ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

"LABORATORIO PARA TELEFONÍA CELULAR UTILIZANDO EL GENERADOR VECTORIAL DE SEÑALES ANRITSU MG3700A"

PABLO FERNANDO RAZA BUITRÓN

DIRECTOR: ING. GONZALO OLMEDO

CODIRECTOR: ING. JULIO LARCO

SANGOLQUÍ – ECUADOR

JUNIO 2010

CERTIFICACIÓN

Certificación por parte del Director y Codirector de la elaboración del proyecto bajo su dirección, y pie de firmas:

Ing. Gonzalo Olmedo DIRECTOR	Ing. Julio Larco CODIRECTOR

RESUMEN

Este documento principalmente está dedicado al uso del Generador Vectorial de Señales “Anritsu MG3700A” a través de prácticas de laboratorio de telefonía celular móvil. Los estándares a cubrir son GSM, EDGE, CDMA2000 1xRTT, CDMA2000 1xEV-DO y W-CDMA.

El objetivo en las prácticas de laboratorio es usar el MG3700A para generar señales en los estándares mencionados para analizarlas con gráficas en tiempo y en frecuencia. Las herramientas de medición son el analizador de espectro “Anritsu MS2036A” y un osciloscopio digital. Usando el analizador de espectro se observa potencia, frecuencia de portadora, ancho de banda y la forma característica espectral dependiendo del estándar analizado. En cambio usando el osciloscopio se puede observar las señales de cuadratura de banda base, I/Q y un bosquejo del diagrama polar de constelación para un análisis mucho más profundo.

Una herramienta esencial que viene incluida en el equipo, es el software para PC “IQproducer”. Este puede crear archivos de *patrón de onda* que genera las señales de modulación en cuadratura I y Q de estándares incluidos en el equipo. Las prácticas de laboratorio usando este software serán basadas en la modificación de parámetros de TDMA como filtros y esquemas de modulación, y en el estándar CDMA 1xEV-DO.

DEDICATORIA

A mis padres, los más grandes mentores en mi vida, por enseñarme los valores y principios que han marcado mi vida y me han hecho un hombre de bien.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por ser así de loca, alegre y tener todo el amor del mundo. Mi padre que es el hombre más sabio que he conocido y a mi madre que es la mujer con más paciencia del mundo. A mis hermanas por ser divertidas y a momentos locas. A mis sobrinos Paúl y Sofía. Gracias a todos.

A mis panas del colegio y de la universidad por siempre brindarme apoyo en todo momento. Por sus buenos y malos consejos, por sus chistes finos y agrios, por su simple compañía y principalmente por su alegría que transmiten y motiva a sonreír en todo momento.

A mis amigos y compañeros de carrera, que ahora somos colegas. Por todos los momentos inolvidables que hemos vivido y todo el intercambio de conocimiento teórico y de vida que me han transmitido. Los extrañaré electrónicos ñoños.

A tí, por haber sido mi musa, fuerza e inspiración durante estos años. Te desearé siempre lo mejor a pesar de la distancia.

Al Ing. Carlos Usbeck W. por brindarme una valiosa oportunidad de aprender y crecer profesionalmente en su empresa Complementos Electrónicos S.A.

A mi Director y Codirector de Tesis, Gonzalo Olmedo y Julio Larco por guiarme en el transcurso final de mi ingeniería.

A *MacGyver* y sus valiosas lecciones de saber cómo funcionan las cosas.

PRÓLOGO

El lector de esta tesis tiene como objetivo aprender sobre estándares de telefonía celular en varios de los estándares más populares y que han sido usados en el Ecuador. El tema principal es el uso del Generador Vectorial de Señales Anritsu MG3700A que puede generar diferentes señales inalámbricas en estándares de telefonía celular 3G a su vez en otro tipo de señales como W-LAN. También se aprenderá el uso de equipos de instrumentación como son el analizador de espectro y el osciloscopio a través de prácticas con funciones básicas. Como otra función importante del MG3700A, es un software que ayuda a la creación, modificación y prueba de señales inalámbricas a través de un computador para luego transferirlas al equipo y reproducirlas como un patrón de señales.

El lector aprenderá el funcionamiento del equipo MG3700A para la reproducción y acondicionamiento de patrones de señales en los estándares GSM y CDMA2000 principalmente. Además de aprender a usar el software IQproducer para generar patrones de onda.

La tesis ha sido organizada en cuatro capítulos principales para finalmente culminar con *Conclusiones y Recomendaciones*. La estructura del documento se resume en:

CAPÍTULO 1: Trata sobre la historia de las telecomunicaciones, una breve introducción al equipo MG3700A y sus características. Se verá las bases de los estándares de telefonía celular y su evolución hacia las tecnologías de tercera generación 3G. Además para el aprendizaje y medición usando el generador vectorial de funciones MG3700A, se necesitarán de equipos de medición e instrumentación. Los conceptos de instrumentación al igual que breves rasgos del analizador de espectro serán abordados.

CAPÍTULO 2: Trata a fondo los aspectos que van a ser necesitados en las prácticas como base para observar y aprender de los resultados. Es necesario

que el lector estudie este capítulo ya que las prácticas de laboratorio tratan principalmente sobre la capa física de los estándares celulares.

CAPÍTULO 3: Es una guía resumida de uso del equipo MG3700A basado en su manual de usuario y las funciones que van a necesitarse en las prácticas. Se detalla los pasos y procesos para efectuar correctamente las prácticas. Para realizar las mediciones de las prácticas de laboratorio se necesitará el uso de un analizador de espectro, se incluirá una guía de uso básico y las funciones principales del equipo AnritsuMS2036A"Analizador Vectorial de Redes" que posee la función de analizador de espectro. Además para ver las señales en el dominio se usará un osciloscopio digital. Para este caso no se incluirá un modelo en específico ya que el uso de un osciloscopio puede variar de acuerdo al fabricante y es una herramienta básica que el lector debe saber manejar [8]. Finalmente se verá una introducción del software IQproducer, el cual es encargado de modificar y crear patrones de onda para ser reproducidos en el MG3700A.

CAPÍTULO 4: Este capítulo es el más importante ya que es el tema principal de este documento en el que se abordarán los estándares de telefonía celular GSM (TDMA), CDMA2000 1xRTT, CDMA2000 1x EV-DO y W-CDMA. Los temas principales a tratar en la práctica de laboratorio serán:

- Análisis espectral de señales.
- Análisis de señales I/Q en el tiempo y diagramas de constelación.
- Generación de patrones de onda usando el software IQproducer en el estándar TDMA. Análisis espectral, en tiempo y vía software usando IQproducer.
- Modificación de patrones de onda usando el software IQproducer en el estándar CDMA2000 1x EVDO. Análisis espectral, tiempo y vía software usando IQproducer.

Finalmente, en "*Conclusiones y Recomendaciones"* se tratarán del análisis de las prácticas de laboratorio y el documento en general. Se brindará las conclusiones de usar el MG3700A como un equipo didáctico y como equipo de desarrollo en el laboratorio de electrónica del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN 1

1.1. Historia de las telecomunicaciones 1

1.1.1. Situación actual 3

1.2. Generador vectorial de funciones Anritsu MG3700A 4

1.2.1. Especificaciones y uso del equipo 5

1.2.2. Uso del generador vectorial de señales MG3700A en prácticas de laboratorio 7

1.3. Evolución de la telefonía celular 7

1.3.1. Sistemas de Primera Generación (1G) 8

1.3.2. Sistemas de Segunda Generación (2G) 10

1.3.3. Sistemas de Tercera Generación (3G) 12

1.4. Instrumentación electrónica de comunicaciones 13

1.4.1. Diagrama básico de un sistema de instrumentación 15

1.4.2. Instrumentación electrónica basada en computador 18

1.5. Equipos de instrumentación 20

1.5.1. Osciloscopio 20

1.5.2. Analizador de espectro 21

1.6. Terminología de instrumentación 21

1.6.1. Rango 22

1.6.2. Resolución 22

1.6.3. Error 22

1.6.4. Precisión 22

1.6.5. Exactitud 23

1.6.6. SPAN 23

1.6.7. Ancho de banda de resolución (*Resolution Bandwidth - RBW*) 23

1.6.8. Tiempo de barrido (*Sweep Time*) 24

CAPITULO II

Sistemas de Telefonía Movil 3G 26

2.1. Modulación Digital 26

2.2. Sistemas coherentes e incoherentes. 27

2.3. Modulación I/Q 29

2.3.1. Representación I/Q 29

2.3.2. Radio Transmisor y Receptor *I* y *Q* 30

2.3.3. ¿Por qué usar I/Q? 31

2.4. Esquemas de modulación digital 32

2.4.1. Tasa de Bits y Tasa de Símbolos 32

2.4.2. Modulación por desplazamiento de fase (PSK) 34

2.4.3. Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) 36

2.4.4. Modulación por desplazamiento mínimo (MSK) 36

2.4.5. GMSK 37

2.4.6. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM) 42

2.5. Ruido 43

2.6. Características de propagación 44

2.7. Manejo de errores 44

2.8. Técnicas de acceso al medio – multiplexación 45

2.8.1. Acceso múltiple por división de frecuencia - *FDMA* 46

2.8.2. Acceso múltiple por división de tiempo - *TDMA* 46

2.8.3. Acceso múltiple por división de código - *CDMA* 47

2.8.4. Combinación de técnicas de acceso 48

2.9. GSM 48

2.9.1. GMSK, Características de modulación en GSM 50

2.9.2. Estructura de Tramas GSM 51

2.10. GSM – EDGE 59

2.10.1. Fundamentos Básicos de EDGE 60

2.11. CDMA2000 63

2.11.1. Capa física 64
2.11.2. Tasas de propagación 64
2.11.3. Configuraciones de radio (RC) 65
2.11.4. Espectro expandido por secuencia directa 66
2.11.5. Principio de funcionamiento CDMA – códigos 67
2.11.6. Códigos *Walsh* 69
2.11.7. Propagación ortogonal (*spreading*) 71
2.11.8. Códigos PN, seudo ruido 73
2.11.9. Diagrama de bloques de la información 74

CAPITULO III

OPERACIÓN DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN 76

3.1. Generador vectorial de señales *Anritsu MG3700A* 76
3.1.1. Descripción Física General del Equipo 76
3.1.2. Interfaz Gráfica de Usuario 83
3.1.3. Operaciones Básicas De Configuración 85
3.1.4. Configuración de Frecuencia 88
3.1.5. Nivel de Señal de Salida 92
3.1.6. Configuración de Modulación 100
3.2. Analizador de espectro *Anritsu* MS2036A 118
3.2.1. Descripción física y general del equipo 119
3.2.2. Especificaciones generales como analizador de espectro 124
3.2.3. Configuración en modo analizador de espectro 124
3.2.4. Realizar mediciones con el analizador de espectro 124
3.2.5. Configuración de frecuencia 125
3.2.6. Configuración de *Span* 126
3.2.7. Configuración de Amplitud 127
3.2.8. Configuración de ancho de banda (BW) 128
3.2.9. Mediciones especiales (*Measure*) 129

3.2.10. Configuración de trazas (*Trace*)..... 130
3.3. *IQproducer*..... 131
3.3.1. Resumen de funciones..... 132
3.3.2. Instalación y ejecución del software IQproducer..... 133
3.3.3. Conexión y configuración entre el MG3700A y la PC..... 135
3.3.4. Generación de ondas en TDMA (IQproducer)..... 140
3.3.5. Generación de ondas en CDMA2000 1xEV-DO (IQproducer)..... 146

CAPITULO VI

PRÁCTICAS DE LABORATORIO..... 154

4.1. Análisis Espectral De Señales..... 157
4.1.1. Consejos y prevención de errores durante el análisis espectral... 158
4.1.2. GSM – EDGE (Práctica ejemplo)..... 159
4.1.3. GSM (Variación de Amplitud)..... 169
4.1.4. GSM (Time slot 0)..... 175
4.1.5. GSM (Configuración de time slot 0 en todos los campos)..... 179
4.1.6. CDMA2000 1X–RC1 y RC2..... 182
4.1.7. CDMA2000 1X – RC3 y RC5..... 186
4.1.8. CDMA2000 1xEV-DO..... 189
4.1.9. W-CDMA..... 192
4.1.10. Resultados Generales..... 195
4.2. I/Q. Diagramas de constelación..... 198
4.2.1. Consideración antes de la primera práctica..... 200
4.2.2. GSM – GMSK..... 201
4.2.3. GSM EDGE– 8PSK..... 206
4.2.4. CDMA20001xRTT en RC1-RC2..... 212
4.2.5. CDMA2000 1xEV-DO *Reverse Channel*..... 216
4.3. Creación y modificación de patrones de onda usando IQproducer™.. 219
4.3.1. Configuración inicial. *IQproducer* y MG3700A..... 221

4.4. Creación de patrones en el estándar TDMA 221
4.4.1. TDMA–Tipos de filtros aplicados en modulación 222
4.4.2. TDMA – Esquemas de modulación..... 256
4.5. Creación de patrones en el estándar CDMA2000 1xEV-DO..... 277
4.5.1. CDMA2000 1xEV-DO Forward Channel..... 278

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 289

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 292

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características físicas de GSM 50
Tabla 2.2. Características principales de GSM - EDGE 61
Tabla 2.3. Características principales de GSM - EDGE 62
Tabla 2.4. Configuración de radio de canal de bajada 66
Tabla 2.5. Configuración de radio de canal de subida 66
Tabla 3.1. Elementos de la pantalla de configuración de frecuencia..... 89
Tabla 3.2. Mensajes de información presentados en pantalla 90
Tabla 3.3. Posibles mensajes de alarma presentados en pantalla..... 90
Tabla 3.4. Posibles mensajes de memorias cargadas 91
Tabla 3.5. Teclas y usos del menú de funciones de frecuencia 92
Tabla 3.6. Nivel de salida garantizado para onda continua (CW)..... 93
Tabla 3.7. Elementos de la pantalla de configuración de nivel de señal 95
Tabla 3.8. Mensajes de información en la pantalla de nivel 95
Tabla 3.9. Mensajes de información en la pantalla de nivel 95
Tabla 3.10. Significado de color de nivel de color 96
Tabla 3.11. Teclas y usos del menú de funciones de nivel de señal..... 98
Tabla 3.12. Combinaciones de configuración para salida de la señal RF 101
Tabla 3.13. Descripción de elementos de pantalla en menú de modulación..... 102
Tabla 3.14. Mensajes de información de modulación 103
Tabla 3.15. Alarmas posibles de modulación..... 103
Tabla 3.16. Alarmas posibles de modulación..... 104
Tabla 3.17. Alarmas posibles de modulación..... 105
Tabla 3.18. Elementos de la pantalla de formas de onda 109
Tabla 3.19. Usos de teclas del menú de funciones..... 110
Tabla 3.20. Elementos de la pantalla de lista de archivos..... 114
Tabla 3.21. Usos de teclas del menú de funciones..... 115
Tabla 3.22. Teclas del panel frontal de MS2036A..... 122
Tabla 3.23. Elementos de la pantalla típica de analizador de espectro..... 123
Tabla 3.24. Limitaciones de los modos de TDMA 142
Tabla 3.25. Resumen de parámetros de modulación..... 143
Tabla 4.1. Configuración del patrón FWD_RC1-2_9channel 183

Tabla 4.2. Configuración del patrón FWD_RC3-5_9channel 186
Tabla 4.3. Patrones y filtros aplicados en la práctica 222
Tabla 4.4. Patrones y esquemas de modulación aplicados en la práctica 257

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Comunicación por un lenguaje primitivo (izquierda). Hombre comunicándose a la distancia a través de señales de humo (derecha). 1
Figura 1.2. Generador vectorial de funciones Anritsu MG3700A 4
Figura 1.3. Pantalla del inicio del software *IQproducer*. 6
Figura 1.4. Evolución de la telefonía celular a tecnologías 3G 8
Figura 1.5. Rehúso del espectro por división geográfica 9
Figura 1.6. Camino de las tecnologías hacia 3G 13
Figura 1.7. Diagrama de sistema de instrumentación básico 15
Figura 1.8. Ejemplo de transductores. a) Micrófono, transductor acústico – eléctrico. b) Parlante, transductor eléctrico – acústico 16
Figura 1.9. Sistema de instrumentación basado en computador 19
Figura 1.10. Sistema de medición de un sistema usando computador 20
Figura 1.11. Relación entre exactitud y precisión 23
Figura 1.12. Toma de la misma señal por un analizador de espectro con diferentes valores de RBW 24
Figura 2.1. Compensación entre espectro y hardware 27
Figura 2.2. Generación incoherente de FSK 27
Figura 2.3. Generación Coherente de FSK 28
Figura 2.4. Representación I/Q 30
Figura 2.5. Radio transmisor práctico I/Q 31
Figura 2.6. Radio receptor práctico I/Q 31
Figura 2.7. Esquemas de modulación y sus aplicaciones 32
Figura 2.8. Ecuación de tasa de símbolos 32
Figura 2.9. Diagrama de estado QPSK, dos bits por símbolo. 33
Figura 2.10. 8PSK. Tres bits por símbolo. Tasa de Símbolo = 1/3 tasa de Bits 33
Figura 2.11. BPSK, cambios de señal en 0 grados y 180 grados de fase en el tiempo. 34
Figura 2.12. a) Constelación BPSK. b) Constelación QPSK 35
Figura 2.13. Constelación π/4 DQPSK, ambas son 2 bits por símbolo 35
Figura 2.14. Señal Básica FSK en el tiempo, cambio de frecuencia de portadora en transiciones de señal moduladora. 36

Figura 2.15. Respuesta impulsiva de un filtro Gaussiano para BT 0.3 y 0.5 38
Figura 2.16. Densidad Espectral MSK y GMSK 38
Figura 2.17. Tren de Pulsos 39
Figura 2.18. Pulsos individuales Gaussianos representando el flujo de bits 39
Figura 2.19. Suma de pulsos los pulsos individuales gaussianos 40
Figura 2.20. Diagrama de bloques de un modulador GMSK 40
Figura 2.21. Señal de salida del filtro integrada 41
Figura 2.22. Señales *I* y *Q* de 0.5 GMSK 41
Figura 2.23. Señal de salida RF del modulada en GMSK 42
Figura 2.24. Señal 16QAM, diagrama polar. Cuatro bits por símbolo. Tasa de símbolos = ¼ de tasa de bits 42
Figura 2.25. Señal 32QAM, diagrama de constelación. Cinco bits por símbolo. Tasa de símbolos = 1/5 taza de bits 43
Figura 2.26. Técnicas de multiplexación FDMA, TDMA y CDMA 45
Figura 2.27. a) Multiplexación por frecuencia b) Método de transmisión y recepción FDMA 46
Figura 2.28. a) Multiplexación por tiempo b) TDMA y TDD 47
Figura 2.29. a) Gráfica tres dimensiones CDMA b) CDMA en canal de subida y bajada con diferentes usuarios (códigos) 48
Figura 2.30. Gráfica de canales de subida y bajada (*Uplink, Downlink*) 49
Figura 2.31. Uso de ranuras de tiempo (*slots*) en transmisión y recepción 52
Figura 2.32. Estructura de tramas en GSM 55
Figura 2.33. Ráfaga normal GSM 56
Figura 2.34. Ráfaga de sincronización GSM 57
Figura 2.35. Ráfaga de corrección de frecuencia GSM 58
Figura 2.36. Ráfaga de acceso aleatorio GSM 59
Figura 2.37. Ráfaga normal GSM - EDGE 63
Figura 2.38. Evolución de los estándares CDMA2000 63
Figura 2.39. Tasas de propagación SR1 CDMA2000. a) “1x” b) “3x” 65
Figura 2.40. Espectro expandido por secuencia directa DSSS 67
Figura 2.41. Tabla de la función “XOR” 68
Figura 2.42. Correlación entre señales. a) Correlación 100% b) Correlación 0% 68
Figura 2.43. Generación de matriz Walsh 69
Figura 2.44. Códigos Walsh 70

Figura 2.45. Propagación de un símbolo con un código Walsh 72
Figura 2.46. Secuencia codificada por un código ortogonal de 4 dígitos 72
Figura 2.47. Decodificación usando el mismo código ortogonal..... 73
Figura 2.48. Diagrama de bloque flujo de datos CDMA 75
Figura 3.1. Panel Frontal AnritsuMG3700A..... 77
Figura 3.2. Panel Trasero AnritsuMG3700A..... 81
Figura 3.3. Menú funciones pantalla principal MG3700A 83
Figura 3.4. Ventana de ingreso de valores numéricos 87
Figura 3.5. Ventana de selección de un ítem 87
Figura 3.6. Ventana de ingreso de una cadena de caracteres..... 87
Figura 3.7. Descripción de ventana de configuración de frecuencia 89
Figura 3.8. Menú de funciones de frecuencia 91
Figura 3.9. Pantalla principal de nivel de señal 94
Figura 3.10. Menú de funciones de nivel de señal 97
Figura 3.11. Modo relativo de nivel de señal..... 98
Figura 3.12. Nivel actual de señal usando modo relativo 99
Figura 3.13. Nivel de señal encendido con *RF Output* 100
Figura 3.14. Diagrama de interno del equipo de modulación y salida RF de la señal..... 100
Figura 3.15. Descripción de pantalla principal del menú de modulación..... 102
Figura 3.16. Menú de funciones de modulación..... 104
Figura 3.17. Relación entre archivos de combinación *(Combination)* y archivos patrón *(Pattern)* 107
Figura 3.18. Esquema de la salida del patrón de forma de onda. Patrones (*Pattern*) y paquetes (*Package*)..... 107
Figura 3.19. Ventana de carga de formas de onda 108
Figura 3.20. Menú de funciones de la pantalla de formas de onda 109
Figura 3.21. Ventana de selección de paquete 111
Figura 3.22. Ventana de selección del archivo de forma de onda..... 111
Figura 3.23. Método de carga de un patrón de onda muy largo..... 112
Figura 3.24. Ventana de selección de archivos..... 113
Figura 3.25. Información de patrón 116
Figura 3.26. Estado de salida del patrón..... 117
Figura 3.27. Conector I/Q del panel trasero 117

Figura 3.28. Estado de señal I/Q de salida 118
Figura 3.29. Generador vectorial Anritsu MS2036 118
Figura 3.30. Vista superior de conectores 119
Figura 3.31. Vista frontal Analizador vectorial MS2036A 120
Figura 3.32. Típica vista de modo: analizador de espectro 123
Figura 3.33. Bloque de funciones de frecuencia 125
Figura 3.34. Bloque de funciones de *Span* 126
Figura 3.35. Bloque de funciones de amplitud 127
Figura 3.36. Bloque de funciones de ancho de banda 128
Figura 3.37. Bloque de mediciones 129
Figura 3.38. Bloque de trazas 130
Figura 3.39. Sistema de comunicación entre PC y MG3700A 132
Figura 3.40. Instalación software IQproducer 134
Figura 3.41. Selección de instrumento 135
Figura 3.42. Ventana de programa IQproducer 135
Figura 3.43. Como conectar el MG3700Aal PC 136
Figura 3.44. Ventana de "*Conexiones de Red*" 136
Figura 3.45. Ventana de "*Propiedades de conexión de área local*" 137
Figura 3.46. Ventana de "*Propiedades de conexión de área local*" 137
Figura 3.47. Habilitar y deshabilitar la conexión 138
Figura 3.48. Habilitar y deshabilitar la conexión 138
Figura 3.49. Cambiar DCHP del equipo y signar una dirección IP 138
Figura 3.50. Abrir el panel de transferencias del IQproducer 139
Figura 3.51. Abrir el panel de transferencias del IQproducer 140
Figura 3.52. Acceder al sistema de generación TDMA 141
Figura 3.53. Ventana principal de configuración TDMA 142
Figura 3.54. Ventana de configuración de modulación 143
Figura 3.55. Ventana de configuración de datos 144
Figura 3.56. Ventana del filtro *Nyquist* con varios 144
Figura 3.57. Ventana de nombre del patrón 145
Figura 3.58. Métodos para calcular el patrón final 146
Figura 3.59. Ventana de ruta de trasferencia de archivos 146
Figura 3.60. Acceso al 1xEV-DO 147
Figura 3.61. Pantalla de edición de portadora 1xEV-DO *forward* 148

Figura 3.62. Pantalla de edición de parámetros *RPC/RA CH* 150
Figura 3.63. Pantalla de hoja de composición de múltiples portadoras..... 152
Figura 4.1. Diagrama de conexión entre generador y analizador..... 157
Figura 4.2. Modo de uso de patrón, Definido 160
Figura 4.3. Configuración de frecuencia de portadora y potencia 160
Figura 4.4. Cargar patrón de forma de onda en memoria A..... 161
Figura 4.5. Paquete GSM con el contenido del patrón guardado anteriormente 161
Figura 4.6. Patrón BPSK_PN9 cargado al equipo..... 162
Figura 4.7. Configuración de parámetros predeterminados 162
Figura 4.8. Ajuste de parámetros I/Q 163
Figura 4.9. Ajuste de nivel I/Q 164
Figura 4.10. Configuración de menú avanzado..... 164
Figura 4.11. Señal de modulación y RF encendidas..... 165
Figura 4.12. Analizador de espectro en *Full Span*..... 166
Figura 4.13. Visualización de la señal ajustada frecuencia y *Span* 167
Figura 4.14. Traza suavizada por la función promedio..... 167
Figura 4.15. Ajuste de *Span* a 1 MHz..... 168
Figura 4.16. Función de *medición de potencia*..... 169
Figura 4.17. Selección del patrón GMSK_PN9 170
Figura 4.18. Configuración 350 MHz y -1 dBm..... 170
Figura 4.19. Configuración de parámetros RBW..... 171
Figura 4.20. Espectro señal GSM -1 dBm..... 172
Figura 4.21. 350 MHz, -20 dBm 172
Figura 4.22. 350 MHz, -40 dBm 173
Figura 4.23. 350 MHz, -60 dBm 173
Figura 4.24. Espectro en 350 MHz, -10 dBm 173
Figura 4.25. Espectro en 350 MHz, -40 dBm 174
Figura 4.26. Espectro en 350 MHz, -80 dBm 174
Figura 4.27. Resultados de variación de amplitud..... 175
Figura 4.28. Configuración de la práctica..... 177
Figura 4.29. Efecto producido sin usar función “Max Hold”..... 178
Figura 4.30. Cambio de RBW a automático 178
Figura 4.31. Señal de GSM en time slot 0..... 179
Figura 4.32. Configuración para patrón NB_8PSK..... 181

Figura 4.33. Figura para GSM, patrón NB_8PSK, 400MHz, -60 dBm 182
Figura 4.34. Selección del paquete CDMA2000 184
Figura 4.35. Configuración para patrón FWD_RC1-2_9channel 184
Figura 4.36. Figura de CDMA2000, patrón FWD_RC1-2_9channel, 800 MHz, -5 dBm 185
Figura 4.37. Configuración principal del patrón FWD_RC3-5_9channel 187
Figura 4.38. Figura de CDMA2000, patrón FWD_RC3-5_9channel, 900 MHz, -45 dBm 188
Figura 4.39. Selección del patrónFWD_1228_8kbps_1slot en la memoria A 190
Figura 4.40. Configuración para patrón FWD_1228_8kbps_1slot 190
Figura 4.41. Figura de EV-DO, patrón FWD_1228_8kbps_1slot, 500 MHz, -10 dBm 191
Figura 4.42. Selección del patrón UL_64kbps_Packet a la memoria A 193
Figura 4.43. Configuración para patrón UL_64kbps_Packet 193
Figura 4.44. Figura de WCDMA, patrón UL_64kbps_Packet, 100 MHz, -5 dBm 194
Figura 4.45. Cable DB-15 a doble BNC para señales I y Q 199
Figura 4.46. Conexión entre generador y osciloscopio con el cable DB-15 a doble BNC 199
Figura 4.47. Configuración de parámetros banda base para salida de señales I/Q 200
Figura 4.48. Equipo configurado previamente antes de las prácticas I/Q 201
Figura 4.49. Elección del patrón GMSK_TN0 202
Figura 4.50. Señal I/Q, GMSK_TN0 203
Figura 4.51. Tiempo de slot GSM, GMSK 204
Figura 4.52. Diagrama de constelación GMSK 205
Figura 4.53. GMSK práctico de un sistema real de medición [15] 206
Figura 4.54. Ecuación de amplitud de un símbolo 206
Figura 4.55. Elección del patrón 8PSK_TN0 207
Figura 4.56. Señal I/Q, 8PSK_TN0 208
Figura 4.57. Tiempo de slot GSM – EDGE, 8PSK 209
Figura 4.58. Diagrama de constelación 3pi/8 8-PSK 210
Figura 4.59. Diagrama teórico 3pi/8 8-PSK 211
Figura 4.60. Diagrama polar de vector usado para medir sistemas reales EDGE 212

Figura 4.61. Elección del patrón FWD_RC1-2_9channel 213
Figura 4.62. Señal I/Q, BPSK RC1 y RC2 214
Figura 4.63. Diagrama de constelación BPSK - doble 215
Figura 4.64. Elección del patrón RVS_153_6kbps_RX 216
Figura 4.65. Señal I/Q, QPSK canal de reversa 217
Figura 4.66. Diagrama de constelación QPSK 218
Figura 4.67. Ventana TDMA, "*No Format*" 223
Figura 4.68. Selección de esquema de modulación: BPSK 224
Figura 4.69. Apertura de *Block de Notas* de *Windows* 224
Figura 4.70. Secuencia binaria introducida por el usuario 225
Figura 4.71. Grabar en la carpeta de TDMA dentro del IQproducer 225
Figura 4.72. Selección datos: "UserFile" 226
Figura 4.73. Selección de filtro: Sin filtro 227
Figura 4.74. Información de configuración de patrón 227
Figura 4.75. Ventana predefinida de nombre del patrón 228
Figura 4.76. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_sfiltr 228
Figura 4.77. Ruta para guardar patrón TDMA 229
Figura 4.78. Proceso de creación de forma de onda 229
Figura 4.79. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA 230
Figura 4.80. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_Nyq 230
Figura 4.81. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA 231
Figura 4.82. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_RtNyq 231
Figura 4.83. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA 232
Figura 4.84. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_Gss 232
Figura 4.85. Configuración de Filtro: Gaussiano, Corte: Fs/4 233
Figura 4.86. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA 233
Figura 4.87. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_Ideal 233
Figura 4.88. Abrir el panel de transferencias del IQproducer 234
Figura 4.89. Ventana de conexión al equipo vía dirección IP 234
Figura 4.90. Ventana de asistente de transferencias 235
Figura 4.91. Archivos de computador trasladados al MG3700A 235
Figura 4.92. Función de gráficas en función del tiempo IQproducer 236
Figura 4.93. Análisis en el tiempo "*Time Domain*" 237
Figura 4.94. Comparación de señales I/Q en el tiempo 238

Figura 4.95. Osciloscopio: Señal original sin filtro 239
Figura 4.96. Osciloscopio: *Nyquist* (Roll Off: 0,6) 240
Figura 4.97. Osciloscopio: Señal Original *Root Nyquist* (Roll Off: 0,6) 240
Figura 4.98. Osciloscopio: Gaussiano BT: 0,6 241
Figura 4.99. Osciloscopio: Filtro ideal pasa bajos (Fs/4) 241
Figura 4.100. Diagrama de constelación BPSK. a) Sin filtro b) Filtro *Root Nyquist, Roll Off*: 0,6 242
Figura 4.101. Función de gráficas FFT 243
Figura 4.102. Ventana de análisis de frecuencia FFT 244
Figura 4.103. Comparación de señales I/Q en el tiempo: Nyquist y Root Nyquist 244
Figura 4.104. Comparación de señales I/Q en el tiempo: Gaussiana, Filtro ideal pasa bajos 245
Figura 4.105. Comparación de todos los filtros y su ancho de banda 245
Figura 4.106. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_sfiltr 247
Figura 4.107. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_Nyq 248
Figura 4.108. Función de transferencia del filtro Nyquist 248
Figura 4.109. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_RtNyq 249
Figura 4.110. Sistema de transmisión usando filtros *Root Nyquist* en etapa de transmisión y recepción 250
Figura 4.111. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_Gss 250
Figura 4.112. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_Ideal 251
Figura 4.113. Función de transferencia de un filtro de respuesta finita *Chebyshev equiripple* 252
Figura 4.114. Efecto del filtraje en diagramas de constelación. a) Sin filtro. b) Filtro suave. c) Filtro estricto 253
Figura 4.115. Señal DQPSK. a) Diagrama polar b) Diagrama de constelación . 253
Figura 4.116. Configuración del equipo MG3700 para generar I/Q y RF 254
Figura 4.117. Señal BPSK y pulso obtenido 255
Figura 4.118. Ventana TDMA, “*No format*” 257
Figura 4.119. Selección de esquema de modulación: BPSK 258
Figura 4.120. Block de notas, secuencia 16 QAM 258
Figura 4.121. Selección datos: “UserFile”, “16QAM.txt” 259
Figura 4.122. Selección de filtro: Sin filtro 259

Figura 4.123. Información de configuración de patrón 260
Figura 4.124. Configuración del nombre del patrón: BPSK_mod_orig_A..... 260
Figura 4.125. Ruta para guardar patrón TDMA..... 261
Figura 4.126. Configuración modulación: QPSK..... 262
Figura 4.127. Configuración del nombre del patrón: QPSK_mod_B 262
Figura 4.128. Configuración modulación: 16QAM..... 262
Figura 4.129. Configuración del nombre del patrón: 16QAM_mod_D..... 263
Figura 4.130. Configuración modulación: 8-PSK..... 263
Figura 4.131. Block de notas, secuencia 9-PSK 264
Figura 4.132. Configuración del nombre del patrón: 8PSK_mod_C..... 264
Figura 4.133. Imagen de los patrones de forma de onda MOD_TDMA en el MG700A 264
Figura 4.134. I/Q del patrón de onda BPSK y secuencia de datos “16QAM.txt” 266
Figura 4.135. I/Q del patrón de onda QPSK y secuencia de datos “16QAM.txt” 267
Figura 4.136. I/Q del patrón de onda 8-PSK y secuencia de datos “8PSK.txt” .. 268
Figura 4.137. I/Q del patrón de onda 16-QAM y secuencia de datos “16QAM.txt” 269
Figura 4.138. Señales I y Q por separado del Patrón A: BPSK..... 270
Figura 4.139. Señales I y Q por separado del Patrón B: QPSK 271
Figura 4.140. Señales I y Q por separado del Patrón C: 8PSK..... 271
Figura 4.141. Señales I y Q por separado del Patrón D: 16QAM..... 272
Figura 4.142. Constelación BPSK. a) Osciloscopio b) Valor teórico 274
Figura 4.143. Constelación QPSK. a) Osciloscopio b) Valor teórico..... 274
Figura 4.144. Constelación 8PSK. a) Osciloscopio b) Valor teórico..... 275
Figura 4.145. Constelación 16QAM. a) Osciloscopio b) Valor teórico..... 275
Figura 4.146. Apertura de 1xEVDO FWD 278
Figura 4.147. Ventana de *1xEVDO Forward Channel*..... 278
Figura 4.148. Configuración de parámetros comunes..... 279
Figura 4.149. Configuración de parámetros comunes..... 279
Figura 4.150. Configuración tasa de datos y modulación..... 280
Figura 4.151. Configuración tasa de datos y modulación..... 280
Figura 4.152. Parámetros de canales RPC y RA 281
Figura 4.153. Ventana de configuración final del patrón de onda 281
Figura 4.154. Pestaña “*Multicarrier Composition”* 282

Figura 4.155. Creación correcta del patrón: EVDO_baja_simple 283
Figura 4.156. Paquete “1xEVDO_FWD_IQproducer” dentro del MG3700A..... 283
Figura 4.157. Medición espectro IQproducer FFT 284
Figura 4.158. Configuración MG3700A para espectro patrón “EVDO_baja_simple” 284
Figura 4.159. Figura 4.160. Medición espectro con analizador de espectro 285
Figura 4.161. Señales I y Q por separado del patrón “EVDO_baja_simple” 286
Figura 4.162. Constelación QPSK de patrón de señales “EVDO_baja_simple”. 287
Figura 4.163. Señal CDMA con principio de división en el tiempo 288

GLOSARIO

1G	Primera generación de sistemas de telefonía celular móvil.
2G	Segunda generación de sistemas de telefonía celular móvil.
2.5G	Brecha entre 2G y 3G, tecnologías como GPRS, EDGE o CDMA2000.
3G	Tercera generación de sistemas de telefonía celular móvil.
802.11	IEEE 802.11, conjunto de estándares de tecnología inalámbrica enfocados a redes locales LAN, o redes metropolitanas MAN.
A/D ó ADC	Analógico a Digital.
ALC	*Automatic Level Control*. Sistema de control automático que ajusta la señal entrante a un nivel predeterminado.
AMPS	*Advanced Mobile Phone System.*Sistema de Telefonía Móvil Avanzada.
ARP	"*Autoradiopuhelin*" o "*car radio phone*". Sistema de telefonía celular manual en los años 70. Considerado como sistema precursor a 1G.
AWG	*Arbitrary Waveform Generador*. Generador arbitrario de ondas
AWGN	*Additive White Gaussian Noise*. Ruido Blanco Aditivo Gaussiano. Es un modelo de ruido con una densidad espectral constante y una distribución gaussiana de amplitud.

Baud Rate Tasa de Baudios. También se conoce como tasa de símbolos.

BER: *Bit Error Rate*. Tasa de error de bit.

Bit Rate Tasa de Bits.Número de bits transmitidos por segundo.

Bluetooth Es un estándar inalámbrico de uso abierto para intercambio de información en pequeñas distancias.

BT *Bandwidth Time Product*. Parámetro del filtro Gaussiano del ancho del filtro.

cdmaOne Nombre comercial del estándar IS-95 de telefonía móvil celular que usa CDMA como técnica de acceso al medio.

CDMA *Code Division Multiple Access*. Acceso Múltiple por División de Código.

CDMA2000 Estándar de telefonía celular 2.5G y 3G (mejoras como EV-DO)

CF *Compact Flash*. Dispositivo de almacenamiento de datos, usado en dispositivos electrónicos portátiles.

CRC *Cyclic Redundacy Check*. Control de redundancia cíclica. Técnica de corrección de errores.

CT2: *Cordless Telephony 2*. Sistema primitivo de la telefonía inalámbrica digital, posterior a CT1.

DECT *Digital European Cordless Telecommunications*. Estándar inalámbrico digital europeo.

D/A *ó* DAC Digital a Analógico.

dB Decibelio.

dBm Relación de potencia sobre un mili Watt (mW).

Downlink Transmisión desde la estación base hacia el terminal. Contrario a*Uplink.*

DSSS *Direct Sequence Spread Spectrum*. Espectro expandido por secuencia directa.

EDGE *Enhanced Data for GSM Evolution*. Evolución de sistemas GSM para trasmisión de datos a altas velocidades.

EV-DO *Evolution Data Optimized*. Mejora de tecnología GSM que usa modulación 8-PSK.

FDMA *Frequency Division Multiple Access*. Acceso múltiple por división de frecuencia.

FFT: *Fast Fourier Transform*. Transformada rápida de Fourier.

FIR *Finite Impulse Response*. Respuesta finita al impulso. Termino referido a los filtros digitales.

Full-Duplex Método de comunicación simultánea de dos vías, ambas nodos pueden transmitir simultáneamente.

FHSS *Frequency Hopping Spread Spectrum*. Espectro expandido por salto de frecuencia.

GHz Giga Hercio. 10^9 Hz.

