Y* igual efe de *X*).
El concepto de función nace de la vida cotidiana. Parafraseando al profesor de matemáticas Juan Viedma: “el martillear fue antes que el martillo”, queriendo decir con esto que todo concepto matemático, por abstracto que parezca tiene su origen en la realidad común de la gente (Viedma, 2005, pág. 11).
Citemos unos ejemplos:
Para un productor rural, el precio del queso está en función del precio de la leche.

El nivel del agua de un río depende (está en función de) los aguaceros de las 24 últimas horas.
La sensación de hambre, está en función de las horas del día.
La cantidad de dinero que queda al fin del mes está en función a la cantidad de dinero que haya gastado. Pero en este caso es una función inversa ya que mientras menos haya gastado, más dinero queda al fin del mes.
Hay muchísimas funciones en matemáticas, pero vamos a estudiar solamente las que más nos interesan para el curso de radiocomunicaciones.

Función lineal

Por ejemplo
 $y = 2x + 1$ expresión (2)
Los valores que tome *y*, dependerán de los valores que tome *x*.
Construyamos una tabla de valores para la expresión (2):

Tabla 15. Ejemplo de Función Lineal.

x	2x	y =2x+1
0	0	1
1	2	3
2	4	5
3	6	7
4	8	9
5	10	11

Fuente: el autor

Se puede observar cómo del valor que le demos a la “variable” *x*, dependerá el valor de la “variable” *y*.
Claramente, podemos advertir que *x* puede tomar cualquier valor, ya sea entero o decimal. Positivo o negativo. Tan grande o tan pequeño como queramos. Y siempre el valor de *y* le quedará determinado por la función $y = 2x + 1$
De acuerdo con lo expresado denominamos a *x* como la variable “independiente” y a la variable *y* la podemos nombrar como la variable “dependiente” debido a la relación que hemos visto, hay entre ellas.

ACTIVIDAD LÚDICA

Usted puede asombrar a sus amigos diciendo que es capaz de adivinar cualquier número entre 1 y 10 que ellos piensen, con solo seguir sus indicaciones y preguntar al final “cuánto le sale”.
Por ejemplo, usando la función definida por la expresión (2):
-Piensa un número del 1 al 10, pero no me lo digas.
-Multiplícale por 2
-A esto súmale 1

-¿Cuánto te sale? (Sería y)
Bastará con recurrir a los resultados de la tabla #15. Y podrás saber cuál fue el número pensado (el x).

En realidad no es necesario crear una tabla de valores para cada función. El juego puede hacerse usando cualquier función lineal sencilla y “despejando” la variable x es decir el número pensado. Por ejemplo:

Sea la función $y = 5x + 2$
Para despejar x, debo primero dejarla sola en un lado del igual (o de la *ecuación* también se dice) con la simple regla que los términos de una *ecuación* pueden pasarse al otro lado del igual, pero a realizar la operación contraria: si está sumando pasa a restar; si está multiplicando pasa a dividir. Y viceversa.

Entonces
 $y - 2 = 5x$
Por lo tanto
 $x = (y-2)/5$ expresión (3)

En el caso de querer asombrar a alguien con esta función quedaría:
-Piensa un número del 1 al 10 (el valor de x)
-Multiplícale por 5
-A esto súmale 2
-Cuánto te sale (el valor de y)
Por ejemplo si pensó el número 2 (secreto) te dirá que le sale 12.
Usando la expresión (3), te dará el $x = (12-2)/5 = 2$
Anímate a hacer este juego y asombrar a alguien con las siguientes funciones:
 $y = 3x + 3$
 $y = 10x + 1$

Función cuadrática. La parábola

A diferencia de la función lineal, la función cuadrática tiene entre sus términos a una de las variables elevada al cuadrado. Por ejemplo, son funciones cuadráticas:

$y = x^2$ (que se lee y es igual a x al cuadrado, es decir x por x)
 $y = 2x^2 + 3$
 $y = x^2 + x + 1$
 $y^2 = 4.p.x$ (que se lee y cuadrado es igual a 4 por p por x)
Sin el punto para indicar multiplicación:
 $y^2 = 4px$ expresión (4)
Donde p es un número cualquiera, pero fijo, es decir no cambia de valores como lo podrá hacer x.

Tomemos como ejemplo la expresión (4) y creemos una tabla de valores, pero antes es necesario despejar y en función de x

Para ello, sacamos la raíz cuadrada a ambos lados de la ecuación
 $\sqrt{y^2} = \sqrt{4.p.x}$
 $y = \sqrt{4.p.x}$
(Estrictamente hablando $y = \pm\sqrt{4px}$, ya que tanto el valor positivo como el valor negativo elevados al cuadrado nos dan lo mismo)
Supongamos que p = 4 centímetros, la función se reduce a
 $y = \sqrt{4.4.x} = \sqrt{16.x} = \sqrt{16} . \sqrt{x}$
 $y = 4.\sqrt{x}$ (que se lee y es igual a 4 por raíz de x). Esta la vamos a graficar oportunamente, mientras tanto creemos su tabla de valores:

Tabla 16. Función cuadrática

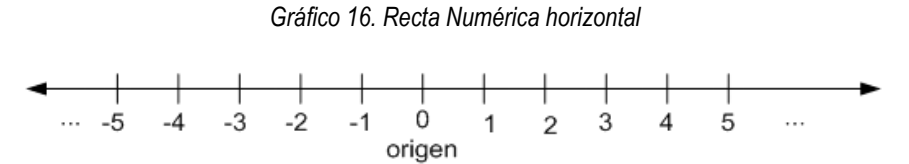
x	\sqrt{x}	$y = 4.\sqrt{x}$
0,25	0,5	2
0,5	0,71	2,84
1	1	4
2	1,41	5,64
3	1,73	6,92
4	2	8
5	2,24	8,96

Fuente: el autor

La función “ $y^2 = 4px$ ” es de especial importancia en el curso de microondas ya que es conocida como la ecuación de la “parábola” con cuyas propiedades se han diseñado y construido las antenas parabólicas. Esto lo veremos más adelante, antes es necesario aprender a graficar una función.

La recta numérica y el plano cartesiano

Una recta numérica es una línea a la cual se subdivide en segmentos iguales; se asigna a cada uno de ellos un número entero. Sirve para visualizar de alguna manera la naturaleza y orden de los números en general.

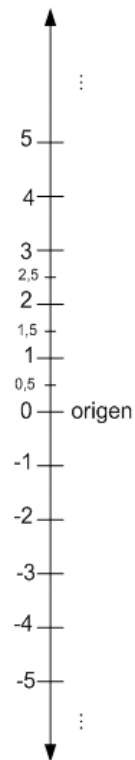


Fuente: el autor

Naturalmente, el origen es el cero. Hacia la derecha crecen los números positivos y hacia la izquierda decrecen los negativos. El gráfico #16 muestra una recta numérica horizontal segmentada a escala de un centímetro por división. Pero, la escala la escoge uno de acuerdo con su conveniencia. La línea punteada significa que crece hasta el infinito. Obviamente entre cada número existen también infinidad de fracciones, pero por facilidad no las hemos dibujado aquí.

También podríamos haber escogido una recta vertical, en ese caso tendríamos la siguiente figura:

Gráfico 17. Recta numérica vertical

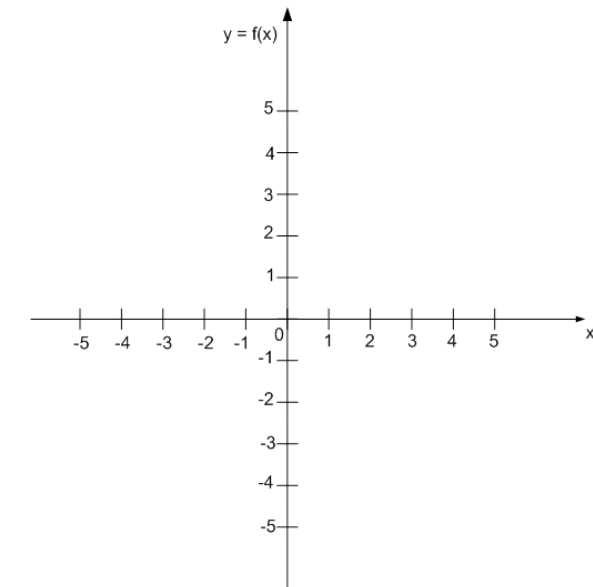


Fuente: el autor

En este caso, se han “ploteado” los números en una recta vertical, a la misma escala que la recta horizontal, es decir cada segmento tiene un tamaño de un centímetro.

La genialidad del matemático francés René Descartes (1596-1650) fue cruzar las dos rectas numéricas de los gráficos #16 y #17 y crear de esta manera un plano. Este plano se conoce con el nombre de plano “cartesiano” en honor de su inventor y sirve para visualizar el comportamiento de las funciones; para ello se “plotean” los números que tome la variable independiente x en la línea (o eje) horizontal y los valores obtenidos, mediante la función $y = f(x)$, para la variable dependiente y , en el eje vertical.

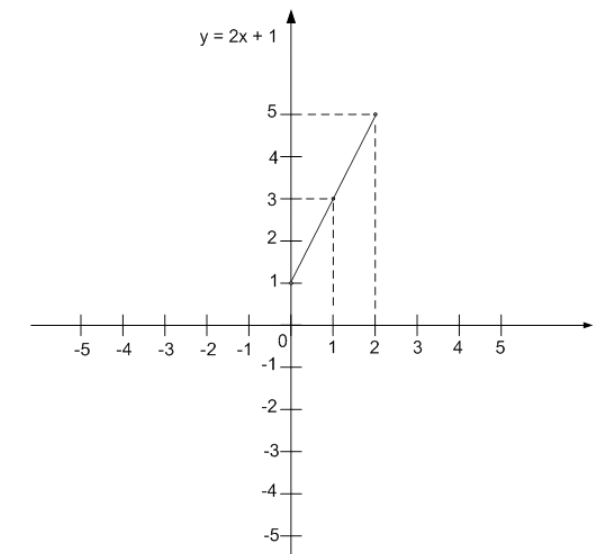
Gráfico 18. Plano cartesiano



Fuente: el autor

Por ejemplo, dibujemos en el plano cartesiano los valores obtenidos en la tabla #17.

Gráfico 19. Función lineal $y = 2x + 1$

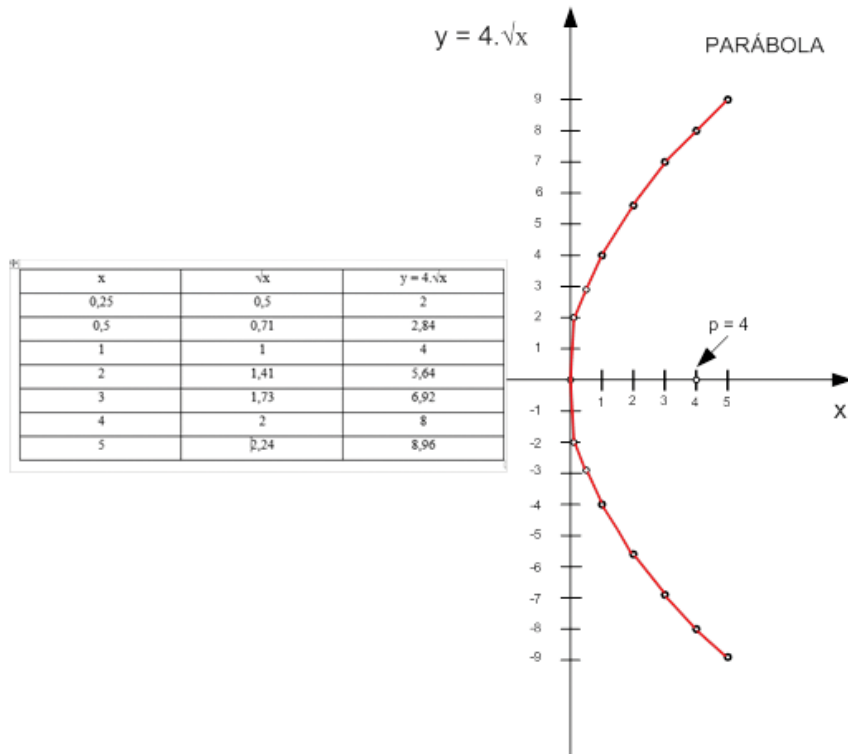


Fuente: el autor

Como podemos apreciar, al unir los puntos, nos surge la figura de una línea recta, de allí el nombre de función lineal que se le ha dado.

Ahora grafiquemos los valores obtenidos para la función cuadrática $y^2 = 4px$, con $p = 4$, cuyos valores constan en la Tabla 16.

Gráfico 20. Parábola $y^2 = 16x$



Fuente: el autor

Uniéndolos puntos y versus x , se obtiene la curva característica conocida con el nombre de *parábola*, cuyo "foco" se halla en el punto p . También podemos observar que la curva es simétrica respecto al eje x , es decir, lo que está por arriba del eje horizontal es idéntico a los que está por debajo de él. Este eje de simetría es conocido como eje principal.

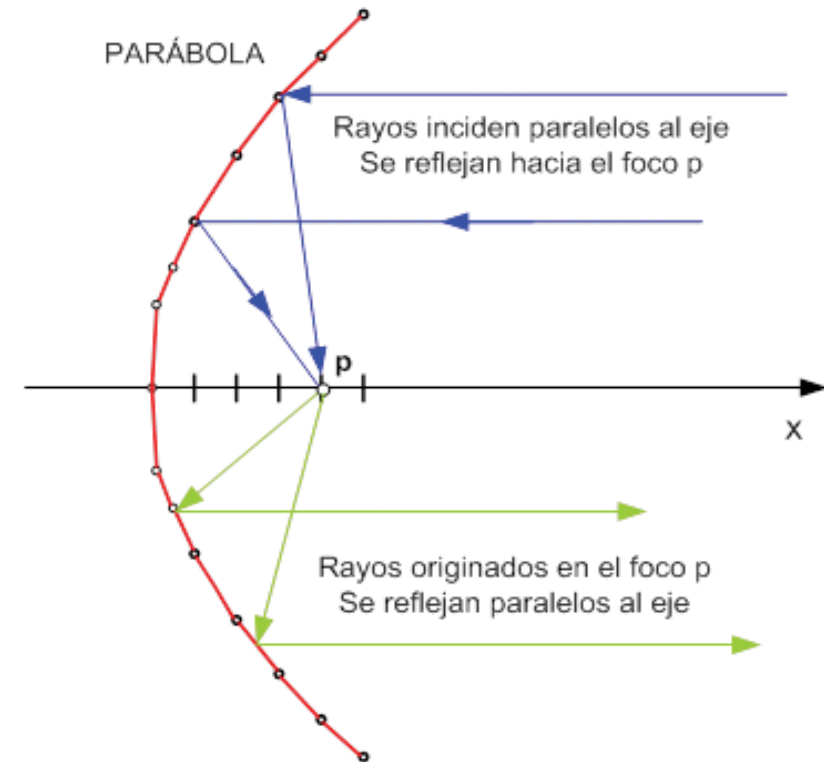
Esta figura es muy importante dentro del mundo de las telecomunicaciones tanto por microondas como satelitales, ya que, las antenas parabólicas obedecen a esta construcción, debido a la siguiente propiedad:

Propiedad reflectora de la parábola

En toda parábola se cumple lo siguiente: un rayo que cruza por el foco e incide en la parábola,

se refleja paralelo al eje, y viceversa un rayo que incide en la parábola paralelo al eje se reflejará pasando por el foco.

Gráfico 21. Propiedad reflectora de la parábola



Fuente: el autor

Debido a esta propiedad, si consideramos los rayos de microonda de la misma manera que los rayos de luz, es decir rectos, tenemos una herramienta perfecta para captarlos o para emitirlos colocando el receptor y/o el transmisor en el foco de la parábola.

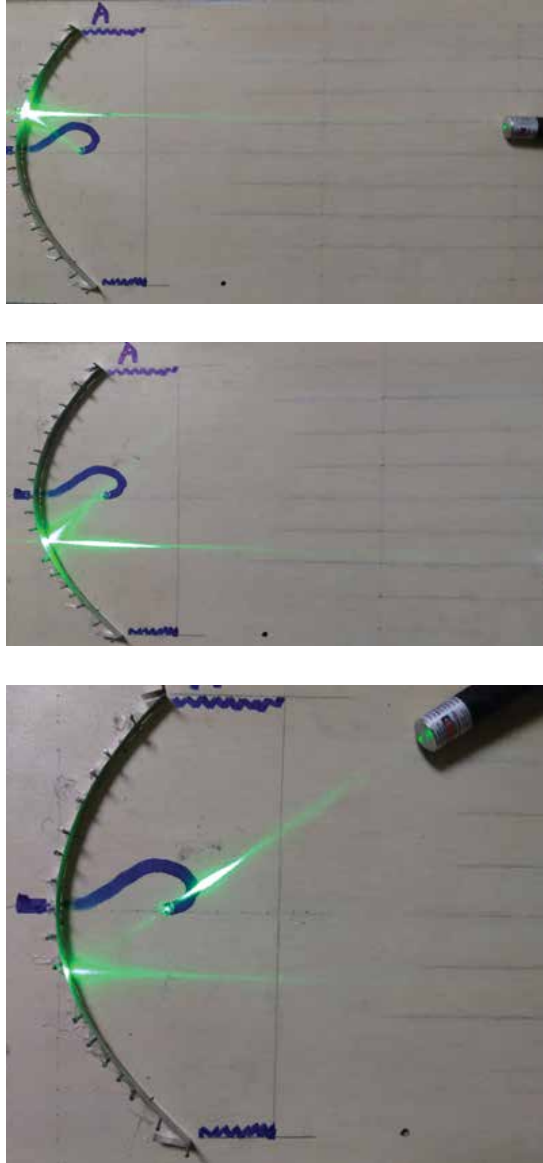
ACTIVIDAD PRÁCTICA.

La maqueta M1 ha sido construida mediante un trozo de tabla triplex alisada de 60x30 cm, en la cual se han dibujado las mismas curvas vistas en el gráfico #19, una en frente de otra. Se ha colocado una pequeña cinta de hojalata pulida de modo que tome la forma de la curva y refleje la luz. Con un puntero láser, emitimos un rayo paralelo al eje y vemos que se refleja por el foco, sin importar a que parte de la curva apuntemos.

Y viceversa, con el puntero láser emitimos un rayo que cruce en su camino hacia la hojalata, por el foco. Vemos que se refleja paralelo al eje principal.

FOTOGRAFÍA DE LA MAQUETA

Gráfico 22. MAQUETA#1, cinta parabólica



Fuente: el autor

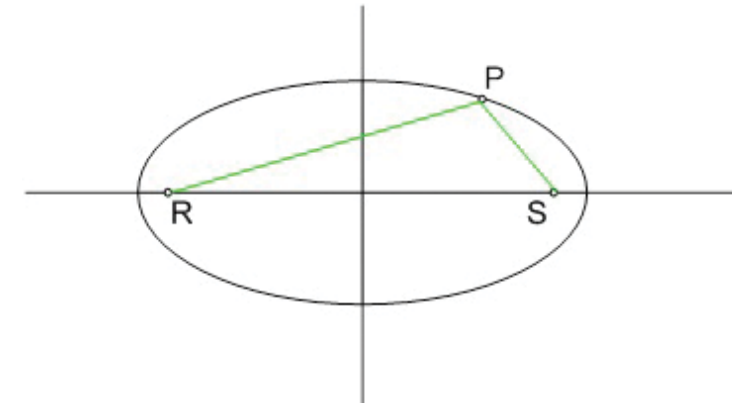
Y hasta allí la función cuadrática.

La elipse

Es una figura geométrica muy importante dentro del mundo de las telecomunicaciones, por lo cual realizaremos una definición geométrica:

La elipse es el lugar geométrico de todos los puntos de un plano cuya suma de distancias a dos puntos fijos llamados focos, es constante

Gráfico 23. Definición geométrica de elipse



Fuente: el autor

De acuerdo con la definición, para cualquier punto P del plano contenido en los ejes x e y, se tiene que:

$$PR + PS = \text{constante}$$

Donde R y S son dos puntos fijos sobre el eje llamados “focos” de la elipse.

Uno de los ejemplos más conocidos en la naturaleza es la órbita del planeta Tierra que, en su viaje de traslación, describe una elipse en uno de cuyos focos está el Sol. Este fue un descubrimiento revolucionario hacia el año 1600, en una época en que no se sabía a ciencia cierta si el Sol gira en torno a la Tierra o la Tierra gira alrededor del Sol. Actualmente, se lo conoce como una de las leyes de Kepler, en honor a este astrónomo alemán.

Otro concepto natural donde se aplican las propiedades geométricas de la elipse es la propagación de ondas radioeléctricas, como más adelante se verá al describir las zonas de Fresnel.

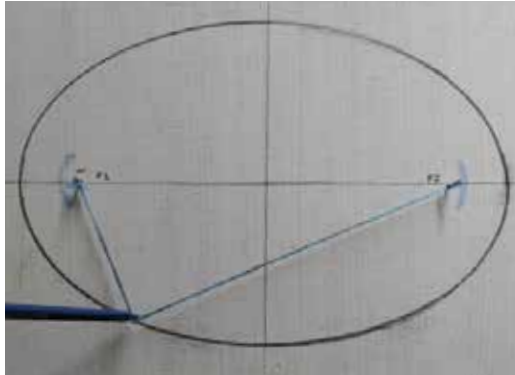
MAQUETA # 6

Construcción de una elipse.

En una tabla tríplex de 40x30 cm, dibujamos los ejes cartesianos. Sobre el eje X situamos dos puntos fijos, F1 y F2, los cuales serán los focos. En estos focos clavamos dos pequeños clavos. Con una cuerda unimos los puntos F1 y F2 de modo que la longitud de la cuerda sea visiblemente mayor que la distancia entre los focos.

Con ayuda de un lápiz tensamos la cuerda y trazamos sobre la madera triplex. La figura que resulta es una elipse con focos F1 y F2.

Gráfico 24. Construcción de una elipse



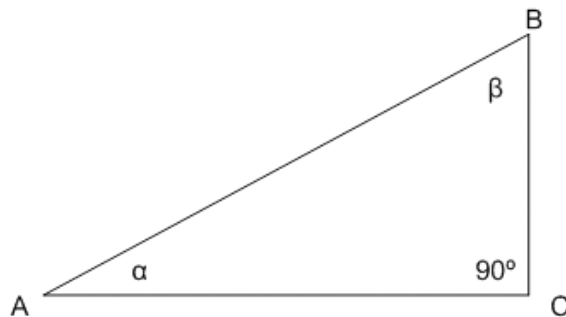
Fuente: el autor

Funciones trigonométricas

En telecomunicaciones es muy importante conocer bien estas funciones, que en su definición son muy sencillas, pero que encuentran aplicación en situaciones complejas.

Etimológicamente, la palabra trigonometría significa mediciones de tres ángulos. Esto es debido a que las funciones trigonométricas, se definen en un triángulo uno de cuyos ángulos es de 90° (ángulo recto)

Gráfico 25. Triángulo rectángulo

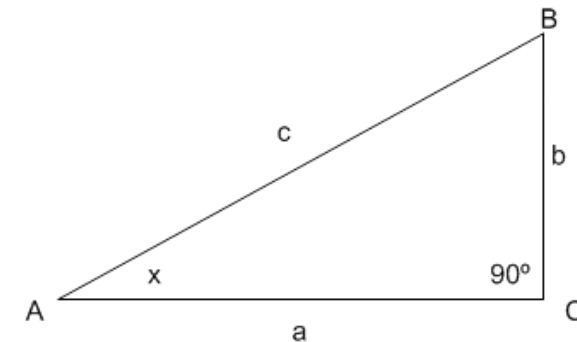
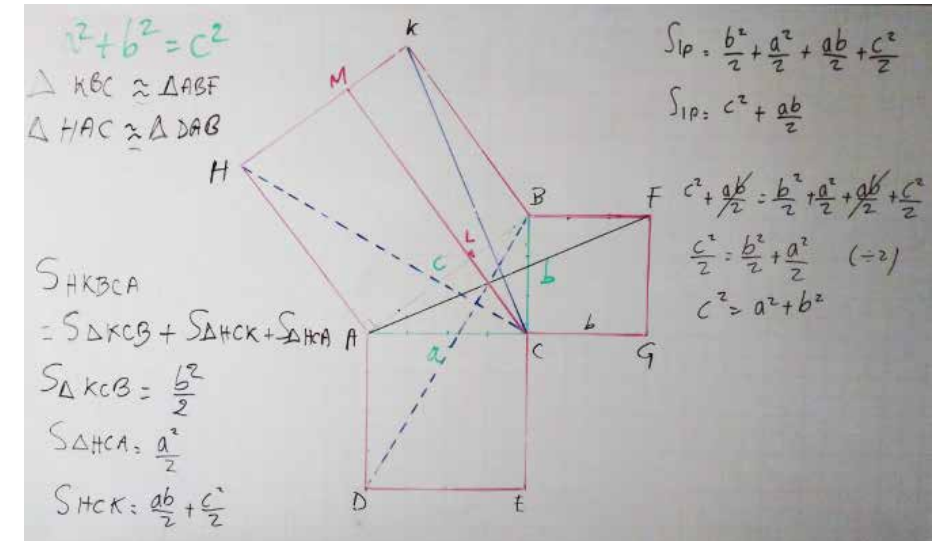


Fuente: el autor

Hay que destacar que en todo triángulo, la suma de sus ángulos es igual a 180° . En este caso podemos afirmar que la suma de los ángulos alfa + beta nos debe dar 90° .

Definamos los nombres de los lados del triángulo como a, b y c. Y llamemos x al ángulo sobre el cual vamos a definir las funciones trigonométricas.

Gráfico 26. Triángulo rectángulo



Fuente: el autor

Es notorio que el lado b está opuesto al ángulo x en cuestión. Y es notorio que el lado a se encuentra adyacente al ángulo x . El lado c es conocido como hipotenusa y sería el lado opuesto al único ángulo cuyo valor se conoce y es fijo en 90° .

Aquí aprovechamos para introducir el famoso *teorema de Pitágoras*, el cual establece que en todo triángulo rectángulo se cumple que "la suma de los cuadrados de los catetos es igual al cuadrado de la hipotenusa". Se conoce que diferentes culturas, en diferentes épocas han notado esta propiedad y la han logrado demostrar, por ejemplo los chinos en el siglo XIV y los

árabes en el siglo IX. La demostración formal de este teorema se realiza con ayuda del trazado de líneas auxiliares que, basándose en la igualdad de áreas y superficies, permite llegar a la demostración. ¿Se anima el lector a intentarla? (Observe que el polígono HKBCA tiene forma de lápiz de superficie S_{lp}). El teorema de Pitágoras es una demostración paralela de que el conocimiento se construye; taxativamente, para muchas aplicaciones de la matemática, este teorema constituye una piedra angular. En el caso de este curso de microondas, el valor del radio de la zona de Fresnel por la cual se propaga la energía electromagnética entre dos puntos, se halla utilizando el teorema de Pitágoras.

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad \text{expresión (5)}$$

Entonces se pueden ya definir las funciones trigonométricas.

FUNCIÓN SENO

$$Y = \text{sen}(x)$$

$$\text{Sen}(x) = b/c$$

Es decir cateto opuesto dividido para la hipotenusa

FUNCIÓN COSENO

$$Y = \text{Cos}(x)$$

$$\text{Cos}(x) = a/c$$

Es decir cateto adyacente dividido par hipotenusa

FUNCIÓN TANGENTE

$$Y = \text{Tan}(x)$$

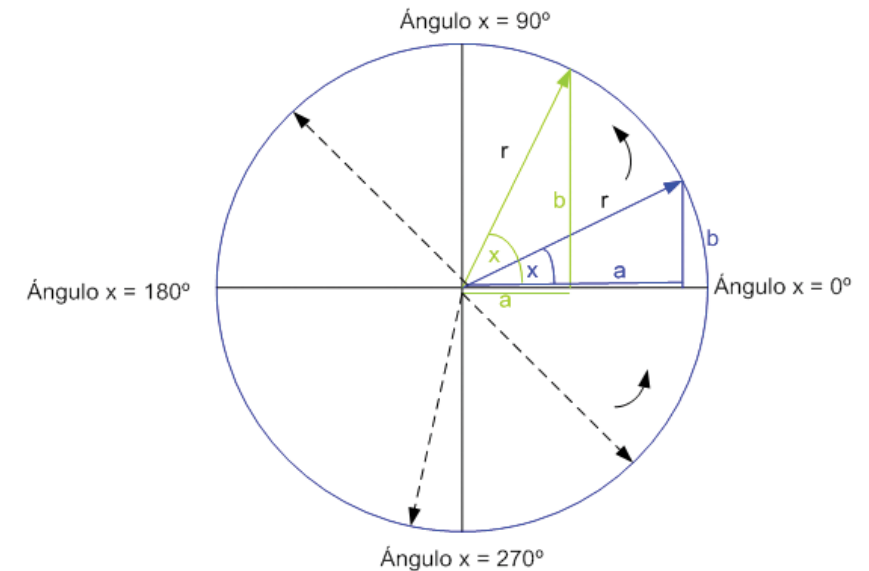
$$\text{Tan}(x) = b/a$$

Es decir lado opuesto sobre lado adyacente.

Así de simples son las definiciones de las funciones trigonométricas.

Para ampliar mejor estas definiciones, dibujemos el triángulo rectángulo inscrito en una circunferencia cuyo radio sea la hipotenusa. Imaginémonos que es la rueda de una bicicleta de carreras uno de cuyos radios (esos alambritos delgados pero fuertes) lo tomamos para hipotenusa:

Gráfico 27. Funciones trigonométricas definidas en el círculo de radio r .



Fuente: el autor

En el gráfico #26, podemos visualizar varias cuestiones por ejemplo que el ángulo x puede tomar valores solo entre 0° y 360° , y que a partir del 360° , se repite lo mismo.

Si el ángulo x crece, crece el cateto b , pero el a disminuye.

Cuando x es 0° , b vale cero y a es igual al radio r .

Cuando x es 90° , b se iguala al radio r y a quien vale cero.

Cuando x es mayor que 90° los valores de a son negativos.

Cuando x es mayor que 180° , los valores de b son negativos.

Cuando x es mayor que 270° , los a son positivos y los b siguen negativos

Estas cuestiones inciden en que el seno de x pueda ser positivo o negativo.

También, de acuerdo con la definición $\text{seno}(x) = b/r$ tenemos que:

$$\text{Sen } 0^\circ = 0$$

$$\text{Seno } 90^\circ = 1 \text{ ya que en ese ángulo } b=r$$

$$\text{Seno } 180^\circ = 0$$

$$\text{Seno } 270^\circ = -1$$

$$\text{Seno } 360^\circ = 0$$

Y así, sucesivamente. Posteriormente, con estos valores y otros que obtengamos, vamos a proceder a graficar la función $y = \text{sen}(x)$.

Como podemos ver, una vuelta completa equivale a decir 360° .

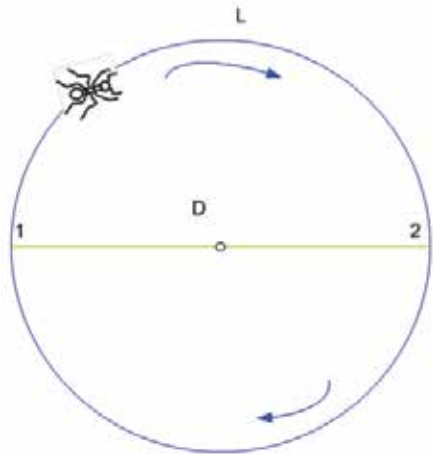
En el lenguaje común también se escucha decir que alguien dio un viraje de 180° cuando toma la dirección opuesta.

DEFINICIÓN DEL NÚMERO PI (π)

Otra de las genialidades de los matemáticos antiguos, especialmente, los griegos es haberse dado cuenta que la división de la circunferencia para su propio diámetro da un valor constante. Es decir sale siempre lo mismo, sin importar el tamaño de la circunferencia.

Como sabemos diámetro es la línea que divide a la circunferencia en dos mitades iguales ya que pasa por su centro. Y además que un diámetro es dos veces el radio. Veamos la llanta de la bicicleta nuevamente:

Gráfico 28. Circunferencia L y diámetro D



Fuente: el autor

Si la pequeña hormiga va del punto 1, al punto 2 y vuelve del punto 2 al punto 1 siguiendo la trayectoria azul, habrá recorrido la circunferencia L. Si la hormiga va desde el punto 1 al punto 2 siguiendo la línea recta verde, habrá recorrido el diámetro.

Si la hormiga puede contar los milímetros tanto de L como de D, está en capacidad de descubrir algo muy interesante: al dividir L/D le sale 3,1416...

Es decir, el número π es la relación entre la circunferencia a su propio diámetro.

EJERCICIO EN CASA: Como actividad práctica obtener el número π de una llanta de bicicleta y de una moneda; ayúdese con un hilo y una cinta métrica. Se podrá comprobar que siempre sale 3,1416 sin importar el tamaño de la llanta o de la moneda usada.

Ahora bien, ya que el diámetro es igual a 2 radios tenemos que la longitud de la circunferencia L es igual a $2\pi r$.

$$L/D = \pi$$

$$L = \pi \cdot D = \pi \cdot (2 \cdot r)$$

$$L = 2\pi r$$

Por este motivo se puede también definir como medida del ángulo el radián que no es más que $360^\circ = 2 \cdot \pi$ radianes.

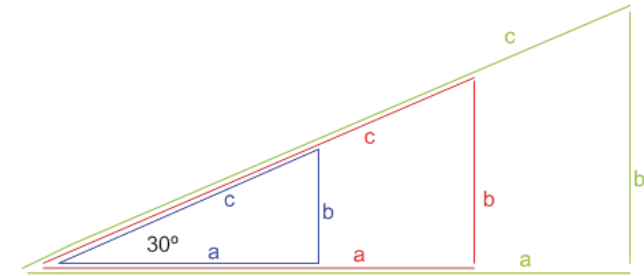
$$180^\circ \text{ serían } \pi \text{ radianes}$$

$$90^\circ \text{ serían } \pi/2 \text{ radianes}$$

Y así, sucesivamente (posteriormente ampliaremos el concepto de radián).

Al igual que en la circunferencia, la razón entre su longitud y el diámetro es constante, en un triángulo rectángulo, una vez definido el ángulo, el valor de seno, coseno y tangente queda fijado sin importar el tamaño del triángulo:

Gráfico 29. Seno de un ángulo no depende del tamaño del triángulo en el que se halla



Fuente: el autor

$$\text{Así por ejemplo, } \text{seno}(30^\circ) = b/c = b/c = b/c = 0,5$$

Igualmente para las otras funciones trigonométricas.

GRÁFICO DE LA FUNCIÓN SENO(X)

En un triángulo rectángulo en el cual el lado a es igual al lado b se cumple que $x = 45^\circ$ y que $\text{sen}(45^\circ) = \sqrt{2}/2 = 0,707$

Con estos valores procedemos a crear una tabla, variando el ángulo x en pasos de 45° :

Tabla 17. Valores de $\text{sen}(x)$

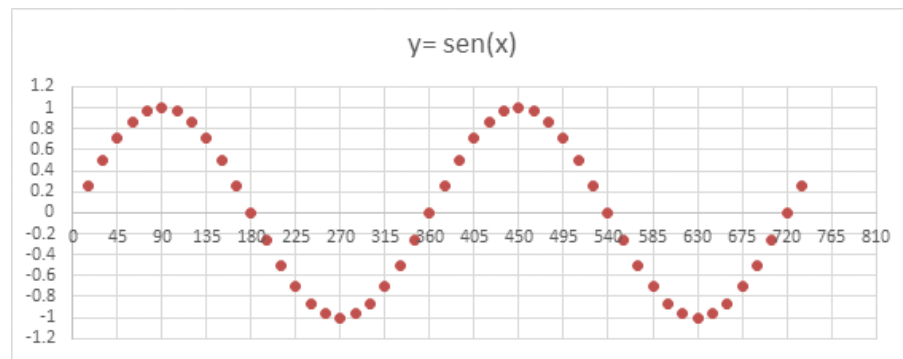
x	Sen (x)
0°	0
45°	0,71
90°	1
135°	0,71

180°	0
235°	-0,71
270°	-1
315°	-0,71
360°	0
405°	0,71
450°	1
495°	0,71
540°	0

Fuente: el autor

Y que, graficando con ayuda del Excel, resulta la siguiente figura:

Gráfico 30. La función $y = \text{sen}(x)$



Fuente: el autor

De donde podemos observar que la función seno, se repite cada 360° hasta el infinito.

Ya que adopta los mismos valores cada 360° (cada vuelta) se denomina una función periódica, es decir que presenta los mismos valores de una manera cíclica, siempre variando entre +1 y -1.

La función seno o función *senoidal* es muy común en la naturaleza y sirve para representar de alguna manera todos los movimientos oscilatorios entre los que podemos citar el péndulo de un reloj, el columpio del parque infantil, el giro de la rueda de bicicleta, una cuerda que se agita desde un extremo, las ondas que produce en la superficie del agua al caer una pequeña piedrecilla, el voltaje alterno en los toma corrientes de las casas, y una onda que es fundamental para las telecomunicaciones: la onda electromagnética.

EJERCICIO EN CASA: Graficar las funciones Coseno(x) y Tangente(x), para ello se recomienda hacer uso del Excel, creando una tabla con los valores de X cada 15°.

La función logaritmo

Se escribe como $y = \log_{10}(x)$. Se lee y es igual al logaritmo en base 10 de x

Antes de entrar en la definición de esta función, primero familiaricémonos con la potenciación.

Ya hemos visto la función cuadrática $y = x^2$

Por ejemplo $3^2 = 3 \times 3 = 9$

O por ejemplo $10^2 = 10 \times 10 = 100$

Pero también hay la función cúbica $y = x^3$

Por ejemplo $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$

O por ejemplo $10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$

Y así, sucesivamente.

Centrémonos en la potenciación cuando la base es 10, por ejemplo 10^2 o 10^3

Esta potenciación con base 10 la podemos generalizar como:

$Y = 10^x$

Que se lee y es igual a 10 elevado a la x. Los ejemplos ya los hemos visto 10^2 y 10^3

Pero en general x puede ser cualquier valor entero o decimal, positivo o negativo.

Con los ejemplos citados 10^2 que da cien y 10^3 que equivale a mil, surge una pregunta muy ingeniosa: ¿a qué número tengo que elevar la base que es 10, para obtener 100 y 1000? La respuesta sería a 2 y a 3 respectivamente.

Veamos otro ejemplo:

¿A qué número tenemos que elevar la base (10) para obtener 10.000?

La respuesta sería a 4 porque $10^4 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10.000$

Generalizando el concepto diremos que: el logaritmo de un número x, es otro número y, al cual deberemos elevar la base para obtener el número x.

Se escribe $y = \log_{10}(x) = \log(x)$ ya que la base 10 está sobreentendida, ya no es necesario colocarla como subíndice.

Por lo tanto si $y = \log(x)$

Esto significa que $x = 10^y$

Ejemplo: con la ayuda de una calculadora podemos obtener que

$\log(2) = 0,3$ ya que $10^{0,3} = 2$

Para resumir el concepto de logaritmo, realicemos una tabla de valores:

Tabla 18. Logaritmos de algunos números notables

x	Y = log (x)	Porque 10y = x
10	1	$10^1 = 10$
100	2	$10^2 = 100$
1 000	3	$10^3 = 1000$
10 000	4	$10^4 = 10\,000$
100 000	5	$10^5 = 100\,000$
1 000 000	6	$10^6 = 1\,000\,000$
Otros ejemplos		
1	0	$10^0 = 1$
0,1	-1	$10^{-1} = 0,1$
0,01	-2	$10^{-2} = 0,01$
0,001	-3	$10^{-3} = 0,001$
Un ejemplo especial		
2	0,3	$10^{0,3} = 2$

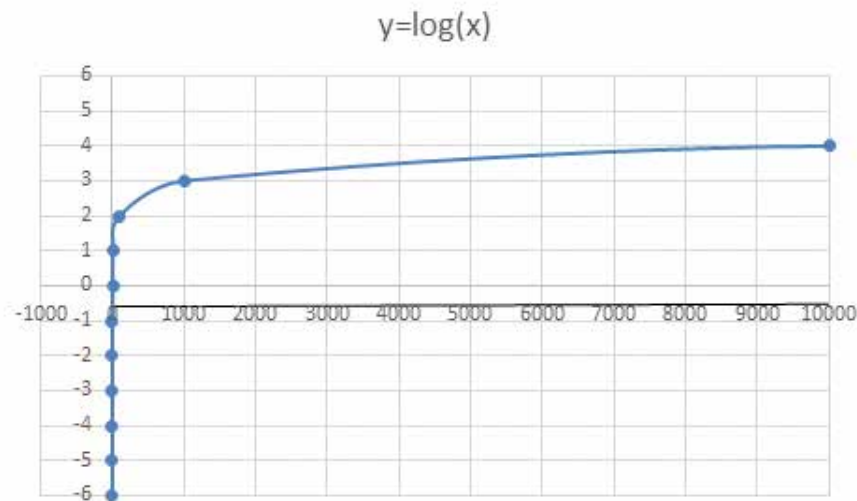
Fuente: el autor

Como puede notarse, el logaritmo es una transformación matemática que nos da una manera de expresar números muy grandes o muy pequeños bajo la forma de números pequeños y manejables. Por ejemplo, el número cien mil lo expresamos por su logaritmo que es cinco.

Otro ejemplo: mientras que x varía entre diez y un millón, sus logaritmos varían entre uno y seis.

Basándonos en la tabla #18, podemos construir la gráfica del logaritmo, ayudándonos del Excel:

Gráfico 31. Función logaritmo



Fuente: el autor

Propiedades de los logaritmos

Es muy importante para el curso de telecomunicaciones conocer algunas de las propiedades de esta “transformación matemática” que son los logaritmos:

a. El logaritmo del producto de dos números A y B es igual a la suma de los logaritmos de A y B.

$$\log(A \cdot B) = \log A + \log B$$

Por ejemplo, sabiendo que el $\log(2) = 0,3$, calculemos el logaritmo de 20

$$\log(20) = \log(2 \cdot 10) = \log(2) + \log(10)$$

$$\log(20) = 0,3 + 1 = 1,3$$

Esta propiedad facilita los cálculos matemáticos ya que los logaritmos convierten una multiplicación en una suma

b. El logaritmo de la división de dos números A y B es igual a la resta de los logaritmos de A y B

$$\log\left(\frac{A}{B}\right) = \log A - \log B$$

Por ejemplo:

$$\log(50) = \log\left(\frac{100}{2}\right) = \log(100) - \log(2)$$

$$\log(50) = 2 - 0,3 = 1,7$$

Esta propiedad facilita los cálculos matemáticos ya que los logaritmos convierten una división en una resta.

c. El logaritmo de un exponente A^b

$$\log(A^b) = b \cdot \log(A)$$

Por ejemplo, calculemos el $\log(8)$

$$\log(8) = \log(2^3) = 3 \cdot \log(2)$$

$$\log(8) = 3 \cdot 0,3 = 0,9$$

Sistema binario

Hasta el momento hemos hecho un uso natural del sistema de numeración basado en los 10 dígitos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9

En total son 10 dígitos, con los cuales podemos escribir todas las cantidades desde las más grandes hasta las más pequeñas.

Pensemos en los agricultores de la prehistoria. Si querían contabilizar cuántos bueyes tenían, o cuántas hachas encontraban, entonces, tenían que usar los dedos de las manos para indicar a los otros las cantidades. Incluso en la actualidad nos servimos de los dedos de las manos para hacer sumas y restas. De allí que a los diez números nombrados se los conozca como dígitos; esté último término etimológicamente provienen de dedos.

Y como tenemos diez dedos, lo natural es que contemos de diez en diez.

Una treintena son tres decenas. Una centena son diez decenas.

Un mil son diez centenas. Y así hasta el infinito, de diez en diez.

Pero, ¿qué sería del sistema de numeración si solo hubiésemos tenido dos dedos, uno en cada mano? Pues simplemente, contaríamos en sistema binario ya no decimal. De dos en dos. Los dígitos solamente serían el cero y el uno. Y a partir de estos dos dígitos tendríamos que contar de dos en dos, ya no de diez en diez.

Y si hubiésemos nacido con 4 dedos en cada mano. El sistema sería octal, que cuenta de ocho en ocho. Y si hubiésemos nacido con dieciséis dedos, ocho en cada mano; el sistema sería hexadecimal, cuenta de dieciséis en dieciséis; sus dígitos serían: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

De estas varias bases, la que más nos interesa en este curso es la base binaria ya que es la clave para el paso de tecnologías analógicas a tecnologías digitales -otra vez los dedos-, como veremos posteriormente.

En la naturaleza, existen muchas situaciones que, por lógica, se pueden clasificar en dos estados. Por ejemplo, un bombillo incandescente, está prendido o está apagado. El viernes por la tarde, me voy al cine o me quedo en casa. La bocina de un vehículo, o pita o está en silencio. Es de día o es de noche. Y así por el estilo.

Todo esto tiene relación con el sistema binario, porque para representar los dos únicos estados de una situación, tenemos precisamente los dos dígitos: cero y uno.

Por ejemplo, foco apagado es cero y foco prendido es uno.

Cualquier número expresado en base decimal puede convertirse en base binaria. Y vice-versa. Veamos los más elementales:

Tabla 19. Equivalencia entre decimal y binario

Base 10	Base 2
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101

6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111
...	...

Fuente: el autor

Un ejemplo simple extraído de esta tabla, cuento con los dos dedos el rebaño e informo a los demás que tenemos 1111 bueyes y somos 0101 propietarios, nos toca a 0011 bueyes cada uno.

Todas las operaciones aritméticas como la suma, resta, multiplicación y división, se pueden hacer en sistema binario. De hecho, los circuitos electrónicos de las computadoras manejan solo dos estados de voltaje que se denominan TTL (lógica transistor transistor) en la cual el 1 se asocia con la presencia de un voltaje de cinco voltios y el estado 0 se asocia con los cero voltios. Es así como intercambian datos entre los “chips” para realizar las diversas operaciones. De hecho, se denomina “bit” a uno de los dos estados 0 o 1. Un grupo de ocho bits se denomina un byte.

Ya que solo se dispone de solo dos estados de voltaje para representar las cifras, se realiza también una operación de codificación para que, con el objetivo de manejar información, los circuitos puedan transmitirse no solo cifras, sino también texto unos a otros. Aunque parece complicado, la operación de codificación es un ejercicio intelectual muy sencillo, tanto que incluso los niños pequeños lo juegan. Por ejemplo, se ponen de acuerdo entre ellos y dicen “un golpe es sí y dos golpes es no”.

Es así como nace el ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). Este código es el que arroja la tecla “ALT” de cualquier teclado. Por ejemplo, para obtener el símbolo de arroba podemos presionar “ALT 64”.

La siguiente tabla resume los códigos ASCII para los caracteres de texto, agrupados en ocho bits unos o ceros. Por ejemplo, el carácter A ha sido representado con la secuencia de bits 0100 0001. Podemos reconocer que en los primeros 4 bits está el número 4 y, en el segundo grupo de cuatro bits, está el 1. Hablando en hexadecimal, el carácter A es el 41, que convertido a decimal es 65, se obtiene entonces presionando la combinación “ALT 65”. ¡Haga la prueba!

Tabla 20. Código ASCII

Carácter	ASCII	Carácter	ASCII
A	0100 0001	W	0101 0111
B	0100 0010	X	0101 1000
C	0100 0011	Y	0101 1001
D	0100 0100	Z	0101 1010
E	0100 0101	0	0011 0000
F	0100 0110	1	0011 0001
G	0100 0111	2	0011 0010
H	0100 1000	3	0011 0011
I	0100 1001	4	0011 0100
J	0100 1010	5	0011 0101
K	0100 1011	6	0011 0110
L	0100 1100	7	0011 0111
M	0100 1101	8	0011 1000
N	0100 1110	9	0011 1001
O	0100 1111	+	0010 1011
P	0101 0000	-	0010 1101
Q	0101 0001	*	0010 1010
R	0101 0010	:	0011 1010
S	0101 0011	=	0011 1101
T	0101 0100	<	0011 1100
U	0101 0101	>	0011 1011
V	0101 0110		

Fuente: ascii codes. Adaptado por el autor

Resumiendo, todo tipo de información, ya sea texto, cifras, visual, auditiva, etc., se puede expresar en secuencias de binarias de unos y ceros lógicos. Volveremos más adelante sobre este importante punto, ya que es el secreto de las tecnologías digitales tan en boga en el mundo actual.

Lógica digital

Anteriormente vimos que cuando una variable y depende de otra variable x, se dice que y está en función de x, es decir $y = f(x)$. Esto aplica también para las cantidades x e y expresadas en números binarios.

Sin embargo, existe un álgebra que se basa justamente en el hecho de que una variable X o una variable Y, pueden tomar solo dos valores -estados lógicos- cero o uno (o Verdadero y Falso).

A esta se la conoce como el álgebra de Boole o “álgebra booleana”, en honor del científico inglés George Boole (1815-1864) que fue quien la desarrollo.

Revisaremos únicamente las operaciones lógicas más simples “negación”, “y” y “o” a las cuales expresadas en inglés para mejor comprensión serían: “NOT”, “AND y “OR”.

OPERACIÓN “NOT”

Es la más simple de las operaciones lógicas y consiste en obtener el valor contrario de una variable lógica.

Por ejemplo si $X=1$, $NOT(X) = 0$

Y viceversa, si $X=0$, $NOT(X) = 1$

Resumiéndolo en una tabla quedaría:

Tabla 21. Operación not

X	Y = NOT (X)
1	0
0	1

Fuente: el autor

O expresando los valores como Verdadero (V) y Falso (F):

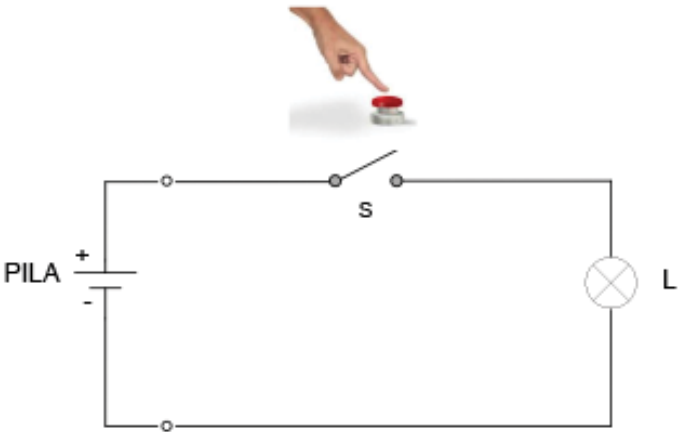
Tabla 22. Operación not

X	Y = NOT (X)
V	F
F	V

Fuente: el autor

Asociemos esta función lógica básica a un circuito muy simple compuesto por un switch S y un foco L:

Gráfico 32.Función lógica “not” asociada a un circuito simple



Fuente: el autor

Asociemos los valores de verdadero “V” al switch S cuando está cerrado. Y el valor “F”, es decir falso, cuando está abierto.

Y los valores de verdadero “V” al foco L cuando está encendido (ON) y de falso “F” cuando está apagado (OFF).

Tabla 23. Operación NOT, asociación de valores

S	L
CERRADO	ON
ABIERTO	OFF

Fuente: el autor

Por lo tanto, de acuerdo con la operación NOT:

Tabla 24. Operación NOT, asociación de valores

NOT(S)	L
ABIERTO	OFF
CERRADO	ON

Fuente: el autor

OPERACIÓN LÓGICA “AND”

Entre dos variables binarias p y q, puede establecerse una relación lógica de modo que una variable dependiente r, sea verdadera si tanto p como q son verdaderas. Veamos la siguiente tabla de verdad que contiene las cuatro posibilidades:

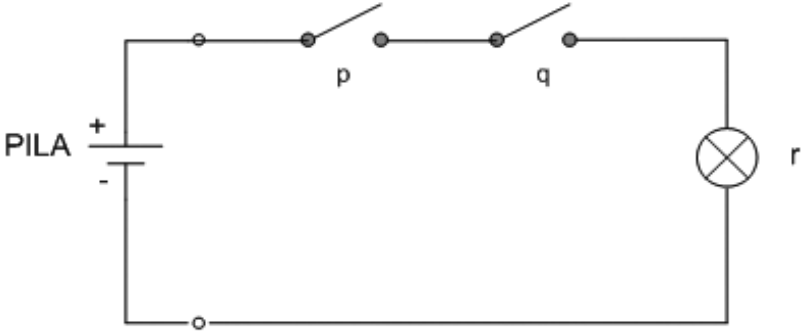
Tabla 25. Operación lógica AND

p	q	r = p (AND) q
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	F

Fuente: el autor

Esto puede asociarse a la siguiente conexión en serie de los switches p y q:

Gráfico 33. Circuito que representa la operación AND



Fuente: el autor

Puede observarse que, efectivamente, solo cuando ambos switches p y q están cerrados (verdaderos ambos), enciende el foco r (se pone en estado Verdadero).

OPERACIÓN LÓGICA “OR”

Entre dos variables lógicas p y q, puede establecerse una función r, para la cual, basta que una de las dos variables independientes p, q esté en estado Verdadero para que también la variable dependiente r sea Verdadera. Veamos la siguiente tabla de verdad:

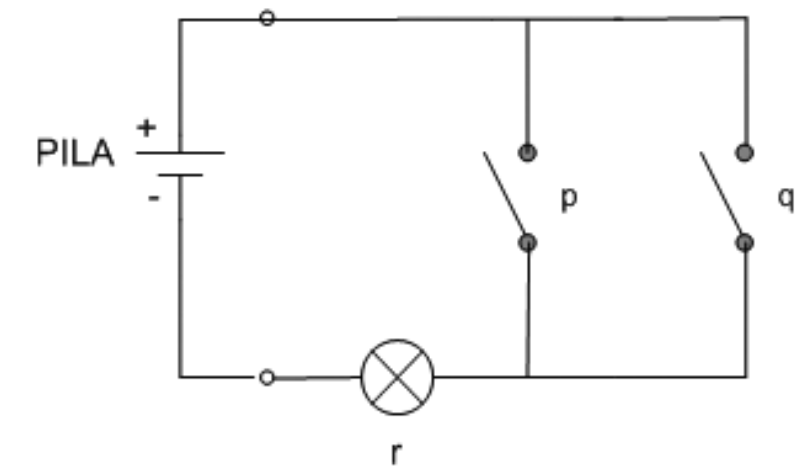
Tabla 26. Operación lógica OR

p	q	r = p (OR) q
V	V	V
V	F	V
F	V	V
F	F	F

Fuente: el autor

La función OR puede asociarse a un circuito cuyos switches p y q estén conectados en paralelo:

Gráfico 34. Representación en circuito de la operación lógica “OR”



Fuente: el autor

Efectivamente, podemos observar que el foco r se apaga solo cuando tanto el switch p como el switch q, están abiertos.

En lógica digital, hay funciones más complejas que las tres que hemos revisado; sin embargo, muchas de ellas son derivadas de las funciones básicas que hemos visto, por ejemplo, sea la función $r = (p \text{ AND } q) \text{ OR } (\text{NOT}(s))$

Su tabla de verdad sería:

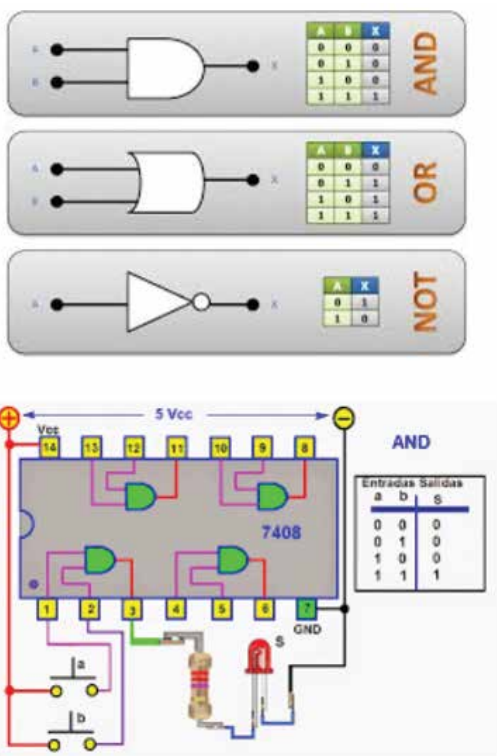
Tabla 27. Tabla de verdad

p	q	s	p AND q	NOT (s)	r
V	V	V	V	F	V
V	V	F	V	V	V
V	F	V	F	F	F
V	F	F	F	V	V
F	V	V	F	F	F
F	V	F	F	V	V
F	F	V	F	F	F
F	F	F	F	V	V

Fuente: el autor

En electrónica, con el uso de transistores, se implementan las compuertas AND y las compuertas OR, las cuales realizan las operaciones vistas; admiten ceros (0 voltios) y unos (5 voltios) en sus entradas lógicas p y q:

Gráfico 35. Circuitos integrados de compuertas lógicas



Fuente: National Instruments, 2012. Adaptado por el autor

La importancia de la lógica digital (basándose en el álgebra de Boole) es que en ella radica el diseño de los computadores digitales.

Con esto finalizamos la introducción matemática a nuestro curso de radiocomunicaciones. Lo que sigue es la introducción a la electricidad y el magnetismo.

2.2 DISEÑO DEL CURSO BÁSICO DE FÍSICA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN MICROONDAS PARA TRABAJADORES DE LAS TELECOMUNICACIONES

PROGRAMA DE CURSO

A. DATOS INFORMATIVOS:

CURSO:	BÁSICO DE FÍSICA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
CÓDIGO:	BFTE
PROGRAMA:	CAPACITACIÓN EN MICROONDAS
N.º HORAS	16

B. DESCRIPCIÓN DEL CURSO:

En este curso se hace un repaso de las principales unidades de medida en el marco del Sistema Internacional de unidades (SI) y sus equivalentes en el sistema Inglés que todavía se usa. Se hace énfasis en la conversión de unidades. Se trata con los múltiplos y submúltiplos así como sus prefijos. Se hace una introducción a la electricidad y el magnetismo. Se repasan conceptos de circuitos eléctricos.

C. PRERREQUISITOS

PRERREQUISITOS	
CURSO	CÓDIGOS
BÁSICO DE MATEMÁTICAS	BM

D. OBJETIVO GENERAL:

Repasar los sistemas de unidades de medida siempre en relación con el objetivo final que es el curso de microondas.