GMSK *Gaussian Minimum Shift Key*. Tipo de modulación usada en GSM en la interface aire.

GPIB *General Purpose Instrumentation Bus*. Un protocolo y un bus de interconexión que permite la conexión de múltiples instrumentos en una red bajo la dirección de un controlador. Conocido también como *IEEE 488 bus*.

GPRS *General Packet Radio Service*. Evolución de GSM. Provee el servicio de datos para como una red de paquetes conmutados.

GPS *Global Positioning System*. Sistema de posicionamiento global.

GSM *Global System for Mobile Communications*. Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

Half-duplex Método de comunicación en el que dos usuarios hablan sobre el mismo canal de comunicaciones, esperando su turno para transmitir.

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Es una organización profesional internacional sin fines de lucro para el avance de la tecnología relacionados con la electricidad.

IS-54 Estándar de telefonía móvil. Conocido como AMPS digital o D-AMPS.

IS-136 Estándar de telefonía móvil. Mejora de IS-54 o D-AMPS.

IS-95 Estándar de telefonía móvil celular conocido por su nombre comercial cdmaOne.

ISI	*Intersymbol Interference*. Interferencia entre símbolos.
I/Q	*In-Fase, Quadrature*.Señales de fase y cuadratura usadas en modulación por cuadratura.
kHz	Kilo Hercio. 10^3 Hz.
LAN	*Local Area Network*. Red de área local.
LO	*Local Oscillator*. Oscilador local.
MAN	*Metropolitan Area Network*. Red de área metropolitana.
MCS	*Modulation and Coding Schemes*. Modulación y esquemas de codificación.
MHz	Mega Hercio. 10^6 Hz.
MTSO	*Mobile Telephone Switching Office*. Oficina de Conmutación de Telefonía Móvil llamada usualmente MSC.
MSC	*Mobile Switching Center*. Central de conmutación móvil, o conocida también como MTSO.
NMT	*Nordic Mobile Telephone*. Telefonía Nórdica móvil. Estándar de telefonía celular de 1G.
Overshoot	Valor de exceso que tiene una señal en estado estable (sobre pico).
Payload	Bloque de información a ser procesada o transportada en un flujo de datos sobre una red. Parte que representa información útil al usuario, contrario a la información de cabecera.

PDC *Personal Digital Cellular*. Estándar de telefonía celular 2G desarrollado y usado exclusivamente en Japón.

PHS *Personal Handy-phone System*. Estándar de telefonía celular 2G popularizado en China y Japón.

PN9 *Pseudo-random Bit Sequence* (9-bit).Secuencia de bits seudo aleatoria.

PN *Pseudo Noise*. Seudo ruido. Señal usada para expandir espectro y como señal ortogonal en un canal de subida de CDMA.

PSK *Phase Shift Keying*. Método de modulación digital usando cambio de fase.

Push-To-Talk Pulsa y habla. Método para hablar en líneas *half-duplex* de comunicación, apretando un botón para transmitir y liberándolo para recibir.

QAM *Quadrature Amplitud Modulation*. Modulación de amplitud en cuadratura.

RBW *Resolution Bandwidth*. Ancho de banda de resolución.

Roaming Itinerancia. Concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra. Generalmente el término es aplicado en cobertura internacional entre operadoras.

SNR *Signal to Noise Ratio*. Relación señal a ruido.

SPAN Rango de visualización horizontal de equipos de medición.

TACS *Total Access Communication System.* Sistema de Comunicación de Acceso Total.

TDMA *Time Division Multiple Access*. Acceso múltiple por división de tiempo.

Throughput Monto actual de información no redundante que es transmitido o procesado.

Trigger Disparo. Se refiere a una señal piloto que inicia el proceso de medición.

UMTS *Universal Mobile Telecommunications System*. Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, sistema de telefonía celular de tercera generación.

Uplink Transmisión desde el terminal hacia la estación base. Contrario a *Downlink*.

USB *Universal Serial Bus*. Bus universal serial. Interfaz de transferencia de datos.

VGA *Video Graphics Array*. Arreglo de video gráfico. Se refiere a una pantalla analógica estándar de ordenadores o el conector VGA de 15 clavijas tipo D subminiatura.

VBW *Video Bandwidth*. Ancho de banda de video.

WLAN *Wireless LAN.* Redes inalámbricas de area local.

W-CDMA *Wideband CDMA*. CDMA ensanchado.

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Historia de las telecomunicaciones

La necesidad de comunicarse ha existido desde los inicios de la humanidad, la creación del lenguaje es una de las herramientas más conocidas y sencillas que ha creado el ser humano para expresar sus ideas. Una vez creado el lenguaje y con la expansión de la civilización humana por los diferentes territorios del mundo, aparece una nueva necesidad, comunicarse a largas distancias. Las civilizaciones antiguas crearon varios métodos de comunicación a larga distancia como señales de humo, fuego y otro tipo de señales que podían ser divisadas o escuchadas a varios cientos de metros a la redonda.

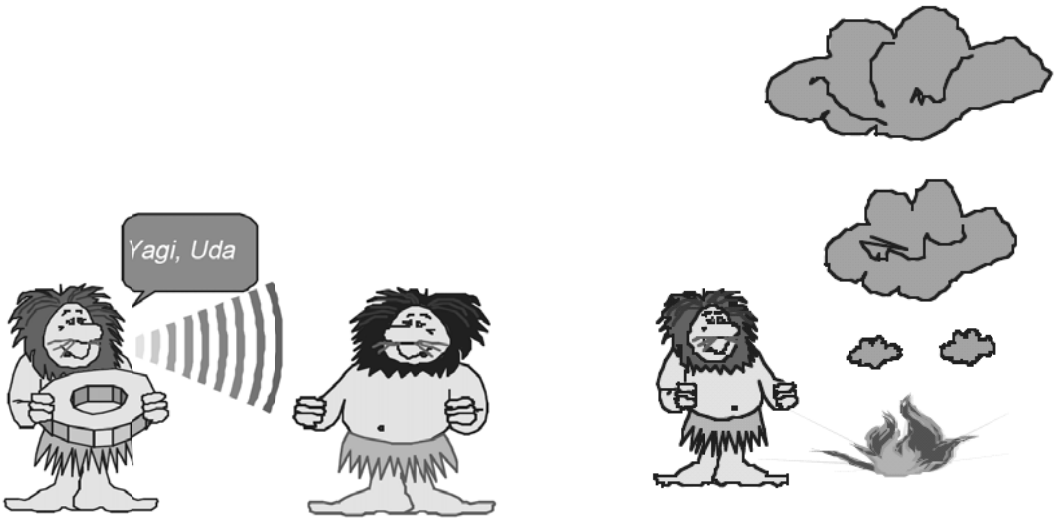


Figura 1.1. Comunicación por un lenguaje primitivo (izquierda). Hombre comunicándose a la distancia a través de señales de humo (derecha).

La evolución de las telecomunicaciones creció en un inicio con las comunicaciones cableadas, se inventó así el telégrafo y el teléfono como medios de comunicación. Tardó un poco más de tiempo en que las tecnologías inalámbricas aparezcan. En 1895 Marconi, científico italiano inventa la radio, la cual convierte una señal de eléctrica de información en una onda electromagnética la cual es transmitida al espacio usando elementos radiantes conocidos como antenas.

Con el desarrollo de la tecnología digital, las señales pueden ser sintetizadas y procesadas a una velocidad muy alta, usando elementos como microprocesadores o computadoras. Este método provee trasmisión de video, audio y datos de manera confiable y de alta calidad.

Las tecnologías celulares han evolucionado con una rapidez increíble debido al desarrollo de la tecnología y a la necesidad de la personas de comunicarse, mantener un vínculo permanente con sus seres queridos o por motivos de trabajo.

El concepto de tecnología celular empezó a desarrollarse a partir de sistemas troncalizados, sistemas de radio de dos vías (*half-duplex*) con únicamente capacidad de voz. Hoy en día existen sistemas celulares como por ejemplo de Tercera Generación (3G) que pueden brindar servicios de voz, datos y video por una porción de espectro radioeléctrico limitado a través de protocolos de alto nivel y una infraestructura física como teléfonos móviles y radio bases complejas.

Los primeros sistemas celulares eran totalmente analógicos, se usó la técnica más sencilla de todas, el acceso por división de frecuencia (FDMA), pocas frecuencias disponibles para el uso de los usuarios. Este sistema también tenía como inconveniente el gran tamaño del dispositivo móvil (elementos analógicos de RF, generalmente por una batería grande para lograr emitir grandes potencias) y la baja cobertura del sistema e inseguridad de las llamadas.

Continuando la evolución, se optimiza el espectro radioeléctrico usando los sistemas de segunda generación que usaban Acceso por División de Tiempo (TDMA) y Acceso por División de Código (CDMA). Estos sistemas tuvieron un gran apogeo y ampliaron las comunicaciones celulares a niveles mundiales, pasando el teléfono celular de ser un lujo a ser una necesidad. A diferencia de la

primera generación analógica, estos sistemas son totalmente digitales y son capaces de transmitir datos a una baja velocidad y de capacidad limitada; de aquí surge el Servicio de Mensajes Cortos (SMS).

Hoy en día, aún en desarrollo y expansión, la tercera generación de telefonía móvil nos permite tener servicios de voz, datos y video optimizado el espectro radioeléctrico con la misma movilidad con nuevos y mejorados dispositivos celulares. Se usan técnicas como CDMA ensanchado (W-CDMA) y la mejora de CDMA a CDMA2000 (una mejora del sistema de segunda generación capaz de proveer servicios de tercera generación).

1.1.1. Situación actual

Las telecomunicaciones orientadas a las comunicaciones inalámbricas cada día crecen con mayor fuerza. El costo de trasmisiones a grandes distancias sin depender de ningún medio físico es mucho más barato que usando algún medio cableado como es un cable coaxial o fibra óptica. Actualmente el uso de aparatos personales, PDAs, teléfonos celulares con aplicaciones inalámbricas, computadoras *wireless* hacen todo más sencillo sin necesidad de cables, por ello las tecnologías de acceso inalámbrico como 802.11X o tecnologías celulares toman cada día más fuerza y su campo de investigación y desarrollo está abierto para el aporte de todos. Es por eso que la Escuela Politécnica Superior Del Ejército considera tener un laboratorio de investigación y desarrollo de telefonía inalámbrica y celular adquiriendo el equipo Generador Vectorial de Señales Anritsu MG3700A. Este es un equipo orientado a la generación y creación de señales en varios estándares para su estudio y análisis.

El objetivo de esta tesis es conocer ciertas tecnologías celulares y su aplicación usando el equipo Anritsu MG3700A, para ello se creará prácticas de laboratorio para los diferentes estándares de telefonía de segunda y tercera generación. Finalmente, el objetivo a largo plazo es crear un precedente para que la Escuela Superior Politécnica del Ejército amplíe la cantidad de equipos de investigación y desarrollo de tecnologías celulares para que aumente el prestigio

de la universidad con equipos de última generación y se inicie con la investigación, desarrollo y creación de nueva tecnología en el Ecuador.

1.2. Generador vectorial de funciones Anritsu MG3700A

El equipo Anritsu MG3700A es un generador vectorial de funciones (*Vector Signal Generator*) de señales inalámbricas para telefonía móvil celular y para comunicaciones inalámbricas del estándar 802.11X.

Figura 1.2. Generador vectorial de funciones Anritsu MG3700A

El generador vectorial de señales MG3700A está basado en un generador de ondas arbitrario de 160 MHz, incluyendo modulación vectorial de banda ancha y grande capacidad de memoria por medio de un disco duro.

¿Qué es un generador de ondas arbitrario? Un generador de onda aleatoria o AWG (*Arbitrary Waveform Generador*), es un equipo electrónico usado para generar formas de onda. Estas formas de onda pueden ser periódicas o instantáneas (una sola vez) por lo que se puede necesitar de un disparo para accionarlo (interno o externo). A diferencia de los generadores de funciones comunes, los AWGs pueden generar cualquier tipo de onda arbitrariamente definida a su salida. La onda es usualmente definida por una serie de *puntos guías* (valores específicos de voltaje sucediendo a tiempos fijos a lo largo de onda) y el AWG puede saltar entre esos niveles o usar varios métodos de interpolación entre esos niveles. Por ejemplo, una onda cuadrada de ciclo de trabajo de 50% puede ser fácilmente obtenida definiendo solamente dos puntos:

en $t_{0\%}$ y fijar el valor de voltaje a 100% y en $t_{50\%}$ fijar el valor de voltaje de salida a 0%. Ajustando el AWG que salte (no interpole) entre estos valores y el resultado es la onda deseada onda cuadrada. Como comparación, una onda triangular puede ser producida con la misma información en tiempo, simplemente fijando el AWG que interpole linealmente entre los puntos.

Las especificaciones técnicas y características generales del equipo son:

- Generación y modulación de patrones de onda en estándares de telefonía celular y en los estándares 802.11.
- Generación de señales I/Q por medio del generador arbitrario de señales interno.
- Capacidad de medición de BER de sistemas reales de comunicación.
- Amplitud y frecuencia portadora variable de 250 kHz a 6 GHz.
- Desactivando la generación de patrones de onda, el equipo funciona como un generador RF variable en amplitud y frecuencia.
- Capacidad de creación o modificación de patrones de onda por medio del software *IQProducer* incluido en el equipo para uso en PC.
- Manejo remoto del equipo a través de LAN RJ45.

1.2.1. Especificaciones y uso del equipo

El equipo MG3700A puede efectuar principalmente pruebas en los estándares de telefonía celular móvil y tecnologías WLAN. Puede generar patrones de señales en muchos estándares de telefonía celular con la función asignar una portadora a la necesidad del usuario. El rango de frecuencia portadora es de 250 kHz a 6 GHz.

Los patrones de forma de onda que incluye el equipo son:

- WLAN (IEEE802.11a/b/g)
- W-CDMA
- GSM-EDGE
- CDMA2000 1xEV-DO (Rev.0)
- CDMA2000 1X

- PHS
- PDC
- *Bluetooth*
- GPS
- *Digital Broadcast*

Además el MG3700A viene con paquetes pre-cargados de ruido gaussiano blanco AWGN el cual ayuda a simular ruido sobre el canal de comunicaciones.

El equipo provee un software llamado *IQproducer* el cual permite editar, modificar y crear patrones de onda en los estándares que vienen cargados el equipo. En el CD que viene incluido en el equipo se encuentra una copia de todos los estándares que vienen pre-cargados en el equipo como seguridad si se modifica alguno o es modificado sin tener algún respaldo. Para la modificación de cada estándar, el equipo necesita una licencia que debe ser adquirida a *Anritsu Corporation*. Cabe mencionar que el software crea un archivo del patrón a modificar con los puntos de los valores I y Q del generador arbitrario.

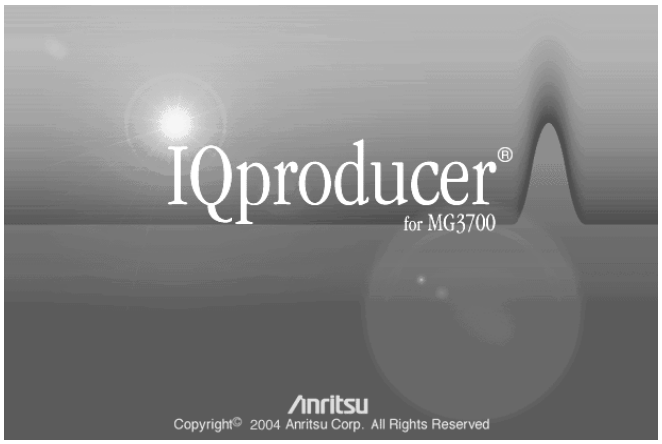


Figura 1.3. Pantalla del inicio del software *IQproducer*.

El software ha sido adquirido con dos licencias para modificación de los estándares:

- TDMA (No pertenece a ninguna tecnología definida como por ejemplo GSM o IS-136)
- CDMA2000 1x EV-DO

1.2.2. Uso del generador vectorial de señales MG3700A en prácticas de laboratorio

El generador vectorial de señales Anritsu MG3700A va a ser utilizado para reproducir los patrones de forma de onda y analizarlos en función del tiempo, frecuencia y un esquema del diagrama de constelación. Además, se potenciará el uso del generador por medio del PC al crear patrones TDMA de diferentes parámetros (esquema de modulación, estructura de *slot* y trama) y modificación de señales CDMA2000 1x EV-DO. Ya que el equipo los patrones de onda por una señal modulada RF, se puede observar la señal en el aire por medio de un analizador de espectro ajustado a la frecuencia de portadora. Se observará las características que tiene esta señal en el espacio abierto.

1.3. Evolución de la telefonía celular

La evolución de la telefonía celular mundial corresponde a una ola de cambios sociales y tecnológicos que se ha dado en este último siglo. A partir de los años 1950, la telefonía tomo sus primeros pasos e investigaciones principalmente en Estados Unidos, Europa y Japón principalmente. Para tener un enfoque global de los diferentes estándares de la telefonía celular se debe establecer las diferentes generaciones. Se tiene actualmente tres generaciones definidas y una cuarta en progreso, aunque no está totalmente definida. Las generaciones van desde primera generación 1G, segunda generación 2G y tercera generación 3G y la última que se encuentra en desarrollo la cuarta generación 4G. La división de las generaciones corresponde a época, tecnología usada y a servicios prestados.

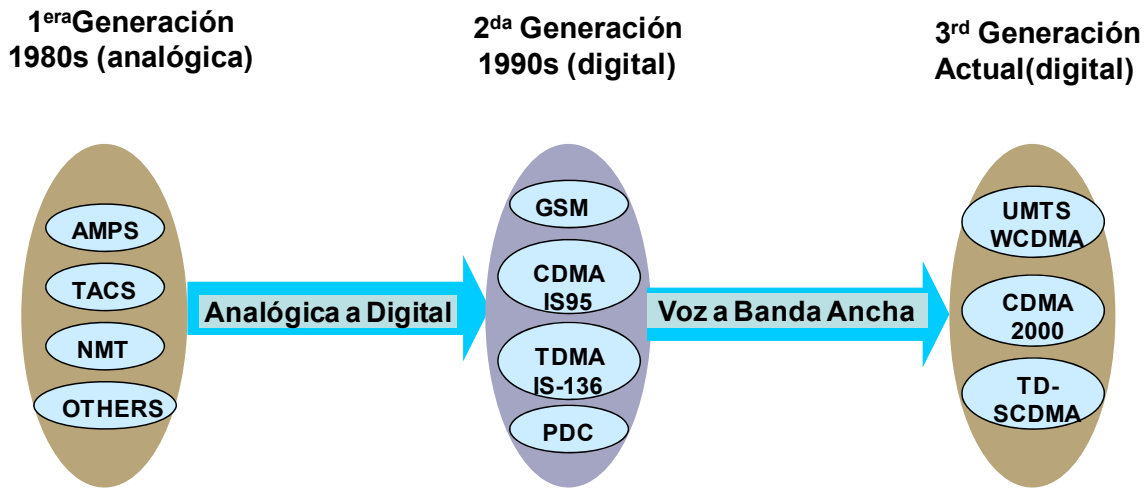


Figura 1.4. Evolución de la telefonía celular a tecnologías 3G

1.3.1. Sistemas de Primera Generación (1G)

La primera generación de telefonía celular era una tecnología de los años 80 y era basada enteramente en tecnología analógica cual su único propósito era transmitir y recibir voz [5].

- **AMPS - Sistema de telefonía Móvil Avanzado**

Sistema de telefonía Móvil Avanzado (*Advanced Mobile Phone System)*, usaba una banda de frecuencia alrededor de 800 MHz. Implementado por primera vez en Estados unidos en 1982 y contaba con sistema de multiplexación por frecuencia, es decir una banda para transmitir y otra para recibir. Fue usado ampliamente en los Estados Unidos, América del Sur y algunos países Europa.

AMPS es la pionera en implementar división de espacio geográfico para conformar una red de celdas que brindan cobertura a grandes aéreas reutilizando el espectro disponible. Además para poder mantener la comunicación en usuarios de diferentes celdas, se implementa la Oficina de Conmutación de Telefonía Móvil o MTSO (también llamado MSC – Centro de Comunicaciones Móviles) y a partir

de ese momento se establece una jerarquía y arquitectura básica de un sistema telefónico móvil básico.

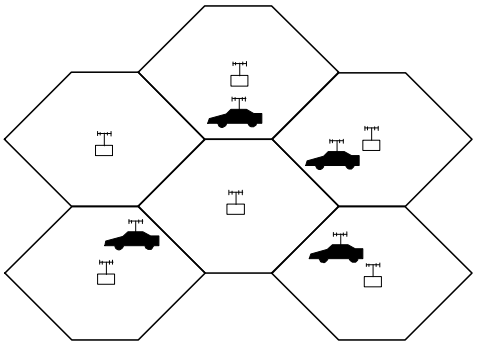


Figura 1.5. Rehúso del espectro por división geográfica

Debido que AMPS es la primera tecnología celular pionera con arquitectura de red y sistema de cobro, las evoluciones de esta tecnología son hacia tecnologías digitales como GSM o CDMA IS-95.

- **TACS**- **Sistema de Comunicación de Acceso Total**

Sistema de Comunicación de Acceso Total (*Total Access Communication System)*, usaba una banda de frecuencia alrededor de 900 MHz. Existieron dos versiones de esta tecnología, la ETACS (Europa) y NTACS (Japón). Este estándar fue usado ampliamente en Inglaterra, Japón y algunos países asiáticos. Esta era una variante de AMPS.

- **NMT – Telefonía Móvil Nórdica**

Telefonía Móvil Nórdica (*Nordic Mobile Telephony*), usaba una banda de frecuencia alrededor de 900 MHz. Implementado en el año 1982 y es considerado como el primer sistema celular totalmente automático a diferencia de redes de

telefonía celular manual como la ARP (Teléfono de automóvil) que ya existían en los años 70. Usado ampliamente en Finlandia, Noruega, Suecia y Dinamarca.

1.3.2. Sistemas de Segunda Generación (2G)

- **GSM - Sistema Global para las Comunicaciones Móviles**

Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (*Global System of Mobile Communication*), usa una banda de frecuencia de 900 MHz. GMS fue creada en Europa y fue diseñada como un estándar TDMA de tecnología celular digital. Como características importantes GSM puede soportar 64 kbps de transferencia de datos y puede interconectarse con redes PSTN. El predecesor de esta tecnología es AMPS, pero GSM es una tecnología totalmente digital que provee de mayor seguridad y mayor capacidad de usuarios. GSM adopta el modo dúplex FDD y el método de acceso múltiple TDMA. Cada portadora o canal GSM soporta 8 canales multiplexados en tiempo (llamados ranuras de tiempo o *time slots*) y usa 200 kHz de ancho de banda.

Se crearon mejoras al sistema que no son consideradas como segunda o tercera generación por sus características como velocidad de datos o servicios prestados. GRPS (2.5G), o EDGE (2.75G) son tecnologías que mejoraron el sistema y brindaron mayor velocidad de datos y servicios como internet, correo electrónico y servicios multimedia.

- **IS-54, IS-136. D-AMPS o *TDMA***

El estándar de Telefonía celular Norteamericana Digital IS-54, también llamado D-AMPS o simplemente *TDMA*. Usaba una banda alrededor de 800 MHz y un acceso múltiple por TDMA. Este sistema tuvo compatibilidad con AMPS haciendo arreglos a la arquitectura de red y tornándola parcialmente digital. IS-54 fue el sistema original de D-AMPS, pero debido a problemas de capacidad, falta

de sistema de mensajería instantánea (SMS) y aún dependencia de sistema analógico se crea IS-136 como mejora del sistema. Aunque este sistema tiende a ser un sistema parecido a GSM (con características como acceso al medio TDMA, sistema digital, servicio de mensajería de mensajes cortos, división del canal en ranuras de tiempo y entre otros), este estándar no tuvo compatibilidad con *roaming* internacional que a diferencia de GSM que si fue creado para brindar este servicio.

- **IS-95 – cdmaOne**

El estándar de Telefonía celular Norteamericana Digital IS-95 o también llamado CDMA (no refiriéndose a la técnica de acceso múltiple) usa una banda de frecuencia alrededor de 800 MHz o 1.9 GHz. IS-95 utiliza la técnica de acceso al medio CDMA (de allí su nombre). El nombre comercial del sistema IS-95 es “cdmaOne” para no confundirse con el término de acceso al medio. A diferencia de GSM u otras tecnologías, este estándar no tiene problema al momento de asignar división geográfica por celdas ya que puede usar las mimas frecuencias en celdas contiguas ya que su sistema se basa en diferenciar a cada usuario y sector de radio base por un código diferente. Usa el método dúplex FDD y su canal tiene un ancho de banda de 1.23 MHz.

Debido que cdmaOne fue ampliamente aceptado como uno de los estándares más robustos y más usados, se crearon mejoras que son llamados generación intermedia 2.5G ya que brindan velocidades de datos mayores, servicios de datos como Internet, mail o servicios multimedia. La evolución 2.5 G de cdmaOne es llamada CDMA2000 1x RTT.

- **PDC – Celular Digital Personal**

Siglas de Celular Digital Personal (*Personal Digital Cellular*), usaba una banda de frecuencia de 800 MHz. GMS fue creada únicamente para su uso en Japón. Al igual que D-AMPS o GSM este estándar usaba tecnología TDMA y fue implementado en el año 1993.

1.3.3. Sistemas de Tercera Generación (3G)

Para el desarrollo de la tercera generación de telefonía móvil celular varias empresas desarrolladoras de hardware de operados celulares se unieron para crear las especificaciones de los estándares de tercera generación. Debido a los dos posibles caminos para una evolución a tercera generación, cdmaOne y GSM, se crean dos grupos encargados de cada tecnología. El 3GPP o *3rd Generation Partnership Project*, es el encargado de desarrollar las tecnologías evolutivas del estándar GSM como son EDGE, GPRS y UMTS que usa W-CDMA. En contraparte existe el grupo 3GPP2 o *3rd Generation Partnership Project 2,* el cual es el encargado de desarrollar las especificaciones para la evolución de cdmaOne, como es CDMA2000.

Aunque UMTS use W-CDMA y CDMA2000 use CDMA, ambas usan técnicas de modulación basadas en CDMA (técnica de acceso), pero su diferencia es en la arquitectura de red, es decir, no tienen que cambiar necesariamente el hardware implementado para brindar dichos servicios, sino aumentar ciertos bloques a su arquitectura para brindar servicios de tercera generación.

- **UMTS - Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles**

Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (*Universal Mobile Telecommunications System*) es un estándar de telefonía celular de tercera generación también llamada W-CDMA (CDMA ensanchado). Es sucesor de GSM ya que conserva su arquitectura de red, pero cambia su interfaz de radio usando W-CDMA como acceso al medio. Como características principales se tiene el acceso a Internet con altas velocidades (transferencia de audio y video a tiempo real), capacidades multimedia y alta calidad de transmisión de voz además de varios servicios adicionales. Puede brindar velocidades de datos hasta 2 Mbps por usuario.

- **CDMA2000**

CDMA2000 es sistema de acceso a la red único que es parte de la especificación IMT-2000 que abarca lo que es conocido como tercera generación (3G). Es conocido como IMT-2000-MC o *Multi-Carrier* de las siglas en ingles que denotan de múltiples portadoras. Usa CDMA como técnica de acceso múltiple para enviar voz, datos y señalización entre terminales y radio bases. CDMA2000 es compatible completamente con redes IS-95 (2G) o cdmaOne y comprende varios estándares o evoluciones como: CDMA2000 1X, CDMA2000 3X, CDMA2000 EV-DO Rev. 0, CDMA2000 EV-DO Rev. A, y CDMA2000 EV-DO Rev.

La evolución de las comunicaciones inalámbricas y sus tecnologías más importantes han este camino.

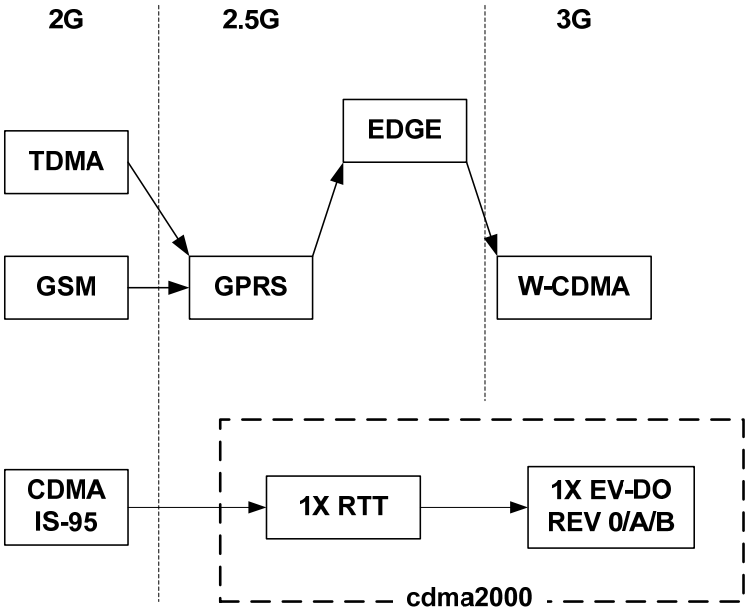


Figura 1.6. Camino de las tecnologías hacia 3G

1.4. Instrumentación electrónica de comunicaciones

La instrumentación electrónica trata de sistemas o equipos que puedan medir magnitudes físicas en un extremo, procesar dicha información y presentarla

un usuario en una magnitud física entendible, ya sea por gráficos o caracteres numéricos o alfanuméricos.

Las ventajas por lo que la tecnología de instrumentación electrónica es la más utilizada en los sistemas de instrumentación son:

- Las señales electrónicas permiten manejar señales en un rango dinámico amplio de tiempo, desde picos segundos, hasta horas.

- Las señales electrónicas pueden ser transmitidas fácilmente a través de cables metálicos, sistemas radiados, o fibra óptica.

- Las señales pueden ser eficientemente amplificadas por circuitos electrónicos y pueden manejarse rangos de señal amplios, desde nano voltios hasta kilovoltios.

- Los sistemas electrónicos permiten complejas transformaciones funcionales de las señales eléctricas (integración de señal o tratamiento digital de señales).

- Ya que las señales eléctricas pueden ser introducidas en los computadores, representan el medio más potente de registro, transformación y presentación de la información.

- La relación prestación costo de una tecnología electrónica es la más eficiente actualmente (debido a la digitalización)

Sin embargo la instrumentación electrónica también presenta ciertas desventajas como:

- Tiene un rango de temperaturas limitado, como por ejemplo desde -20 ºC hasta 150ºC (depende del equipo o sistema usado).

- Son equipos sensibles a la radiación de altas potencias.

- Requiere de una fuente de energía para su operación.

- Los componentes electrónicos activos suelen presentar averías o mal funcionamiento por envejecimiento.

1.4.1. Diagrama básico de un sistema de instrumentación

En la Figura 1.7 se muestra el esquema básico de cualquier sistema de instrumentación.

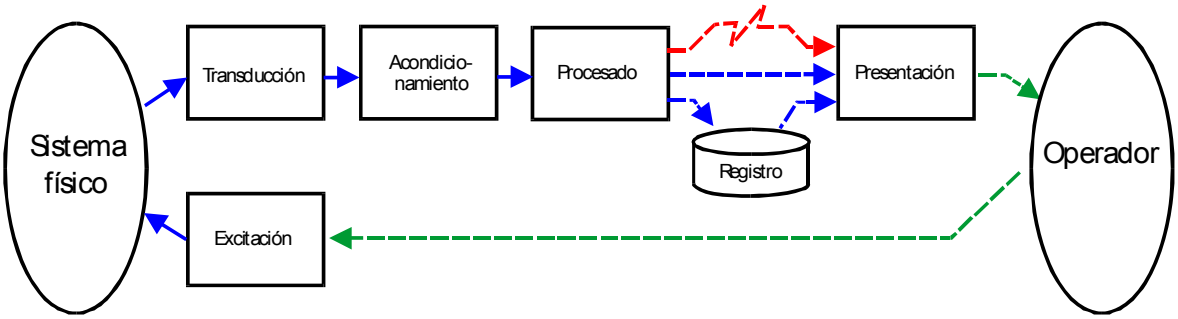


Figura 1.7. Diagrama de sistema de instrumentación básico

- **Transductor**

El transductor es el componente que convierte una magnitud física en otra, es decir, por ejemplo el transductor de un equipo electrónico convierte la señal o magnitud física (como ondas sonoras) a una señal eléctrica. Este transductor puede ser el micrófono, convierte una vibración de ondas sonoras en electricidad. No necesariamente el transductor debe convertir una magnitud física a una señal eléctrica, existen transductores actúan al contrario, por ejemplo una señal eléctrica es convertida por un transductor sonido, como en este caso un parlante.

En este componente se puede diferenciar entre el sensor, que es el elemento sensible primario que responde a las variaciones de la magnitud que se mide, y el transductor que es el que lleva acabo la conversión energética entre la magnitud

de entrada y de salida.

a)

b)

Figura 1.8. Ejemplo de transductores. a) Micrófono, transductor acústico – eléctrico. b) Parlante, transductor eléctrico – acústico

Los transductores se suelen clasificar en dos grupos:

- **Transductores activos:** son dispositivos que generan energía eléctrica por conversión de energía procedente del sistema sobre el que mide. Los transductores activos no necesitan fuente de alimentación para poder operar. Por ejemplo un potenciómetro varía su valor de resistencia eléctrica por desplazamiento o presión.

- **Transductores pasivos:** son aquellos, en los que no se produce conversión de energía. Algún parámetro del transductor es función de la magnitud que se mide, y las variaciones de este parámetro es utilizado para modular la energía eléctrica procedente de una fuente que en este caso se necesita. Por ejemplo, una celda fotovoltaica cambia valor de voltaje por cambios de intensidad luminosa.

- **Acondicionamiento de la señal.**

Este bloque incluye todas aquellas transformaciones que deben realizarse sobre las señales eléctricas que resultan en la salida del transductor, y que son previas al procesado para extraer la información que se mide o evalúa.
Existen dos razones por las que las señales de salida del transductor deban ser

acondicionadas [6]:

- Cuando el tipo de señal eléctrica que se proporciona el transductor no es un valor de tensión, se utiliza un circuito que trate la señal y la convierta a tensión. Así en transductores resistivos, es normal que se utilice un circuito puente para convertir el valor de resistencia a tensión. Cuando el transductor es de tipo capacitivo o inductivo, se suele montar como parte de un oscilador, y la magnitud de salida es una frecuencia, y debe utilizar un convertidor de frecuencia a tensión.

- La señal debe ser acondicionada para incrementar la relación señal ruido hasta niveles adecuados. Esto tipo de acondicionamiento implica amplificarlas señales hasta niveles que sean suficientemente superiores al nivel de ruido eléctrico aleatorio, filtrarla señales para eliminar ruidos introducidos por interferencia eléctrica o cuando el procesamiento de la señal es digital, el acondicionamiento corresponde a una conversión Analógica/Digital.

- **Procesamiento de la señal.**

Incluye el conjunto de transformaciones a que debe ser sometida la señal eléctrica a fin de extraer de ella, la información que se busca.
El procesamiento de la señal suele contener diversas operaciones, sean lineales, no lineales, de composición de múltiple, o de procesado digital de las señales.

- **Registro de la señal**

Consiste en el almacenamiento permanente o temporal de las señales para su posterior análisis o supervisión. Esta operación es necesaria si el flujo de información que se adquieren supera la capacidad de procesamiento de que se dispone. Actualmente los equipos vienen incluidos con memorias de tipo flash o disco duro.

- **Telemetría**

En ocasiones, las señales son adquiridas en puntos remotos, de difícil acceso o con condiciones ambientales hostiles, y es necesario aislar los componentes de captación de los equipos de procesamiento y presentación. En estos casos, es necesario transmitir las señales entre la captación y el procesamiento mediante un canal de comunicación. Para adaptar las señales a las características de canal de comunicación es necesario introducir procesos de modulación, demodulación o codificación apropiados.

- **Presentación de la información**

La información resultante del proceso de medida debe ser presentada de forma comprensible al operador, o elaborada e integrada para que pueda ser interpretada por un sistema supervisor automático.
Los sistemas de presentación de información eléctrica analógica tradicionales, han sido: los indicadores de aguja, los registradores gráficos de papel y pantalla de tubo de rayos catódicos. Actualmente, los terminales alfanuméricos y gráficos basados en computadores suelen ser el método más utilizado para presentar todo tipo de información.

- **Generador de estímulo (*trigger*)**

En muchos casos los sistemas no son activos sino reactivos, y para medir cualquier magnitud, se tiene que estimular el sistema físico mediante señales generadas por la propia instrumentación de medida. Normalmente el estímulo y el proceso de medida deben estar sincronizados, de forma que solo las señales que sean respuesta del estimulo sean analizadas.

1.4.2. Instrumentación electrónica basada en computador

En la actualidad muchos de los equipos de instrumentación están basados en un computador. El computador resuelve todos los aspectos relativos al

procesado de la señal, al registro, a la transferencia y a la presentación de la información. A estos equipos basados en computador, se suelen llamar instrumentación inteligente.

La principal diferencia entre un equipo de instrumentación convencional, y un equipo inteligente es que mientras que en el convencional los datos de medida son generados uno a uno y deben ser interpretado e interpretados por el operador, en la instrumentación inteligente se puede registrar grandes cantidades de información de forma automática y luego presentarla de forma integrada y amigable al operador.

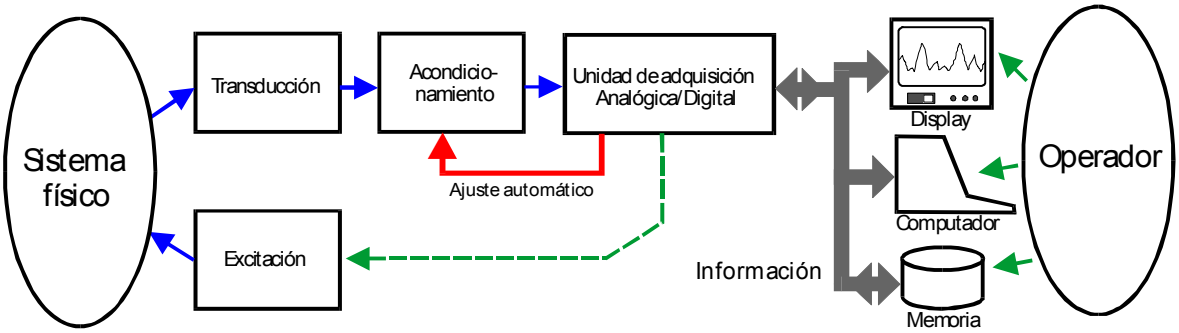


Figura 1.9. Sistema de instrumentación basado en computador

La instrumentación computarizada requiere el uso de transductores y circuitos analógicos que acondicionen la señal a los niveles adecuados para ser codificada en las mejores condiciones por el convertidor A/D, sin embargo el procesado, elaboración y presentación del resultado en la medida se realizan utilizando software.

El computador proporciona una amplia gama de recursos para almacenar la información que se adquiere, así como para presentarla utilizando técnicas numéricas y gráficas, ya sea el caso de un osciloscopio digital con función de transformada rápida de Fourier.

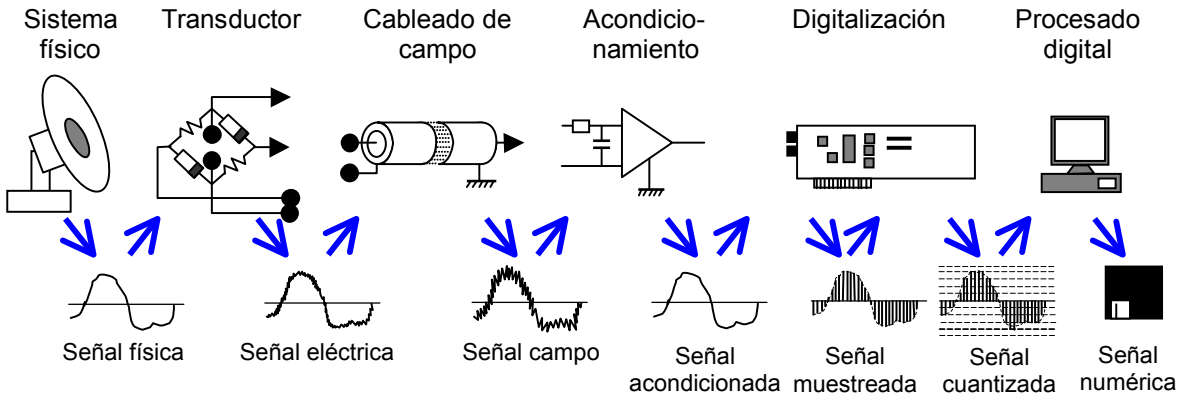


Figura 1.10. Sistema de medición de un sistema usando computador

Al referirse como instrumentación por computador, no es necesario tener un computador externo con entrada de valores, ya que los equipos de medición actuales todo su procesamiento digital y su lógica interior está basada en arquitectura de un sistema computacional, con un microprocesador, memoria RAM, ROM, puertos de salida de datos (USB, VGA) e interfaces gráficas propias de un computador.

1.5. Equipos de instrumentación

En este documento se trata del uso y medición de señales a partir del generador vectorial de señales Anritsu MG3700A. Para el desarrollo de las prácticas se va a utilizar dos equipos de medición, un analizador de espectro y un osciloscopio.

1.5.1. Osciloscopio

Un osciloscopio es un equipo de medición electrónica que permite visualizar señales en el dominio del tiempo. La señal de entrada de un osciloscopio es una señal de voltaje.

La representación de la señal es en forma de coordenadas en la pantalla, en la que normalmente el eje de las abscisas representa tiempo, y el eje de las

ordenadas representa tensiones. La imagen así obtenida se denomina oscilograma.

Existen dos tipos de osciloscopios, analógico y digital. El analógico se basa principalmente en el uso de un tubo de rayos catódicos mientras que el osciloscopio digital usa una pantalla LCD en la que se presenta la señal muestreada por un conversor analógico digital A/D.

1.5.2. Analizador de espectro

Un analizador de espectros permite visualizar señales en el dominio de la frecuencia observando sus componentes espectrales. La señal presente en la entrada de un analizador de espectro de comunicaciones generalmente es una señal RF.

La representación de la señal corresponde en el eje de ordenadas una escala logarítmica con nivel en dBm del contenido espectral de la señal. En el eje de abscisas se representa la frecuencia en Hz, en una escala que es función de la separación temporal y el número de muestras capturadas (RBW).

Los analizadores de espectro al igual como los osciloscopios pueden ser analógicos o digitales. La característica principal de un analizador de espectro digital es el uso de la transformada rápida de Fourier (FFT) que un proceso matemático que transforma una señal en sus componentes espectrales.

1.6. Terminología de instrumentación

Todos los instrumentos de medición poseen características y especificaciones propias que denotan exactitud y precisión. Rangos de medición vertical u horizontal máximos, ancho de banda, resolución de video, resolución de puntos en pantalla y muchos más. Se debe estar familiarizado con la mayoría de estos términos para poder manejar de manera correcta el instrumento y lograr una medición acertada y correcta de acuerdo a las capacidades del equipo.

1.6.1. Rango

Conjunto de valores comprendidos entre límites (superior e inferior) que es capaz de medir el instrumento en los ejes horizontal y vertical. Se indica por los valores *Superior* e *Inferior*, antes mencionados.

1.6.2. Resolución

Es el menor cambio en la variable del proceso capaz de producir una salida perceptible en el instrumento. Se expresa en general como un porcentaje del Límite Superior de medición del instrumento (valor a fondo de escala del mismo).

1.6.3. Error

Se lo define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. El error tiene en general varias causas. Los que se pueden de alguna manera prever, calcular, eliminar mediante calibraciones (la mayoría de equipos con procesamiento por computador tienen una rutina de auto calibración) y compensaciones, se denominan determinanticos o sistemáticos. Los que no se puede prever, pues dependen de causas desconocidas, o estocásticas se denominan aleatorios.

1.6.4. Precisión

Se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión. Una medida común de la variabilidad es la desviación estándar de las mediciones y la precisión se puede estimar como una función de ella.

1.6.5. Exactitud

Capacidad de un instrumento de dar valores de error pequeños. Si un instrumento está calibrado correctamente los errores aleatorios inevitables harán que los resultados de la medición tengan una cierta dispersión, si el promedio de las mediciones coincide con el valor verdadero el instrumento es exacto.

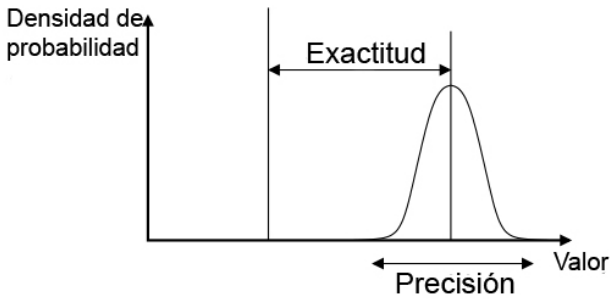


Figura 1.11. Relación entre exactitud y precisión

1.6.6. SPAN

Es el rango de visualización horizontal. Este parámetro es totalmente configurable, es decir que se puede ajustar a la preferencia del usuario. Es un solo valor que comprende de un límite inferior y límite superior de medición, pero generalmente el *Span* propio, es un solo valor fijo. A diferencia del rango máximo del equipo, que son valores extremos y fijos de medición, el *Span* puede visualizar varias porciones del rango total.

1.6.7. Ancho de banda de resolución (*Resolution Bandwidth - RBW*)

Este parámetro determina la resolución de cuantos puntos FFT (transformada rápida de Fourier) o la menor frecuencia que puede procesar un equipo que trabaje en el dominio de la frecuencia como es el caso de un

analizador de espectro. Este parámetro es función generalmente del *Span* escogido, ya que mientras más grande sea el rango de visualización, mas procesamiento debe realizar el equipo y el ancho de banda de resolución se ajusta por este motivo. Por ejemplo dependiendo del equipo, se puede determinar este valor con el número de puntos FFT en la pantalla (1024, 2048 puntos o más), a más puntos de FFT, mayor resolución y detalle tendrá la medición. También se puede especificar el ancho de banda de resolución por medio de un valor de frecuencia (1 MHz, 100 kHz, 1 kHz o hasta valores de hertzios, dependiendo de la especificación del equipo). Mientras el valor de frecuencia sea más pequeño, mayor detalle tendrá la medición (equiparable con poner muchos puntos de FFT).

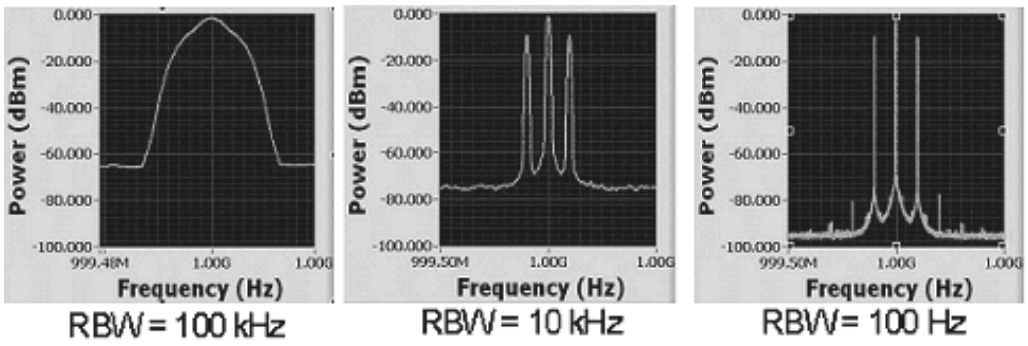


Figura 1.12. Toma de la misma señal por un analizador de espectro con diferentes valores de RBW

En la Figura 1.12 se observa una misma señal variando los valores de FFT RBW. La figura de la izquierda indica un valor bajo de FFT (o alto de frecuencia) lo que hace que se tome menos muestras y aparezca como una señal gruesa. Si se siguen aumentando valores FFT (disminuyendo frecuencia) la señal puede captar detalles que no lo hacía.

1.6.8. Tiempo de barrido (*Sweep Time*)

Es el tiempo en el que la medición se refresca en la pantalla durante un valor de *Span* determinado. Generalmente este tiempo de barrido es función del

Span y del ancho de resolución (RBW) cuando se usa un analizador de espectro. Por ejemplo, si se fija un determinado valor de *Span*, se aumenta el aumenta el valor de FFT de RBW (mayor puntos, medición más exacta), el tiempo de barrido aumenta lo que significa un barrido lento del instrumento. En cambio si en el valor fijado de *Span*, se disminuye el tiempo de barrido (barrido rápido), automáticamente el valor de RBW en FFT disminuirá lo que significa una curva con menos detalles.

La Figura 1.12 explica el aumento de puntos FFT (reducción de frecuencia) en el valor de RBW, pero en la vida real, aumentar mucho el valor de RBW aunque tenemos muchos detalles de la curva, si se quiere captar una señal rápida (en el orden de milisegundos o microsegundos) no se podrá hacer ya que el valor de tiempo de barrido aumentará automáticamente.

CAPITULO II

2 SISTEMAS DE TELEFONÍA MOVIL 3G

2.1. Modulación Digital

El cambio hacia modulación digital provee mayor capacidad de información, compatibilidad con servicios de datos digitales, alta seguridad de datos, mejor calidad de comunicación y disponibilidad con mayor rapidez de sistemas. Los desarrolladores de sistemas de comunicación enfrentan estos problemas:

- Espectro disponible
- Potencia limitada
- Nivel de ruido propio del sistema

El espectro radioeléctrico debe ser compartido, mientras cada día existen mayor cantidad de usuarios que usan el espectro la demanda de servicios de comunicaciones crece. Los esquemas de modulación digital tienen mayor capacidad de transmitir grandes cantidades de información que un esquema de modulación analógica.

Existe una compensación sencilla entre ancho de banda y espectro disponible. Mientras más sencillo sea el hardware de un sistema de comunicación, mayor el espectro usará. Pero si los sistemas de comunicación más complejos que transmitan la misma cantidad de información utilizarán el espectro de mejor manera, obteniendo una eficiencia espectral.

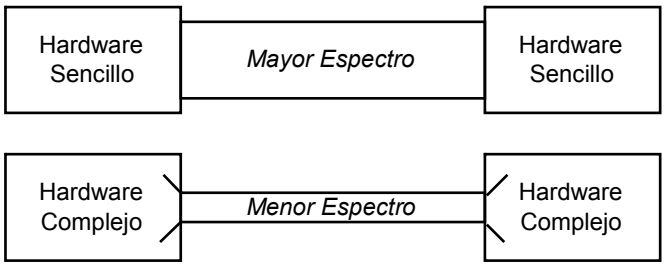


Figura 2.1. Compensación entre espectro y hardware

La transición y tendencia de la industria de comunicaciones ha pasado de simples modulaciones analógicas AM, FM y PM a nuevas técnicas digitales de modulación, como por ejemplo:

- QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)
- FSK (*Frequency Shift Keying*)
- MSK (*Minimum Shift Keying*)
- QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

2.2. Sistemas coherentes e incoherentes.

Los términos coherente e incoherente, son usualmente usados cuando se trata de generación y recepción de modulación digital. Cuando se trata del proceso de modulación el término “coherente” trata de la habilidad del modulador de controlar la frecuencia y la fase de la señal. Por ejemplo se puede generar FSK (*Frequency Shift Keying*) con un modulador coherente *I/Q* e “incoherentemente” se puede lograr con un oscilador controlado de voltaje (VCO) y una fuente digital como se muestra en la Figura 2.2.

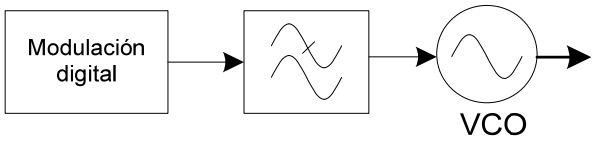


Figura 2.2. Generación incoherente de FSK

Con el sistema de la Figura 2.2, la frecuencia instantánea de la forma de onda es determinada por el modulador (dentro de una tolerancia dada por el VCO y el valor de amplitud) pero la fase instantánea de la señal no puede ser controlada y puede tener cualquier valor. En cambio se puede lograr este tipo de modulación usando un sistema coherente mostrado en la Figura 2.3. Aquí se controla la fase de la señal en vez de la frecuencia.

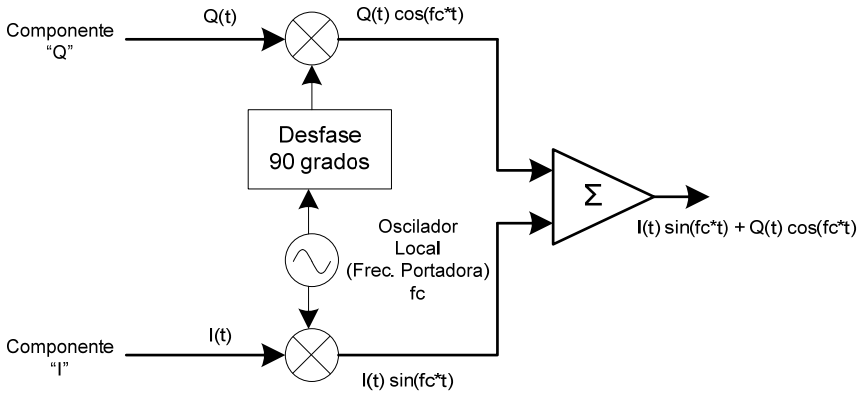


Figura 2.3. Generación Coherente de FSK

Cuando se usa un modulador coherente como por ejemplo para generar FSK, la frecuencia de la señal y la fase son controladas exactamente. El modulador mostrado en la Figura 2.3 ofrece la posibilidad de generar la trayectoria de la fase de la portadora resultante en banda base sea esta con un filtraje análogo o con un procesamiento digital de señales y un conversor analógico a digital (DAC). Esto puede ser usado para generar señales con amplitud constante al igual que con señales moduladas por amplitud, sea este el caso de QAM.

El uso del término "coherente" en la demodulación se refiere a un sistema que realiza el sistema de detección y decisión de la señal basada en la fase y no la frecuencia. Ya que el alto nivel de integración de los aparatos móviles hechos con semiconductores, ha hecho que la demodulación coherente sea común en los sistemas de comunicación.

2.3. Modulación I/Q

Para transmitir una señal por el aire se necesitan básicamente tres puntos esenciales, una señal portadora pura en el transmisor, la señal de portadora se modula con la información a ser transmitida y finalmente en el receptor la señal modulada se decodifica. Existen únicamente tres características que se puede cambiar a una señal en función del tiempo: amplitud, fase y frecuencia. Sin embargo el cambio de frecuencia o fase son diferentes formas de ver o medir la misma señal.

En modulación por amplitud (AM), la amplitud de una portadora es variada en función de la amplitud de la señal del mensaje.

La frecuencia modulada (FM) es el método de modulación analógico más común y usado en sistemas de comunicación móviles. En FM, la amplitud es constante mientras que el cambio se realiza a la frecuencia va cambiando en función de la señal de mensaje.

Amplitud y fase pueden ser moduladas simultáneamente y separadamente, pero es difícil de generar y especialmente difícil de detectar. En cambio en sistemas reales la señal es separada en un set de componentes independientes: I (*In-Fase*) y Q (*Quadrature*). Estos componentes son ortogonales y no interfieren entre ellos.

2.3.1. Representación I/Q

En comunicación digital la modulación generalmente se expresa en términos de I y *Q*. Esta es una representación de un diagrama polar. En el diagrama polar, el eje *I*, recae en un valor de fase o ángulo 0, mientras que el eje *Q* está a 90 grados. La proyección del vector de la señal en el eje *I* es la componente "*I*", mientas que la proyección sobre el eje *Q* es la componente "*Q*".

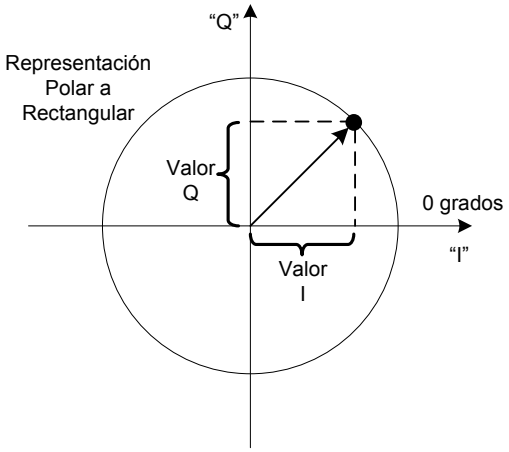


Figura 2.4. Representación I/Q

2.3.2. Radio Transmisor y Receptor *I* y *Q*

Los diagramas *I/Q* son particularmente útiles ya que reflejan la manera en que las señales de la mayoría de sistemas digitales son creadas usando un modulador *I/Q*. En el transmisor, las señales *I* y *Q* son ingresadas a un mezclador con las mismas de un oscilador local (LO). Se coloca una etapa de adelanto de fase de 90 grados en uno de los caminos del (LO). Señales que son separadas por 90 grados son conocidas como ortogonales entre ellas, o simplemente en cuadratura. Señales en cuadratura no interfieren entre ellas. Son dos componentes independientes de la señal. Cuando son recombinados son sumados en una señal compuesta de salida. Existen dos señales independientes en *I* y *Q* que pueden ser enviadas y recibidas con circuitos simples. Esto simplifica el diseño de los radios transmisores digitales. La mayor ventaja de una modulación *I/Q* es la facilidad simétrica de combinar una señal compuesta y después separarla en componentes independientes. La Figura 2.5 muestra el diagrama de un radio transmisor práctico.

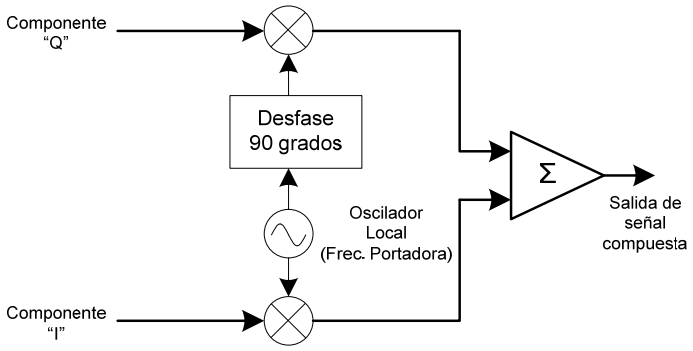


Figura 2.5. Radio transmisor práctico I/Q

Para el radio receptor es de forma contraria, la señal compuesta ingresa al receptor y nuevamente es dividida con la señal del oscilador local y su desfase de 90 grados como muestra la Figura 2.6. Usualmente la información no puede ser procesada en modo polar e interpretada como valores rectangulares sin hacer este proceso antes.

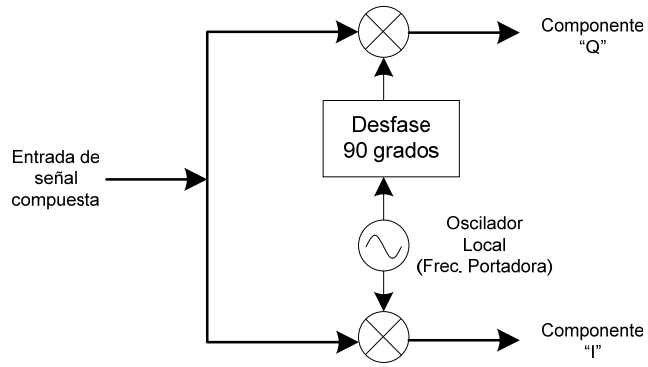


Figura 2.6. Radio receptor práctico I/Q

2.3.3. ¿Por qué usar I/Q?

La modulación es fácil realizarla con moduladores *I/Q*. La mayoría de esquemas de modulación generan un mapa de puntos discretos en el plano *I/Q*. Esto se conoce como puntos de modulación. Mientras la señal se mueve de un punto a otro, se produce la modulación simultánea en fase y amplitud [2]. Para tener estos resultados con un modulador de amplitud y un modulador de fase, es difícil y complejo. Es aun imposible con un modulador de fase convencional.

2.4. Esquemas de modulación digital

Los esquemas de modulación son básicos, como se describió anteriormente, estos tratan de cambiar la portadora en parámetros como fase, frecuencia y amplitud. Además se tienen variantes de esquemas que son usados para diferentes aplicaciones de telefonía celular (estándares) [1].

Aplicación	Esquema de modulación
GSM900	0.3 GMSK
GSM-EDGE	8PSK
CDMA	QPSK, π/4 DQPSK
CDMA2000	BPSK, QPSK

Figura 2.7. Esquemas de modulación y sus aplicaciones

2.4.1. Tasa de Bits y Tasa de Símbolos

Para poder comparar las eficiencias de modulación, es importante comprender la diferencia entre tasa de bits (*bit rate*) y tasa de símbolos (*symbol rate*). El ancho de banda en el canal de comunicación depende de la tasa de símbolos y no de la tasa de bits.

$$Tasa\ de\ Símbolos = \frac{Tasa\ de\ Bits}{Número\ de\ bits\ transmitidos\ con\ cada\ símbolo}$$

Figura 2.8. Ecuación de tasa de símbolos

La Figura 2.9 es un ejemplo de un diagrama de estado de una señal QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*). Los estados pueden ser plasmados como “ceros” y “unos” en el mapa de estados. Este es un diagrama común pero no el único. Cualquier asignación a los estados puede hacerse.

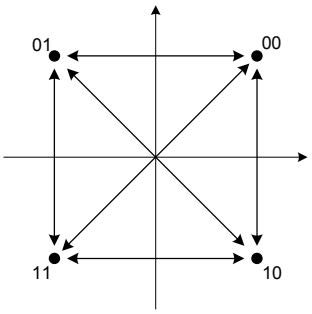


Figura 2.9. Diagrama de estado QPSK, dos bits por símbolo.

Si un bit es transmitido por símbolo, como BPSK (*Bi-Phase Shift Keying*), la tasa de símbolos será igual a la tasa de bits. Si en cambio se transmite dos bits por símbolo como QPSK, la tasa de símbolos será la mitad de la tasa de bits. La tasa de símbolos también es llamada Tasa de Baudios (*Baud Rate*). Cabe recalcar que la tasa de baudios no es lo mismo que tasa de bits, estos términos suelen ser confundidos usualmente. Si se puede trasmitir más bits por símbolo, la misma cantidad de información puede ser enviada a través de un espacio de espectro reducido. Por lo que formatos de modulación más complejos y usan mayor cantidad de estados, pueden enviar la misma información por un pedazo más reducido de espectro radioeléctrico.

En un ejemplo de cómo la tasa de símbolos influye en los requerimientos de espectro, se puede ver el diagrama de 8PSK (*eight-state Phase Shift Keying*) que es una variación de PSK. La fase de la señal puede tener ocho valores en cualquier tiempo de símbolo. Ya que $2^3 = 8$, por lo tanto existen tres bits por símbolo. Esto significa que la tasa de símbolos es un tercio de la tasa de bits

.

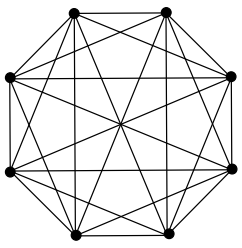


Figura 2.10. 8PSK. Tres bits por símbolo. Tasa de Símbolo = 1/3 tasa de Bits

2.4.2. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

Este tipo de modulación usa el cambio de fase de la señal para representar diferentes estados para transmitir información sin cambiar la amplitud de la señal. Una de las formas más sencillas de esta modulación es BPSK, en la cual tiene dos únicos cambios de fase, 0 grados y 180 grados, mientras la amplitud se constante.

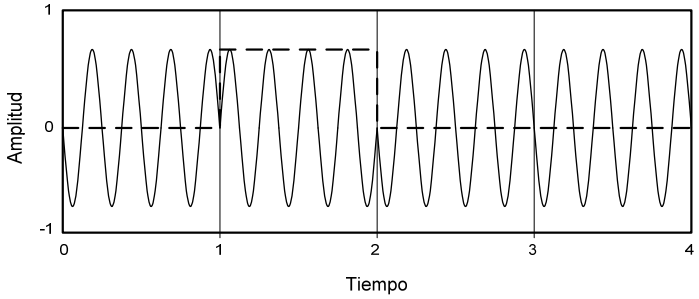


Figura 2.11. BPSK, cambios de señal en 0 grados y 180 grados de fase en el tiempo.

En un diagrama *I/Q*, el estado de *I* tiene dos valores, por lo que se puede transmitir un uno y un cero binario. La tasa de símbolos es un bit por símbolo.

Una de las variantes más comunes de PSK es QPSK. Se usa generalmente en el sistema celular CDMA. La letra “Q” de la sigla en inglés que significa *Cuadratura*, lo que representa que sus estados están separados por 90 grados, empezando el primer estado en 45 grados y así sucesivamente (45, 135, 225, 315 grados). Estos puntos son escogidos debido a la facilidad de implementar en un modulador *I/Q*, solo se necesitan dos valores de *I* y dos valores de *Q* que resulta en dos bits por símbolo. Son cuatro estados ya que 2^2 = 4, esto aumenta la eficiencia espectral de BPSK, en teoría duplicando la capacidad.

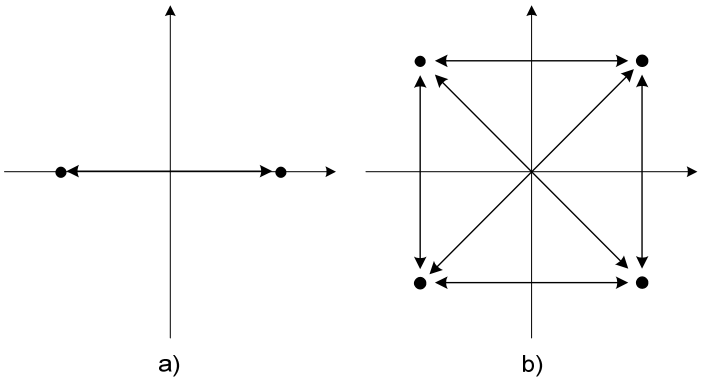


Figura 2.12. a) Constelación BPSK. b) Constelación QPSK

- **QSPK Diferencial (D-QPSK)**

El término diferencial significa que la información no pasa por el estado absoluto, sino que es transportada por la transición entre estados. En algunos casos existen restricciones de transiciones. Esto ocurre en π/4 DQPSK donde la trayectoria no cruza por el origen. Un sistema de transmisión DQPSK puede realizar la transición desde cualquier posición de símbolo hacia otra posición de otro símbolo.

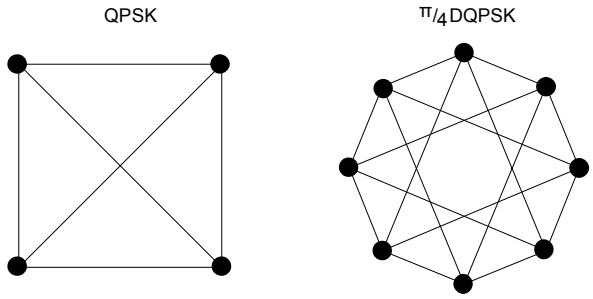


Figura 2.13. Constelación π/4 DQPSK, ambas son 2 bits por símbolo

El formato de modulación π/4 DQPSK usa dos constelaciones QPSK desfasadas 45 grados (π/4 radianes). Las transiciones deben ocurrir de una constelación a la otra. Esto garantiza que siempre existe un cambio en la fase de cada símbolo, haciendo la recuperación del reloj más fácil. La información es

modulada en magnitud y dirección del desplazamiento de fase, no es una posición absoluta de constelación. Una ventaja de π/4 DQPSK es que la trayectoria de la señal no pasa por el origen, simplificando el diseño del transmisor. Otra es que π/4 DQPSK, con un filtraje *root raised cosine* tiene una eficiencia espectral mejor que GMSK, otro tipo común de modulación celular.

2.4.3. Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

Este tipo de modulación usa el cambio de frecuencia de la señal para representar diferentes estados para transmitir información sin cambiar la amplitud de la señal. Aunque la modulación por cambio de fase y frecuencia están relacionadas, el cambio de frecuencia no hace que la fase cambie, obteniendo una señal continua en fase pero diferente en frecuencia en función de la señal a ser modulada.

En FSK binaria, o (BFSK) un “uno” lógico es representado por una frecuencia y un “cero” lógico es representado por otra.

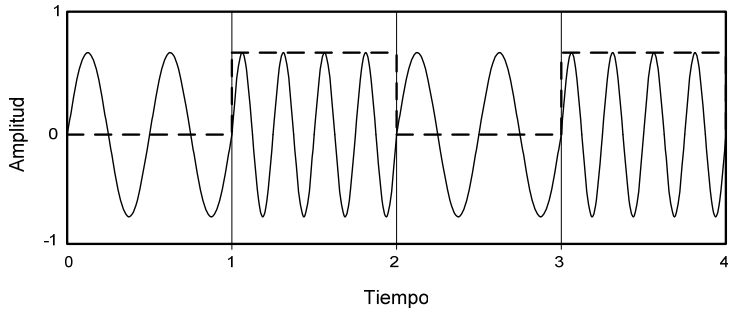


Figura 2.14. Señal Básica FSK en el tiempo, cambio de frecuencia de portadora en transiciones de señal moduladora.

2.4.4. Modulación por desplazamiento mínimo (MSK)

Debido a que los desplazamientos de frecuencia producen un adelantamiento o retraso de fase, los desplazamientos de fase pueden ser detectados muestreando la fase en cada período de símbolo. Cambios de fase de

(2N + 1) π/2 radianes son fáciles de detectar con el modulador *I/Q*. Cuando el símbolo tiene número par, la polaridad del canal I transporta la información trasmitida, mientras que con un número impar la polaridad del canal *Q* lleva la información. Esta ortogonalidad entre *I* y *Q* simplifica el algoritmo de detección y por lo tanto reduce el consumo de energía de un terminal móvil. El desplazamiento mínimo de frecuencia ortogonal entre *I* y *Q* y resulta entre un desplazamiento de fase de ±π/2 radianes por símbolo (90 grados por símbolo). La modulación FSK con esta característica se la conoce como MSK. La desviación o corrimiento de fase debe ser preciso en orden de repetir los desplazamientos cada 90 grados. En GSM se usa una variante de MSK llamada GMSK, en la que un desplazamiento de +90 grados representa un “uno” lógico mientras que -90 grados representa un “cero” lógico. La frecuencia de desviación pico-pico de una señal MSK es igual a la mitad de la tasa de bits.

En función amplificación de potencia, MSK y FSK tienen la ventaja de ser señales de amplitud constante lo cual se pueden usar amplificadores lineales reduciendo el consumo de potencia.

2.4.5. GMSK

La modulación usada en GSM es una variación de MSK, llamada 0.3 GMSK, la característica principal es el uso de un filtro gausiano combinado con la modulación MSK. El problema fundamental que posee MSK es la eficiencia espectral, su espectro no es compacto lo suficiente para alcanzar tasas de trasmisión usando las características de GSM. Para reducir el ancho de banda usado por MSK, es necesario reducir la energía de los lobulos laterales. Para lograr reducir la energía es necesario pasar el flujo de información a ser modulado por un filtro pasabajos,de frecuencua de corte estricta y un valor pequeño de sobrepico (*overshoot*) en su respuesta impulsiva. Estas características posee un filtro Gaussiano mostrado en la Figura 2.15. Notese que no existe la precencia de sobre pico en el filtro ni ondulación.

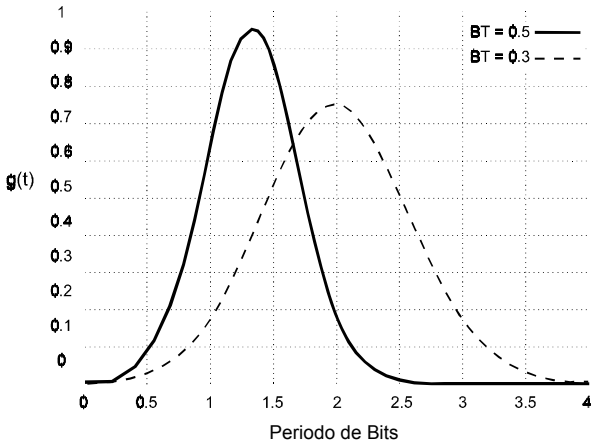


Figura 2.15. Respuesta impulsiva de un filtro Gaussiano para BT 0.3 y 0.5

Ambos filtros mostrados poseen diferentes características en la señal, mientras el BT es más grande, mas tiene a ser como MSK puro. Es decir que la función principal del filtro es reducir el espectro resultante para tener mayor eficiencia espectral. La desventaja principal de añadir un filtro menor de BT (mientras menor sea el valor, mayor estricto será el filtro en la frecuencia de corte) es que la interferencia entre símbolos (ISI) crece, por lo tanto hay que sacrificar ancho espectral para no tener mucha interferencia entre símbolos lo cual sería muy difícil de decodificar en el receptor. La Figura 2.16 muestra las diferencias en el uso del espectro entre MSK, 0.5 GMSK (sistema de modulación común en otras aplicaciones) y 0.3 GMSK, sistema usado en GSM. [4]

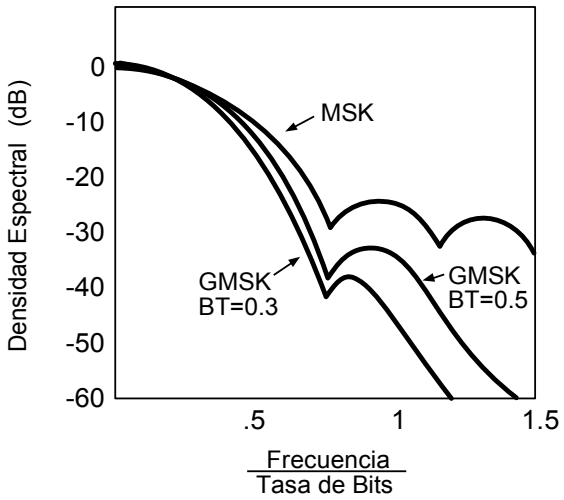


Figura 2.16. Densidad Espectral MSK y GMSK

Para demostrar un resultado de modulación GMSK, se representará una modulación con índice BT = 0.5. Se tiene un tren de pulsos que se repite cada 12 bits:

1,1,-1,1,1,-1,-1,1,-1,1,-1,-1, 1,1,-1,1,1,-1,-1,1,-1,1,-1,-1,…

La representación gráfica del tren se representa como la siguiente:

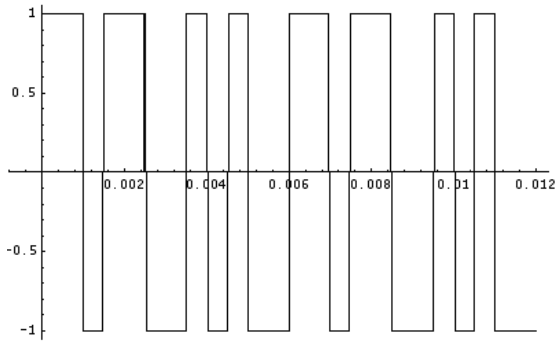


Figura 2.17. Tren de Pulsos

Como la información será pasada por un filtro Gaussiano con índice BT = 0.5 se introduce interferencia entre símbolos (*ISI*). Esto es debido a que los bits se extienden por dos períodos, el segundo bit entra al filtro como el primero en mitad del camino y el tercero entra al final del primer bit.

Los bits Gaussianos son obtenidos a la salida del filtro como (nótese que la escala de tiempo:

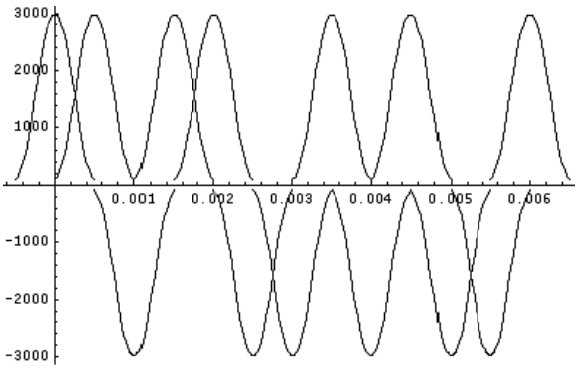


Figura 2.18. Pulsos individuales Gaussianos representando el flujo de bits

Por lo que el resultado de los bits so sumado para obtener una sola señal:

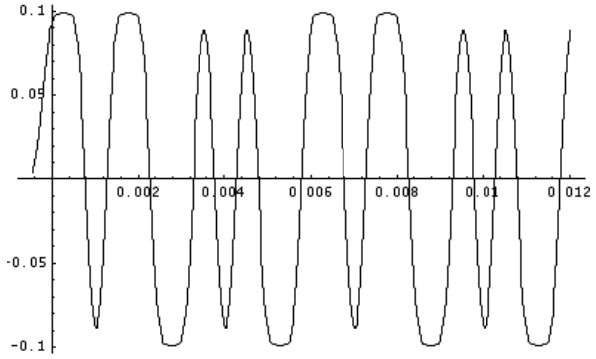


Figura 2.19. Suma de pulsos los pulsos individuales gaussianos

Esta señal es finalmente el tren de pulsos filtrado por un filtro gaussiano de índice BT igual a 0.5. Una vez obtenida esta señal, esta entra en el modulador MSK, el cual el antes descrito de suavizar aun más la señal y sumar o quitar fase 90 grados dependiendo del pulso a modular, matemáticamente se hace con un integrador y con bloques ortogonales como las funciones seno y coseno. El siguiente diagrama de bloques representa un modulador GMSK completo.