Se revisan también los conceptos de electricidad y magnetismo, acompañados preferentemente por experimentos sencillos para familiarizar a los estudiantes con el concepto. También se destaca el concepto de “tierra” desde el punto de vista de la electricidad y de las telecomunicaciones.

E. RESULTADOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Al completar en forma exitosa este curso, los estudiantes deben ser capaces de:

RESULTADO DE APRENDIZAJE DEL CURSO	NIVEL DE DESARROLLO INICIAL/MEDIO/ALTO
Sistemas de unidades	alto
Electricidad y magnetismo	medio
Circuitos eléctricos	medio
Tierra eléctrica	alto
Diferencia entre corriente alterna y continua	alto

F. CONTENIDOS

1. UNIDADES DE MEDIDA

- 1.1. Longitud, peso, tiempo. Conversiones.
- 1.2. Voltaje, corriente
- 1.3. Tiempo, frecuencia
- 1.4. Múltiplos y submúltiplos. Prefijos más comunes.

2. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

- 2.1. Definiciones
- 2.2. Maqueta generador electrostático

- 2.3. Maqueta electroimán
- 2.4. Maqueta motor eléctrico

CIRCUITOS ELÉCTRICOS

- 3.1. Voltaje, corriente, potencia
- 3.2. Tierra eléctrica
- 3.3. Visualización en un osciloscopio de la diferencia entre corriente alterna y corriente continua.

G. METODOLOGÍA, RECURSOS:

De la explicación pasamos directamente a realizar ejercicios de conversión de unidades, poniendo ejemplos relacionados a la actividad laboral.

Ayudamos al estudiante a crear conocimiento por medio del “ciclo de aprendizaje de la ciencia”, que como vimos consiste en presentar una situación y pedir que los estudiantes la traten de explicar. Por ejemplo, ponemos a funcionar el motor eléctrico casero y requerimos la explicación acerca de lo que está sucediendo. Después de analizados los conceptos básicos del electromagnetismo, el instructor vuelve sobre la maqueta del motorcillo y explica ahora si a los estudiantes. Luego vuelve a pedir a alguien que explique a los demás.

Lo mismo con las demás maquetas construidas para este curso. Posteriormente, hacemos uso de instrumentos de medición como el voltímetro y el osciloscopio a fin de aclarar los conceptos, sobre todo la diferencia entre AC y DC.

2.2.1 Propuesta curso básico de física y tecnología eléctrica

Luego de la parte introductoria, tenemos que abordar la temática relativa a los sistemas de medida y a los conocimientos básicos acerca de la electricidad y el magnetismo.

Unidades y sistemas de medida

Existen en la naturaleza distintas magnitudes físicas, las cuales el hombre ha podido cuantificar a lo largo de un proceso de siglos.

Una de las primeras cantidades susceptibles de medida es la longitud. Históricamente, el hombre ha comparado el tamaño y la longitud de las cosas que le rodean, con su propio cuerpo. De allí nacen las medidas en brazas, codos, pies, palmos, cuartas, etc.

Al llegar la revolución francesa se produjo un movimiento que pretendía uniformizar las medidas básicas, sobre todo de longitud. Es conocida la historia de la misión de “sabios franceses” que llegó a estas tierras con objeto de medir el arco del meridiano terrestre, ya que de allí surgió la definición de metro como unidad de medida de longitud.

En el museo “Arts et métiers” de París existe una sala dedicada a la historia de las unidades de medición. En dicha sala, se narra que en los años anteriores a la revolución - antes de 1789- tres misiones salieron a diferentes partes del mundo a verificar el tamaño del arco

del meridiano terrestre. Una se quedó en Europa entre Francia y España. Otra fue al África. Y, finalmente, dice el documento, otra misión salió hacia el virreinato del Perú, a la línea equinoccial. Esa precisamente es la cual quedó marcada en nuestra historia y de la cual se conocen muchos detalles, pues aquellos ingenieros franceses, como cualquier ser humano, entablaron relaciones de amistad y hasta de parentesco con los criollos de Quito, Riobamba y Cuenca. Un riobambeño ilustre, Pedro Vicente Maldonado, les acompañó en sus recorridos y colaboró con las actividades de agrimensura. Él luego viajó a Francia donde fue aceptado como miembro de la Academia de Ciencias de París (Casa de la Cultura ecuatoriana, 2004).

También el peso era una cantidad que fue tempranamente cuantificada. De allí tenemos la libra y la onza romanas, la fanega y el quintal español, etc.

Y el tiempo. La idea del tiempo surge de la duración del día y de la llegada de las estaciones del año. En muchas culturas, a través de la historia, se ha definido la duración tanto del día como del mes y del año; a menor escala las horas, los minutos hasta llegar al segundo.

En la actualidad, la ciencia está muy adelantada en cuanto a la definición de las magnitudes básicas. Al presente existen principalmente dos sistemas de unidades de medida que afectan directamente nuestro desenvolvimiento como técnicos de telecomunicaciones: el sistema internacional (SI) y el sistema inglés -también llamado sistema imperial, aunque esta palabra resulte anacrónica-.

Veamos en la siguiente tabla las unidades de medida fundamentales de ambos sistemas (entre paréntesis el símbolo que le corresponde)

Tabla 28. Sistemas de unidades internacional e inglés

	SI	Inglés
Longitud	Metro (m)	Pie (')
	Centímetro (cm)	Pulgada (")
Peso	Kilogramo (kg)	Libra (lb)
	Gramo (g)	Onza (oz)
Tiempo	Segundo (s)	Segundo (s)
Voltaje	Voltio (V)	Voltio (V)
Corriente	Amperio (A)	Amperio (A)
Frecuencia	Hertz (1/s)	Hertz (1/s)

Fuente: el autor

Tabla 29. Ejemplo de equivalencias entre SI e inglés

1 metro	3,28 pies
2,54 cm	1 pulgada
1 kg	2,2 libras
28 gramos	1 onza

Fuente: el autor

También existen magnitudes derivadas como la velocidad que se mide en m/s, km /h o pies /segundo.

La densidad de la materia se mide en gramos /cm³.

O la potencia eléctrica que se mide en voltios x amperios y que se conoce como Watt.

Los libros de física generalmente traen un apéndice muy completo para el estudio de las diferentes magnitudes. Se recomienda el libro *Física para la Ciencia y la Tecnología* de Tipler y Mosca (Tipler & Mosca, 2010).

Especial interés tenemos en esta introducción al curso de telecomunicaciones en la conversión de unidades. Por experiencia, sabemos que muchos manuales de antenas, torres, pasa muros, pueden venir de Europa o de los Estados Unidos. Si vienen de Europa, pueden ser oriundos de Inglaterra o Escocia, en cuyo caso usarán el sistema inglés.

Los productos provenientes del Asia, especialmente de China, generalmente usan el Sistema Internacional. En Ecuador, en la práctica, se usa mayoritariamente el SI, pero aún persisten (estimando) un 30 % de casos en los cuales se usa el sistema inglés: las llaves de tuercas expresadas en fracciones de pulgada es un ejemplo de ello.

Para convertir de una unidad a otra partimos del hecho que al multiplicar cualquier cantidad por 1; esta no se altera.

Una forma de escribir el uno, es escribir a /a, expresando así que una cantidad dividida por sí misma nos da siempre uno.

En conversión de unidades por ejemplo:

$$1 = \frac{1 \text{ pie}}{0,3048 \text{ m}}$$

$$1 = \frac{1 \text{ kg}}{2,2 \text{ lb}}$$

Por ejemplo, para convertir el peso de una persona, cuya masa es de 75 kg en libras; lo hacemos de la siguiente manera:

$$75 \text{ kg} * \frac{2,2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}}$$

Simplificando, kg con kg, nos queda 75 x 2,2 libras = 165 lb.

Otro ejemplo, el municipio de una ciudad multa por circular a más de 50 km /h. Se desea saber a cuantos m /s equivale esta velocidad:

$$50 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ m}}{\text{km}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

Entonces, multiplicamos dos veces por uno, pero acomodando la fracción para que sea posible la simplificación de unidades. Simplificamos km con km y h con h y nos queda:

$$50 * \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}}$$

Es decir, la multa aplica a partir de los 13,9 m /s. La respuesta no es trece coma nueve. La respuesta es trece coma nueve metros por segundo. *Recuerde, el buen técnico de telecomunicaciones, siempre detalla las unidades en las que obtiene sus resultados.*

Otro ejemplo: un equipo de técnicos debe instalar una antena parabólica de marca Andrew de procedencia inglesa. De acuerdo con el manual, la antena tiene un diámetro de diez pies y pesa 650 libras. El cliente desea saber estas características, pero expresadas en el sistema internacional.

Empezamos con el tamaño de la antena:

$$10 \text{ pies} * \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ pie}}$$

Simplificando las unidades pie con pie, el resultado es diámetro igual a 3,048 metros.

Y en cuanto al peso:

$$650 \text{ lb} * \frac{\text{kg}}{2,2 \text{ lb}}$$

Simplificando libra con libra nos resulta 1 peso en 295,4 kg.

Resumiendo y aproximando, decimos al cliente que es una antena de tres metros y que pesa 295 kg.

Medidas de tiempo y de frecuencia

Como ya anotamos, la unidad fundamental de medida del tiempo es el segundo. Una unidad derivada del concepto de tiempo es la frecuencia. No es extraño el término *frecuencia* en la vida cotidiana. Por ejemplo:

¿Con qué *frecuencia* va Ud. a misa?
El motor gira a 3 000 *revoluciones* por minuto.
La gente, usualmente, come con una *frecuencia* de tres veces al día.

Ya podemos ver que la *frecuencia* es algo que sucede en un periodo de tiempo y se repite luego exactamente igual en el siguiente periodo.

Los discos de acetato antiguos giraban a una frecuencia de 45 rpm (revoluciones por minuto). De allí, el grupo de cantantes famosos de los ochenta “Stars on forty five”.

La unidad de frecuencia en el Sistema Internacional es el Hertz o Hercio. Nombrado así en honor al científico alemán Heinrich Hertz y es el inverso del segundo

$$1 \text{ Hertz} = \frac{1}{\text{s}}$$

Un Hertzio aplica a cualquier evento que suceda ¡una vez por segundo!

En el ejemplo citado, si el motor del vehículo está girando a 3 000 rpm, como ejercicio convirtamos esta cantidad a Hertz:

$$3000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 50 \frac{\text{rev}}{\text{s}} = 50 \text{ Hz}$$

Es decir, el motor está rotando a razón de cincuenta veces por segundo.

Otro ejemplo, la corriente alterna que alimenta de energía eléctrica los hogares tiene un voltaje de 120 V con una frecuencia de 60 Hz. Esto quiere decir que la polaridad del voltaje se invierte sesenta veces por segundo. Más adelante en este curso daremos muchos ejemplos de esta magnitud llamada frecuencia debido a que es una característica fundamental de las señales radioeléctricas.

Múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida

En el caso de la longitud, la unidad fundamental es el metro. Pero, para las distancias grandes como es el caso de la separación entre Quito y Guayaquil, es más conveniente utilizar un múltiplo de metros; en este caso el kilómetro -que se abrevia km- equivale a mil metros.

Para medir distancias pequeñas, como es el caso del espesor de los cables de corriente eléctrica, el metro resulta ser demasiado grande como unidad de medida. Por ello se recurre al milímetro -se abrevia mm- que equivale a una milésima de metro.

Igual resulta para todas las medidas que, dependiendo del orden de magnitud, se usan mejor los múltiplos o los submúltiplos, los cuales se simbolizan con una letra que precede a la magnitud fundamental y expresa la cantidad de veces que esta ha sido aumentada o disminuida. En la siguiente tabla anotamos los prefijos más usados en telecomunicaciones:

Tabla 30. Múltiplos y submúltiplos de las unidades fundamentales

Prefijo	Denominación	Representa	Matemáticamente	Ejemplo	Se lee
p	pico	Millonésima de millonésima	10 ⁻¹²	ps	Pico segundo
n	nano	Mil millonésima	10 ⁻⁹	ns	Nano segundo
u	micro	millonésima	10 ⁻⁶	um	Micrómetro
m	mili	milésima	10 ⁻³	mm	milímetro
k	kilo	Mil veces	1000	km	kilómetro
M	mega	Un millón	1 000 000	MHz	Mega hertz
G	giga	Mil millones	10 ⁹	Gb	Giga bit
T	tera	Millón de millones (billón)	10 ¹²	TB	Tera byte

Fuente: el autor

Electricidad y magnetismo

Esta es una rama muy interesante de la física general. En el dominio de estos dos fenómenos, se basa en gran parte el estado actual tecnológico que vive nuestro planeta. Veamos un recuento histórico.

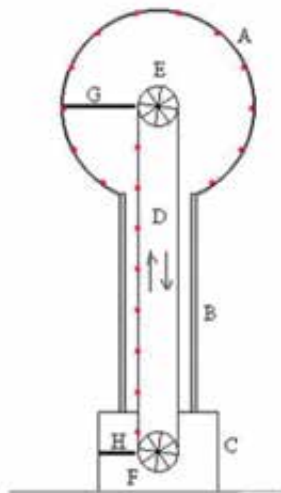
La palabra electricidad proviene del griego *elektron* que significa ámbar. El ámbar es un material encontrado en la naturaleza y que frotado con un tejido de lana, provoca la atracción de pequeños objetos como trocitos de papel. Los griegos fueron los primeros en dar cuenta de este curioso fenómeno. También nosotros cuando escolares frotamos un bolígrafo de plástico con nuestro cabello y vimos que atrae pequeños trozos de papel.

Por su parte la palabra magnetismo proviene también de la región griega de “magnesia” donde existe una piedra natural (llamada magnetita) que tiene la propiedad de atraer metales como el hierro.

En el libro escrito por Albert Einstein -que se puede bajar de Internet- “La evolución de la Física” (Einstein & Infeld, 1986), consta un interesante recuento que los amantes de la ciencia, sean o no técnicos, pueden disfrutar por el lenguaje ameno en que el sabio autor lo escribió en ¡1938!

En esa época, los griegos no lo sabían, pero lo que estaba sucediendo es que al frotar el ámbar con la lana, este quedaba eléctricamente cargado y por su parte los pequeños trozos de papel eran atraídos por el “campo” eléctrico formado alrededor del mismo. Para ejemplificar el concepto de campo eléctrico se dispone de una MAQUETA, la #2., donde se experimenta con el llamado Generador de Van der Graaf. Este lo que hace es hacer correr una pequeña banda de tela entre dos rodillos de plástico y de vidrio, de modo que se cargue la esfera de cobre:

Gráfico 36. Generador de Van der Graaf



Fuente: Tipler & Mosca, 2010. Adaptado por el autor. H y G son escobillas. F eje de vidrio. E es eje de teflón o de plástico. B es tubo aislante. D es la banda de tela. C es una base aislante de madera.

Gráfico 37. MAQUETA #2, generador electrostático artesanal



Fuente: el autor

Generador de Van der Graaf casero, construido a un costo inferior a los veinte dólares. Sirve para generar electricidad estática. En las fotografías, se puede observar los hilos de nylon repelerse entre sí, o atraer una pequeña bolita hecha con el papel aluminio del envoltorio de un chocolate.

Con esta maqueta podemos visualizar la existencia real del campo eléctrico y notar cómo su poder de atracción disminuye con la distancia. Podemos visualizar que existen cargas positivas y negativas; repelidas cuando son del mismo signo y atraídas cuando son del signo contrario. Podemos también hacer carga por inducción.

Otro experimento muy simple es demostrar que toda corriente eléctrica genera un campo magnético a su alrededor. Para esto simplemente enrollamos en un cilindro de PVC alrededor de cien vueltas de alambre de cobre aislado, con ello hemos formado una pequeña bobina que suma los campos magnéticos a lo largo del eje cilíndrico de cada una de las espiras (vueltas) del alambre. Para notar el efecto nos ayudamos de una brújula. En la fotografía de la izquierda, la brújula apunta al Norte del planeta; en la de la derecha, una vez que hemos conectado la pila de 1,5 V, vemos que la brújula se ha reorientado hacia el eje del cilindro (la bobina).

Este sencillo experimento es clave para demostrar la naturaleza yuxtapuesta entre la electricidad y el magnetismo. En resumen: toda carga eléctrica en movimiento produce un campo magnético y viceversa todo campo magnético en movimiento produce carga eléctrica.

Gráfico 38. MAQUETA #3, solenoide



Fuente: el autor

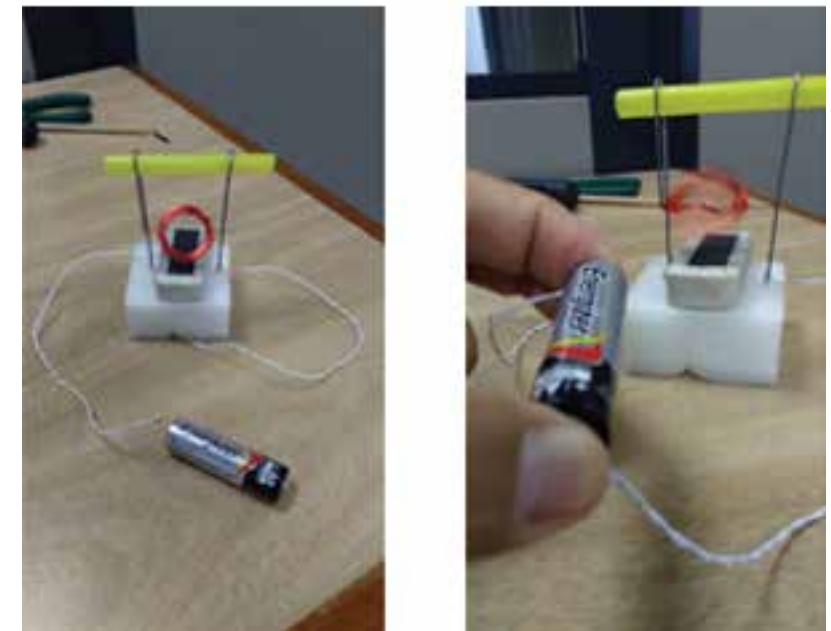
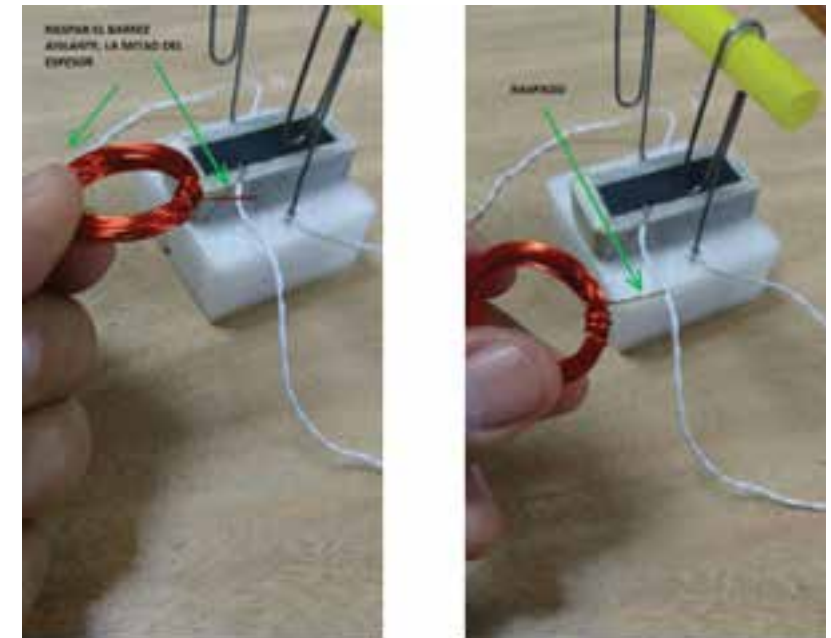
Los principios naturales citados, nos llevan a la construcción de una CUARTA MAQUETA: Construimos una bobina de cobre achatada que contiene cincuenta vueltas de alambre arrollándolos juntos en un palo de escoba, lo colocamos entre dos clips grandes y lo sujetamos a una base de espuma flex, como se ve en la fotografía. Ponemos un trozo de sorbete plástico como travesaño para darle estabilidad. Colocamos un imán permanente debajo de la bobina, cerca pero sin rozarla y, aplicamos la electricidad con una pila. La bobina gira apoyada en los clips. ¡Hemos construido un motor eléctrico!

El secreto es que el esmalte del alambre de cobre que descansa apoyado en los clips, debe estar raspado, es decir quitado el aislamiento en un 50 %, solo para que haga contacto eléctrico con el clip.

Lo que está sucediendo es muy simple. Al circular corriente de la pila, la bobina se torna en imán. Al ser imán, se reorienta con el imán permanente que está bajo ella. Al reorientarse se mueve, gira. Pero cuando esto sucede pierde contacto eléctrico con los clips (recuerden que está raspada solo la mitad del aislamiento); al suceder esto deja de ser imán y cae por su propio peso hasta quedar de nuevo vertical como al principio; mas, justo en ese momento vuelve a hacer contacto eléctrico con los clips y, nuevamente, se torna imán y así, sucesivamente...

Así, estos sencillos experimentos nos permiten apreciar de manera objetiva el aspecto electro-magnético del mundo que nos rodea.

Gráfico 39. MAQUETA #4. Motor eléctrico básico



Fuente: adaptado por el autor

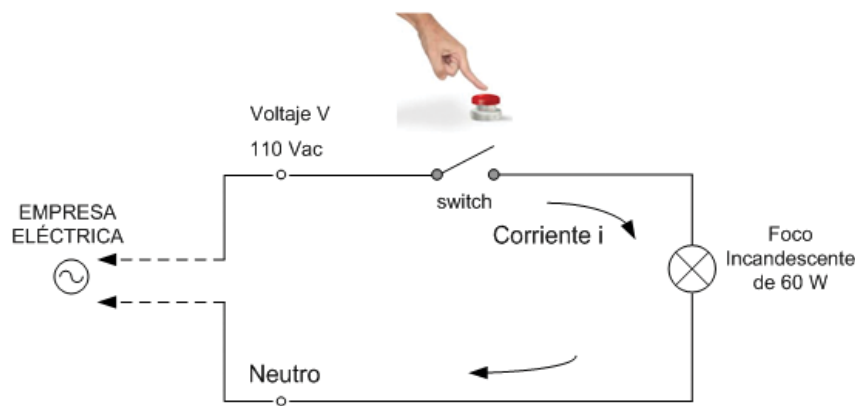
Circuitos eléctricos

En la vida cotidiana, la electricidad nos rodea por todas partes. Sabemos, porque lo hemos escuchado, que la electricidad en casa es de 110 o de 220 V AC. Esta abreviatura significa corriente alterna (*alternating current* en inglés).

Un circuito eléctrico es un camino cerrado para la corriente eléctrica, por ejemplo al encender el foco de la habitación, lo que hacemos es permitir que la corriente atraviese el filamento del bombillo y regrese a su hilo neutro. La resistencia que opone el filamento del foco al paso de la corriente eléctrica provoca un gran calentamiento y por tanto la incandescencia que nos da luz.

En este sencillo ejemplo de la vida cotidiana, ya tenemos los conceptos claves: voltaje, corriente y resistencia. Adicionalmente, la etiqueta del foco decía 60 W, que quiere decir que consume 60 vatios. Posteriormente, veremos el concepto de potencia eléctrica que se mide en vatios -se simboliza W-.

Gráfico 40. Circuito eléctrico doméstico



Fuente: el autor

Unas fórmulas muy sencillas relacionan las magnitudes voltaje, corriente y resistencia eléctrica. Llamemos en adelante al voltaje V, la corriente I y la resistencia R. Las unidades son el voltio (V), amperio (A) y el ohm (Ω), respectivamente.

$$V = I * R$$

Se lee voltaje es igual a corriente multiplicado por el valor de la resistencia.

$$P = V * I$$

Se lee potencia es igual a voltaje multiplicado por corriente.

En el ejemplo doméstico citado, nos informan que el voltaje es de 110 V y que la potencia del foco es 60 Watt. La unidad Watt no es más que voltio por amperio (60W = 60 V.A).

Por lo tanto:

$$60 = 110 * I$$

Despejando I (el 110 que la multiplica, pasa al otro lado de la ecuación a dividir)

$$I = \frac{60 \text{ V} * \text{A}}{110 \text{ V}}$$

Simplificando las unidades voltio nos queda:

$$I = 0,55 \text{ A}$$

Saber qué corriente consume un aparato eléctrico nos sirve para dimensionar tanto el *breaker* (o fusible) como el calibre de los cables necesarios. Por ejemplo, una ducha consume 3 500 W y opera a 120 V AC. ¿Qué corriente consume?, ¿qué *breaker* es el adecuado y cuál es el número de cable adecuado?

$$\text{Ya habíamos encontrado que } I = \frac{P}{V}$$

$$\text{Entonces } I = 3500/110 = 29,2 \text{ Amperios}$$

El *breaker* deberá ser por lo menos de este valor, comercialmente se encuentran *breakers* de 40 A, que en este caso sería el adecuado. En cuanto al calibre del cable, recurrimos a la tabla AWG (American Wire Gauge)

Tabla 31. Calibre de cables según AWG

AWG	Diam. mm	Amperaje	AWG	Diam. mm	Amperaje
1	7.35	120	16	1.29	3,7
2	6.54	96	17	1.15	3,2
3	5.86	76	18	1.024	2,5
4	5.19	60	19	0.912	2,0
5	4.62	48	20	0.812	1,6
6	4.11	38	21	0.723	1,2
7	3.67	30	22	0.644	0,92
8	3.26	24	23	0.573	0,73
9	2.91	19	24	0.511	0,58
10	2.59	15	25	0.455	0,46
11	2.30	12	26	0.405	0,37
12	2.05	9,5	27	0.361	0,29
13	1.83	7,5	28	0.321	0,23
14	1.63	6,0	29	0.286	0,18
15	1.45	4,8	30	0.255	0,15

Fuente: *American wire gauge*. Adaptado por el autor

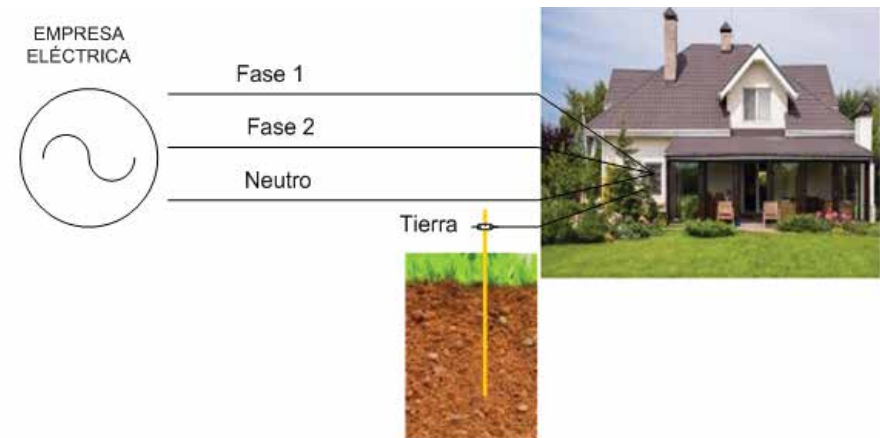
Observamos que el cable #7 sería el correcto para la instalación de esta ducha, pero casi cuatro milímetros de espesor lo convierten en un cable caro.

Una alternativa sería comprar una ducha de 3 500 W, pero que funcione a 220 V de AC.
En ese caso es fácil calcular la corriente $I = 15,9$ Amperios,
Para lo cual bastará el cable #9 o si no el #10.

Concepto de tierra (desde el punto de vista eléctrico)

Actualmente, en las instalaciones domésticas se dispone de las dos opciones, 120 Vac o 220 Vac.
Esto es debido a que a una residencia llegan desde la empresa eléctrica dos fases y el neutro siempre. Adicionalmente suele haber una varilla de cobre de 2 m de largo y 2 cm de diámetro, que proporciona un cuarto cable llamado “tierra”, debido a que hace contacto con el planeta, el cual es la fuente infinita de electrones.

Gráfico 41. Instalación eléctrica comercial



Fuente: el autor

Con la ayuda de un voltímetro (el instrumento que sirve para medir voltajes, los hay muy baratos desde diez dólares hasta cientos dólares) podemos medir los voltajes que alimentan de electricidad una residencia común.

Gráfico 42. Medidor de voltaje, corriente y resistencia también llamado “multímetro”



Fuente: el autor

En el gráfico # 40, se pueden medir los siguientes voltajes:

Tabla 32. Voltajes medidos en una instalación doméstica (voltios AC)

	Fase 1	Fase 2	Neutro	Tierra
Fase 1	-	220	120	120
Fase 2	220	-	120	120
Neutro	120	120	-	<1
Tierra	120	120	<1	-

Fuente: el autor

Observemos que la “puesta a tierra” es una instalación local, es decir no llega junto con los otros cables desde la empresa eléctrica. Una puesta a tierra doméstica mide entre 10-20 Ω , dependiendo de las características conductivas del suelo.

Pero para una estación de telecomunicaciones, se recomienda que este valor sea inferior a los 4 Ω . Para ello se forma una verdadera malla que interconecta varias varillas de cobre incrustadas en el suelo. El valor de esta resistencia es muy bajo puesto que la puesta a tierra debe proteger eficientemente los equipos electrónicos de telecomunicaciones y el personal, de las descargas atmosféricas. Posteriormente veremos un gráfico de una malla de tierra para telecomunicaciones.

El cable de tierra generalmente se lo distingue porque es amarillo con verde, como norma de la industria.

Hay que poner atención a tocar con la mano una de las fases porque si bien usamos calzado que nos aísla de tocar la tierra y posiblemente el piso de la casa es baldosa, madera, alfombra, no nos libra 100 % de hacer contacto con el planeta y podemos sufrir una correntada.

El ejemplo que hemos puesto para una instalación eléctrica residencial implica el uso de voltaje alterno; es decir cuya polaridad se alterna periódicamente entre el hilo de fase y el hilo de neutro.

Sin embargo, los principios son los mismos si hubiésemos tomado como ejemplo el circuito eléctrico de un carro cuya batería suministra voltaje continuo de 12 voltios DC (DC significa direct current)

Por ejemplo si el foco de salón tiene una potencia de 3 W, podemos calcular la corriente dividiendo:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 0,25 \text{ Amperios DC}$$

Simplificando voltio con voltio, nos queda $I = 0,25$ Amperios DC

Por supuesto que si la fuente de energía suministra voltaje DC, la corriente originada será también DC. ¿Pero, cuál es la diferencia entre voltaje AC y voltaje DC? Lo mejor es visualizarlo en un instrumento: el osciloscopio, el cual es un instrumento que en su pantalla tiene un plano cartesiano. En el eje vertical (y) se grafica el voltaje y en el eje horizontal (x) se grafica el paso del tiempo.

Actividad práctica, diferencia entre AC y DC

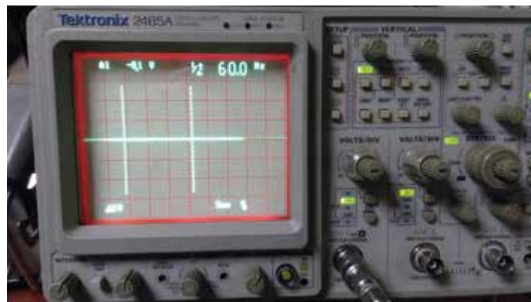
Necesitamos los siguientes materiales:

Un adaptador AC/AC que nos transforme de 120 voltios AC a 3 voltios AC

Una pila de 1,5 Vdc (la común AA)

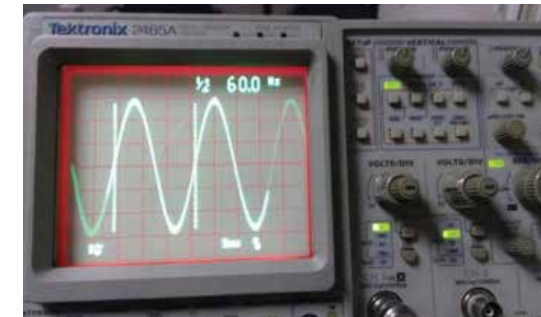
Y observamos la pantalla del osciloscopio:

Gráfico 43. Osciloscopio con voltaje de entrada nulo: ni AC ni DC.
El eje de las X es el tiempo, graduado a 5 milisegundos por división.
El eje de la y es voltaje graduado a 2 voltios por división



Fuente: el autor

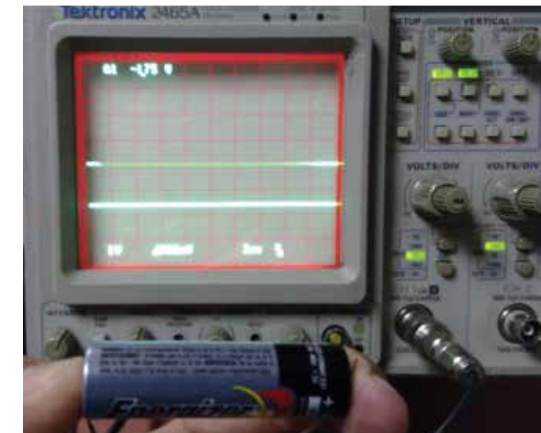
Gráfico 44. Osciloscopio muestra una señal de voltaje alterno, la mitad del ciclo es polaridad positiva y la otra mitad es polaridad negativa. La frecuencia es 60 Hz



Fuente: el autor

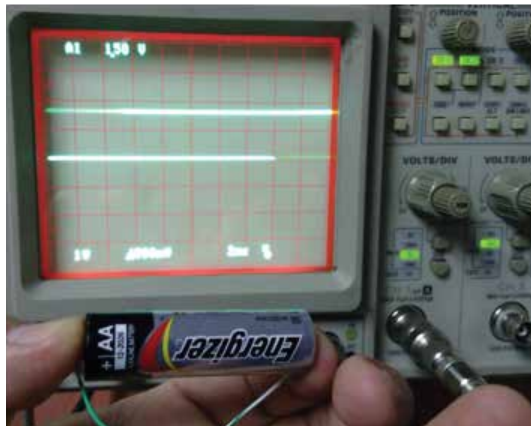
Obsérvese la similitud de esta señal con la función $y = \sin(x)$ representada en el gráfico #29

Gráfico 45. Voltaje suministrado por la pila cuando el hilo verde va al negativo: -1,5 Voltios. Y así se mantiene a lo largo del tiempo



Fuente: el autor

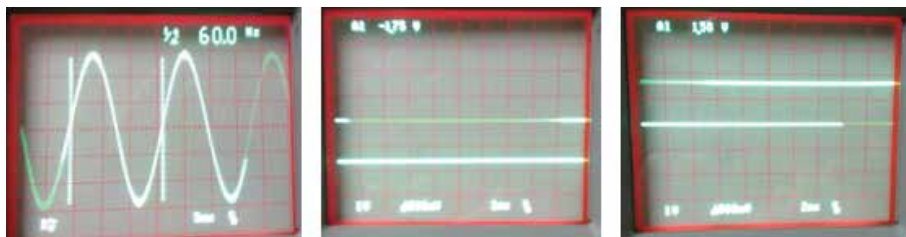
Gráfico 46. Voltaje de la pila, con el hilo verde conectado al positivo: +1,5 voltios respecto al eje x y así se mantiene a lo largo del tiempo



Fuente: el autor

Ahora pongamos juntas las gráficas:

Gráfico 47. Comparación de los voltajes alterno, continuo negativo y continuo positivo, respectivamente



Fuente: el autor

Ejemplos de voltaje o corriente continua son los siguientes:

- La pila doble A usada en el experimento.
- La batería de cualquier vehículo. Que por cierto lleva conectado el negativo a la carrocería (fierros) y esto implica que el “vivo”, es decir, el “hilo activo” es el positivo en el cual se deben intercalar los fusibles para que protejan los circuitos.
- El adaptador con el que se carga cualquier *laptop*. Usualmente, el positivo es el centro del conector que se inserta en la laptop. Los hay de varios voltajes y es necesario ser muy cauto en usar lo especificado por el fabricante, de lo contrario puede quemarse el disco duro.
- La batería ion litio de cualquier celular.
- La energía DC de una estación de telecomunicaciones.

En cuanto a corriente alterna, el mejor ejemplo es la energía residencial que tiene una frecuencia de 60 Hz, pero que en su camino hacia las ciudades puede llegar a tener voltajes de 230 000 V o 500 000 (500 kV), en el caso de la nueva central Coca Codo Sinclair.

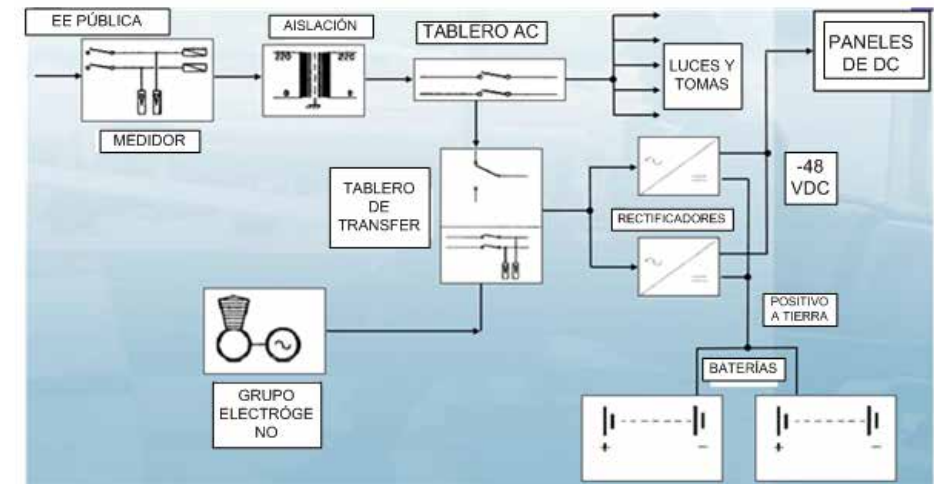
Fuente de energía en las estaciones de telecomunicaciones

Si bien la energía principal de una estación de telecomunicaciones es igual a la residencial, es decir alterna, dos o tres fases, neutro y tierra, los equipos y aparatos electrónicos que sirven para generar las señales radioeléctricas, funcionan a 48 voltios de corriente continua.

La energía alterna comercial, es transformada en energía continua mediante el “rectificador” el cual es un aparato electrónico que convierte de AC en DC (como el adaptador de una *laptop*, pero esto es a 16 voltios dc) con niveles de potencia altos, capaces de entregar cientos de amperios DC.

Es muy importante también notar que en estas instalaciones el hilo “vivo” es el negativo. Al contrario que en los vehículos, en las instalaciones de telecomunicaciones, el positivo es quien va conectado a “masa” o “tierra”. Por lo tanto, se dice que los aparatos funcionan a -48 Vdc (menos cuarenta y ocho voltios dc). Y es en el alambre negativo donde se ubican los *breakers* protectores de cortocircuitos.

Gráfico 48. Diagrama de energía en una estación de telecomunicaciones



Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

2.3 DISEÑO DEL CURSO BÁSICO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN MICROONDAS PARA TRABAJADORES DE LAS TELECOMUNICACIONES

PROGRAMA DE CURSO

A. DATOS INFORMATIVOS:

CURSO:	BÁSICO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS
CÓDIGO:	BOEM
PROGRAMA:	CAPACITACIÓN EN MICROONDAS
N.º HORAS	16

B. DESCRIPCIÓN DEL CURSO:

En este curso abordaremos los fenómenos oscilatorios que ocurren en la naturaleza, ya que las ondas electromagnéticas son parte de ellos. Se hará una descripción detallada del fenómeno de radiación, es decir cuando se produce la onda; para ello será necesario revisar conceptos de amplificación y realimentación. Luego se procederá a realizar una definición de los parámetros que caracterizan a las ondas electromagnéticas y sus unidades de medida. Finalmente estaremos en condiciones de comprender el espectro electromagnético.

C. PRERREQUISITOS

PRERREQUISITOS	
CURSO	CÓDIGOS
BÁSICO DE MATEMÁTICAS	BM
BÁSICO FÍSICA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA	BFTE

D. OBJETIVO GENERAL:

Conocer de forma didáctica el fenómeno de generación y radiación de ondas electromagnéticas. Establecer sus características y las unidades de medida que se necesitan para poder trabajar con dichas ondas. Definir el concepto de espectro electromagnético.

E. RESULTADOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Al completar en forma exitosa este curso, los estudiantes deben ser capaces de:

RESULTADO DE APRENDIZAJE DEL CURSO	NIVEL DE DESARROLLO INICIAL/MEDIO/ALTO
Fenómenos ondulatorios	alto
Generación de ondas electromagnéticas (EM)	medio

Parámetros de la ondas (EM)	alto
Medidas de frecuencia y de potencia	alto
Definición de decibelio (dB) y decibelio sobre milivatio (dBm)	alto
Concepto de espectro electromagnético y ancho de banda espectral.	alto

F. CONTENIDOS

1. FENÓMENOS ONDULATORIOS

- 1.1. Ondas en la naturaleza
- 1.2. Ondas longitudinales y ondas transversales
- 1.3. Generación de ondas. Amplificación y realimentación.
- 1.4. Circuitos de oscilador

2. EMISIÓN ELECTROMAGNÉTICA

- 2.1. Fenómeno de resonancia y de radiación. Concepto de antena.
- 2.2. Definición de longitud de onda
- 2.3. Potencia de las señales radioeléctricas
- 2.4. Decibelios

3. FRECUENCIA DE LAS SEÑALES ELÉCTRICAS

- 3.1. La frecuencia como variable independiente de una función sinusoidal.
- 3.2. Concepto de espectro radioeléctrico

G. METODOLOGÍA, RECURSOS:

Las explicaciones siempre harán referencia a las vivencias cotidianas de cualquier persona, no en vano el instructor ayuda a los asistentes a construir conocimiento sobre la base de lo que ya conocen. Con la ayuda de una maqueta, un radio de AM, se explicará el fenómeno del electromagnetismo usado para transmitir información útil.

Se pondrá énfasis en la definición de decibelio, para lo cual deben abundar los ejemplos, ya que esta unidad de medida es fundamental en las telecomunicaciones.

2.3.1 Propuesta curso básico de ondas electromagnéticas

Fenómenos oscilatorios en la naturaleza

Son comunes en la vida cotidiana los fenómenos oscilatorios de carácter periódico. Por ejemplo tenemos la alternancia de días y noches. El péndulo de un reloj. El columpio del parque de juegos infantiles. El latido del corazón. La vibración de una cuerda de guitarra. Una gota de agua que se escapa de un grifo mal cerrado. El rebote de una pelota de goma. El *bungee*

jumping con el que se divierten los niños. Y como ya habíamos mencionado anteriormente, todo movimiento periódico está caracterizado por la frecuencia con que se repite.

Muchos de ellos están asociados al movimiento circular, tal es el caso del giro de una perinola o de una moneda que al caer al suelo, oscila primero. O el de la válvula de una rueda de bicicleta que gira a velocidad constante, la válvula pasa por el trinche periódicamente.

Al interactuar el fenómeno oscilatorio con su entorno, puede comunicar su periodicidad a la materia que le rodea transfiriendo su propia energía. Ejemplo de esto es la cuerda de guitarra, que al ser rasgada, oscila y al oscilar contacta energía al aire que la rodea creando de esta manera una onda acústica, la cual no hace sino propagar por el aire la energía que le comunicó la cuerda, pero en forma de sonido. Por ejemplo, la nota musical LA tiene una frecuencia de 440 Hz. Hubo un grupo musical que se llamó Juan Luis Guerra y los 4-40.

En un estanque puede suceder que desde un tejado caiga permanentemente una gota de agua cada cierto tiempo. Esta, al impactar la superficie del estanque con el agua en reposo, disipa su energía haciendo que las partículas de agua empiecen a oscilar también y empujadas unas a otras, se cree la singular onda en la superficie del agua.

Gráfico 49. Ondas de agua en la superficie de un estanque



Fuente: el autor

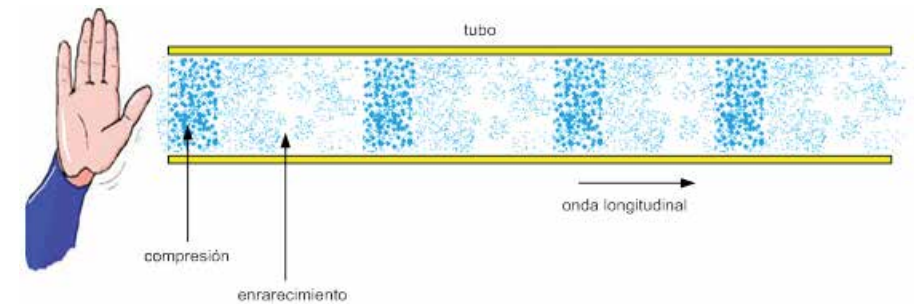
El ejemplo ondulatorio de la gota de agua que cae en el estanque es muy útil porque permite visualizar o representar en cierta medida el fenómeno de las ondas electromagnéticas que son invisibles!

Un corcho que flota en el agua se desplaza en sentido vertical cuando pasa una onda por debajo de él. O la flor de la figura #49 no se desplazan en el sentido radial de avance de la onda. Esto quiere decir que la dirección de avance de la energía de la onda es transversal al

movimiento de las partículas del medio. En este caso se ha generado una *onda transversal*.

No sucede lo mismo con el sonido. Por ejemplo tomemos un tubo de PVC de dos pulgadas de diámetro y algo así como un metro de largo. Impactemos con la palma de la mano en uno de los extremos. Se escuchará que sale un sonido grave del otro lado del tubo.

Gráfico 50. Compresión del aire en un tubo



Fuente: el autor

En este caso la dirección en que se propaga la perturbación, es la misma que la que se han movido las partículas del aire. Estamos ante el caso de *onda longitudinal*.

Resumiendo, una onda es un fenómeno natural de carácter oscilatorio, propagador de energía. Las hay de dos tipos longitudinales (como el sonido) y transversales (como la onda de agua).

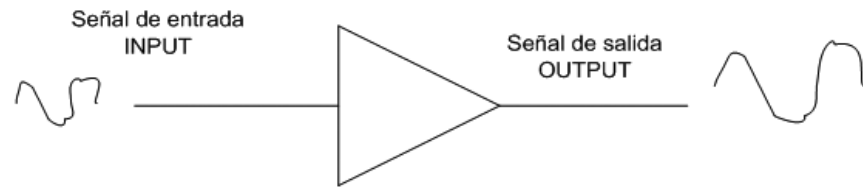
Las partículas que gozan de cierta libertad pueden moverse al vaivén de la onda. Como sabemos los metales se caracterizan por ser excelentes conductores de electricidad y ello se debe a que su materia está constituida de modo que quedan muchos electrones libres de sus átomos. Hablando en forma coloquial, los átomos de un metal literalmente nadan en un mar de electrones libres. Se calcula que en una moneda de cobre de unos tres gramos de peso, hay alrededor de 8×10^{23} electrones (Tipler & Mosca, 2010). Un ocho con 23 ceros.

Imagínense si ponemos a oscilar a todos esos electrones que gozan de completa libertad. La cuestión es cómo.

Se conoce como *electrónica* a la tecnología que permite manipular la electricidad; pero, no propiamente como simple energía, sino con fines de control y envío de señales o información.

Un amplificador es un dispositivo electrónico que permite "agrandar" una señal eléctrica, por ejemplo de audio, a fin de generar más potencia en el parlante.

Gráfico 51. Amplificador



Fuente: el autor

En la figura anterior, observamos lo que hace un amplificador: a la señal o voltaje de entrada simplemente lo aumenta de tamaño (el doble en este caso). La señal de salida es idéntica a la señal de entrada excepto por su amplitud. Es decir la salida es análoga a la entrada, porque es semejante a ella.

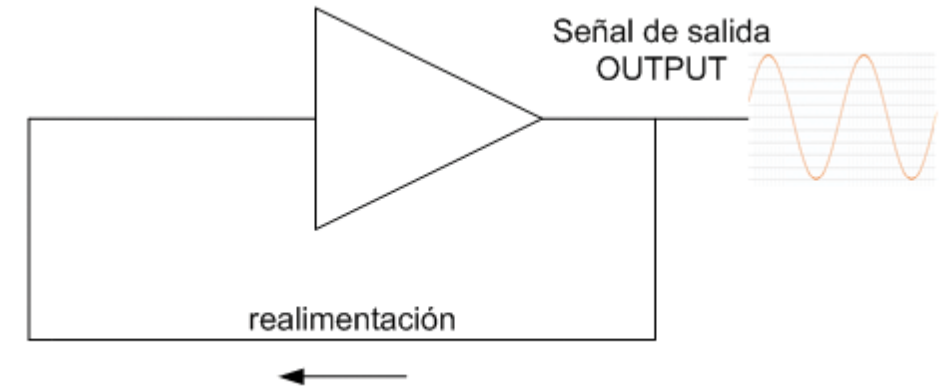
Cuando no ha habido ningún proceso de transformación o codificación de la señal de entrada a un circuito electrónico, tanto que la señal de salida aún es semejante a la señal de entrada, se dice que estamos en el campo de la electrónica analógica. Como veremos más adelante, esta puntualización tiene capital importancia, ya que nos permite diferenciar claramente de la electrónica digital.

Por el momento volvamos al amplificador de la figura #51. Si tomamos una muestra de la salida del amplificador y la usamos como entrada al mismo estamos realizando lo que se conoce como un proceso de realimentación (también conocido como *feedback* en inglés).

Haciendo una digresión, los procesos de realimentación son comunes a todo sistema que pretende mejorar de alguna manera. Por ejemplo, en educación, los resultados de la evaluación pueden servir para mejorar el contenido de los cursos y los métodos de enseñanza. La cuestión es qué cantidad de peso se atribuye a los resultados de la evaluación en la elaboración del nuevo currículo.

En el amplificador también puede haber más o menos realimentación. Un efecto común en los eventos musicales sucede cuando el cantante con micrófono en mano se acerca a uno de los parlantes. En ese momento el sonido que sale del parlante ingresa al micrófono y de allí va al amplificador que alimenta el dicho parlante. Se produce una realimentación, la cual se puede escuchar como un pitido molesto entre el público asistente. El pitido será más fuerte mientras más cercanos estén parlante y micrófono, es decir que más salida vuelva a reintroducirse por la entrada. El pitido es agudo ya que corresponde a una oscilación de audio que da un tono de unos 1 200 Hz.

Gráfico 52. Amplificador realimentado oscila. Señal de salida voltaje alterno, senoidal

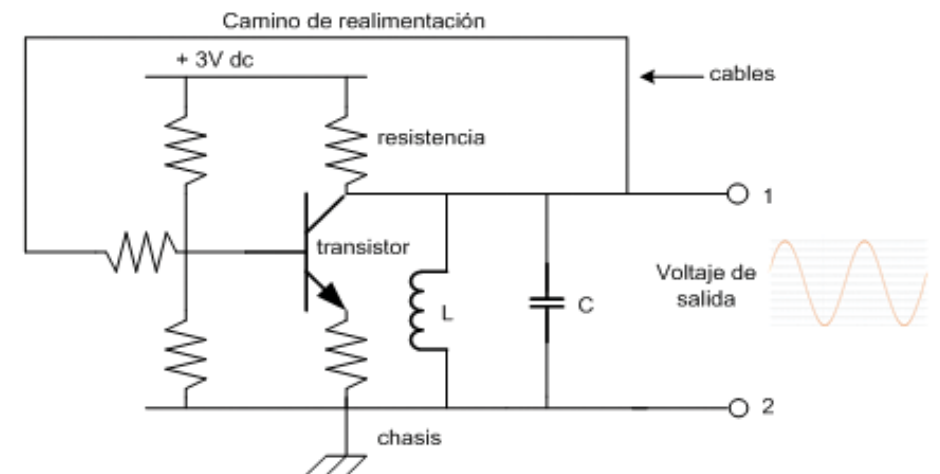


Fuente: el autor

En el campo de las telecomunicaciones interesa sobretodo la frecuencia a la cual oscile la señal de salida. Para esto se utiliza una bobina de inductancia L en paralelo con un condensador de capacitancia C . La frecuencia de oscilación está dada por la relación:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}}$$

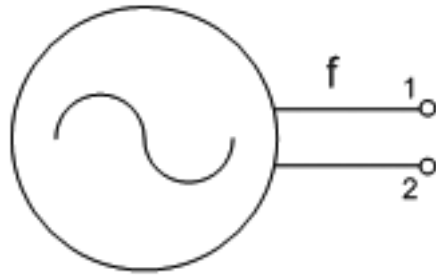
Gráfico 53. Oscilador de frecuencia determinada



Fuente: el autor

Entre los puntos 1 y 2 va a existir un voltaje de salida oscilatorio como el mostrado. Generalmente, un oscilador se simboliza de la siguiente manera:

Gráfico 54. Simbología de un oscilador de frecuencia f

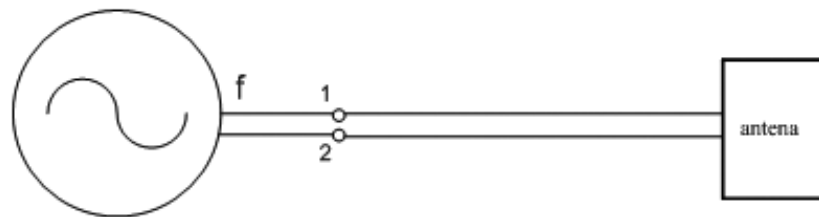


Fuente: el autor

De acuerdo con la figura anterior, vemos que la característica más importante de un oscilador, no es el valor del voltaje que entrega, sino su frecuencia.

Como ya hemos anotado, en electrónica no se persigue el uso de la electricidad como fuerza bruta, sino más bien como señal de información. Por lo tanto no vamos a utilizar el voltaje de salida de un oscilador para encender, digamos, un foco. Nosotros lo conectaremos a una antena, ya que como habíamos visto, toda carga en movimiento genera a su alrededor un campo magnético; si el movimiento es oscilatorio, el campo magnético creado será también oscilatorio. También vimos que la variación de campo magnético genera un campo eléctrico y si el campo magnético es oscilatorio, lo será también el campo eléctrico así creado. El momento que las dos oscilaciones se alternan tanto eléctrica como magnética, se produce el fenómeno de radiación. Es así como la energía generada por el oscilador se disipa en una pequeña parte como calor, la mayor parte resulta energía de radiación: *la onda electromagnética*.

Gráfico 55. Oscilador conectado a una antena



Fuente: el autor

La antena más natural es el llamado "dipolo" que consiste simplemente en doblar en ángulo recto el mismo par de alambres conductores con que se alcanza la salida del oscilador:

Gráfico 56. Antena dipolo de longitud L

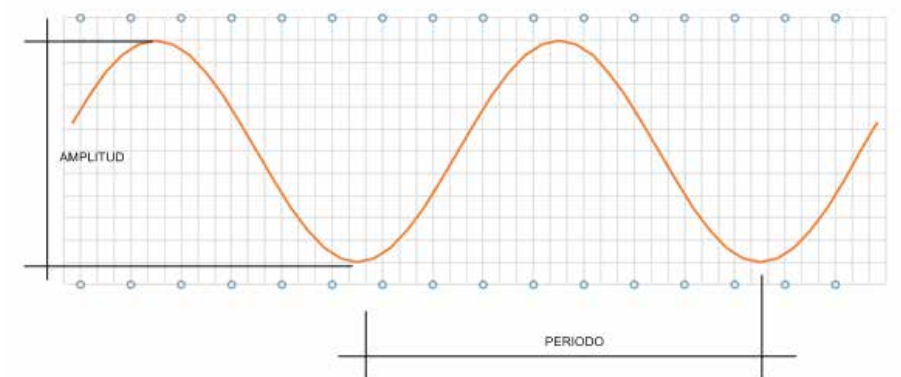


Fuente: el autor

Frecuencia, resonancia y longitud de onda

Ya habíamos visto que el voltaje y la corriente que entrega un oscilador o generador, es de tipo sinusoidal, es decir sigue la función $y = \sin(x)$, por lo tanto tiene una amplitud, una frecuencia, un periodo y una longitud de onda.

Gráfico 57. Características de una onda sinusoidal



Fuente: el autor

El *periodo* T es el lapso transcurrido hasta culminar una oscilación completa, a partir de la cual ésta se repite indefinidamente. Por lo tanto, la frecuencia viene a ser el inverso del periodo:

$$f = \frac{1}{T}$$

Lógicamente, si el periodo está en segundos, la frecuencia estará en Hertzios.

La amplitud es el pico de voltaje que alcanza la señal, de acuerdo con las especificaciones del oscilador.

Debido a que las ondas electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz (Maxwell, 1876), se define la longitud de onda como la distancia que avanza la onda en el lapso de un periodo.

Por lo tanto, la relación es:

$$\text{velocidad} = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}$$

La velocidad de la luz se simboliza con la letra c y equivale a 300.000 km /s.

La longitud de onda de una señal se simboliza con la letra griega λ "lambda"

Por lo tanto,

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

O lo que es más común:

$$c = \lambda * f$$

Para una frecuencia en particular, se establece la longitud de onda correspondiente mediante la siguiente relación fundamental para el técnico de telecomunicaciones:

Que se lee: la longitud de onda en metros, es igual trescientos dividido para el valor de la frecuencia expresado en MHz (mega Hertz).

$$\lambda \text{ (m)} = \frac{300}{f \text{ (MHz)}}$$

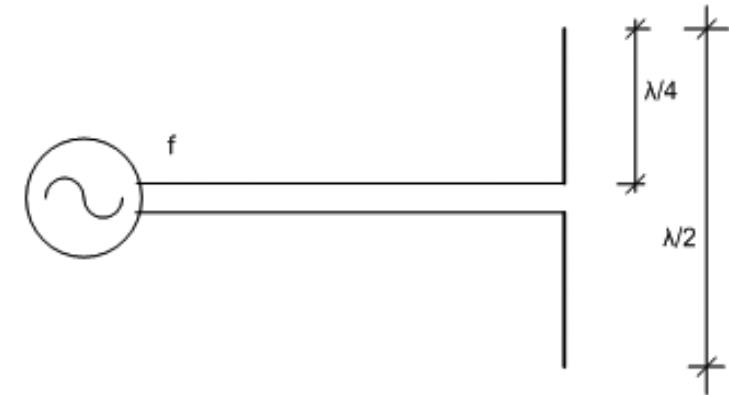
RESONANCIA

Cuando una madre o padre columpia a su hijo o hija en el parque infantil nota que el columpio hace un cambio de dirección, en un instante se dirigía hacia ella o él y, en un instante después, se aleja de ella o él. Por un momento, el columpio ni sube ni baja; su velocidad es cero y su desplazamiento (amplitud) es máximo. Si alguno de los dos aplica la fuerza, empuja

el columpio justo ese rato, ha entrado en resonancia. Se denomina entonces resonancia cuando dos acciones coinciden sus periodos y de esta manera incrementan la oscilación.

Volviendo entonces al dipolo del gráfico #55:

Gráfico 58. Dipolo resonante



Fuente: el autor

La radiación es máxima, es decir la energía eléctrica producida por el generador se convierte casi totalmente en radiación electromagnética cuando las dimensiones del dipolo coinciden con media longitud de onda del voltaje con que se alimenta. En estas condiciones hay resonancia; por lo tanto, máxima transferencia de potencia.

Por ejemplo, la radio de FM llamada *Ecuashyry*, transmite en 104.9 MHz (104,9 millones de Hz). Eso significa que esta señal tiene una longitud de onda:

$$\lambda = \frac{300}{104.9} = 2,86 \text{ metros}$$

Y por lo tanto este será el orden de magnitud para la dimensión de la mejor antena tanto en transmisión como en recepción.

El canal de TV, Gamavisión opera en la ciudad de Quito en el canal 2 de VHF (Very High Frequency) exactamente en 54 MHz. Veamos a qué longitud onda nos estaríamos refiriendo:

$$\lambda = \frac{300}{54} = 5,6 \text{ metros}$$

Veamos más ejemplos:

La famosa radio Tarqui, opera en los 990 kHz (kilo Hertz) es decir en 990 000 Hertz.

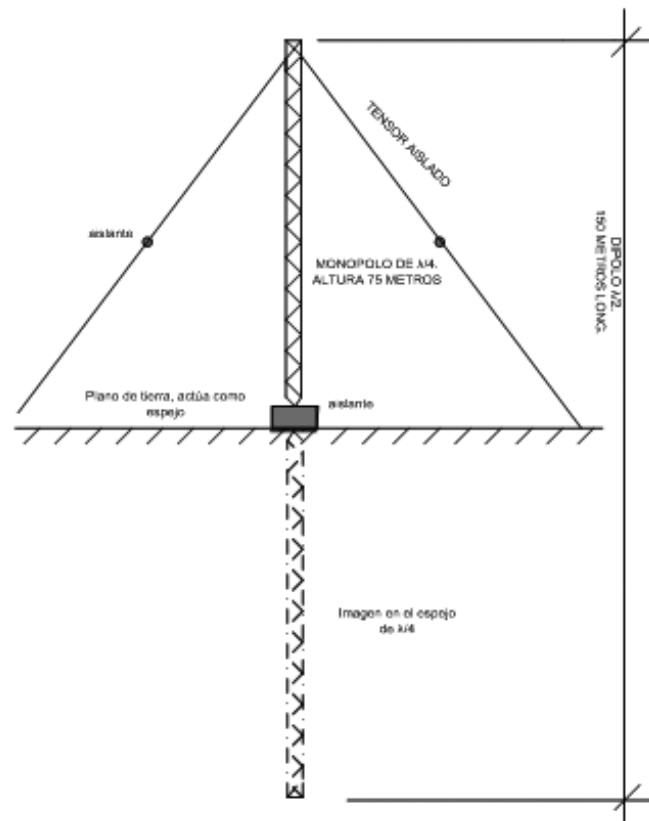
La longitud de onda será:

$$\lambda = \frac{300}{0,99} = 303 \text{ metros}$$

Ahora bien, como ya anotamos previamente, el tamaño de la antena está en proporción a la longitud de onda. En el caso de la radio FM la antena mediría 2,8 m; en el caso del canal Gama TV, la antena estaría en el orden de los 5,6 m. Pero la antena de AM radio Tarqui, anda en el orden de los ¡300 m! Por este motivo, las antenas suelen estar en fracciones de la longitud de onda. En el caso de las emisoras AM (amplitud modulada) se instala un monopolo de $\lambda/4$. En este caso sería de alrededor de 75 m y junto con la imagen espejo que se produce en la tierra, formaría un dipolo de $\lambda/2$.

Gráfico 59. Antena de radio AM.

Para las ondas electromagnéticas, el suelo (la tierra) actúa como un espejo



Fuente: el autor

Un último ejemplo, calculemos la longitud de onda que debe tener una antena de un "router wifi" que opera a una frecuencia de 2,4 GHz. (Giga Hertz es 10^9 Hz, es decir mil millones de Hz).

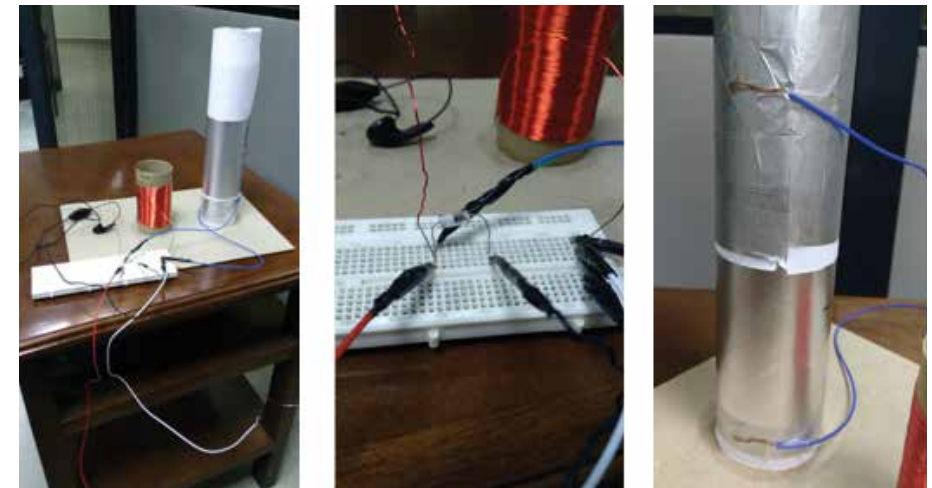
$$\lambda = \frac{300}{2400} = 0,125 \text{ metros}$$

Es decir, el dipolo que se encuentra dentro del equipo WIFI es una antena de apenas 6 cm de longitud. Y por tanto puede ir impresa en la misma placa de los circuitos de este equipo.

CONSTRUCCIÓN DE UN RECEPTOR DE RADIO AM

A fin de comprender un poco mejor la naturaleza de las ondas electromagnéticas, podemos construir un sencillo receptor de radio AM como el mostrado en la siguiente fotografía:

Gráfico 60. MAQUETA #05, radio de AM que funciona sin pilas



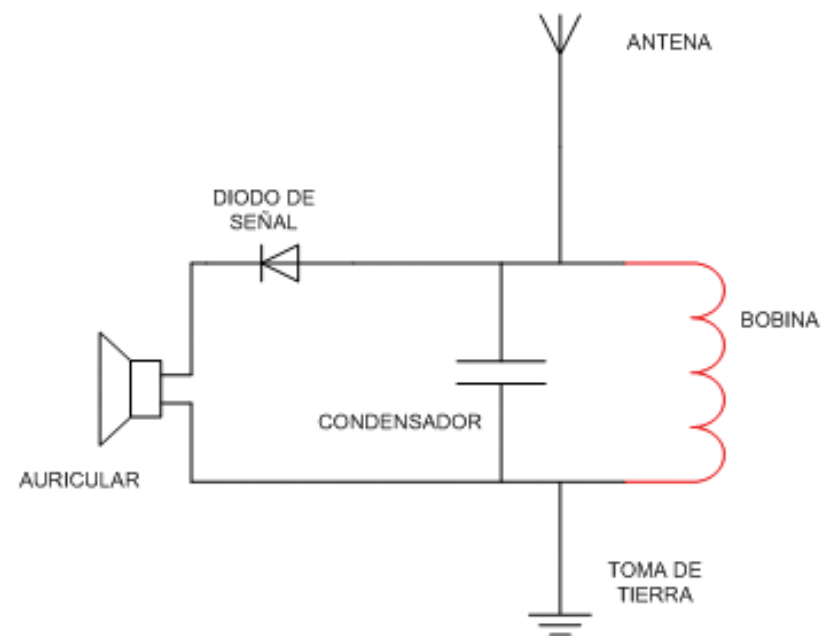
Fuente: el autor

Este circuito era conocido como receptor de galena (un mineral de plomo) y fue ampliamente usado en los albores de la radiodifusión y durante las guerras, porque permitía escuchar la voz y la música emitida por una antena de AM localizada a decenas o centenas de kilómetros de distancia.

La bobina consiste en unas 100 vueltas de alambre barnizado #28 o #30, arrollado en un tubo sobrante de papel higiénico. El condensador son dos cilindros concéntricos hechos arrollando papel aluminio de cocina en cartulinas, que tienen aproximadamente el mismo diámetro que el tubo del papel higiénico. La cartulina es el aislante, ya que los dos cilindros metálicos no deben tocarse. El alambre blanco es la antena (y puede ser tocado con la mano para mejorar la recepción). El alambre rojo es la tierra y es muy importante pues permite el flujo de electrones, es decir la corriente eléctrica. Un elemento clave es el diodo de señal 1N que se puede comprar por unos centavos en un almacén de electrónica. El audífono es reciclado de un teléfono celular.

El circuito esquemático es el siguiente:

Gráfico 61. Receptor de AM



Fuente: el autor

La señal radiada por la antena de AM (que es la antena transmisora, generalmente instaladas en el campo, fuera de la ciudad) llega hasta el alambre blanco que es la antena receptora. Allí, gracias a la conexión a tierra, se produce una pequeña corriente eléctrica debido a que los electrones del alambre de antena, se agitan al vaivén de la onda de AM -recuerde que en un conductor metálico los átomos literalmente nadan en un mar de electrones y que los electrones casi no tienen masa-. La bobina y el condensador conectados en paralelo resuenan de modo que solo dejan pasar la corriente eléctrica hacia tierra, que tenga la misma frecuencia de oscilación que:

$$f = 1/2 \pi \sqrt{LC}$$

El diodo de señal por su parte deja pasar solo los picos del voltaje conseguido y por lo tanto “demodula” la señal de audio, es decir la separa de la onda portadora de la radio AM. Es un trabajo muy simple, pero requiere paciencia hasta lograr sintonizar las radioemisoras. Recuerde que el contacto a tierra es indispensable; puede ser una tubería de agua metálica o la carcasa de un computador de escritorio. Anímese a construir esta maqueta.

Potencia de las señales radioeléctricas

Por experiencia sabemos que mientras más nos alejamos de una fuente de luz, más débilmente la captan nuestros ojos. Científicamente, se debe a que la potencia de una onda electromagnética, disminuye con el cuadrado de la distancia. Es decir si me alejo el doble de pasos de una lámpara, percibiré la cuarta parte de la luminosidad. Si me alejo el triple de pasos, percibiré la novena parte. Y así por el estilo. El caso es que mientras más lejos esté la luz, más tenue la percibimos.

Con las ondas radioeléctricas sucede igual –de hecho la luz es también una onda electromagnética de frecuencia muy muy alta-. Mientras más lejos estamos de la antena transmisora, más débiles son las señales captadas con la antena receptora; es decir, la señal se atenúa al viajar por el espacio que hay entre transmisor y receptor.

De hecho, el voltaje que una onda induce en un alambre hecho antena, es de unos pocos milivoltios (milésimas de voltio), a los microvoltios (es decir millonésimas de voltio).

Pero estas débiles señales son suficientes para el equipo receptor, pues una primera tarea que tiene este es *amplificar* la débil señal recibida para posteriormente *demodularla*, es decir, recuperar la señal original de voz o música. Sin embargo, al trabajar con las señales de radio, ya no es tan importante el voltaje ni la corriente que producen. Es mejor hablar en términos de *potencia*, pues este parámetro expresa mejor el hecho de que las señales radioeléctricas disminuyen con el cuadrado de la distancia.

Como ejemplo de potencias transmitidas tenemos:

Tabla 33. Potencias de radio frecuencia

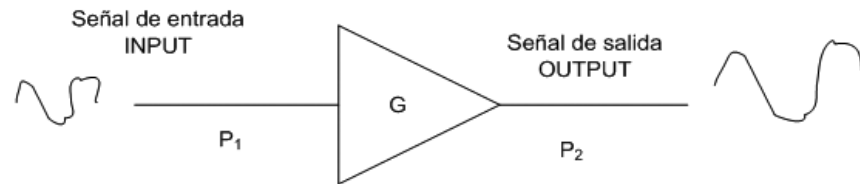
SERVICIO	POTENCIA TX (WATTS)
Radio AM	100 000
Radio FM	2 000
Radio de microondas	1
Teléfono celular	0,6
Walkie Talkie	25
Radio base celular	40
Transponder satelital	60

Fuente: el autor

En cuanto a potencias recibidas, están en el orden desde los milivatios (milésima de W) hasta los pico vatios (millonésima de millonésima de W).

Como podemos ver el orden de magnitud es muy amplio hablando de potencias. Por este motivo, para hacer más manejables las cifras, procedemos a hacer una *transformación*. Para ello volvamos a analizar el gráfico #61, que representa un amplificador y llamemos P1 a la potencia de la señal de entrada y P2 a la potencia de la señal de salida.

Gráfico 62. Amplificador



Fuente: el autor

Se define la “ganancia” del amplificador a la cantidad de veces que es mayor la potencia de salida que la de la entrada. Supongamos que P_2 es el doble de P_1 . La ganancia del amplificador es 2, hablando en escala *lineal*.

$$G = \frac{P_2}{P_1}$$

Por el contrario, si P_2 es menor que P_1 se dice que ha habido una “atenuación” de la señal de entrada y en ese caso estaríamos ante un elemento atenuador y no un amplificador.

Decibelio (dB) y decibelio sobre milivatio (dBm)

El “decibelio” es una transformación muy útil en telecomunicaciones para tratar con el amplio rango de valores de potencia. Fue nombrado así en honor del científico norteamericano Alexander Bell y se define por la siguiente expresión:

$$G(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

Que se lee: ganancia expresada en dB es igual a diez multiplicado por el logaritmo de P_2/P_1

De la misma manera, si P_2 resulta ser menor que P_1 se dice que ha habido atenuación y de esta el resultado será una $G(\text{dB})$ negativa.

Por ejemplo para el caso de la figura #62, que representa un amplificador de ganancia lineal igual a dos, en decibelios tendremos:

$$G(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \log (2) = 10 * 0,3 = 3$$

Con la ayuda de una calculadora obtenemos el valor del $\log(2)$ que es 0,3

Este resultado es muy importante y se usa de forma común, ya que significa que el doble de potencia ¡es lo mismo que decir 3 dB mayor!

En este caso diríamos que P_2 es 3 dB mayor que P_1 . O lo que es lo mismo podemos decir que P_1 es 3 dB menor que P_2 .

Un amplificador es un elemento de red generalmente activo, es decir requiere energía

eléctrica para funcionar. Por su parte un atenuador es un elemento de red de tipo pasivo; es decir no requiere energía eléctrica para funcionar; puede estar formado por resistencias.

Repitamos el ejemplo, pero esta vez hagamos que P_2 sea la mitad de P_1 ; en este caso tendríamos atenuación que la llamaremos con la letra A mayúscula:

$$A = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0,5 * P_1}{P_1} = 0,5$$

Es decir, linealmente hablando, es un atenuador de 0,5

Expresando en decibelios tendremos que:

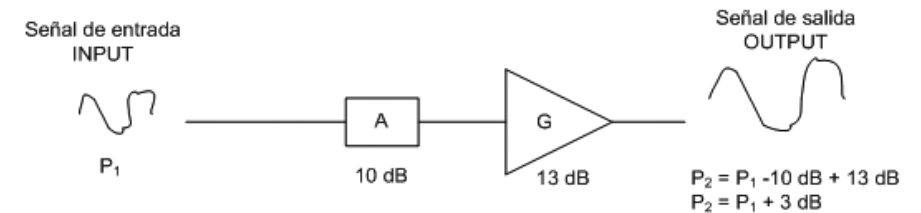
$$A(\text{dB}) = 10 * \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 10 * \log (0,5) = 10 * (-0,3) = -3$$

Entonces tenemos un atenuador de -3 dB.

En la práctica, al decir atenuador, ya se sabe que el resultado es negativo y que se debe “sustraer”. Y cuando decimos ganancia, ya se sobreentiende que es una cantidad a “añadir”.

Por ejemplo, en la siguiente figura tenemos una señal electromagnética de potencia P_1 que ingresa a una red, donde primero sufre una atenuación de 10 dB y luego se somete a una amplificación de 13 dB:

Gráfico 63. Balance de pérdidas y ganancias



Fuente: el autor

A la salida del circuito tenemos que P_2 es 3 dB mayor que P_1 .

Como podemos observar, la definición de decibelio viene de una *relación* (razón o división) entre la potencia de salida de un circuito, a la potencia de entrada. Tal como su palabra lo indica es una medida *relativa*, es decir, no interesa tanto saber cuál es el valor absoluto de las potencias involucradas, sino cual es mayor y que tanto.

Pongamos como ejemplo el caso real de una onda electromagnética de frecuencia f , que al ser radiada por la antena, viaja decenas de kilómetros hasta su destino, la atenuación que sufre es del orden de los 100 dB.

Veamos lo que significa:

$$A = -100 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

Por lo tanto:

$$-10 = \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

Aplicando la operación inversa 10^x a ambos lados de la igualdad, tendremos:

$$10^{-10} = P_2 / P_1$$

Esto significa que la potencia con la cual llega la señal es:

$$P_2 = 0,0000000001 * P_1$$

P_2 es una diezmilésima de millonésima de P_1 . Este tipo de cifras es común en telecomunicaciones, aunque parezca exageradamente pequeña, esa relación de potencia es suficiente para poner en marcha un enlace de microondas. Por eso es más sencillo expresar la misma realidad diciendo que P_1 se ha atenuado 100 dB en el viaje.

Para los cálculos intermedios los dBs están bien y sirven de gran ayuda al simplificar la aritmética. Mas, finalmente, interesa saber con qué potencia absoluta arriba la señal hasta el receptor. Para ello se define el decibelio sobre milivatio, que no es otra cosa que la potencia P dividida para 1 mW (un milivatio):

$$P(\text{dBm}) = 10 * \log \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$$

Este se lee: la potencia P expresada en dBm, es igual a 10 por el logaritmo de P dividido para 1 milivatio.

Por ejemplo, sea la potencia P igual a 1 Watt

Esto quiere decir que $P = 1000 \text{ mW}$; convertimos P a milivatios para que las unidades se simplifiquen:

$$P(\text{dBm}) = 10 * \log \left(\frac{1000 \text{ mW}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$P(\text{dBm}) = 10 * 3$$

$$P(\text{dBm}) = 30$$

La potencia P expresada en dBm es igual a treinta.

O más, comúnmente, P es igual a +30 dBm.

Este resultado también es común en el mundo de las telecomunicaciones en general y de las microondas en particular, en el cual las potencias que transmiten los equipos están en el orden del un vatio:

$$1 \text{ Watt} = 30 \text{ dBm}$$

Veamos también el caso de equipos que transmiten un milivatio, expresémoslo en dBm:

$$\text{Potencia transmitida} = P_{tx} = 1 \text{ mW}$$

$$P_{tx}(\text{dBm}) = 10 * \log \left(\frac{1 \text{ mW}}{1 \text{ mW}} \right)$$

Simplificando las unidades y sabiendo que $\log(1)=0$ ya que $10^0 = 1$

$$P_{tx}(\text{dBm}) = 10 * 0 = 0$$

Este es otro resultado notable, que 1 mW es igual a 0 dBm

$$P_{tx} = 1 \text{ mW} = 0 \text{ dBm}$$

Veamos ahora otro ejemplo:

En el manual de un equipo, nos indican que la potencia máxima de transmisión es +24 dBm. Se requiere saber a cuántos vatios equivale.

Tenemos dos caminos, el normal y el atajo, veamos primero el normal.

$$24 = 10 * \log \left(\frac{P_{tx}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$2,4 = \log \left(\frac{P_{tx}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$10^{2,4} = P_{tx}/1 \text{ mW}$$

$$P_{tx} = 10^{2,4} * 1 \text{ mW}$$

$$P_{tx} = 251 \text{ mW} = 0,25 \text{ W}$$

Es decir 24 dBm equivale a 0,25 vatios.

La forma corta era la siguiente: sabemos que 3 dB significa doble de potencia. O lo que es lo mismo, que -3 dB significa mitad de potencia. Sabemos que 1 Watt es 30 dBm, por lo tanto 0,5 Watt es 27 dBm y 0,25 Watt deberá ser 24 dBm!

Finalmente, repasemos el ejemplo anterior en el cual una señal electromagnética P_1 viaja por el espacio varios kilómetros y se atenúa 100 dB. Supongamos que la señal P_1 transmitida es igual a 1 Watt, es decir:

$$P_1 = 30 \text{ dBm}$$

La señal P_2 que llega al receptor será (potencia recibida o P_{rx}).

$$P_2 = P_1 - 100 \text{ dB}$$

$$P_2 = 30 \text{ dBm} - 100 \text{ dB}$$

$$P_2 = P_{rx} = -70 \text{ dBm}$$

Nótese que hemos sumado o restado dBs con dBms, en forma coherente con las propiedades de los logaritmos que vimos en la sección de base matemática.

El valor obtenido para P_{rx} es absoluto, tanto que lo podemos reconvertir a vatios:

$$-70 = 10 * \log \left(\frac{P_{rx}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$-7 = \log \left(\frac{P_{rx}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$10^{-7} = \text{Prx}/1\text{mW}$$

$$\text{Prx} = 10^{-7} * 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$\text{Prx} = 10^{-10} \text{ Watt} = 0,1 \text{ nW}$$

Es decir, la potencia recibida es igual a una décima de nano vatio (expresando en notación científica).

Aquí resalta una vez más la utilidad de haber transformado las cifras de potencia a decibelios, pues es más fácil visualizar una cantidad tan pequeña refiriéndose a ella como -70 dBm que expresarla como 0,1 nW. Con el tiempo uno se acostumbra. En la siguiente tabla, resumimos algunos valores notables de esta unidad de medida tan común en telecomunicaciones como es el dBm, se recomienda comprobar los valores a modo de ejercicios:

Tabla 34. Valores notables de la transformación entre Watt y dBm

Potencia (Watt)	Potencia expresado en dBm
100	50 dBm
50	47 dBm
1	30 dBm
0,5	27 dBm
0,25	24 dBm
0,1	20 dBm
0,01 (es decir una centésima de vatio)	10 dBm
0,001 (es decir 1 milivatio)	0 dBm
0,000001 (es decir una millonésima de vatio o 10^{-6} W)	-30 dBm
10^{-9} W (nano vatio)	-60 dBm
10^{-12} (pico vatio)	-90 dBm

Fuente: el autor

Esta tabla nos da valores muy cercanos a las cantidades que se manejan en el mundo de las telecomunicaciones. Las potencias transmitidas están en el orden de los +25 dBm, mientras que las potencias recibidas están en el orden de los -40 dBm.

DECIBELIOS Y POTENCIA DE SONIDO

Una aplicación muy interesante de estas unidades de medida “relativas” llamadas los decibelios está en el área de los sonidos y los ruidos audibles, es decir de la potencia del sonido.

Por ejemplo, si se denomina o fija como 0 dB al ruido que hace una hoja seca al caer del árbol -deliciosamente silencioso-, tenemos que una conversación entre dos personas hace unos 50 dB. El ruido de un motor de carro tiene unos 80 dB y el umbral del dolor son 130 dB, que equivale al ruido que hace un avión jet al despegar. Hay aplicaciones para teléfono inteligente que nos permiten bajar este “sonómetro”.

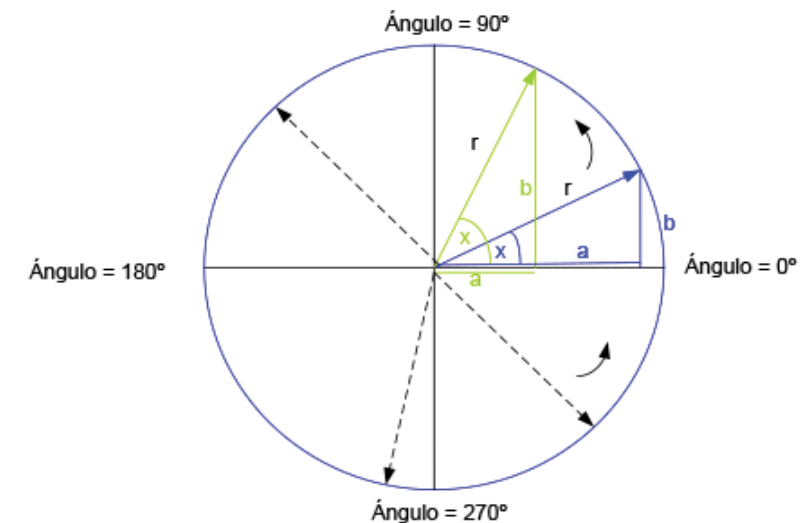
Nota: en algunas capitales latinoamericanas, el ayuntamiento tiene una ordenanza que regula y homologa la potencia del sonido que emiten tanto las alarmas de los vehículos como las de las casas. Esto debería ser emulado en Quito y otras ciudades del Ecuador, ya que constituyen una fuente de contaminación y generan alteración nerviosa a los transeúntes.

La frecuencia como variable independiente (x) de la función senoidal y = seno (x)

En la introducción matemática analizamos la función $y = \text{sen}(x)$ y ya hemos ido viendo cómo las señales eléctricas oscilatorias siguen esta función tan elemental. Veamos ahora cómo la variable independiente x está compuesta por la frecuencia de dichas señales oscilatorias.

Para ello, analicemos el círculo donde se observó la variación del ángulo x

Gráfico 64. Círculo trigonométrico



Fuente: el autor

En la figura #64, vemos cómo al crecer el ángulo x de 0° a 90° , $y = \text{seno}(x) = b/r$ crece de 0 a 1

Al pasar x de 90° a 180° , vemos que $y = \text{seno}(x)$, decrece de 1 a 0

Al pasar x de 180° a 270° , $y = \text{seno}(x)$ pasa de 0 a -1

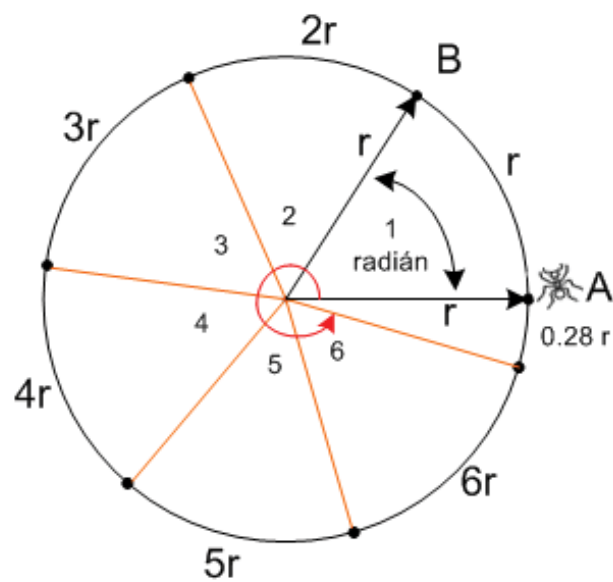
Y, finalmente, al pasar x de 270° a 360° , $y = \text{seno}(x)$ pasa de -1 a 0

360° es el mismo ángulo que 0° , con lo cual, en una siguiente “vuelta”, volveríamos a obtener los mismos valores para $y = \text{seno}(x)$.

Si hablamos de vueltas estamos suponiendo que hay una rotación, como por ejemplo la rueda de una bicicleta de carreras. Supongamos además que la bicicleta va a velocidad constante, con lo cual la rueda da una vuelta cada cierto tiempo constante y esto se repite indefinidamente.

Para poder situar la frecuencia de una señal oscilatoria, es necesario que adoptemos los *radianes* para medición del ángulo x . Y dejamos de lado los grados. El concepto de radián es más natural que el de grados para medición de ángulos y es el *ángulo que corresponde a un arco de la circunferencia que tiene la longitud igual a 1 radio* (el camino que recorre la hormiga entre A y B). Para expresar la medida de los ángulos x en grados, se divide la circunferencia en 360 partes, cada una de las cuales es un grado. A su vez, cada grado tiene sesenta minutos y cada minuto tiene sesenta segundos. Esta unidad de medida de grados resulta dificultosa al momento de expresar que un ángulo puede ser infinitamente pequeño y que, en una rotación, el ángulo x varía de forma continua, no granulado en segundos.

Gráfico 65. Definición de radián



Fuente: el autor

Por ello, se define la siguiente equivalencia
 $360^\circ = 2\pi \text{ radianes} = 6,283$

Entonces el ángulo x es un número real (perteneciente al dominio de los números reales) que varía de forma continua entre 0 y 2π , completamente adimensional es decir sin unidades artificiales como grados, minutos y segundos.

Anotemos los valores notables en la siguiente tabla:

Tabla 35. Valores de $y = \text{seno}(x)$, x expresado en grados y en radianes

x en grados	x en radianes	Seno (x)
0	0	0
90	$\pi/2$	1
180	π	0
270	$3\pi/2$	-1
360	2π	0

Fuente: el autor

Por ejemplo, sea el ángulo $x = 21^\circ 10'$ (21 grados 10 minutos) transformémoslo a radianes. Primero transformamos los $10'$ en fracción de grado:

$$10' * = \frac{1^\circ}{60'} = 0,1666^\circ$$

Con lo cual,
 $21^\circ 10' = 21,1666^\circ$
y lo pasamos a radianes

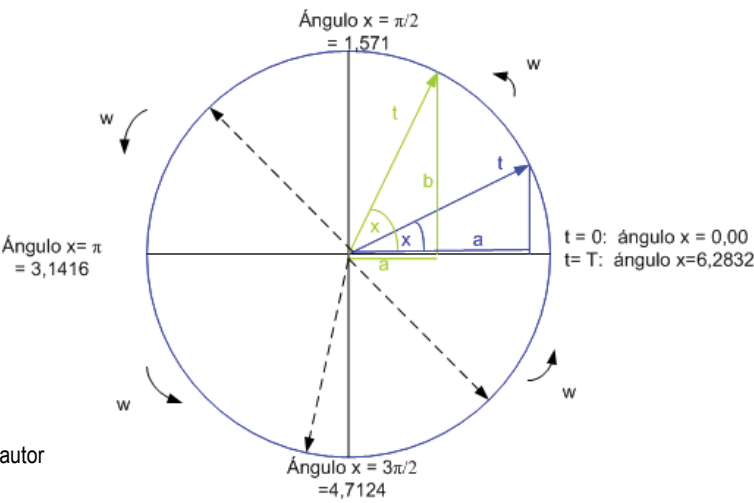
$$21,1666^\circ * \frac{2\pi}{360^\circ} = 0,36943 \text{ radianes}$$

Entonces decimos que el ángulo x es 0,36943, el cual es un número adimensional; solamente decimos que está en radianes para indicar su relación con 2π .

Una vez dicho esto, volvamos al caso de la rueda giratoria, que lo hace con una velocidad angular constante w la cual está expresada en términos de $\frac{\text{ángulo}}{\text{tiempo}}$

$$w = \frac{x}{t}$$

Gráfico 66. Rueda giratoria, velocidad angular w



Fuente: el autor

Si, como hemos dicho, la velocidad de rotación es constante y, sabiendo que una vuelta completa se realiza en el tiempo T, donde T se conoce como el periodo de la rotación, entonces:

$$\frac{x}{t} = \frac{2\pi}{T}$$

De donde obtenemos que el ángulo x es:

$$x = 2\pi * \frac{t}{T}$$

Pero como ya habíamos indicado anteriormente la frecuencia f es el inverso del periodo T, tendremos que el ángulo x es:

$$x = 2\pi * f * t$$

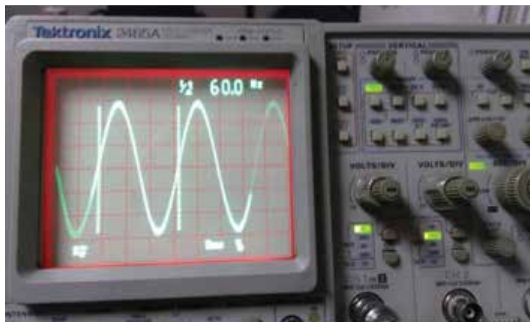
Con lo cual la función y = seno (x) se escribe como:

$$y = \text{sen}(2\pi * f * t)$$

Y aquí tenemos por fin la expresión en la cual, la frecuencia de una señal está involucrada en la función que la describe. Ahora bien, si f es fija, por ejemplo 60 Hz, podemos mirar cómo varía la forma en un osciloscopio, en función del tiempo t.

$$y = \text{sen}(2\pi * 60 * t) = \text{sen}(377 * t)$$

Gráfico 67. La función $y = \text{sen}(377t)$ vista en un osciloscopio



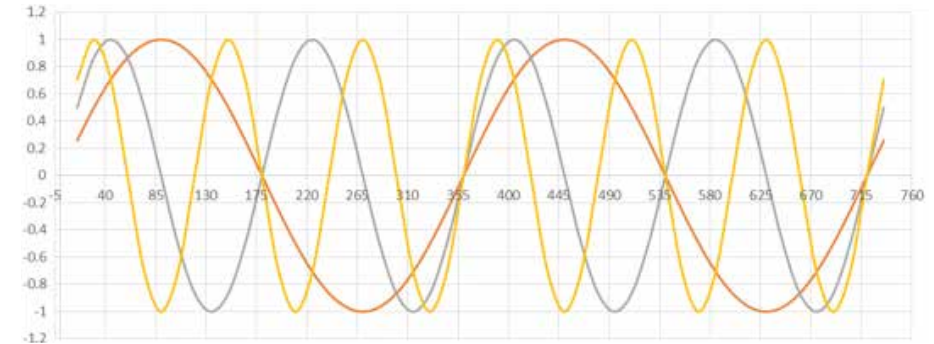
Fuente: el autor

Una vez que hemos logrado poner a la frecuencia como variable independiente en la función sinusoidal, analicemos qué sucede si la frecuencia se duplica o triplica.

Si la frecuencia se duplica, el periodo se reduce a la mitad, esto significa que en un ciclo de la señal original, la señal doble de frecuencia completará dos ciclos.

Si la frecuencia se triplica, el periodo se divide para tres. Es decir que en un ciclo de la frecuencia original, se completarán tres ciclos de la frecuencia triple. Esto lo podemos visualizar en la siguiente figura:

Gráfico 68. Gráficos para $y = \text{sen}(x)$ en rojo. $Y = \text{sen}(2x)$ azul. $Y = \text{sen}(3x)$ en amarillo

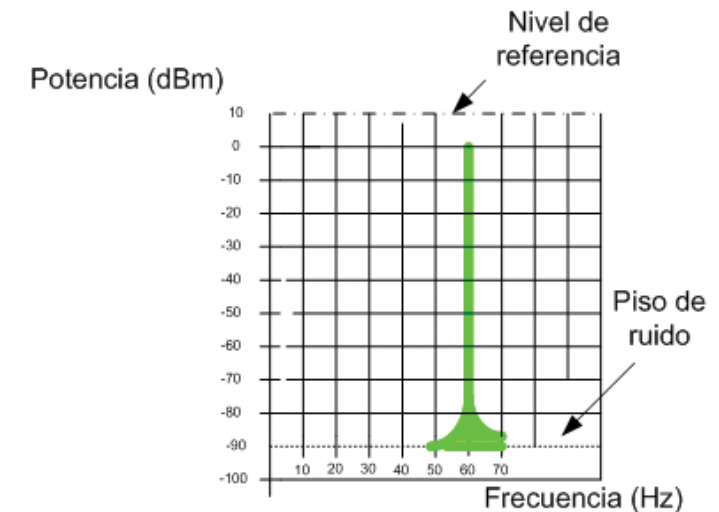


Fuente: el autor

Un osciloscopio es útil para mirar formas de onda de señales cuyas frecuencias son relativamente bajas, hablemos de menos de 100 MHz. Pero para señales más complejas o de frecuencias más altas el osciloscopio resulta limitado.

Para frecuencias en el rango de las microondas, es decir mayores de 1 000 MHz, es más útil otro instrumento llamado *analizador de espectros*, el cual, nuevamente, es un plano cartesiano en el cual se grafica la amplitud de potencia en el eje de las y, y la frecuencia en el eje de las x.

Gráfico 69. Representación de cómo se vería una señal de 60 Hz y 1 mW de potencia en el analizador de espectro. Escala vertical 10 dB/div. Escala horizontal 10 Hz /div



Fuente: el autor

Espectro electromagnético

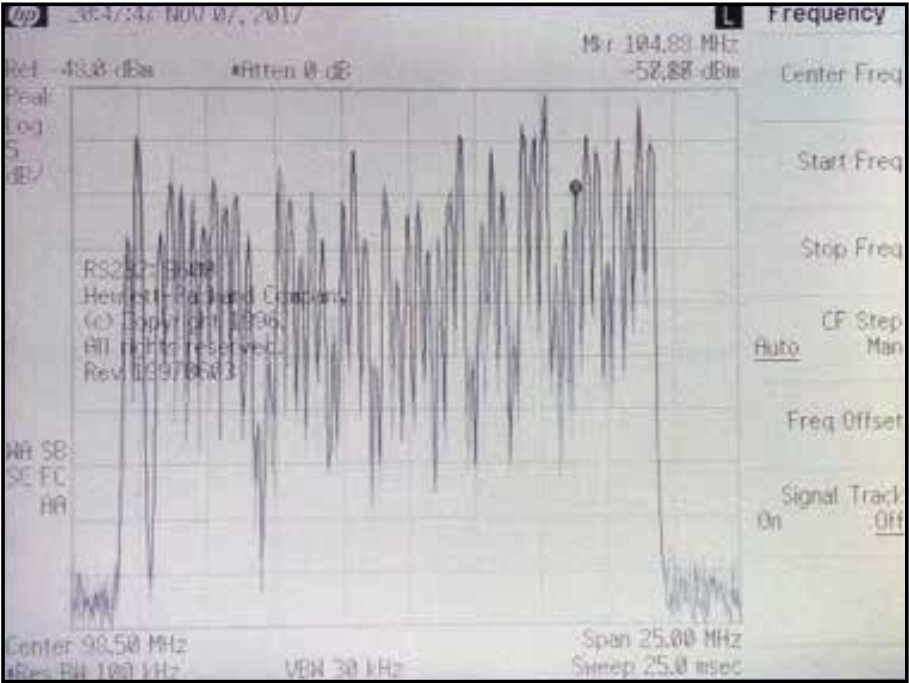
En el siglo XVII, el científico inglés Isaac Newton descubrió que la luz blanca del sol en realidad estaba compuesta por varias luces de diferentes colores: amarillo, azul, violeta, etc. Con la ayuda de un prisma de vidrio, pudo emular lo hecho por las gotas de lluvia suspendidas en la atmósfera y logró descomponer lo que, posteriormente, se conoció como el “espectro de la luz visible”. Hoy sabemos que la luz es también una onda electromagnética y que los colores que conforman la luz blanca se distinguen unos de otros debido a que tienen distinta longitud de onda, es decir distinta frecuencia.

De la misma manera, las señales electromagnéticas utilizadas para las radiocomunicaciones, oscilan a distintas frecuencias. El conjunto de frecuencias de radio usado para telecomunicaciones se conoce como *espectro electromagnético*.

Como ya mencionamos, la unidad de medida de frecuencia es el Hertzio (Hz). Las ondas electromagnéticas se caracterizan, básicamente, por su frecuencia y su potencia, las cuales como ya lo mencionamos son medidas con el instrumento llamado analizador de espectros. Miremos como ejemplo el espectro de radios FM en la ciudad de Quito:

Gráfico 70. Espectro de radios FM de la ciudad de Quito.

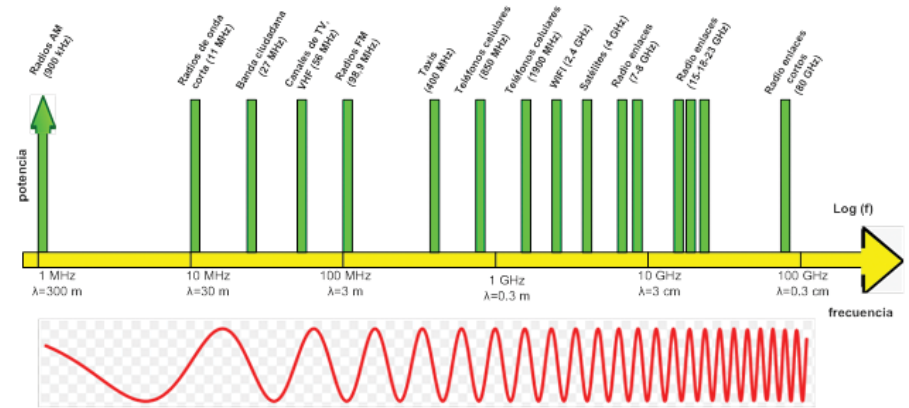
La pequeña marca en forma de rombo señala la radio Ecuashiry en 104.9 MHz, captada por la antena con una potencia de -58 dBm



Fuente: el autor

Imaginemos por un momento si pudiéramos ver las más de cuarenta radios de FM, presentes en este mismo momento a nuestro alrededor, como cuarenta colores diferentes. Pues esa es la realidad, estamos rodeados por ondas electromagnéticas hacia donde miremos. Unas más fuertes que otras. Llevan señales que son captadas por los aparatos de radio, gracias al pequeñísimo voltaje que se induce en la antena, la cual al ser metálica dispone de gran cantidad de electrones, dispuestos a vibrar al son de todas y cada una de estas frecuencias.

Gráfico 71. Espectro radioeléctrico



Fuente: el autor

Tabla 36. Usos del espectro de radio en el Ecuador

Frecuencias	Uso en telecomunicaciones	Ejemplo
1 MHz	Radios AM	920 kHz radio Democracia
27 MHz	Banda cívica	
50 MHz	Televisoras VHF	CH2. Quito 56 MHz
100 MHz	Radios FM	Ecuashiry 104.9 MHz
400 MHz	Radios privados	Radio taxis
850 MHz	Teléfonos móviles 2G, 3G	875 MHz. Claro
1500 MHz	Sistemas de posicionamiento	GPS
1900 MHz	Teléfonos móviles 2G, 3G	1970 MHz. Movi
2200 MHz	Teléfonos móviles 4G	LTE Claro
2400 MHz	WIFI	Routers caseros
3,8-4,2 GHz	Enlaces satelitales. Banda C	TV satelital
5,8 GHz	WIFI	Routers caseros
6,7; 8 GHz	Enlaces de microonda punto a punto	CNT, Movi, Claro
11-14 GHz	Enlaces satelitales. Banda Ku	Claro TV
15 GHz	Enlaces de microonda punto a punto	CNT, Movi, Claro
18 GHz	Enlaces de microonda punto a punto	CNT, Movi, Claro
23 GHz	Enlaces de microonda punto a punto	CNT, Movi, Claro

Fuente: el autor

2.4 DISEÑO DEL CURSO DE MICROONDAS

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN MICROONDAS PARA TRABAJADORES Y ESTUDIANTES

PROGRAMA DE CURSO

A. DATOS INFORMATIVOS:

CURSO:	ENLACES DE MICROONDAS
CÓDIGO:	EMO
PROGRAMA:	CAPACITACIÓN EN MICROONDAS
N.º HORAS	24

B. DESCRIPCIÓN DEL CURSO:

Este curso debe preparar a los asistentes en los conceptos fundamentales de la comunicación basada en la tecnología de microondas, empezando por definir en qué parte de la red de telecomunicaciones se encuentran los enlaces de microondas y qué papel juegan en dichas redes. Posteriormente, se realiza una revisión de conceptos básicos como la modulación, ancho de banda espectral y el concepto básico de conversión *up /down* de frecuencia. Se conceptúa el enlace de microondas como un circuito, para describir sus componentes fundamentales como son el *branching*, las antenas, las guías de onda, los equipos *full indoor* y *Split*. Luego se realiza una explicación acerca del cálculo del enlace en base a las potencias transmitidas y recibidas y se definen los objetivos de calidad. Se aborda la temática referente a los fenómenos de la propagación de las señales electromagnéticas por la atmósfera terrestre y los problemas técnicos que representan la atenuación por lluvia y la reflexión. También se realiza una descripción del concepto de interferencia y se describen los métodos para planificación de frecuencias, que posibilita un uso adecuado del espectro radioeléctrico minimizando las interferencias. Se realiza un estudio de caso, -más bien cualitativo- con el objeto de mostrar un caso real donde se aplican todos los conceptos aprendidos durante el curso. Finalmente, una ligera descripción del sistema de gestión de una red de microondas y las normas de seguridad que debe observar todo trabajador de esta especialidad.

C. PRERREQUISITOS

PRERREQUISITOS	
CURSO	CÓDIGOS
Básico de Matemáticas	BM
Básico de Física y Tecnología Eléctrica	BFTE
Básico de Ondas Electromagnéticas	BOEM

D. OBJETIVO GENERAL:

Establecer los conceptos y tecnologías de los enlaces de microondas que permitan al trabajador y estudiante, para, así, comprender los fenómenos asociados a la instalación y puesta en marcha de un sistema de telecomunicaciones basado en este tipo de equipamiento.

E. RESULTADOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Al completar en forma exitosa este curso, los estudiantes deben ser capaces de:

RESULTADO DE APRENDIZAJE DEL CURSO	NIVEL DE DESARROLLO INICIAL/MEDIO/ALTO
Modulación y Demodulación	medio
Digitalización de señales analógicas. Banda base analógica y banda base digital.	medio
Ancho de banda espectral y ancho de banda digital	alto
Guías de onda	alto
Filtros y circuladores	alto
Antenas	alto
Equipos electrónicos de microondas	alto
Cálculo de radioenlaces	alto
Objetivos de disponibilidad y criterios de calidad	alto
Propagación de las microondas por la atmósfera. Zonas de Fresnel, factor K, reflexión, atenuación por lluvia	alto
Interferencias y planificación de frecuencias	alto
Sistemas de gestión	medio
Normas de seguridad en el trabajo con enlaces de microondas.	alto

F. CONTENIDOS

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIOCOMUNICACIONES

- 1.1. Modulación y Demodulación
- 1.2. Banda base analógica y banda base digital
- 1.3. Ancho de banda espectral

2. CIRCUITO DE MICROONDAS

- 2.1. Enlazamiento entre transmisor (TX) y receptor (RX)
- 2.2. Guías de onda y cables coaxiales
- 2.3. *Branching*: filtros y circuladores
- 2.4. Transferencia de potencia
- 2.5. Antenas
- 2.6. Equipamiento *full indoor* y *Split*

3. CÁLCULOS Y PROPAGACIÓN DE RADIOENLACES

- 3.1. Objetivos y criterios de disponibilidad
- 3.2. Zonas de *Fresnel*
- 3.3. Factor atmosférico K
- 3.4. Reflexiones y atenuación por lluvia
- 3.5. Interferencias
- 3.6. Planificación de frecuencias
- 3.7. Estudio de caso
- 3.8. Sistema de gestión

4. NORMAS DE SEGURIDAD

G. METODOLOGÍA, RECURSOS:

La descripción teórica de los conceptos se acompaña de ejemplos prácticos de los casos más simples utilizando para ello equipos de medición tales como el generador de radio frecuencia, analizador de espectros, osciloscopio. Los asistentes al programa de capacitación tendrán la oportunidad de vivir las formas más básicas de radio comunicaciones a través de montajes simples pero ilustrativos.

Se hará uso de maquetas construidas a fin de explicar los conceptos de antena parabólica, zona de *Fresnel*, factor atmosférico K.

Se dispone de una amplia variedad de conectores coaxiales, antenas, guías de onda y otros elementos, para concretar las explicaciones mediante ejemplos reales.

Finalmente, se realiza un estudio de caso, para poner a prueba los conocimientos adquiridos e intentar comprender un caso muy complejo de la vida real, el cual requiere de un buen manejo de los conceptos y de la terminología explicada a lo largo del programa de capacitación completo.

2.4.1 Propuesta del curso de microondas

A lo largo de la historia hay innumerables ejemplos de lo que para el ser humano ha sido la necesidad de comunicación a distancia, ya sea en tiempos de paz o en tiempos de guerra. En todas las civilizaciones se ha dado los más diversos métodos para lograr este cometido. Los nativos norteamericanos con señales de humo, los incas mediante chasquis. En Europa la agencia de noticias Reuters usó palomas mensajeras para el envío de las noticias, todavía en 1844, a zonas donde aún no había servicio telegráfico.

Después del descubrimiento de las ondas electromagnéticas, estas fueron utilizadas como el medio para transmitir los mensajes. Podemos entonces diferenciar claramente entre el mensaje en sí y el medio que se usa para transmitirlo. Así como del ave se aprovecha su capacidad de volar, de la onda electromagnética (EM) se aprovecha su capacidad de propagarse radiándose hasta el infinito. Por lo tanto, la onda EM constituye el medio que porta el mensaje.

Así como el ave debe ser entrenada para poder llevar el rollito de papel que lleva el mensaje, la onda electromagnética debe ser convenientemente modificada en alguna o algunas de sus características para poder llevar el mensaje.

Se conoce con el nombre de modulación a este hecho de manipular convenientemente la onda portadora, para que sirva a los objetivos de comunicación. Es así como se modula la amplitud, la frecuencia o la fase en función del mensaje a transmitir. Pero, ¿qué es una microonda?

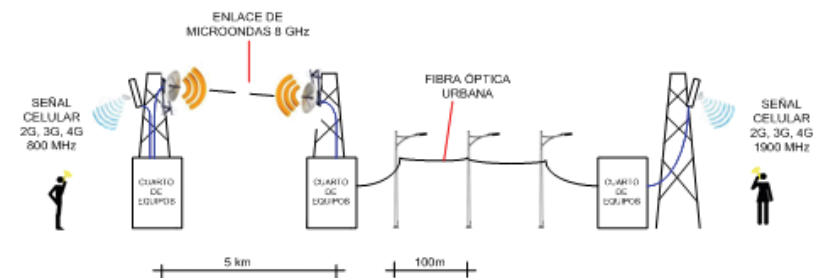
Tradicionalmente, se conoce con el nombre de microonda a las portadoras electromagnéticas cuya frecuencia está por encima de los 1 000 MHz. (Siemens Telecomunicazioni, 2001). Es decir 1 GHz.

Aunque no siempre su uso sea para telecomunicaciones, como es el caso de los hornos de microonda cuya frecuencia es de 2,4 GHz, ya que en este caso se aprovecha el poder calorífico de la radiación electromagnética.

Aunque el valor de 1 GHz es más bien tradicional, ya que el concepto de lo que es “alta frecuencia” ha ido variando a medida de que la tecnología ha permitido la generación y uso para telecomunicaciones de frecuencia cada vez más elevadas. Es así como en alguna entidad se puede considerar “alta frecuencia” a circuitos de 1 MHz. Pero, en la realidad, ya existe en el mercado equipos de comunicaciones de 15, 23, 40 y hasta 80 GHz. En este sentido, la frecuencia de las microondas más comúnmente se refiere a frecuencias de enlaces “punto a punto” que son parte de la cadena de transmisión en una red de telecomunicaciones, no para enlaces de difusión como la señal celular -aunque por su frecuencia si se la pueda llamar microonda, de 1,9 GHz-. Por lo tanto, más común será referirse a los enlaces de microondas a partir de los 6 GHz y hasta frecuencias tan altas como los 80 GHz. Posteriormente, veremos cuáles son las ventajas y desventajas de elevar las frecuencias de los enlaces de microondas.

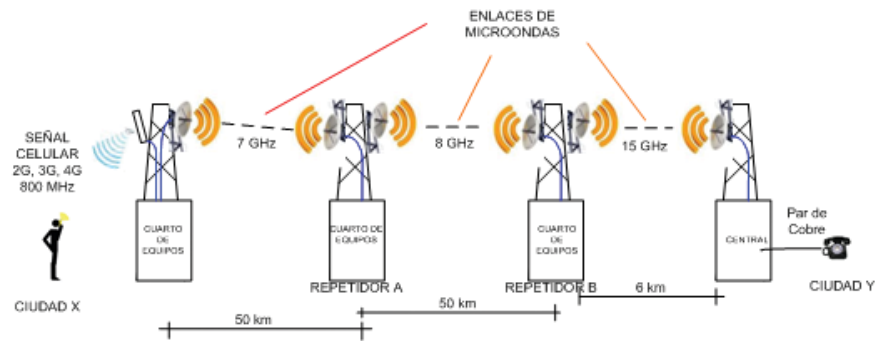
En las siguientes figuras podemos apreciar el sitio que les corresponde a los enlaces de microondas dentro de un sistema de telecomunicaciones actual:

Gráfico 72. Ejemplo 1, enlace de microondas en un sistema de telecomunicaciones celular



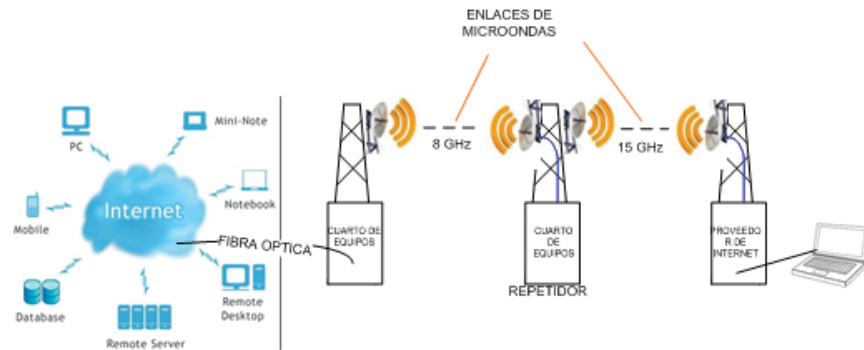
Fuente: el autor

Gráfico 73. Ejemplo 2, enlace de microondas en un sistema de telecomunicaciones celular-fijo



Fuente: el autor

Gráfico 74. Ejemplo 3, enlace de microondas para conexión a Internet



Fuente: el autor

Conceptos fundamentales de los equipos de microondas

En general, en los equipos que usan las ondas electromagnéticas para enviar y recibir información, se basan en los siguientes conceptos y componentes:

Modulador

Es un equipo electrónico, cuya función consiste en añadir la señal que se pretende transmitir a una onda de mayor frecuencia llamada portadora, la cual, a su vez, es la irradiada por la antena.

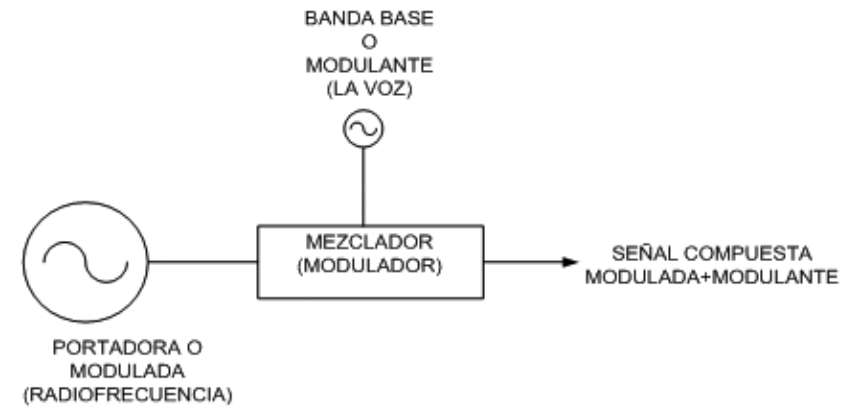
La señal que se pretende transmitir es mejor conocida en el ambiente técnico como la banda base.

El circuito modulador inserta la banda base en uno o más de los parámetros característicos de la onda portadora: amplitud, frecuencia, fase.

Modulación de amplitud (AM)

El primero de los moduladores inventados en los inicios de la radio difusión es el modulador de amplitud, más conocido como AM por sus siglas en inglés:

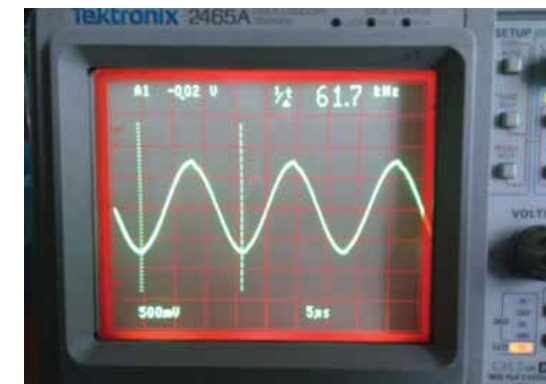
Gráfico 75. Modulador



Fuente: el autor

Por ejemplo, con ayuda de un generador de baja frecuencia producimos como banda base un tono de $f_1 = 61 \text{ kHz}$ y con un generador de alta frecuencia, hacemos una portadora $f_2 = 4.5 \text{ MHz}$; el generador de alta frecuencia dispone de entrada de modulación. Con ayuda de un osciloscopio, podemos obtener las siguientes formas de onda:

Gráfico 76. Señal modulante o banda base, sinusoidal de 61 kHz



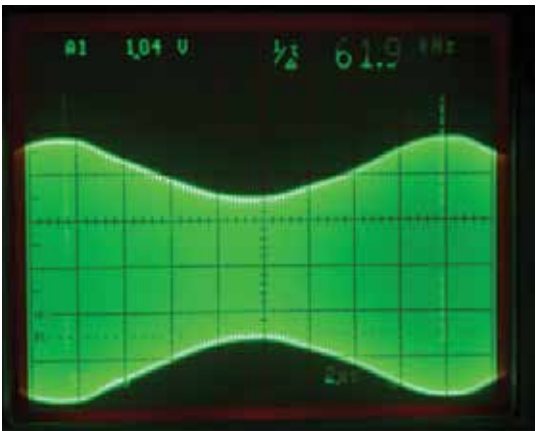
Fuente: el autor

Gráfico 77. Señal portadora de 4.5 MHz



Fuente: el autor

Gráfico 78. Señal compuesta, portadora de 4,5 MHz (la envuelta) modulada en amplitud por la modulante de 61,5 kHz (la envolvente)

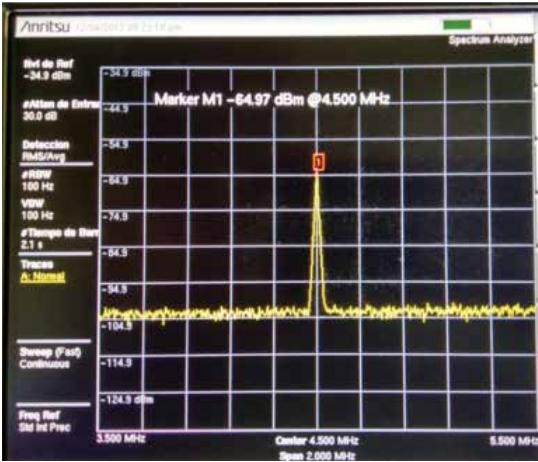


Fuente: el autor

En las figuras anteriores se puede “ver” el fenómeno básico de la modulación. Ya hubiese Guillermo Marconi querido tener a su disposición los instrumentos con los que se cuenta en la actualidad. Ellos, a inicios del 1900, solo podían visualizar en su imaginación lo que estaba aconteciendo y, sin embargo, lo lograron.