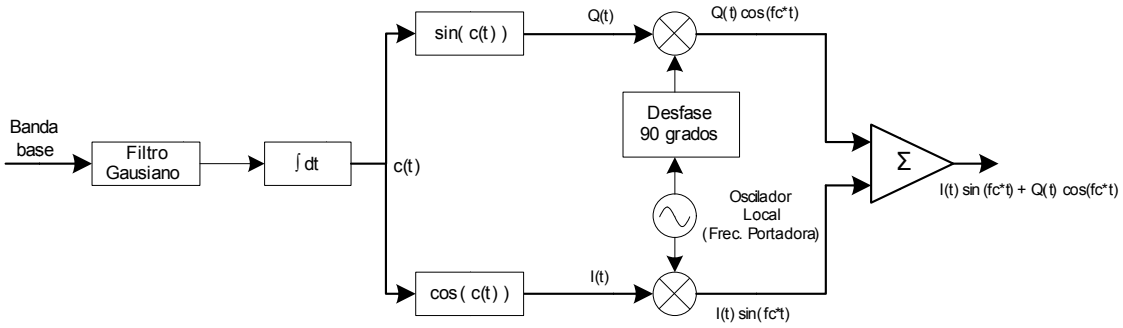


Figura 2.20. Diagrama de bloques de un modulador GMSK

Finalmente se obtiene la señal c(t):

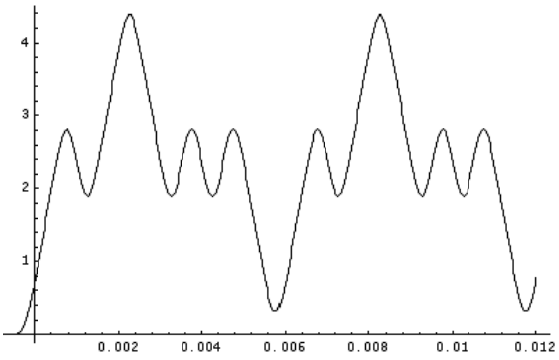


Figura 2.21. Señal de salida del filtro integrada

Ahora las ecuaciones que definen a cada señal *I* y *Q* son:

Q(t)=sin[c(t)] I(t)=cos[c(t)]

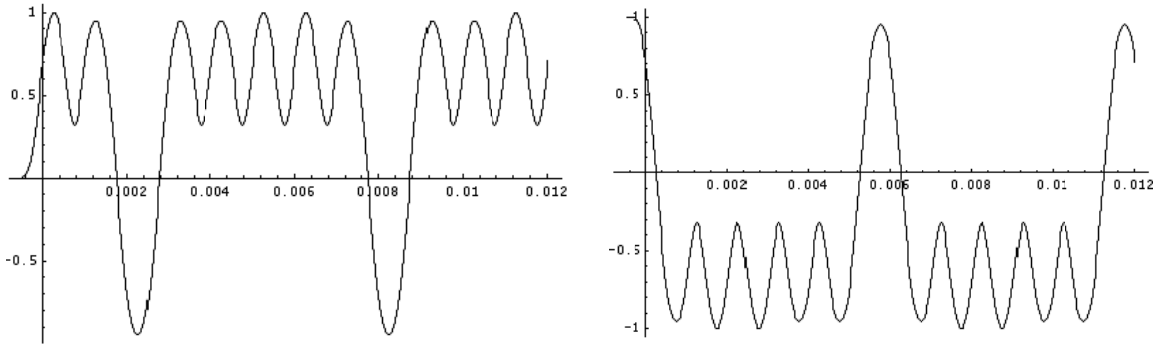


Figura 2.22. Señales *I* y *Q* de 0.5 GMSK

Aquí se tiene finalmente la señales I y Q que se necesitaban, finalmente entrarán al modulador I/Q donde las señales son desfasadas para entrar en cuadratura y se las modula con la frecuencia portadora *fc* y son sumadas. Aquí un resultado de la señal 0.5 GMSK.

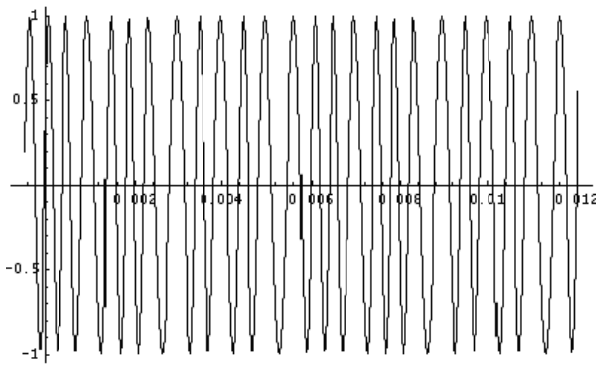


Figura 2.23. Señal de salida RF del modulada en GMSK

2.4.6. Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

Otro estilo de modulación, uno de los más importantes es el que combina la variación de fase y amplitud. QAM varía la fase y la amplitud y tiene la capacidad de cambiar de un estado a otro independiente de la posición del mismo.

Por ejemplo en diagramas de 16 estados, 16QAM, existen 4 valores para *I* y 4 valores para *Q*. En total existen 16 estados posibles para la señal. Ya que 16 = 2^4, 4 bits por símbolo puede ser enviado. Esto consiste en dos bits para *I* y para *Q*. Por lo tanto la tasa de símbolos es un cuarto de la tasa de bits. Por lo que este formato de modulación es espectralmente más eficiente que BPSK, QPSK o 8PSK. Cabe mencionar que QPSK es lo mismo que 4QAM.

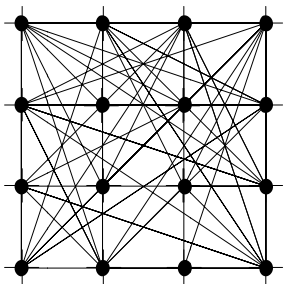


Figura 2.24. Señal 16QAM, diagrama polar. Cuatro bits por símbolo. Tasa de símbolos = ¼ de tasa de bits

Otra variación es 32QAM, en este caso existen 6 valores de *I* y seis valores de *Q* resultando en 36 posibles estados. Cabe recalcar que no existen 36 estados para ninguna combinación de estados válidos ya que la ecuación más cercana es 32 = 25 lo que hace que cada símbolo sea de 5 bits, y entonces 4 de los estados que necesiten mayor potencia (los extremos) no sea sean asignados. Por lo que las combinaciones máximas de I y Q jamás ocurrirán. La constelación 32QAM que muestra en la Figura 2.25.

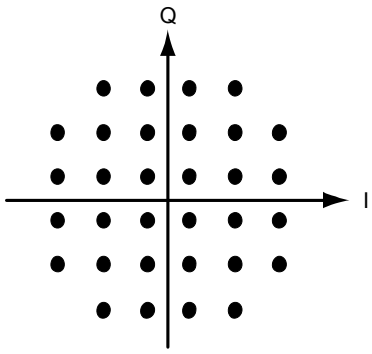


Figura 2.25. Señal 32QAM, diagrama de constelación. Cinco bits por símbolo. Tasa de símbolos = 1/5 taza de bits

La modulación por cuadratura es similar a PSK en el numero de estados que se puede utilizar (teóricamente), pero debido a que PSK solo puede manejar cambio de fase y no de amplitud, mientras mayor estados se agregue mayor bits errados habrá (BER) por las características naturales del canal de comunicación y las pequeñas variaciones que tiene un símbolo con el más cercano. QAM mejora considerablemente este problema, creciendo hasta valores prácticos de 256QAM, es decir 256 símbolos separados en amplitud y fase.

2.5. Ruido

El ruido en cualquier comunicación es la mezcla de una señal indeseada con una señal transmitida. Al introducirse y estar presente en el ancho de banda de la señal se pierden características de la transmisión, forzando a crear sistemas que ayuden a sobreponer al ruido, como los diferentes tipos de modulación o

sistemas de detección y corrección de errores. Todos los sistemas de telecomunicaciones reales contienen ruido. Este ruido provocará una probabilidad de error diferente de cero en el demodulador. Debido a que diferentes sistemas tienen diferentes respuestas ante el ruido, existen varios métodos para minimizarlos (no existe ningún sistema que elimine completamente el ruido). Otros parámetros como propagación del canal y latencia de datos afectarán en la selección del sistema adecuado para el tratamiento de errores.

2.6. Características de propagación

Los sistemas de comunicación de radio tienen diferentes características en los diferentes canales que pueden ser usados. Sistemas que requieren línea de vista como sistemas satelitales, trabajan a una frecuencia de microonda que no presenta muchos problemas relacionados a probabilidad de errores, caso contrario sistemas de telefonía móvil operando en bandas de frecuencia más bajas como VHF y UHF. Estos sistemas no poseen línea de vista y la señal resultante es la suma de los diferentes trayectos de la señal. Potencialmente esto puede generar interferencia entre símbolos debido a las variaciones de amplitud generadas por la distancia o tiempo de llegada de la señal (retardo). Objetos físicos además pueden ocasionar la pérdida de la señal como por ejemplo un auto entrando a un túnel o viajando detrás de algún edificio.

Debido a los problemas que presenta cada sistema, se requieren diferentes tratamientos en uso del medió físico, como modulación y corrección de errores. Un sistema con mayor probabilidad de error necesita un sistema más complejo.

2.7. Manejo de errores

La existencia de ruido al igual de las diferentes características de propagación de ciertos canales de comunicación hace el manejo de errores un tema vital. Algunos de los métodos incluyen, detección de errores, corrección de errores, confirmación de información y retransmisión de información. Técnicas de corrección de errores como Control de Redundancia Cíclico (CRC) pueden garantizar la detección de errores con una gran exactitud que un sistema típico de

BER. Este proceso de detección puede ser usado, si se requiere, para enviar una confirmación (ACK) o una confirmación fallida (NAK) de retorno al nodo transmisor para pedir retransmisión. Normalmente un sistema basado en la combinación de sistemas de corrección de errores y confirmaciones puede otorgar un buen comportamiento en sistemas estacionarios donde la latencia no es un problema (sistemas satelitales). Las principales ventajas de este tipo de sistemas son la simplicidad y el alto *throughput* relativo de la tasa de transmisión para un nivel de SNR alto. Sin embargo este tipo de sistema no intenta trabajar de buena maneja en condiciones de bajo SNR debido a la gran cantidad de retransmisiones que sería necesario en un escenario de telefonía celular móvil. Para mejorar el BER típico de un sistema de comunicaciones móviles normalmente se usan técnicas de detección y corrección de errores. Esto hace la transmisión de información adicional en orden de permitir la detección, identificación y corrección de errores.

2.8. Técnicas de acceso al medio – multiplexación

El espectro radioeléctrico es un recurso finito y compartido entre usuarios usando la multiplexación. La multiplexación su propósito fundamental es diferenciar y separar los usuarios que usan el mismo espectro. Los tres métodos que existen para compartir el espectro son por multiplexación de frecuencia (FDMA), tiempo (TDMA) y código (CDMA). La Figura 2.26 muestra los diferentes métodos de multiplexación tomando los tres ejes fundamentales a usar, tiempo, frecuencia y potencia. Existen varios métodos más de multiplexación pero se basan en la combinación de estos tres métodos básicos.

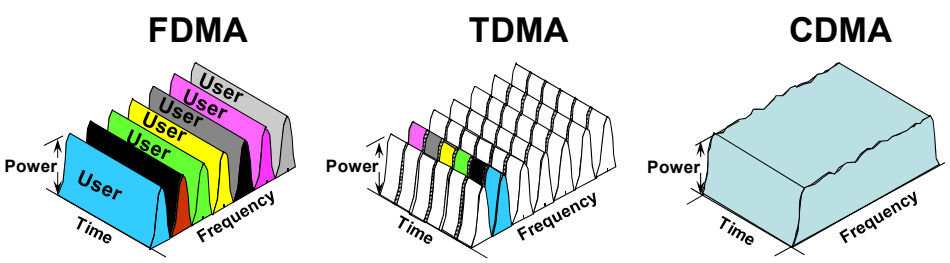


Figura 2.26. Técnicas de multiplexación FDMA, TDMA y CDMA

2.8.1. Acceso múltiple por división de frecuencia - *FDMA*

El acceso múltiple por división de frecuencia separa el espectro en pedazos pequeños de frecuencia llamados canales. Cada trasmisor y receptor usa una separada frecuencia. Esta técnica es la más antigua usada desde el año 1900 y aun sigue siendo usada en la actualidad. Los transmisores son de banda angosta o de frecuencia limitada. Se usa un transmisor de banda angosta para la transmisión y un filtro de banda angosta en la etapa receptora para que pueda demodular únicamente la señal deseada y rechazar las demás señales como señales interferentes de canales adyacentes.

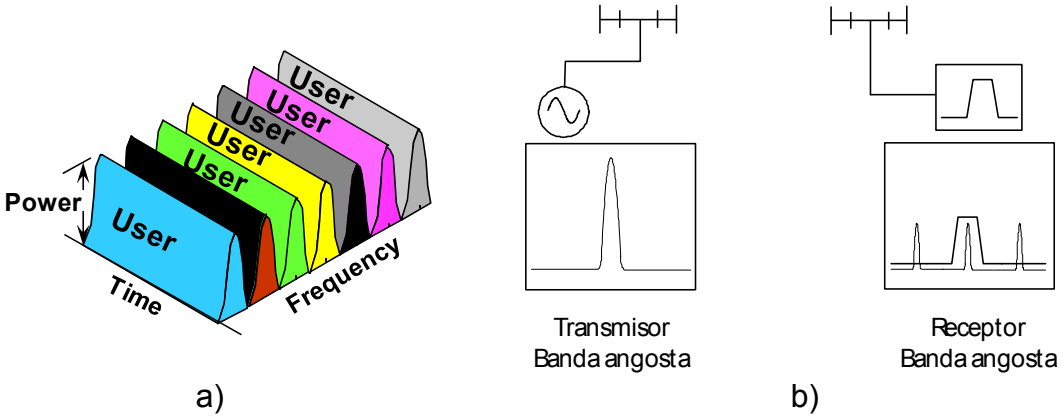


Figura 2.27. a) Multiplexación por frecuencia b) Método de transmisión y recepción FDMA

2.8.2. Acceso múltiple por división de tiempo - *TDMA*

La técnica de acceso múltiple por división de tiempo TDMA (*Time Division Multiple Access*) implica en separar los usuarios transmisores en tiempo para que puedan compartir la misma frecuencia portadora o receptora. El modo más simple se llama Duplex por División de Tiempo TDD (*Time Division Duplex*) el cual funciona por ejemplo en un radio de dos vías donde un botón es presionado para hablar y se lo suelta para escuchar, sin embargo este método de división de tiempo es muy lento. Sistemas modernos de radios como CT2 (*Cordless Telephony 2*) y DECT (*Digital European Cordless Telecommunications*) usan TDD pero con cientos de saltos de tiempo por segundo. TDMA multiplexa varios

transmisores o receptores en la misma frecuencia. TDMA es usado en el sistema celular digital GSM.

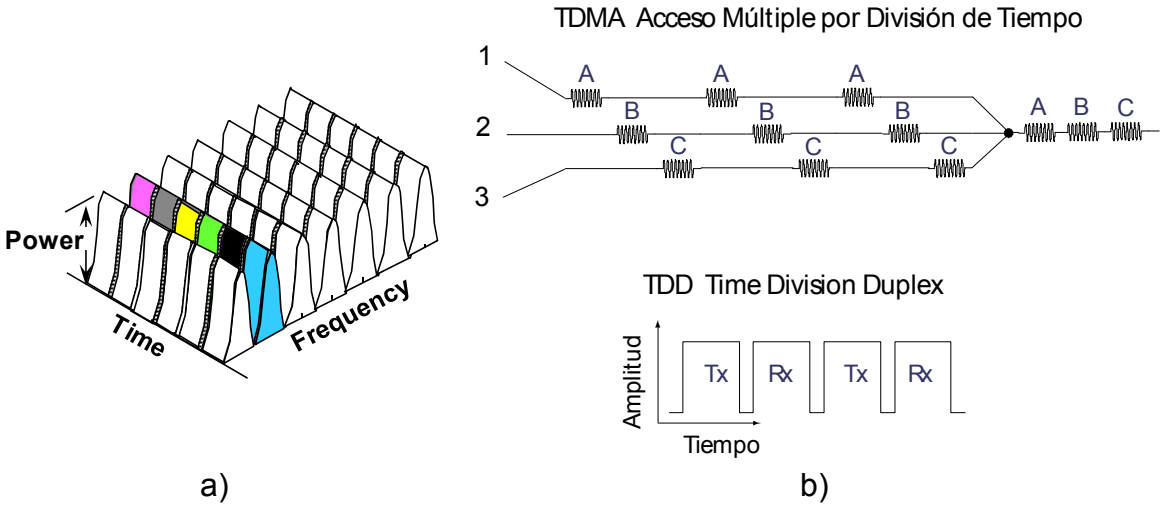


Figura 2.28. a) Multiplexación por tiempo b) TDMA y TDD

2.8.3. Acceso múltiple por división de código - *CDMA*

La técnica de acceso múltiple por división de código CDMA (*Code Division Multiple Access*) en la que los usuarios pueden trasmitir simultáneamente en la misma frecuencia. La multiplexación de frecuencia es aun usada (FDMA) pero en canales de 1.23 MHz de ancho. Además este sistema usa un sistema de codificación que sirve para diferenciar a cada usuario dentro del mismo canal.

En sistemas CDMA, los usuarios utilizan simultáneamente un canal digital con una alta tasa de transferencia superponiendo una secuencia digital con una alta tasa de transferencia en la transmisión. Una secuencia diferente es asignada a cada terminal por lo que las señales pueden ser diferenciadas una de otra correlacionándolas entre sí con la secuencia superpuesta. Esto se basa en códigos que son conocidos entre radio bases y los terminales móviles, de esta manera pudiendo diferenciar un usuario de otro al momento de trasmitir o recibir la información. Los códigos con los que cada radio base identifica a un usuario entre todos los demás se llaman códigos Walsh.

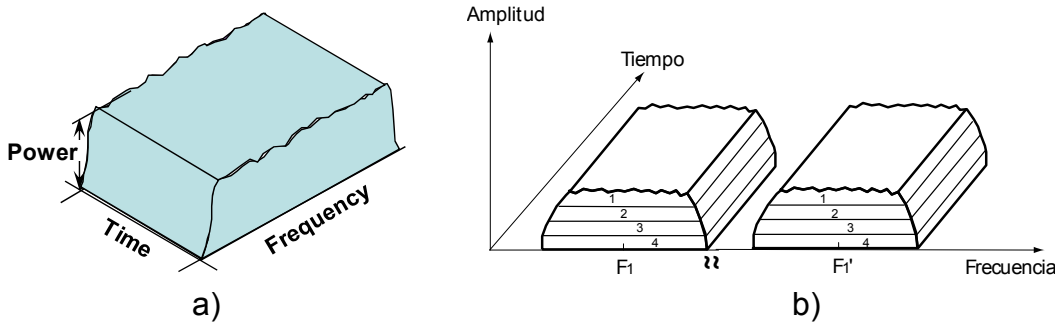


Figura 2.29. a) Gráfica tres dimensiones CDMA b) CDMA en canal de subida y bajada con diferentes usuarios (códigos)

2.8.4. Combinación de técnicas de acceso.

En la mayoría de sistemas de comunicación existe la combinación de técnicas de acceso y multiplexación. Por ejemplo, GSM usa FDMA y TDMA como modo de funcionamiento. En cambio sistemas como CDMA2000 o WCDMA usan la división de código como técnica de multiplexación (CDMA) y FDMA para separar canales entre usuarios y canales de subida o bajada.

2.9. GSM

GSM, siglas del Sistema Global Para Comunicaciones Móviles o *Global System for Mobile Communications* de sus siglas en ingles (originalmente *Groupe Spécial Mobile*). Es el sistema de comunicaciones móviles más popular del mundo. GSM es considerado un sistema celular de segunda generación, debido que sus predecesores eran basados en tecnología analógica. La tecnología digital aplicada a GSM provee seguridad, privacidad, señalización en canales individuales separados de voz y datos. Debido a la digitalización el usuario de GSM puede conectarse con su terminal a un computador, enviar mensajes de texto o *Servicio De Mensajes Cortos* (SMS), e-mail, fax o navegar por internet desde el mismo terminal.

Aunque GSM fue considerado originalmente como una tecnología de segunda generación, debido a su gran uso y popularidad mundial, se han implementado mejoras al sistema como GPRS (*General Packet Radio Service*) y

EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) que son consideradas tecnologías de 2.5 generación. La modificación final GSM para cumplir con los estándares de tercera generación se llama UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) que a pesar de ser una mejora, utiliza una nueva técnica de radio, WCDMA contraria a la usualmente usada por GSM, el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

GSM combina FDMA y esquemas de acceso TDMA y usa dos bandas de frecuencias alrededor de 900 MHz. La primera banda, dedicada como canal de reversa (o subida), opera desde 890 a 915 MHz y la segunda banda en el canal de bajada desde 935 a 960 MHz. Cada canal físico tiene un ancho de banda de 200 kHz y consiste en 8 ranuras de tiempo (*time slots*), cada una asignado a un usuario individual. Entre las características principales que el sistema puede soportar detalladamente se tiene:

- Voz, Desvío de llamadas, filtraje y llamada en espera.
- Telefax
- Servicio de Mensajes Cortos (SMS)
- Servicio de datos por conmutación de circuitos en tasas hasta 12 kbps. El sistema puede sobrellevar un máximo de 76.8 kbps usando los ocho canales de transporte.
- *Roaming* Internacional
- Interoperabilidad con la red digital de servicios integrados (ISDN)
- Transmisiones discontinuas de terminales móviles, significando un ahorro de energía.

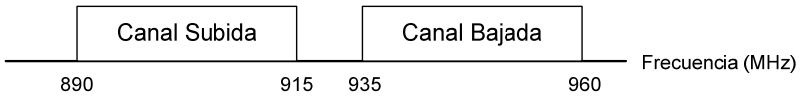


Figura 2.30. Gráfica de canales de subida y bajada (*Uplink, Downlink*)

En GSM una trama TDMA tiene una duración de 4.615 ms y consiste en 8 ranuras de tiempo, cada una asignada al usuario (*slot* = 4.615/8 ms o 0.577 ms). Por lo tanto, el ancho de banda efectivo por usuario es 25 kHz (200 kHz/8).
Otras características incluyendo SMS, donde caracteres alfanuméricos de longitud limitada son transmitidos por la radio base con el trafico regular de voz y servicios suplementarios para ISDN como identificación de llamada y otros servicios. Las características básicas físicas se pueden observar en la Tabla 2.1.

Esquema de acceso múltiple	FDMA / TDMA
Ubicación del espectro	890 – 915 MHz (subida) 935 – 960 MHz (bajada)
Ancho de banda	200 kHz
Tasa de datos	270.833 kbps
Modulación	0.3 GMSK
Número de usuarios por canal	8
Codificación digital de voz	Tipo *Regular Pulse Excitation with Long-Term Predictor* (RPE-LTP) a 13 kbps en codificación de tasa completa de datos.
Codificación de canal	Combinación de códigos de bloques y códigos convolucionales.
Capacidad de transferencia de datos por el usuario	Sistema de conmutación de circuitos a tasa máxima de 12 kbps y SMS

Tabla 2.1. Características físicas de GSM

2.9.1. GMSK, Características de modulación en GSM

El núcleo de cualquier sistema de radio se encuentra en el formato de la señal de radio en sí. La señal portadora es modulada usando una forma de modulación por desplazamiento de frecuencia FSK conocida como GMSK. Aunque ya se mostró las características de la señal GSMK anteriormente, fue escogida para GSM por varios motivos:

- Es resistente a ruido comparado a muchas otras formas de modulación.
- La radiación y energía fuera del ancho de banda aceptado es mínimo que otras formas de modulación por frecuencia o fase.

- Tiene un nivel de energía constante el cual permite una alta eficiencia en la potencia RF debido a los amplificadores en el terminal ahorran energía y aumentando la vida de la batería.

El ancho de banda nominal para una comunicación GSM usando GMSK es de 200 kHz, es decir, el ancho de banda del canal y el espaciamiento es de 200 kHz. Una modulación GMSK es usada, las señales no deseadas o emisiones de espurias fuera del ancho de banda nominal son lo suficientemente bajas para que los canales adyacentes sean usados desde la misma radio base. Normalmente cada radio base acoge a un numero de portadoras para establecer la capacidad del sistema requerida.

Cada portadora puede servir a ocho diferentes usuarios bajo el sistema básico de división de la portadora en ocho ranuras de tiempo. La portadora básica es capaz de alcanzar un valor de *throughput* aproximadamente de 270 kbps, pero debido a que el sistema maneja información de cabecera, la tasa de información asignada a cada ranura de tiempo es 24.8 kbps. Ya que el sistema necesita de corrección de errores para superar los problemas de interferencia, desvanecimiento y cualquier tipo de errores que puedan ocurrir, la tasa de información restante para transportar la voz digitalizada será de 13 kbps para un codificador de voz estándar.

2.9.2. Estructura de Tramas GSM

- **Estructura Básica de trama GSM**

La estructura básica de la trama o *frame* en GSM posee ocho diferentes ranuras de tiempo o *time slots*, cada uno asignado a un usuario usando el sistema TDMA. Las ranuras de tiempo para transmisión y recepción de un terminal móvil son desfasadas en el tiempo, para que el terminal no transmita ni reciba información al mismo tiempo.

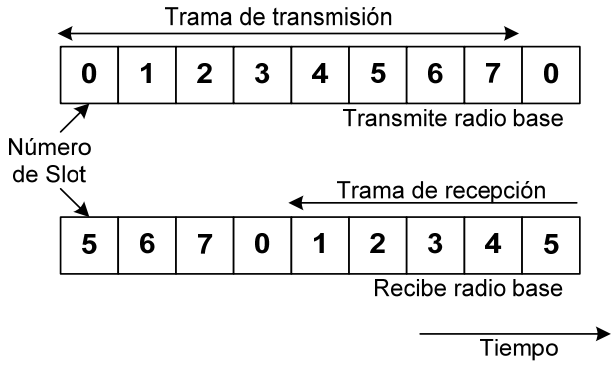


Figura 2.31. Uso de ranuras de tiempo (*slots*) en transmisión y recepción

La trama básica de GSM define la estructura en la cual la sincronización y estructura de mensajería y señalización GSM esté basada. La unidad fundamental de tiempo es llamada un período de ráfaga que dura aproximadamente 0.577 ms. Ocho de estos períodos de ráfagas son agrupados en lo que es llamado una trama TDMA. La duración de esta trama es 4.615 ms y forma la unidad básica para la definición de los canales lógicos. Un canal físico es un período de ráfaga situado en cada trama TDMA.

En términos sencillos, la radio base transmite dos tipos de canales, nombrados los canales de tráfico y canal de control. En consecuencia la estructura del canal está organizada en dos diferentes tipos de trama, una para el tráfico de la portadora principal y otro para el control de la frecuencia de la señal piloto (*beacon frequency*).

- **Estructura de *Slot* GSM**

La ranura de tiempo o *slot* en GSM es el período de tiempo más pequeño que está disponible para cada usuario. Tiene un formato definido ya que varios tipos de información son necesarios para transmitir. Aunque existen transmisiones más cortas de ráfaga, los *slots* normalmente son usados para transmitir 148 bits de información. Esta información puede ser usada para llevar voz, datos de control e información de sincronización.

La estructura de temporización de GSM tiene como característica que los *slots* asignados de subida y de bajada no pueden funcionar al mismo tiempo. Se

crea un desfase de tiempo entre ellos, es decir, no pueden ser el mismo número de *slot* de subida o bajada. Este tiempo de desfase, es deliberado por el sistema por lo que no puede ocurrir esta condición ni por accidente. Otra ventaja es que los circuitos de transmisor y receptor son simples, ya que no se necesitan filtros para separar el uno del otro.

- **Multitrama GSM**

Las tramas en GSM son agrupadas para formar multitramas y de esta manera es posible formar un itinerario de tiempo para su operación y la red pueda ser sincronizada.

Existen varios tipos de estructuras multitramas:

- **Tráfico**: las tramas del canal de tráfico son organizadas en multitramas de 26 tramas básicas con una duración de 120 ms. En una multitrama de tráfico, 24 tramas básicas son usadas para tráfico. Estas son numeradas del 0 al 11 (12 en total) y del 13 al 24 (12 en total). Una de las restantes es usada para el canal SACCH (*Slow Associated Control Channel*), la otra trama restante se queda sin uso. El canal SACCH puede tomar cualquier posición libre, ya sea la 12 o la posición 25.

- **Control**: la multitrama de control son organizadas en multitramas de 51 tramas básicas con una duración de 235.4 ms. Esto siempre ocurre en la frecuencia de la señal piloto en la ranura de tiempo 0 y también puede ocurrir dentro de las ranuras 2, 4 y 6 de la frecuencia piloto. Esta multitrama es subdividida en canales lógicos los que son temporizados de acuerdo a un itinerario. Los canales lógicos y sus funciones incluyen lo siguiente:

    - Trama de corrección de frecuencia
    - Trama de sincronización
    - Canal de transmisión (*BCH, Broadcast Channel*)

- Canal de localización y acceso concedido (*PACCH, Paging and Access Grant Channel*)
- Canal independiente dedicado de control (*SDCCH, Stand Alone Dedicated Control Channel*)

- **Súper trama GSM**

La súper trama es construida por multitramas, ocupando un tiempo de 6.12 segundos. Consisten en 51 multitramas de tráfico o 26 multitramas de control. Debido que las multitramas de tráfico de son formadas por 26 tramas básicas y la multitramas de control es tiene 51 tramas básicas, el numero de súper trama es se iguala para control o tráfico.

- **Híper Trama**

Con tamaño máximo de 2048 súper tramas, estas son agrupadas como una híper trama la que se repite 3 horas 28 minutos y 53.7 segundos. Es el intervalo de tiempo más largo en la estructura de tramas de GSM.
Dentro de la híper trama GSM, existe un contador y cada ranura de tiempo tiene un único número secuencial que comprende el número de trama y el número de ranura. Esto es usado para mantener la sincronización de las opciones de la programación con la estructura de la trama GSM. Esto incluye funciones como:

- **Saltos de Frecuencia:** el salto de frecuencia es una característica opcional dentro del sistema GSM. Puede servir para ayudar a reducir la interferencia y problemas con el desvanecimiento, pero para que funcione el transmisor y receptor deben estar sincronizados para que puedan efectuar los saltos de frecuencia al mismo tiempo.

- **Encriptación:** El proceso de encriptación es sincronizado sobre el período de la híper trama donde un contador es usado y el proceso de encriptación será repetido cada híper trama. Sin embargo, es improbable que la conversación telefónica dure 3 horas y en consecuencia es improbable que la seguridad se ponga en peligro como resultado.

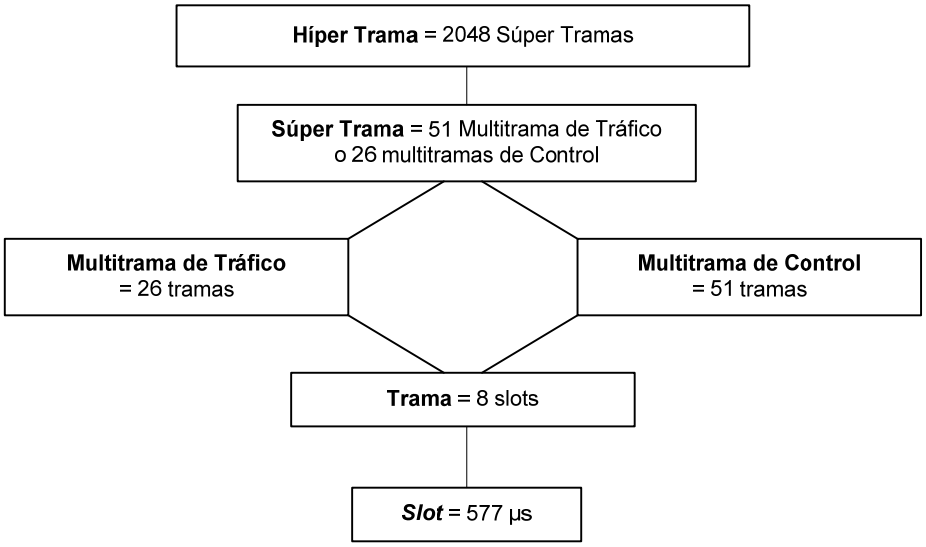


Figura 2.32. Estructura de tramas en GSM

- **Tipos de Ráfagas GSM**

La ráfaga o transmisión GSM puede cumplir una variedad de funciones. Algunas ráfagas son usadas para transportar información mientras otras son usadas para control. De ahora en adelante se tratará con los términos *uplink* y *downlink* a la información desde el terminal a la radio base y de la radio base al terminal respectivamente. Se tiene varios tipos de ráfagas.

- Ráfaga normal: *uplink* y *downlink*
- Ráfaga de sincronización: *downlink*
- Ráfaga de corrección de frecuencia: *downlink*
- Acceso aleatorio (ráfaga de tamaño pequeño): *uplink*

- **Ráfaga Normal**

Esta ráfaga es usada en las comunicaciones estándares entre la radio base y el terminal y generalmente transfiere la voz digitalizada.
La estructura de la trama normal GSM es definida y cumple con un formato común. Contiene información que provee un número de diferentes funciones.

- **3 bits de cola (C)**: Estos bits de cola en el inicio de la ráfaga brindan tiempo para que la potencia en el transmisor se levante y esté estable.

- **57 bits de datos (Info)**: Este bloque de datos es usado para enviar información, generalmente contiene la voz digitalizada pero en ciertas ocasiones es reemplazada con información de señalización en la forma del canal FACCH. Se diferencia la información por la bandera que sigue este campo.

- **Bandera de 1 bit (B)**: Este bit en la ráfaga GSM indica el tipo de dato en el campo anterior de datos (voz o señalización).

- **26 bits de secuencia de entrenamiento**: Esta secuencia de entrenamiento es usada como referencia de temporizador y para ecualización. Existen ocho diferentes tipos de secuencias que pueden ser usadas, cada una de 26 bits de largo. La misma secuencia es usada en cada slot GSM, pero cerca de estaciones base usando el mismo canal de frecuencia usará una diferente con el propósito de que el terminal pueda ser diferenciado de otras celdas usando la misma frecuencia.

- **3 bits de cola (C)**: Estos bits finales son usados en cambio para dar tiempo de apagar la potencia RF de la ráfaga.

- **8.25 bits de tiempo de guarda (TG)**: Al final de la ráfaga GSM, existe un período de guarda. Esto previene que ráfagas de otros terminales móviles se superpongan entre sí como resultado de las diferentes distancias que se encuentran de la radio base cada terminal móvil.

	C	Info	B	Entrenamiento	B	Info	C	TG
Bits:	3	57	1	26	1	57	3	8.25

Figura 2.33. Ráfaga normal GSM

- **Ráfaga Sincronización**

Es una ráfaga de transmisión que contiene información de temporización. Contiene un código que identifica el contador de la híper trama. La ráfaga de sincronización sigue a la ráfaga de corrección de frecuencia.

- **3 bits de cola (C)**: Estos bits de cola en el inicio de la ráfaga brindan tiempo para que la potencia en el transmisor se levante y esté estable.

- **39 bits de datos (Info)**: Este bloque se repite dos veces, en realidad teniendo un total de 78 bits, los cuales son un código para sincronización de temporización con la híper trama.

- **64 bits de secuencia de entrenamiento larga**: Esta secuencia de entrenamiento es usada como referencia de temporizador y para ecualización. Existen ocho diferentes tipos de secuencias que pueden ser usadas, cada una de 64 bits de largo. La misma secuencia es usada en cada slot GSM, pero cerca de estaciones base usando el mismo canal de frecuencia usará una diferente con el propósito de que el terminal pueda ser diferenciado de otras celdas usando la misma frecuencia.

- **3 bits de cola**: Estos bits finales son usados en cambio para dar tiempo de apagar la potencia RF de la ráfaga.

- **8.25 bits de tiempo de guarda**: Al final de la ráfaga GSM, existe un período de guarda. Esto previene que ráfagas de otros terminales móviles se superpongan.

	C	Info	Entrenamiento Largo	Info	C	TG
Bits:	3	39	64	29	3	8.25

Figura 2.34. Ráfaga de sincronización GSM

- **Ráfaga de corrección de frecuencia**

Es una ráfaga de información que contiene 142 patrones de bits en valor de "0". La recepción y decodificación de la trama de corrección de frecuencia permite al terminal en ajustar (corrección de frecuencia) su temporizador para que pueda receptar y demodular de mejor manera el mensaje del canal de radio.

- **3 bits de cola (C)**: Estos bits de cola en el inicio de la ráfaga brindan tiempo para que la potencia en el transmisor se levante y esté estable.

- **142 bits fijados a 0**: Patrón de 142 bits fijados a "0" para la corrección de frecuencia.

- **3 bits de cola**: Estos bits finales son usados en cambio para dar tiempo de apagar la potencia RF de la ráfaga.

- **8.25 bits de tiempo de guarda**: Al final de la ráfaga GSM, existe un período de guarda. Esto previene que ráfagas de otros terminales móviles se superpongan.

	C	Secuencia de bits "0"	C	TG
Bits:	3	142	3	8.25

Figura 2.35. Ráfaga de corrección de frecuencia GSM

- **Ráfaga de acceso aleatorio (ráfaga corta)**

Es una ráfaga de tamaño pequeño (88 bits) que es usada para pedir acceso al sistema GSM con un período de guarda mucho más largo. La estructura de esta ráfaga sirve para asegurar que encaje en *slot* sin tener en cuenta de un problema severo de temporización pueda existir. Una vez que el terminal haya accedido a la red y la temporización haya sido alineada, no es necesario el período de guarda largo.

- **8 bits de cola (C)**: se ha incrementado el número de bits de cola para proporcionar un margen adicional para acceder a la red.

- **41 bits de entrenamiento**: Esta secuencia de entrenamiento es usada como referencia de temporizador y para ecualización. Existen ocho diferentes tipos de secuencias que pueden ser usadas, cada una de 64 bits de largo. La misma secuencia es usada en cada *slot* GSM, pero cerca de estaciones base usando el mismo canal de frecuencia usará una diferente con el propósito de que el terminal pueda ser diferenciado de otras celdas usando la misma frecuencia.

- **36 bits de datos (Info)**: Contiene mensaje encriptado de acceso a la red.

- **3 bits de cola**: Estos bits finales son usados en cambio para dar tiempo de apagar la potencia RF de la ráfaga.

- **68.25 bits de tiempo de guarda (TG)**: Al final de la ráfaga GSM, existe un período de guarda. Esto previene que ráfagas de otros terminales móviles se superpongan. Además completa el tiempo de un *slot* GSM.

	C	Entrenamiento	Info	C	TG
Bits:	8	41	36	3	68.25

Figura 2.36. Ráfaga de acceso aleatorio GSM

2.10. GSM – EDGE

EDGE es una evolución del sistema de telefonía celular GSM. El nombre EDGE viene de las siglas *Enhanced Data for GSM Evolution* (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM) y establece el envío de información por un sistema GSM TDMA a velocidades hasta 384 kbps. Esta tecnología se encuentra en la mitad de la llamada segunda y tercera generación, llamándose “2.5G” por las capacidades de transferencia de datos principalmente. Aunque el desarrollo

de la evolución de GSM en orden cronológico comprende a GSM900 (el sistema original GSM), luego a GPRS y finalmente en EDGE. Anteriormente la mejora que presentó GPRS al sistema es cambiar el funcionamiento de conmutación de circuitos a conmutación de paquetes, ahora EDGE trabajando sobre dicha evolución, aumenta la velocidad de transferencia de datos por un factor de tres, acogiendo una nueva técnica de modulación. GSM originalmente usa GMSK, pero EDGE evoluciona a 8PSK por lo que mejora considerablemente la velocidad transmitiendo tres bits por cada símbolo transmitido.

2.10.1. Fundamentos Básicos de EDGE

La evolución GSM – EDGE puede proveer de tasas de transferencia de hasta 384 kbps, esto significa que brinda una tasa de datos mucho mayor a GSM y a GPRS.

- **Modulación 8-PSK:** Desde un punto de capa física, es el cambio más importante porque ahora la velocidad de datos es mucho mayor ya que son tres bits de datos por cada un símbolo transmitido. Esto significa un cambio de hardware en la estación base o a veces de un cambio de software.

- **Radio base:** Como se mencionó, al cambiar la modulación requerida, se pueden hacer cambios de software o hardware en los peores casos.

- **Mejora en arquitectura de red:** GSM EDGE provee la capacidad de transferencias basadas en IP. Como resultado, elementos adicionales son necesarios en la red como ya se realizo para la mejora GPRS y para después la evolución UMTS (3G).