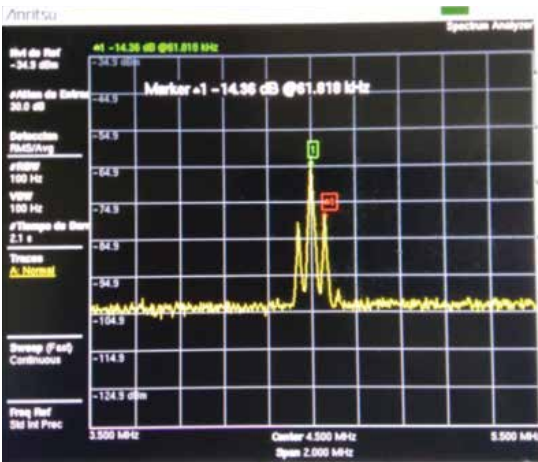
Observemos las mismas señales, pero ya no en un osciloscopio, que nos muestra la amplitud en función del tiempo; sino en un analizador de espectros, que lo hace en la amplitud, en función de su frecuencia:

Gráfico 79. Cómo se ve en un analizador de espectros la señal portadora f2 de 4,5 MHz



Fuente: el autor

Gráfico 80. Y como se ve la señal f2 de 4.5 MHz modulada en amplitud por una señal f1 de 61 kHz



Fuente: el autor

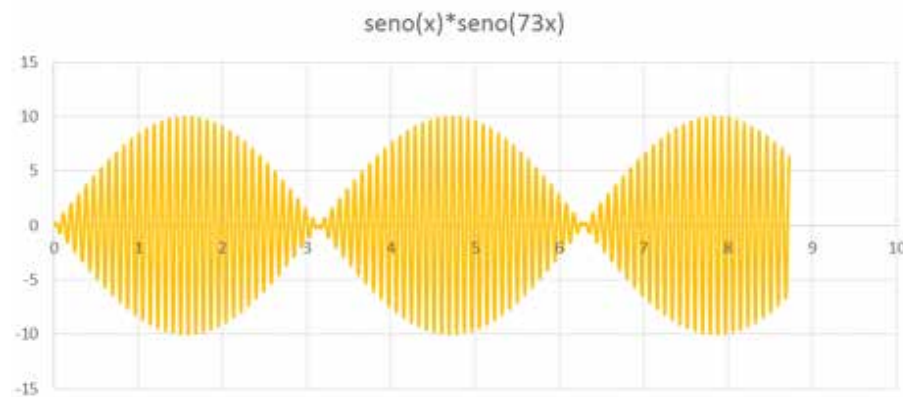
Observamos que ahora tenemos tres frecuencias: la portadora central de $f_2 = 4.5 \text{ MHz}$ y dos señales laterales iguales a la suma y la diferencia entre las señales involucradas, es decir:

$$f_3 = 4,5 \text{ Mhz} - 61 \text{ kHz} = 4,439 \text{ Mhz}$$
$$f_4 = 4,5 \text{ Mhz} + 0,061 \text{ MHz} = 4,561 \text{ Mhz}$$

Busquemos el porqué:

Al graficar el producto de dos funciones sinusoidales $\text{seno}(x) \cdot \text{seno}(y)$ en el programa Excel, obtenemos el siguiente resultado:

Gráfico 81. Gráfico del producto de dos señales sinusoidales en relación 73:1 para simular la relación entre 4.5 MHz y 61 kHz



Fuente: el autor

Esta señal corresponde a una modulación AM con un "índice de modulación" del 100 %. Se observa claramente la envolvente que es la señal de más baja frecuencia o también llamada banda base. Mientras que la señal interior corresponde a la senoide de alta frecuencia o portadora.

De esta manera concluimos que la modulación en amplitud corresponde matemáticamente al producto de dos señales sinusoidales de frecuencia f_1 y f_2 . Por lo tanto:

$$\text{MODULACIÓN EN AMPLITUD} = \text{Seno} (2.\pi. f_1.t) \text{ Seno} (2.\pi.f_2.t)$$

De acuerdo con una conocida identidad trigonométrica:

$$\text{sen} (A) * \text{sen} (B) = \frac{\text{Cos} (A - B) - \text{Cos} (A + B)}{2}$$

Reemplazando los valores:

$$A = 2.\pi.f_2.t$$

$$B = 2.\pi.f_1.t$$

Tenemos que

$$A - B = 2.\pi.t (f_2 - f_1)$$

$$A + B = 2.\pi.t (f_2 + f_1)$$

De donde se observa que la modulación AM ha producido como resultado espectral, la creación de dos nuevas frecuencias equivalentes a la suma y la diferencia de las dos frecuencias originales modulante y modulada. Esto es lo que pudimos observar en la pantalla del analizador de espectros de la gráfica #80.

En el caso de la radio difusión AM, la señal vocal humana está formada por una variedad de frecuencias comprendida entre los 300 y los 3 400 Hz (espectro de banda base f_1). Mientras que la portadora f_2 es cercana a los 1 000 kHz, teóricamente, un impulso (visto en el analizador de espectros) sin ancho.

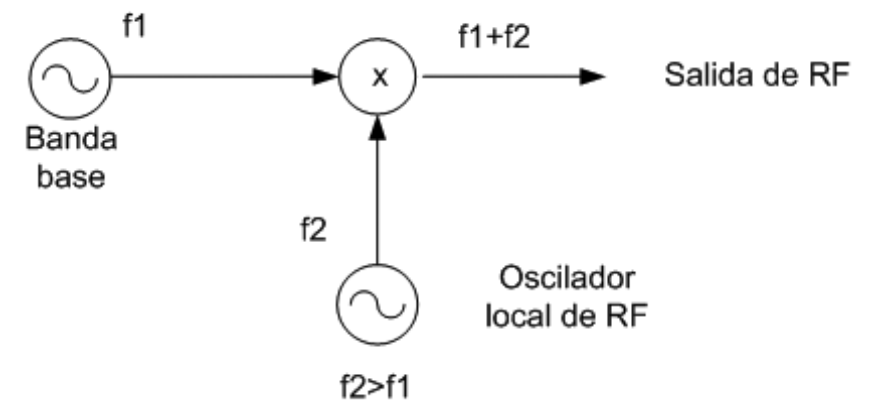
Al producirse la modulación de amplitud, se puede visualizar como que el espectro de la voz humana f_1 se ha "trasladado" en frecuencia (f_1+f_2), o se ha "montado" en la frecuencia portadora f_2 , justamente para ser transportado en forma de radiación electromagnética.

La componente de frecuencia que no se usa, en este caso f_2-f_1 simplemente se desecha con la ayuda de un proceso de filtrado de la señal de salida (rechazo de frecuencia imagen).

Este proceso de trasladar un espectro de baja frecuencia a una portadora de alta frecuencia, es muy común y muy importante en la tecnología de las radiocomunicaciones y se conoce como el proceso de *upconverter*.

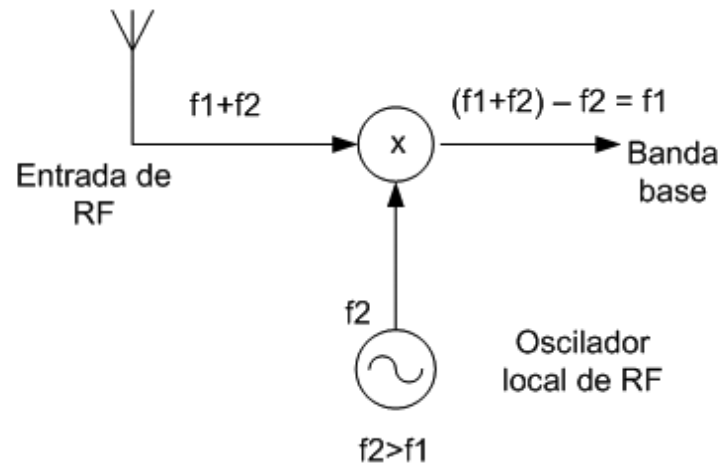
El procedimiento contrario que consiste en mezclar (multiplicar) una señal f_1+f_2 con una oscilación de frecuencia f_2 y esta vez quedarse con la diferencia; es decir $(f_1+f_2)-f_2 = f_1$ sirve para recuperar la banda base en el lado de recepción y, a este proceso, se lo conoce como *downconverter*.

Gráfico 82. Upconverter



Fuente: el autor

Gráfico 83. Downconverter

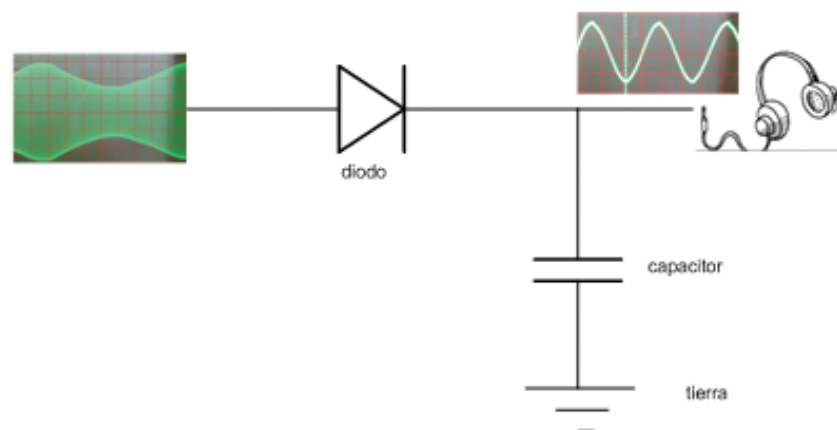


Fuente: el autor

Como se puede notar, el proceso de *downconverter*, equivale a la demodulación.

En el origen de las telecomunicaciones, la radio AM fue muy importante, ya que de una manera simple lograba transmitir la voz humana a través de las ondas de radio. El proceso para recuperar el audio en un receptor de AM, se conoce como demodulación y se logra a través de un circuito muy simple formado por un diodo y un capacitor:

Gráfico 84. Demodulador AM básico



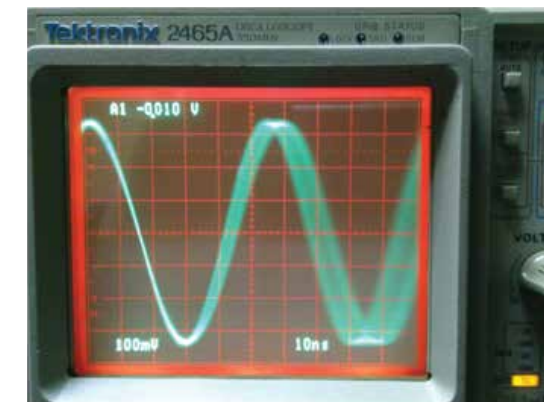
Fuente: el autor

El esfuerzo realizado para conocer los pormenores de la modulación y demodulación AM, rinde ahora sus frutos, ya que hemos obtenido el concepto de traslación de frecuencias, *Upconverter* y *Downconverter*. Añadamos que también existe una técnica mediante la cual, la señal de banda base no modula directamente la amplitud de la señal portadora de radio frecuencia (RF), sino que lo hace a una frecuencia auxiliar conocida como *frecuencia intermedia*. Esto se debe a que muchas veces la señal portadora es demasiado alta para ser alcanzada en una sola etapa de traslado y modulación. Por ello se realiza este paso intermedio, al cual se le conoció también como *heterodinaje*. De ahí el nombre que se usa para ciertos receptores antiguos "super heterodinos". En una etapa posterior, la frecuencia intermedia se convierte en la banda base que modula en AM (ahora sí) la amplitud de la portadora final de RF. Es decir, puede haber doble modulación, y no necesariamente estas modulaciones son de la misma naturaleza (por ejemplo se puede modular en QAM la frecuencia intermedia y, con ésta, se modula en AM la frecuencia de radio)

Modulación de frecuencia (FM)

Otra forma de añadir la información o señal de audio a una señal de RF, consiste en manipular la esta vez la frecuencia de dicha portadora; ya no su amplitud. Este procedimiento se conoce como FM por sus siglas en inglés.

Gráfico 85. Señal modulada en frecuencia



Fuente: el autor

Nótese en la figura precedente cómo la amplitud de la señal portadora permanece invariable, mientras que su frecuencia "tiembla" al ritmo de la modulante de banda base.

La radio FM es muy popular en la actualidad sobre todo en los receptores de radio de los vehículos. Esto es debido a que proporciona mejor calidad de sonido (estéreo) que la radio AM. Para la radio difusión pública, las estaciones de FM transmiten en frecuencias que van desde los 88 hasta los 108 MHz.

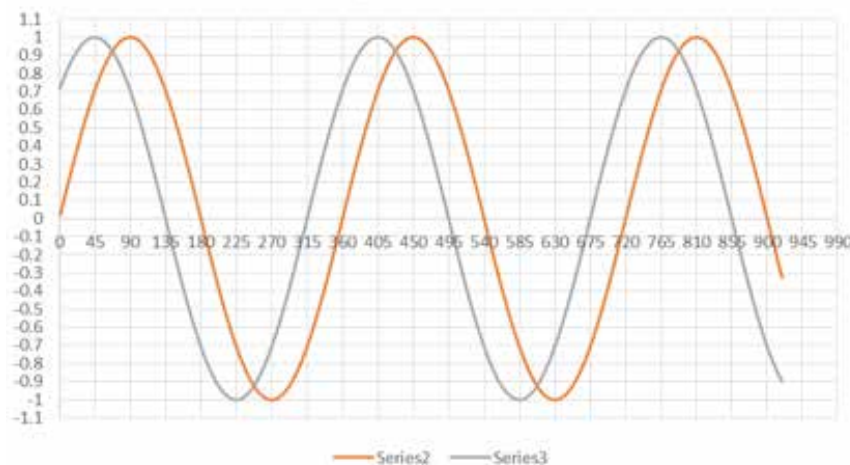
Este tipo de modulación también es utilizada en comunicaciones privadas, de los servicios públicos de aeronavegación, radio taxis, etc. Pero en sus propias bandas de frecuencia que pueden ir desde los 130 hasta los 450 MHz.

No nos detendremos mucho en este tipo de modulador. Solamente aclaramos que junto con la modulación AM, la FM es una modulación analógica. Como ya habíamos recalado, la señal de salida del modulador, es semejante a la señales de entrada ya sea en amplitud o en frecuencia, por este motivo de semejanza es que se denomina modulación analógica.

Modulación de fase (PM)

Consideremos los siguientes gráficos:

Gráfico 86. Ángulo de fase 45°



Fuente: el autor

La señal sinusoidal azul, está adelantada 45° respecto a la señal en rojo. Veamos por ejemplo, cuando el ángulo es de 0°, la señal azul tiene una amplitud de 0,707 y la señal roja tiene una amplitud de cero. Recién cuando el ángulo es de 45°, la señal roja toma el valor de 0,707; pero en ese instante ya la señal azul vale 1.

Si la señal roja equivale a la función $y = \text{seno}(x)$, la señal azul equivale a la función $y = \text{seno}(x+45^\circ)$

Esto es algo muy fácil de graficar en una tabla de Excel. En la práctica, sin embargo, se requiere un circuito formado por condensadores e inductores apropiados para realizar este retardo de fase.

Como ejemplo citemos el caso real, donde a la frecuencia de 70 MHz, un trozo de cable coaxial de 75 Ω de impedancia, de un metro de longitud, retrasará la salida con respecto a la entrada un total de 5 nanosegundos; veamos cuanto se ha retrasado la fase de la entrada:

$$f = 70 \text{ Mhz}$$

$$T(s) = \frac{1}{f} = \frac{1}{70 \times 10^6}$$

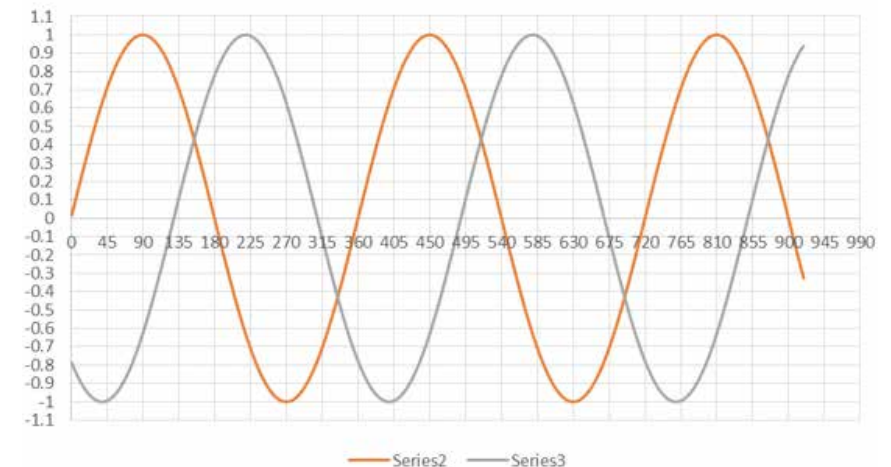
$$T = 14,3 \text{ ns}$$

Entonces el periodo de la señal es de 14.3 nano segundos. Si un metro de cable coaxial retarda 5 ns; esto quiere decir que:

$$\theta = 5 \text{ ns} * \frac{360^\circ}{14,3 \text{ ns}} = 125,9^\circ$$

Por lo tanto, el gráfico sería:

Gráfico 87. Ángulo de retardo $\theta = 125,9^\circ$

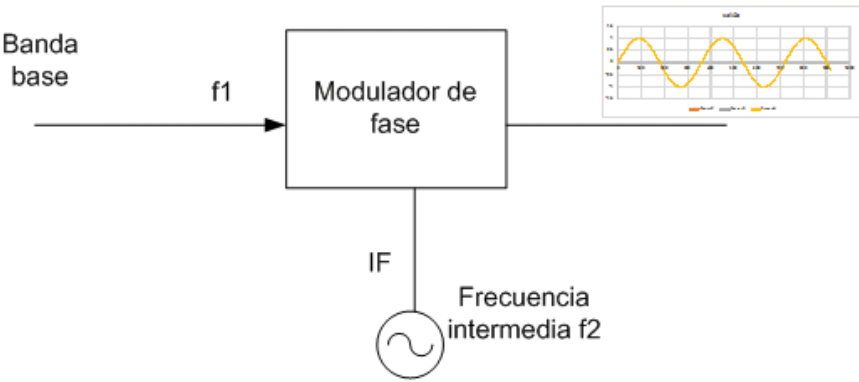


Fuente: el autor

La señal de entrada roja tiene el valor de 1 cuando el ángulo es de 90°, mientras que la señal de salida azul recién llega a ese valor cuando el ángulo es de 216°. Por lo tanto, la señal azul está retrasada con respecto a la señal roja una fase θ de 126 grados.

Variando la capacitancia o la inductancia de un circuito cambiador de fase, obtendremos a la salida una señal de amplitud y frecuencia constante; pero cuya fase varíe al ritmo de la señal modulante de audio (banda base).

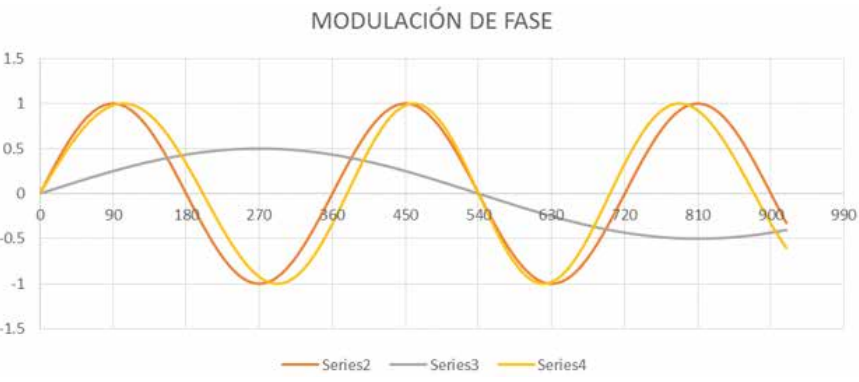
Gráfico 88. Modulador de fase



Fuente: el autor

La salida del modulador de fase responde a la función
 $y = \text{Seno}(A - \theta * \text{Seno}(B))$
Donde:
 $A = 2 \cdot \pi \cdot f2$, la frecuencia portadora
 $B = 2 \cdot \pi \cdot f1$, la frecuencia modulante
 θ = desfase inicial

Gráfico 89. En rojo la señal portadora IF, en azul la señal modulante.
En amarillo la señal IF modulada en fase



Fuente: el autor

Hasta este punto quedan descritas los tres tipos principales de modulación analógica: modulación de amplitud AM (*Amplitude Modulation*), modulación de frecuencia FM (*Frequency Modulation*) y modulación de fase PM (*Phase Modulation*). Ahora realizaremos una descripción

de la modulación digital, la cual es una tecnología moderna que permite la transmisión de información digital ya no analógica. Sin embargo, es necesario que antes nos adentremos en los conceptos, que dieron origen al mundo digital.

Conversión analógico/digital. Digitalización de señales

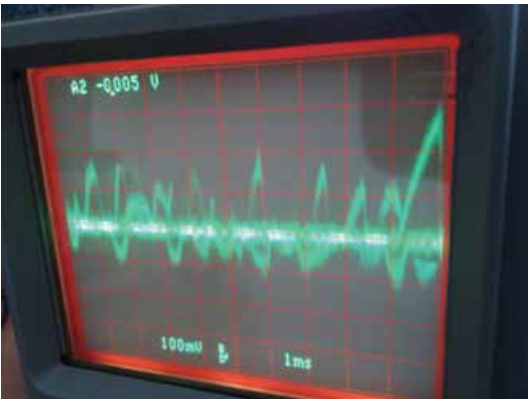
La idea fundamental tiene que ver con la cuantificación y codificación de la señal de voz humana, en una técnica conocida como PCM (*Pulse Code Modulation* por sus siglas en inglés), traduciendo modulación por codificación de pulsos.

Los estudiosos del funcionamiento del oído humano indican que éste puede distinguir sonidos entre 100 Hz y 20 kHz. Pero, también se ha establecido que las componentes de frecuencia suficientes para entender el mensaje y, aun, distinguir el timbre de la voz, están entre 300 y 3 400 kHz.

Si se limita, por razones técnicas, el ancho espectral de la voz humana y se lo circunscribe entre 0 y 4 000 Hz, el mensaje será suficientemente inteligible, sin distorsionar demasiado el timbre de la voz.

Un micrófono es un dispositivo que convierte los sonidos, especialmente, la voz, en señales eléctricas analógicas. En un osciloscopio, con ayuda de un micrófono común, se mira de la siguiente manera la palabra “hola” repetida continuamente:

Gráfico 90. La palabra “hola” vista como una pequeña señal eléctrica de 200mV de amplitud.
Escala vertical 100mV/div. Escala horizontal 1 ms/div



Fuente: el autor

Gráfico 91. La palabra “hola” vista en la aplicación “oscilloscope” del teléfono celular

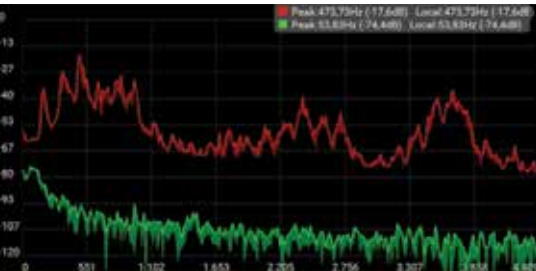


Fuente: el autor

Las figuras que presenta el osciloscopio son la que hay que muestrear y codificar (¡digitalizar!) como veremos posteriormente.

En un analizador de espectros de audio (por ejemplo una aplicación bajada a este efecto desde *play store*), las componentes de frecuencia de esa misma voz, diciendo la palabra “hola”, se verían de la siguiente manera:

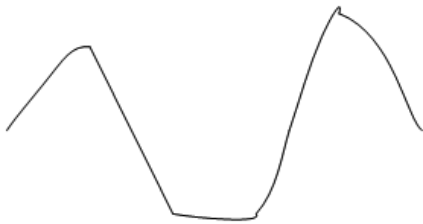
Gráfico 92. La misma palabra “hola”, dicha frente a un analizador de espectros de audio (aplicación del teléfono celular)



Fuente: el autor

Para efectos explicativos, imaginemos una señal eléctrica (amplificada) que corresponda a la voz humana que varíe de 0 a 7 voltios de amplitud; sería como la siguiente:

Gráfico 93. Señal analógica de audio de 7 V de amplitud



Fuente: el autor

A esta señal analógica, se la somete al siguiente proceso:

a. Muestreo (*sampling* en inglés), que consiste en medir la amplitud de voltaje que tiene la señal en determinado instante. Este proceso es periódico, es decir a intervalos regulares de tiempo T.

Técnicamente se ha determinado que la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual al doble de la máxima frecuencia de la señal a muestrear. En el caso de la voz humana, la máxima frecuencia a muestrear dijimos que era 4 kHz. Por lo tanto, el circuito debe muestrear a 8 kHz mínimo, es decir debe tomar 8 000 ¡muestras por segundo!

Ya que, la frecuencia es el inverso del periodo:

$$f = \frac{1}{T}$$

Tenemos que si f = 8000 Hz, entonces

$$T = \frac{1}{8000} = 0,000125 \text{ s}$$

Es decir, el circuito debe medir y entregar un valor de voltaje cada 125 microsegundos.

b. Cuantificación. Consiste en un tratamiento estadístico de la información entregada por el circuito muestreador, el valor de amplitud de voltaje medido se incluye dentro de un rango de valores dados. Por ejemplo, si la amplitud de la señal máxima es 7 voltios y se los ha subdividido en pasos de 1 voltio, los intervalos quedan definidos de 0 a 1 voltio, de 1 a 2, de 2 a 3, etc., hasta 6 a 7 voltios. Un total de siete intervalos.

Tabla 37. Intervalos y voltajes

Número de intervalo	Valor (voltios)
1	0 a 1
2	1 a 2
3	2 a 3
4	3 a 4
5	4 a 5
6	5 a 6
7	6 a 7

Fuente: el autor

Si la señal analógica, por ejemplo, mide en un instante 6,5 V, automáticamente queda asignada al intervalo 7.

c. Codificación. Cada intervalo es identificado, ya no en forma decimal como 1, 2,3, sino que se le asigna su número binario equivalente:

Tabla 38. Codificación de intervalos

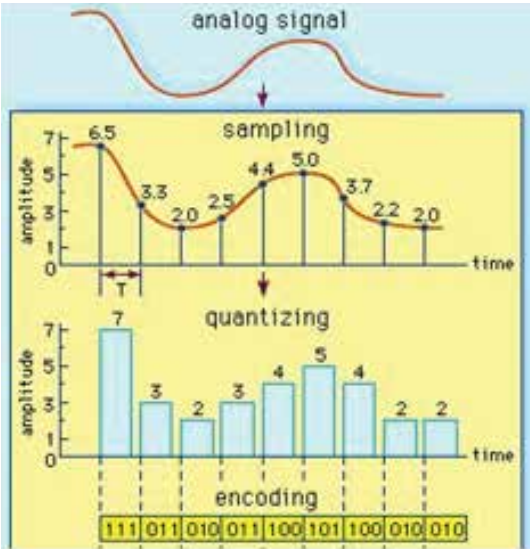
Código de intervalo	Valor (voltios)
001	0 a 1
010	1 a 2
011	2 a 3
100	3 a 4
101	4 a 5
110	5 a 6
111	6 a 7

Fuente: el autor

En el ejemplo que vimos, si la señal analógica arrojó un valor de 6,5 V, se le asigna al intervalo 111.

El siguiente gráfico resume el procedimiento visto (Enciclopedia Británica, s. f.):

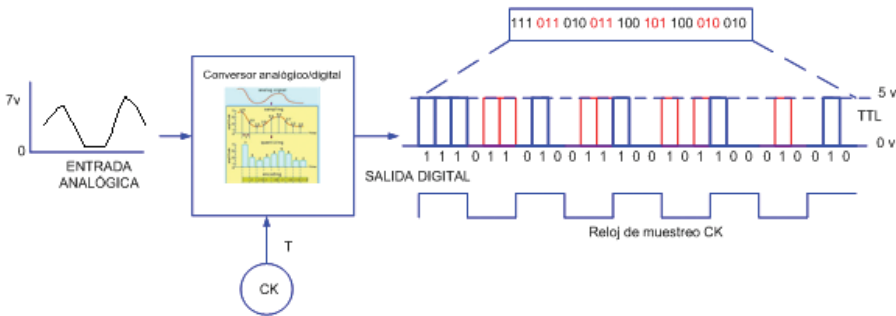
Gráfico 94. Digitalización de señales



Fuente: Enciclopedia Británica, s. f. Adaptación del autor

Resumiendo:

Gráfico 95. Conversión A/D



Fuente: el autor

Tal como fue descrito en los cursos básicos, con los dos números binarios 1 y 0 (simplemente llamados *bit*), podemos contabilizar lo mismo que con los dígitos decimales 0 a 9. Lo interesante de tener solo los dos dígitos binarios es que podemos asociarlos a dos estados de cualquier magnitud física. Por ejemplo, *on /off* de un foco correspondan a 1 y 0 respectivamente; un silencio es 0 y un sonido es 1, un impulso de voltaje en un alambre de cobre es 1 y ausencia de voltaje es el 0. Láser encendido es 1; laser apagado es cero.

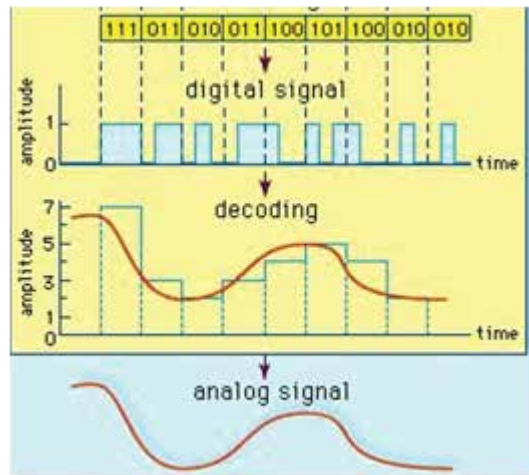
En los circuitos, sin embargo, lo que se intercambian son voltajes, por ello existe una asignación conocida como TTL (Transistor Transistor Logic por sus siglas en inglés), lógica transistor-transistor, en la cual se define como 1 al voltaje de 5 voltios. Y como 0 a cero voltios. Lo importante también es que cada 1 y cada cero tienen un tiempo de duración determinado por el periodo de muestreo “T”.

La figura #95 es sumamente importante para las telecomunicaciones y, en general, en la tecnología moderna, pues es la técnica que marca el paso de la tecnología analógica, a la digital. Y más aún, del mundo analógico al mundo digital. La información convertida en 1s y 0s, es decir, en *bits*, los cuales pueden ser almacenados y posteriormente procesados a voluntad por medio de programas de computadora.

Conversión digital / analógico

Una vez que se tiene la señal analógica en formato digital (bit 0 y bit 1), se lo puede transmitir a otra localidad, donde se realizará el procedimiento contrario conocido como conversión digital / analógico, a fin de recuperar la señal de audio original:

Gráfico 96. Conversión D/A



Fuente: Enciclopedia Británica, s. f. Adaptación del autor

PCM

Para una adecuada fidelidad de la voz se realiza una codificación con 8 bits (a un grupo de 8 *bits* se lo conoce como *byte*), los cuales proveen de 2^8 intervalos, es decir, 256 intervalos (ley A y ley u de acuerdo con la UIT).

Vimos también que la frecuencia de muestreo adecuada era de 8000 muestras por segundo.

Esto nos da un resultado interesante, ya que la velocidad a la cual este conversor A/D nos entrega la salida de *bits* es:

$$v = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{segundo}} * \frac{8 \text{ bits}}{\text{muestra}} = 64000 \frac{\text{bits}}{\text{segundo}}$$

La cual es la velocidad primaria de un canal digital individual: 64 kb/s.

Otro resultado obtenido es que el tiempo de duración de un *bit* (ya sea cero o uno) es de:

$$t_{\text{bit}} = \frac{1}{64000} = 15,6 \text{ us}$$

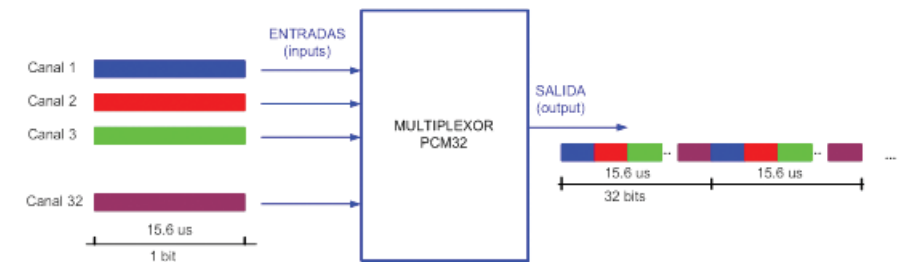
Y, por lo tanto, la duración de un byte será de 125 us.

Multiplexaje (PCM32)

Existe una técnica llamada *multiplexaje*, que se basa en la idea de que el tiempo de duración de un *bit* es demasiado largo. ¿Por qué no acomodar treinta y dos canales en esos 15,6 us que le corresponden a un solo *bit*? Repartir el mismo lapso a más canales se conoce también como TDM (*Time Division Multiplexing* por sus siglas en inglés)

Veamos el siguiente gráfico:

Gráfico 97. Multiplexor PCM 32



Fuente: el autor

La velocidad de salida de este multiplexor estaría dada por:

$$V = 32 \times 64000 \frac{\text{bits}}{\text{segundo}} = 2'048.000 \text{ bit / segundo}$$

Es decir, el conocido E1 TDM, cuya velocidad se conoce simplemente como 2 Mb/s

Evidentemente existe el *demultiplexor*, que es un circuito que recibe en su entrada una trama PCM32 y, a su salida, devuelve los 32 canales individuales de voz de 64 kb/s.

Banda base analógica y banda base digital

Tal como ya fue definido, la banda base es la señal o la información que se pretende transmitir a distancia utilizando para ello el medio adecuado, en este caso las ondas electromagnéticas. Como ejemplo de banda base analógica podemos tener señales de audio o señales de video (tal como salen del micrófono o de la cámara de video analógica). Como ejemplo de banda base digital tenemos la trama PCM30, la trama STM-1 (señales digitales multiplexadas en tiempo TDM) y la trama Ethernet (tecnología de transmisión de datos por ráfagas discontinuas en el tiempo).

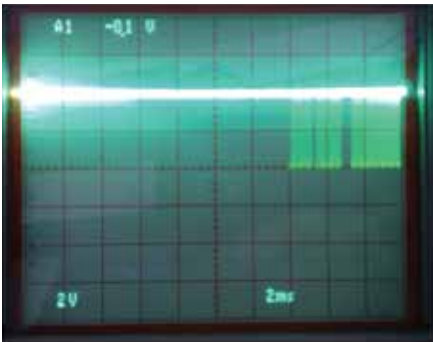
Los equipos modernos pueden transmitir tanto TDM como Ethernet a la vez. Aunque la facilidad de uso de las tramas Ethernet con protocolo IP ha hecho que las tramas TDM sean cada vez menos comunes. Veamos los siguientes ejemplos:

Gráfico 98. La voz humana es una señal analógica, pues los impulsos eléctricos son semejantes a la vibración de la voz



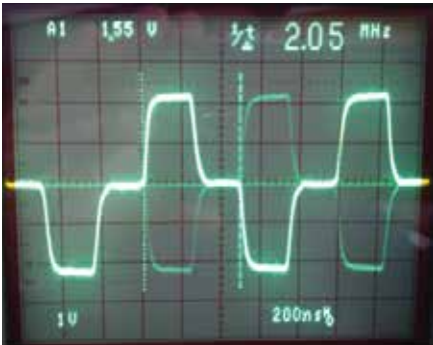
Fuente: el autor

Gráfico 99. Trama Ethernet 802.3, 10 Base2, vista en el osciloscopio. Corresponde a un comando “ping” de 1500 bytes. Pueden observarse las ráfagas de datos a la derecha



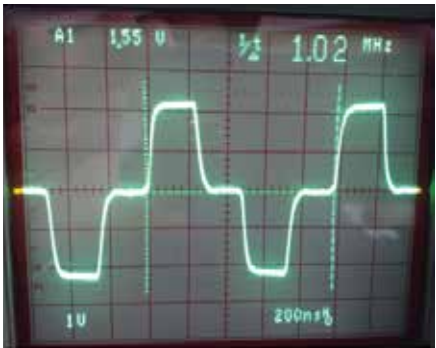
Fuente: el autor

Gráfico 100. Trama PCM30 vista en el osciloscopio (ITU G.703). Aparece una especie de “fantasmas” debido a que el osciloscopio solo puede sincronizar señales periódicas



Fuente: el autor

Gráfico 101. AIS en código HDB3. Alarm Indication Signal. Se usa para señalar pérdida de tráfico de 2Mb/s, es todos 1 en código de línea HDB3 (alternancia de polaridad, con violación cada tres ceros)



Fuente: el autor

Gráfico 102. Generador de patrones de 2 Mb/s. “Pattern”



Fuente: el autor

En la actualidad existen dos formas principales de transmisión de banda base digital: tráfico TDM y tráfico Ethernet /IP. El tráfico TDM (*Time Division Multiplexing*) semeja a una banda transportadora de *bits* que todo el tiempo está funcionando de forma continua, pero no admite sobre carga. Ejemplos de tráfico TDM son las tramas PDH (plesiócronas), SDH (síncronas). Mientras que el tráfico Ethernet /IP funciona a modo de ráfagas de datos, solo emite cuando

hay datos que transportar -semejante a una banda transportadora que solo se activa cuando hay maletas que entregar-, el resto del tiempo el canal está ocioso; sin embargo, en ese tiempo ocioso puede transportar tráfico que no sea prioritario.

TDM es natural y funciona adecuadamente para servicios en “tiempo real” como por ejemplo una conversación verbal entre dos personas. Por su parte, Ethernet/ IP funciona apropiadamente para tráfico digital que no necesariamente se requiera que sea en tiempo real, por ejemplo, descargar una página Web, enviar email, conversación de texto en whatsapp, etc., en los cuales es aceptable cierto retardo. Tráfico en tiempo real puede cursarse, sin embargo, en sistemas de transmisión Ethernet /IP, asignando lo que se conoce como prioridades de tráfico y calidad de servicio (QoS). La versatilidad de la transmisión Ethernet/IP y el hecho de que actualmente están en auge los servicios digitales de navegación Web, ha determinado que la banda base Ethernet / IP se popularice en todo equipo de transmisión digital, ya sea microondas, fibra óptica, acceso móvil celular, etc.

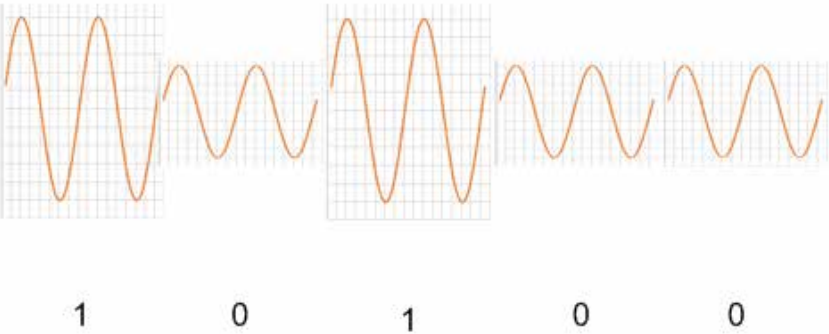
Modulación digital

Una vez que se tienen disponibles las señales de audio, video, etc., digitalizadas, es necesario encontrar la manera de realizar su preparación para que sean transmitidas en ese mismo formato por las ondas radioeléctricas.

Se disponen de varias técnicas entre ellas las más directas son las denominadas ASK (Amplitude Shifting Keying), FSK (Frequency Shifting Keying) y PSK (Phase Shifting Keying).

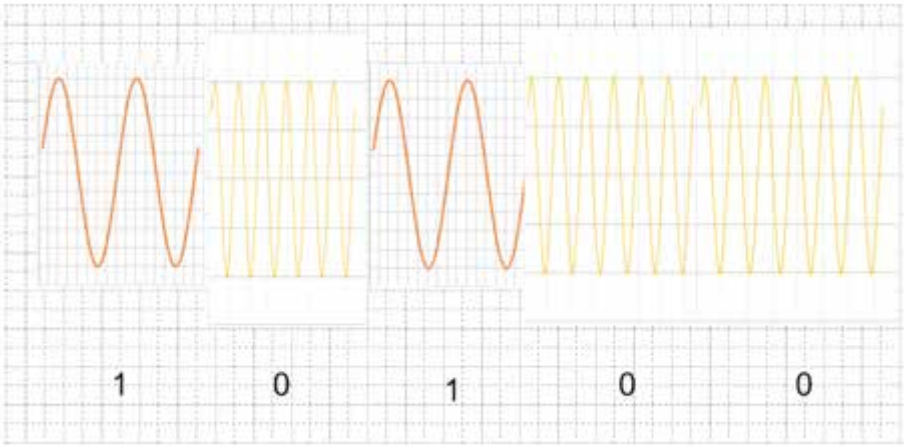
Los siguientes gráficos nos lo explican:

Gráfico 103. Modulación ASK



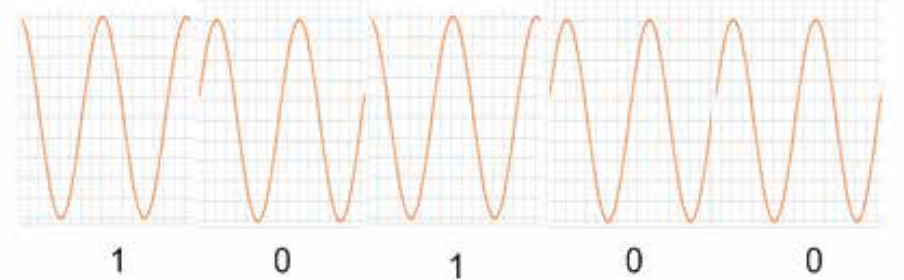
Fuente: el autor

Gráfico 104. Modulación FSK



Fuente: el autor

Gráfico 105. Modulación PSK



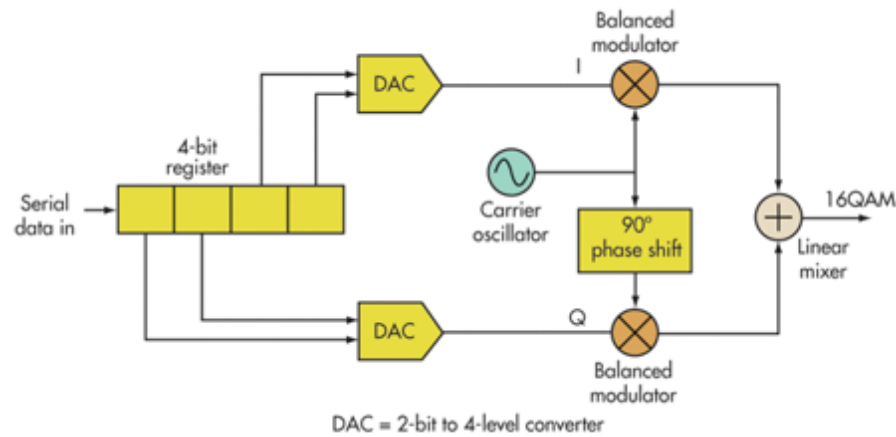
Fuente: el autor

Modulación QAM

Existe un tipo de modulación digital que es mucho más eficiente ya que aprovecha tanto la fase como la amplitud de la señal portadora para introducir en ella los bits de información. Esta modulación se conoce como QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, por sus siglas en inglés), modulación de amplitud en cuadratura, donde la señal sinusoidal pura de frecuencia intermedia (por ejemplo IF=70, 140, 330 MHz) es dividida en dos señales con fases separadas 90°, es decir la una corresponde al seno (x) y la otra al coseno de (x), de allí el nombre de cuadratura.

Observemos el caso del modulador 16QAM:

Gráfico 106. Diagrama del modulador 16QAM



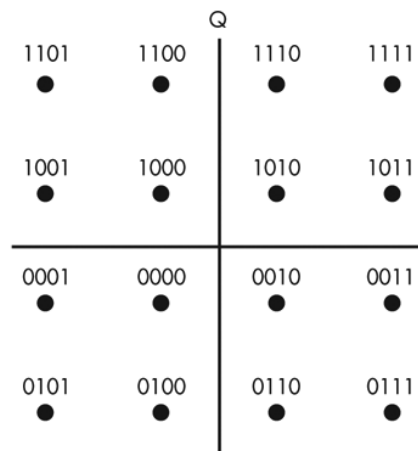
Fuente: Penton, 2017. Adaptado por el autor

El concepto básico es obtener dos señales de frecuencia intermedia (por ejemplo 70 MHz) desfasadas entre ellas 90°, dichas frecuencias se originan en un mismo oscilador.

La banda base digital ingresa al modulador para ser agrupada en registros de 4 bits. Cada uno de estos bits pasa a los conversores D/A digital a analógico, donde se convierten en niveles voltaje los cuales pasan al multiplicador para variar directamente la amplitud de la señal de frecuencia intermedia (*carrier oscillator* en el dibujo) I o Q según la rama del circuito que han seguido.

Finalmente, las señales vuelven a juntarse a través del circuito sumador de salida. Mediante un diagrama de constelación, puede visualizarse el hecho de que los cuatro bits ocasionan un solo y único estado combinado de amplitud y de fase de la señal portadora:

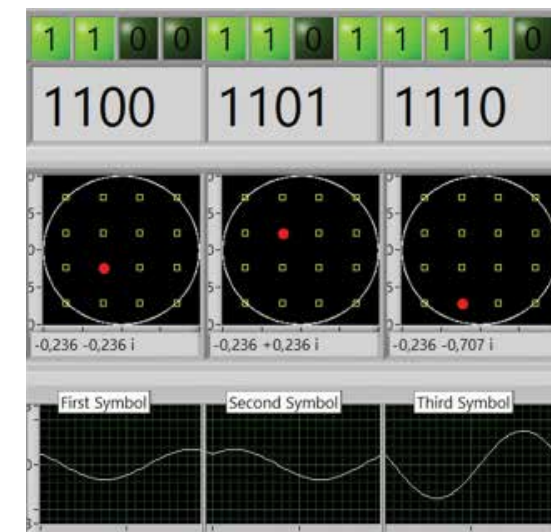
Gráfico 107. Diagrama de constelación de un modulador 16QAM



Fuente: Penton, 2017. Adaptación del autor

Cada uno de los puntos de la constelación corresponde a grupos de 4 bits que van desde 0000 hasta 1111 y, con ayuda de la herramienta de simulación *labview* (national instruments, 2012) se puede observar la fase y la amplitud de la portadora modulada.

Gráfico 108. Visualización de la amplitud y fase de IF, correspondientes a la entradas de 4 bits



Fuente: National Instruments, 2012. Adaptado por el autor

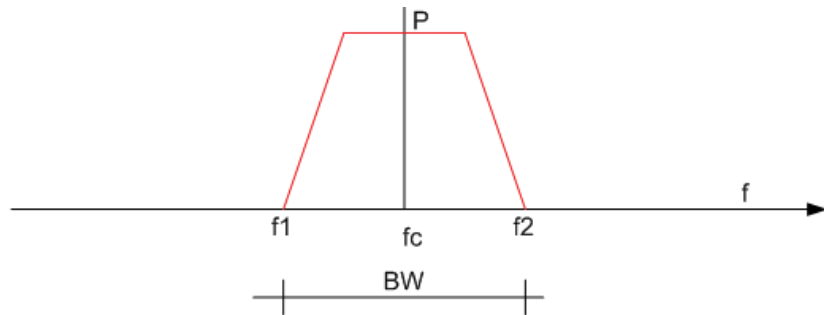
En la actualidad, los equipos de microondas incluyen moduladores de hasta 2048 QAM. Incluso operando bajo la modalidad ACM (*Adaptive Coded Modulation*), que permite adaptar la modulación a las condiciones del enlace, incrementando su capacidad en condiciones de buen clima y buena propagación.

Ancho de banda espectral

Como hemos visto, la modulación consiste en añadir la información de banda base (ya sea digital o analógica) a una portadora de frecuencia intermedia.

Si observamos la salida del oscilador de frecuencia intermedia en un analizador de espectros miraremos un pulso centrado en la frecuencia central f_c . Pero si observamos la salida propiamente del modulador en el analizador de espectros veremos que hay un espectro centrado en la frecuencia central f_c .

Gráfico 109. Espectro de salida del modulador



Fuente: el autor

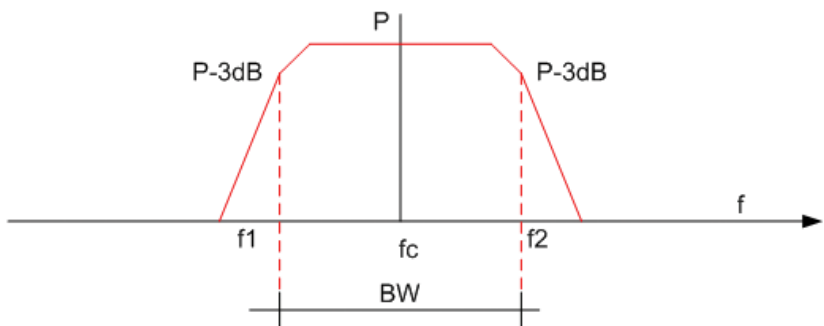
La palabra espectro describe un rango de componentes de frecuencia. Esta palabra se usa también en otras áreas de la ciencia y de la sociedad, para describir cuando algo tiene un rango de componentes. Por ejemplo, se tiene un cierto medicamento antibiótico que combate muchas variedades de bacterias productoras de afecciones a la garganta. Se dice entonces que el medicamento es de amplio espectro. Es conocido también el espectro de la luz solar, pues se sabe que la luz blanca es en realidad la suma de luz azul, verde, roja, violeta, etc. Otro ejemplo es el espectro de las ideologías políticas, unos centro, otros izquierda, otros más o menos derecha.

Se define como ancho de banda espectral (BW, *Band Width* en inglés) los límites marcados por las frecuencias f_1 y f_2 dentro de las cuales se concentra la información añadida a la portadora de frecuencia central f_c (Gráfico # 109). Existen dos criterios principales para determinar el ancho de banda espectral de una señal modulada:

a.) Puntos de -3 dB

Son los puntos a cada lado del espectro, donde la potencia es 3 dB menor que en la frecuencia central. Dichos punto definen las frecuencias f_1 y f_2 siendo la diferencia entre ellas el ancho de banda de ese espectro.

Gráfico 110. Ancho de banda de un filtro a los puntos de -3 dB

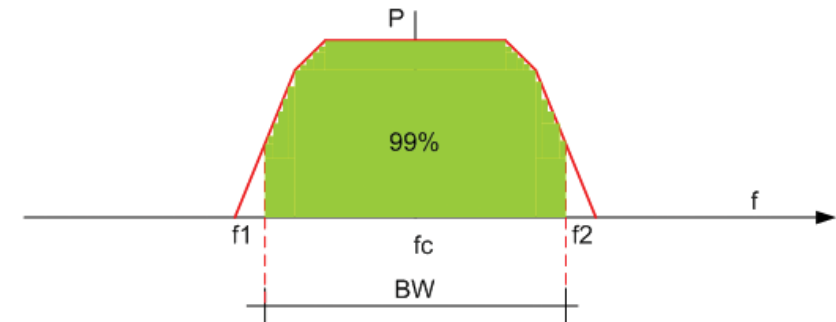


Fuente: el autor

b.) 99 % de la energía.

Las frecuencias f_1 y su simétrica f_2 , definen un área bajo la curva espectral, donde se halla contenida el 99 % de la potencia del espectro. El 100 % se mide con un instrumento medidor de potencia (bolómetro) y el 99 % con la función "potencia del canal" de un analizador de espectros.

Gráfico 111. Ancho de banda de un espectro al 99 % de potencia

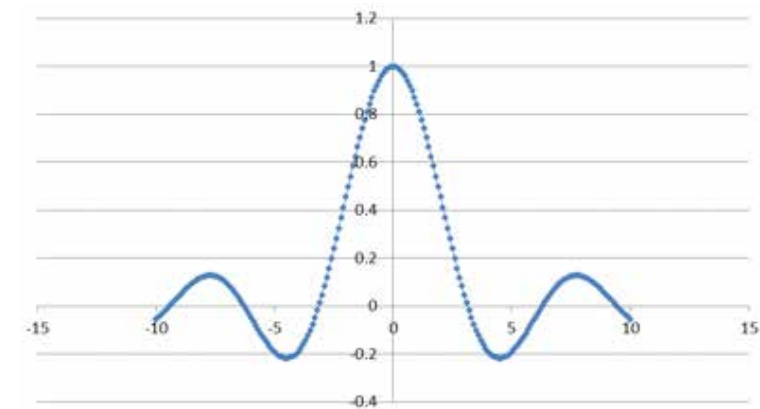


Fuente: Ares, 1997. Elaborado por el autor

Generalmente, el criterio de los puntos de -3 dB arroja un resultado, ligeramente, inferior al del criterio del 99 % de la potencia.

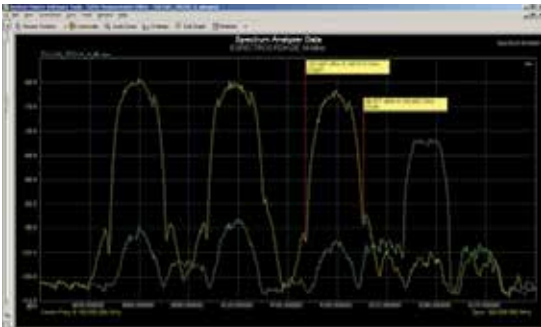
Veamos algunos casos reales. Por ejemplo, en las primeras modulaciones digitales -hace apenas 25 años-, como la 4PSK, el ancho de banda espectral estaba directamente relacionado con la tasa de *bits*, que se iba a transmitir. Así, para una velocidad de 34 Mb/s, el ancho espectral era de aproximadamente 30 MHz y la forma del espectro corresponde a la función $y = \text{sen}(x) / x$.

Gráfico 112. Espectro a la salida del modulador 4PSK. IF = 70 MHz



Fuente: el autor

Gráfico 113. Tres espectros reales en RF en 8 GHz (amarillos) de un equipo con modulación 4PSK



Fuente: el autor

En el caso citado, tenemos una velocidad de 34 Mb /s, que ha producido un ancho espectral de 30 MHz.

Se define la eficiencia espectral como:

$$\text{Eficiencia espectral} = \frac{\text{Velocidad (Mb / s)}}{\text{Ancho de banda (MHz)}}$$

En este caso:

$$\text{Eficiencia espectral} = \frac{34 \text{ (Mb / s)}}{30 \text{ (Mhz)}} = 1.13 \text{ Mb / s / MHz}$$

En la actualidad, la eficiencia espectral es muy alta gracias a los sistemas de modulación que van desde 4 hasta 2048 QAM manteniendo el ancho de banda fijo en 14, 28, 40 o 56 MHz (valores normalizados por la industria y por la UIT).

Por ejemplo, con modulación 256 QAM en un BW de 28 MHz, tenemos una velocidad de hasta 182 Mb/s, lo cual nos da una eficiencia espectral de 6.5 Mb/s/MHz. Es decir, más de cinco veces lo que se tenía hace apenas 20 años, en 1997.

La siguiente tabla nos permite comparar entre las diversas modulaciones versus las velocidades y anchos de banda:

Tabla 39. Modulación vs velocidad digital máxima (throughput)

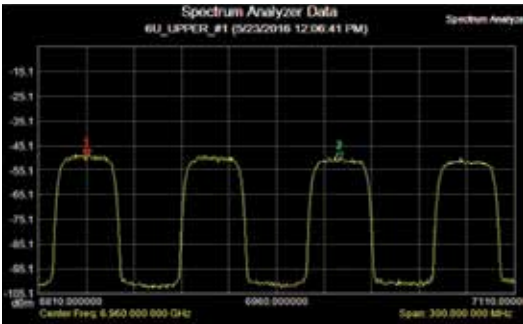
Modulation type	Net radio throughput (Mbit/s)			
	Channel bandwidth (MHz)			
	7	14	28	56
4QAMs	8.5	17.5	36.5	72.0
4QAM	10.0	20.5	42.0	84.5
16QAMs	17.5	35.5	72.5	144.0
16QAM	20.5	42.5	83.5	165.5
32QAM	24.5	50.5	104.5	207.0
64QAM	30.0	63.5	131.5	262.0
128QAM	36.0	75.5	156.5	310.5
256QAM	42.0	87.5	180.0	358.5
512QAM	46.5	97.5	200.0 (189.5) <small>▲</small>	399.5 (378.0) <small>▲</small>
1024QAM	51.5	107.0	223.5 (213.0) <small>▲</small>	446.0
2048QAM	-	111.0	233.5	471.5

Fuente: SIAE Microelettronica S.p.A, 2015. Adaptado por el autor

De acuerdo con esta tabla, un equipo moderno de microondas funcionando a 2048QAM con un BW de 28 MHz, proporciona una velocidad máxima de 233.5 Mb /s. Esto significa una eficiencia espectral de 8.3 Mb /s / MHz lo cual dista mucho de la antigua 4PSK que nos daba apenas 1.13.

Posteriormente, veremos que al incrementar la modulación se pierde confiabilidad del enlace; lo cual demuestra que la tecnología digital tiene unos límites bien definidos. En el siguiente ejemplo, podemos observar el ancho de banda y la forma de un espectro a la salida de un moderno equipo.

Gráfico 114. 4 espectros en banda 6U, mod. 128 QAM, BW 40 MHz



Fuente: el autor

El ancho de banda o ancho espectral, debe ser limitado tanto en frecuencia intermedia como en radio frecuencia, para evitar contaminar el espectro radioeléctrico y evitar interferir a otros sistemas. Las técnicas de filtrado permiten limitar el ancho de banda a los valores permitidos (filtros pasabanda, analógicos). Existen también filtros DSP (*Digital Signal Processing*) que eliminan las componentes espúreas en banda base, aún antes del modulador, mediante algoritmos de selección. También, los propios formatos de modulación digital incluyen la tecnología CPM (*Continuous Phase Modulation*) de modulación de fase continua que limitan las componentes espectrales la salida del modulador.

Es conocido (análisis de *Fourier*) que una señal periódica de frecuencia f , con forma de onda cuadrada tiene infinitos componentes de frecuencias múltiplos de f , de modo que si se conectara la señal de banda base directamente al modulador, a la salida también habrían componentes de frecuencia infinitas. Por eso, la necesidad de filtrado y *shaping* (preformado) para suavizar la forma de la señal. Asimismo, el “aleatorizador” o *scrambler* en inglés, que produce una pseudoaleatorización (patrón de repetición $2^{15} - 1$) de los bits unos y ceros a fin de lograr en el modulador y en el transmisor, limitar el ancho espectral de salida por medio de enmascarar cualquier periodicidad presente en la señal digital.

La tecnología de comunicación por microondas básicamente consiste en enviar por medio de las ondas electromagnéticas de alta frecuencia, este espectro así modulado al extremo remoto sin que exista en el camino deformaciones.

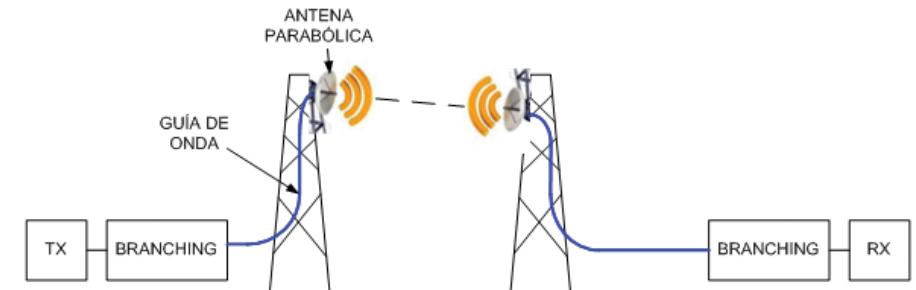
Es importante distinguir entre lo que es el ancho de banda espectral y lo que es el ancho de banda digital. Antiguamente, en los orígenes de la modulación digital, por ejemplo la 4 PSK, prácticamente el ancho de banda espectral estaba a la par con la velocidad de transmisión digital del enlace. Por ejemplo, para un enlace de 34 Mb/s de velocidad se tenía un espectro de 32 MHz de ancho; de ahí nace la asociación de ancho de banda para referirse también a la velocidad de transmisión o tasa de transferencia de bits.

Sin embargo, la tecnología de los moduladores digitales ha permitido incrementar esa capacidad en términos de eficiencia espectral, llegando a proveer en un canal de 28 MHz de ancho espectral, una señal de 200 Mb/s de ancho de banda digital. Ahora bien, cuando se trata de banda base Ethernet / IP, la velocidad digital de las tramas es mayor que la velocidad real de transferencia de datos. Esto es debido a que una trama *Ethernet* consiste de encabezado, dirección origen, dirección destino, realiza chequeo y control de errores, etc.; así, solo queda una porción del “ancho de banda digital” para lo que son propiamente los datos del usuario (*email*, *whatsapp*, etc.). Por este motivo aparece el término *throughput* para referirse a la velocidad digital neta a la cual realmente se transfieren los datos del cliente.

Circuito de microondas

Para efectos didácticos, podemos concebir un enlace de microondas entre el transmisor (TX) y el receptor (RX) como un “circuito” formado por elementos activos y pasivos.

Gráfico 115. Circuito de microondas



Fuente: el autor

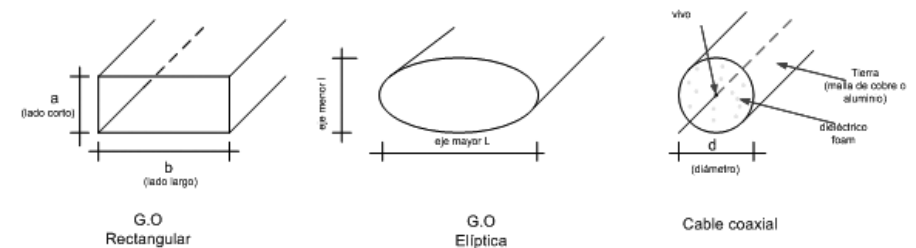
Los elementos activos son los que requieren energizarse con voltaje DC de 48 voltios para funcionar. Por ejemplo, los amplificadores de transmisión (alta potencia), los amplificadores de recepción (de bajo ruido). Los moduladores, demoduladores, banda base, son activos también aunque no formen parte propiamente del circuito de las microondas que hemos definido. Los elementos pasivos son aquellos que no requieren ser energizados para funcionar: las antenas, los cables coaxiales, las guías de onda, el *branching* (conjunto de filtros y circuladores).

Es común referirse al conjunto guías de onda, cables coaxiales de RF y antenas como el “sistema radiante”. También a los cables y guías de onda que transportan la energía de radiofrecuencia entre los componentes activos y la antena se los conoce como *feeders* o alimentadores en inglés. A continuación, haremos una descripción de los componentes del circuito de microondas.

Guías de onda y cables coaxiales

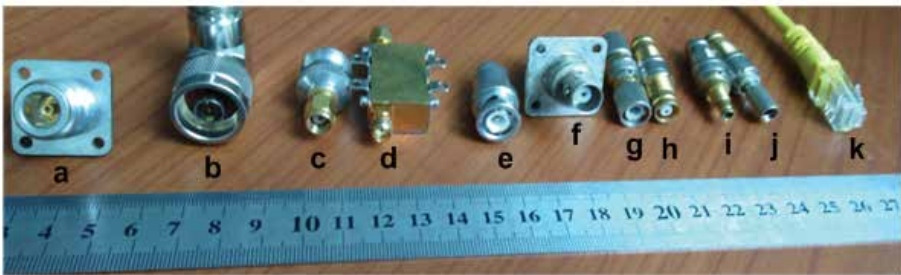
Son conductores metálicos que sirven para llevar la energía de radio frecuencia desde el transmisor hacia la antena y desde la antena al amplificador de recepción. Las guías de onda pueden ser principalmente rectangulares (rígidas) y elípticas (semirígidas) y se diferencian de los cables coaxiales debido a que son completamente huecas en su interior:

Gráfico 116. Guías de onda y cable coaxial



Fuente: el autor

Gráfico 117. Conectores más utilizados para cable coaxial (excepto k)



Fuente: el autor

Tabla 40. Conectores de cable coaxial (excepto RJ45)

literal	nombre	Origen del nombre	Uso más común
a	N hembra	Navy	RF
b	N macho	Navy	RF
c	Sma macho	Subminiatura	RF
d	Sma hembra	Subminiatura	RF
e	BNC macho	Bayonet navy conector	RF/IF/BB
f	BNC hembra	Bayonet navy conector	RF/IF/BB
g	Siemens macho	1,6/5,6 macho	Banda Base
h	Siemens hembra	1,6/5,6 hembra	Banda Base
i	Microsiemens macho	1,0/2,3 macho	Banda Base
j	Microsiemens hembra	1,0/2,3 hembra	Banda Base
k	Rj45 o UTP Par trenzado	unshielded twisted pair	BB/Datos

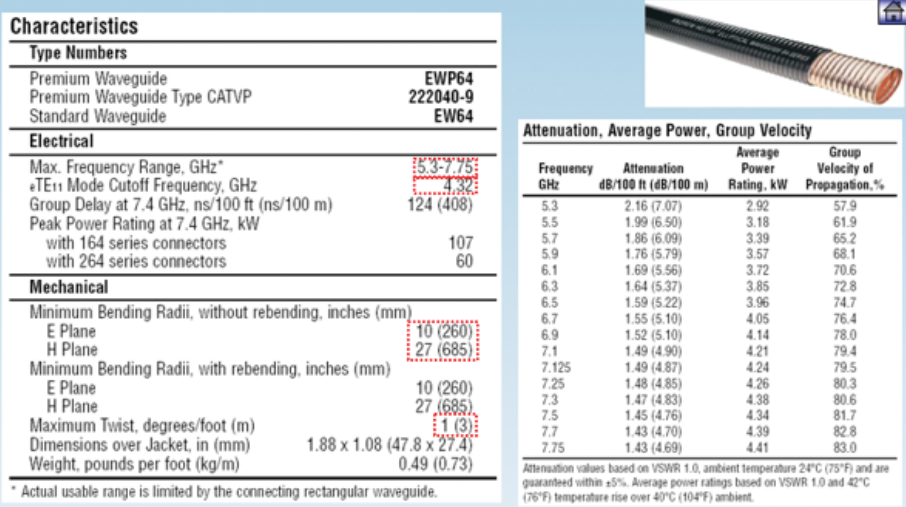
Fuente: el autor

Las dimensiones de las guías de onda dependen de la frecuencia y van desde unos pocos centímetros (las de 4 GHz) hasta los milímetros (las de 23 GHz). Los cables coaxiales por su parte operan de preferencia a frecuencias más bajas. Son comunes en banda base (70 MHz), y en radio frecuencias de hasta 2 o 3 GHz.

A parte de su frecuencia de operación (reflejada en sus dimensiones físicas), las guías de onda y los cables coaxiales se caracterizan por la atenuación o pérdida que introducen al circuito de las microondas. Son comunes valores de unos pocos dB por cada cien metros.

También las guías de onda se caracterizan por la brida o flange con que se interconectan entre ellas y los demás elementos del sistema radiante como las antenas. Veamos un ejemplo extraído de un manual del fabricante de guías de onda:

Gráfico 118. Características de una guía de onda elíptica



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor

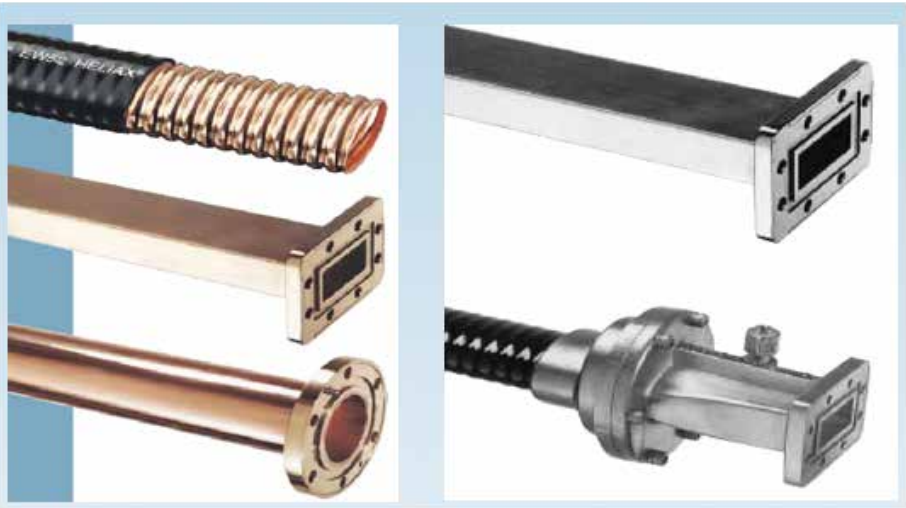
Nombre: EW64

Rango de frecuencias: 5,3 a 7,75 GHz

Atenuación: 5,56 dB/100 m a la frecuencia de 6,1 Ghz.

También constan los radios mínimos de curvatura, según se doble la guía en el plano E (eje menor) o en el plano H (eje mayor).

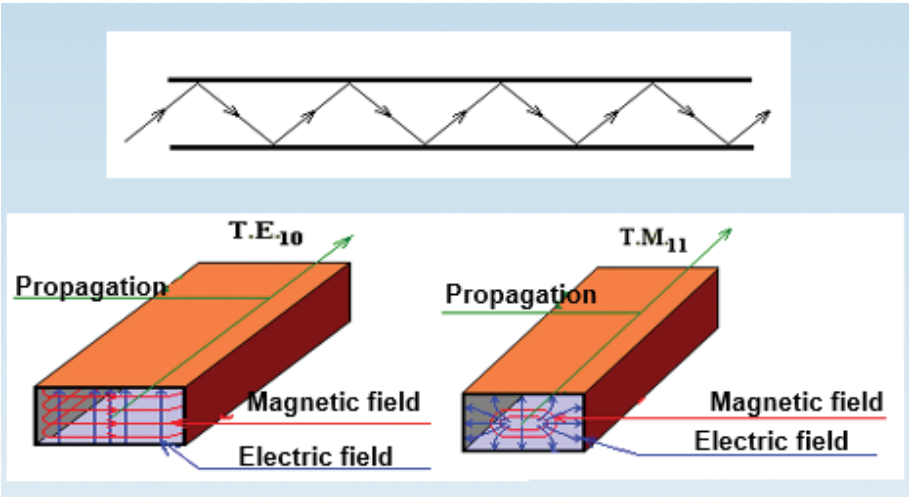
Gráfico 119. : Diferentes flanges o conectores de guía de onda



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor

Una característica importante de las guías de onda, que tienen que ver con las dimensiones de su cara interna, es la llamada frecuencia de corte y el modo de propagación. La señal electromagnética puede propagarse de formas diferentes dentro de una guía de onda rectangular, pero el más eficiente y que provoca mejor transferencia de potencia es el llamado modo TE₁₀ o conocido como modo transversal eléctrico, en el cual el campo eléctrico es perpendicular al eje de la guía y paralelo al lado corto. Esta característica es muy importante como se verá, cuando hagamos referencia a la polarización de un enlace.

Gráfico 120. Modos: transversal eléctrico y transversal magnético



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor

Gráfico 121. Conector de guía de onda, pasa de elíptica a rectangular



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor.

Flanges de guías de onda

La flange o brida es la parte mecánica que sirve para interconectar elementos y partes de guía de onda. Generalmente de los equipos electrónicos sale la guía de onda rígida rectangular. Al igual que la antena que también tiene su puerto de entrada como guía de onda rectangular rígida. Para realizar la interconexión equipo-antena se utiliza la guía de onda elíptica, la cual permite hacer el recorrido por las escalerillas y la torre que a menudo presenta curvas y obstáculos. Al salir del equipo o al llegar a la antena, es necesario tener las flanges adecuadas, las cuales hay de distintos tipos y se expresan de acuerdo con diversas normas internacionales. En Ecuador, sin embargo, nos remitimos a la norma IEC (*International Electrotechnical Commission*) Comisión Electrotécnica Internacional, la cual presenta las siguientes:

Gráfico 122. Clasificación de flanges

IEC Standard				
	P (Pressurized) with Gasket Groove	D (Rectangular Flange)	R (Rectangular Waveguide)	84 (R Size)
	P (Pressurized) with Gasket Groove	B (Square Flange)	R (Rectangular Waveguide)	84 (R Size)
	U (Unpressurizable) Flat	D (Rectangular Flange)	R (Rectangular Waveguide)	84 (R Size)
	U (Unpressurizable) Flat	B (Square Flange)	R (Rectangular Waveguide)	84 (R Size)
	C (Pressurized) with Gasket Groove and Choke	A (Circular Flange)	R (Rectangular Waveguide)	70 (R Size)

Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor

Gráfico 123. Clasificación y ejemplo de flanges



Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

Gráfico 124. Tamaño del rectángulo interno, de acuerdo con normas

		NORM: UK	NORM: JAN (USA)	NORM: EIA (USA)	E.I.C. OFFICIAL NORM	TE ₁₀ MODE CUT-OFF FREQUENCY	THEORICAL ATTENUATION
		DESIGNATION WG - ()	DESIGNATION RG - ()	DESIGNATION WR - ()	OFFICIAL DESIGNATION R - ()	GHz	dB/100m
			BRASS Ag *Cu-Ag Al **Cu				1.25f _c 1.9f _c
15	3.95 - 6.00	12	49 95	187	48	3.155	5.79 4.00
16	4.65 - 7.05	13	343 344	159	58	3.714	6.62 6.00
17	5.4 - 8.2	14	50 106	137	70	4.285	8.19 6.47
18	6.55 - 10.0	15	51 68	112	84	5.260	11.5 8.91
19	8.2 - 12.5	16	52 67	90	100	6.560	17.9 12.4
20	9.8 - 15.0	17	346 347	75	120	7.873	21.2 14.8
21	11.9 - 18.0	18	107 91 349	62	140	9.490	26.7 19.6
22	14.5 - 22.0	19	353 **352 351	51	180	11.578	36.5 36.4
23	18.0 - 26.5	20	66 53 121	42	220	14.080	57.1 42
24	22.0 - 33.0	21	*357	34	260	17.368	53 36.8

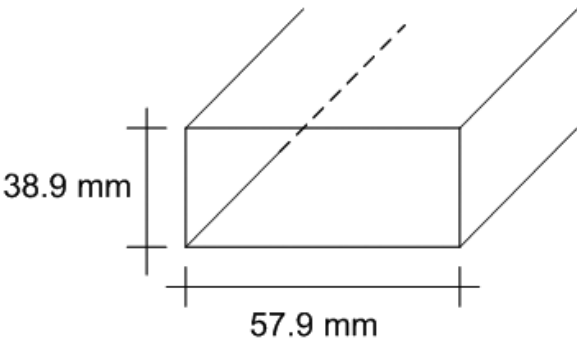
Unpressurizable Contact Flanges				
Waveguide Type, EIA	Flange Series Equivalents		Fig. No.	Dimensions, Inches (Millimeters)
	EIA	IEC		
WR90	CMR90	UER100	1	1.77 x 1.27 (45.0 x 32.3)
WR112	CMR112	UER84	1	2.02 x 1.38 (51.3 x 35.1)
WR137	CMR137	UER70	1	2.28 x 1.53 (57.9 x 38.9)
WR159	CMR159	UER58	1	2.50 x 1.75 (63.5 x 44.5)
WR187	CMR187	UER48	1	2.78 x 1.78 (70.6 x 45.2)
WR229	CMR229	UER40	1	3.16 x 2.00 (80.3 x 50.8)

Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor

Veamos el siguiente ejemplo:

La guía de onda rectangular conocida en la norma EIC (Europa) como R70, equivale a la guía WG14 de la norma UK (Reino Unido) y también equivale a la guía WR137 de la norma EIA (Estados Unidos) y tienen las siguientes dimensiones:

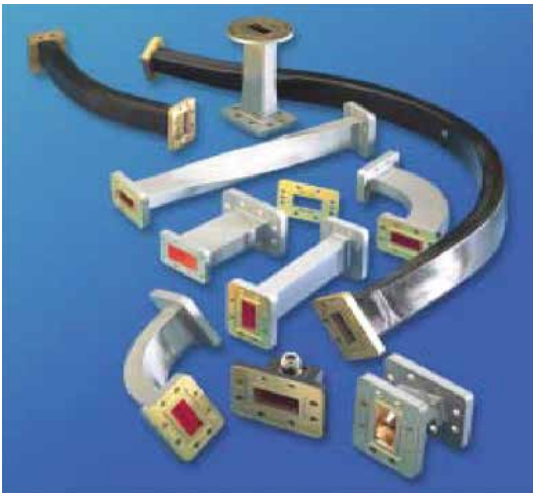
Gráfico 125. Dimensiones físicas de la guía de onda rectangular R70 (WR137)



Fuente: el autor

Es importante notar que las dimensiones físicas requieren una precisión de fabricación de décimas de milímetros. En la tecnología de las microondas, las dimensiones deben ser exactas. Allí radica una de las dificultades de su fabricación.

Gráfico 126. Componentes de guía de onda rectangular (tronquetos)



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001

Branching

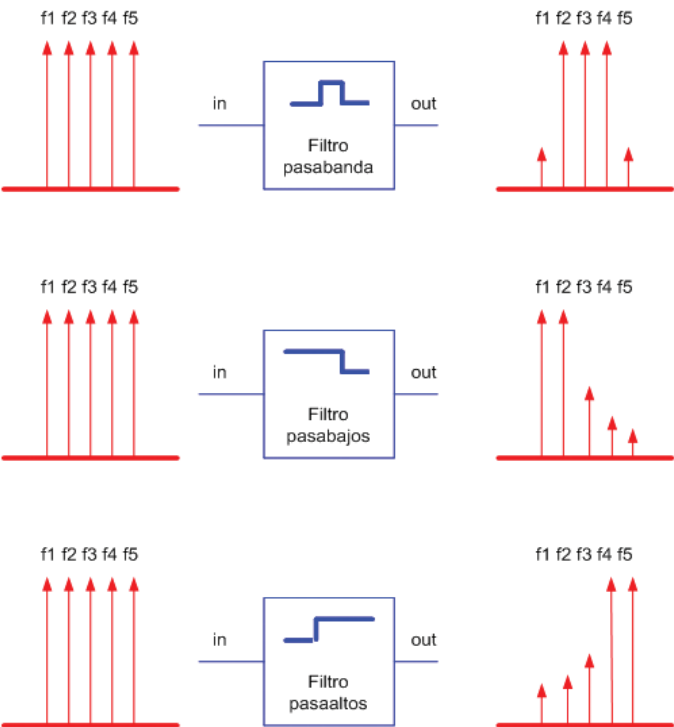
Se conoce como *branching* al conjunto de filtros y circuladores, que posibilitan la adición de varios canales de RF sobre una misma guía de onda, sin que se interfieran entre ellos.

Filtros radio frecuencia (RF)

Aunque ya se los ha mencionado, es necesario profundizar el concepto de filtro y sus características principales.

La palabra filtro se usa a menudo en el lenguaje cotidiano. Por ejemplo, el filtro de aire de un carro, retiene las partículas de polvo a fin de que ingrese aire limpio al motor. Cuando alguien dice que se ha filtrado una información es en el sentido de que se ha escapado de los controles. El filtro o tamiz de arena deja pasar solo las partículas finas y retiene las grandes y las piedrecillas. Algo similar sucede en la tecnología de radio. Los filtros son componentes esenciales del circuito de microondas cuya función es limitar el ancho espectral ocupado por una señal de RF, dejando pasar solo las frecuencias deseadas y rechazando todas las demás. Existen tres tipos principales de filtros: pasabanda, pasabajos y pasaaltos:

Gráfico 127. Tipos más comunes de filtros de frecuencia

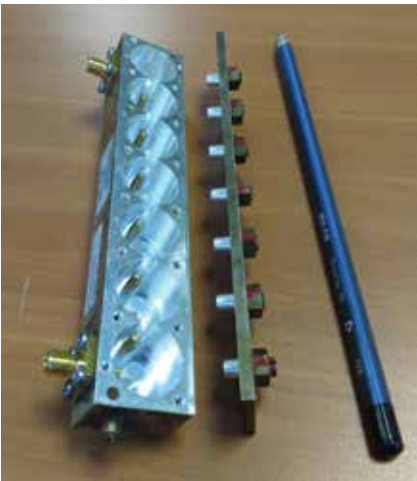


Fuente: el autor

El filtro entonces, deja pasar casi intactas las componentes de frecuencia deseadas, mientras que a las componentes indeseadas las atenúa gradualmente hasta más de 70 dB.

Físicamente, consisten en segmentos de guía de onda (cavidades resonantes) regulados por tornillos. Los tornillos ingresan dentro de las cavidades resonantes, ya que, en virtud de su naturaleza metálica, cumplen la función de capacitor o inductor según cuánto estén introducidos.

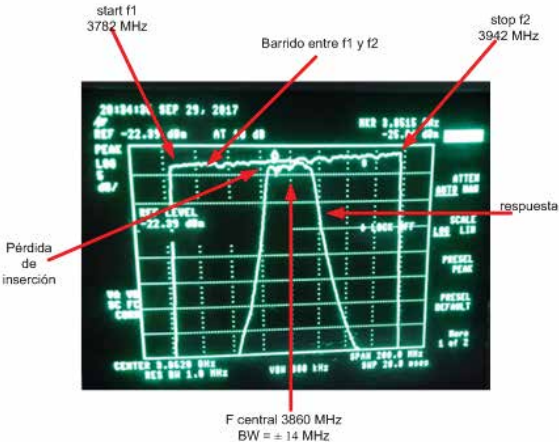
Gráfico 128. Filtro de cavidad resonante banda de 7 GHz



Fuente: el autor

A continuación, se tiene la “respuesta en frecuencia” de un filtro real, obtenida durante uno de los cursos piloto de capacitación en microondas:

Gráfico 129. Respuesta de un filtro pasabanda real

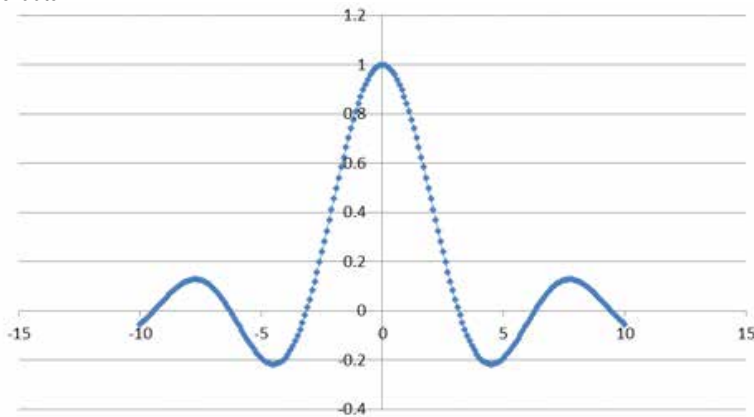


Fuente: el autor

La función del filtro pasa banda, es limitar al ancho de banda, por ejemplo el espectro de salida de un modulador 4PSK responde a la función $y = \text{sen}(x)/x$, la cual produce componentes espectrales laterales indeseables, que no deberían llegar a la antena a radiarse:

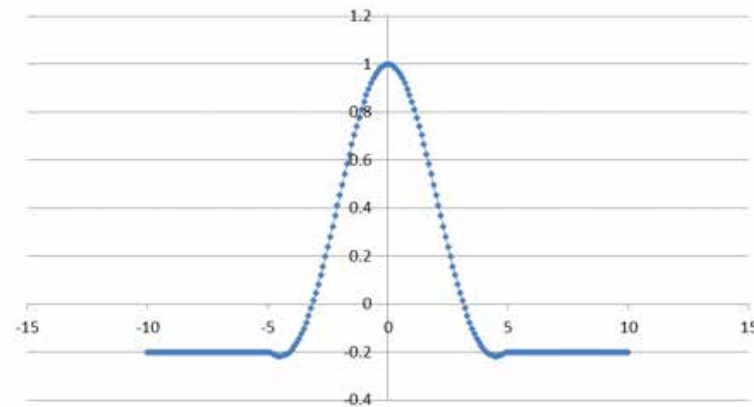
Gráfico 130. Espectro en RF del modulador 4PSK

Fuente: el autor



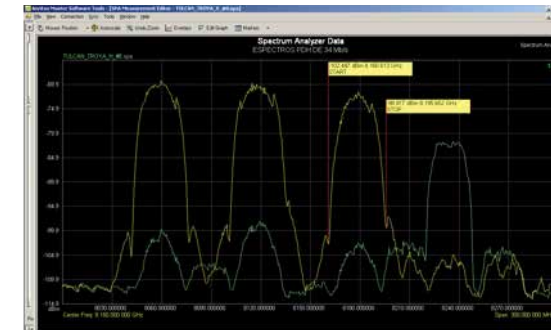
El filtro elimina todas las componentes espectrales laterales, de modo que solamente transite el lóbulo principal del espectro.

Gráfico 131. Espectro filtrado en RF de un modulador 4PSK



Fuente: el autor

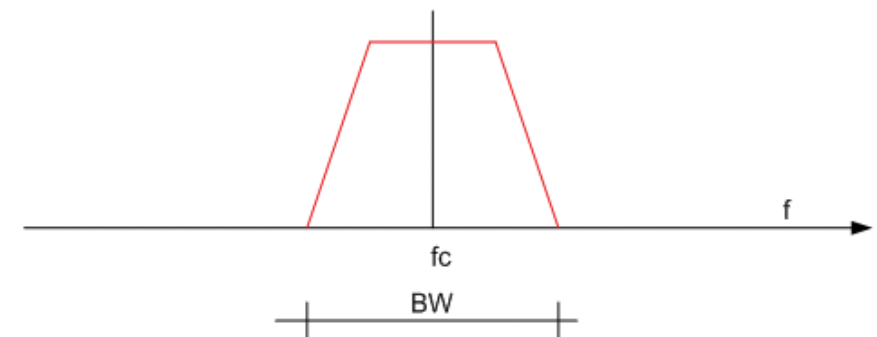
Gráfico 132. Tres espectros reales en 8 GHz (amarillos) de un equipo con modulación 4PSK



Fuente: el autor

Como podemos ver, un filtro pasabanda se caracteriza por su frecuencia central (f_c) el ancho de banda permitido (BW: *Band Width*) y la pérdida de inserción, es decir, la atenuación que produce.

Gráfico 133. Ancho de banda de un filtro

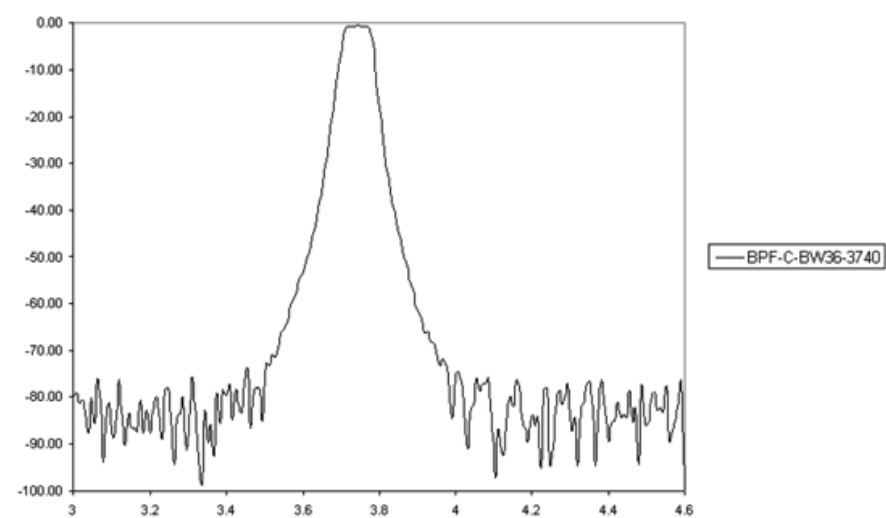


Fuente: el autor

La atenuación que produce el filtro al introducirlo en el circuito de microondas, es baja (inferior a 2 dB) para las frecuencias admitidas y es alta (más de 30 dB) para las frecuencias rechazadas.

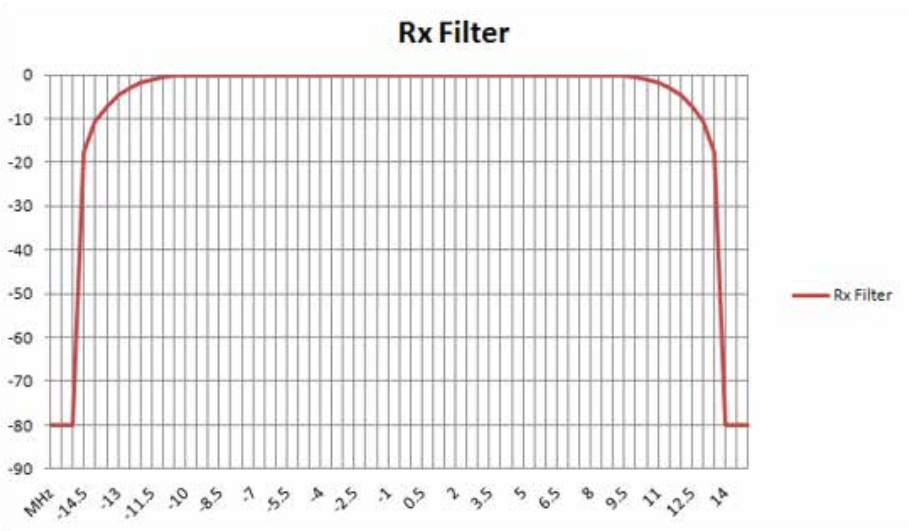
El ancho de banda (BW) de un filtro se puede definir entre los puntos de -3 dB, en forma similar a los anchos de banda espectrales; asimismo, se puede obtener la curva de respuesta del fabricante:

Gráfico 134. Respuesta en frecuencia del filtro BPF-C-BW36-3740 NORSAT



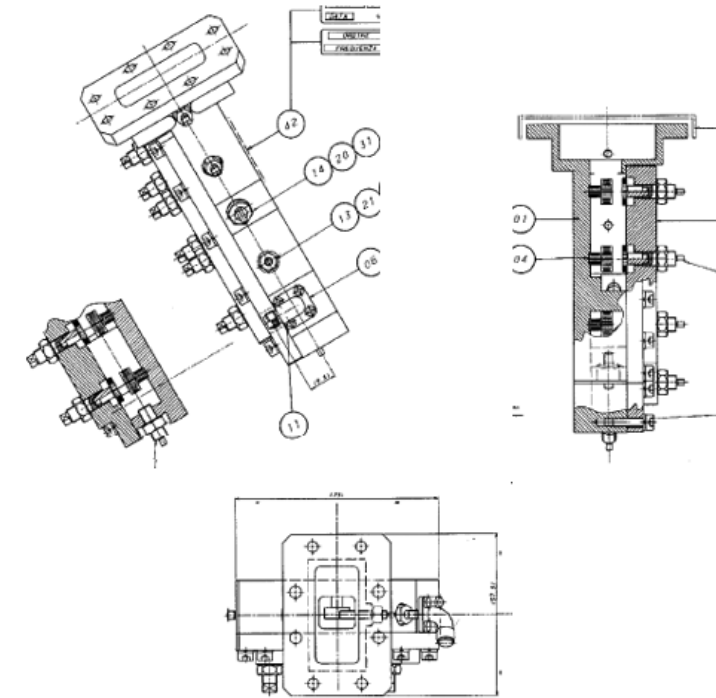
Fuente: el autor

Gráfico 135. Ejemplo de filtro proyectado por fábrica. En el eje vertical, la pérdida de inserción ocasionada por el filtro. En el eje horizontal el delta (Δf) respecto a la frecuencia central



Fuente: SIAE Microelettronica S.p.A, 2015. Adaptado por el autor

Gráfico 136. Filtro pasabanda de 6 cavidades, 6GHz



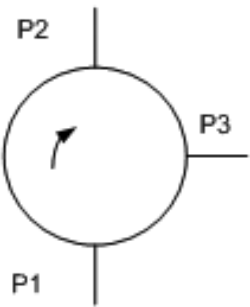
Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001

Circulador y duplexer

El circulador es un componente del circuito de microondas que permite, al igual que el *duplexer*, separar las señales de transmisión TX de las de recepción RX.

Se simboliza como un círculo con una flecha que indica el sentido de circulación de la señal:

Gráfico 137. Circulador de microondas

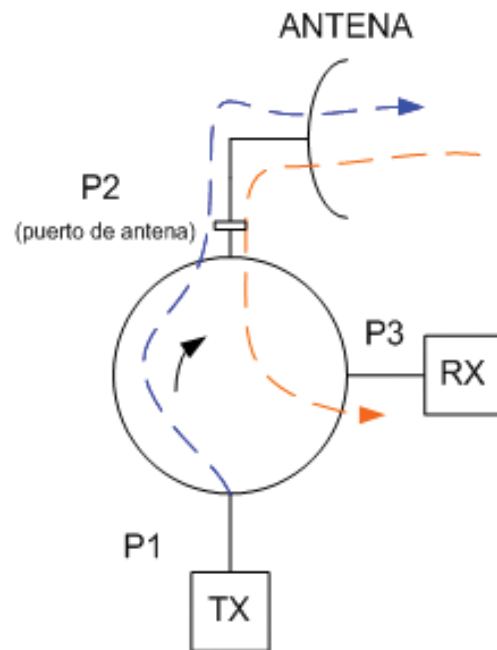


Fuente: el autor

El funcionamiento es el siguiente: si una señal ingresa por el puerto P1, acopla (pasa) al puerto P2 pero no al P3. Si una señal ingresa por el puerto P2 acopla al puerto P3 pero no al P2. Si una señal ingresa por el puerto P3 acopla al puerto P1, pero no al P2.

Por este motivo, se lo usa en la salida de guía de onda de un aparato de radio antes de conectarlo a la antena:

Gráfico 138. Circulador de antena

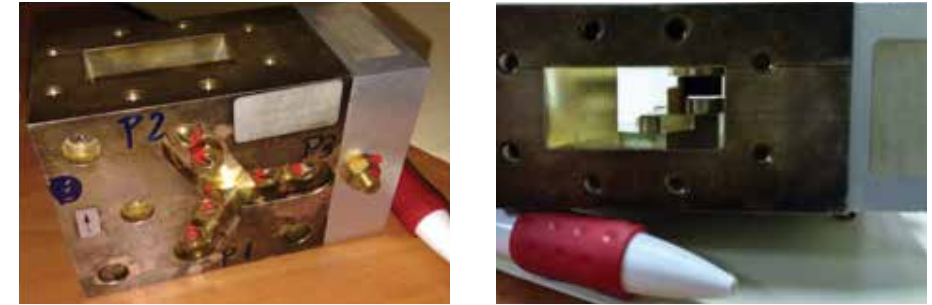


Fuente: el autor

En el caso del circulador de antena, la señal de alta potencia generada en el transmisor ingresa por el puerto P1 del circulador y pasa solamente al puerto de antena P2, sin pasar al puerto P3 donde se halla instalado el receptor (al cual la potencia alta podría quemarlo). Por otra parte, la débil -pero valiosa- potencia recibida desde el extremo remoto ingresa por el puerto de antena P2 y solamente pasa al puerto P3, donde está el receptor.

El circulador de antena es ampliamente usado en la implementación del *branching* como veremos más adelante; está fabricado basándose en una pequeña sección de guía de onda rectangular, en cuyo interior se halla instalado un pequeño jímán! Sí. Un imán es capaz de desviar convenientemente la señal de microonda actuando específicamente sobre su componente de campo magnético.

Gráfico 139. Circulador con carga acoplada en el puerto P3

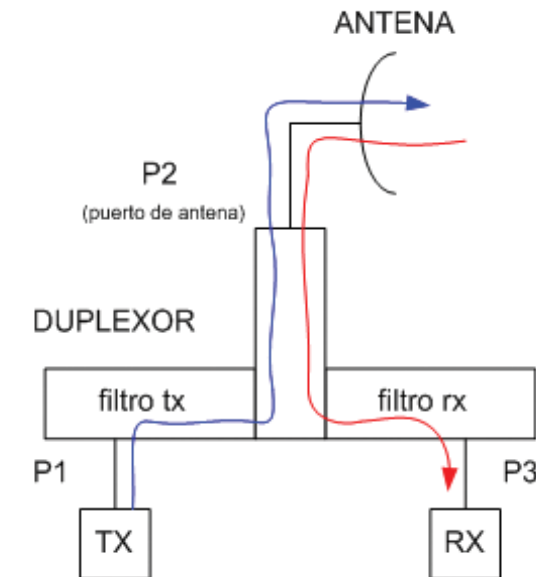


Fuente: el autor

En el caso de la figura #138, el circulador actúa como una válvula unidireccional ya que la señal que ingresa por el puerto P1 pasa al puerto P2; en caso de haber alguna reflexión desde el puerto P2, pasaría al puerto P3, donde se disipa en una carga acoplada (y nada vuelve al puerto P1).

El *duplexor* realiza una función similar al circulador de antena, aunque de modo muy distinto. Consiste de dos filtros de RF unidos por un segmento de guía de onda, como se muestra en la siguiente figura.

Gráfico 140. Duplexer o duplexor



Fuente: el autor

La señal de alta potencia generada en el transmisor ingresa por el puerto P1 del duplexor. El filtro TX está convenientemente sintonizado (F tx) de modo que deja pasar dicha señal. La señal TX intenta pasar hacia el receptor RX, pero es impedida por el filtro RX, ya que está sintonizado a una frecuencia central muy diferente (F rx). El resultado práctico es que toda la potencia TX se dirige hacia el puerto P2, es decir hacia la antena, donde es radiada. Por otra parte, la señal recibida RX ingresa por el puerto P2, no puede atravesar el filtro TX (y pasar a P1) por estar sintonizado a una frecuencia central muy diferente; por lo tanto, íntegramente es admitida por el filtro RX y pasa al puerto P3 donde la espera el receptor.

El *duplexor* está formado entonces por dos filtros sintonizados a frecuencias diferentes y conectados en "T". Surge la pregunta: ¿qué tan diferentes son las frecuencias centrales a las cuales cada uno de estos filtros están sintonizados? En tecnología de microondas esta diferencia está muy bien definida, corresponde a la diferencia entre la frecuencia de transmisión F tx y la frecuencia de recepción F rx del enlace, la cual se conoce con el nombre de *shifter*, "dúplex" o *go-return*.

El *duplexor* es un componente del circuito de microondas muy utilizado en radios que operan en configuración IDU-ODU, es decir, *indoor unit-outdoor unit*. En este tipo de equipamiento la IDU es la unidad que realiza la interfaz de banda base y la función de modem (modulador/demodulador). Por su parte la ODU tiene la función de generar y receptor las señales de radio frecuencia. Posteriormente, al describir los equipos "SPLIT" veremos con mayor detenimiento esta configuración, por el momento definamos el *shifter* como:

$$\text{SHIFTER} = |F_{tx} - F_{rx}|$$

(El valor absoluto, es decir sin importar el signo).
Algunos valores de *Shifter* aceptados por la UIT son los siguientes:

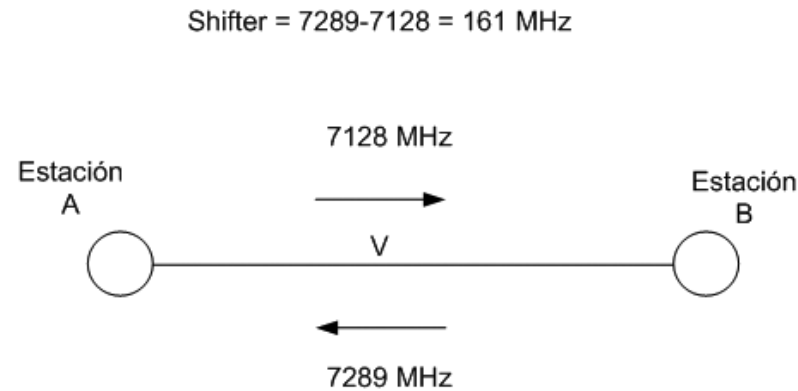
Tabla 41. Valores comunes del Shifter

BANDA (GHz)	Shifter (MHz)
6	252,04
7	161
7	182
7	245
8	119
8	266
8	311,32
15	420
15	490
18	1010
18	1120
23	1232

Fuente: el autor

La existencia de este parámetro *shifter* implica que la diferencia entre frecuencia de transmisión y frecuencia de recepción es fija, de modo que si el equipamiento es "SINTONIZABLE" (es decir que permite cambiar la frecuencia de operación), una vez definida la frecuencia de TX; la frecuencia de RX queda automáticamente determinada. Por ejemplo, un radio enlace que opere a una frecuencia TX autorizada de 7289 MHz, *shifter* de 161 MHz, automáticamente, el propio equipo fijará la frecuencia RX en 7128 MHz.

Gráfico 141. Definición de shifter. La flecha grafica la frecuencia de transmisión.
Tomar en cuenta que lo que para la estación A es frecuencia de TX,
para la estación B es frecuencia RX. Y viceversa



Fuente: el autor

Gráfico 142. Duplexer en la banda de 8 GHz

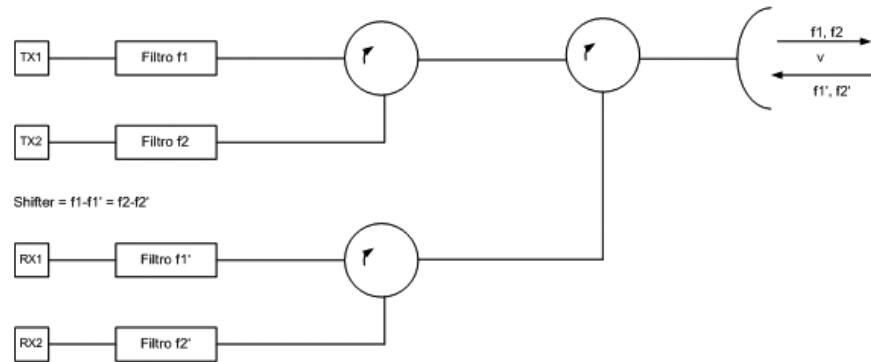


Fuente: el autor

BRANCHING

Se conoce con el nombre de *branching* (ramaje en inglés), al conjunto de filtros y circuladores, que posibilitan juntar varios canales o frecuencias de radio distintos, para compartir un solo sistema radiante (guías de onda + antena). Por ejemplo:

Gráfico 143. Ejemplo de branching para un equipamiento con dos canales f_1 y f_2



Fuente: el autor

Comercialmente existen *branchings* para 7+1 canales en polarización alternada. Y hasta de 15+1 canales en configuración co-canal. Ya tendremos la oportunidad de describir estas configuraciones al describir el equipamiento de radios *full indoor*.

Al realizar el cálculo de la potencia recibida en un enlace de microondas, las pérdidas del *branching* son un factor muy importante que debe ser tenido en cuenta.

Transferencia de potencia. Medición de onda estacionaria VSWR y su equivalente ROE (relación de onda estacionaria)

Para poder enviar la energía de un generador de radiofrecuencia hacia una antena debemos usar un medio que sea capaz de transportar dicha energía o potencia de RF. Este medio generalmente es un cable coaxial de ciertas características o una guía de onda apropiada.

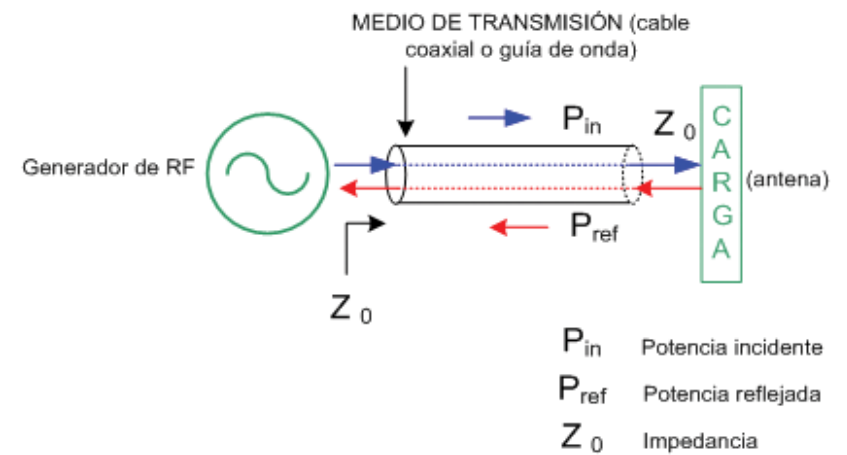
Una característica básica de los medios de transmisión (por ejemplo los cables coaxiales) es su impedancia definida en forma semejante a resistencia como:

$$\text{impedancia (} \Omega \text{)} = \frac{\text{voltaje}}{\text{corriente}}$$

Generalmente, la impedancia de los cables con que se trabaja en radio frecuencias es de 50 Ω .

En condiciones de acoplamiento, cuando la impedancia (Z_0) interna del generador de RF, la impedancia de la línea de transmisión (cable coaxial o guía de onda) y la impedancia

Gráfico 144. Transferencia de potencia



Fuente: el autor

de la antena (vista como la carga) son equivalentes, se da el efecto de máxima transferencia de potencia. Esto implica que la "carga" consume o disipa toda la energía que llega desde el generador, sin que nada rebote hacia atrás, en dirección de vuelta al propio generador. En ese caso teórico, la potencia reflejada es nula:

$$P_{ref} = 0 \text{ vatios}$$

Sin embargo en la práctica, siempre existe potencia reflejada, ya que ningún acoplamiento llega a ser perfecto, por bien que estén realizados los conectores y adaptadores. En este caso se define como ROE (relación de onda estacionaria) como:

$$ROE = \frac{P_{in}}{P_{ref}}$$

Tratándose de decibelios, la división se convierte en una resta, por lo tanto:

$$ROE \text{ (dB)} = P_{in} \text{ (dB)} - P_{ref} \text{ (dB)}$$

Ya que, el ROE según se ve, es una medición relativa entre dos potencias, no interesa saber los valores de potencia involucrados, sino solo la relación a la cual se encuentran. Adicionalmente, hay que anotar que el ROE es un valor que depende de la frecuencia, por lo tanto, su respuesta es función de la frecuencia.

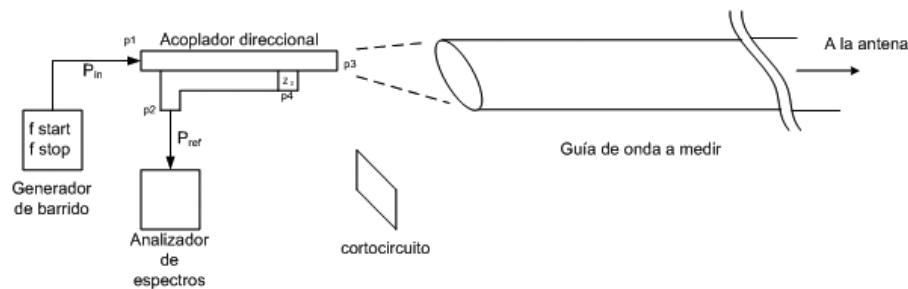
Por ejemplo, un valor de ROE aceptado para el funcionamiento del equipo de microondas es >23 dB, en todo el rango de frecuencias involucrado.

El ROE es conocido también como pérdida de retorno.

Medición del ROE

Se lo puede medir, usando el siguiente banco de mediciones:

Gráfico 145. Banco de pruebas para la medición de ROE



Fuente: el autor

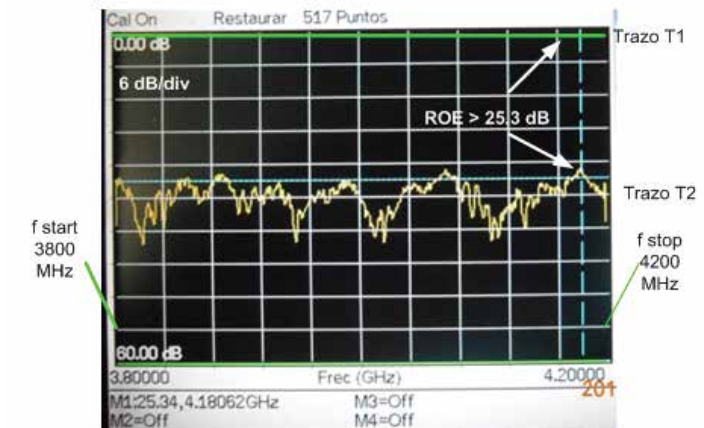
Esta medición requiere de un acoplador direccional, el cual es un componente de microondas comercial, cuya función es separar las potencias incidente y reflejada, enviándolas hacia sus distintos puertos p2 y p3.

En el generador barrido de RF (*sweep oscillator*), se colocan las frecuencias de inicio (*f start*) y de parada (*f stop*) para delimitar el rango en el que se efectuará la medición. La potencia a la salida puede colocarse en 0 dBm y deberá conectarse al puerto de entrada p1 del acoplador direccional. Las frecuencias *f start* y *f stop* corresponden al rango de trabajo de la guía de onda, a la cual se va a medir el ROE. También, el analizador de espectros se debe predisponer de modo que abarque el mismo rango de frecuencias y deberá conectarse al puerto de salida p2.

Se calibra el banco de pruebas mediante el “cortocircuito” colocado en el puerto de mediciones p3. El cortocircuito en este caso es una simple plancha metálica plana que hace que toda la potencia incidente se vea reflejada hacia la fuente.

Al estar puesto el cortocircuito en el puerto p3, toda la potencia que ingresa al acoplador direccional por el puerto p1, es reflejada desde el puerto p3 y enviada al puerto de salida p2. En esas condiciones, se obtiene un trazo de referencia T1, en la pantalla del analizador de espectros.

Gráfico 146. Medición ROE versus frecuencia



Fuente: el autor

El banco así calibrado, se conecta por el puerto p3 a la guía de onda instalada y se obtiene el trazo T2. La diferencia en dB, entre el trazo T2 y el T1 es la respuesta en frecuencia de ROE del conjunto medido (guía + antena).

La medición de ROE nos da una apreciación objetiva de la calidad con que la guía de onda ha sido instalada, ya que esta no puede perder su forma elíptica a lo largo de toda la trayectoria entre el equipo y la antena. Valores aceptados para ROE son mayores que 23 dB. Esta especificación consta en los manuales de instalación de los equipos de microondas. Se debe controlar muy bien los valores de ROE que arroja una instalación, ya que un ROE bajo, por ejemplo, a una cierta frecuencia *f* se tiene un ROE de 10 dB, implica que dicha frecuencia sufrirá de un retardo de grupo que escapa del rango de trabajo del ecualizador, presente en el demodulador, por lo tanto, se verá degradado el umbral de desvanecimiento del radio (el receptor del equipo se vuelve sordo).

El ROE más cercano a lo ideal tiene un valor de 30 dB. Esto quiere decir, de acuerdo con la definición de dB, que la potencia reflejada es un milésimo de la potencia incidente.

$$P_{in} \text{ (vatios)} = 1000 * P_{ref}$$

Actualmente, existen equipos (por ejemplo los *site master*) que incluyen la función *sweep oscillator* + analizador de espectros en uno solo. Incluso tienen en su puerto de salida un componente similar al acoplador direccional, por lo cual, la medición se facilita enormemente; sin embargo, el proceso de calibración todavía requiere ser efectuado.

Equivalencia entre ROE y VSWR

Aunque en tecnología de microondas es más común hablar de los ROE, existe un concepto similar cuando se trata de medir la calidad de instalación de los cables coaxiales; este es el VSWR y constituye una relación entre ondas estacionarias de voltaje que se producen en un cable coaxial o un medio de transmisión cualquiera, cuando no hay acoplamiento perfecto.

De hecho VSWR son las siglas en inglés para voltaje *standing wave ratio*, es decir razón de ondas estacionarias de voltaje.

El VSWR es un número adimensional que toma el valor de 1,06 en condiciones de excelente acoplamiento. De hecho tener un ROE de 30 dB equivale a tener un VSWR de 1,06 de acuerdo con la siguiente relación:

$$ROE\ (dB) = 20 * Log\left(\frac{VSWR + 1}{VSWR - 1}\right)$$

O si dispone del valor del ROE y quiere saber el valor que le corresponde de VSWR:

$$VSWR = (10^{(ROE/20)} + 1) / (10^{(ROE/20)} - 1)$$

Por ejemplo:

Tabla 42. Algunos valores de VSWR y su correspondiente ROE

VSWR	ROE (dB)
1,06	30,7
1,1	26,4
1,3	17,7
1,5	14,4
2,0	9,5
2,5	7,4
3,0	6,0
4,0	4,4

Fuente: el autor

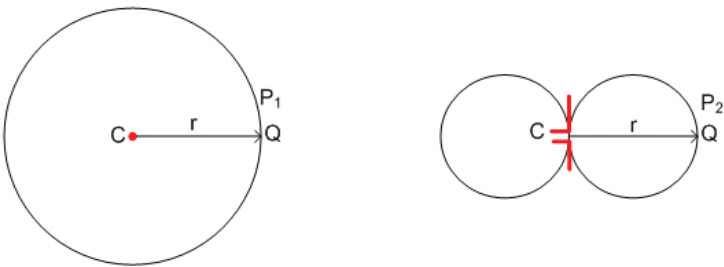
Conceptos de antenas

Las antenas y las guías de onda (o cable coaxial) que las alimentan, forman el conjunto denominado sistema radiante dentro del circuito de microondas, que se da entre transmisor local y receptor remoto. Así, tanto antenas como alimentadores (guías de onda o cables coaxiales) son elementos pasivos del circuito de microondas, es decir no requieren energía eléctrica DC ni AC para funcionar.

Las antenas cumplen con la función de radiar la señal electromagnética, de la manera más eficiente y en la dirección deseada. Anteriormente, vimos que la antena más natural es el

dipolo de longitud $\lambda/2$ (media longitud de onda), el cual tiene una ganancia de 2.2 dB, es decir que concentra la energía electromagnética casi al doble de su potencia original en la dirección deseada.

Gráfico 147. Antena isotrópica versus dipolo de longitud λ



Fuente: el autor

En la figura anterior, supongamos que en el punto C, se coloca una antena isotrópica la cual se alimenta desde un oscilador e irradia una señal electromagnética en todas las direcciones por igual -similar a una bombilla luminosa imaginaria que puede ser vista con la misma intensidad desde cualquier sitio de una habitación-. A una distancia r se encuentra el punto Q, donde efectuamos una medición y determinamos que se capta una potencia P1. Supongamos ahora que el mismo oscilador alimenta a un dipolo de longitud $\lambda/2$ y volvemos a realizar una medición de potencia en el mismo punto Q ubicado a la distancia r desde la antena C, entonces, se mide una potencia P2.

Experimentalmente se ha determinado que la potencia P2 es 1,66 veces mayor que la potencia P1. ¿Qué ha sucedido? Sabemos por el principio de la conservación de la energía que la energía total es constante, no se crea ni se destruye.