- **Terminales móviles:** es necesario que el terminal móvil sea compatible con GSM – EDGE. No es posible actualizar un terminal GSM a GSM – EDGE, por lo que necesita adquirir un equipo nuevo.

En términos de evolución de sistemas, EDGE es relativamente sencillo, ya que trata principalmente en un cambio de modulación pero conserva todos los elementos del a red GSM – GPRS y la necesidad de agregar pequeñas mejoras en su arquitectura de red. Debido a que nuestra necesidad es el análisis de la capa física, se tiene:

Esquema de acceso múltiple	FDMA / TDMA
Ubicación del espectro	890 – 915 MHz (subida) 935 – 960 MHz (bajada)
Ancho de banda	200 kHz
Número de usuarios por canal	8
Modulación	GMSK – 8PSK
Tasa de símbolos promedio	270.833 k symbols / s
Tasa de bits promedio	810 kbps
Tasa de transferencia por slot de tiempo	69.2 kbps
Tasa de transferencia máxima cuando se usan 8 *slots* de tiempo	384 kbps (473.6 kbps – teórico)

Tabla 2.2. Características principales de GSM - EDGE

La mayor cantidad de información que es enviada en una comunicación EDGE consiste en paquetes TCP/IP. Estos paquetes son más largos que un sola carga de paquete EDGE, por lo que es necesario dividir los paquetes TCP/IP en secciones pequeñas llamadas "*chunks*". Estos *chunks* tienen tamaños definidos de 22, 28, 34 o 37 bytes u octetos. La sección de 37 octetos puede ser enviada directamente transmitida, o puede existir un paquete de 34 octetos el cual es rellenado con tres octetos de paquetes innecesarios basura.

Existen nueve diferentes Modulaciones y *Esquemas De Código* (MCS - *Modulation and Coding Schemes*) que pueden ser usados por EDGE. Cada uno es designado a un número en una región del uno al nueve. Esto permite grados diferentes de protección de errores y tasas de modulación lo que tiene consecuencia en las diferentes tasas de la red. El sistema detecta el número de errores de bits y de acuerdo a ello ajusta su esquema de código al más viable. Naturalmente tiende a adoptar el esquema que resulte el mayor valor de

throughput, pero se auto ajustará a las condiciones predominantes, cambiando una vez más si se requiere.

Los esquemas de código son agrupados en tres clases o familias las cuales se refieren por letras, como clase A, B y C. Los esquemas de código dentro de una clase son usados entre sí y complementados entre ellos. La familia A consiste en MCS-3, MCS-6, MCS-8 y MCS-9. La familia B comprende de MCS-2, MCS-5 y MCS-7. La familia C consiste de MCS-1 y MSC-4. La ventaja de agrupar en familias de esta manera es que si un bloque es transmitido en un determinado esquema de código y no es aceptado (*acknowledged*), puede ser reenviado en dos bloques usando otro esquema de código (uno inferior) de la misma familia. Por ejemplo si un bloque transmitido usando MCS-7 resulta corrupto, entonces puede ser reenviado como dos bloques en MCS-5 o cuatro con MCS-2.

Esquema MCS	Velocidad de datos en un *slot* (kbps)	Tipo de Modulación
MCS-1	8.8	GMSK
MCS-2	11.2	
MCS-3	14.8	
MCS-4	17.6	
MCS-5	22.4	8PSK
MCS-6	29.6	
MCS-7	44.8	
MCS-8	54.4	
MCS-9	59.2	

Tabla 2.3. Características principales de GSM - EDGE

- **Ráfaga GSM – EDGE**

En GSM – EDGE, cabe mencionar que dependiendo del la modulación o esquema de codificación escogida MCS se usará modulación GMSK (1 al 4) o 8-PSK (5 al 9) dependiendo del caso.

La ráfaga normal de GSM – EDGE tiene la misma estructura de la ráfaga GSM original, pero la diferencia fundamental es el uso de modulación 8PSK la cual

tiene 3 bits por símbolo enviado, por lo que los 148 bits por slot en GSM ahora se convierte en 148 x 3, es decir, 444 bits. Para el caso de usar un esquema MCS-5 o mayor se usará modulación 8 PSK con la que la ráfaga normal GSM- EDGE tendrá la forma siguiente.

	C	Info	B	Entrenamiento	B	Info	C	TG
Bits:	9	173	1	78	1	57	9	8.25

Figura 2.37. Ráfaga normal GSM - EDGE

En ciertos casos la bandera (B) se encuentra absorbida por el bloque de datos (info), así conformándose por 174 bits cada uno.

2.11. CDMA2000

CDMA2000 es una mejora sobre el estándar IS-95 o la llamada cdmaOne. Provee una mejora significante en capacidad de voz y expande su capacidad para datos además de ser compatible con terminales IS-95.

CDMA2000 no es una tecnología en sí, sino que es una mejora que abarca varios estándares.

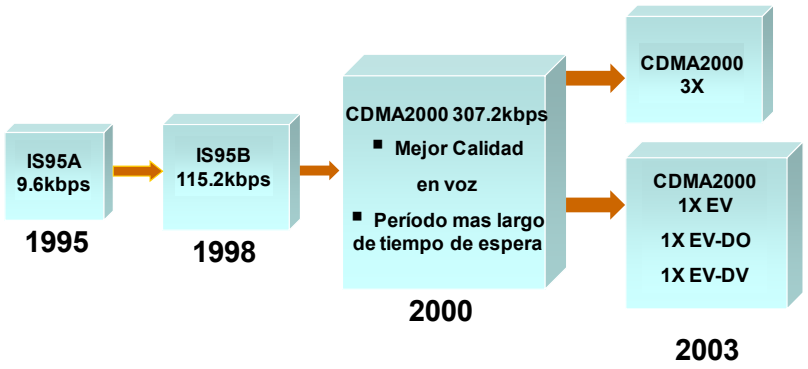


Figura 2.38. Evolución de los estándares CDMA2000

2.11.1. Capa física

Las tasas de propagación para CDMA2000 incluyen 1x (al igual que IS-95 con una tasa de código de 1.2288 Mcps) y la nueva tasa 3x la que es tres veces más rápida, o es decir 3.6864 Mcps.

El estándar CDMA2000 ha sido escrito por capas para simplificar el diseño del sistema, por lo que la señalización ha sido dividida en canales lógicos y canales físicos.

Las nuevas tasas de propagación y las tasas de FEC requieren configuraciones diferentes en hardware por lo que existen varias configuraciones de radio (*Radio Configuration* o *RC*) en CDMA2000.

Nuevos canales físicos han sido agregados para mejorar el desempeño, para mejorar la capacidad y los tiempos de configuración de llamadas (nuevos canales de cabecera y canales de acceso).

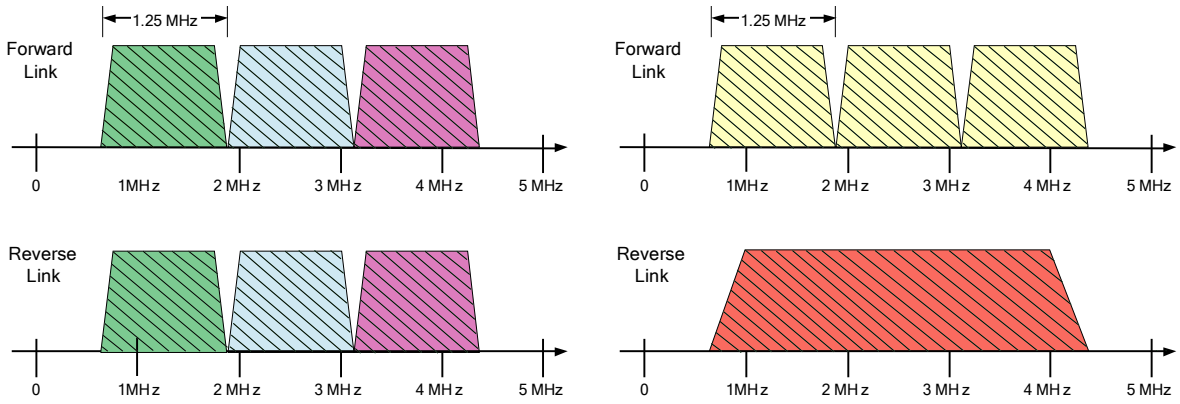
2.11.2. Tasas de propagación

CDMA2000 soporta dos tipos de tasas de propagación.

- Tasa de propagación 1 (*Spreading Rate 1*) o también llamada “1x”. Ambos canales de subida y bajada usan una sola portadora en propagación de secuencia directa 1.2288 Mcps.
- Tasa de propagación 3 (*Spreading Rate 3*) o también llamada “3x”. El canal de bajada usa tres portadora en propagación de secuencia directa con una tasa de *chip* de 1.2288 Mcps. En cambio el canal de subida usa una sola portadora en propagación de secuencia directa con una tasa de chip de 3.6864 Mcps.

En la Figura 2.39 a) corresponde al asignación común que se hace a un canal de CDMA2000 1x, donde cada portadora de envío y recepción equivalen al mismo usuario. Mientras tanto en la Figura 2.39 b), el a un usuario le corresponden las

tres portadoras en el canal de bajada mientras que el canal de subida es una sola portadora de tasa de propagación de 3.6864 Mcps.



Spreading Rate 1 Spreading Rate 3

a) b)

Figura 2.39. Tasas de propagación SR1 CDMA2000. a) "1x" b) "3x"

2.11.3. Configuraciones de radio (RC)

Las configuraciones de radio en CDMA2000 especifican la configuración de hardware y la tasa de propagación.

RC1 y RC2 son exactamente compatibles con IS-95. En cambio RC3, RC4 y RC5 son configuraciones de radio para "1x" y "3x". Además contienen nuevas modulaciones y nuevas tasas FEC.

La configuración de radio para canales de bajada se tiene:

Config. de radio	Tasa de esparc.	Tasa de datos máxima	Tasa de código efectiva FEC	Codificación FEC	Mod.
1	1	9.6	1/2	Conv	BPSK
2	1	14.4	3/4	Conv	BPSK
3	1	153.6	1/4	Conv y Turbo	QSPK

4	1	307.3	1/2	Conv y Turbo	QPSK
5	1	230.4	3/8	Conv y Turbo	QPSK
6	3	307.2	1/6	Conv y Turbo	QSPK
7	3	614.4	1/3	Conv y Turbo	QPSK
8	3	460.8	1/4 o 1/3	Conv y Turbo	QPSK
9	3	1036.8	1/2 o 1/3	Conv y Turbo	QPSK

Tabla 2.4. Configuración de radio de canal de bajada

Config. de radio	Tasa de esparc.	Tasa de datos máxima	Tasa de código efectiva FEC	Codificación FEC	Mod.
1	1	9.6	1/3	Conv	BPSK
2	1	14.4	1/2	Conv	BPSK
3	1	153.6 (307.3)	1/4 (1/2)	Conv y Turbo	QSPK
4	1	230.4	3/8	Conv y Turbo	QPSK
5	3	153.6 (614.4)	1/6 1/3	Conv y Turbo	QSPK
6	3	460.8 (1036.8)	1/4 o 1/3 1/2 o 1/3	Conv y Turbo	QPSK

Tabla 2.5. Configuración de radio de canal de subida

2.11.4. Espectro expandido por secuencia directa

El uso de expandir el espectro es usado por varias tecnologías inalámbricas para mejorar su desempeño y ampliar el ancho de banda de la comunicación. Existen dos técnicas para espectro expandido, el espectro expandido por salto de frecuencia (FHSS) y el espectro expandido por secuencia directa (DSSS).

A diferencia de las tecnologías basadas en acceso múltiple por división de frecuencia, CDMA no subdivide su espectro en canales para diferentes usuarios (FDMA). CDMA usa todo el espectro asignado y es compartido por todos los

usuarios. El ancho de banda que posee una transmisión por usuario CDMA es 1.25 MHz, lo que hace la señal sea de banda ancha (en comparación con una señal de 200 kHz usada en GSM). El método por el cual CDMA usa una señal de espectro expandido es a través de secuencia directa (DSSS).

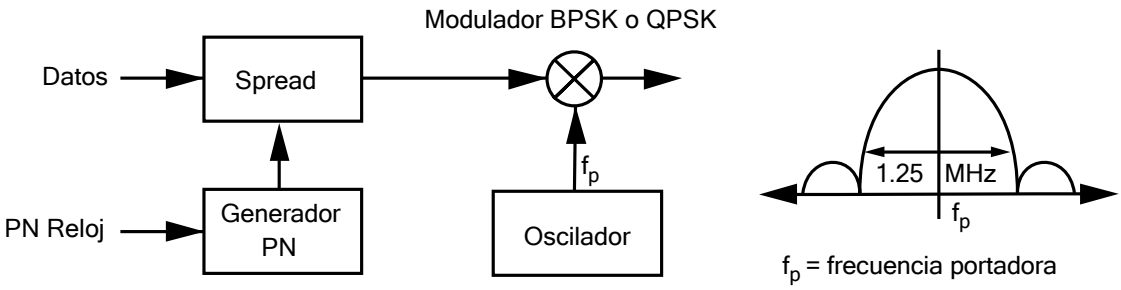
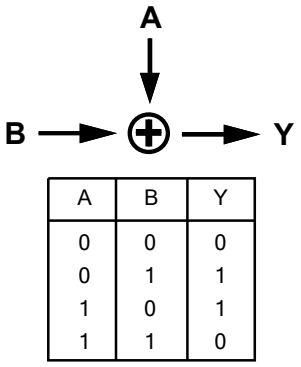


Figura 2.40. Espectro expandido por secuencia directa DSSS

En la técnica de espectro expandido, la señal del usuario de una tasa de velocidad pequeña es multiplicada por una señal con una tasa de velocidad mucho más alta. Este tipo de señales tienen la propiedad de ser ortogonales entre sí. En CDMA pueden ser los códigos PN (*Pseudo Noise*) o los códigos Walsh. El resultante es expandir el espectro de la señal y distribuir la densidad de potencia de la señal a niveles comparables con el ruido. Esto presenta ventajas como seguridad (ya que si la señal esta en nivel de ruido es difícilmente detectada), reducción de potencia emitida con terminales con mayor vida con una carga de batería y terminales más pequeños (tamaño de la batería reducido).

2.11.5. Principio de funcionamiento CDMA – códigos

Antes de entender el proceso de códigos y funcionamiento de CDMA existen varios conceptos básicos que se debe entender. La función de algebra binaria suma exclusiva, “XOR”, es necesaria para entender dicho proceso.



A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 2.41. Tabla de la función "XOR"

El principio de funcionamiento del acceso múltiple por código o CDMA, es basado en codificar la información de cada usuario con diferentes códigos que sean ortogonales entre sí. Las funciones ortogonales entre tienen *correlación* cero.

La correlación es una medida de igualdad entre dos señales arbitrarias. Es calculada multiplicando dos señales y luego sumando el resultado sobre una ventana definida de tiempo. La Figura 2.42 explica cuando una función es ortogonal y cuando es correlatada.

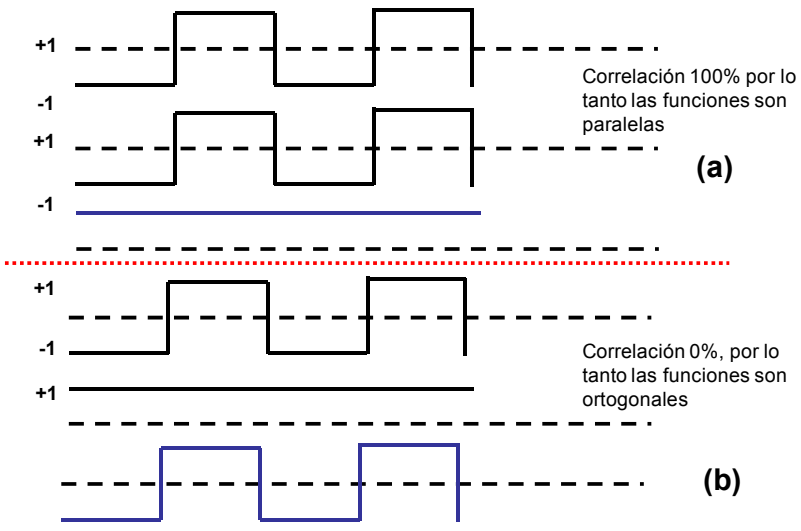


Figura 2.42. Correlación entre señales. a) Correlación 100% b) Correlación 0%

Cuando dos señales son idénticas, Figura 2.42 a), su correlación es total. Mientras tanto la Figura 2.42 b) muestra dos señales las cuales son ortogonales entre sí, es decir, cero correlación.

Funciones o secuencias ortogonales tiene cero correlación cruzada, por ejemplo, dos secuencias binarias son ortogonales si el proceso de la función "XOR" entre ellas resulta en un número igual de *unos* y *ceros*.

$$\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \oplus\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 0 & 1 \end{array}$$

2.11.6. Códigos *Walsh*

Los códigos Walsh son un conjunto de códigos ortogonales descubiertos por Joseph Leonard Walsh. Cada fila de la matriz de Walsh es ortogonal entre las demás filas, cada fila corresponde a una secuencia o código de Walsh. Para generar la matriz, es necesario empezar con una semilla, generalmente 0, luego repetir el 0 horizontalmente y verticalmente. En la diagonal se llena con el contrario de 0 es decir 1. Este proceso continua con el bloque generado hasta obtener la matriz de 64 de longitud que es usada en CDMA2000 (64 códigos ortogonales entre sí) [7].

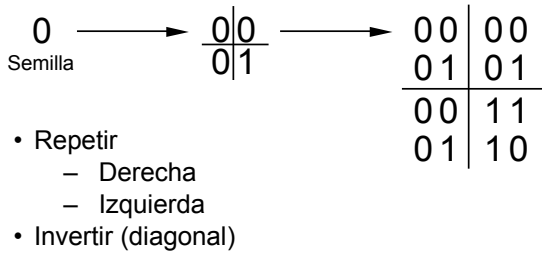


Figura 2.43. Generación de matriz Walsh

La matriz con los códigos Walsh de 64 secuencias se muestra en la Figura 2.44.

	0123	4567	8901	1111 2345	1111 6789	2222 0123	2222 4567	2233 8901	3333 2345	3333 6789	4444 0123	4444 4567	4455 8901	5555 2345	5555 6789	6666 0123
0	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
1	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101
2	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011
3	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110
4	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111
5	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010
6	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100
7	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001
8	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111
9	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010
10	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100
11	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001
12	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000
13	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101
14	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011
15	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110
16	0000	0000	0000	0000	1111	1111	1111	1111	0000	0000	0000	0000	1111	1111	1111	1111
17	0101	0101	0101	0101	1010	1010	1010	1010	0101	0101	0101	0101	1010	1010	1010	1010
18	0011	0011	0011	0011	1100	1100	1100	1100	0011	0011	0011	0011	1100	1100	1100	1100
19	0110	0110	0110	0110	1001	1001	1001	1001	0110	0110	0110	0110	1001	1001	1001	1001
20	0000	1111	0000	1111	1111	0000	1111	0000	0000	1111	0000	1111	1111	0000	1111	0000
21	0101	1010	0101	1010	1010	0101	1010	0101	0101	1010	0101	1010	1010	0101	1010	0101
22	0011	1100	0011	1100	1100	0011	1100	0011	0011	1100	0011	1100	1100	0011	1100	0011
23	0110	1001	0110	1001	1001	0110	1001	0110	0110	1001	0110	1001	1001	0110	1001	0110
24	0000	0000	1111	1111	1111	1111	0000	0000	0000	0000	1111	1111	1111	1111	0000	0000
25	0101	0101	1010	1010	1010	1010	0101	0101	0101	0101	1010	1010	1010	1010	0101	0101
26	0011	0011	1100	1100	1100	1100	0011	0011	0011	0011	1100	1100	1100	1100	0011	0011
27	0110	0110	1001	1001	1001	1001	0110	0110	0110	0110	1001	1001	1001	1001	0110	0110
28	0000	1111	1111	0000	1111	0000	0000	1111	0000	1111	1111	0000	1111	0000	0000	1111
29	0101	1010	1010	0101	1010	0101	0101	1010	0101	1010	1010	0101	1010	0101	0101	1010
30	0011	1100	1100	0011	1100	0011	0011	1100	0011	1100	1100	0011	1100	0011	0011	1100
31	0110	1001	1001	0110	1001	0110	0110	1001	0110	1001	1001	0110	1001	0110	0110	1001
32	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
33	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	0101	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010
34	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
35	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	0110	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001
36	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000
37	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101
38	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011
39	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110
40	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000
41	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101
42	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011
43	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110
44	0000	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111
45	0101	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010
46	0011	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100
47	0110	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001
48	0000	0000	0000	0000	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	0000	0000	0000	0000
49	0101	0101	0101	0101	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	0101	0101	0101	0101
50	0011	0011	0011	0011	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	0011	0011	0011	0011
51	0110	0110	0110	0110	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	0110	0110	0110	0110
52	0000	1111	0000	1111	1111	0000	1111	0000	1111	0000	1111	0000	0000	1111	0000	1111
53	0101	1010	0101	1010	1010	0101	1010	0101	1010	0101	1010	0101	0101	1010	0101	1010
54	0011	1100	0011	1100	1100	0011	1100	0011	1100	0011	1100	0011	0011	1100	0011	1100
55	0110	1001	0110	1001	1001	0110	1001	0110	1001	0110	1001	0110	0110	1001	0110	1001
56	0000	0000	1111	1111	1111	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000	0000	0000	1111	1111
57	0101	0101	1010	1010	1010	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101	0101	0101	1010	1010
58	0011	0011	1100	1100	1100	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011	0011	0011	1100	1100
59	0110	0110	1001	1001	1001	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110	0110	0110	1001	1001
60	0000	1111	1111	0000	1111	0000	0000	1111	1111	0000	0000	1111	0000	1111	1111	0000
61	0101	1010	1010	0101	1010	0101	0101	1010	1010	0101	0101	1010	0101	1010	1010	0101
62	0011	1100	1100	0011	1100	0011	0011	1100	1100	0011	0011	1100	0011	1100	1100	0011
63	0110	1001	1001	0110	1001	0110	0110	1001	1001	0110	0110	1001	0110	1001	1001	0110

Figura 2.44. Códigos Walsh

En el canal de bajada de CDMA, los códigos Walsh son usados para separar a los usuarios. En cualquier sector, cada canal de bajada o *Forward Channel* es asignado un diferente código. En este canal, los códigos Walsh numero 0 al 7 y el numero 32 son usados para funciones especiales como canales de rastreo (*paging*), canal piloto (*pilot channel*) y de sincronización (*Sync*)

En el canal de subida, las 64 secuencias de Walsh son usadas como señalización por el modulador ortogonal de banda base y no para transmitir la información de voz.

- **CDMA2000 y configuraciones de radio**

La característica de CDMA2000 es un aumento en velocidad y en capacidad de usuarios, los códigos Walsh también se modifican aumentando su longitud.

Como RC1 y RC2 son compatibles completamente con cdmaOne IS-95, los códigos Walsh permanecen de longitud de 64.

Desde RC3 a RC9 la longitud de las secuencias Walsh es variable para manejar diferentes tasas de datos. Para RC4, las llamadas usan Walsh 65, mientras para RC4 las llamadas usan Walsh 128.

Mientras más alto sea la tasa de datos, más pequeña es la secuencia Walsh usada. Esto es porque la tasa de chips para una secuencia Walsh es constante (1.2288 Mcps para 1x), y la longitud máxima de la secuencia Walsh debe ser usada para cada bit de datos.

2.11.7. Propagación ortogonal (*spreading*)

El principio detrás la propagación (*spreading*) ortogonal y su proceso contrario (*despreading*), es cuando a un símbolo se le aplica la función XOR con el secuenciaortogonal.Si al resultado, nuevamente se aplica la función XOR con la misma secuencia, el símbolo original es recuperado. En otras palabras, si el efecto de una operación XOR es aplicado dos veces usando el mismo código,el resultado es nulo.

En propagación ortogonal, cada símbolo es aplicado la función XOR con todos los 64 chips[1] del código Walsh. Por ejemplo, en la Figura 2.45, el símbolo "1" es esparcido ortogonalmente con el código Walsh número 59, dando una representación de 64 chips por símbolo.

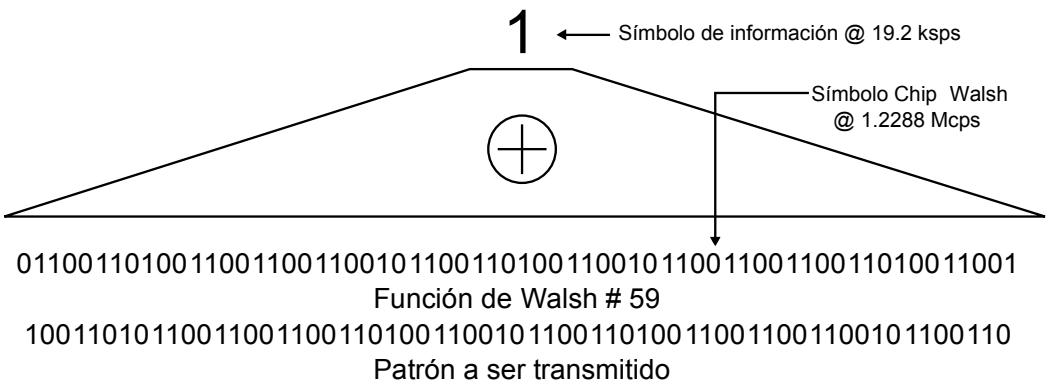


Figura 2.45. Propagación de un símbolo con un código Walsh

En el siguiente ejemplo se muestra usa secuencia de símbolos (información original a ser codificada) que va a ser codificada con un código ortogonal de 4 dígitos. Esto produce 4 chips por símbolo haciendo que la secuencia expandida sea transmitida a una tasa de 4 veces la tasa original.

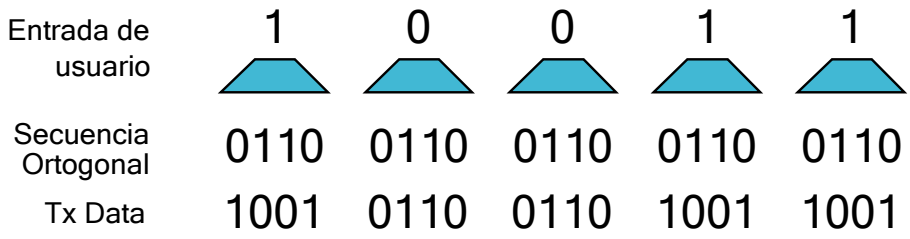


Figura 2.46. Secuencia codificada por un código ortogonal de 4 dígitos

[1] Un *chip* es un pulso, o simplemente un *bit*, a la salida de un codificador de propagación. Los códigos Walsh son un ejemplo [3].

Para decodificar la secuencia obtenida, el receptor es encargado de aplicar el mismo código ortogonal a la secuencia para obtener el resultado original, es decir, la información binaria. En este ejemplo se muestra que no existe ruido en el canal, obteniéndose exactamente el mismo código sin error alguno.

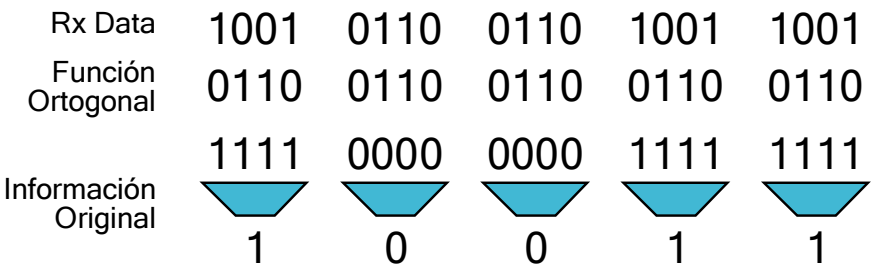


Figura 2.47. Decodificación usando el mismo código ortogonal

En la vida real el canal de comunicación no es libre de error, pero CDMA2000 emplea técnicas de corrección de errores FEC para combatir los efectos del ruido y mejorar el desempeño del sistema.

La codificación de la información binaria por un código Walsh ya posee un método de inmunidad sobre los errores producidos. Esto sucede ya que símbolo es representado por 64 dígitos, y efectuando el efecto inverso en la decodificación, se tiene 64 dígitos que representen el mismo símbolo. En el caso de un símbolo de “1”, se obtendrán 64 “unos” luego del proceso de codificación en el transmisor. Entonces si la secuencia transmitida con 64 “unos” llega al transmisor con por ejemplo 30 chips erróneos (valor de “0”), aún se tendrá 34 chips con valor de “1”. Por promedio entre los chips “1” y “0”, el valor recibido es un “1” en el receptor. A pesar de tener una cantidad de ruido significativo, prácticamente 40% de error, aun es posible la decodificación sin problema.

2.11.8. Códigos PN, seudo ruido

Los códigos seudo ruido o códigos PN (*pseudo noise*) son los códigos usados para enviar la información de voz desde el terminal móvil hacia la radio

base (*uplink*). Estos códigos no son enteramente ortogonales, ya que son generados aleatoriamente por un proceso determinístico a diferencia de los códigos Walsh. Son generados por un registro de desplazamiento donde ciertas salidas del registro son sumadas con suma en modulo 2 o suma binaria y retroalimentado al registro. Debido a que estos registros tiene una longitud finita, la combinaciones seudo aleatorias se van a repetir en un cierto período, aunque largo su comportamiento tiende a parecer aleatorio.

Los códigos seudo aleatorios tienen dos versiones, los códigos largos que son formados por secuencias de (2^{42} - 1 = 4400 Billones) y los códigos cortos (2^{15} = 32,768). Dos códigos cortos para generar las señales I/Q (los códigos se llaman códigos “I” y “Q” y son diferentes el uno con el otro). El código largo es usado para sincronizar la red CDMA. En los sistemas CDMA2000 todos los móviles usan los tres códigos.

La utilidad principal de los códigos cortos es diferenciar las radio bases del sistema. Un terminal va a estar enganchado a una solo radio base por lo que a este terminal solo le interesa comunicarse a esta radio base y a ninguna otra. Debido a esto solo el terminal usa el código corto en el canal de subida para hacer la expansión de espectro (*spreading*). Cada radio base se diferencia de otra con un desfase de 64 chips mínimo, este desfase se conoce como *offset*. Esto es útil ya que cada set de códigos Walsh es usado en cada radio base por igual.

2.11.9. Diagrama de bloques de la información.

El flujo de información en CDMA ocurre por diferentes bloques, ingresando la voz a un conversor analógico – digital en un principio. Luego sigue con el bloque de *vocoder*, este bloque es un compresor de voz, un algoritmo para compactar la información de voz a una tasa baja de datos baja. A continuación entra al bloque que añade seguridad para la inmunidad de errores al momento de la transmisión por aire de la señal, FEC. Este bloque añade información de datos por dos métodos, convolución o códigos Turbo. A la salida de este bloque se tienen los llamados símbolos, que es la información codificada y lista para ser enviada. Estos símbolos tienen una tasa relativamente pequeña de información

(19,2 kbps) donde aquí se insertan los códigos ortogonales que ensanchan el espectro de la señal y cambian su tasa de bits (al cambiar la tasa por la introducción de códigos ortogonales, la unidad de bit es llamada *chip*) a 1.2288 Mcps. Aquí se insertan los códigos PN y los códigos Walsh. Finalmente el bloque de modulación divide la señal en señal I y Q respectivamente para luego mezclarlas.

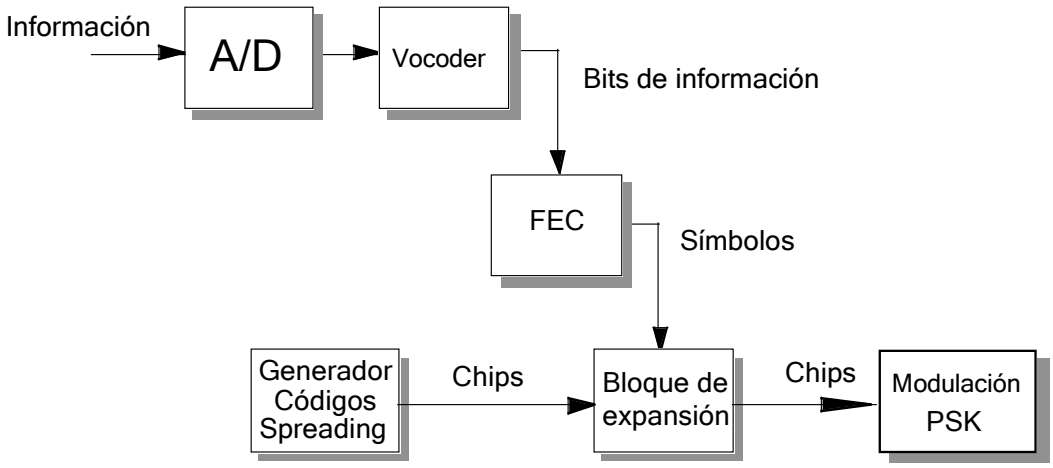


Figura 2.48. Diagrama de bloque flujo de datos CDMA

CAPITULO III

3 OPERACIÓN DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN

3.1. Generador vectorial de señales *Anritsu MG3700A*

El objetivo de esta tesis es aprender tecnología celular móvil utilizando el equipo Anritsu MG3700A que simula varios tipos de señales celulares con diferentes parámetros que pueden ser variados por el usuario.

Antes de realizar las prácticas de laboratorio, el usuario debe conocer el funcionamiento básico del equipo para poder manejarlo de manera segura y confiable.

Más adelante en el capítulo de Prácticas de Laboratorio se efectuarán las operaciones de forma rápida asumiendo que el usuario ya está familiarizado con el equipo. A su vez este capítulo se ofrece como un manual compacto de la mayoría de funciones que el usuario va a necesitar para las prácticas.

Para información más detallada del equipo consultar el manual de usuario (inglés) [10].

3.1.1. Descripción Física General del Equipo

Se trata de una descripción breve del funcionamiento de cada elemento en el equipo que va a ser utilizado en la práctica. Este avance profundiza y previene al usuario de operar mal el equipo y dejarlo capacitado para un manejo óptimo.

Panel Frontal:

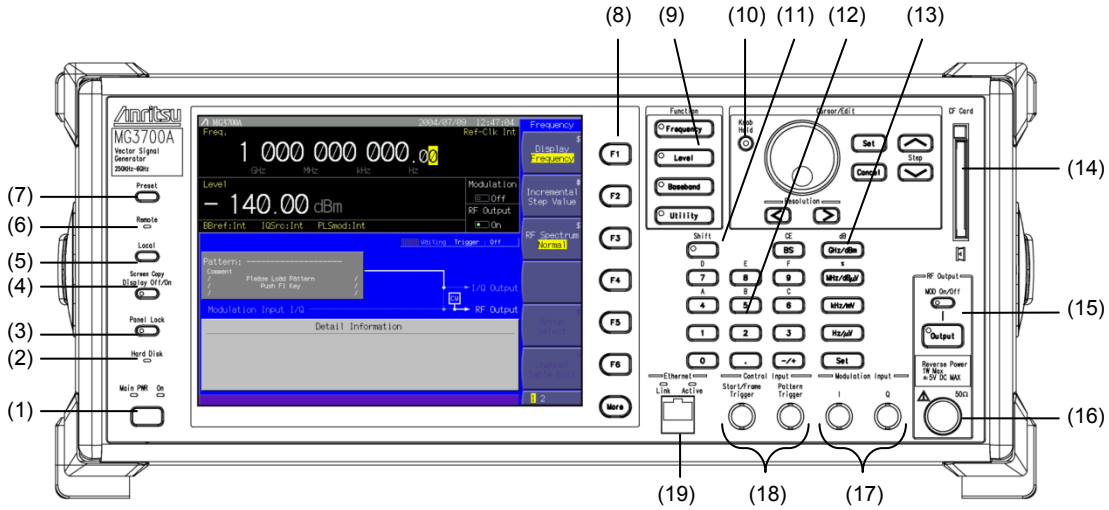


Figura 3.1. Panel Frontal AnritsuMG3700A

(1) MainPWROn

Botón de encendido

Conmuta entre el modo de energizado en el cual el equipo está conectado a la energía AC y el modo de funcionamiento en el cual el MG3700A se encuentra funcionando. Cuando se encuentra en modo de energizado se enciende la luz verde, mientras que cuando se encuentra en modo de funcionamiento se enciende la luz naranja.

(2) Hard Disk

Luz de disco duro

Se enciende cuando se accede y está funcionado el disco duro del MG3700A.

(3) Panel Lock

Botón de bloqueo del panel

Bloquea todas las teclas del panel por excepción del Botón de encendido, Botón local y el Botón de bloqueo del panel. En el estado de bloqueo del panel se encuentra encendida la luz roja en el botón.

(4) Screen Copy

Botón Apagar/prender pantalla (copiar pantalla)

Apaga o enciende la pantalla. Cuando se encuentra apagada la pantalla, se enciende la luz roja.

Si se aplasta este botón luego que la tecla Shift se copia la pantalla actual la cual puede ser guardada en una tarjeta de memoria externa en un formato de mapa de bits (*.bmp).

(5) Local

Botón Local

Cambia al funcionamiento local del equipo luego de haber estado en el mando en modo remoto.

(6) Remote

Luz de modo remoto

Se enciende cuando el equipo es manejado de manera remota a través de Ethernet o GPIB.

(7) Preset

Preset

Resetea los parámetros a la configuración inicial.

(8) F1 F2 F3 F4 F5 F6 More

Teclas de función suave

Se usan para ejecutar o selecciona algún parámetro que aparece en el lado derecho de la pantalla.

El valor numérico en la parte inferior de la pantalla equivale al número de página del menú. La página puede ser cambiada con el botón More.

(9) Frequency Level Baseband Utility

Teclas de función principal

Usadas para ejecutar las funciones principales del MG3700A.

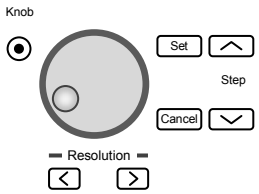
Frequency, modo de configuración de la frecuencia.

Level, modo de configuración del nivel, potencia de la señal.

Baseband, modo de configuración de modulación digital.

Utility, modo de configuración general del equipo.

(10) Perilla giratoria



Teclas de cursor/edición

La perilla giratoria y ∧∨ son usadas para seleccionar un ítem o cambiar un valor numérico. Se puede cambiar la resolución de los dígitos de la perilla giratoria con <>.

Set funciona como tecla aceptar.

Presionando Cancel cancela dicho valor.

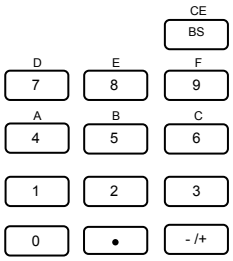
Cuando la luz roja se enciende al aplastar Knob se desactiva la perilla giratoria.

(11) Shift

Shift

Sirve para operar cualquier función escrita en letras azules mostradas en el panel. Primero se presiona esta tecla (se enciende la luz) y luego se presiona la tecla objetivo.

(12)



Teclado numérico

Se usa para ingresas los valores numéricos en las pantallas de configuración de parámetros.

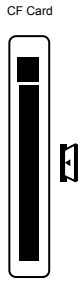
Presionando CE BS borra el último valor ingresado.

Valores hexadecimales [A] a [F] se pueden ingresar al presionar A 4 a F 9 luego de Shift

(13)

Teclas de unidades

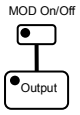
Usadas para determinar (finalizar) los valores y unidades ingresadas luego de que se digitaron los números.

(14) 

Ranura de Tarjeta CF

Usada para instalar un archivo de forma de onda banda base o guardar un archivo de parámetro.

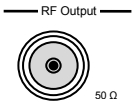
Una vez colocada la tarjeta, no retirarla de su lugar hasta que el mensaje en pantalla desaparezca.

(15) 

Teclas de control de la salida RF

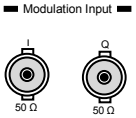
Presionando Output activa/desactiva la salida RF. La luz verde se enciende cuando está en estado activo.

Cuando RF está activo, presionando MOD On/Off activa/desactiva la modulación. La luz se torna verde cuando se enciende la modulación.

(16) 

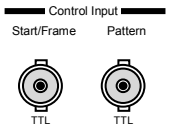
Conector de Salida RF

Conector tipo N hembra por donde sale la señal RF.

(17) 

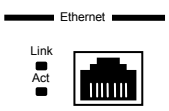
Conectores de entrada I/Q

Se usa para ingresar una señal en fase I y Q cuando se efectúa modulación vectorial con una señal banda base externa.

(18) 

Conectores de entrada de control

Usados para ingresar una señal *Trigger* de *Start*/*Frame* o *Pattern*.

(19) 

Conector Ethernet

Se usa para conectar el MG3700A con una PC.

Se puede usar ambos conectores, el del panel frontal o el del panel trasero.

Panel Trasero:

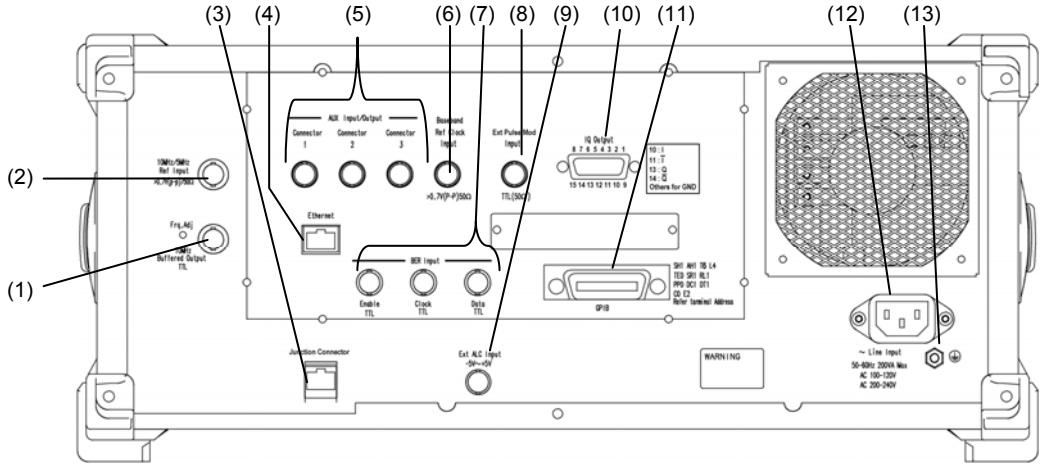


Figura 3.2. Panel Trasero AnritsuMG3700A

(1)

Frecuencia de Referencia de Salida

Salida de una señal de referencia de 10 MHz. Se usa principalmente para sincronizar el MG3700A con otro equipo a su frecuencia de referencia. La señal se encuentra constantemente activa mientras el equipo se encuentre encendido.

(2)

Frecuencia de Referencia de Entrada

Entrada de frecuencia de referencia de 10 o 5 MHz. Usada para introducir señales de referencia en frecuencia con una precisión mayor de las que posee el MG3700A, o para sincronizarlo con la frecuencia de otro equipo

(3)

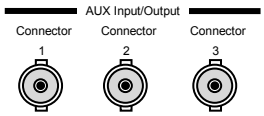
(4)

(3) Junction Conector

(4) Ethernet

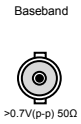
Este puerto sirve para conectar el equipo remotamente. Este es uno de los 2 puertos Ethernet que posee el equipo, estando el primero en la parte frontal. En caso de conectar

en el puerto delantero, en la parte trasera se debe conectar un cable directo suministrado en el equipo entre el conector Unión y el conector Ethernet (3) y (4). Si se quiere conectar atrás, se conecta directamente al Ethernet (4).

(5) 

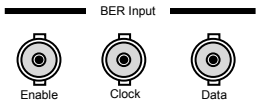
Conectores Auxiliares

Usadas para marcar una señal de salida

(6) 

Reloj de entrada de referencia pasa banda

Entrada de reloj para referencia en el reloj de muestreo del generador vectorial de señales.

(7) 

Entradas de BER

Usadas para mediciones de BER.

Enable: para introducir la señal de disparo de la medición

Clock: usada como señal de reloj para sincronizar los datos.

Data: Entrada de datos.

(8)

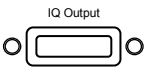
Entrada externa de modulación de pulsos

Entrada de una señal que es usada por la función de modulación de pulso para habilitar la salida de la señal.

(9)

Entrada externa ALC

Usada para introducir un voltaje DC externo para cambiar los niveles de salida de la señal.

(10) 

Salida IQ

Salida de la señal I o Q del generador vectorial de señales

(11)

Conector GPIB

Sirve para la conexión remota a través de GPIB

(12)

Toma de entrada AC

Entrada de la toma de corriente alterna.

(13)

Terminal funcional de tierra

Terminal que se encuentra conectado físicamente al chasis del equipo.

3.1.2. Interfaz Gráfica de Usuario

Al momento de encender el equipo y efectuarse las pruebas automáticas de diagnostico la pantalla básica es como la que sigue:

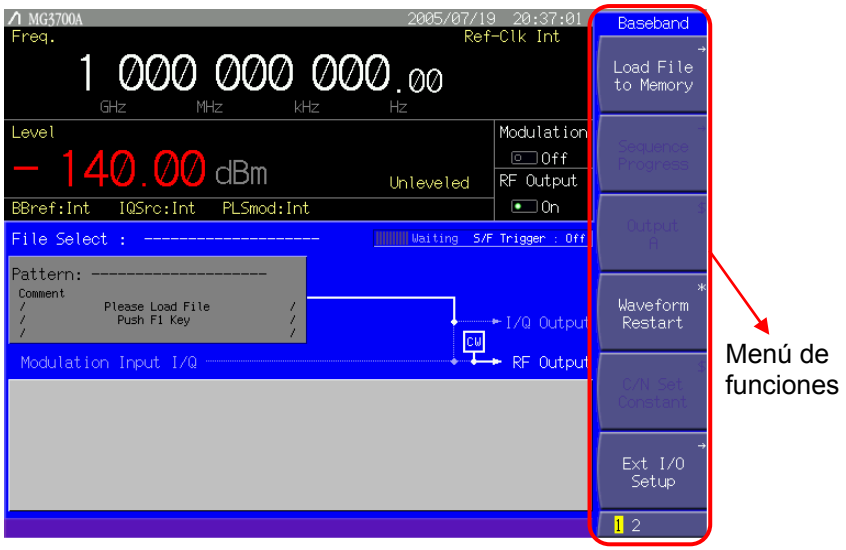


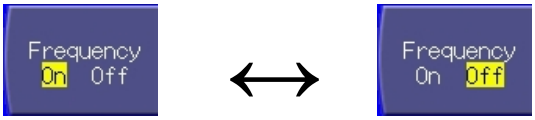
Figura 3.3. Menú funciones pantalla principal MG3700A

- **Menú de Funciones**

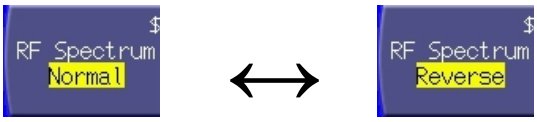
El menú de funciones es desplegado a la derecha de cada pantalla de configuración de parámetros.

En cada caja de función en el menú tiene un símbolo en la esquina superior derecha que significa que acción se encuentra efectuándose cuando una tecla de función suave es presionada. Su significado es el siguiente:

- Sin símbolo: Una vez que se presiona una tecla de función suave asignada, la selección en la caja se conmuta. La selección es resaltada:

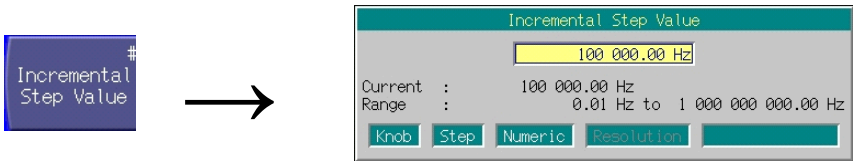


- [$]: Cada vez que se presiona la tecla de función suave, la selección en la caja es conmutada entre las selecciones. Se despliegan todas opciones si existe más de tres para escoger.

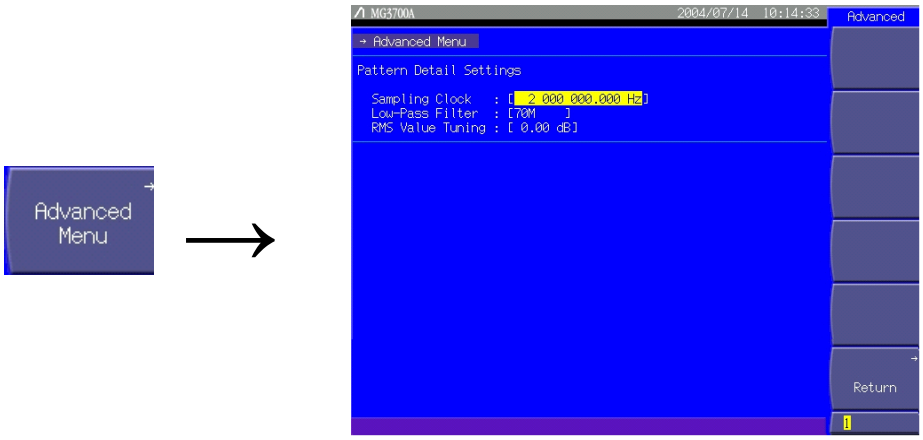


- [*]: Presionando una tecla de función suave, efectúa la acción inmediatamente.

- [#] : Presionando una tecla de función suave se despliega una ventana de configuración.



- [→]: Al presionar una tecla de función suave se despliega un menú detallado.



Los caracteres numéricos que se encuentran al final de la pantalla representan el número de página del menú seleccionado. La pagina actual esta resaltada, y se puede cambiar a la que sigue con la tecla (More).Los ítems en gris no pueden ser seleccionados.

3.1.3. Operaciones Básicas De Configuración

Antes de operar el equipo deben establecerse configuraciones de frecuencia, canal, potencia, etc. para efectuar cualquier prueba. Aquí se podrá ver las formas de configuración de estos parámetros de forma rápida y reducida.

- **Configuración directa de parámetros**

Los parámetros a configurar pueden aparecer directamente en la pantalla sin necesidad de una ventana adicional como se verá más adelante. Existen tres formas:

Ingresando un valor numérico:

Cuando un valor numérico es ingresado usando el teclado el resultado se desplegará en la pantalla. Luego de haber digitado el valor, se procede a aceptar usando una tecla de unidad (ej: “0” ”dBm”, “10” “MHz”) o la tecla (Set). En caso que se quiera cancelar el ingreso, solamente se aplasta la tecla (Cancel) y

automáticamente sale a la pantalla principal conservando el valor que se encontraba configurado.

Aumentando o disminuyendo un valor numérico con la perilla giratoria

Primero hay que seleccionar un digito con el cursor iluminado con las teclas de selección ⟨ ⟩. Luego de esto se aumenta el digito seleccionado con la perilla giratoria en sentido horario, y para disminuirlo en sentido anti horario. Mientras se gira la rueda el parámetro cambia en tiempo real.

Aumentando o disminuyendo un valor numérico con las teclas de paso

Al igual que la perilla giratoria, hay que escoger el digito a aumentar. Luego en el digito seleccionado con las teclas de paso ⌃ ⌄ se aumenta o se disminuye cada vez que es presionada la tecla. Estas teclas igualmente hacen efecto al parámetro a tiempo real.

- **Ventanas de Configuración de parámetros**

Cuando una tecla de función suave con [#] es presionada una ventana de configuración se despliega. También aparece cuando se posiciona el cursor sobre un parámetro con [] en el cual pueden existir varias opciones, al presionar Set se despliega la ventana.
La ventana desplegada indica las operaciones o teclas que uno puede ingresar. Existen tres tipos de ventanas.

- **Ingresando un valor numérico:** Se ingresa con el teclado numérico y seguidamente la tecla de unidad o la tecla Set para aceptar el valor. Para ciertos parámetros aparecerá en la misma ventana los rangos que se pueden ingresar, si se excede aparecerá una ventana de error.

Figura 3.4. Ventana de ingreso de valores numéricos

- **Seleccionando un ítem:** Aparecerán varias opciones vertical en una ventana para poder escoger uno de ellos. La búsqueda se realiza con las teclas de paso ⌃ ⌄ o la perilla giratoria y la selección con la tecla Set.

Figura 3.5. Ventana de selección de un ítem

- **Escribiendo una cadena de caracteres:** En el caso de una cadena de caracteres o un nombre a ingresar, aparecerá una ventana con una paleta de los caracteres admitidos.

Figura 3.6. Ventana de ingreso de una cadena de caracteres

Existen algunos caracteres prohibidos al momento del ingreso, este tema no será cubierto en esta tesis, los detalles se encuentran detallados en el manual de usuario del equipo.

3.1.4. Configuración de Frecuencia

Cuando la tecla de función principal [Frequency] es presionada, el modo de configuración de frecuencia se abre automáticamente. Típicamente en la pantalla de frecuencia se pone el cursor de selección en un digito de la frecuencia.

Rango de Frecuencia del equipo: 250 KHz – 6GHz
Resolución mínima en frecuencia: 0,01 Hz

En el caso de ingresar una frecuencia mayor o menor al rango aparecerá una ventana de error.

La frecuencia puede ser cambiada por diferentes métodos:

- **Teclado Numérico:** Usado para ingresar los valores de frecuencia deseados. Se puede colocar valores de frecuencia no exacta (ej. 25,4 MHz). Para terminar de colocar el valor deseado se debe poner [Set] o la tecla unidad. Si no se termina de colocar la unidad o la tecla [Set] el valor no es actualizado.
- **Perilla Giratoria:** Esta perilla funciona con el cursor de selección. Se debe seleccionar el digito que quiere modificar con las teclas de resolución, aquí con la perilla giratoria se aumenta o se disminuye el valor (aumenta en sentido de las manecillas del reloj y disminuye en sentido contrario). El valor es cambiado a tiempo real.
- **Teclas de Paso:** Al igual que la perilla giratoria se debe escoger el digito a cambiar con las teclas de modificación, una vez seleccionado aumentar o disminuir a elección. El valor es cambiado a tiempo real.

- **Display de Frecuencia**

Es importante distinguir dos tipos de display de en la configuración de frecuencia. El display de frecuencia (únicamente frecuencia) y el display doble de frecuencia y canal. El display de canal es muy útil porque se puede almacenar diferentes frecuencias en varios canales y acceder a ella de manera más fácil y rápida. El almacenamiento de frecuencias se verá más adelante.

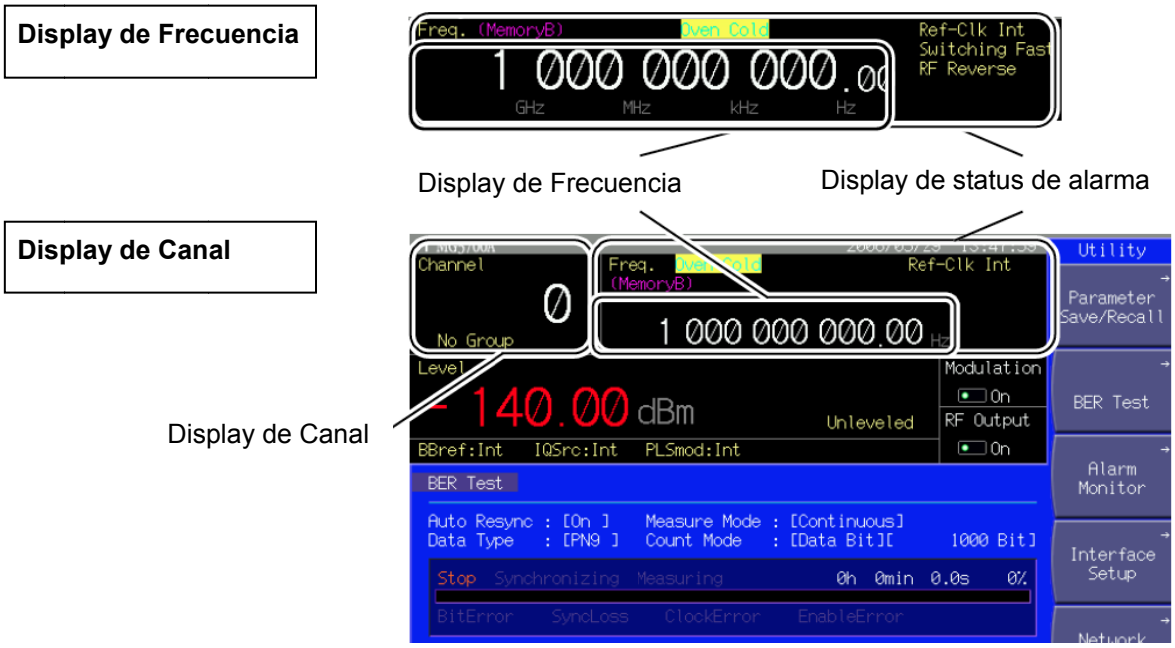


Figura 3.7. Descripción de ventana de configuración de frecuencia

Display	Descripción
Display de Frecuencia	Muestra la frecuencia actual.
Display de Canal	Muestra el canal seleccionado de frecuencia.
Display de status de alarma	Muestra la configuración actual de la frecuencia.

Tabla 3.1. Elementos de la pantalla de configuración de frecuencia

El display de status de alarma se divide en información configuración y en información de posibles alarmas.

Vista Actual	Descripción
Ref-Clk Int Ref-Clk Ext	Indica si la frecuencia de referencia es interna o externa.
Switching Fast	Aparece cuando se configura como conmutación de frecuencia rápido.
RF Reverse	Aparece cuando se configura al espectro de la señal como invertido en el eje y.

Tabla 3.2. Mensajes de información presentados en pantalla

Vista Actual	Descripción
Oven Cold	Indica que la frecuencia esta inestable debido que el equipo debió haber sido encendido. Se necesita 5 minutos aproximadamente para que desaparezca el mensaje.
Alarm	Indica que si se encuentra activado frecuencia de referencia interna, la señal no se encuentra enganchada(después de 5 minutos de encendido).
Check Ext Clk	Indica que si se encuentra activado frecuencia de referencia externa, la señal no se encuentra enganchada.

Tabla 3.3. Posibles mensajes de alarma presentados en pantalla

El equipo tiene la capacidad de tener dos memorias y dos señales simuladas a la vez. Por lo que ambas memorias pueden ser controladas por el display de canal o frecuencia.

Vista Actual		Descripción
	(Modo Edición) *Memory A/ Memory B* (Modo Definido) *Carrier/Noise*	Cuando se ha escogido un archivo de forma de onda para *Memory A* o *Memory B*, indica que frecuencia de forma de onda es usada como frecuencia de Offset. Solo se despliega esto cuando se hace la operación de Adición de Dos Señales y el modo de fuente IQ es activado.

Tabla 3.4. Posibles mensajes de memorias cargadas

Los modos más importantes de operación en el Menú de Funciones de Frecuencia se muestran en la Figura 3.8.

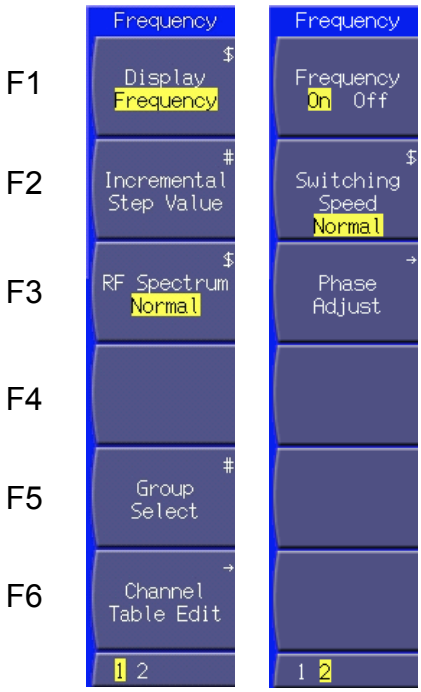


Figura 3.8. Menú de funciones de frecuencia

Pág.	Tecla	Display de Menú	Función
1	F1	Display (Frecuencia/Canal)	Cambia entre la vista de frecuencia y de canal
	F2	Valor incremental de paso (*1)	Sirve para determinar el valor de incremento al presionar las teclas de paso.
	F3	Espectro RF(Normal/Invertido)	Invierte el espectro de la señal de RF
	F4		No existe función
	F5	Selección de Grupo (*2)	Selecciona un grupo de canal.
	F6	Tabla de Edición de Canal (*2)	Genera y edita una tabla de canales.
2	F1	Frecuencia (*2) (On/Off)	Conmuta en la visualización o no de la frecuencia en el modo canal.
	F2	Velocidad de Conmutación (Normal/Rápida)	Cambia la velocidad de conmutación de la frecuencia.
	F3	Ajuste de Fase	Cambia la fase de la señal RF.
	F4		No existe función.
	F5		
	F6		

Tabla 3.5. Teclas y usos del menú de funciones de frecuencia

(*1): Únicamente en modo *único* de [Frecuencia] en el display.

(*2): Únicamente en modo *único* de [Canal y Frecuencia] en el display.

3.1.5. Nivel de Señal de Salida

Cuando se presiona la tecla de función principal Level se abre la opción de configuración del nivel de señal de salida.

El rango de nivel de salida corresponde al siguiente:

En unidad de potencia: -140 a +13 dBm
En unidades de voltaje: -26.99 a +126.01 dBµV

En caso de aumentar ingresar un valor superior o inferior a dichos límites, el equipo mostrará un mensaje de error. En diferentes rangos de frecuencia y modulaciones el equipo tendrá menor rango de nivel de señal, ya que no se puede garantizar una señal inestable a valores grandes. Si esto ocurre o se encuentra al límite del valor garantizado, aparecerá un mensaje de "*Unleveled*" ("No nivelado").

El rango de desempeño garantizado por el equipo es el siguiente:

Frecuencia	Rango
250 kHz ≤ f ≤ 25 MHz	-120 a -1 dBm
25 MHz ≤ f ≤ 3 GHz	-136 a +6 dBm
3 GHz ≤ f ≤ 6 GHz (opción adicional)	-127 a +3 dBm

Tabla 3.6. Nivel de salida garantizado para onda continua (CW)

Los diferentes modos de configuración son a través de:

- **Teclado Numérico:** Al presionar una tecla del teclado numérico automáticamente se abre una ventana para ingresar el valor de intensidad de señal. Inicialmente se debe colocar el signo, si en el caso de ser un nivel negativo (Ej. -47 dBm), se debe presionar [+/-] y seguidamente los números a ingresar. Al final se debe colocar la tecla de unidades [GHz/dBm] (dBm) o [MHz/dBµV] (dBµV) para terminar con el ingreso. En caso de presionar [Set], el equipo asumirá que es dBm y saldrá de la ventana aceptando el valor.
- **Perilla Giratoria:** Se usa para aumentar o disminuir (sentido horario y sentido anti horario respectivamente) el valor de cierto dígito del nivel de señal. Para acceder al digito, se deben usar las teclas de resolución [<][>].

- **Teclas de Paso:** Al igual que la perilla giratoria usando las teclas de resolución escogemos que digito aumentar o disminuir, seguidamente se digita las teclas de paso para aumentar o disminuir ⌃ ⌄ el valor. Los pasos de aumento se determinan con la tecla F1 de la Página 1 de configuración del nivel de señal.

- **Descripción del Display**

La ventana de configuración del nivel de salida de señal cuenta principalmente con el valor de la potencia de la señal, modulación encendida o apagada y si se encuentra activada la señal de RF. La frecuencia viene acompañada en la parte superior izquierda.

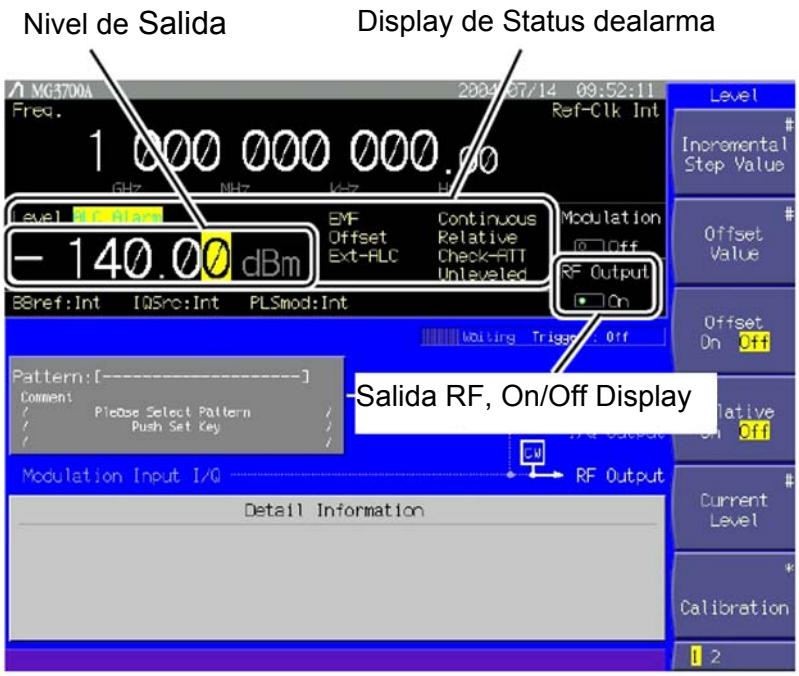


Figura 3.9. Pantalla principal de nivel de señal

Display	Descripción
Nivel de Salida	Muestra el nivel actual de salida de la señal
Display de estado y de alarma	Muestra el información actual y advertencias de la configuración del nivel de salida

Salida RF, On/Off Display	Muestra si se encuentra activada la salida de la señal RF. Encendido o apagado.

Tabla 3.7. Elementos de la pantalla de configuración de nivel de señal

Los diferentes estados o configuraciones que puede presentar el estado de alarma son:

Vista Actual	Descripción
EMF Term	EMF/Term. Cuando el nivel de salida desplegado como voltaje, muestra si es la pantalla de voltaje de circuito abierto (*EMF*) o terminación (*Term*).
Continuous	Operación en modo continuo
Offset	Display de nivel de offset
Relative	Display de nivel de relativo
Ext-ALC	Muestra si está habilitado el ALC externo.
Check-ATT	Este mensaje aparece luego de haberse utilizado un atenuador o atenuadores más de 20 millones de veces. (Si aparece este mensaje referirse al manual de usuario "*Section* 3.10.8")
Unleveled	Indica que la señal de salida sobrepasa el rango garantizado de desempeño.
Out Of Range	Indica que el nivel actual es menor o igual al límite inferior del rango de configuración (excepto en modo secuencia)

Tabla 3.8. Mensajes de información en la pantalla de nivel

En el estado de alarma podemos tener los siguientes mensajes:

Vista Actual	Descripción
ALC Alarm	El nivel de salida no está a un nivel predeterminado

Tabla 3.9. Mensajes de información en la pantalla de nivel

El equipo presenta diferentes colores en el display de color dependiendo de varios factores:

Vista de color	Estado	Descripción
	Estado Normal	Blanco, nivel normal
	Desnivelado	Rojo, estado desnivelado (*Unleveled*) excede el rango garantizado de desempeño
	Estado de modo continuo	Verde, estado de modo continuo.
	Secuencia	Celeste. Se presenta este estado cuando hay varios factores presentes al mismo tiempo: • Fuente IQ: Interna • Modulación encendida (ON) • Cuando se selecciona una combinación de archivos en el modo secuencia y cuando se efectúa una operación continua donde el nivel de la señal cambia automáticamente.

Tabla 3.10. Significado de color de nivel de color

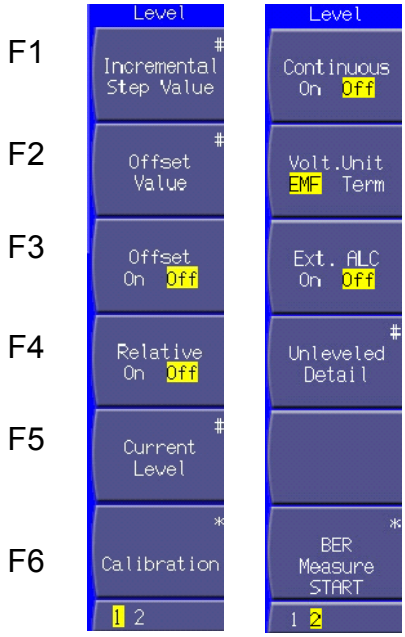


Figura 3.10. Menú de funciones de nivel de señal

Las funciones más importantes del menú del nivel de señal que se detallaran en la tabla, se verá a profundidad las necesarias. En caso de necesitar mayor profundidad acudir al manual de usuario.

Pág	Tecla	Display de Menú	Función
1	F1	*Incremental Step Value*	Configura el valor de incremento o de decremento (del nivel de salida) que se usa cuando se presionan las teclas de paso ⌃⌄
	F2	*Offset Value*	Configura el nivel de offset de salida.
	F3	*Offset (On/Off)*	Activa/desactiva la función de Offset.
	F4	*Relative (On/Off)*	Activa/desactiva la función Relativa
	F5	*Current Level*	Muestra el nivel de señal RF (se usa para configurar el nivel de offset o el nivel relativo)
	F6	*Calibration*	Calibra el nivel de salida.

2	F1	*Continuous (On/Off)*	Activa/desactiva la función de modo continuo.
	F2	*Volt Unit* (*1) *(EMF/Term)*	Cambia el display general a modo de voltaje entre circuito abierto o terminación.
	F3	*Ext. ALC (On/Off)*	Activa/desactiva la función ALC
	F4	*Unleveled Detail*(*2)	Muestra la causa del hecho que el nivel de salida esté fuera de un rango garantizado de desempeño
	F5		No hay función
	F6	*BER Measure Start*	Realiza una medición de BER.

Tabla 3.11. Teclas y usos del menú de funciones de nivel de señal

(*1) Se despliegue únicamente cuando las unidades del nivel de salida (dBμV)

(*2) Se despliega esta opción cuando el nivel de la señal no es garantizado (*unleveled*)

- **Nivel Relativo**

Este modo es útil cuando en una determinada potencia o nivel se necesita aumentar cierto valor fijo, como por ejemplo aumentar 7.5 dB a un nivel fijo de -47 dBm. Activando el modo relativo se puede digitar el valor de 7.5 dB individualmente sin tener que cambiar los -47 dBm.

Presionando F4 se cambia a modo relativo.

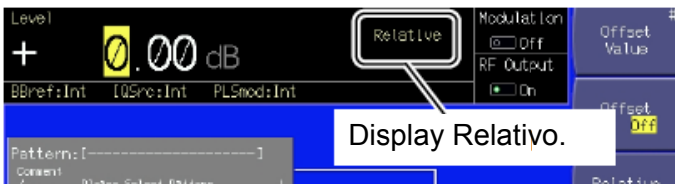


Figura 3.11. Modo relativo de nivel de señal

Por lo que presionando directamente el teclado numérico el valor “7.5” y la tecla de “dBm” (el equipo entiende como dB), el nivel de salida cambia de -47 dBm a -39.5 dBm.

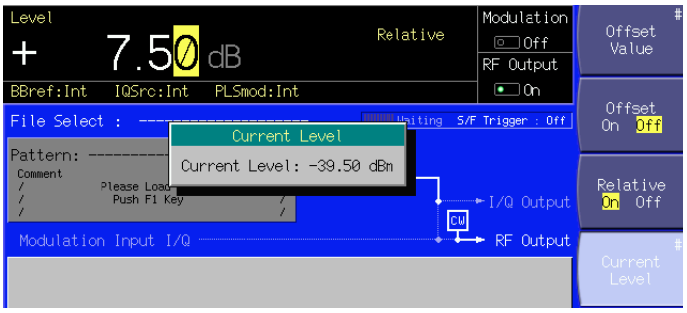


Figura 3.12. Nivel actual de señal usando modo relativo

Con la tecla F5, se muestra el valor actual de salida, con el valor relativo aumentado o disminuido dependiendo del caso.

- **Calibración de la Señal de Salida**

El equipo automáticamente se auto calibra gracias a su circuito en lazo ALC el cual brinda una señal acertada al momento de cambiar la frecuencia, nivel de potencia, o si se escoge un paquete correcto de forma de onda.
Existe la tecla F6 con la que se puede calibrar la señal en el caso que se trabaje durante mucho tiempo con las mismas características como frecuencia, patrón de señal y nivel. Esto corrige ciertos cambios en temperatura y calibra la señal. La calibración dura aproximadamente 100ms dependiendo de ciertas condiciones.

- **RF Output: On / Off**

La salida de RF del equipo se puede encender o apagar al presionar el botón Output en el panel frontal. Al encontrarse encendida él en botón encenderá una luz verde, caso contrario de estar apagado no encenderá.

Figura 3.13. Nivel de señal encendido con *RF Output*

3.1.6. Configuración de Modulación

Presionando el botón de función principal [Baseband] (banda base) abre automáticamente la ventana de configuración de modulación. La luz del botón se encenderá

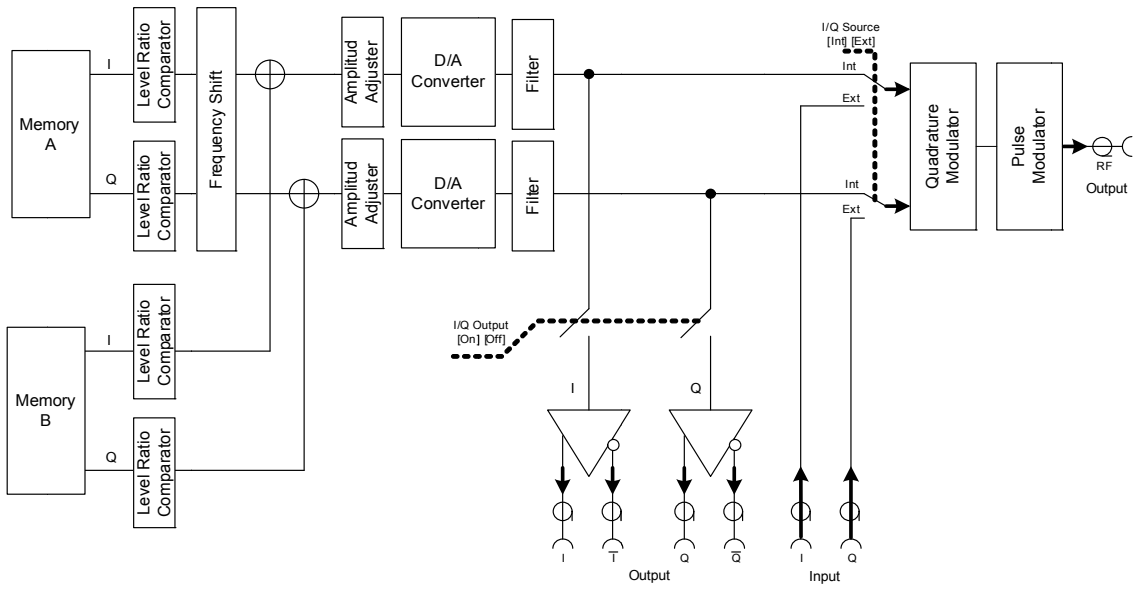


Figura 3.14. Diagrama de interno del equipo de modulación y salida RF de la señal

La Figura 3.14 muestra el diagrama de modulación y salida de la señal RF en total interno del equipo. Como se puede ver en el diagrama, el equipo posee dos memorias las cuales se pueden sumar, o activar individualmente. El equipo tiene salidas independientes para las señales I y Q las cuales van a ser analizadas en el transcurso de esta tesis.

El flujo de la señal RF es determinado en base de la fuente de modulación digital I/Q, fuente de modulación por pulsos y el interruptor de modulación MOD On/Off en el panel frontal.

Los diferentes estados de la señal modulada en RF se resumen aquí.

Configuración			**Señal de Salida**	
Salida I/Q	**Mod On/Off**	**Fuente I/Q**	**Salida I/Q**	**Salida RF**
[Off]	[Off]	[Int], [Ext]	No salida	Onda Continua
	[On]	[Ext]		Modulación externa vectorial
		[Int]		Modulación interna vectorial
[On]	[Off]	[Int], [Ext]	Señal Interna I/Q	Onda Continua
	[On]	[Ext]		Modulación externa vectorial*
		[Ext]		Modulación interna vectorial*

* Si la salida I/Q y el modo Mod On/Off están activados, la salida RF no será de nivel garantizado

Tabla 3.12. Combinaciones de configuración para salida de la señal RF

- **Descripción de Pantalla**

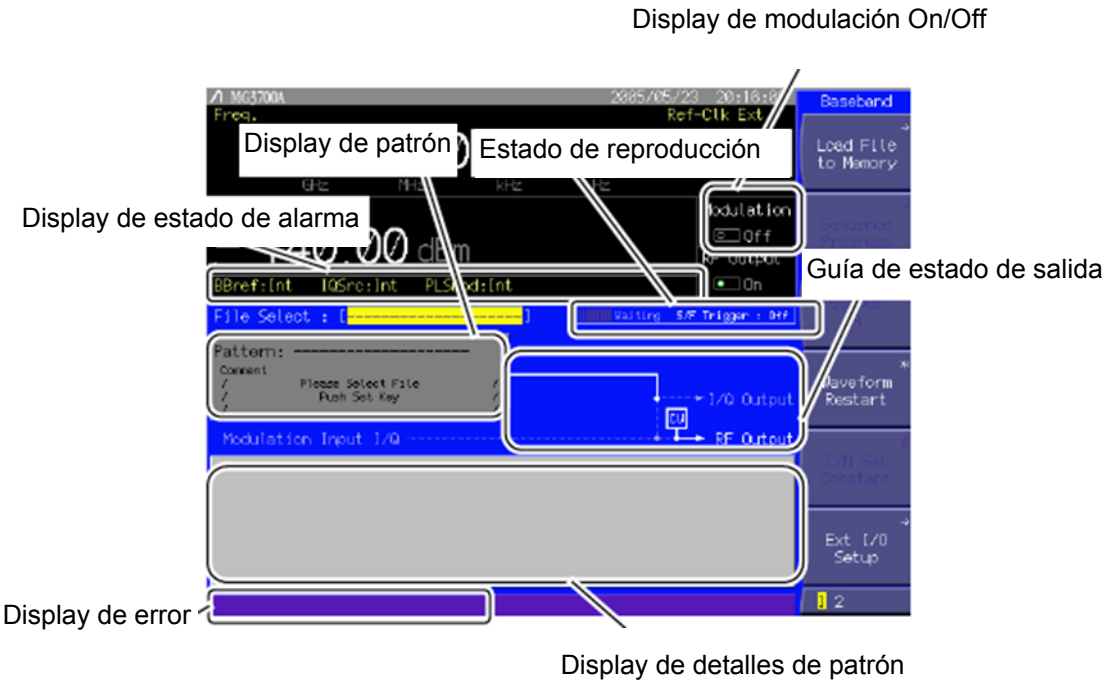


Figura 3.15. Descripción de pantalla principal del menú de modulación

Display	Descripción
Display de patrón	Muestra el patrón actual seleccionado
Display de detalles de patrón	Muestra el contenido de texto asociado con el patrón seleccionado.
Display de modulación On/Off	Muestra si está encendida la modulación.
Display de estado de alarma	Muestra el estado y alarma de la configuración de banda base
Estado de reproducción	Muestra la reproducción del patrón reproduciéndose.
Guía de estado de salida	Muestra el estado de modulación de las salidas y si se encuentra habilitada.
Display de error	Muestra si existe un error cuando se selecciona un patrón.