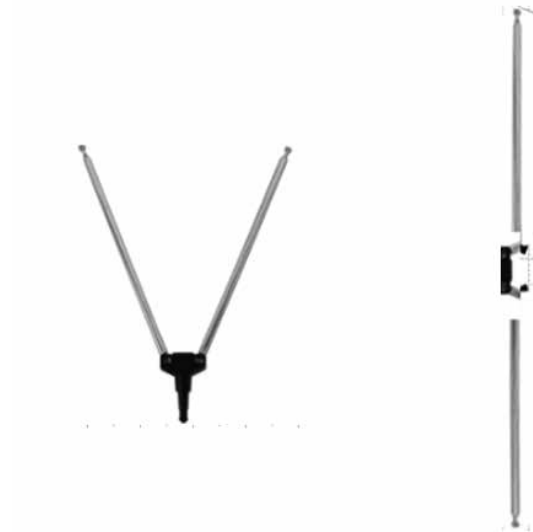
La explicación es que la antena dipolo concentra la energía en la dirección de su eje central. Lo que antes se iba para arriba y para abajo, ahora se va hacia adelante y hacia atrás. Tal como lo muestra la figura #147.

Un concepto muy importante deducido de este ejemplo original es el patrón de radiación de la antena, es decir, la forma geométrica imaginaria que adopta la salida de la energía radiada según la dirección en que se vea. En el caso de la antena isotrópica, su patrón de radiación en el plano será una circunferencia, ya que, esta representa que la energía sale con la misma intensidad en todas las direcciones. En tres dimensiones sería una esfera.

El patrón de radiación del dipolo visto en el plano, se asemeja al número 8 acostado, ya que representa justamente que la energía no irradiada a lo largo del eje que lo contiene (colineal), se concentra en su eje ortogonal.

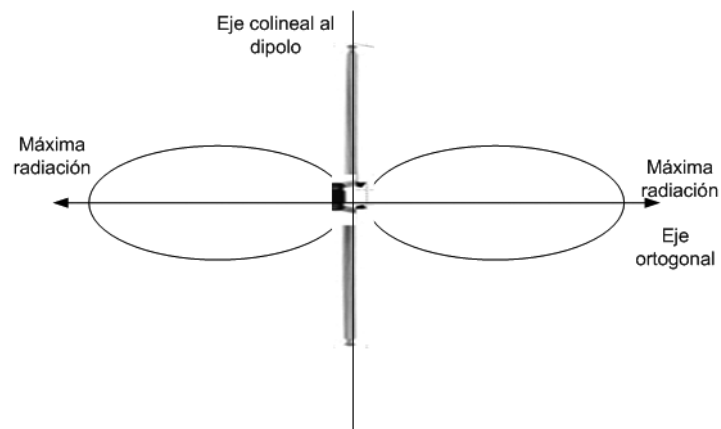
El caso más común de dipolo es la antena de TV “orejas de conejo”, a la cual se la abre hasta que queden colineales las dos orejas:

Gráfico 148. Dipolo para televisión doméstica



Fuente: el autor

Gráfico 149. Patrón de radiación de la antena dipolo



Fuente: el autor

En el plano, el patrón de radiación del dipolo se asemeja a un ocho acostado, pero visto en tres dimensiones sería como una dona con un centro pequeño (donde se halla el dipolo). La dona -es decir el patrón de radiación-, vista desde la parte superior, continuaría siendo una circunferencia.

Gráfico 150. Visualización del patrón de radiación del dipolo



Fuente: el autor

Si, como habíamos visto, la antena dipolo concentra la energía de tal modo que la potencia en el punto Q es 1,66 veces mayor que la potencia en ese mismo punto cuando la antena era una isotrópica (imaginaria), entonces podemos afirmar que ha habido una *ganancia* de 2,2 decibelios:

$$P_2 = 1,66 * P_1$$

De modo que:

$$\frac{P_2}{P_1} = 1,66 = G$$

De acuerdo con la definición de decibelio, la relación G puede expresarse como:

$$G \text{ (dB)} = 10 * \text{Log} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

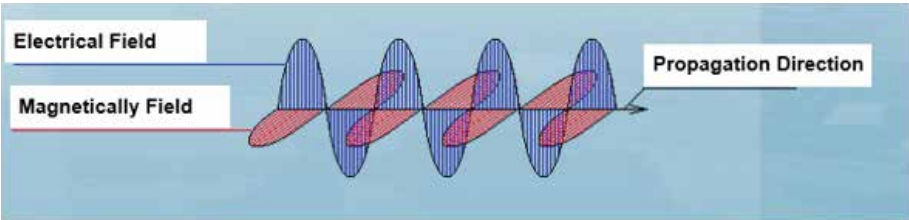
$$G \text{ (dB)} = 10 * \text{Log} (1,66) = 10 * 0,22$$

$$G \text{ (dB)} = 2,2 \text{ dB}_i$$

El parámetro G se conoce como la ganancia del dipolo con respecto al radiador isotrópico (por ello el sub índice i)

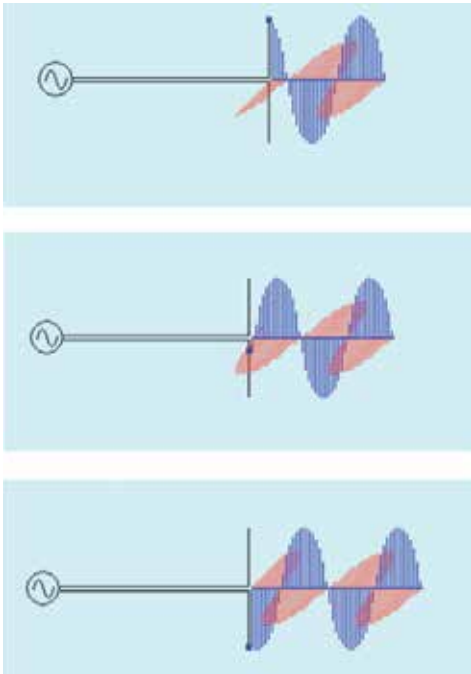
En el siguiente gráfico, por otra parte, intentemos visualizar el modo como el dipolo emite la onda electromagnética:

Gráfico 151. Superposición de los campos eléctrico y magnético que dan lugar a la onda electromagnética



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor

Gráfico 152. Carga eléctrica oscilando en un dipolo. En azul el campo eléctrico. En rojo el campo magnético



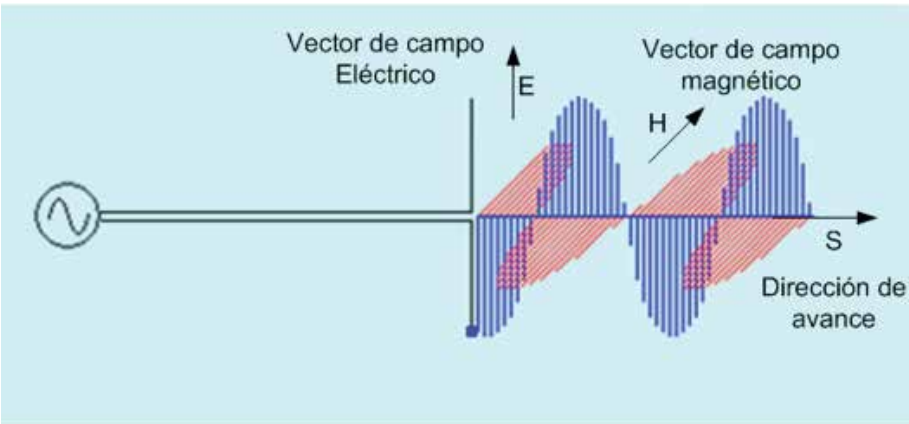
Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Elaborado por el autor

En las figuras precedentes, podemos visualizar cómo la carga eléctrica al oscilar en el dipolo genera un campo eléctrico variable, el cual de acuerdo con los principios de la electricidad y el magnetismo, a su vez genera un campo magnético variable. Podemos notar en la gráfica que el campo eléctrico está orientado en forma paralela al eje que contiene al dipolo y que el campo magnético es perpendicular al campo eléctrico. Cuando una cantidad física tiene mag-

nitud y dirección, se la llama vector. En este caso, podemos también notar que la dirección de propagación es perpendicular tanto al vector campo eléctrico (azul), como al vector de campo magnético (rojo).

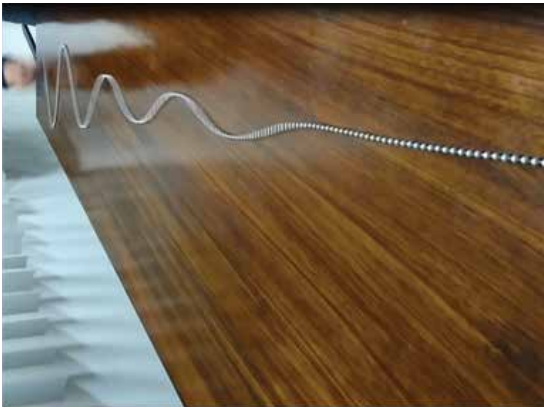
Por acuerdo entre los miembros de la comunidad científica y técnica, nacional e internacional, se define la polaridad de una onda electromagnética como la dirección en la cual varía su campo eléctrico. En las gráficas precedentes, tendríamos que el vector de campo eléctrico está vertical, por lo tanto, la polarización o polaridad de la onda electromagnética radiada será también vertical.

Gráfico 153. Señal electromagnética en polarización vertical



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Elaborado por el autor

Gráfico 154. Ondas en una cadena de persiana. Compárese con la visualización propuesta para las ondas electromagnéticas



Fuente: el autor

En virtud de lo expresado, las antenas de televisión VHF (Gamavisión, ECTV, TC, etc) están en polarización Horizontal, ya que como podemos observar en la cotidianidad, las antenas Yagi de TV están horizontales (sus dipolos) en los techos de todas las casas y edificios de vivienda.

El dipolo es la más sencilla de las antenas, pero nos ha servido para definir TRES conceptos fundamentales en cuanto a antenas: patrón de radiación, ganancia y polarización.

El patrón de radiación en general es la forma geométrica como la antena emite la señal, graficando ganancia versus ángulo de separación del eje.

La ganancia es la capacidad que tiene una antena para concentrar la energía electromagnética en una sola dirección.

La polarización es la orientación con que sale radiado al espacio el vector de campo eléctrico.

Posteriormente, veremos ejemplos de antenas parabólicas (las más usadas en comunicación por microondas) que tienen ganancias de 30, 35 o hasta 40 dB. ¡Es decir concentran la energía 1 000, 3 000 o diez mil veces más que la antena isotrópica! Su patrón de radiación se sigue asemejando al ocho acostado, aunque realmente solo a la mitad del ocho acostado, tan delgado que puede presentar un ángulo de abertura de menos de 2°. Tanto la ganancia, el patrón de radiación y otros parámetros tanto eléctricos como mecánicos (peso y tamaño) de una antena, son datos que se encuentran en el manual de su fabricante (*data sheet*).

Finalmente aclaremos que la ganancia de una antena, es la misma tanto si la antena se usa para transmisión (TX) o si se usa para recepción (RX). En el balance de un enlace, o presupuesto de pérdidas y ganancias, se contabiliza tanto ganancia en TX como ganancia en RX.

Antes de pasar al estudio de las antenas parabólicas, veamos otras antenas que son de interés.

Antena Yagi

Son dipolos a los que se les ha adicionado reflectores y directores para incrementar la ganancia. El reflector y los directores se sitúan a una distancia, relacionada con la longitud de onda de la señal que se pretende irradiar:

Gráfico 155. Antena Yagi de 800 MHz, ganancia 12 dB, conector N hembra



Fuente: el autor

Nota: En la fotografía puede observarse el dipolo con la flecha roja, detrás de él está situado el reflector y por delante (en la dirección de radiación) se tienen cinco directores.

Antena de bocina

Se usan en microondas como antenas de prueba o sondas con las cuales se obtienen muestras del espectro electromagnético presente en determinado sitio de interés y en determinadas direcciones.

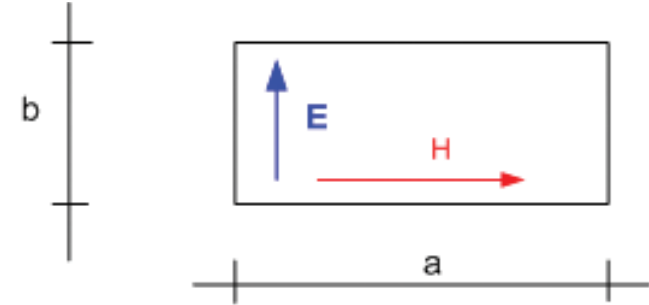
Gráfico 156. Antena de bocina de 15 GHz, ganancia de 20 dB, conector sma



Fuente: el autor

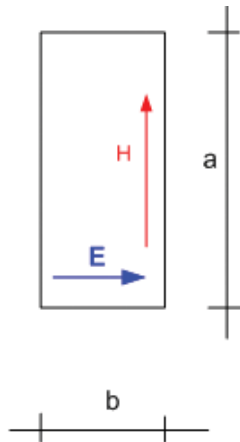
Una de las virtudes más apreciadas de la antena de bocina, es que nos permite determinar la polarización con la cual se encuentra una señal desconocida en determinado sitio geográfico. Para ello, es suficiente observar con que orientación del rectángulo interior (guía de onda) obtenemos el mayor nivel de señal en una medición de campo, ya que en una guía de onda rectangular el vector de campo eléctrico viaja paralelo al lado corto del rectángulo.

Gráfico 157. Polarización VERTICAL en una guía de onda rectangular



Fuente: el autor

Gráfico 158. Polarización HORIZONTAL en una guía de onda rectangular



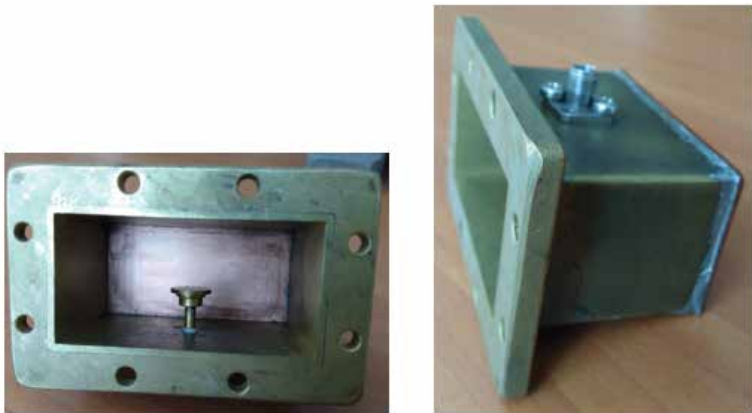
Fuente: el autor

Es necesario remarcar que la polarización de un enlace está dada por la orientación del lado corto del rectángulo en la antena, sin importar cuántos giros y torsiones pudo haber dado en su recorrido desde el equipo transmisor.

Antena de abertura

Sirve para radiar a cortas distancias con fines experimentales. Consiste en una pequeña antena colocada a $\lambda/2$ dentro de una sección de guía de onda rectangular cortocircuitada (cerrada). Este arreglo sirve también como un adaptador de guía de onda a cable coaxial.

Gráfico 159. Antena de abertura para 4 GHz



Fuente: el autor

También sirve para determinar la polaridad de una señal; en la gráfica la antena de abertura se presenta en polarización V.

Antena sectorial

Se la usa con fines de radio difusión (*broadcast* en inglés). Al contrario que las antenas parabólicas, las antenas sectoriales se utilizan para irradiar sobre un área geográfica (ciudad, barrio, sector) con el fin de lograr “cobertura”. Generalmente tienen ángulos de abertura de 60 o 120°. Un ejemplo muy conocido son las antenas sectoriales para cobertura celular, las cuales pueden ser de doble banda (*dual band*) y tienen separados sus puertos de TX y de RX. Algunas veces, vienen dispuestas en fábrica para recibir en polaridad +45° y -45°.

En el caso de la siguiente figura, se presenta una antena sectorial abierta para poder observar su arreglo interior de dipolos. Esta antena tiene una frecuencia de 3,5 GHz, 17 dBi de ganancia (dBi = dB con respecto al radiador isotrópico) y 65° de cobertura. Está compuesta por dos hileras de 10 dipolos cada una. En realidad son dos antenas formadas por un arreglo de diez dipolos cada una (exteriormente se ven los puertos TX y RX separados, con conectores “N” hembra). Se puede también observar el reflector de aluminio en la espalda de los dipolos, cuya finalidad es direccionar la emisión de los mismos.

Gráfico 160. Antena sectorial, en su radome o carcasa impermeable, (Izq.) y abierta (Der.)



Fuente: el autor

Antenas parabólicas

En el curso básico de matemáticas estudiamos de forma abstracta la función $y^2 = 4px$, la cual al graficarla nos presenta de forma semiconcreta una curva llamada parábola con foco en el punto p. Posteriormente, con ayuda de la maqueta correspondiente, vimos de forma concreta,

como un rayo láser demostraba el principio de la parábola, a saber: un rayo que llega a la parábola en forma paralela a su eje, refleja por el foco; un rayo emitido desde el foco, se refleja en la parábola, paralelo al eje. En consecuencia, la antena parabólica es un buen ejemplo de la forma adecuada cómo se debe enseñar la ciencia y la tecnología: una interrelación entre lo abstracto y lo concreto, entre la teoría y la práctica, entre la razón y la emoción.

Gráfico 161. Antena parabólica estándar de 60 cm, 7 GHz



Fuente: el autor

Tal como muestra la figura #161, una antena parabólica básica (estándar) está formada por el plato parabólico (un paraboloide de revolución se forma al rotar una parábola en torno a su eje) y el *feeder* (iluminador o alimentador). Anotemos también que, la salida del *feeder* en el foco, es una antena de abertura o de bocina.

En la parte posterior de la antena, tenemos el puerto de entrada en el cual se conecta mediante guía de onda las señales tanto de TX como de RX. Podemos observar que el puerto de entrada tiene una determinada *flange*; en este caso, la *flange* PDR84, es decir lado presurizado, de forma rectangular para el rango de 7-8 GHz.

La ganancia de una antena parabólica está definida, exclusivamente, por el diámetro del plato y es un dato proporcionado por el fabricante.

Para remarcar el concepto de polaridad, veamos las siguientes figuras, donde la orientación del *feeder* -dentro del *feeder*, de la guía de onda rectangular-, determina la polarización del enlace:

Gráfico 162. Antena parabólica en polarización HORIZONTAL



Fuente: el autor

Gráfico 163. Antena parabólica en polarización VERTICAL

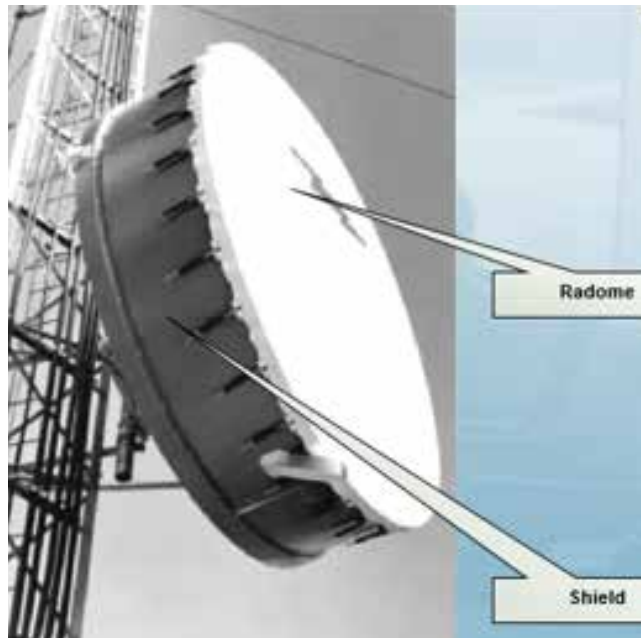


Fuente: el autor

Si bien la antena parabólica básica o estándar fue de gran utilidad al comienzo de los enlaces de microondas, allá por la década del setenta, actualmente casi no se usa debido a su baja directividad (ancho de lóbulo grande), que produce contaminación radioeléctrica al irradiar áreas mayores que las deseadas.

La mejora de la directividad (reducción del ancho del lóbulo) se logra por medio de añadir ciertos elementos a la antena básica. Tal es el caso de la llamada antena "HP" (High Performance en inglés o alto desempeño en castellano).

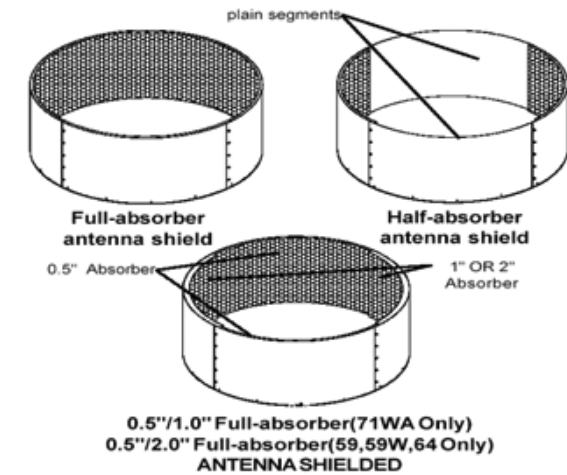
Gráfico 164. Antena parabólica HP



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Elaborado por el autor

El *radome* o carpa sirve solamente para evitar la acumulación de nieve en el *feeder* o que las aves aniden. El escudo o *shield* es un cilindro metálico que tiene la función eléctrica de mejorar la directividad -reducir el ancho del lóbulo principal- de la antena, ya que en su cara interior está revestida de un material absorbente de microonda (esponja al grafito). Adicionalmente, el *shield* puede tener también un desfogue de aire para compensar cuando la presión el viento hunde el *radome* hacia adentro de la antena.

Gráfico 165. Escudo o shield

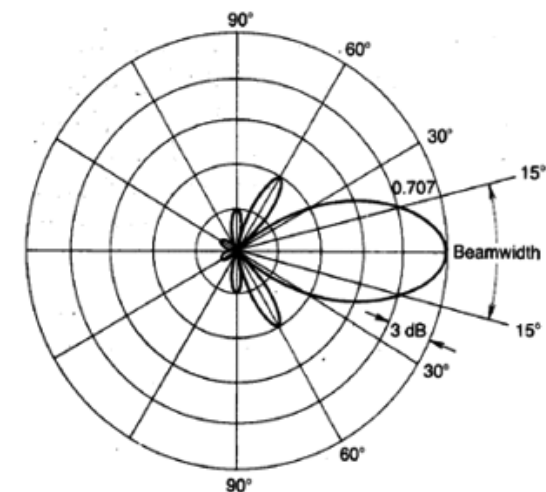


Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor

Lóbulo de radiación

Es un indicador de la capacidad de la antena para direccionar hacia un solo punto la energía electromagnética. Generalmente, se lo define como los puntos de -3dB, es decir, el ángulo al cual la ganancia de la antena es 3 dB menor (puntos de media potencia).

Gráfico 166. Ancho de lóbulo 30° de una antena

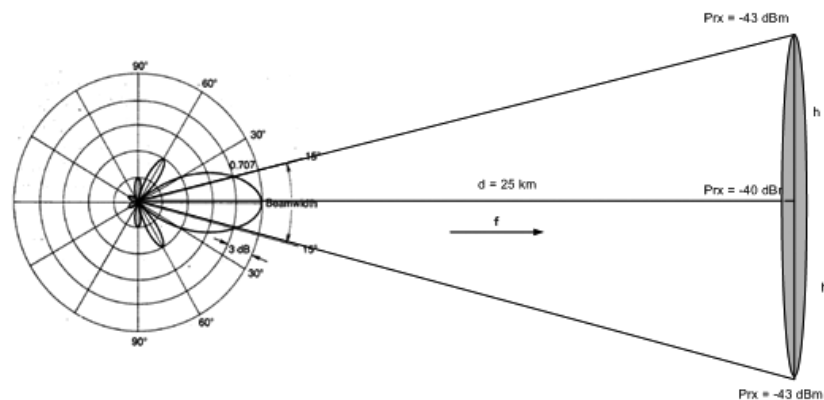


Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Elaborado por el autor

En la figura anterior podemos observar que se ha graficado un ancho de lóbulo de $\pm 15^\circ$. Este es un dato que se puede hallar en el manual de la antenna proporcionado por el fabricante. Es usual en microondas tener anchos de lóbulo inferiores a $\pm 1^\circ$, es decir, dos grados en total.

Recordemos que los enlaces de microondas se caracterizan por ser *punto a punto*; esto quiere decir que no se busca cubrir un área sino solamente un punto remoto (idealmente). En la realidad, esto es muy difícil de lograr y más bien se tiene que aún con antenas de buena calidad, en el extremo distante de un radio enlace de microondas, una zona de alrededor de un kilómetro de diámetro resulta iluminada.

Gráfico 167. Una antenna parabólica se comporta como una linterna de mano



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Elaborado por el autor

Suponiendo un ancho de lóbulo de 15° y calculando la distancia h, tendríamos que:

$$\tan 15^\circ = \frac{h}{d}$$

Para un enlace de 25 kilómetros:

$$h = 25 \text{ km} * \tan 15^\circ = 6,7 \text{ km}$$

Esto quiere decir que con esta antena iluminaríamos en el extremo remoto una circunferencia de 6,7 km de radio. Esto es perjudicial en cuanto a la reutilización de espectro radioeléctrico, ya que estaríamos imposibilitados de usar esa frecuencia en ese radio de acción. Si por el contrario usaríamos una antena que tenga ancho de lóbulo $\pm 0,9^\circ$, la distancia h se reduciría a ¡392 m! En ese orden es la diferencia entre usar antena estándar y antena HP.

También podemos observar los llamados lóbulos secundarios (indeseables), ya que ninguna antena es perfecta, se producen réplicas del lóbulo principal, que van disminuyendo

a medida que se aleja del eje principal de la antena (ángulo 0°). Incluso hay un minúsculo lóbulo hacia atrás diametralmente opuesto a la dirección de trabajo de la antena. Este lóbulo indeseable se recoge en un factor característico de cada antena llamado relación *front to back*.

Se considera alineado un enlace de microondas cuando los ejes de sus antenas son colineales, es decir que sus lóbulos principales se apuntan mutuamente.

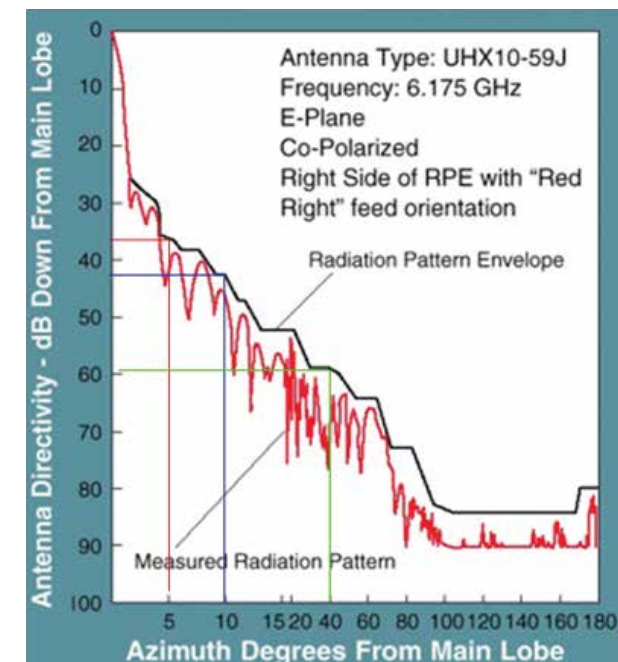
Gráfico 168. Enlace de microondas "alineado"



Fuente: el autor

Otra forma de ver la manera cómo irradia la antena a medida que la dirección se aleja de su eje principal es el patrón de radiación:

Gráfico 169. Patrón de radiación de una antena



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Elaborado por el autor

En este gráfico está contenido el lóbulo principal de una antena de ganancia G(dB), en este caso, es de $\pm 2^\circ$, aunque es difícil apreciarlo. Este gráfico es de mayor utilidad para constatar cuánto baja (atenúa) la ganancia versus ángulos grandes. Por ejemplo al movernos 5° del eje principal, tenemos una ganancia G-36 dB. Con un ángulo de 10° tendremos una ganancia de G-43 dB. Con un ángulo de 40° tendremos una ganancia de G-59 dB.

Esta forma de presentación del patrón de radiación es muy útil al momento de realizar cálculos de interferencia.

Factor XPD (dB)

Otra de las principales características eléctricas de una antena es el rechazo a polarización cruzada (XPD). Idealmente, una antena que está en polarización Vertical no debería captar nada de una señal que es emitida en polarización Horizontal. Y viceversa. En la realidad, debido a las imperfecciones de construcción, una antena sí capta señales de la polarización contraria (cruzada), pero lo hace con niveles de 30 o 40 dB de atenuación. Esto quiere decir que si en un enlace la potencia calculada en recepción es de -40 dBm, cuando las antenas estén en la misma polarización, la potencia recibida será de -70 a -80 dBm en polarización cruzada. Es muy frecuente este error en la instalación de los enlaces de microonda, cuando son dos grupos de técnicos distintos los que instalan a cada lado. Debe revisarse y corregirse, ya que la tarea de alineación se torna imposible.


La siguiente figura es un ejemplo de la hoja de datos de una antena (*data sheet*), extraído del manual del fabricante.

Gráfico 170. Data sheet del fabricante de antenas parabólicas para microondas

5.925 - 7.125 GHz

Antenna Inputs: All antenna VSWR values are specified with CPR and PDR flanges. Other optional flanges may result in equal or slightly higher VSWR. Contact Andrew for details.

Pressurization: Feeds are pressurizable to 10 lbf/in² (70 k Pa).

Type Number	Diameter ft (m)	RPE Number(s)	Regulatory Compliance				Gain, dBi			Beamwidth Degrees	Cross Pol. Disc., dB	F/B Ratio dB	VSWR max. (R.L., dB)	
			U.S. FCC 101	ETSI 74	ETSI 78	Class	Gain	Low	Mid-Band					Top
UHX UHP		Ultra High Performance/Wide Band Antennas – Dual Polarized Antenna Inputs: CPR137G and PDR70												
UHX6-59W	6 (1.8)	1022 3303	A	A	–	3	2	37.5	38.8	39.5	1.8	36	67	1.08 (28.3)
UHX8-59W	8 (2.4)	1115 1116	A	A	–	2	2	41.0	41.7	42.3	1.4	36	68	1.08 (28.3)
UHX10-59W	10 (3.0)	1118 1117	A	A	–	2	2	42.5	43.2	43.8	1.2	36	71	1.08 (28.3)
UHX12-59W	12 (3.7)	1119 1120	A	A	–	3	2	44.1	44.8	45.4	1.0	36	74	1.08 (28.3)
Ultra High Performance/Wide Band Antennas – Single Polarized Antenna Inputs: CPR137G and PDR70														
UHP6-59W	6 (1.8)	3492 3494	A	B	–	3	2	38.4	39.3	39.9	1.8	35	75	1.06 (30.7)
UHP8-59W	8 (2.4)	3496 3506	A	A	–	3	2	40.9	41.9	42.2	1.5	35	78	1.06 (30.7)
UHP10-59W	10 (3.0)	3498 3500	A	A	–	3	2	42.4	43.3	43.7	1.3	35	78	1.06 (30.7)
UHP12-59W	12 (3.7)	3502 3508	A	A	–	3	2	44.3	45.2	45.5	1.0	35	80	1.06 (30.7)

Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Adaptado por el autor.

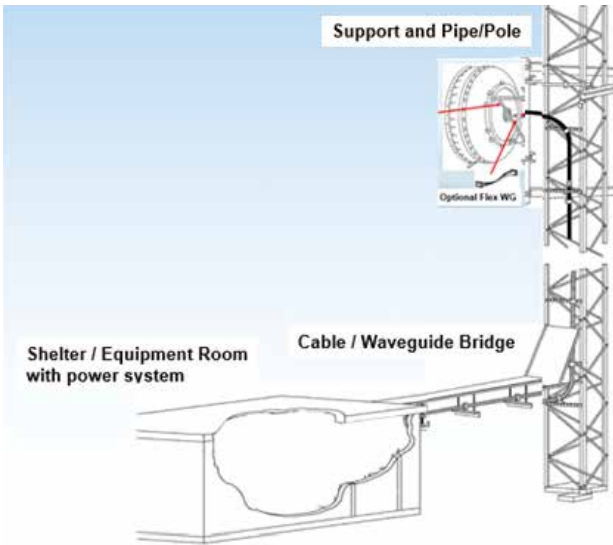
Por ejemplo la antena UHX8-59W es una antena denominada *ultra high performance*, trabaja en la banda de 5,9 a 7,1 GHz, tiene un diámetro de ocho pies, es decir 2,4 m; tiene una ganancia de 41,7 dB en mitad de la banda de trabajo, un ancho de lóbulo de $\pm 0,7^\circ$, un XPD

de 36 dB, una relación *front /back* de 68 dB y un ROE de 28,3 dB. ¡Nótese la importancia de conocer el concepto de decibelio para poder comprender los datos de la antena!

Equipamiento electrónico de microondas

Una vez que hemos considerado los elementos pasivos de una enlace de microondas (antenas, guías, filtros, etc.), corresponde ahora estudiar el “estado del arte” en cuanto al equipo de microondas activo, es decir que requiere energía eléctrica para funcionar, el cual es comúnmente conocido como el “radio de microondas”.

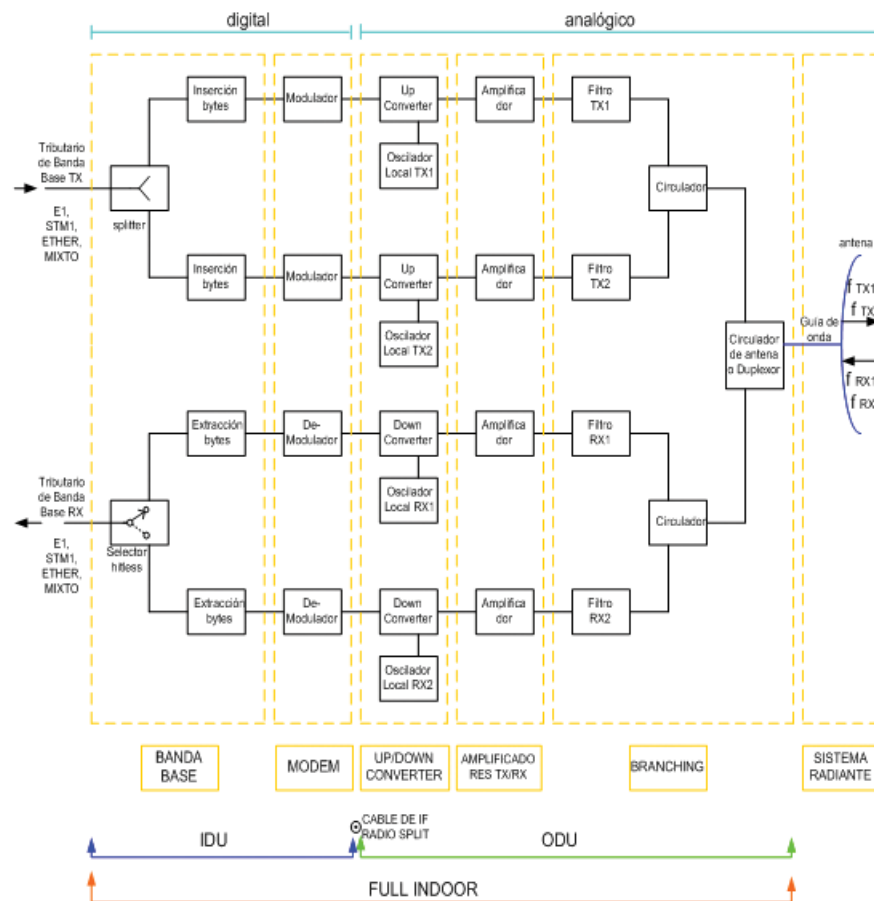
Gráfico 171. Cuarto de equipos y torre



Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

Tanto el cuarto o *shelter* de equipos como la torre, son componentes de un enlace de microondas. Particularmente la torre, es una estructura de hierro galvanizado, inoxidable, que nos permite colocar las antenas de modo que tengan buena línea de vista, es decir a una altura suficiente por encima de árboles y casas. Las alturas de las torres son variables entre unos 10 y 100 m la mayor parte. El cuarto de equipos es la ubicación adecuada para los equipos electrónicos, ya que los resguarda de la intemperie. Las escalerillas tanto horizontales como verticales son estructuras inoxidables que permiten la correcta y segura instalación de cables coaxiales y guías de onda en su camino entre el equipo y la antena. Hay que recordar que las torres y sus antenas están a la intemperie, sujetas a vientos fuertes y lluvias, por lo tanto, deben ser correctamente aseguradas a fin de que permanezcan al menos diez años en servicio.

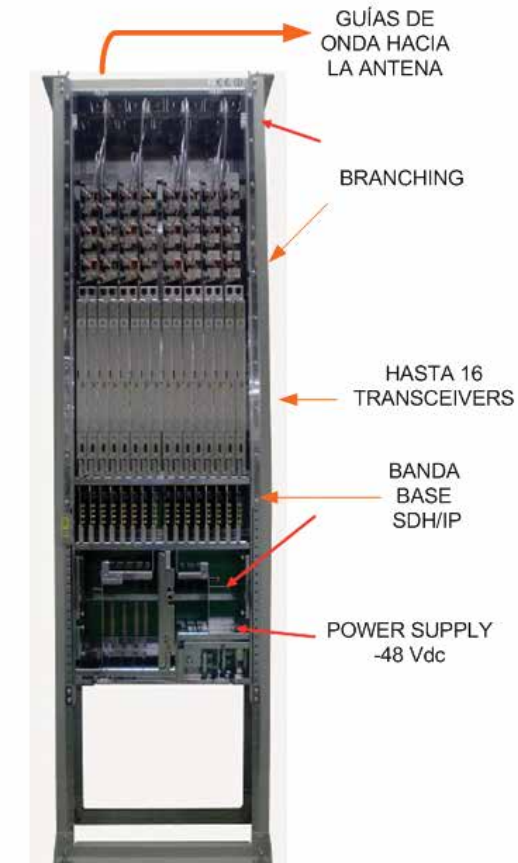
Gráfico 172. Diagrama de bloques de un equipo de microonda genérico en configuración 1+1 diversidad de frecuencia (1+1 FD)



Fuente: Siemens AG, 2003. Elaborado por el autor

Existen dos tipos principales de radios de microondas: *Full Indoor* y *Split*. Se conoce como radio *full indoor*, cuando toda la parte electrónica, incluyendo la generación de RF, está alojada en un cuarto de equipos, a resguardo de la intemperie y solo la parte pasiva, es decir el sistema radiante, va fuera de la caseta en la torre.

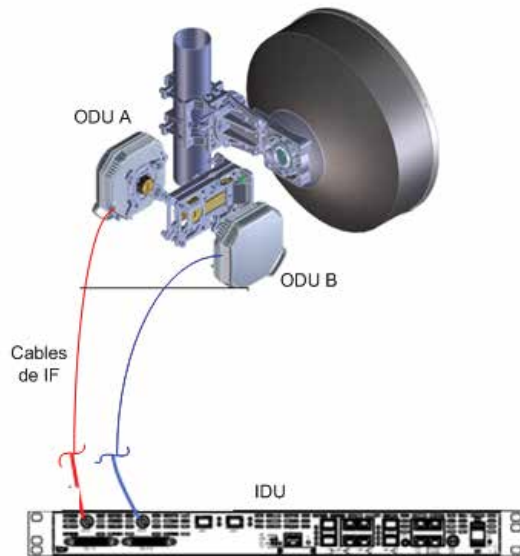
Gráfico 173. Radio Full Indoor



Fuente: SIAE Microelettronica S.p.A, 2015. Adaptado por el autor

Por otra parte tenemos los radios *split* o partidos (como *banana split*), en los cuales existe una parte interior llamada IDU (*Indoor Unit*) y una parte exterior llamada ODU (*Outdoor Unit*). En la IDU, se procesa la banda base y se realizan las funciones modulador/demodulador; se genera una frecuencia intermedia (330 MHz) con espectro de ancho 7, 14, 28 o 56 MHz; también, en la IDU, están las funciones de supervisión y control de todo el elemento de red (IDU+ODUs = NE, *Network element*), por lo cual contiene la interfaz con el computador para efecto de configuración por parte del personal técnico. En la ODU, se genera la radio frecuencia del enlace de microondas (oscilador local); también constan los amplificadores tanto de TX como de RX.

Gráfico 174. Radio Split 1+1



Fuente: SIAE Microelettronica S.p.A, 2015. Elaborado por el autor

Por los cables de IF transitan las frecuencias intermedias (330 o 140 MHz) con los espectros ya modulados y un conjunto de frecuencias auxiliares que proveen comunicación y telemetría entre las IDU y la ODU. También por el cable de IF se energizan las ODUs, a través del voltaje continuo de -48 Vdc presente en el “vivo” del cable coaxial de IF de 1/4. Generalmente el cable de IF puede tener hasta 250 m de longitud.

Configuraciones de protección

En la figura anterior #174, observamos que existen 2 ODUS, conectadas mediante un herraje llamado “coupler” a la misma antena, es decir forman parte del mismo radio enlace. Esto es debido a que están en una configuración conocida como 1+1.

Se conoce como protección 1+1 “HOT STANDBY” cuando es una protección netamente de hardware. Si la ODU principal se avería (la A), inmediatamente toma su lugar la ODU secundaria (la B). La ODU secundaria permanece en estado encendido, pero su potencia de transmisión está silenciada sin pasar hacia la antena, hasta que un conmutador de RF se active cuando la ODU principal presente alarmas de fallo. El *coupler* puede ser balanceado cuando la potencia se divide en la mitad hacia cada ODU (*coupler* de 3 dB) y puede ser de tipo desbalanceado cuando la potencia se divide hacia las ODUS menos 1 y menos 6 dB.

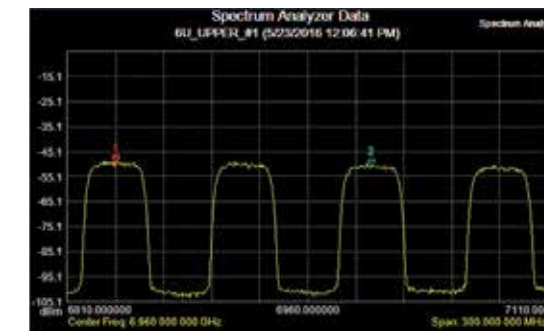
Se conoce como 1+1 diversidad de frecuencia (1+1 FD) cuando tanto la ODU-A como la ODU-B están emitiendo por la antena, pero a distintas frecuencias f1 y f2. En el extremo

remoto un *switch* tipo *hitless* (sin golpe) selecciona la banda base, que ha arribado ya sea por el canal f1 o por el canal f2, libre de alarmas de BER.

Se conoce como 1+1 diversidad de espacio (1+1 SD) cuando la ODU-A está conectada a la antena principal y la ODU-B está conectada a la antena diversidad. En este esquema de protección tenemos cuatro antenas por un enlace.

Los radios *full indoor* tienen la capacidad de conformar un esquema de protección N+1, el cual es un esquema basado en la diversidad de frecuencia, en el cual hay N canales de radio con tráfico; cada uno funcionando en su propia frecuencia y, para todos ellos, hay un canal de protección funcionando también con frecuencia propia. Generalmente, el canal de protección pasa ocioso, es decir, libre de tráfico, hasta el momento cuando unos de los canales principales se avería y entonces si cursa tráfico.

Gráfico 175. Espectro de salida de un equipo full indoor en configuración 3+1



Fuente: el autor

Los esquemas de protección incrementan la disponibilidad del tráfico. Funcionan hasta que un equipo de mantenimiento restablezca la situación normal, mediante el uso de repuestos si ha habido falla de *hardware* o hasta que la condición de propagación adversa haya pasado, si el problema ha sido climatológico.

Generalmente, la configuración de protección N+1 tiene sentido y se usa para proteger tráfico TDM, por ejemplo, tres tributarios STM-1 de 155Mb/s cada uno. Pero, si el radio transmite tributarios Ethernet/IP y cada uno provee de 200 Mb/s podría sumar un total de 800 Mb/s; entonces es mejor configurarlo como 4+0, es decir, sin protección de canal, ya que, al fallar uno de los canales, simplemente el equipo entrega una velocidad menor, de 600 Mb/s en este caso, hasta que el personal de mantenimiento solucione el inconveniente.

Cálculo de radio enlaces

Un enlace de microondas siempre se establece entre dos puntos geográficos A y B. Por este motivo, se denomina enlace punto a punto. Los puntos A y B quedan determinados por sus coordenadas geográficas y por su altura respecto al nivel del mar. Por ejemplo:

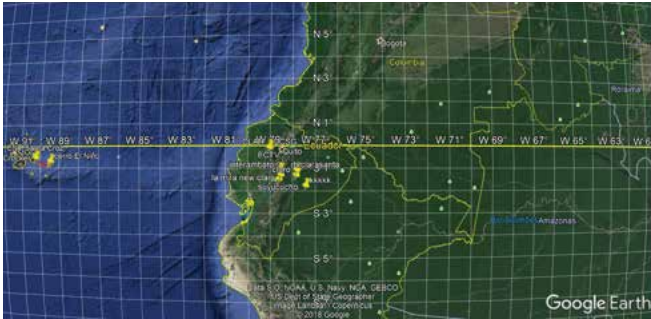
Gráfico 176. Ejemplo de coordenadas geográficas

	TARAPOA	SHUSHUFINI
ALTURA (msnm)	230	250
LATITUD	S 00° 07' 15.0"	S 00° 11' 10.4"
LONGITUD	W 76° 20' 27.8"	W 76° 40' 13.3"

Fuente: el autor

Generalmente, las coordenadas geográficas tienen como referencia el sistema WGS84 (World Geodetic System 1984), pero existen otros, por ejemplo, el PSAD56 (Provisional South American Datum 1956). El GPS (Global Positioning System) es el instrumento que nos proporciona las coordenadas.

Gráfico 177. Coordenadas geográficas

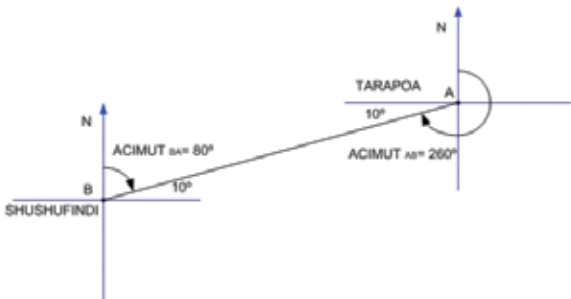


Fuente: Google Earth

DEFINICIÓN DE ACIMUT

Es el ángulo respecto al Norte, medido en grados. Estando en un sitio A, con ayuda de una brújula, podemos saber en qué dirección queda el sitio B, si conocemos el *acimut* de A hacia B. Por ejemplo, estando en Tarapoa, el dato de ingeniería nos indica que el *acimut* hacia Shushufindi es de 260°

Gráfico 178. Ejemplo de la definición de acimut



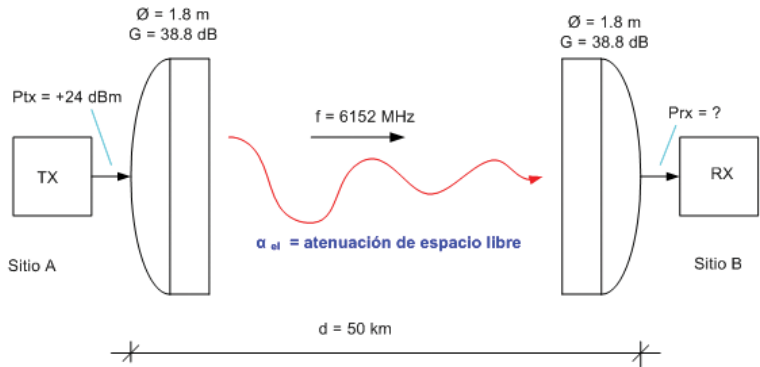
Fuente: el autor

Calcular un radioenlace implica mucho más que simplemente determinar la potencia recibida (Prx); conlleva determinar el margen de desvanecimiento y, con este, el objetivo de disponibilidad.

Empecemos con el cálculo de la Prx; para ello planteamos un ejemplo muy sencillo: suponemos que tenemos que comunicar dos localidades, separadas por una distancia de 50 km; para ello disponemos del siguiente equipo:

- Dos antenas UHX6-59W (del gráfico #169)
- Un equipo de microonda cuya potencia Ptx es de +24 dBm.
- Frecuencias asignadas en la banda de 6 GHz.

Gráfico 179. Enlace de microondas básico



Fuente: el autor

Debido a que los campos eléctricos y magnéticos se debilitan a medida que se alejan de la fuente emisora -al igual que la luz visible-, aparece el factor denominado “atenuación de espacio libre”, al cual se le simboliza simplemente como α_{el} .

Existe una fórmula muy exacta para calcular dicha atenuación de espacio libre y está dada por:

$$\alpha_{el} \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \cdot \log (f \cdot d)$$

Donde f está expresada en MHz y d está expresada en km.

Para calcular la potencia recibida en el sitio B realizamos un balance de pérdidas y ganancias (presupuesto del enlace o link *budget*) y decimos que:

$$Prx = Ptx + Ga - \alpha_{el} + Gb$$

Siendo Ga y Gb la ganancia de antena tanto en el sitio A como en el sitio B. En este caso, son el mismo tipo de antena, por lo tanto $Ga = Gb = 38.8 \text{ dB}$.

$$\alpha_{el} = 32,4 + 20 * \log(6152 * 50)$$

$$\alpha_{el} = 143,2 \text{ dB}$$

Por lo tanto:

$$Prx = +24 \text{ dBm} + 38,8 \text{ dB} - 142,2 \text{ dB} + 38,8 \text{ dB}$$

$$Prx = -40,6 \text{ dBm}$$

Que sería la potencia con que se recibe en el sitio B, la señal emitida desde el sitio A.

Pero esta potencia, ¿qué indica, es alta, es baja, es suficiente? La respuesta a esta pregunta la encontramos en un parámetro que caracteriza a todo receptor, denominado el umbral de recepción.

Umbral de recepción

El receptor de un equipo de microondas es un amplificador de bajo ruido que trabaja directamente sobre las frecuencias de radio, a niveles muy bajos de potencia. Sin embargo, el receptor tiene un límite bajo el cual la potencia recibida es tan débil que el amplificador la confunde con ruido; por lo tanto, ya no es capaz de “entender” la señal ni sacar ya provecho de ella. Este límite se conoce como el umbral del receptor (U_{rx}) y es característica propia dada por el fabricante acerca de su equipo.

Supongamos que el equipo usado en este enlace ficticio tiene un umbral de recepción de $U_{rx} = -71 \text{ dBm}$. Bajo este nivel, por ejemplo -75 dBm , la potencia recibida es prácticamente inservible.

MARGEN DE DESVANECIMIENTO Y CONFIABILIDAD

Se define como margen de desvanecimiento a la diferencia entre la potencia recibida en un enlace y el umbral del receptor utilizado.

$$MD = Prx - U_{rx}$$

En el caso de nuestro ejemplo, tenemos el siguiente umbral:

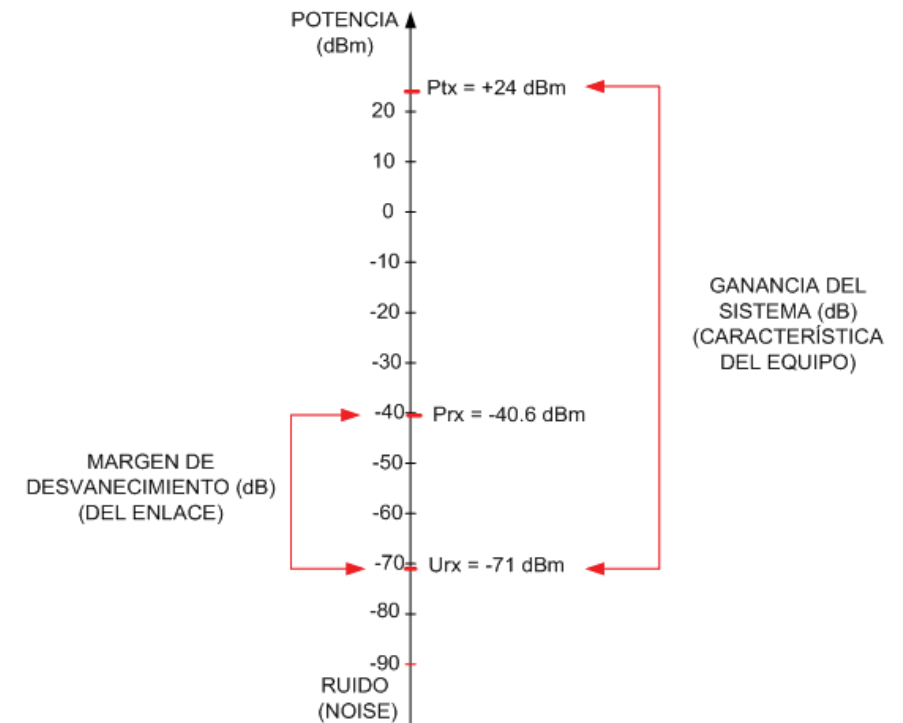
$$MD = -40,6 \text{ dBm} - (-71 \text{ dBm})$$

$$MD = -40,6 \text{ dBm} + 71 \text{ dBm}$$

$$MD = 30,4 \text{ dBm}$$

Es decir que la señal recibida goza de un “colchón” de 30,4 dB para atenuarse o debilitarse, antes de que cruce el umbral y se vuelva inservible. Como sabemos 30 dB representa mil veces, por lo tanto esta Prx puede bajar mil veces antes de volverse incomprensible para el RX remoto. Veamos la siguiente gráfica que caracteriza los equipos de microonda:

Gráfico 180. Margen de desvanecimiento (fade margin)



Fuente: el autor

Se define también la ganancia del sistema como la diferencia entre la máxima potencia de transmisión P_{tx} y el Umbral de recepción U_{rx}

$$G_s \text{ (dB)} = P_{tx} - U_{rx}$$

En el ejemplo dado:

$$G_s \text{ (dB)} = +24 \text{ dBm} - (-71 \text{ dBm})$$

$$G_s = 95 \text{ dB}$$

La ganancia del sistema G_s nos sirve para poder comparar entre dos equipos de distintos fabricantes. A mayor G_s , mejor equipo (más sensible).

Una vez que conocemos el margen de desvanecimiento, podemos establecer la confiabilidad del radioenlace mediante la siguiente tabla, es decir, una referencia extraída de la observación práctica y la experiencia de campo:

Tabla 43. Margen de desvanecimiento vs. confiabilidad

MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB)	CONFIABILIDAD (%)
20	99
30	99,9
40	99,99

Elaborado por el autor

En el ejemplo, obtuvimos un margen de desvanecimiento cercano a 30 dB, por lo tanto este enlace de microondas tendrá una confiabilidad esperada de 99,9 %. Es decir, la potencia recibida será mayor que el umbral, el 99,9 % del tiempo, pero es solo una probabilidad que habría que certificar en campo.

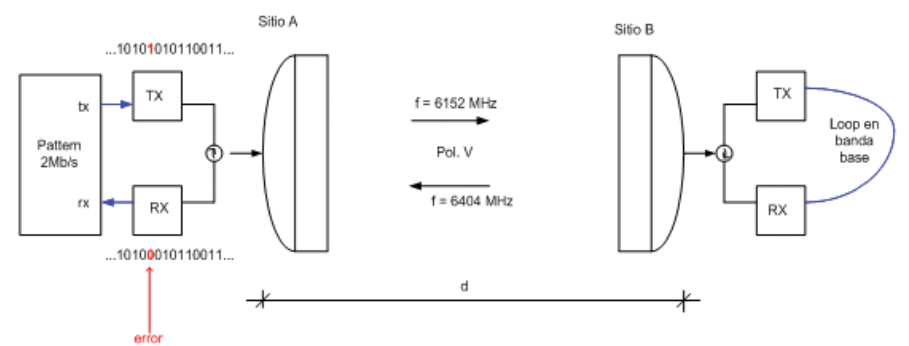
Podemos calcular fácilmente que el mes tiene 43 200 minutos. Si la confiabilidad es del 99,9 % del tiempo, significa que un 0,1 % del tiempo el enlace se perderá; eso equivale a 43,2 minutos. Unos cuarenta minutos al mes parece poco, pero hay que cotejar con lo recomendado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), que en sus recomendaciones G.821 y G.829, establece criterios de disponibilidad para dar por *acceptable* el desempeño de un radioenlace.

Recomendación G.821, criterios de disponibilidad

Esta norma básica de la UIT establece varios parámetros con los cuales podemos evaluar el desempeño de un radioenlace, el primero de ellos es la tasa de errores.

Se considera que ha habido un error si un dígito binario emitido como 1, se recibe como 0; o viceversa. Para ello, se dispone de un generador de patrones *pattern*. Este aparato emite una secuencia pseudoaleatoria (se repite cada $2^{15}-1$ bits) de unos y ceros y la compara con lo propio que recibe.

Gráfico 181. Definición de bit errado o simplemente “error”



Fuente: el autor

En la figura anterior, en un instante cualquiera, un bit que fue transmitido como un “1”, regresa del otro extremo del enlace como un “0”. Sin importar la causa, se dice que ha habido un bit errado, o más comúnmente un “error”. Ahora bien, el *pattern* es un instrumento que conoce exactamente que bits emite y cuántos bits emite en función del tiempo transcurrido. Un error no nos dice mucho. Más información tenemos a través de la tasa de errores *Bit Error Rate* o BER como se la conoce, por lo tanto:

BER = # bits errados / # bits transmitidos

De esta manera, si hay un bit errado por cada 1 000 bits transmitidos, tendremos una BER de

BER = 1 / 1 000

Es decir una tasa de errores BER = 10E-3

Como ejercicio veamos el caso de un *pattern* de 2 Mb /s, que ha estado monitoreando un enlace durante 24 horas y ha detectado 49 errores.

bits transmitidos = 24 horas * 3600 seg / hora * 2 048 000 bit / seg

bits transmitidos = 176 947 millones

Por lo tanto, tenemos una tasa de errores de:

BER = 2,77x 10⁻¹⁰ (notación exponencial común)

BER = 49 / 176 947'000 000 = 2,77 E -10 (notación científica)

Veamos algunos valores notables del BER

Tabla 44. Valores notables de la tasa de errores BER

BER	CATEGORÍA
10E-12	Llamado también BER residual. Es una excelente tasa de errores
10E-8	La mínima requerida para transmisión de datos puros (por ejemplo electorales)
10E-6	Se conoce como señal degradada o LOW BER. El límite de calidad al cual funciona la transmisión de voz en tramas PCM30
10E-3	También conocida como HBER o HIGH BER. Señal en muy mal estado. En algunos equipos se puede oír y mantener todavía la conversación por el canal de servicio EOW, pero muy ruidosa

Elaborado por el autor

Como quizás era de esperarse, un radioenlace de microonda puede pasar bien el 99,9 % del día. Pero el 0,1 % del tiempo en que están entrando errores y presentando problemas, no necesariamente está concentrado en una cierta hora, sino esparcido a lo largo de todo ese día. Para enfrentar y discernir esta situación, se tienen los siguientes parámetros:

ES: Segundos errados (Errored Seconds). Son segundos que han presentado al menos un error.

DM: Minutos Degradados (*Degraded Minutes*). Son minutos que han presentado una tasa de $10E-6$

SES: Segundos Severamente Errados (*Severely Errored Seconds*), son segundos que han presentado HBER, es decir $10E-3$.

UAS: Segundos Indisponibles (*Unavailable Seconds*), cuando hay 10 o más SES seguidos. Al undécimo segundo se contabilizará ya como 11 UAS. Esta definición viene de las primeras centrales de conmutación digital, que daban un plazo de 10 segundos antes de cortar la llamada y liberar el circuito.

La recomendación G.821 establece cuántos ES, SES, DM y UAS pueden haber en un mes, para dar por bueno el desempeño de un enlace.

Aproximadamente, para un enlace de 250 km, la norma G.821 permite 0,32 % de ES, 0,054 % de SES, 0,4% de DM y 0,3 % UAS (Ortiz, Cianferoni, & Vázquez, 2000).

Ahora si podemos decir si la potencia Prx calculada en -40,6 dBm es suficiente o no. La respuesta es sí, para una confiabilidad del 99,9 %. Si se desea mayor confiabilidad habrá que buscar la manera de incrementar el nivel de potencia recibida, por ejemplo incrementar el tamaño de antenas.

El margen de desvanecimiento, como su nombre lo indica, es una reserva que sirve para afrontar problemas de propagación que se pueden presentar en el trayecto y debilitar la señal electromagnética deseada. Como ejemplo de factores que afectan la propagación de las microondas están: la lluvia, el viento que mueve ligeramente las antenas, la obstrucción por árboles y por montañas (debido a variaciones del factor climático K), interferencias pasajeras, el envejecimiento del equipo, etc.

En la actualidad, el SW para cálculo de radioenlaces realiza la estimación de los objetivos de disponibilidad y el cumplimiento de las normas de la ITU-R P.530-14.

Propagación de las señales radioeléctricas

La atenuación de espacio libre es solamente uno de los fenómenos asociados al viaje que realiza la señal electromagnética en su trayecto entre el transmisor y el receptor. Generalmente, las señales radioeléctricas tienen diferentes tipos de propagación dependiendo de sus frecuencias.

Por ejemplo, en radio difusión AM, la frecuencia es relativamente baja (alrededor de 1 MHz), por lo cual se produce la llamada “onda terrestre” en la cual la señal viaja a “flor de piel” de la superficie terrestre. Por este motivo es que pueden escucharse radio emisoras situadas a más de 500 km de distancia, atravesando sierras montañosas.

Luego están las ondas ionosféricas, alrededor de los 11 MHz, que viajan dando rebotes entre la superficie del globo terráqueo y la capa de la ionósfera; por eso pueden llegar a otros continentes. A frecuencias más altas, como las de las radios FM de unos 100 MHz, ya la cobertura se limita y por ejemplo, estas señales no son capaces de atravesar una cordillera. Por ese motivo las emisoras de FM de alcance nacional tienen distintas frecuencias dependiendo de la ciudad en que se emiten, ya que llegan desde los estudios vía “microonda”; así también los canales de TV de VHF y UHF (Gamavisión, TC, etc.).

Frecuencias más altas como los servicios móviles y celulares que funcionan a 800 y 1 900 MHz cubren ya pequeñas zonas (barrios) de una ciudad con radios de pocos kilómetros; pero recurren a la estrategia de dividir la ciudad en celdas para lograr cobertura total. Las señales celulares, por ejemplo, no pueden entrar en túneles, ascensores, parqueaderos subterráneos debido a que estas frecuencias son absorbidas completamente por las paredes de cemento.

Más arriba, en frecuencias propiamente de microondas (mayores a 1 GHz), se necesita lo que se llama “línea de vista”, para poder funcionar; es decir deben poder verse ambos extremos del enlace “troposférico”. Y aún esto no es suficiente sino que debe haber despeje de la “zona de Fresnel” la cual definimos a continuación.

Zonas de Fresnel

Entre dos antenas localizadas en los puntos A y B, separados una distancia d , se define la zona de Fresnel como la elipse cuya distancia constante -la longitud de la piola usada en la maqueta para graficarla- es:

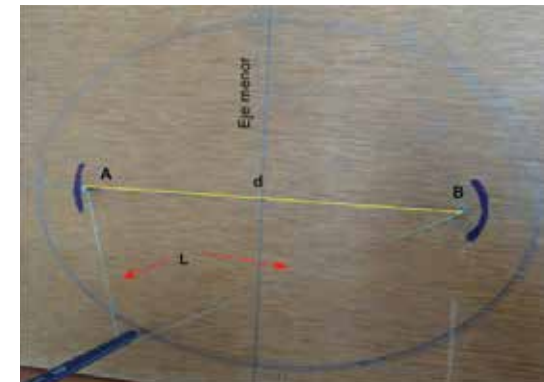
$$L = \text{constante} = d + n * \left(\frac{\lambda}{2}\right)$$

Donde:

$n = 1, 2, 3, \dots$ (número entero de 1 a infinito)

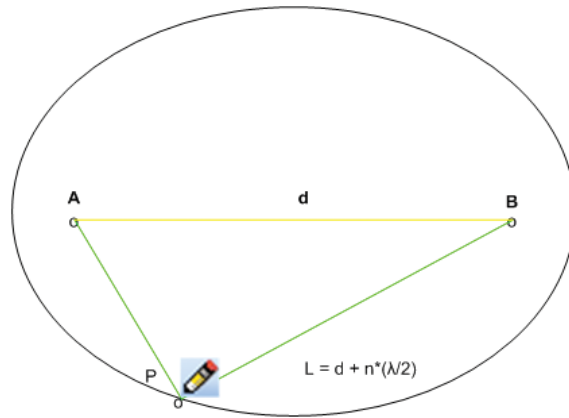
$\lambda/2$ = longitud de onda dividida para 2

Gráfico 182. Construcción práctica de una elipse. La longitud de la piola “L” es constante



Elaborado por el autor

Gráfico 183. Definición de elipsoide de Fresnel



Elaborado por el autor

Cuando $n = 1$ se llama a la elipse así generada, la primera zona de Fresnel; cuando $n=2$ tenemos la segunda zona de Fresnel, etc.

Dicha elipse tiene sus focos en los puntos A y B donde se encuentran las antenas. Se denomina zona de Fresnel, en honor al físico francés Augustín Fresnel (1788-1827), quien la dedujo mientras estudiaba la difracción de los rayos luminosos, mucho antes de que se descubrieran las ondas radioeléctricas por Heinrich Hertz -en 1888-.

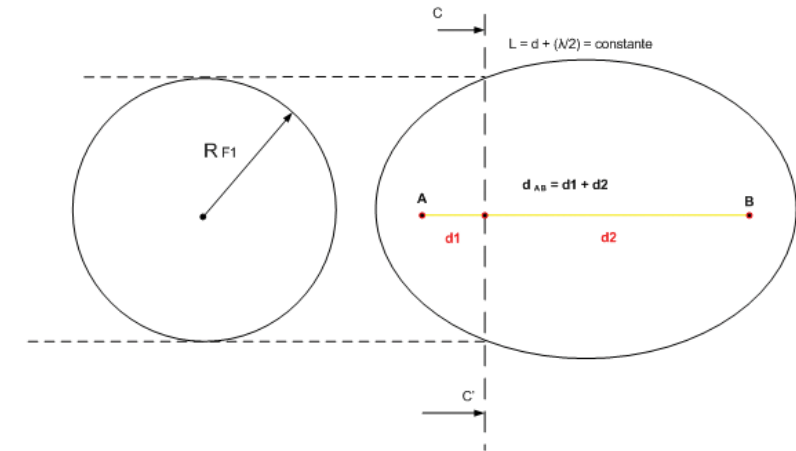
Si al cubrir la distancia en línea recta "d" entre las dos antenas A y B, una onda salida de A llega a B con una fase cualquiera y a esta fase se la toma como la referencia 0° , entonces, todos los demás frentes de onda llegados hasta 180° -por eso $\lambda/2$ aparece en la definición- con respecto a esta referencia, se combinan aditivamente para dar lugar a la potencia recibida resultante

El conocimiento de la zona de Fresnel, principalmente la primera $n=1$ tiene gran importancia en comunicaciones radioeléctricas, en general, y en microondas, en particular, debido a que por esta zona viaja la mayor parte de la energía electromagnética entre la antena transmisora A y la antena receptora B.

En el plano, la zona de Fresnel es una elipse. Pero, en el espacio es un volumen, un elipsoide de revolución que se genera idealmente al rotar la elipse en torno a su eje mayor.

Con fines explicativos imaginemos que este elipsoide es como una sandía. Ahora imaginemos que a dicha sandía le hacemos un corte con un cuchillo muy filoso, en forma perpendicular al eje mayor y a la vez paralelo al eje menor, tal como indica la figura siguiente el corte C-C'. Mirando cada uno de los pedazos obtenidos miramos por igual una figura circular de radio r. Y ya que se trata de la primera zona de Fresnel lo llamaremos R F1.

Gráfico 184. Radio de la primera zona de Fresnel a la distancia d1 desde el foco A



Elaborado por el autor

Gráfico 185. Similitud del corte C-C'



Fuente: el autor

El radio de la primera zona de Fresnel a las distancias d_1 y d_2 ($d=d_1+d_2$) se calcula con la fórmula:

$$R F1 = 31,6 * \sqrt{\frac{\lambda * d1 * d2}{d}}$$

Donde:

λ longitud de onda en metros y

d_1, d_2, d en kilómetros.

Por ejemplo, en el enlace ficticio donde se calculó la potencia recibida Prx, teníamos que d=50km, la frecuencia es de 6152 MHz, es decir que la λ= 0,048 m.

Calculemos el máximo valor para R F1, el cual ocurre a la mitad del trayecto, es decir: d1=d2=25 km

$$R F1 = 31,6 * \sqrt{\frac{0,048 * 25 * 25}{50}}$$

R F1 = 24,5 metros

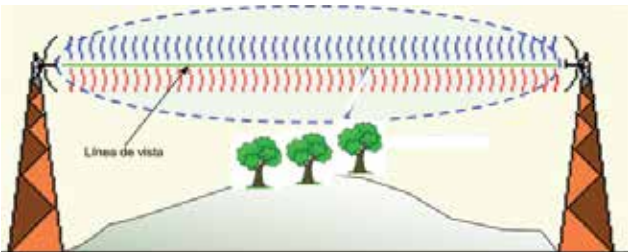
Calculemos ahora cuando d1=5 km y d2= 45 km

$$R F1 = 31,6 * \sqrt{\frac{0,048 * 5 * 45}{50}}$$

R F1 = 14,7 metros

La primera zona de Fresnel debe estar completamente despejada para tener un enlace de microondas libre de obstrucción. No es suficiente que la “línea de vista” esté despejada es decir que se pueda ver (con ayuda de unos binoculares) la antena remota. La presencia de árboles o edificios ingresando en la primera zona de Fresnel significará pérdidas adicionales en el enlace por motivos de obstrucción.

Gráfico 186. Posible obstrucción del enlace por árboles

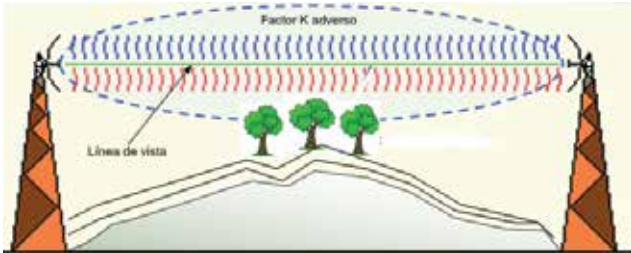


Fuente:(Siemens AG, 2003). Adaptado por el autor

En la figura #186 vemos un caso en que existe un posible obstáculo que puede causar pérdidas al enlace. Si consideramos que bajo los efectos de la refracción, representado por el factor K, el enlace puede combarse hacia la tierra; entonces, el obstáculo puede introducirse en la zona de Fresnel y desvanecer la señal. El hecho real que los rayos de la microonda se curven hacia la tierra, puede visualizarse imaginariamente como si la superficie de la tierra fuera quien hubiese subido de nivel; a esto se conoce como el modelo de rayo recto y tierra curvada.

El factor atmosférico K

Gráfico 187. Refracción atmosférica, K adverso



Fuente:(Siemens AG, 2003). Adaptado por el autor

El factor K es un parámetro determinado por las condiciones climatológicas, principalmente, el índice de refracción atmosférico el cual a su vez depende de la presión atmosférica, la concentración de vapor de agua y de las diferencias de temperatura, a lo largo del enlace. Puede tomar valores de 4 /3 en condiciones estándar o 2 /3 en condiciones adversas. El factor K se utiliza para interpretar el fenómeno real de refracción del rayo de microondas, en función de una variación “ficticia” del radio de la Tierra.

El factor K y el radio ficticio r’ de la tierra están relacionados mediante la siguiente fórmula muy sencilla: (K&K engineering, 1995)

$$r' = K * R$$

Siendo r = 6 370 km, el radio real de la Tierra. Veamos unos valores notables.

Tabla 45. Valores notables de K versus radio ficticio de la tierra

Factor K	r' (km)
Infinito	infinito
4/3	8 500
1	6 370
2/3	4 250

Elaborado por el autor

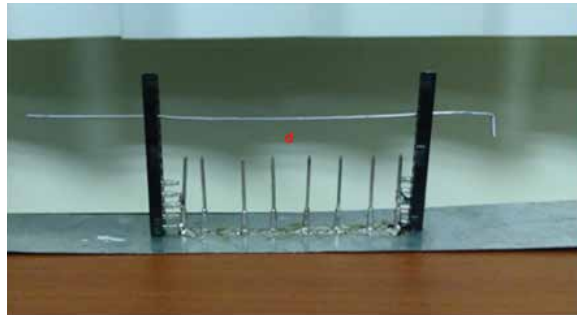
Construimos una maqueta para poder visualizar estos conceptos. Necesitamos una cinta de hojalata de unos 50 cm de longitud. Sobre ella extendida horizontalmente, fijamos dos postes pequeños de 3 cm en posición vertical, separados 6 cm. Entre los postes fijamos 8 postecillos de alambre de la misma longitud (2 cm) para simular árboles. Entre los postes insertamos un alambre horizontal para simular la línea de vista del enlace. Llamemos d a la distancia entre los árboles (postecillos) y la línea de vista del enlace.

Gráfico 188. MAQUETA #6 para simular el factor K



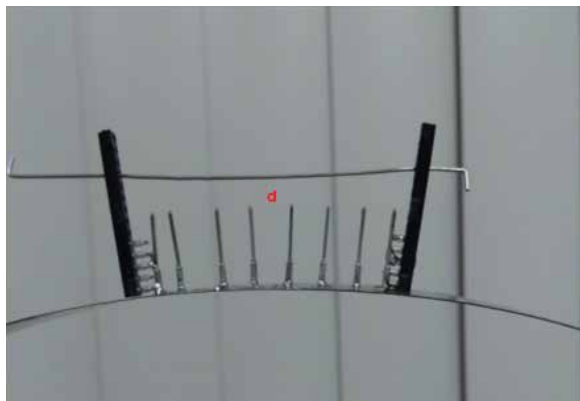
Elaborado por el autor

Gráfico 189. Factor K infinito, radio de la tierra infinito, suelo recto, distancia d máxima



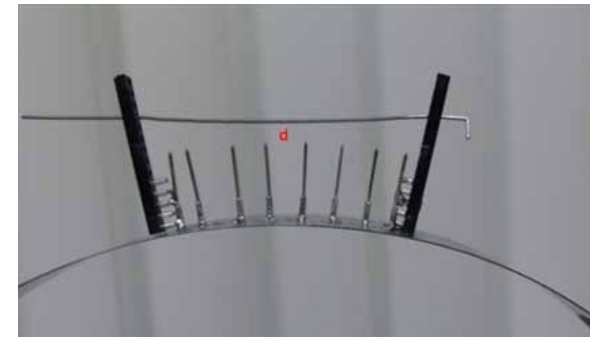
Elaborado por el autor

Gráfico 190. $K=4/3$, $r'=4/3 r$. Obsérvese la distancia d entre los árboles y la línea de vista



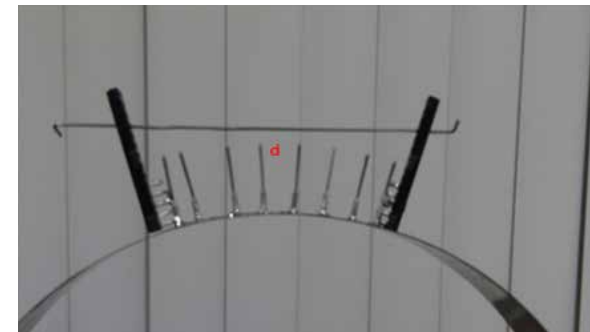
Elaborado por el autor

Gráfico 191. $K=1$. Radio real de la Tierra, $r'=r$



Elaborado por el autor

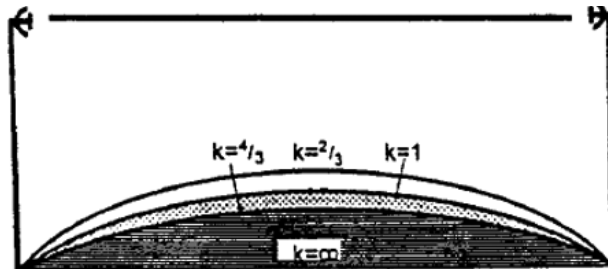
Gráfico 192. $K=2/3$. La distancia d entre los árboles y la línea de vista disminuye notablemente (K adverso)



Elaborado por el autor

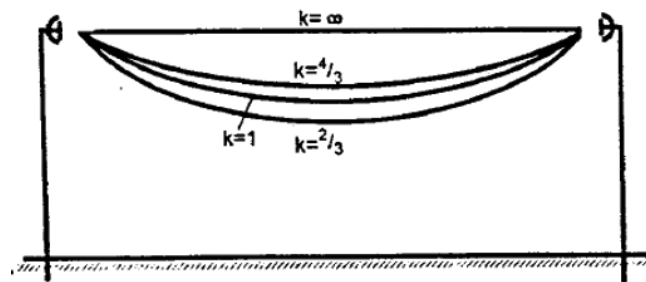
Como podemos comprobar, la distancia entre el suelo y el rayo de microondas, varía de acuerdo con la refracción que sufre el mencionado rayo. Cuando $K=4/3$ dicha distancia aumenta ligeramente respecto al $K=1$ (radio real del planeta). Cuando $K=2/3$ por el contrario dicha distancia disminuye y este comportamiento determina la posibilidad de que la zona de Fresnel se obstruya (clima adverso).

Gráfico 193. Modelo de rayo recto y tierra curvada (fotografías anteriores)



Fuente: K&K engineering, 1995. Elaborado por el autor

Gráfico 194. Modelo de rayo curvo y suelo plano

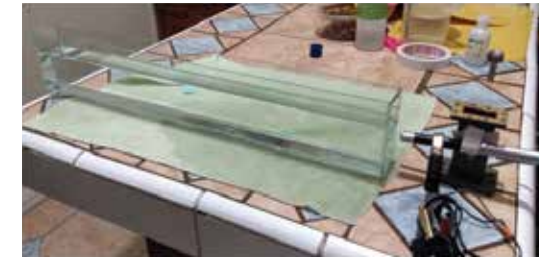


Fuente: K&K engineering, 1995. Elaborado por el autor

Existen programas computacionales que nos permiten graficar la primera zona de Fresnel sobre la línea de vista y simular las condiciones de propagación anotadas para, en función de éstas, determinar la factibilidad del enlace y las alturas de antena adecuadas.

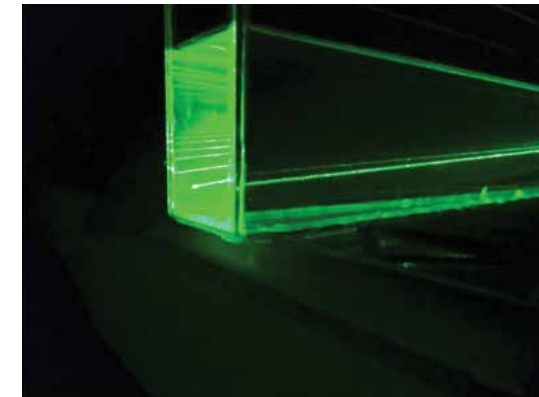
Para visualizar la refracción que sufre el rayo de microondas al cruzar diferentes microclimas, utilizamos una maqueta construida como una pecera de 60 cm de largo por 10 cm de alto y 5 cm de ancho. La idea es hacer cruzar el puntero láser longitudinalmente por la pecera llena de agua. Posteriormente dejar caer en forma uniforme un poco de glicerina la cual es transparente pero tiene una densidad mayor que la del agua por lo tanto cruzará la trayectoria del rayo e irá a depositarse en el fondo. Mientras cae, sin embargo, se habrá creado una zona con alteración del índice de refracción:

Gráfico 195. MAQUETA #7 para simular la refracción del rayo de microondas



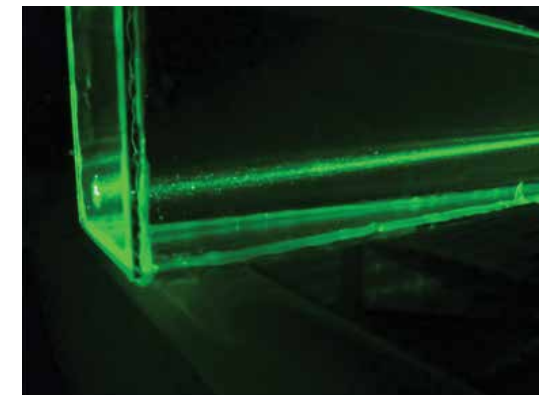
Fuente: el autor

Gráfico 196. La trayectoria del rayo es una línea recta mientras el agua está limpia y en reposo



Fuente: el autor

Gráfico 197. El rayo empieza a sufrir alteraciones mientras la glicerina cae y cambia momentáneamente el índice de refracción



Fuente: el autor

Gráfico 198. Al mezclar y uniformizar la solución formada por la mezcla de agua y glicerina y esperando a que la glicerina vaya hacia el fondo, se nota un fenómeno curioso: el rayo se curva debido al cambio gradual de índice de refracción



Fuente: el autor

Visualización a escala real de la zona de Fresnel

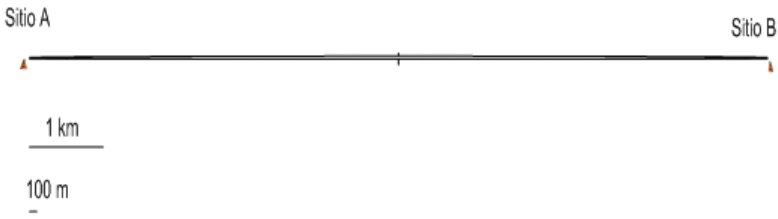
En un ejemplo anterior, calculamos el radio de la primera zona de Fresnel a la mitad de trayecto de 50 km, donde obtuvimos el mayor valor, en este caso 24,5 m. Esto significa que el diámetro en ese punto es de casi 50 m. Cincuenta metros a la frecuencia de 6 GHz, en un enlace de 50 000 m, quiere decir que el elipsoide de Fresnel no es tan parecido a una sandía sino más bien a una pajilla de páramo.

Pongámonos otro ejemplo que nos permita graficar más o menos a escala. Digamos que tenemos un enlace de 10 km, a la frecuencia de 4,2 GHz. El radio de la zona de Fresnel a la mitad del trayecto será:

$RF1 = 13,35 \text{ metros}$

Es decir el diámetro de la elipse será de 26,7 m. Tratemos de graficar con estos datos:

Gráfico 199. Zona de Fresnel graficada a escala, más real, es una elipse, pero ya no parece una sandía. Torres de 100 m de altura en A y B



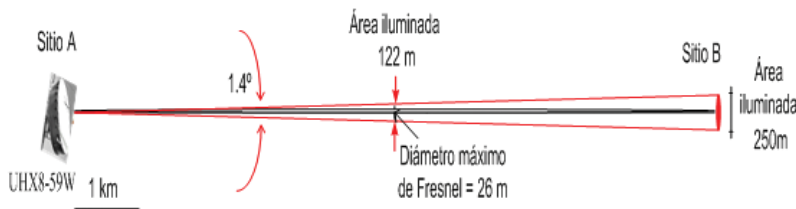
Elaborado por el autor

Cabe destacar que agrandar el tamaño de las antenas no hace lo mismo con la zona de Fresnel como erróneamente podría pensarse; nótese que en la fórmula de cálculo RF1, solo consta la longitud de onda λ que depende de la frecuencia y las distancias.

Relación entre la primera zona de Fresnel y el lóbulo principal de la antena

Tanto el lóbulo principal de la antena, como la primera zona de Fresnel, están orientados según la dirección del radioenlace. Analicemos con un ejemplo cuál es la relación entre los dos conceptos, para ello sobre la base de la figura #199, grafiquemos el lóbulo principal de la antena UHX8-59W, cuyo lóbulo de radiación es de $\pm 0,7^\circ$.

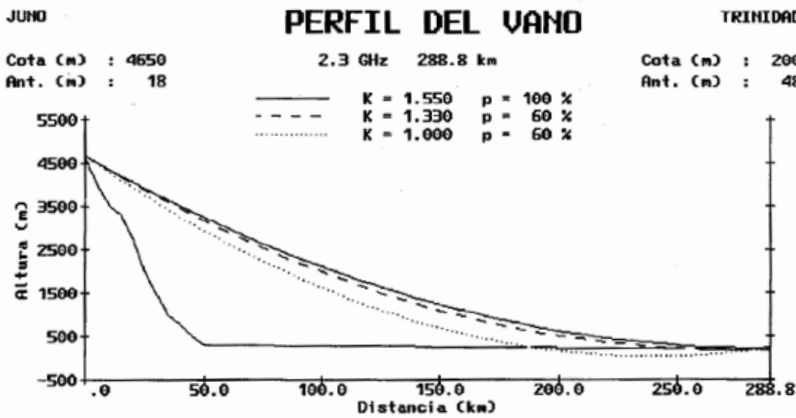
Gráfico 200. Comparación entre la primera zona de Fresnel y el área iluminada por el ancho de lóbulo de la antena UHX8-59W



Elaborado por el autor

Como podemos observar, la primera zona de Fresnel está contenida dentro del área que la antena cubre debido a su ancho de lóbulo. Por lo tanto podemos afirmar que la primera zona de Fresnel, originariamente definida para el radiador isotrópico, se aplica también a las antenas directivas, incluso en el caso extremo de las antenas parabólicas.

Gráfico 201. Ejemplo del modelo de rayo curvado y tierra plana. Este SW grafica solo la parte inferior de la primera zona de Fresnel. Con $K=2/3$ este enlace es imposible



Fuente: Ortiz et al., 2000. Elaborado por el autor

El K de una zona, se lo puede estudiar instalando un enlace de prueba, con un perfil rasan-
te y observando cómo se comporta a lo largo del año.
A continuación, un ejemplo del trabajo que realiza un programa computacional para cálculo
de enlaces, algo antiguo, pero evidencia el uso de los conceptos fundamentales:

Gráfico 202. Ejemplo de SW para cálculo de radioenlaces

XVIII Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica			
SIEMENS TELECOMUNICAZIONI MILANO - ITALIA			
C A L C U L O D E L T R A M O			
Longitud : 288.8 km	Frecuencia: 2.3 GHz	Cod. Equipo:136	
Equipo : CTR 190/2	Mod. : 4 PSK	Capacidad: 34	Mb/s
LOCALIDADES		JUNO	TRINIDAD
Tipo de Antena	:	C-STAR40-019	C-GRID60-019
Ganancia (dB) :		36.2	39.7
Tipo de Feeder	:	HF1 5/8"Cu2Y	HF1 5/8"Cu2Y
Perdida cada 100 m (dB/100m) :		3.4	3.4
Longitud del Feeder (m) :		40.0	60.0
Perdida del Feeder (dB) :		1.4	2.0
Perdida del Branching (dB) :		2.00	2.00
Atenuador en TX (dB) :		.0	.0
Atenuador en RX (dB) :		.0	.0
CALCULO DEL TRAMO		Rx: JUNO	Rx: TRINIDAD
Potencia de Equipo (dBm) :		37.5	
Perdida de Espacio Libre (dB) :		148.9	
Perdidas Adicionales (dB) :		.0	
Perdidas por Obstruccion (dB) :		8.0	
Perdida Neta del Tramo (dB) :		88.4	88.4
Potencia Recibida (dBm) :		-50.9	-50.9
Degr. de Umbral por Interf. (dB) :		.0	.0
Degr. de Umbral por Reflex. (dB) :		.0	.0
PREDICCIÓN DE COMPORTAMIENTO			
BER = 10 ⁻³			
Umbral (dBm) :		-84.0	
Margen de Fading Plano (dB) :		33.1	33.1
Outage (No Protejido) (%) :		1.64E+00	1.64E+00
Outage con Diversidad (%) :		2.09E-01	2.09E-01
BER = 10 ⁻⁶			
Umbral (dBm) :		-80.0	
Margen de Fading Plano (dB) :		29.1	29.1
Outage (No Protejido) (%) :		4.53E+00	4.53E+00
Outage con Diversidad (%) :		1.11E+00	1.11E+00
CONFIGURACION DEL RECEPTOR		PARAMETROS DE PROPAGACION	
Config. de Canales (P+R) 1 + 1		Rugosidad 42 m	
Espac. entre Antenas 20.0 m		Expon. B de Frecuen. 1.00	
Espac. entre Canales 28.00 MHz		Expon. C de Distan. 3.00	
Int.Canál Adyac. no Considerada		Coefficiente Climático 3.10E-05	
		Factor de Ocurrencia 1.33E+01	

TABLA # 1

Fuente: Ortiz et al., 2000. Elaborado por el autor

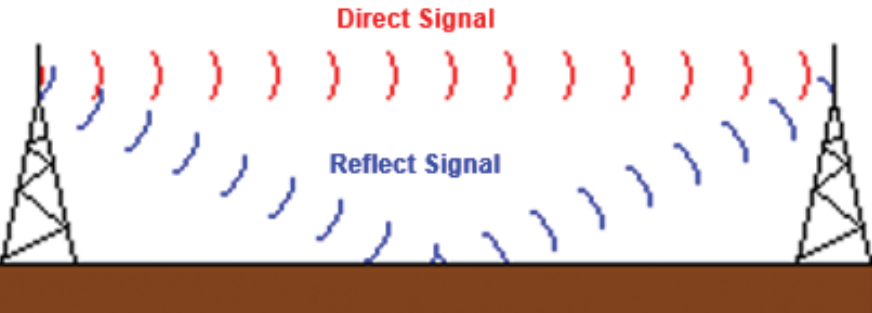
Puede notarse la definición de dos umbrales de recepción, el uno para un BER de 10E-6 y otro, generalmente, 3 dB más abajo, para un BER de 10E-3. El umbral es dato de fábrica, en ausencia de interferencia. En caso de existir interferencia los valores de umbral se degradan -suben, ya que el equipo necesita más potencia para escuchar por encima de la interferente-. También un ROE bajo degrada los umbrales de recepción (por ejemplo 3 dB de degradación con un ROE de 15 dB equivale a un umbral de -77dBm @ BER 10E-6 en el equipo del ejemplo).

Fenómeno de reflexión

Dependiendo de su frecuencia, las señales electromagnéticas se reflejan en superficies metálicas, en paredes de cemento, en la tierra seca, en el agua sobre todo salada, en la vegetación cuando está mojada, etc. En frecuencias de telefonía celular y en general en servicios de radio difusión (broadcast) la señal que llega al usuario puede provenir de múltiples reflexiones y rebotes y el sistema funciona con normalidad. No así en los enlaces punto a punto de microondas donde la señal reflejada (o también llamada de multicamino) provoca efectos indeseables de desvanecimiento de la potencia recibida.

El punto de reflexión P se calcula de una manera puramente geométrica con ayuda del SW adecuado; en realidad, la reflexión se produce en determinadas épocas del año y solo a determinadas horas del día; llegando incluso a anular de manera insistente la potencia recibida y con una rapidez de hasta 100 dB/segundo. Por ello, los servicios de telefonía con esta anomalía pueden ocasionar malestar entre los usuarios. El fenómeno de reflexión es muy común en enlaces largos de más de 20 km o que atraviesen tierras planas o agua salada. Se estima que un 15-20 % de estos enlaces sufren de este fenómeno. Sin embargo hay métodos para contrarrestar este efecto: la diversidad de espacio, de frecuencia, de polarización o las tres sumadas.

Gráfico 203. Fenómeno de reflexión, el rayo reflejado, si llega en contrafase, llega a anular al rayo directo



Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

Se nota que la costa noroccidental de sud américa se halla en una zona de hasta 120 mm / h.

Gráfico 208. Atenuación por lluvia, dependiendo de la frecuencia

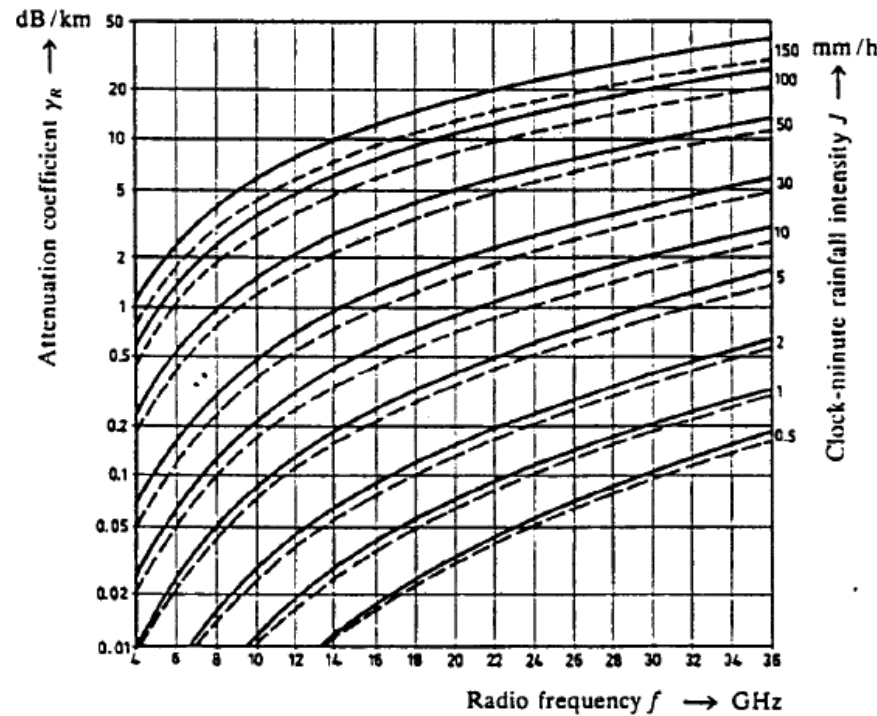


Figure 2-12 Attenuation coefficient, γ_R (dB/km), versus radio frequency f (GHz) for various clock-minute rainfall rates $J_{0.01}$ (mm/h) (CCIR Rep.721)
 — horizontal polarization
 - - - vertical polarization

Fuente: K&K engineering, 1995. Elaborado por el autor

De la gráfica anterior, una lluvia fuerte de 100 mm/h, puede ocasionar una atenuación de 2 dB/km a la frecuencia de 8 GHz. Pero esa misma lluvia provocaría una atenuación de 10 dB/km a 18 GHz. Esta es la razón por la cual las frecuencias más altas (>15 GHz) se usan solo para enlaces urbanos de corta longitud (< 10 km), pero con capacidades grandes (Gb/s). En la práctica, los aguaceros pueden tener grosores de unidades de kilómetros, pero no en todo el trayecto. Por ejemplo, es raro que llueva en toda una ciudad al mismo tiempo y con la misma intensidad. Suele suceder también que hay aguaceros separados, es decir, llueve en el norte, está seco en el centro y llueve fuerte en el sur. También el SW realiza una estimación de indisponibilidad por lluvia.

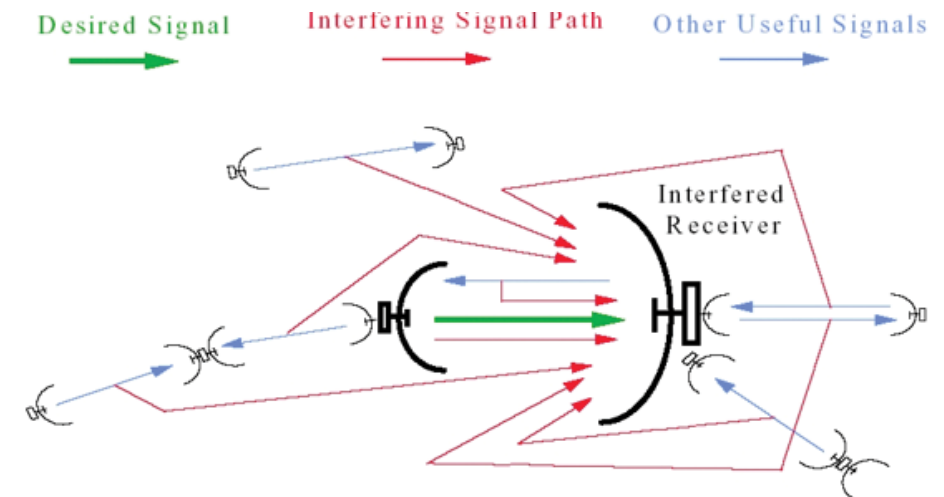
Interferencia de señales radioeléctricas

Básicamente, una señal radioeléctrica está caracterizada por su potencia y por su frecuencia. Debido al principio de superposición de las ondas, dos o más señales pueden coexistir en un mismo medio; por lo tanto podrán ser identificadas, siempre y cuando sean de frecuencias distintas.

Pongamos un ejemplo muy sencillo de reproducir en un aula de clase. Proponemos a un estudiante que diga su nombre completo en forma repetida. El profesor le escucha y le entiende sin problema. Luego, le pedimos a otro estudiante que haga lo mismo y al mismo tiempo que el primero. El profesor ya casi no entiende a ninguno de los dos. Peor aún si empieza un tercer estudiante. En ese caso, el profesor ya no entiende a ninguno de los tres. Y no es que haya quedado sordo, simplemente que en su oído (el receptor) las ondas acústicas se superponen en una misma frecuencia (de audio); por lo tanto resulta humanamente imposible entender el significado de ese ruido. Queda la posibilidad de pedirle al primer estudiante que alce la voz, de tal manera que se le pueda entender por encima de los demás -incremento de la relación señal a ruido-.

Por lo tanto la interferencia es cuando dos o más señales arriban a un mismo receptor en frecuencias iguales o similares.

Gráfico 209. Escenario de interferencia



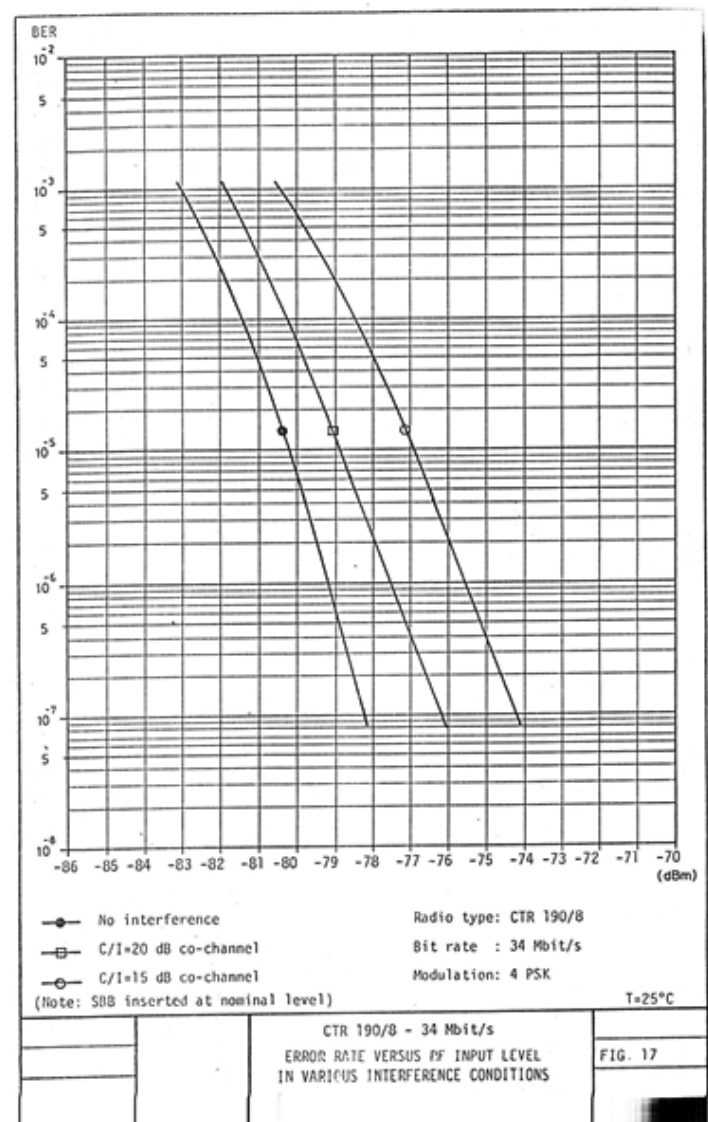
Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

En radiocomunicaciones el resultado es degradar el umbral del receptor. Si el equipo de microondas se cortaba en un umbral 10E-6 de -80 dBm, cuando existe interferencia lo hará en -77

(3 dB de degradación) o en -70 dBm (10 dB de degradación), etcétera; esto dependiendo de qué tan fuerte es la interferente (I) con respecto a la señal deseada (Carrier C). Por ello, el fabricante del equipo de microonda provee una curva de la degradación del umbral versus la señal C/I.

$$\frac{\text{portadora}}{\text{interferente}} = \frac{\text{carrier}}{\text{interference}} = \frac{C}{I} \text{ (dB)}$$

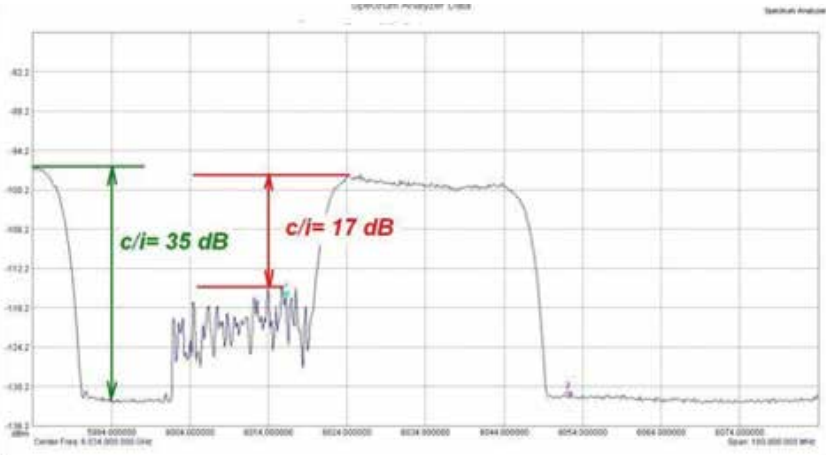
Gráfico 210. Degradación de umbral por interferencia



Fuente: Siemens Telecomunicazioni, 2001. Elaborado por el autor

Lo deseable es que los enlaces de radio funcionen libres de interferencia, pero esto a veces no es así. En ciertos casos la relación C/I es tal, que el equipo receptor entra en zona de HBER, tasa de errores 10E-3; por lo tanto suministra AIS (Alarm lindication Signal, todo 1s, es decir señal de banda base sin información, solo relleno) con lo cual la caída del canal queda declarada.

Gráfico 211. Canal izquierdo OK, canal derecho K.O por efecto de la interferencia



Elaborado por el autor

Planificación de frecuencias

El espectro radioeléctrico es considerado como un recurso natural de un país. Pero es un recurso geográficamente limitado. Es decir que, una vez que se está usando una porción de espectro (centrado a una cierta frecuencia) en una cierta ubicación, no puede ser asignada esa misma porción de espectro a otro servicio en esa misma zona geográfica porque se causarían interferencia mutua y ninguno de los dos servicios trabajaría adecuadamente.

Para evitar problemas de interferencia, en microondas se realiza el llamado “plan de frecuencias”, que consiste en asignar tanto canal de frecuencia como polarización a cada uno de los enlaces requeridos. Las frecuencias que se asignan se extraen directamente de la canalización aprobada por el ente regulador de las telecomunicaciones de un país el cual está basado en las normas de la UIT.

Ilustremos con un ejemplo. Un operador celular (nuestro cliente), desea cubrir con su servicio el pueblo X. Para llegar a esta población, es necesario instalar tres enlaces de microondas. El ente regulador ha asignado la banda de 8 GHz para efectuar esta interconexión. El cliente desea varias opciones para llegar con 800 Mb /s hasta esta población.

Tabla 46. Canalización de frecuencias en 8 GHz

RANGO [7900 - 8400] MHz		
AB [MHz]: 28		SHIFTER [MHz]: 266.00
No. Canal	Frecuencias Tx (MHz)	Frecuencias Rx (MHz)
1	7926	8192
2	7954	8220
3	7982	8248
4	8010	8276
5	8038	8304
6	8066	8332
7	8094	8360
8	8122	8388

Fuente: Arcotel, 2017. Elaborado por el autor

El equipo ofertado al cliente es capaz de entregar una velocidad neta (conocido como *throughput*) de 200 Mb/s por cada canal de RF, con una modulación de 512 QAM. Por lo tanto requerimos el equivalente a 4 portadoras para cumplir el ancho de banda digital solicitado.

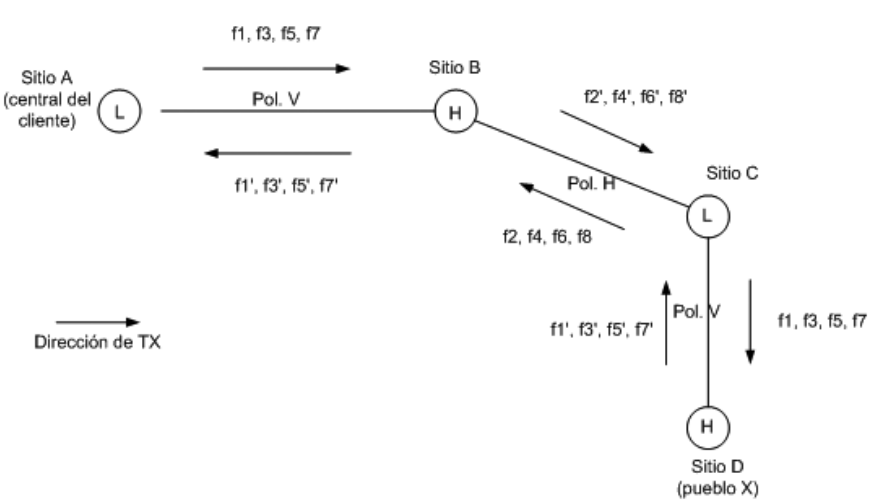
Tabla 47. Análisis de la banda de 8 GHz

semigama baja (L)		semigama alta (H)	
f1	7926	f1'	8192
f2	7954	f2'	8220
f3	7982	f3'	8248
f4	8010	f4'	8276
f5	8038	f5'	8304
f6	8066	f6'	8332
f7	8094	f7'	8360
f8	8122	f8	8388

Elaborado por el autor

Analizando la banda disponible de 8 GHz, observamos que tiene un *shifter* de 266 MHz. Así, las frecuencias están dadas en parejas (posibilita la comunicación bidireccional), las cuales forman parte de dos semigamas, semigama alta (H) y semigama baja (L). Las frecuencias f enteras asignamos a la semigama baja y las frecuencia f primas, asignamos a la semigama alta. Existe un total de 8 radiocanales disponibles.

Gráfico 212. Solución #1. Polarización alternada

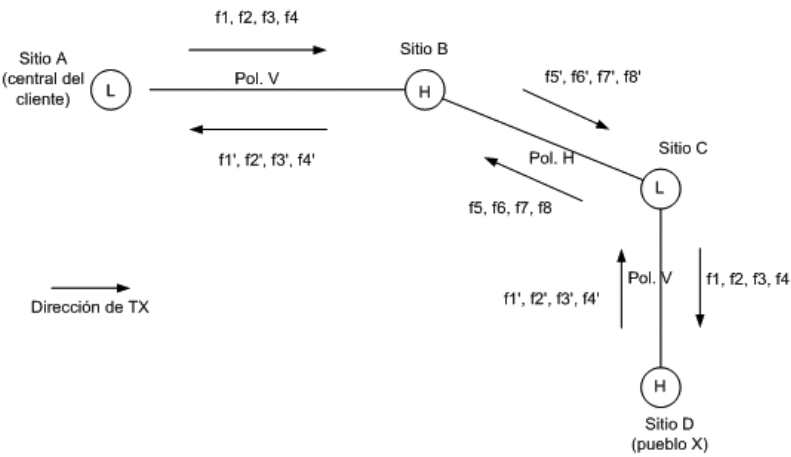


Elaborado por el autor

Esta solución #1, se conoce como plan de frecuencias en polarización alternada. Nótese que los enlaces contiguos tienen la polarización opuesta (cruzada). El enlace AB está en polarización Vertical, el enlace BC está en Horizontal y el enlace CD está en Vertical. Esto se hace para minimizar interferencia entre enlaces adyacentes. Note también que en el enlace AB se han definido las frecuencias impares, en el enlace BC las pares y en CD las impares nuevamente, también con objeto de minimizar interferencia.

Otro detalle muy importante es que los nodos A y C son nodos que transmiten la semigama baja, o simplemente las “bajas” (notación L). Mientras que los nodos B y D transmiten las “altas” (notación H). Este detalle es muy importante puesto que en un plan de frecuencias, un nodo debe transmitir ya sea altas o bajas, en todas las direcciones. Si un nodo transmite altas en una dirección y en otra transmite bajas, se llama violación altas-bajas; lo cual acarrea autointerferencia, o también llamada interferencia intrasistema. El piso de ruido de un receptor puede resultar innecesariamente elevado debido a la cercanía (física y en frecuencia) de un transmisor (potencia alta) que esté en su misma semigama.

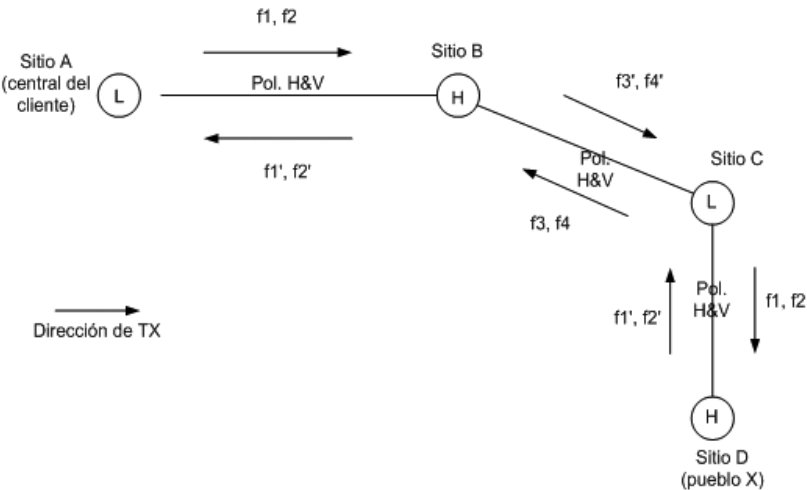
Gráfico 213. Solución #2. Canal adyacente



Elaborado por el autor

La solución #2 es similar a la solución #1, la diferencia es que ya no es necesario saltarse una portadora en el mismo enlace, hemos podido poner juntas f1, f2, f3, f4 gracias a que en la actualidad los filtros de RF permiten la configuración de canal adyacente, lo cual hace veinte años era imposible. Debido a la separación de frecuencias, bien pudimos haber puesto el enlace BC también en polarización Vertical.

Gráfico 214. Solución #3. Uso de tecnología co-canal.

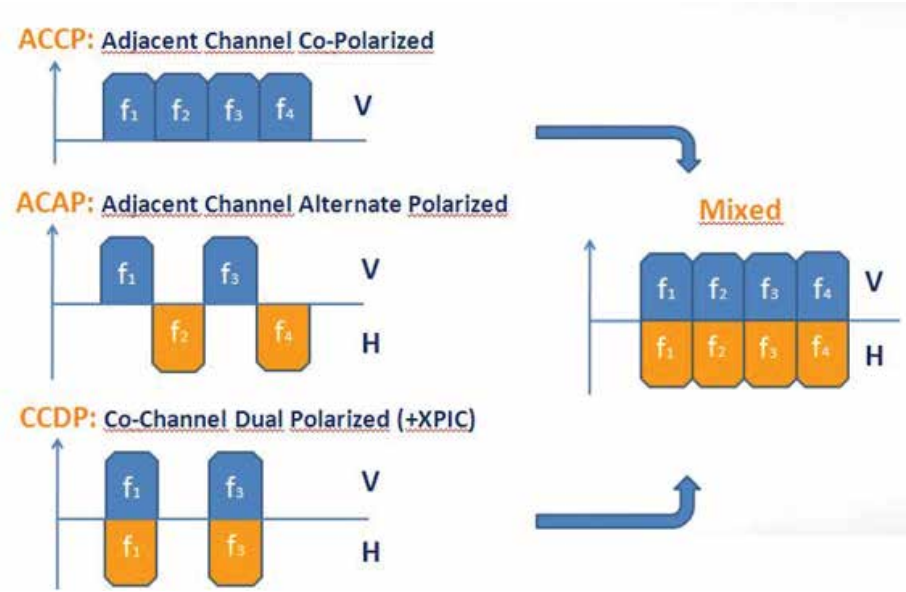


Elaborado por el autor

La solución #3 involucra dos adelantos sustanciales en la tecnología de radio de microonda. La primera, al igual que la solución #2, el uso de canal adyacente en la misma polarización (copolarizado) y la segunda, el hecho de que se pueda transmitir dos canales de banda base en la misma portadora de radiofrecuencia, por medio del uso de sus dos polaridades H y V (tecnología co-canal).

La siguiente figura resume las alternativas utilizadas en las soluciones planteadas.

Gráfico 215. Uso eficiente del espectro



Fuente: SIAE Microelectronica S.p.A, 2015. Adaptado por el autor

La tecnología co-canal es posible gracias al desarrollo del circuito denominado "XPIC" (cancelador de interferencia de polarización cruzada, *cross polar interference canceller*); funciona en conjunto con antenas de doble polarización y alto factor XPD (40 dB). La señal en polarización V, que llega al receptor de polarización H, será atenuada por el XPIC alrededor de 18 dB. Esto, junto con el XPD de la antena, proporciona una relación C/I de 58 dB, con lo cual el funcionamiento y la duplicación de capacidad están garantizadas.

Gracias a la intervención de tres adelantos tecnológicos -la modulación 512QAM o superior, los filtros de RF que admiten canal adyacente y el sistema co-canal-, se ha logrado un uso realmente eficiente del espectro radioeléctrico. En nuestro ejemplo, la solución #3 proporciona 800 Mb/s en solo dos portadoras de RF.

De esta manera, para mejor aprovechamiento de este recurso natural limitado, se desaconseja el uso de antenas parabólicas estándar (solo plato) y se recomienda el uso de la tecnología XPIC siempre que sea posible.

Estudio de caso, enlace Tarapoa-Shushufindi

En el año 2005, se realizó una visita técnica al enlace existente entre las localidades de Shushufindi y Tarapoa, cercanas a la ciudad de Nueva Loja. Aparentemente, la torre de Shushufindi se movía con el viento y provocaba que el enlace de microondas -en 7 GHz, Split, con capacidad PDH 16 E1, es decir 34 Mb /s- quedase fuera de servicio. Con ayuda de un registrador de campo -similar a un voltímetro, pero que deja una línea impresa sobre el papel-, se verificó que, efectivamente, la Prx en Shushufindi se atenuaba más de 40 dB; sobre todo en horas de la noche. Pero, esta atenuación no se debía al movimiento de la torre, sino a problemas de reflexión en el enlace. Se recomendó equiparlo con diversidad de espacio para contrarrestar las reflexiones. Así se lo realizó y, aparentemente, los problemas se resolvieron.

En el año 2016, nuevamente se tuvo noticias de este enlace. Resulta que en este año fue cambiado el equipo por una marca distinta a la inicial de 2005. La tecnología había evolucionado y el nuevo equipo debía suministrar ya no 34 Mb /s PDH, sino 100 Mb/s Ethernet /IP en el mismo ancho de banda espectral. A mayor cantidad de información, menor Umbral, por lo tanto, menor margen de desvanecimiento. Entonces, los problemas se volvieron a presentar. Todos estos años siempre hubo reflexión, pero a 34 Mb /s, el umbral era de -84 dBm; a 100 Mb /s el umbral era de -74 dBm. Esos 10 dB ahora hacían falta. En vista de ello, la dirección técnica decidió colocar una tercera marca de equipo de microonda en ese enlace, con la esperanza de que tuviera un comportamiento más robusto. Pero no fue así; aun con la nueva marca el enlace seguía dando problemas.