Tabla 3.13. Descripción de elementos de pantalla en menú de modulación

Los estados de la configuración posibles en el display de estados de alarma se ven en las siguientes tablas.

Vista Actual	Descripción
BBref:Int	Muestra la fuente del reloj de referencia de banda base. (interno o externo)
IQSrc:Int	Muestra la fuente I/Q (interna o externa)
PLSmod:Int	Muestra el estado de la modulación de pulso. (Modulación interna o externa de señal; modulación de pulso Off)

Tabla 3.14. Mensajes de información de modulación

Las alarmas posibles en el menú de pasa banda son:

Vista Actual	Descripción
BBref Alarm	Muestra que si la fuente de reloj de pasa banda es interna, el reloj se encuentra inestable.
Check Ext BBref	Muestra que si la fuente de reloj de pasa banda es externa, el reloj se encuentra inestable.

Tabla 3.15. Alarmas posibles de modulación

Vista Actual	Descripción
Mismatched Sampling Clock	Este mensaje significa que si se ha escogido un patrón de forma de onda para la memoria A y tiene un reloj de muestreo diferente de otro patrón en la memoria B. Esto sucede en el modo Edición (*Edit Mode).* En estos casos el equipo opera de la siguiente manera con el mensaje mostrado: • Opera con el reloj de muestreo del

	patrón de la memoria A • Ya que el reloj es diferente de la memoria B, el comportamiento será anormal en ancho de banda.

Tabla 3.16. Alarmas posibles de modulación

Las opciones de la ventana de menú en modo pasa banda son:

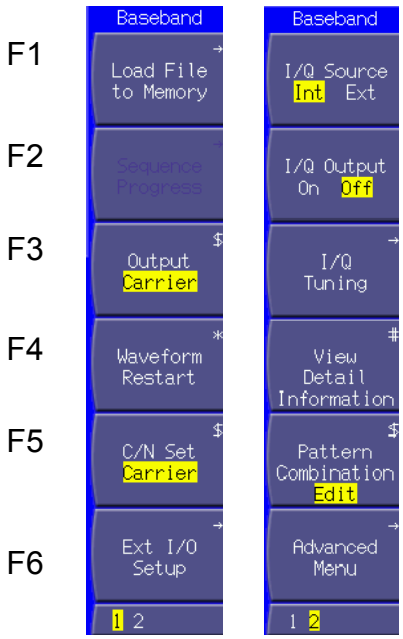


Figura 3.16. Menú de funciones de modulación

Pág	Tecla	Display de Menú	Función
1	F1	*Load File to Memory*	Muestra la pantalla para transferencia de archivos.
	F2	*Sequence Progress* (*1)	Muestra la ventana de progreso de secuencia.
	F3	*Output* (*2) *(Carrier/Noise/C&N)*	Selecciona un patrón de forma de onda de salida para ambas memorias.
		Output (*2) *(A/B/A&B)*	

	F4	*Waveform Restart*	Resetea el patrón de forma de onda empezando desde el inicio.
		*Sequence Restart (*1)*	Resetea la secuencia desde el primer elemento.
	F5	*C/N Set (*2) (Carrier/Noise/Constant)*	Selecciona el destino al cual el radio de nivel es aplicado.
		*A/B Set (*2) (A/B/Constant)*	
	F6	*Ext I/O Setup*	Configura la entada/salida de señal y sale de la ventana.
2	F1	*I/Q Source(Int/Ext)*	Conmuta la fuente de señales de cuadratura a fuente interna o externa.
	F2	*I/Q Output(On/Off)*	Activa o desactiva la salida de las señales I/Q.
	F3	*I/Q Tuning*	Ajusta los niveles de voltaje de las señales I/Q.
	F4	*View Detail Information (*3)*	Muestra el contenido del texto adjunto al archivo de patrón de forma de onda.
	F5	*Pattern Combination (Defined/Edit)*	Conmuta entre el modo Definido o el modo de Edición.
	F6	*Advanced Menu*	Configura otras opciones de la modulación en un menú avanzado.

Tabla 3.17. Alarmas posibles de modulación

(*1): Desplegado únicamente cuando un archivo de combinación es seleccionado en modo *Sequence* (Secuencia).

(*2): Mostrado únicamente cuando el nivel de salida de las memorias A y B pueden modificarse. En el modo *Defined* (Definido): *Carrier, Noise, and C&N* son mostrados. En modo *Edit* (Edición): *A*, *B* y *A&B* son mostrados.

(*3): Mostrado únicamente en modo Edit (Edición).

3.1.7. Patrón de formas de onda para la modulación

El MG3700A es capaz de reproducir patrones de formas de onda y realizar la modulación vectorial con este patrón. Los patrones de onda son almacenados en los archivos *patrón* en el disco duro interno del MG3700A. La carpeta que contiene los patrones clasificados por tipo es llamada *paquete*.

Para reproducir el patrón de forma de onda, primero se debe cargar el paquete del patrón (almacenado en el disco duro interno) en una memoria (o memorias). El MG3700A contiene dos memorias en dos configuraciones de canales (I y Q); el patrón del paquete es cargado en una de ellas o ambas de las memorias. Seguidamente se selecciona uno de los patrones que han sido cargados en la memoria o memorias. Un patrón puede ser seleccionado desde cada memoria A o B. El patrón de cualquiera de las dos Memorias A y memoria B son reproducidos como salida.

También, los archivos que son llamados *archivos de combinación (combination files)* son guardados como un paquete. Una combinación de patrones a ser reproducida a la salida es definida y parámetros, como radio de nivel de salida, son almacenados en un archivo de combinación. Cuando un archivo de combinación es seleccionado, un patrón es reproducido a la salida de acuerdo con la configuración del archivo de combinación, por lo que hace que no se necesite cargar un patrón para cada memoria. El modo en el cual cualquier archivo de combinación es seleccionado, o un archivo de patrón de onda es seleccionado para cualquier memoria A o B, para ser reproducido a la salida de acuerdo al archivo de configuración, es llamado el Modo Definido (*Defined Mode*).

El modo en el que los patrones son seleccionados separadamente para las memorias A o B, y el nivel de radio y otros parámetros son colocados en la pantalla de configuración de modulación digital, es llamado el Modo Edición (*Edit Mode*).

Los archivos de patrón y los archivos de combinación son ambos referidos como archivos de forma de onda por el MG3700A.

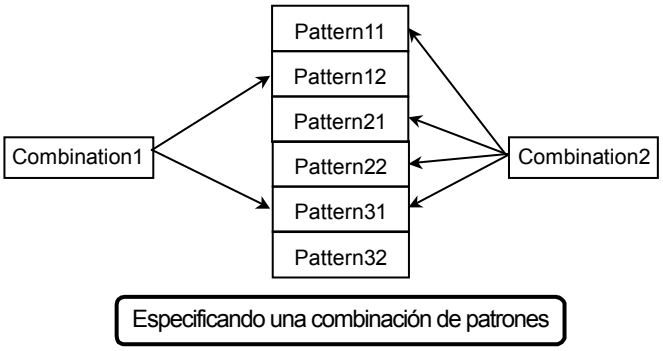


Figura 3.17. Relación entre archivos de combinación *(Combination)* y archivos patrón *(Pattern)*

El método de añadir o usar entre los archivos o patrones de onda en el equipo es la siguiente.

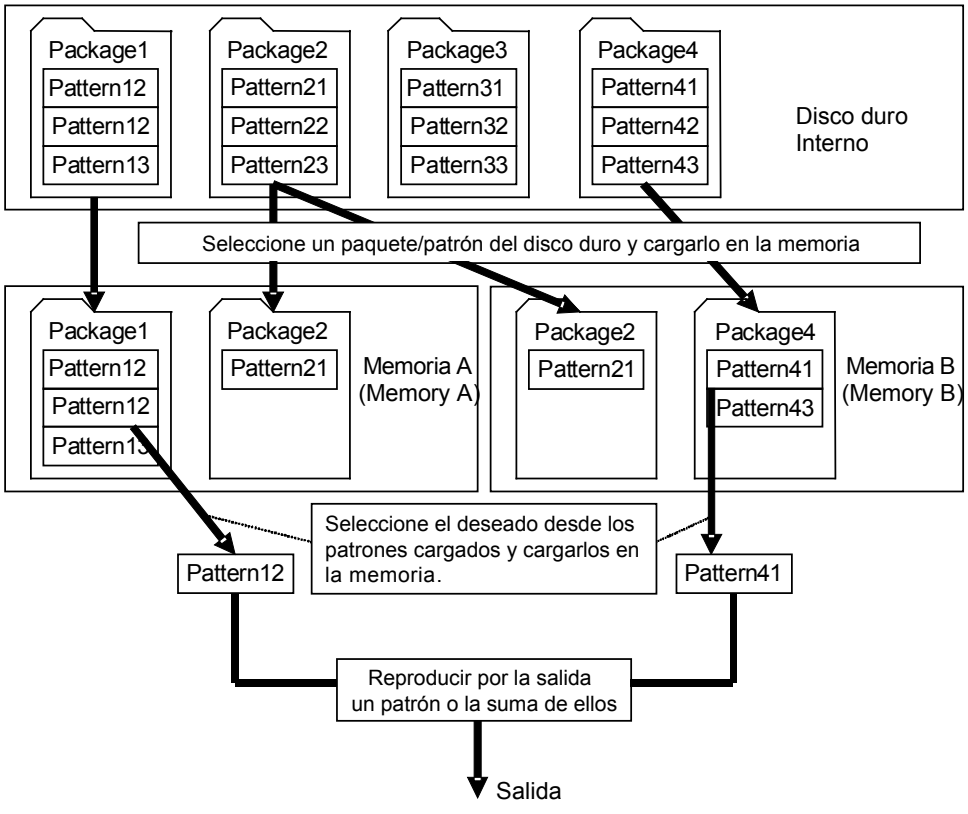


Figura 3.18. Esquema de la salida del patrón de forma de onda. Patrones (*Pattern*) y paquetes (*Package*).

Para agregar nuevos paquetes de patrones al disco duro, existen las siguientes posibilidades:

- Usar la tarjeta de memoria CF (*Compact Flash*)
- Usando el software *IQproducer* que incluye el equipo MG3700A para transmitir el patrón de una PC de forma externa.

- **Cargar una forma de onda en memoria**

Presionando la tecla F1 (*Load file to memory*) abre la ventana para cargar un archivo de forma de onda. En esta pantalla los archivos de forma de onda guardados en el disco duro son cargados en las memorias integradas en el MG3700A. Una característica de estos patrones de onda es que pueden ser copiados, borrados del disco duro.

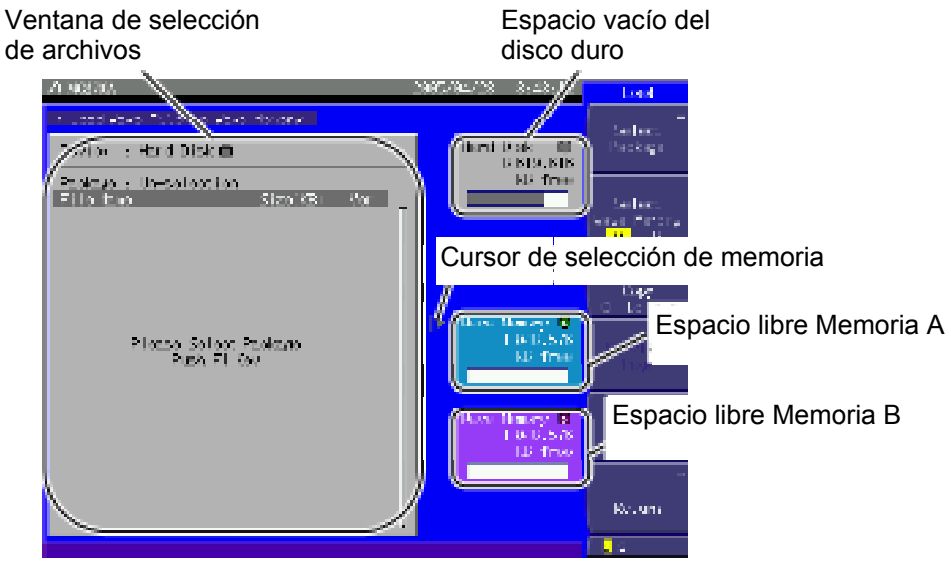


Figura 3.19. Ventana de carga de formas de onda

Pantalla	Descripción
Ventana de selección de archivos	Muestra los archivos de forma de onda.
Espacio vacío de disco duro	Muestra el espacio del disco duro interno.
Espacio libre Memoria A	Muestra el espacio vacío de la Memoria A.
Espacio libre Memoria B	Muestra el espacio vacío de la Memoria B.
Cursor de selección de memoria	Muestra la memoria (A o B) que contenga el patrón mostrado en ese momento.

Tabla 3.18. Elementos de la pantalla de formas de onda

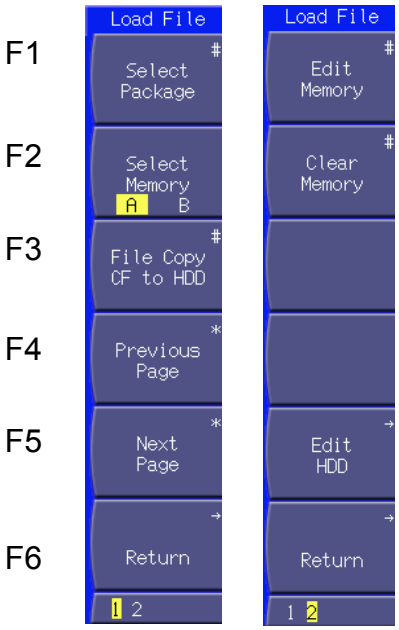


Figura 3.20. Menú de funciones de la pantalla de formas de onda

Pág	Tecla	Display de Menú	Función
1	F1	*Select Package*	Selecciona el paquete que contiene los archivos de forma de onda.
	F2	*Select Memory (A/B)*	Selecciona la memoria donde en donde cargar el archivo de forma de onda.

	F3	*File Copy CF to HDD*	Copia el archivo desde la memoria CF al disco duro interno.
	F4	*Previous Page*	Cambia la vista de la selección de la ventana de selección de archivos anterior.
	F5	*Next Page*	Cambia la vista de la selección de la ventana de selección de archivos siguiente.
	F6	*Return*	Cierra la ventana de carga de archivos de forma de onda y retorna a la pantalla principal.
2	F1	*Edit Memory*	Borra un patrón cargado en una de las memorias o algún comentario de ellas.
	F2	*Clear Memory*	Borra todos los patrones cargados en las memorias.
	F3		No función
	F4		No función
	F5	*Edit HDD*	Edita los archivos de forma de onda guardados en el disco duro interno.
	F6	*Return*	Cierra la ventana de carga de archivos de forma de onda y retorna a la pantalla principal.

Tabla 3.19. Usos de teclas del menú de funciones

- **Cargar un patrón de forma de onda en memoria**

Para explicar el proceso de carga un patrón de forma de onda en la memoria es más fácil explicarlo con un ejemplo. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar F2 (Select Memory) para seleccionar la memoria en la que el archivo de patrón va a ser cargada. Para cargar el patrón en la memoria A,

colocar el cursor de selección en “A”. Si se desea cargar en la memoria B, simplemente escoger “B”. Cuando un archivo de combinación es seleccionado como patrón de onda, la salida es especificada en el archivo, sin importar en esta ocasión, la memoria seleccionada.

- Presionar F2 (*Select Package*) para mostrar la ventana de selección de paquete (*Select Package*).

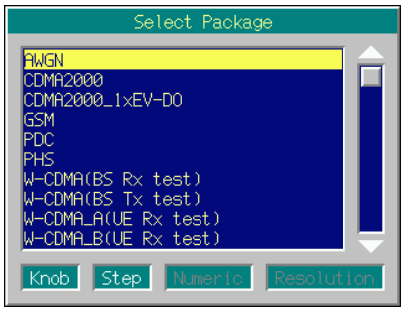


Figura 3.21. Ventana de selección de paquete

- Selecciona el paquete que se va a usar usando la perilla giratoria o ⌃⌄, y escoger la selección presionando Set.
- La Figura 3.22 muestra la ventana de selección de patrones incluidos en el paquete seleccionado. Seleccionar el patrón de onda deseado a ser cargado en memoria usando la perilla giratoria o ⌃⌄. Terminar la selección presionando Set.

  Si se selecciona [*** ALL Load ***], todos los patrones de onda en el paquete se cargaran en la memoria.

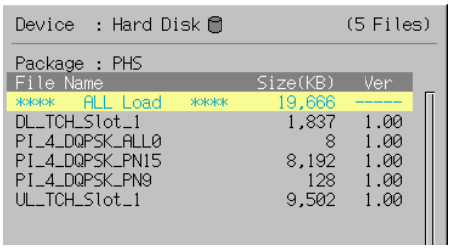


Figura 3.22. Ventana de selección del archivo de forma de onda

- La ventana de barra de progreso se muestra mientras la forma de onda es cargada. Se cancela el progreso de cargar a memoria si se presiona la tecla Cancel.
- Presionar F6 (*Return*) para retornar a la pantalla de configuración de modulación digital (pantalla principal).

En caso que un patrón de forma de onda quiera ser cargado en la memoria y este exceda el tamaño de una de ellas, usará las memorias A y B. Cuando un patrón es muy largo, solo es posible cargarlo en el modo definido (*Defined Mode*).

Cuando se desea cargar un patrón muy largo, en la pantalla aparecerá el mensaje de borrar las memorias para cargar el patrón. La Figura 3.23 ilustra como un patrón o una combinación de archivos se carga en las memorias A y B.

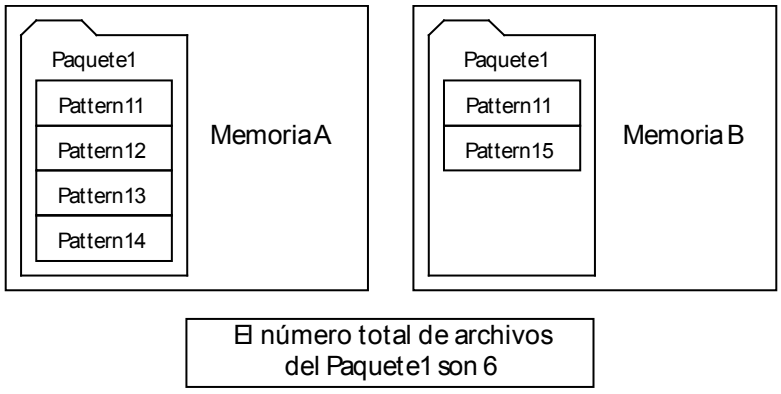


Figura 3.23. Método de carga de un patrón de onda muy largo

NOTA:

Ningún archivo puede copiarse mientras esté cargado en la memoria del equipo.

Si por algún problema el equipo se apaga mientras esté en uso, el archivo en memoria será borrado.

- **Borrar un archivo de forma de onda de la memoria**

Se puede mostrar comentarios sobre un patrón de onda o se puede borrar un archivo de forma de onda de la memoria.

Cuando se intenta agregar un patrón de forma de onda de tamaño más grande que el espacio restante en la memoria con varios patrones ya previamente cargados, es necesario borrar algún archivo para que se limpie la memoria. Aquí el procedimiento para acceder al menú de edición y borrado.

- Presionando la tecla More, se despliega el menú de funciones de la segunda página. Presionar la tecla F1 (*Edit Memory*). El paquete cargado en memoria aparece en la lista en la ventana de selección.
- Seleccionar el paquete que contiene la señal o el paquete de forma de onda a borrar, usando la perilla giratoria o. Aceptar presionando Set.
- La forma de onda contenida en el paquete seleccionada es mostrada en la pantalla. Una nueva ventana abre la forma de onda. Los archivos son puestos en la lista en una ventana como la siguiente.

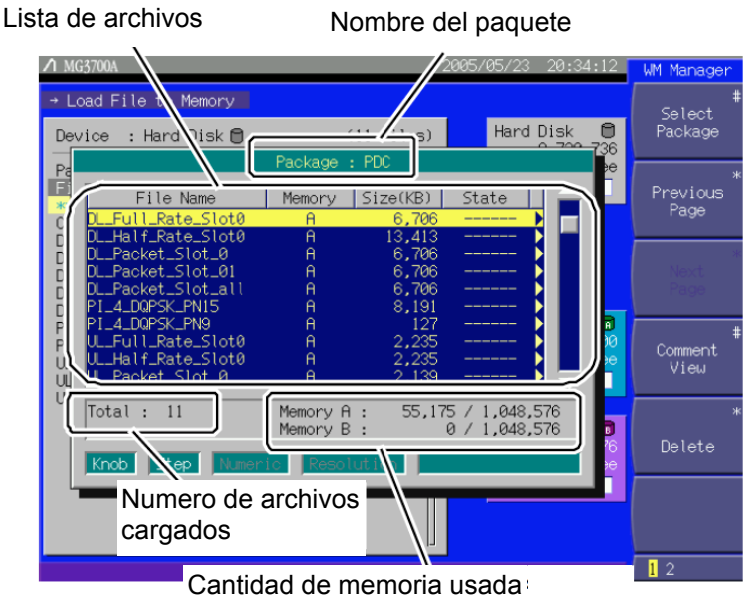


Figura 3.24. Ventana de selección de archivos

Pantalla	Descripción
Lista de archivos	Muestra los archivos del paquete escogido.
Nombre de paquete	Muestra el nombre del paquete explorado.
Numero de archivos cargados	Muestra los archivos que tiene cargado el paquete.
Cantidad de memoria usada	Muestra ambas memorias y su uso

Tabla 3.20. Elementos de la pantalla de lista de archivos

La lista de archivos contienen los nombres de formas de onda, memorias, tamaño y estados. “Activo” en la columna “Estado” indica que la forma de onda ha sido seleccionada para su uso en la modulación.

Pág	Tecla	Display de Menú	Función
1	F1	*Select Package*	Selecciona el paquete cargado en memoria
	F2	*Previous Page (*1)*	Cambia la vista de la selección de la ventana de selección de archivos anterior.
	F3	*Next Page (*1)*	Cambia la vista de la selección de la ventana de selección de archivos siguiente.
	F4	*Comment View*	Muestra los comentarios de la forma de onda.
	F5	*Delete*	Borra la forma de onda seleccionada
	F6		No función
2	F1	*Clear Memory*	Borra todos los paquetes y patrones cargados en las memorias.
	F2	*Top Page(*1)*	Salta el patrón de forma de onda al inicio del paquete.
	F3	*Last Page (*1)*	Salta el patrón de forma de onda al final del paquete.

	F4		No función
	F5		
	F6		

Tabla 3.21. Usos de teclas del menú de funciones

- Seleccionar el patrón de forma de onda que se necesite borrar usando la perilla giratoria o ⌃⌄.
- Cuando un patrón de onda es seleccionado, al presionar F5 (*Delete*), se muestra una ventana de confirmación. Aceptar la selección por medio de [Yes] (si) y presionar Set para aceptar y borrar el patrón seleccionado de memoria.

Cuando se borran los patrones de onda de la memoria incorporada del equipo, no significa que serán borrados del disco duro.

- **Borrar todos los archivos de memoria**

- Presionar More para cambiar a la segunda página del menú de funciones. Presionar la tecla F1 (*Clear Memory*), y se muestra la ventana de confirmación.
- Aceptar la selección con la tecla [Yes] (si) y presionar Set para borrar todos los archivos cargados en la memoria.

A su vez, borrando los archivos de la memoria interna, no borra el contenido del disco duro.

Existen otras funciones como copiado de archivos a la memoria CF y borrar archivos del disco duro, pero estos procedimientos no van a ser usados en esta tesis. Para más información recurrir al manual de usuario.

- **Reproducción de un patrón de forma de onda por la memoria A o B en el modo Edición (*Edit Mode*)**

En el modo edición, la modulación es efectuada seleccionando un archivo de patrón de onda (no un archivo de combinación). Un patrón es seleccionado para cada memoria y es reproducido a la salida. El siguiente método describe como activar y reproducir un patrón en la memoria A.

- Cargar el patrón de onda en la memoria A como se efectúo en la sección anterior (no un archivo de combinación).
- Presionar la tecla More para cambiar a la segunda página del menú de funciones. Presionar la tecla F5 (*Pattern Combination*) y colocarla en *Edit*.
- Nuevamente presionar la tecla More para cambiar a la primera página. Presionar la tecla F3 (*Output*) y colocar la función en [A]. Se puede ir cambiando entre varias selecciones, [A], [B] y [A & B]
- Después de que el patrón de onda ha sido cargado en la memoria, el cursor es colocado en [Pattern : [----------]] en la pantalla de modulación digital. Presionar Set para mostrar el paquete actualmente cargado en la memoria.
- Seleccionar el paquete y presionar Set. Los archivos de patrón que contiene el paquete aparecen a continuación. Seleccionar el patrón necesitado para la modulación. El nombre del archivo de selección es desplegado en [Pattern : [----------]] con su nombre y su información bajo este campo.

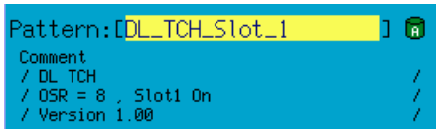


Figura 3.25. Información de patrón

- Para activar la modulación en sí, presionar MOD On/Off . El LED del botón se iluminará en verde y encenderá la modulación vectorial.

  El contenido del texto añadido al patrón puede ser visto con la tecla More para cambiar a la página siguiente y presionando F2 (*View Detail Information*).

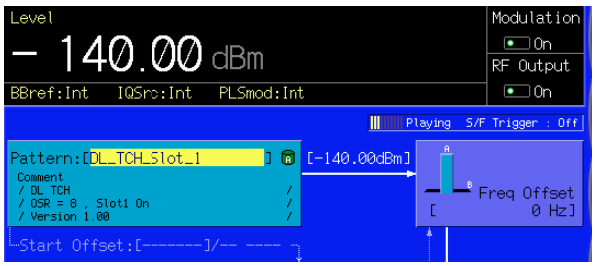


Figura 3.26. Estado de salida del patrón

- **Reproducir señales I/Q**

La señal I/Q generada en la modulación digital del equipo puede ser reproducida como salida desde el panel trasero por un conector especial. Para configurar la señal I/Q se debe seguir el siguiente procedimiento.

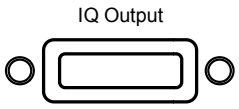
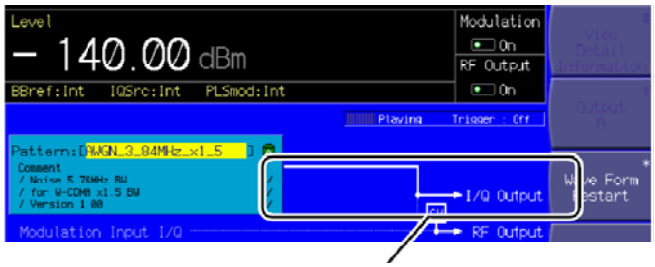


Figura 3.27. Conector I/Q del panel trasero

- Presionar la tecla More para cambiar a la segunda página del menú de funciones.
- Presionar la tecla F2 (*I/Q Output*) para cambiar a encendido (*On*) o apagado (*Off*).

  El patrón y la salida I/Q son conectados por una línea puente en la pantalla.



Conexión por medio de puente

Figura 3.28. Estado de señal I/Q de salida

Esta salida es usada independiente de la salida RF, es decir si se enciende la modulación por RF, el nivel no será garantizado (los dígitos de nivel estarán en color rojo).

3.2. Analizador de espectro *Anritsu* MS2036A

El analizador de redes *Anritsu* MS2036A es un equipo usado en campo para realizar mediciones de medición de espectro, averías y fallas de cables, medición de bajas potencias RF, generador de un barrido RF para determinadas operaciones como prueba de cables, filtros en un ancho de banda específico.

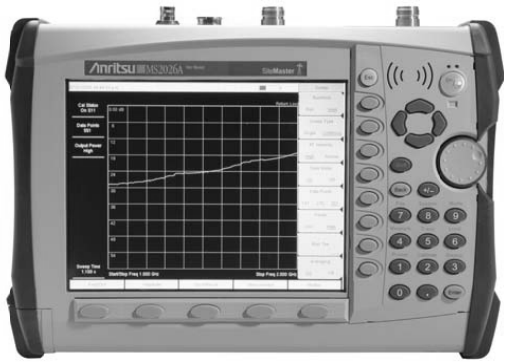


Figura 3.29. Generador vectorial Anritsu MS2036

Como este equipo posee varias funciones, la función que se necesitará en esta práctica es de analizador de espectro .La medición del espectro de las señales para su análisis y comprobación con la teoría va a ser su principal uso.
La ventaja de este equipo es que es portable con una batería autónoma que brinda períodos de trabajo de hasta tres horas con una carga completa sin estar conectado a la red de energía.

Esta introducción del equipo brindará del conocimiento necesario para realizar las prácticas y las funciones especiales del equipo. En caso de necesitar alguna función adicional o consultar sobre procedimientos más a profundidad, consultar el manual de usuario (inglés).

3.2.1. Descripción física y general del equipo

Como el MS2036A será utilizado como analizador de espectro, las demás funciones y conectores no serán usados. De todos modos la siguiente imagen indica los conectores que posee el MS2036A.

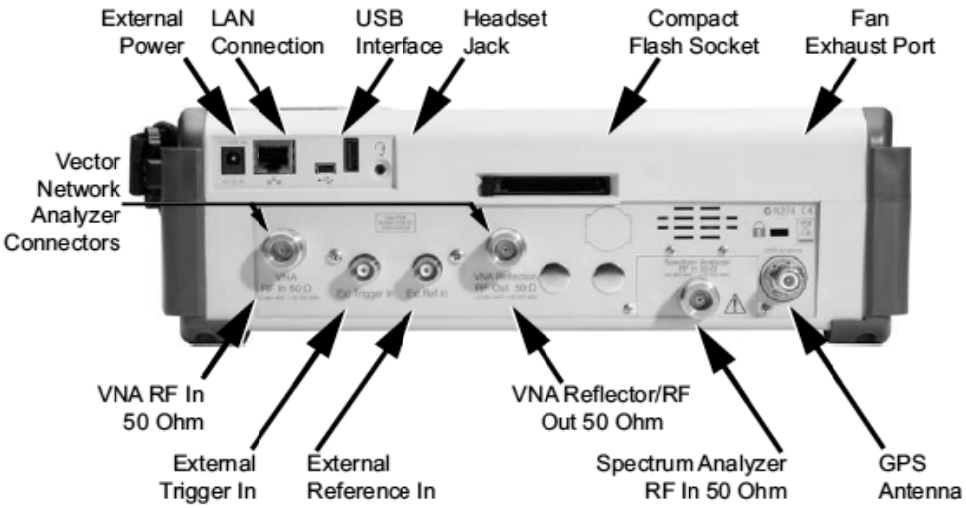


Figura 3.30. Vista superior de conectores

El equipo posee varios conectores los cuales son usados para funciones como analizador vectorial (*Vector Network Analyzer*) y acciones de disparo (*Trigger*). Posee una entrada de antena GPS para calibración y sincronización.

Posee entradas USB, 3.5mm (*headset*), tarjeta CF y RJ-45 para comunicación remota del equipo vía PC.

El único conector de nuestro interés en las prácticas será el conector Tipo N hembra 50 Ω de entrada del analizador de espectro, "*Spectrum Analyzer RF IN 50* Ω".

- **Panel Frontal**

A diferencia del equipo MG3700A que es un equipo de laboratorio, el MS2036A es un equipo de medición usado en el campo generalmente. No posee conectores ni nada la parte posterior por lo que su pantalla y botones están sobre el panel frontal. En la parte superior se encuentran los conectores como se vió en la sección anterior.

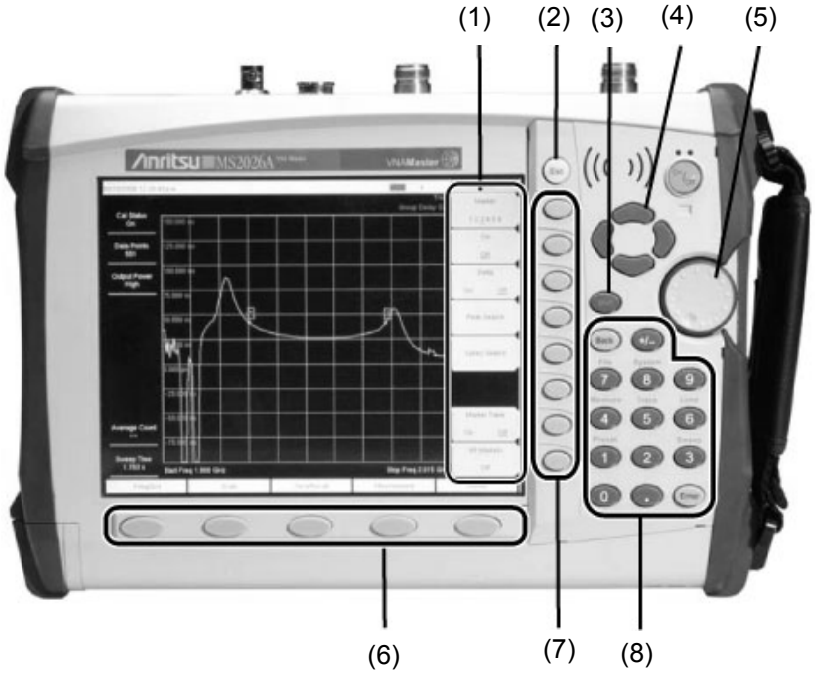
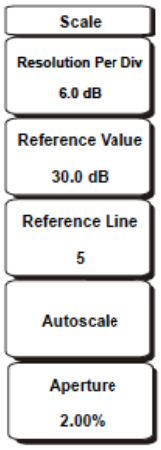


Figura 3.31. Vista frontal Analizador vectorial MS2036A

(1) 

Bloque de funciones activas

Son las funciones que son activadas con las teclas suaves de función. Están colocadas al lado derecho de la pantalla en un arreglo vertical. Son las encargadas de dar configuración al analizador de espectro para opciones de medición. Por ejemplo después de aplastar una tecla de función dura, sus sub-funciones aparecen en esta pantalla.

(2)

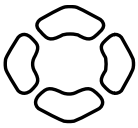
Tecla de escape

Cancela cualquier configuración que se esté efectuando en ese momento.

(3)

Tecla Shift

Esta tecla ejecuta una función diferente en teclas que tengan un texto azul de ellas, como por ejemplo algunas teclas del teclado numérico. Cuando se presiona, en pantalla indica que "*Shift"* está activo.

(4) 

Flechas de selección

Las cuatro flechas de selección son usadas para subir o bajar, izquierda o derecha en los menús. También se usan para cambiar un valor o cambiar entre varias opciones.

(5)

Perilla giratoria

Esta tecla se usa para navegar entre los menús, y configuraciones de valores. Esta perilla también tiene la función de ser presionada como un botón al terminar su uso y se usada como tecla *Enter*.

(6)

Teclas de función dura

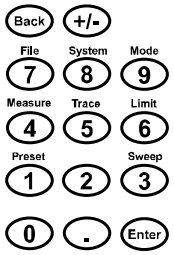
Son un arreglo de 5 teclas que contienen las opciones principales del analizador de espectro. *Frequency* (Frecuencia), *Amplitude* (Amplitud), *Span, BW*

(Bandwidth - Ancho de banda*)* y *Marker*(Marcadores).

(7)

Teclas de función suave

Son un arreglo de 8 teclas verticales usadas para escoger opciones que aparecen en el lado derecho de la pantalla. Se usa para navegar entre configuraciones de las mismas.

(8) 

Teclado

Las teclas numéricas son usadas para introducir valores. Algunas poseen doble función usando la tecla Shift.

La tecla Back, es usada para borrar un caracter, número o rango que esté usando el cursor.

La tecla +/- cambia el signo de una cantidad numérica.

La tecla Enter se usa para aceptar valores y confirmar configuraciones.

Tabla 3.22. Teclas del panel frontal de MS2036A

- **Pantalla de analizador de espectro**

El analizador de espectro despliega una pantalla típica dividida en ventanas que nos dan idea de la medición en proceso.

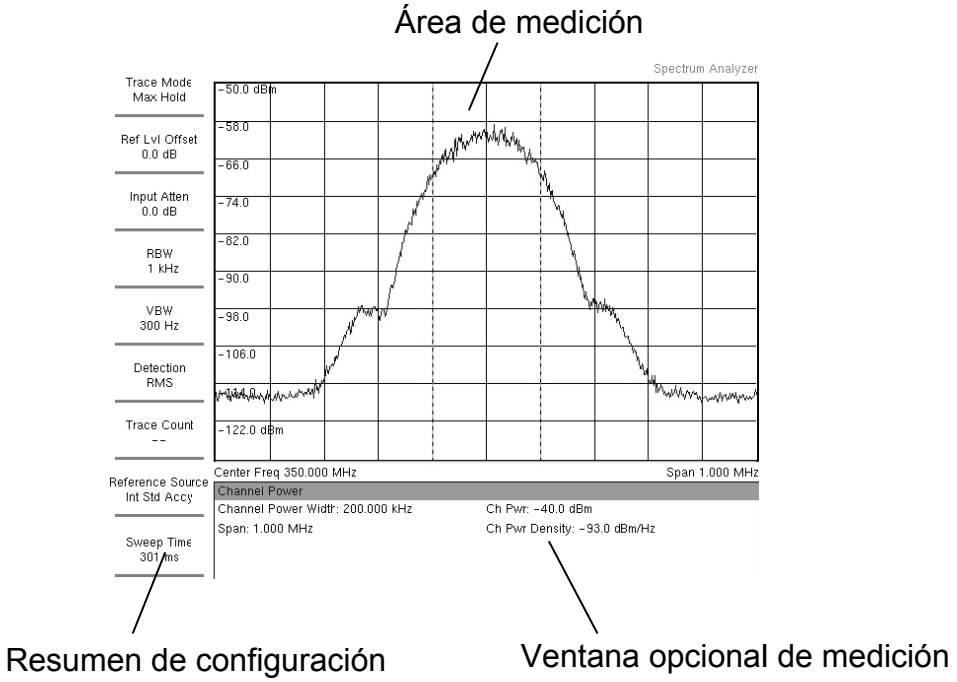


Figura 3.32. Típica vista de modo: analizador de espectro

Las tres ventanas se describen a continuación:

Pantalla	Descripción
Área de medición	Muestra la onda de la medición en frecuencia. Aquí se despliegan marcadores (*markers*), límites (*limits*) y otras mediciones adicionales a la onda en progreso.
Resumen de configuración	Muestra valores de configuración importantes, como modos de detección, ancho de banda de resolución y tiempo de barrido.
Ventana opcional de medición	Es opcional porque solo algunas mediciones despliegan esta ventana, mediciones como potencia de un canal o potencia efectiva; se muestran resultados de estas mediciones.