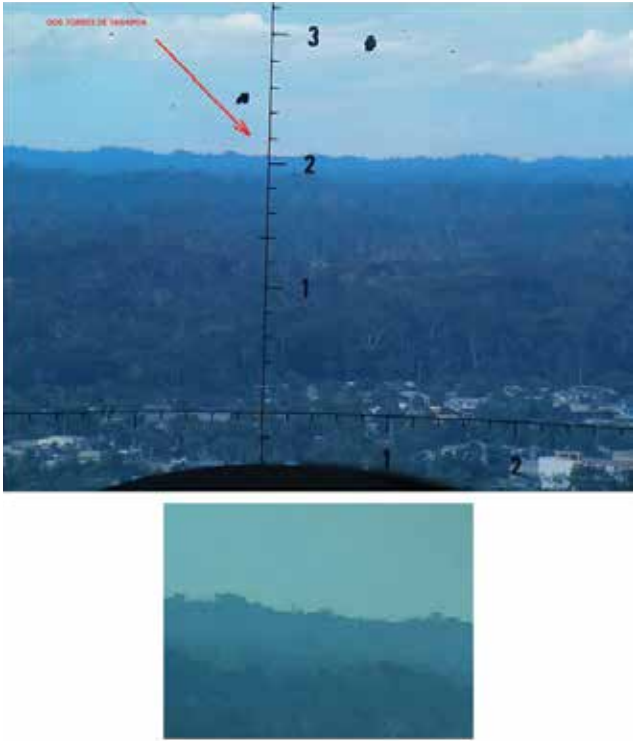
Porque, el problema no era la robustez del equipo; el problema era un fenómeno natural de reflexión de las ondas radioeléctricas en una zona de clima selvático, muy variable, que depende de la época del año. Brumoso, húmedo, cálido en las mañanas, soleado y despejado en las tardes. En las noches, a veces con cielo despejado, se pueden ver claramente las estrellas; pero de pronto, se nubla y empieza un terrible aguacero, con vientos huracanados, que en menos de una hora anega los campos vecinos. Por las noches, cuando está despejado se ven muchos “mecheros” como se les conoce en la industria petrolera a las llamas que queman el gas butano residual de los pozos. Cuando cae la neblina, esos mecheros, a 500 m de distancia, que iluminaban el bosque, ya no se ven tampoco. Así es el clima en esta zona selvática, donde debe funcionar nuestro enlace de microondas.

Gráfico 216. Tarapoa vista desde Shushufindi, a 37 km de distancia. Obsérvese el terreno ondulado y la vegetación selvática



Elaborado por el autor

Gráfico 217. Con ayuda de binoculares se logran ver las dos torres existentes en Tarapoa



Elaborado por el autor

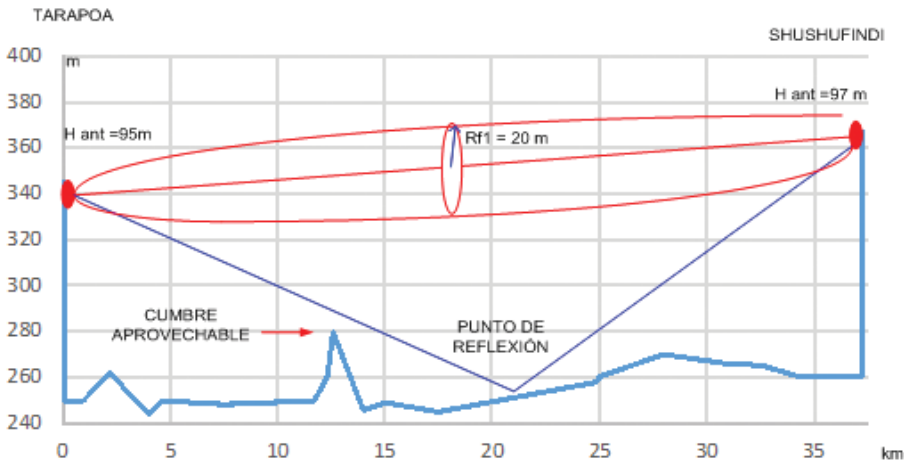
Aprovechando una situación excepcional de buen clima, se logran divisar las torres de Tarapoa, desde los cien metros de altura de la torre de Shushufindi. Con ayuda de cartas topográficas de escala 1:50000, se realiza el levantamiento del perfil de este radioenlace.

Tabla 48. Perfil del enlace, distancia (km) versus altura del terreno (m)

d (km)	altura (msnm)	d (km)	altura (msnm)
0,00	250	17,5	245
0,11	250	24,8	258
1	250	25	260
2,2	262	28	270
4	244	30,9	266
4,6	250	32,5	265
7,5	248	34,3	260
11,7	250	35	260
12,35	260	36	260
12,6	280	37,29	260
14	246	37,3	270
15	249		

Elaborado por el autor

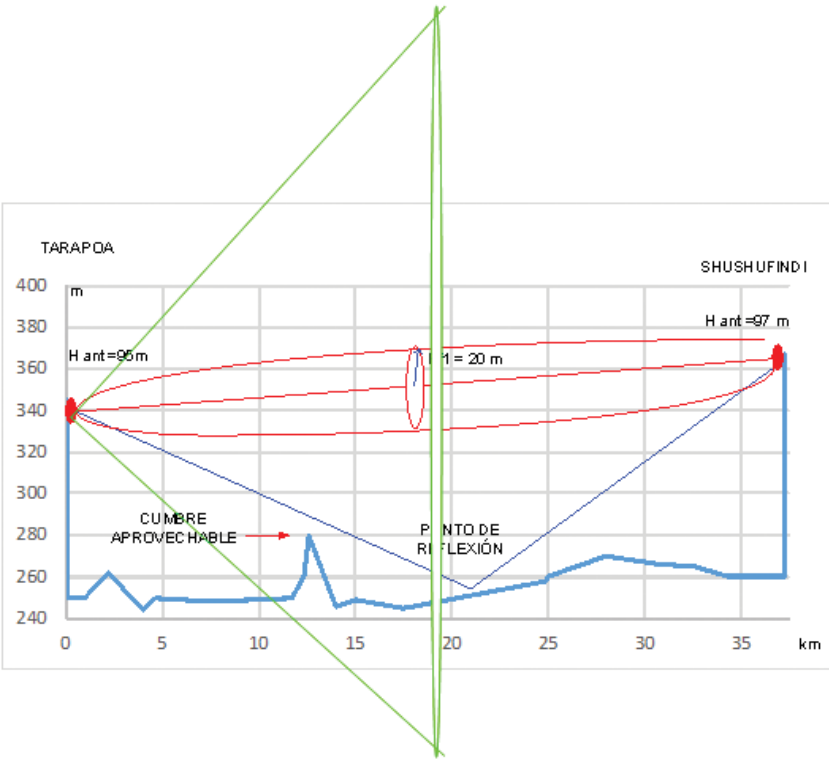
Gráfico 218. Perfil realizado en Excel



Elaborado por el autor

El gráfico anterior es solamente una aproximación con fines didácticos, en la práctica existe software especializado que realiza esta función. Se ha dibujado manualmente la primera zona de Fresnel, cuyo radio a la mitad del trayecto es de veinte metros. Se ha graficado también el hipotético punto de reflexión que afecta al enlace llegando a anular la señal de potencia recibida -la ubicación del punto es hipotética, no así su existencia que es muy real-. Se observa la existencia de una cumbre a 12 km de Tarapoa, que puede ser aprovechada para cubrirse del rayo reflejado, solo hay que bajar la altura de antena de Tarapoa. Hay que considerar que la carta topográfica tiene una tolerancia de veinte metros en la lectura de las alturas del terreno; esto confiere una fuerte incertidumbre. También es necesario conocer que dichas cotas ya son sobre la copa de los árboles, como estaban cuando fue tomada la fotografía aérea en 1990.

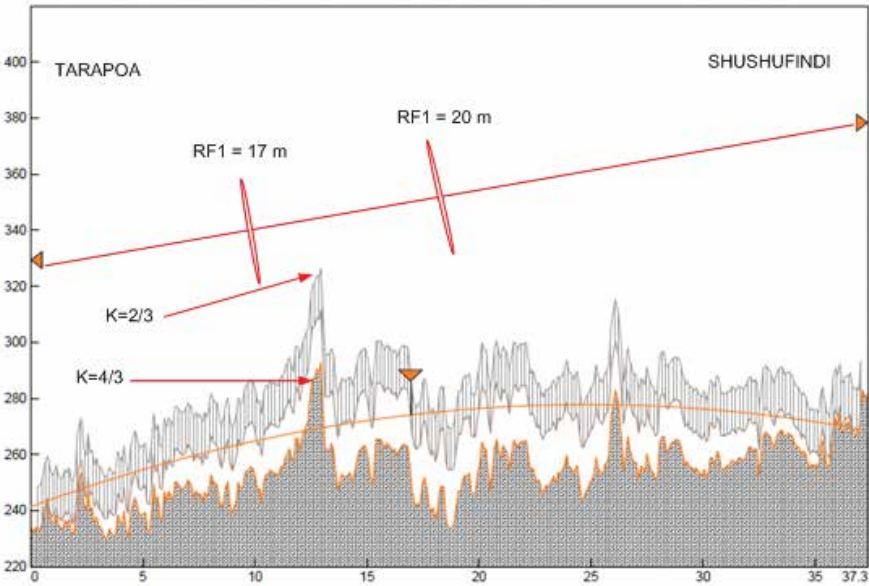
Gráfico 219. Área de iluminación debida al ancho del lóbulo, misma escala vertical



Elaborado por el autor

En verde se ha adicionado lo que sería la zona de iluminación provocada por el ancho de lóbulo, asumiendo que es de $\pm 0,7^\circ$; lo cual a la mitad del enlace da una abertura del haz de 227 m de radio. Esto significa que el rayo reflejado está dentro del conjunto de los rayos que salen por efecto del ancho lobular.

Gráfico 220. Perfil realizado por un SW especializado, con ayuda de cartografía digital

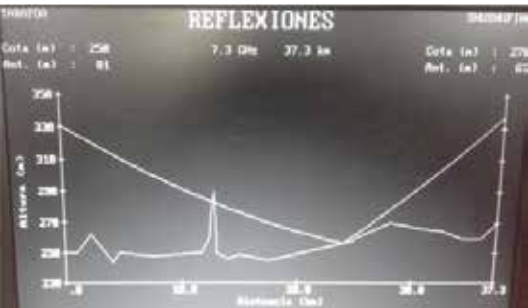


Elaborado por el autor

Este modelo se conoce como rayo recto y tierra curvada, aunque obviamente en la realidad las montañas no crecen, es una buena forma de observar el fenómeno de refracción de los rayos de microonda hacia la tierra. Se observa que para un $K=2/3$ (muy malo) la cumbre existente a 12,5 km de Tarapoa, podría obstruir la señal.

Por lo tanto se requiere bajar las antenas lo suficiente como para taparse del rayo reflejado, pero no tanto como para entrar en problemas de obstrucción.

Gráfico 221. Simulación de reflexión en el SW llamado DMLE

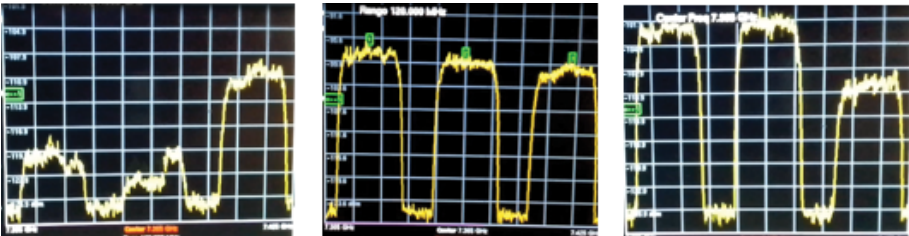


Elaborado por el autor

Aunque el DMLE (*Digital Microwave Link Engineering*) es un software antiguo (1995) que funciona bajo DOS, es muy exacto en sus predicciones. Con esta estimación se bajan las antenas de diversidad y quedan a 67 m en Shushufindi y a 81 m en Tarapoa, con el fin de obstruir el rayo reflejado.

Pero no es suficiente taparse del punto de reflexión. Mediciones hechas a inicios del 2016 revelaron que las reflexiones afectan según la frecuencia, (espectros con 48 MHz de separación entre frecuencias centrales)

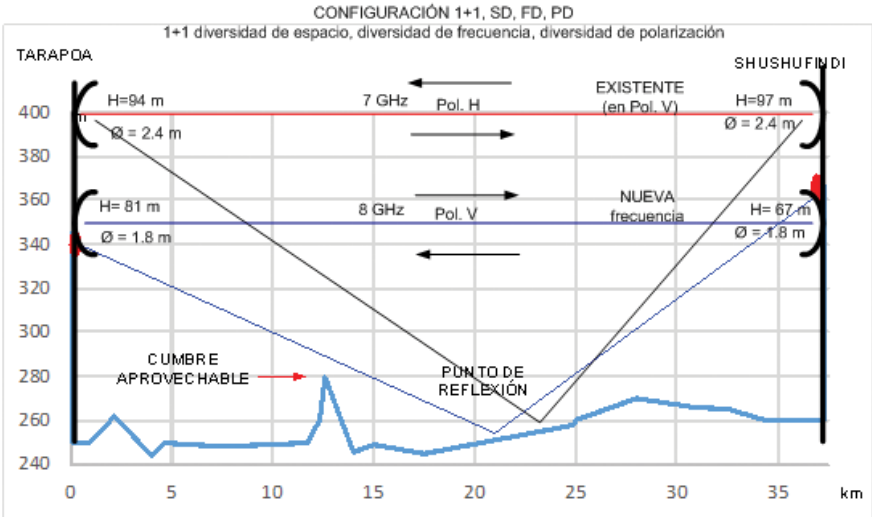
Gráfico 222. La reflexión no afecta por igual a los tres espectros



Elaborado por el autor

Esto indicaba la posibilidad de instalar una frecuencia distinta entre las antenas de diversidad, de modo que funcionara como un enlace 1+1 FD y, a la vez, con diversidad de espacio SD. La configuración final además incluyó colocar en polarización cruzada los enlaces paralelos.

Gráfico 223. Configuración final del enlace



Elaborado por el autor

Una pregunta realizada por uno de los técnicos que participó en esta serie de mejoras fue ¿con esta configuración, ya no hay desvanecimiento por reflexión? La respuesta fue: “Sí hay todavía; pero no afectará simultáneamente a las dos frecuencias involucradas, por lo cual, el conmutador de RX, que es del tipo *hitless*, tiene tiempo de cambiarse a la señal que esté libre de alarmas de BER”. Con lo cual los servicios (GSM, 3G, LTE) ya no se afectan y el cliente, a casi un año de los cambios, no ha vuelto a quejarse.

Pruebas de laboratorio, efectuadas sobre el equipo Split instalado en el enlace anterior, arrojan la siguiente tabla:

Tabla 49. Ancho de banda neto (digital) versus modulación

Modulación QAM	Umbral para 10E-6 (dBm), según el manual	Throughput medido, trama de 1 500 bytes (Mbps)	Confiabilidad (%)
2048	-61,5	233	
1024	-63,5	223	
512	-64	199	
256	-67	179	
128	-70	155	
64	-73	131	
32	-76	104	
16	-77	83	
4	-89	41	

Fuente: el autor

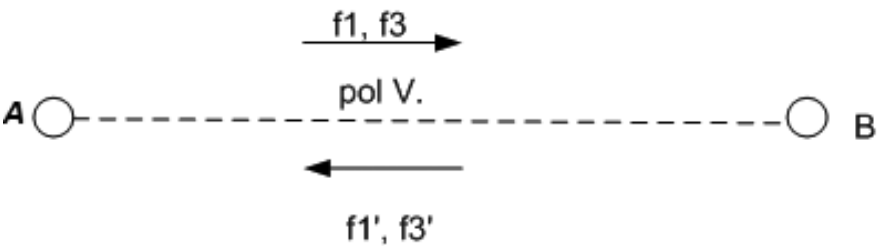
Se deja planteada la siguiente pregunta, una vez que se ha conjurado el problema de la reflexión: ¿qué confiabilidad tenemos para cada modulación?, es decir ¿qué margen de desvanecimiento? Esta es una respuesta de capital importancia que en la práctica significa qué porcentaje del tiempo el enlace opera a máxima velocidad y, cuando el factor K lo determine, cuál será la mínima velocidad aceptable (mínima modulación también). Para ello el moderno equipo cuenta con modulación adaptativa ACM.

Repetidores pasivos

Se usan cuando no hay línea de vista entre las estaciones a enlazar. Generalmente, están conformados por dos antenas parabólicas interconectadas por medio de una guía de onda elíptica (semirrígida). Cada antena apunta en dirección a uno de los nodos a enlazar. A diferencia de los repetidores activos, los repetidores pasivos no necesitan energía eléctrica para funcionar.

Por ejemplo, supongamos que se desea enlazar mediante microonda los nodos A y B. Para ello, se asignan las portadoras f_1 y f_3 en polarización vertical.

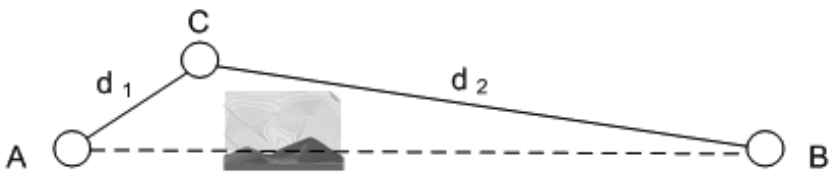
Gráfico 224. Frecuencias para un enlace entre A y B



Elaborado por el autor

Pero, la topografía del terreno determina que no hay línea de vista despejada entre los puntos A y B. Entonces se hace necesario encontrar un punto C, donde se pueda instalar un repetidor pasivo de modo que la línea de vista A-C y la línea de vista C-B estén despejadas.

Gráfico 225. Enlace físicamente obstruido entre A y B. Necesidad de un repetidor pasivo C



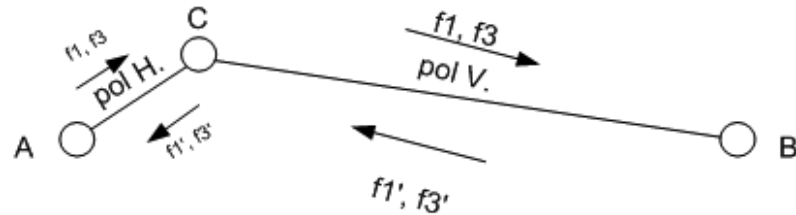
Elaborado por el autor

Los cálculos se realizan como si se tratara de dos enlaces diferentes A-C y C-B, teniendo en cuenta que en el punto repetidor C, la potencia recibida de un lado se convierte en la potencia transmitida hacia el otro. Adicionalmente hay que buscar el punto C de modo que una de las distancias (d_1 en nuestro gráfico) sea mucho menor que la otra distancia (d_2); lo ideal es diez veces menor. No cumplir esta condición puede resultar en potencias de recepción extremadamente bajas.

$d_1 \ll d_2$

Otra característica muy importante de los repetidores de este tipo, es la factibilidad de dar lugar a una autointerferencia indeseable o *feedback* entre las antenas del repetidor pasivo que perjudica el normal desempeño del radioenlace. Para contrarrestar esto, se coloca un “brazo” en polarización cruzada con el otro; queda de la siguiente manera:

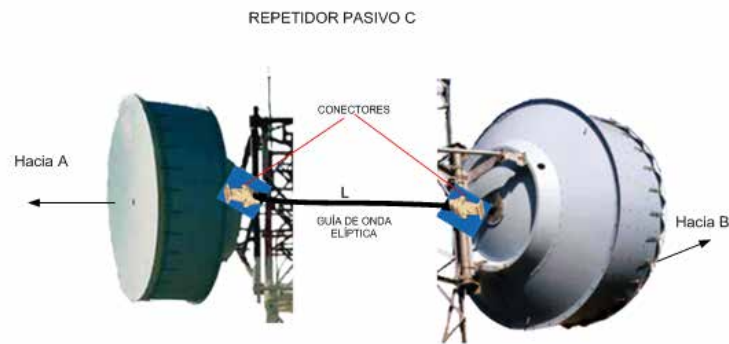
Gráfico 226. Alternancia de polarización entre las ramas de un enlace con repetidor pasivo



Elaborado por el autor

Los cálculos determinarán el tamaño de las antenas requeridas, pero generalmente se tratará de antenas grandes de mucha ganancia en el puesto del pasivo. Por este motivo la estructura o torre deberá ser lo bastante fuerte y grande como para instalar en ella este tipo de antenas. Esto provoca a su vez que la guía de onda con la cual se interconecta las antenas en cuestión sea también de una longitud L apreciable, que puede llegar a ser en el orden de varios metros (tres a seis metros). La longitud L de la guía de interconexión y el tipo de conectores (*flange*) debe ser determinado en el *survey*, así como la cantidad y tipo de *clamps* o apoyos (abrazaderas) para evitar que la guía sea batida por el viento.

Gráfico 227. Ilustración de antenas y su conexión con guía de onda en un repetidor pasivo



Elaborado por el autor

Si bien en un repetidor pasivo no se instala presurizador (ya que se supone que no hay energía eléctrica), la guía de onda debe ser correctamente emparejada con los conectores de la antena. Por ejemplo, si la hoja de datos de la antena señala que ésta trae conector PDR70 (P presurizable, D rectangular, R70 para 7 GHz), los conectores de la guía de onda elíptica deberán tener *flange* UDR70 (U *unpresurizable*, D rectangular, R70 para 7 GHz). Lo aconsejable sería colocar en su lugar los empaques correspondientes a fin de que no entre agua a la guía con los años.

Preferiblemente, se debe llevar hecha la guía de onda de interconexión, ya que en el sitio del repetidor pasivo suelen faltar las condiciones, las herramientas y la energía eléctrica para realizar este trabajo. Los conectores deben ser realizados de acuerdo con las especificaciones del fabricante a fin de no provocar reflexiones indeseables de potencia al interior de la guía de onda (ROE relación de onda estacionaria). Es muy importante que la guía de onda no sufra ningún golpe, ya que, al perder su forma elíptica, deteriora el ROE.

Ha sucedido que se fabrican los conectores PDR -rectangular- en la guía de onda, y se encuentra que la antena tiene puertos con conector UBR -cuadrados-.

Finalmente se recomienda realizar la orientación de las antenas en el pasivo, con la ayuda de un analizador de espectros (dotado de una buena batería y adaptadores guía a cable).

Planificar bien este trabajo ahorrará muchas molestias, ya que, el pasivo suele estar en lugar de difícil acceso.

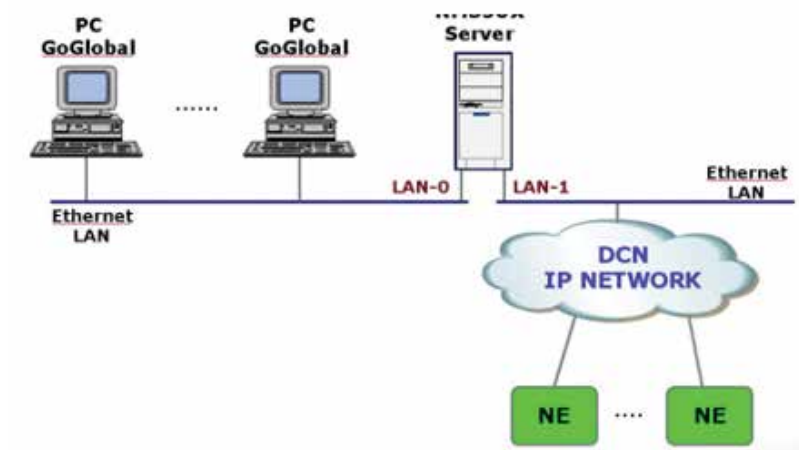
En caso de haber interferencias, el pasivo repetirá también las interferentes, ya que no distingue las señales.

Sistema de gestión

Una red de telecomunicaciones generalmente está formada por muchos enlaces de microondas (centenas, quizás miles), a los cuales es necesario supervisar y administrar. Se denomina sistema de gestión al conjunto de computadores y red de comunicaciones particular que permite el acceso y control de todos los enlaces. Cada enlace está formado por dos extremos que los hemos venido llamando lado A y lado B. A estos extremos de un mismo enlace se los conoce como "elementos de red" o en inglés *network elements*, que se abrevia NE.

Los canales de comunicación entre los NE y el servidor forman la denominada DCN (*Data Communications Network*).

Gráfico 228. Arquitectura cliente-servidor para un sistema de gestión de microondas



Fuente: SIAE Microelettronica S.p.A, 2015

En el sistema de gestión, podemos obtener en tiempo real una vista de la situación de alarmas y fallos en que se encuentra el sistema. Podemos obtener reportes de desempeño de cada enlace y de cada NE, incluyendo la grabación de la potencia recibida y cumplimiento de objetivos de calidad G.821. Asimismo, también administramos el ancho de banda y otras configuraciones de servicio.

Normas de seguridad

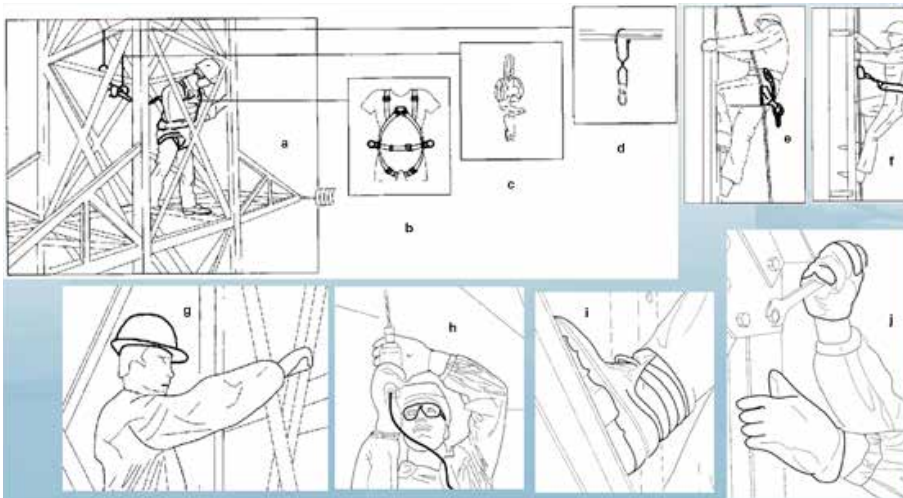
Existen algunos riesgos asociados al trabajo en telecomunicaciones, en general, y en microondas, en particular, entre ellos:

Peligros de trabajo en altura

Las antenas generalmente se instalan en torres a alturas que van desde los seis metros hasta los cien metros. Los pesos de las antenas pueden ir desde unas decenas de kilogramos hasta varias centenas; por ello, para instalarlas en la torre se hace uso de herramientas de acero. Por consiguiente, mientras se instalan las antenas y sus componentes, es estrictamente prohibido permanecer debajo.

Existen riesgos de caídas que pueden causar severos daños a la salud de los trabajadores, por ello es necesario que el personal que realice labores en las torres, tome anticipadamente un curso de "trabajo en alturas". En dicho curso, de unas dieciséis horas, le extenderán el certificado correspondiente y le enseñarán el uso adecuado de los implementos de protección personal.

Gráfico 229. Implementos de seguridad para trabajo en torre



Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

- a. Posicionarse adecuadamente para realizar la actividad y contar con todos los implementos.
- b. Arnés de seguridad, ceñido al cuerpo. Recuerde que tiene fecha de caducidad.
- c. Línea de vida, es un elemento con el cual el trabajador se engancha a la torre, en previsión de una caída, es de tipo elástico para amortiguar el golpe. Generalmente tiene dos puntos de enganche, para permitir transitar en la torre con al menos un apoyo seguro.
- d. Línea de fijación, es un elemento no elástico que sirve para asegurar la posición de trabajo.
- e. Mosquetón, sirve para realizar maniobras de aseguramiento por ejemplo unir la línea de vida vertical con el troll.
- f. Troll sirve para ascender a una torre cuando existe línea de vida vertical. Este dispositivo corre libremente hacia arriba, pero no desliza hacia abajo.
- g. Casco, protege la cabeza contra caídas de objetos como pernos, herramientas. Protege contra golpes en los propios hierros de la torre, al subir o al trabajar.
- h. Gafas, protección de los ojos cuando se realizan labores de taladro.
- i. Botas antideslizantes, previenen resbaladuras. Pueden ser con puntas de acero. El grosor de la suela debe ser suficiente como para suavizar el estar de pie sobre herrajes filosos.
- j. Guantes, protegen las manos al trabajar con herramientas fuertes y en el ajuste de grandes tuercas.

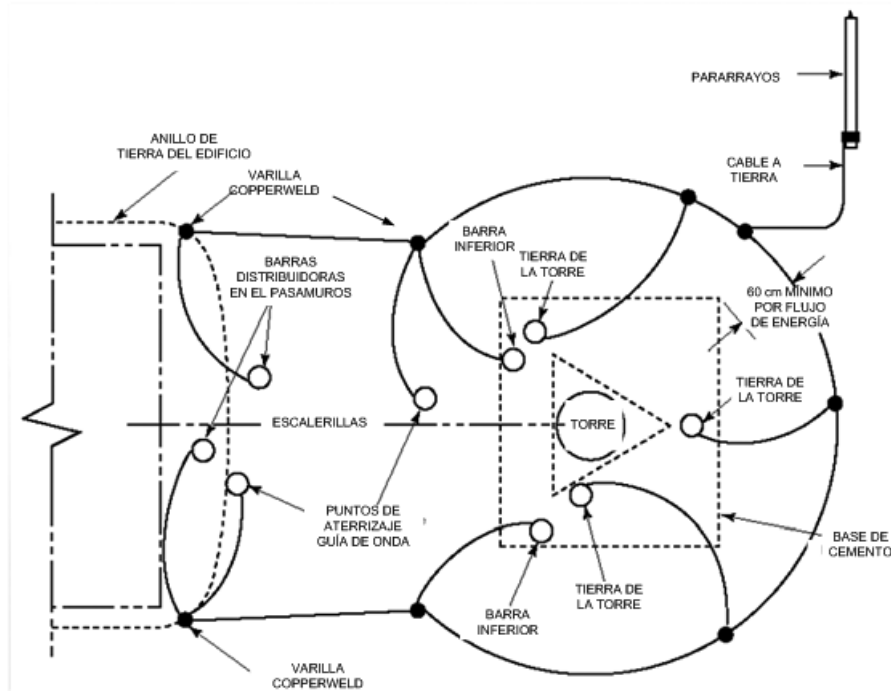
Ninguna precaución es poca, si se trata de preservar la salud y la vida. Por ello se desaconseja trabajar en la torre cuando las condiciones climáticas dificultan la tarea.

Peligros eléctricos

En el cuarto de equipos hay voltajes que pueden afectar la salud, por ejemplo al realizar conexiones de doscientos veinte voltios, es necesario verificar que el interruptor correspondiente esté desactivado.

En las estaciones de telecomunicaciones, todas las carcasas metálicas y armarios de los equipos están conectadas a tierra. Esto se hace para prevenir riesgos de electrocución y para evitar ruido electromagnético sobre los componentes electrónicos. El sistema de tierra de la estación también debe preservar la integridad de los bienes y de las personas frente a descargas atmosféricas. Generalmente, la resistencia de puesta a tierra debe ser inferior a tres ohmios.

Gráfico 230. Malla de puesta a tierra



Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

Peligros de radio frecuencia

Al trabajar con energía electromagnética, sobre todo debe evitarse la exposición prolongada. A pesar de que no existe normativa clara al respecto, ciertos fabricantes colocan etiquetas que advierten la peligrosidad. Por ejemplo, no pararse delante de la antena a menos de un metro; si lo tiene que hacer, que no sea más de media hora. En el suelo, ya lejos de las antenas, la radiación electromagnética de microondas es muy pequeña, prácticamente despreciable.

Otras etiquetas previenen de no mirar por la salida de la energía de microondas, ya que en ese punto la densidad de potencia es muy alta.

Gráfico 231. Precaución de radiofrecuencia, no mirar la salida de una ODU



Fuente: el autor

En radiocomunicaciones se trabaja únicamente con las llamadas radiaciones no ionizantes las cuales a diferencia de las radiaciones ionizantes, no tienen la energía suficiente como para extraer electrones de los átomos, por lo tanto no alteran la constitución de la materia. Son ejemplos de radiaciones ionizantes los rayos X y los rayos gamma.

Para tranquilidad de los usuarios, el personal de ARCOTEL, continuamente monitorea los niveles de radiación no ionizante que se encuentran en las ciudades y demás aglomeraciones humanas, a fin de garantizar a la población que los niveles de potencia se encuentren bajo los límites establecidos por las normas internacionales.

Aunque parezca paradójico, las antenas que deben cubrir grandes radios de cobertura, emiten más potencia que aquellas que deben cubrir pequeñas zonas. Por lo tanto hay menos potencia de irradiación cuanto más torres de telecomunicaciones de un mismo proveedor se instalen en una ciudad. Generalmente, los proveedores de servicio celular incrementan el número de sus nodos a fin de tener pequeñas zonas con gran capacidad de ancho de banda.

De todos modos, recordemos que el peligro puede estar en el tiempo de exposición, por lo tanto se recomienda el uso de manos libres al hablar por celular; situar el *ruteador wifi* alejado de las personas (varios metros); no aceptar la instalación de antenas celulares junto a la ventana de un dormitorio; hacerlo solo si es absolutamente necesario, pero luego de solicitar una medición del nivel de radiación no ionizante. También la ARCOTEL tiene entre sus funciones la de homologar los modelos de teléfonos celulares que se comercializan en el país; esto implica determinar el índice de absorción específico que sobre el cuerpo humano provocan durante su funcionamiento. Para ello existe un laboratorio adecuado de certificación y homologación.

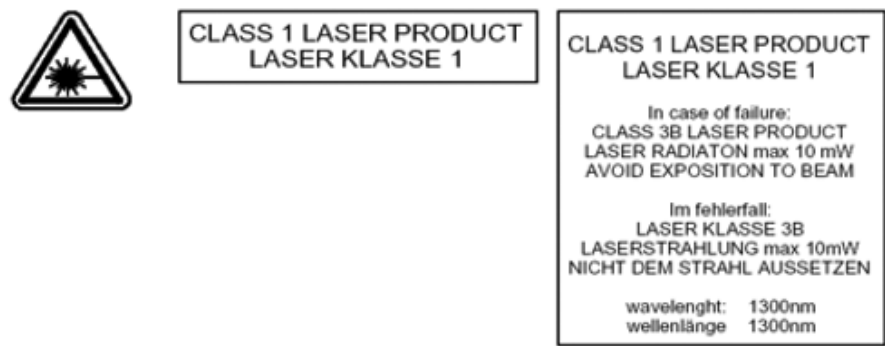
Con respecto a las normas EMI (*Electromagnetic Interference*) y EMC (*Electromagnetic Compatibility*) podemos decir que son normas internacionales que limitan las radiaciones indeseadas de los aparatos electrónicos, tanto en espectro como en potencia, a fin de no afectar el normal funcionamiento de otros aparatos electrónicos. En la Escuela Politécnica Nacional, existe un laboratorio dedicado a medir estos dos parámetros. Por ejemplo, al dejar el teléfono celular junto a la radio del carro, se suele escuchar un chasquido en los parlantes del carro cuando el teléfono se está comunicando con el sistema celular; esto es un caso de EMI, interferencia electromagnética entre aparatos electrónicos de distinta índole. Un ejemplo de regulación EMC es la conocida FCC8, una etiqueta que solía venir en los monitores de TV antiguos y que garantizaba el cumplimiento de las regulaciones norteamericanas de emisiones para "coexistencia pacífica" con otros aparatos electrónicos. Generalmente, los dispositivos electrónicos suelen venir en carcasas metálicas sólidas o malladas, a fin de encerrar las emisiones indeseables internas y externas.

Peligros de energía óptica

Ciertos equipos de microonda tienen una interfaz óptica en sus puertos de banda base. Por ello, se desaconseja mirar por los conectores ópticos a menos que haya la seguridad de que el equipo electrónico está apagado. La luz láser en comunicaciones es una luz invisible que

está en el rango de los 1 300 o 1 500 nm (nanómetros) y puede causar daño a la retina ya que puede tener potencias elevadas.

Gráfico 232. Advertencia de seguridad óptica



Fuente: Siemens AG, 2003

Peligros de descarga electrostática

En este caso la advertencia no implica un riesgo para la salud del trabajador sino más bien para la integridad del equipo electrónico. Por frotamiento una persona puede resultar cargada electrostáticamente, si en esas condiciones toca una tarjeta electrónica, ciertos elementos pueden resultar quemados, por ejemplo, las juntas de transistores con lo cual, la tarjeta entera deja de funcionar.

Gráfico 233. Precaución electrostática



Fuente: Siemens AG, 2003. Adaptado por el autor

Para evitar dañar los equipos, el personal que deba trabajar de cerca a los componentes electrónicos, debe usar una manilla antiestática, la cual es un brazalete puesto a tierra por medio de una resistencia de 1 Mohm.

Finalmente, ya que es parte de la actividad, el desplazarse hasta las estaciones de telecomunicaciones puede implicar muchas horas de viaje por distintas carreteras, entonces, se recomienda observar a conciencia las leyes de tránsito, particularmente los límites de velocidad.

2.5 EVALUACIÓN DEL CURSO

Se han diseñado dos instrumentos de evaluación, el primero del instructor, los participantes califican los aspectos operativos más relevantes acerca de la prolijidad y el desempeño del profesor y del sitio de aprendizaje. El segundo instrumento evalúa la adquisición de los conocimientos de una manera genérica, ya que se considera que el participante acudirá al material escrito para ulteriores consultas.

Evaluación del instructor y del entorno

Instrucciones:

- a.) Por favor califique lo más objetivamente posible, en la escala de 1 a 5. Siendo 1 deficiente, 5 excelente.
- b.) El poner el nombre en esta hoja no es necesario.

Tabla 50. Evaluación del instructor y del ambiente

1.	Las explicaciones fueron claras	
2.	El lenguaje utilizado fue sencillo y concreto	
3.	Conoce el tema que pretende enseñar	
4.	Ha usado recursos pedagógicos con el objetivo de aclarar conceptos	
5.	Ha podido solventar las preguntas que se le han formulado	
6.	Ha sido respetuoso y amable con los estudiantes	
7.	Se nota que ha preparado la clase	
8.	Mantuvo buena presencia y pulcritud durante el curso	
9.	Ha despertado una actitud de seguir aprendiendo	
10.	Los temas que se trataron fueron pertinentes a mi actividad laboral	
11.	La actitud de los compañeros de clase ayudó al proceso de aprendizaje	
12.	El ambiente fue adecuadamente luminoso y aireado	
13.	Hubo la comodidad necesaria para crear un ambiente de concentración	
14.	El curso inició y terminó puntualmente	
15.	Tomaría otra vez un curso con este instructor	

Elaborado por el autor

Evaluación de conocimientos

Tabla 51. Evaluación de conocimientos

		Verdadero	Falso
1.	-44 dBm es la mitad de potencia que -41 dBm		
2.	1 MHz equivale a 1 000 kHz		
3.	Seno de 90° es igual a 1		
4.	Logaritmo de 1' 000 000 es igual a 6		
5.	La corriente alterna es aquella que no cambia de polaridad al pasar el tiempo		
6.	Mientras más grande es mejor el valor de una resistencia a tierra		
7.	Longitud de onda (m) es igual a 300/F(MHz)		
8.	La señal modulante se conoce también como banda base		
9.	La ganancia de una antena es su capacidad de concentrar la energía electromagnética en una misma dirección		
10.	La antena parabólica tiene el alimentador (<i>feeder</i>) posicionado en el foco		
11.	El radio de la primera zona de <i>Fresnel</i> es máximo justo a la mitad del trayecto del enlace		
12.	La <i>flange</i> PDR70 tiene forma cuadrada y no tiene empaque de presurización		
13.	Electrónica analógica es cuando la salida de un circuito es semejante a la entrada		
14.	Electrónica digital es cuando la salida de un circuito no es semejante a su entrada debido a que esta ha sufrido un proceso de codificación binaria en unos y ceros		
15.	Primero es la seguridad e integridad física del personal antes que cumplir con los plazos del proyecto.		
16.	El factor K representa el grado de curvatura del rayo de microonda.		

Elaborado por el autor

Evaluación cualitativa del programa

¿Qué de bueno?

¿Qué de malo?

¿Qué te llevas?

CONCLUSIONES

La evolución de la ciencias y de las tecnologías de telecomunicaciones a nivel mundial y nacional, nos ha servido de marco para realizar una apreciación acerca de cómo ha ido avanzando el conocimiento humano hasta llegar al estado del arte actual en ésta área. A continuación se realizó una exposición de las teorías del aprendizaje basadas en la sicología del aprendizaje y el proceso cognitivo del ser humano. El objetivo es poner en práctica los métodos pedagógicos más apropiados con el fin de lograr un proceso de enseñanza / aprendizaje significativo que al final produzca un material útil para la capacitación en radiocomunicaciones. El contenido escrito para este programa de capacitación y las actividades prácticas propuestas durante el mismo, constituyen un ejemplo práctico de la aplicación de los fundamentos educativos en temas científico-tecnológicos.

Es deseable una cultura matemática básica la cual sea parte de la formación secundaria, pero aprendida de manera práctica, no memorística. Esta debe incluir el álgebra y funciones, especialmente las funciones trigonométricas, la función logaritmo y la función cuadrática. Es realmente preocupante escuchar a algunas personas decir que odian las funciones matemáticas, porque cuando el profesor se las enseñaba en la secundaria, no le entendían nada. El andamio matemático se construye paso a paso, al final todo lo visto se hace necesario, desde la aritmética, pasando por el álgebra y la geometría hasta llegar al estudio de las funciones y por qué no a una comprensión desenvuelta del cálculo infinitesimal, el cual ha sido descrito por autores del realismo científico como “precioso”, “maravilloso” y “portentoso”.

En temas del conocimiento lo más sensato es ser intelectualmente humilde. El conocimiento puede ser infinitamente profundo y extenso, como el número π . Todo lo que una persona pueda llegar a saber, es poco comparado con la realidad, de modo que no caben actitudes presuntuosas, que lo único que hacen es poner límites a la propia superación personal. El contenido del curso de microondas, puede dar lugar a innumerables puntualizaciones y ulteriores explicaciones. Por ejemplo, en nuestro país no se han hecho estudios formales acerca del factor K.

No solo los docentes, toda la comunidad educativa, incluyendo autoridades y estudiantes, deben ser capacitados en pedagogía, modelos pedagógicos, teorías del aprendizaje. El estudiante debe estar consciente de que su educación la debe construir el mismo y debe participar activamente en el proceso del “desequilibrio cognitivo”, que lleva al nuevo conocimiento y al aprendizaje significativo. Las autoridades por su parte deberán también tener clara cuál es la

filosofía educativa que engloba la actividad de su institución. La ética del docente debe ser prioritaria y debe ser difundida, el maltrato a los estudiantes es antiético.

De acuerdo con el código de ética para ingenieros de EE.UU, un ingeniero puede ejercer su profesión en las áreas que son de su competencia; por ejemplo, un ingeniero civil, diseñando un edificio; un ingeniero eléctrico, diseñando las instalaciones de energía eléctrica del edificio. Tanto el ingeniero civil como el ingeniero eléctrico pueden además ejercer como profesores de matemáticas o física en alguna institución educativa. Pero, de acuerdo con el código de ética mencionado, ejercer como profesional de la docencia no es de su competencia, por lo tanto, de no mediar la capacitación requerida, se consideraría antiético.

Ahora bien, es muy deseable que tales profesionales enseñen y transmitan toda su experiencia práctica a los estudiantes; sin embargo está muy claro que deben primero capacitarse como educadores porque no es correcto maltratar a los estudiantes, generarles aversión a las matemáticas, matar su creatividad, y eso es precisamente lo que puede suceder cuando los profesores desconocen el principio social y humano de la educación. Paradójicamente, la ley de educación superior ha sido interpretada de tal modo que un profesional experimentado en su campo y con título en ciencias de la educación sea descartado para ser profesor universitario en el área de su experiencia. Descartar la experiencia práctica es un despropósito no solo en ingeniería. Se piensa infundadamente que un experto en una cierta rama del conocimiento (un contenido), ya sea Máster o PhD, solo por el hecho de ser tal, ya está automáticamente capacitado para enseñar (una competencia). Estas falsas ideas pueden acarrear cuantiosas pérdidas de recursos, por ejemplo, en la adquisición de costosos laboratorios mal concebidos, que luego no son utilizados plenamente, porque no se aplican a la realidad de los estudiantes y de la institución. Al contrario que los contenidos, que pueden caducar rápidamente, las competencias se refuerzan con el paso de los años de ejercicio.

Todas las universidades aspiran a destacar entre las otras (el conocido *ranking*), mediante proyectos innovadores y artículos publicados en revistas indexadas. El problema es cómo lo van a hacer si, a lo largo de toda la carrera, sistemática y, permanentemente, se mata la creatividad de los estudiantes mediante un sistema de promoción, orientado a las notas y a las calificaciones; esto promueve el aprendizaje pasivo, memorístico y conductista, en lugar de potenciar el aprendizaje significativo, orientado a la creatividad y a la innovación. Hay que romper paradigmas, hay que estar dispuestos a reaprender y a desaprender, hay que capacitar en educación al plantel docente de esas instituciones. Rigurosidad académica sí, pero con enfoque pro social.

La cuestión planteada al inicio de este trabajo “la vida digital es la vida” queda ahora como una simple afirmación carente de fundamento. Al contrario, la vida analógica es la vida, porque lo analógico es natural, lo digital es artificial. Si, por algún motivo, se terminara la energía eléctrica en el planeta, nada de lo digital funcionaría ya. Jamás será lo mismo una conversación por *whatsapp* con todo y emoticones, que una conversación cara a cara con un buen amigo con lenguaje corporal y tono afectivo. Más aún en educación, el trato entre discípulos, la

relación con el profesor, etc., jamás podrán ser sustituidas con videos y audios por alta resolución que tengan y por más *big data* y algoritmos de reconocimiento facial que se atribuyan. El uso de las tecnologías de información y comunicación puede ser muy provechoso en educación, sobre todo como técnicas didácticas, pero las TIC no constituyen filosofías ni modelos educativos; por lo tanto, su rol es el de una herramienta didáctica que debe ser manejada con cautela y no como la panacea que “facilita” el aprendizaje. El aprendizaje así como la lectura son procesos cognitivos complejos en los cuales se involucra tanto la mente como el alma de las personas; esto no se puede digitalizar.

El material educativo descrito en este trabajo puede resultar útil a los capacitadores profesionales de otras áreas, que deseen conocer un enfoque científico y humanista de las ciencias de la educación.

Un curso de capacitación deberá iniciar con una descripción de la metodología pedagógica a seguirse para luego desarrollar la “agenda”.

BIBLIOGRAFÍA

- Acaso, M. (2016). *rEDUvolution* (1.ª ed.). Barcelona España: Espasa Libros.
- Arcotel. (2017, septiembre). Estadísticas del servicio móvil avanzado. Recuperado de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- Ares, R. (1997). *Manual de las Telecomunicaciones*. Buenos Aires Argentina: Siemens Telecomunicazioni Italia.
- Ares, R. (2015). *Un Planeta* (1.ª ed., Vol. 1). Buenos Aires Argentina: Vazquez Mazzini. Recuperado de www.robertoares.com.ar
- Asamblea Nacional. (2015, febrero 18). Ley orgánica de la telecomunicaciones. Recuperado de http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/002_ley-organica-de-telecomunicaciones-LOT.pdf
- Aubert, A., Flecha, A., García, C., Flecha, R., & Racionero, S. (2013). *Aprendizaje Dialógico en la Sociedad de la información* (Cuarta, Vol. 1). Barcelona España: Hipatia.
- Ayala, E. (2010). *lecciones de Ética Personal, Social y Profesional*. Quito Ecuador: wilson.
- Ayala, E. (2014). Introducción a la filosofía.
- Bilbao, G., Fuertes, J., & Guibert, J. (2006). *Ética para Ingenieros* (1.ª ed.). Universidad de Deusto.
- Carrera, P., & Luque, E. (2016). *Nos quieren mas tontos* (1.ª ed.). Barcelona España: El Viejo Topo.
- Casa de la Cultura ecuatoriana. (2004). *Maldonado, conciencia geográfica y modernidad en el Ecuador*. Riobamba Ecuador: Pedagógica Freire.
- Dettmer, P. (2006). New Blooms in Established Fields: Four domains of learning and doing. *Roeper Review*, 28(2).
- Einstein, A., & Infeld, L. (1986). *La Evolución de la Física* (Vol. 1). Barcelona España: Salvat editores.
- Enciclopedia Británica. (s. f.). Telecommunication. Recuperado de <https://www.britannica.com/technology/telecommunication>
- Freire, P. (2014). *Pedagogía de la Esperanza* (2.ª ed., Vol. 1). Buenos Aires Argentina: Siglo Veintiuno Editores.
- Gobierno del Ecuador. (2010). Ley orgánica de educación superior.
- Gómez, J. (1993). *Las misiones pedagógicas alemanas y la educación en el Ecuador*. Quito Ecuador: Abya Yala.

- K&K engineering. (1995). Radio Access Seminar.
- Lehmann, S. (2015). Didáctica para el aprendizaje.
- Maturana, H., & Varela, F. (2003). *El Árbol del Conocimiento*. Buenos Aires Argentina: Lumen.
- Maxwell, J. (1876). *A Treatise on electricity and magnetism* (Vol. 1). London: Clarendon Press Series.
- Miranda, F. M. (1972). *La Primera Escuela Politécnica del Ecuador*. Quito Ecuador: La Unión.
- National Instruments. (2012). Simulación QAM. Recuperado a partir de <http://www.ni.com/example/30100/en/>
- Olivera, S. (2011). Olivera, S. W. (2011). Taxonomía de bloom. Universidad Cesar Vallejo, 4. universidad César Vallejo. Recuperado de <https://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/39801731/4-taxonomia-de-bloom>
- Ortiz, P., Cianferoni, V., & Vázquez, G. (2000). Un radioenlace poco común. *Anales de las XVII Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica*, 264.
- Pejcinovic, B., & Campbell, R. L. (2013). Active learning, hardware projects and reverse instruction in microwave/RF education. In *Radar Conference (EuRAD), 2013 European (Pp. 259-262)*. IEEE.
- Penton. (2017). Electronic design. New York. Recuperado de <http://www.electronicdesign.com/engineering-essentials/understanding-error-vector-magnitude>
- Ríos, F. (2014). Programa de asignatura.
- Sagan, C. (2000). *El mundo y sus demonios*. Bogotá Colombia: Planeta.
- Serrano, A. (2016). *Elaboración de un manual de comprensión lectora*. Quito Ecuador.
- SIAE Microelettronica S.p.A. (2015). Planning Criteria for Digital Radio Relay Networks.
- SIEMENS AG. (1997). 150 años de Siemens. *enero 1997*, 88.
- Siemens AG. (2003). I&C training.
- Siemens Telecomunicazioni. (2001). Introduction MW systems.
- Tipler, P., & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología* (sexta, Vol. II). Barcelona España: Reverté.
- Tobar, B. (2016, marzo 30). Ética del docente universitario.
- Tunnerman, C. (2011). La educación superior frente a los desafíos del mundo contemporáneo. *asociación colombiana de universidades*. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7457/1/carlostuntermannbernheim.20111.pdf>
- Usbeck, C. (2004). *Ecuador y las comunicaciones. Una historia compartida* (1.ª ed.). Quito Ecuador: SENATEL.
- Viedma, J. (2005). *Introducción al cálculo infinitesimal* (1.ª ed., Vol. 1). Cali Colombia: Norma.
- Wankat, P. C., & Oreovicz, F. S. (2015). *Teaching Engineering* (Vol. Second edition). West Lafayette, Indiana: Purdue University Press. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1067069&lang=es&site=ehost-live>

ANEXO 1: encuestas

CONOCIMIENTOS BÁSICOS MATEMÁTICAS Y FÍSICA

- El logaritmo de 100 en base 2 es:
 - 3
 - 2
 - 5
 - Otro (especifique)
- La raíz cuadrada de 81 es:
 - 7
 - 5
 - 9
 - Otros (especifique)
- ¿Cuánto es 5 dividido para cero?
 - 1
 - 5
 - 50
 - Otro (especifique)
- ¿Cuántos grados tiene un ángulo recto?
 - 60
 - 90
 - 360
 - 180
- Triángulo isósceles es:
 - El que tiene los tres lados iguales
 - El que tiene un ángulo recto
 - El que tiene dos lados iguales
- Una línea vertical es cuando:
 - Es perpendicular a otra
 - Forma ángulo de 90° (perpendicular) con la superficie del agua en reposo
 - Toca a 60° la superficie del suelo
 - Otro (especifique)

7. ¿Cuántos centímetros hay en un metro?
 - a. 10
 - b. 55
 - c. 100
8. ¿Cuántos segundos hay en una hora?
 - a. 100
 - b. 1000
 - c. 3600
9. ¿Cuántas libras hay en un kilogramo?
 - a. 1
 - b. 2,2
 - c. 100
10. ¿Cuántos centímetros tiene una pulgada?
 - a. 10
 - b. 5
 - c. 2,54
 - d. Otro (especifique)

CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD

1. La corriente eléctrica se mide en:
 - a. Voltios
 - b. Amperios
 - c. Ohmios
2. La corriente eléctrica comercial en los hogares es:
 - a. Alterna de 110 voltios
 - b. Directa de 48 voltios
 - c. Directa de 12 voltios
3. Un capacitor almacena:
 - a. Corriente eléctrica
 - b. Carga eléctrica
 - c. Magnetismo
4. La batería de un vehículo suministra:
 - a. Voltaje alterno de 12 voltios
 - b. Corriente directa a 12 amperios
 - c. Voltaje directo de 12 voltios

5. En los vehículos, el negativo de la batería está a masa
 - a. Verdadero
 - b. Falso
6. Si un rectificador suministra 1 amperio a 50 voltios, ¿qué potencia entrega?
 - a. 100 watt
 - b. 200 watt
 - c. 50 watt
7. Cuando una corriente eléctrica atraviesa una bobina, se genera:
 - a. Un campo eléctrico
 - b. Un campo magnético
 - c. Un campo desconocido
8. Si se une con un alambre el positivo con el negativo de una batería, se produce:
 - a. Nada
 - b. Cortocircuito
 - c. Desgaste
9. La resistencia a tierra de una estación de telecomunicaciones debe ser:
 - a. Ser mayor a 10 ohmios
 - b. Ser menor a 4 ohmios
 - c. Ser mayor a 1000 ohmios
10. El pararrayos sirve para:
 - a. Proteger los equipos de las descargas atmosféricas
 - b. Proteger al personal de descargas atmosféricas
 - c. Las dos anteriores

CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE RADIOCOMUNICACIONES

1. AM, FM, QAM son tipos de:
 - a. Velocidad
 - b. Ancho de banda
 - c. Modulación
2. 250 kHz significa:
 - a. 25 mega Hertz
 - b. Doscientos cincuenta mil Hertz
 - c. 2,5 Hertz
3. dBm significa:
 - a. Decibelios sobre el mili vatio
 - b. Logaritmo en base 10
 - c. El doble de potencia

4. Ancho de banda espectral significa:
 - a. La velocidad a la que se transmite una señal
 - b. La porción de espectro que ocupa una señal
 - c. El margen de seguridad que se guarda entre dos señales
5. La primera zona de Fresnel es:
 - a. La porción del espacio por el que viaja la mayor parte de energía electromagnética entre dos puntos
 - b. El espacio que está entre dos antenas
 - c. La línea de vista entre dos puntos
6. Acimut es:
 - a. El ángulo respecto al suelo en una estación
 - b. El ángulo horizontal respecto al norte
 - c. El ángulo más pequeño entre dos estaciones adyacentes
7. Una guía de onda es más gruesa a medida que la frecuencia de la señal que transporta disminuye
 - a. Verdadero
 - b. Falso
8. Interferencia ocurre cuando:
 - a. Cuando una montaña obstruye la línea de vista
 - b. Cuando una o más señales con potencias similares llegan a un sitio
 - c. Cuando dos o más señales de frecuencia similar llegan al mismo receptor
9. La polaridad de un enlace está dada por la frecuencia de la señal
 - a. Verdadero
 - b. Falso
10. La fibra óptica tiene mayor capacidad de transporte de información que la microonda.
 - a. Verdadero
 - b. Falso


DIAGNÓSTICO DE INTERÉS Y EXPERIENCIA

1. ¿Cuántos años lleva trabajando en el área de las telecomunicaciones?
2. ¿Cuántas veces ha configurado un equipo de microondas?
3. ¿Le gustaría viajar al extranjero a trabajar en instalaciones de radioenlaces?
4. ¿La capacitación representa una oportunidad de mejora salarial?
5. ¿Qué es lo que más le gusta de su actividad laboral?
 - a. Los viajes
 - b. La paga
 - c. Aprender a manejar los equipos
 - d. Conocer colegas y hacer amistades

Este libro está basado en la tesis de maestría en ciencias de la educación “Diseño de un programa de capacitación en comunicación por microondas”, por lo cual quisiera agradecer especialmente a su director Mtr. Patricio Querubín Flores, a los señores lectores Dr. Esteban Ayala Costales y Mtr. Jorge Alarcón Mena, profesores de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, quienes apoyaron el proyecto desde un principio. De la misma manera a la Sra. Decana Paulina Morales, a la Srta. secretaria Angélica Rosero. Particularmente quisiera agradecer a los ingenieros Tarquino Sánchez Almeida, Fabio González González y Jack Vidal profesores de la Escuela Politécnica Nacional por la lectura y comentarios favorables a la obra. Expreso mi gratitud también para el Ing. Gerardo León Vázquez de la empresa SIAE por su desinteresado apoyo.

Quito, marzo 2019





Para toda persona inmersa en un proceso de enseñanza-aprendizaje, ya sea como profesor o como estudiante, es útil conocer primero los fundamentos en los que se basa la adquisición-construcción del conocimiento: las teorías del aprendizaje en general, el modelo pedagógico seguido, la filosofía que observa la institución educativa. Entendida como un acto social, la educación, depende del entorno, el cual puede ser o no favorable al proceso. Describir al buen maestro, señalar el papel de las tecnologías de información y comunicación, presentar el ciclo del aprendizaje, son temas que se tratan en la primera parte de esta obra, con el afán de conceptuar el ambiente, las metodologías y las estrategias de aprendizaje que propendan creatividad y construcción de nuevo conocimiento. En la segunda parte se realiza una aplicación práctica de metodologías pedagógicas y estrategias didácticas, al proponer un material para la enseñanza de conceptos fundamentales de radiocomunicaciones a un público que no ha tenido la oportunidad de realizar estudios superiores en esta área específica del conocimiento. El contenido técnico presentado en esta segunda parte está sustentado en la experiencia adquirida por el autor en más de 25 años de trabajo como ingeniero de campo e instructor en más de 15 países de 4 continentes.



ISBN: 978-9978-77-403-8



9789978774038