Tabla 3.23. Elementos de la pantalla típica de analizador de espectro

3.2.2. Especificaciones generales como analizador de espectro

Rango de frecuencia:	9 kHz – 7.1 GHz
Máxima potencia contínua de entrada:	+30 dBm
Span de frecuencia:	10 Hz a 7.1 GHz
Tiempo de barrido:	Mínimo 100 ms, 10 µs en *Span*cero
Ancho de banda de resolución:	1 Hz
Rango de medición de amplitud:	Piso de ruido, hasta +30 dBm
Rango de pantalla:	1 a 15 dB/div en pasos de 1 dB. Diez divisiones en pantalla
Medidas absolutas logarítmicas:	dBm, dBV, dBmv, dBµV

3.2.3. Configuración en modo analizador de espectro

Para preparar el equipo en modo analizador de espectro, es necesario seguir el siguiente procedimiento en el caso que al momento de usarlo no esté en este modo.

- Presionar la tecla (Shift) y seguidamente la tecla (Mode 9) (*Mode*).
- A continuación se nos despliega una ventana de los diferentes modos del equipo, con la perilla giratoria o con (<) (>) seleccionar el modo "*Spectrum Analyzer*" y aceptar la selección con la tecla (Enter).

3.2.4. Realizar mediciones con el analizador de espectro

Inicialmente para hacer una medición es necesario conectar el puerto del analizador de espectro "*Spectrum Analyzer RF In*" con una antena o con un cable coaxial tipo N. Es necesario para localizar una señal de interés en el analizador de espectro en configurar parámetros básicos como frecuencia, *Span*, amplitud y ancho de banda.

3.2.5. Configuración de frecuencia

Figura 3.33. Bloque de funciones de frecuencia

- Presionar la tecla dura "*Frequency*" para desplegar el menú de frecuencia en el lado derecho de la pantalla.

- Para ingresar la frecuencia central se debe escoger "*Center Freq*" con la tecla de función suave correspondiente e ingresar con el teclado numérico el valor de la frecuencia. Una vez ingresada la frecuencia con el valor numérico, las teclas de función suave contienen la información para aceptar la selección con una unidad de frecuencia, sea Hz, kHz, MHz o GHz.

- Para seleccionar una banda de frecuencia específica, se debe configurar el equipo con frecuencia inicial y frecuencia final. Con la tecla de función suave seleccionar la frecuencia inicial con "*Start Freq*" y colocar el valor de frecuencia, y con la tecla de "*Stop Freq*" colocar el valor de frecuencia final de la banda.

3.2.6. Configuración de *Span*

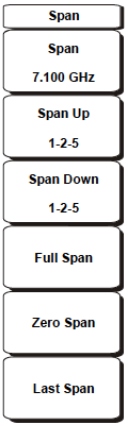


Figura 3.34. Bloque de funciones de *Span*

En el caso de centrar una frecuencia en el analizador de espectro, puede ser que el rango de visualización horizontal de frecuencia sea muy pequeño o muy grande para nuestro interés. Con *Span* se configura la ventana de visualización en frecuencia centrada en la frecuencia central.

- Presionar la tecla dura "*Span*" para desplegar el menú de *Span* en el lado derecho de la pantalla.

- Para resetear el *Span*, o es decir mirar todo el rango de frecuencia se selecciona la tecla suave "*Full Span*", volviendo al rango total del equipo (9 kHz – 7.1 GHz). Si se seleccionó una frecuencia de inicio y final, resetear el Span borra dichas frecuencias.

- En el caso de querer ajustar la ventana más cerca o lejos alrededor de la frecuencia central, simplemente luego de aplastar la tecla de función dura "*Span"*, colocar el valor de frecuencia.

3.2.7. Configuración de Amplitud

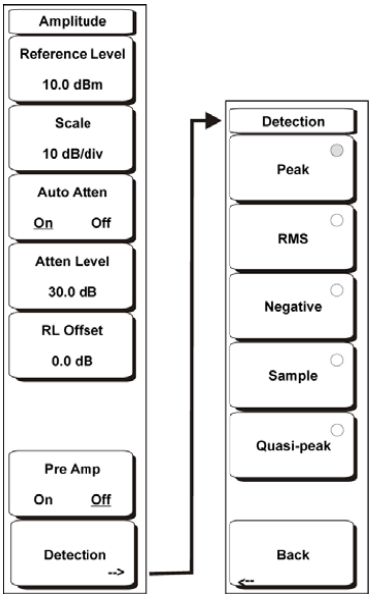


Figura 3.35. Bloque de funciones de amplitud

Hay que tener consideración que si se ingresa una señal mayor a +30 dBm es posible dañar el equipo.

En el caso de tener una señal en frecuencia muy alta o muy baja, se necesita configurar su rango de amplitud dependiendo de lo que se necesite observar.

- Presionar la tecla dura "*Amplitude*" para desplegar el menú de amplitud en el lado derecho de la pantalla.
- Para ajustar el tope de la pantalla o el límite superior, se debe presionarnivel de referencia, o "*Reference Level*" de las teclas de función suave. Colocar el valor deseado y finalizar aceptando con la tecla Enter (en este caso no se necesita especificar la unidad ya que si se está trabajando con unidades dBm, automáticamente el equipo interpreta el valor como dBm).
- Para lograr configurar la resolución de amplitud, el parámetro necesario aplicar una configuración de decibelios por división. Esta medida configura la ventana de medición para que se pueda ver un rango más amplio

(siempre guardando el valor pico tope de nivel de referencia) o un rango reducido. Presionar la función escala "*Scale*" en el menú de teclas de función suave para ajustar este parámetro, aceptar con la tecla Enter.

- Además, es necesario dejar configurado el valor de atenuador de entrada "*Auto Atten*" encendido para evitar problemas de saturación en la medición (Para mayor información consultar el manual de usuario).

3.2.8. Configuración de ancho de banda (BW)

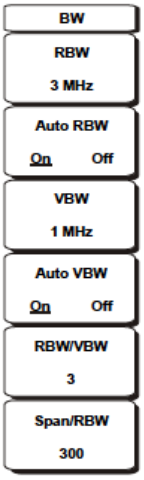


Figura 3.36. Bloque de funciones de ancho de banda

Esta opción nos permite aumentar o disminuir el ancho de resolución RBW dependiendo de lo que se necesite.

- Presionar la tecla dura "*BW*" para desplegar el menú de amplitud en el lado derecho de la pantalla.
- Con la tecla de función suave al presionar sobre RBW se puede agregar el ancho de resolución en Hz que se desee con el teclado numérico o la perilla giratoria.
- Los demás parámetros como configuración de ancho de banda de video "*Auto VBW*" debe estar activado. También dejar el valor RBW/VBW = 3 (para mayor información recurrir al manual de usuario).

3.2.9. Mediciones especiales (*Measure*)

Para acceder a este tipo de funciones bajo el menú de mediciones, presionar la tecla (Shift) y seguidamente la tecla Measure (4).

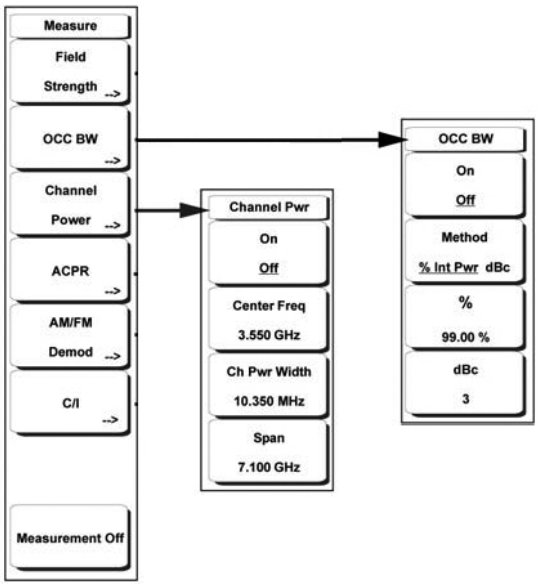


Figura 3.37. Bloque de mediciones

En las prácticas de laboratorio solo se van a utilizar dos funciones del menú de mediciones, "*OCC BW*" (Ancho de banda ocupada) y "*Channel Power*".

- **OCC BW (Ancho de banda ocupado)**

Activa la función de ancho banda ocupada. Se selecciona % o dBc para el método de medición.

- ***Method % Down/dBc Down:*** Selecciona si un porcentaje de la potencia o dB bajo la potencia para ser desplegada como método de medición.
- ***% (Percent of Power):*** Con teclas numéricas, flechas o perilla colocar el valor de porcentaje de potencia del 0% al 100%.
- ***dBc:*** Usar el teclado o las fechas para ajustar el valor. Válido para 0 dB a 100 dB.

- **Channel Power (Potencia de canal)**

Activa la medición de potencia de canal. Se ajusta un ancho de banda para medir la potencia dentro de ese canal.

- ***Center Freq:*** Es similar a ajustar la frecuencia central desde las teclas de función duras.
- ***Ch Pwr Width:*** Una vez ajustado la frecuencia central, ajustar que ancho de banda se va a medir. Debe ser menor al *Span* seleccionado.
- ***Span:*** Igual al valor colocado de *Span* del menú de función de teclas duras.

3.2.10. Configuración de trazas (*Trace*)

Dentro del menú, existen varias mediciones con varias trazas, es decir se puede congelar una traza al llamarla con otro nombre (letra A, B o C) y configurarla con varios métodos de medición. Aunque en esta práctica sólo se verá el uso para la traza A q es el necesario.

Para configurar el método de visualización o presentación de la forma de onda. El método de "*Max Hold*" y "*Average*" van a ser usados en la práctica.

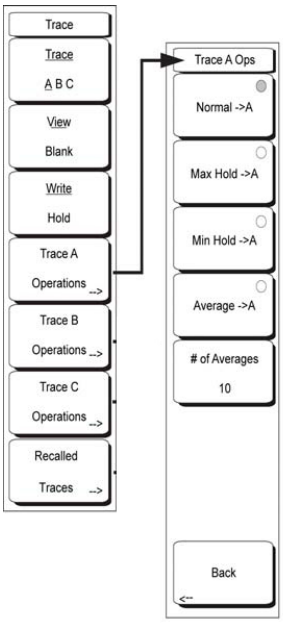


Figura 3.38. Bloque de trazas

Para acceder a este tipo de funciones bajo el menú de trazas, presionar la tecla Shift y a continuación la tecla Trace 5.

- **Normal -> A**

Trata de la medición normal de analizador, es decir muestrea al tiempo de barrido y no efectúa ninguna función especial.

- **Max Hold -> A**

Es una medición especial en la que todas las trazas mayores que tome el analizador las almacenará y mostrará como constantes. Esto se usa para ver una señal que no sea continua en el tiempo o muy rápida para ver todo su espectro en el barrido del analizador.

- **Average -> A ; # of Averages**

Esta medición toma un promedio de varias mediciones y muestra el resultado (*Average* = Promedio, en español) como una forma de onda más fina.

Es útil para formas de onda que tengan comportamiento constante y se desee ver cómo se comporta en un largo tiempo tras varias mediciones. La opción *"# of Averages*" no es una función, solo da en sí el número de promedios para la función "*Average*". Para asignar simplemente se asigna un valor con el teclado numérico y se acepta con la tecla Enter.

3.3. *IQproducer*

El MG3700A IQproducer es una herramienta de software para Windows usada para generar patrones de onda modulados para ser usados en el Generador vectorial de señales MG3700A.El IQproducer también transfiere la información generada al MG3700A vía LAN.

La gran ventaja del software es que puede generar formas de onda en todos los estándares que soporta, pero solo puede reproducir a través del equipo

los patrones de los sistemas que se haya adquirido una licencia. La licencia permite que el equipo (con su número de serie) pueda reproducir las formas de onda. Aunque es una desventaja no reproducir las ondas de forma física, se pueden generar los patrones de onda con el IQproducer y ser reproducidos con mas herramientas de software como Matlab o Microwave Office que no necesitan licencias [11].

Este software puede mostrar los resultados con gráficas CCDF y FFT de la generación de formas de onda moduladas.

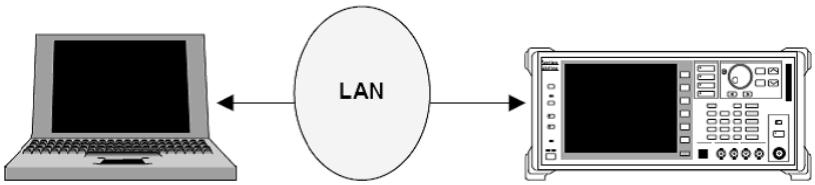


Figura 3.39. Sistema de comunicación entre PC y MG3700A

3.3.1. Resumen de funciones

- **Generación de señales en sistemas de comunicación inalámbrica**

La generación de patrones de señales es provista para cada sistema de comunicación. Cada sistema de comunicación posee una interface diferente de programación y creación de señales. Además cada sistema necesita tener una licencia para ser usado, caso contrario el software estará bloqueado.

- **Gráfico de Transformada Rápida de Fourier**

El software IQproducer puede leer formas de onda de modulación generadas por la aplicación de creación de patrones y visualizarlos usando gráfica FFT.

Además se puede transferir el gráfico a un archivo separado con formato CSV.

- **Función de transferencia y configuración**

Esta aplicación es usada para transferir archivos de forma de onda, capturas de pantalla, archivos de configuración y actualización de programas al MG3700A a través de Ethernet. La función de FTP es usada para transferir archivos al MG3700A. Es posible además cargar patrones del disco duro del equipo hacia sus memorias.

Además funciones de verificación, chequeo y desfragmentación se pueden efectuar en el caso de ser necesario.

- **Generación de patrón de la función AWGN**

Esta función activa la generación de patrones de forma de onda de AWGN con cualquier ancho de banda. Ajustando la tasa de muestreo o el ancho de banda, esta función genera patrones AWGN que pueden ser usados en combinación con otros patrones.

- **Función de generación de gráficos en el dominio del tiempo**

El *IQproducer* puede leer un patrón de modulación generado por la función de generación de patrones y graficarlo en el dominio del tiempo. Se puede graficar hasta 4 gráficas.

3.3.2. Instalación y ejecución del software IQproducer

Dentro del CD que viene con el equipo, se encuentra el instalador del programa IQproducer en la carpeta con el mismo nombre. Existe un archivo ejecutable llamado "*setup*". Haciendo doble click seguir los pasos como muestra

la Figura 3.40 para instalar el programa. En un inicio se descomprimirá los archivos del instalador, luego en la pantalla siguiente se dará la opción "*Next*>".

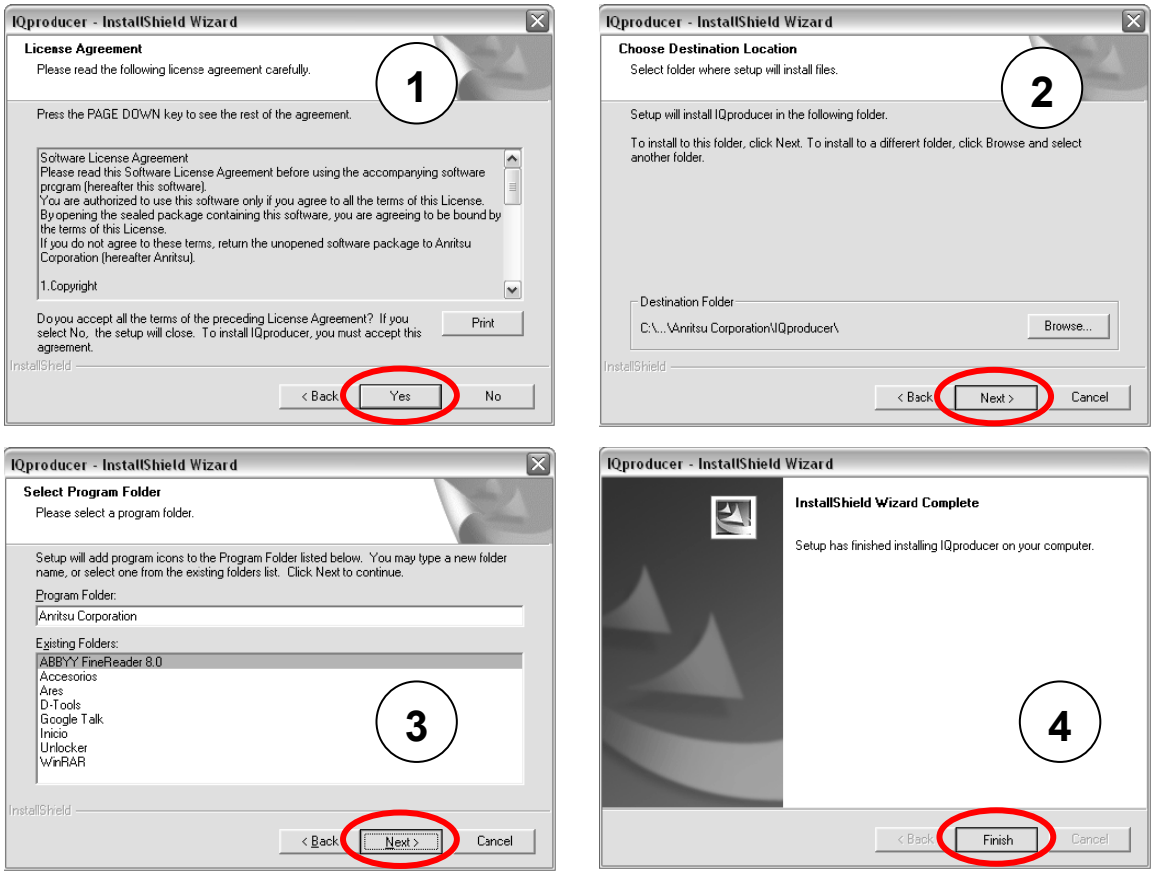


Figura 3.40. Instalación software IQproducer

Luego de haber instalado el software, para iniciar se procede a dar click en "*Inicio*" → "*Todos los programas*" → "*AnritsuCorporation*" → "*IQproducer*" en la barra de tareas de Windows. A continuación una ventana pregunta el equipo que va a usar el software, escoger "*MG3700*" y seleccionar con visto el mensaje de "*Don't show this window next time*" (no mostrar esta ventana una próxima vez).

Figura 3.41. Selección de instrumento

Después de aceptar el instrumento empieza el programa con la siguiente ventana.

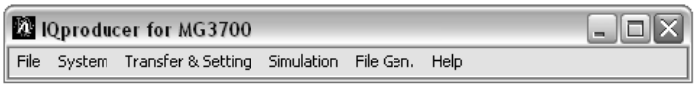


Figura 3.42. Ventana de programa IQproducer

3.3.3. Conexión y configuración entre el MG3700A y la PC

Existen dos formas de conectarse remotamente al generador vectorial de señales MG3700A, la primera es por la interfaz *GPIB* y vía Ethernet con cable de red cruzado.

La forma más común y fácil es usar un cable de red cruzado y conectarlo a su conector RJ45 en la parte delantera o en la parte trasera. Si se conecta el equipo por la parte trasera se debe conectar directamente al conector Ethernet RJ45.

Si se desea conectar remotamente al equipo por el conector Ethernet en la parte frontal, se debe conectar un cable directo pequeño que viene incluido en el equipo entre el *JunctionConnector* y el conector *Ethernet*en la parte trasera.

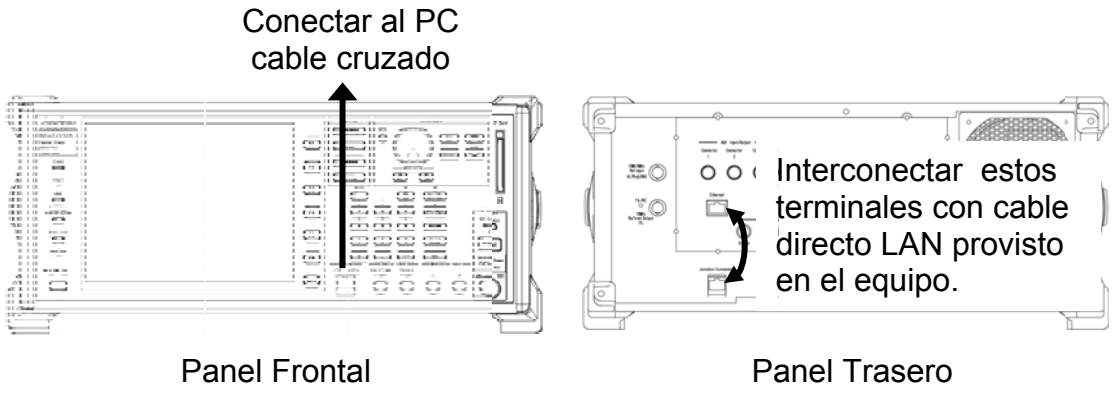


Figura 3.43. Como conectar el MG3700Aal PC

- **Configuración de la PC**

Ingresar a Conexiones de Red en el panel de control. "*Inicio*" → "*Panel de Control*". En "*Conexión de área local*", click derecho y seleccionar "*Propiedades*".

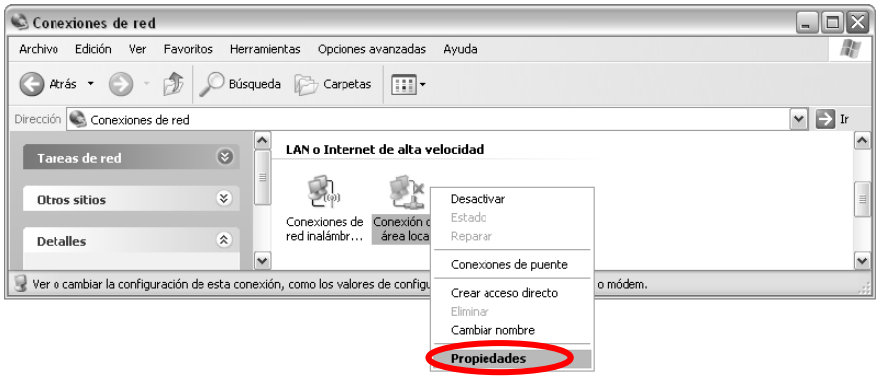


Figura 3.44. Ventana de "*Conexiones de Red*"

En la siguiente ventana se escoge "Protocolo Internet (TCP/IP)" y se selecciona propiedades.

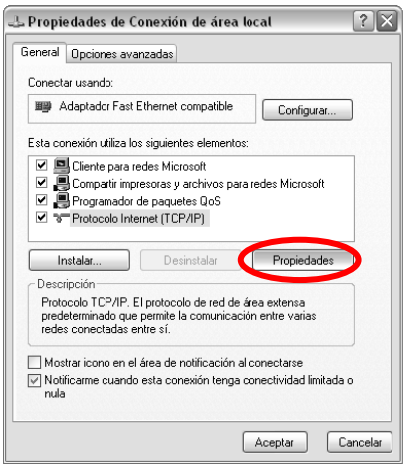


Figura 3.45. Ventana de *"Propiedades de conexión de área local"*

En *Propiedades del protocolo TCP/IP*, se procede a asignar una dirección IP arbitraria, en este caso se asignará 192.164.1.1 (por ejemplo). La máscara de subred debe estar como se encuentra en la Figura 3.46.

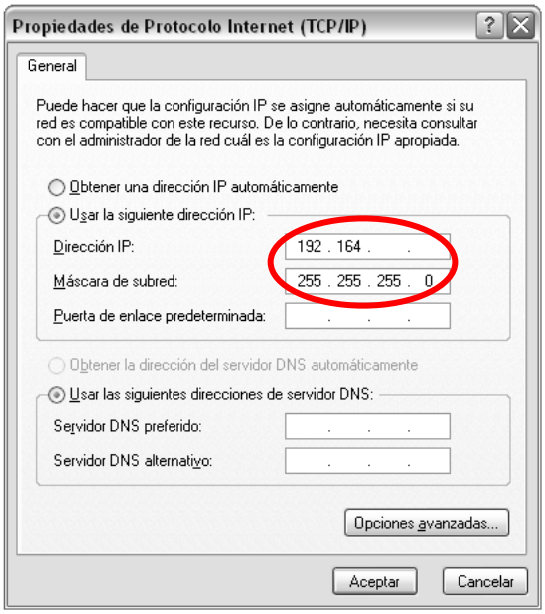


Figura 3.46. Ventana de *"Propiedades de conexión de área local"*

Para finalizar y cerrar la ventana con los cambios hechos, dar click sobre "*Aceptar*". Ahora se procede a deshabilitar y habilitar la "*Conexión de área local*" en las "*Conexiones de red*" en el Panel de control para asegurar que los cambios ocurran.

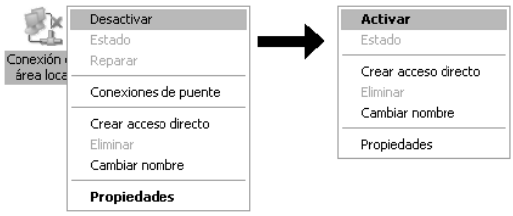


Figura 3.47. Habilitar y deshabilitar la conexión

- **Configuración del MG3700A**

En el equipo MG3700A presionar Utility seguidamente F5 (*Network Setup*) para acceder a la configuración de conexión remota.

Figura 3.48. Habilitar y deshabilitar la conexión

En la ventana cambiar la configuración de “DHCP” de “ON” → “OFF”.

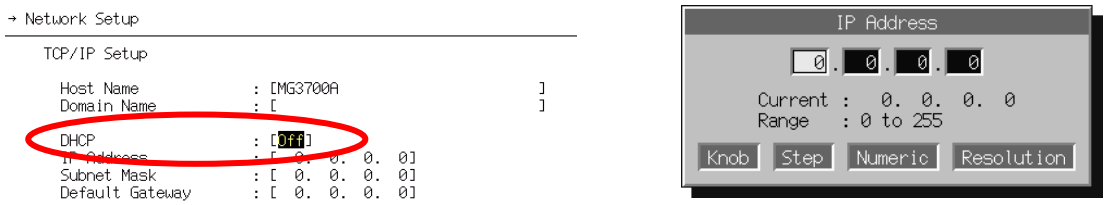


Figura 3.49. Cambiar DCHP del equipo y signar una dirección IP

Asignar una dirección IP de la misma familia que la colocada en PC, con un diferente host, como por ejemplo 192.164.1.2.La máscara de subnet debe tener el valor 255.255.255.0.

- **Conexión a través de la función *Transfer&Setting***

Una vez realizado este proceso y estar conectado el cable cruzado entre ambos equipos, se procede a ejecutar el IQproducer en la PC. En la barra de menú se escoge "*Transfer & Setting*" → "*Transfer & Setting Panel*".

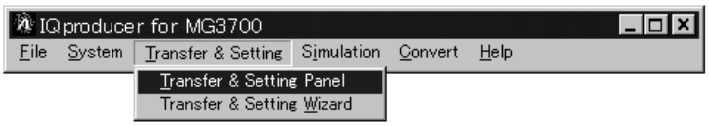


Figura 3.50. Abrir el panel de transferencias del IQproducer

Se abre la ventana de transferencias y conexiones al MG3700A. Para abrir la ventana de conexión, se selecciona el botón bajo la barra de menú. En este momento, se escoge la dirección IP asignada al equipo anteriormente en la lista desplegable y se acepta. Si al aceptar la selección y dar click sobre "*Connect*" la dirección IP del equipo aparece en el lado derecho de la ventana principal transferencias, significa que se encuentra conectado. A continuación cerrar la ventana y el equipo estará conectado. En el equipo MG3700A la luz Remote se encenderá a su vez.

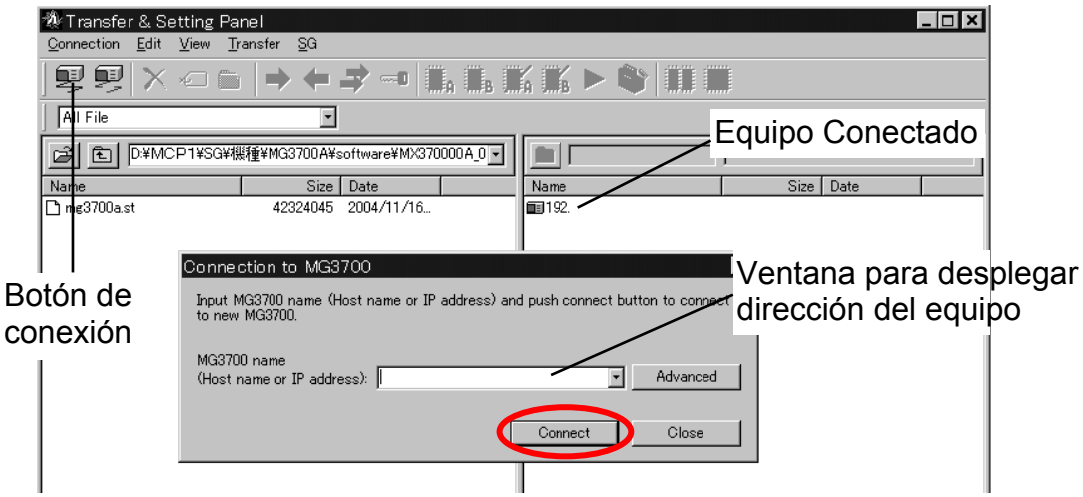


Figura 3.51. Abrir el panel de transferencias del IQproducer

3.3.4. Generación de ondas en TDMA (IQproducer)

El paquete de generación de formas de onda TDMA de IQproducer permite generar formas de onda totalmente libre combinando tipo de modulación, datos y filtros. Cabe recalcar que el método de acceso es TDMA, siendo uno de los más usados y sencillos [12].

Existen varias características fundamentales que pueden usarse con este software. La modulación que se puede emplear en este estándar equivale a la mayoría de esquemas que existen y son usados en la práctica:

- BPSK
- DBPSK
- π/2 DBPSK
- QPSK
- DQPSK
- π/4 DQPSK
- 8PSK
- D8PSK
- 16QAM
- 32QAM
- 64QAM
- 256QAM
- ASK
- FSK

El tipo de datos que puede ser ingresado usando varios tipos de modulación corresponde a:

- PN9
- PN15
- Patrón de 16 bits
- Todos 0 (ALL0)
- Todos 1 (ALL1)
- Archivo del usuario

Los filtros que pueden ser usados son:

- Nyquist
- RootNyquist
- Gaussian
- Filtro ideal pasa bajos
- Ninguno

Para acceder a la aplicación de generación de TDMA es en la barra de menú en "*System*".

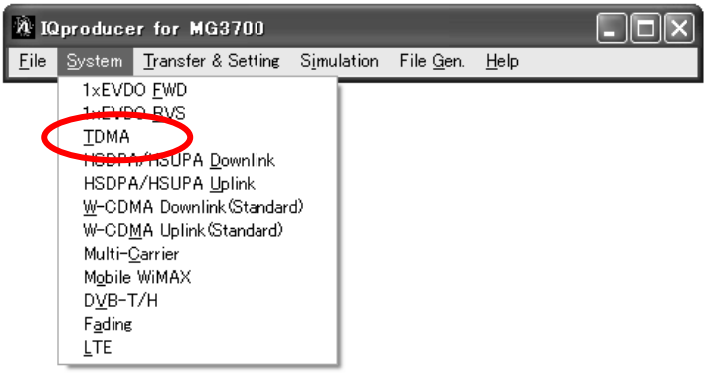


Figura 3.52. Acceder al sistema de generación TDMA

Una vez que se selecciona TDMA del menú "*System*", la pantalla principal de configuración se despliega donde se tiene: Modulación, (*Modulation*), trama (*Frame*), ranura de tiempo (*Slot*), campo (*Field*), datos (*Data*), filtro (*Filter*), nombre del patrón (*Pattern Name*) y cálculo (*Calculation*) el cual se encarga de crear el patrón de forma de onda.

A su vez, existen tres métodos de generación, ya sea por ráfaga, modo continuo o sin formato. Cada uno de ellos tiene limitaciones en los campos que puedan modificarse. La siguiente tabla muestra dichas limitaciones.

Botón Activado	Hoja de configuración de parámetros		
	Ráfaga	Continuo	Sin formato
Modulación	✓	✓	✓
Trama	✓	✓	---
Slot	✓	✓	---
Campo	✓	✓	---
Datos	---	---	✓
Filtro	✓	✓	✓
Nombre de patrón	✓	✓	✓
Cálculo	✓	✓	✓

Tabla 3.24. Limitaciones de los modos de TDMA

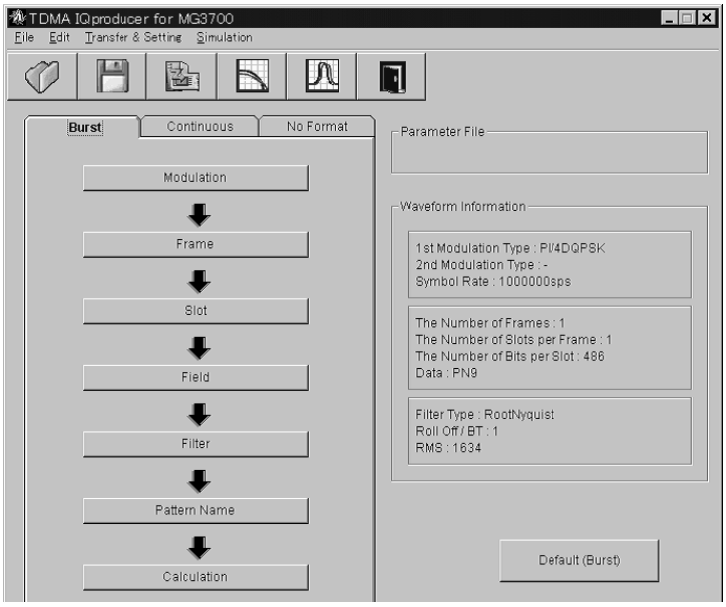


Figura 3.53. Ventana principal de configuración TDMA

- **Modulación (*Modulation*)**

El parámetro de modulación sirve para agregar el tipo de modulación a la forma de onda.

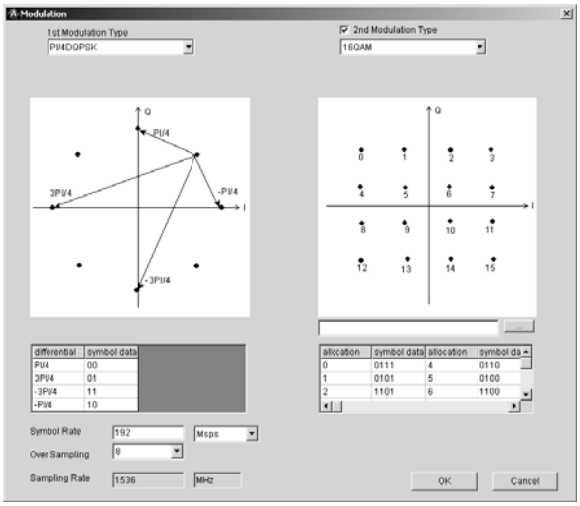


Figura 3.54. Ventana de configuración de modulación

Aquí se resume los parámetros de configuración de la función de modulación.

Pantalla	Resumen	Rango de configuración
Modulation Type (1st Modulation)	Primera modulación	BPSK, DBPSK, PI/2DBPSK, QPSK, DQPSK, PI/4DQPSK, 8PSK*, D8PSK*, 16QAM*, 32QAM*, 64QAM*, 256QAM*, ASK, FSK.
Symbol Rate	Tasas de símbolo	1 ksps a 80 Msps (puede ser configurado en pasos de unidades de 1 sps)
Over Sampling	Tasa de sobre muestreo	2, 3, 4, 8, 16, 32
GSM	Configuración de GSM	Activa/desactiva la configuración automática de acuerdo con GSM. Cuando se escoge 8PSK o FSK se escogen como método de modulación esta opción puede ser escogida.
Modulation Index	Índice de modulación	0.00 a 1.00 (para ASK), 0.20 a 10.00 (para FSK)
Manchester Code	Código Manchester	El código Manchester es seleccionado cuando la caja de visto se selecciona y NRZ se selecciona cuando la el visto se haya desactivado. NRZ se selecciona siempre para tipos de modulación diferente de ASK.

Tabla 3.25. Resumen de parámetros de modulación

- **Datos (*Data*)**

Datos o “Data” es un ítem de configuración para patrones continuos como patrones seudo aleatorios (PN9, PN15) en la hoja de configuración de sin formato (*No Fromat*). Esta configuración no incluye en hojas de modos *Continuo* ni *Ráfaga*.

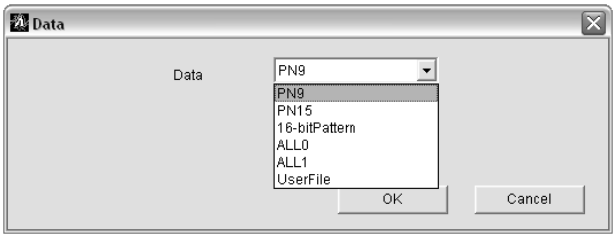


Figura 3.55. Ventana de configuración de datos

- **Filtros (*Filter*)**

El ítem de configuración filtros ayuda a agregar filtros al proceso de modulación. Está presente en todos las hojas de configuración.

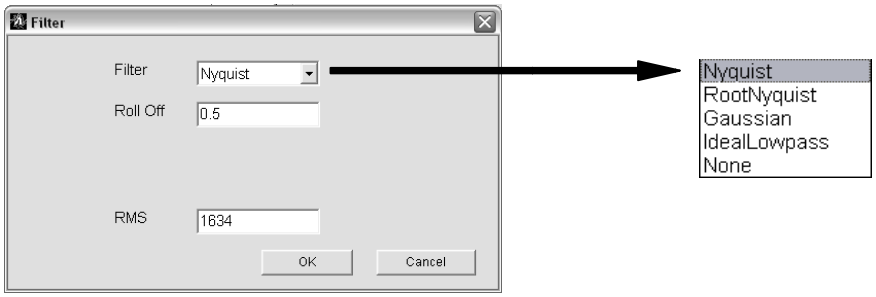


Figura 3.56. Ventana del filtro *Nyquist* con varios

Existen los filtros *Nyquist*, *Root Nyquist, Gaussian*, Filtro ideal pasa bajos (*IdealLow pass*) y ninguno (*None*). Para cada uno de ellos existen los parámetros de configuración que no se nombrarán en este momento.

- **Nombre del patrón (*Pattern Name*)**

Se configura el nombre con el cual se localizará al patrón dentro del equipo. Como debe estar dentro de un paquete, se especifica el nombre del paquete a su vez.

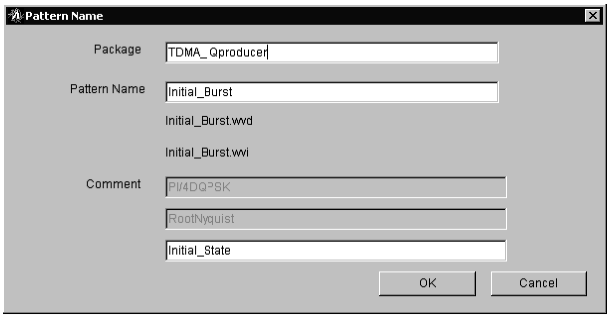


Figura 3.57. Ventana de nombre del patrón

Cada campo tiene limitaciones en el número de caracteres a introducir:

- ***Package* (Paquete):** 31 caracteres como máximo.
- ***Pattern Name* (Nombre del Patrón):** 20 caracteres o menos.
- ***Comment* (Comentarios):** 38 caracteres o menos en la única caja de texto activa.

- **Cálculo, generación del patrón de onda (*Calculation*)**

Después de haber configurado los parámetros de la forma de onda que se va a utilizar el botón u opción de "*Calculation"* para crear el patrón. Se puede crear de dos maneras a través de la barra de menú edición (*Edit*) o del botón "*Calculation"*en la parte inferior de la pantalla.

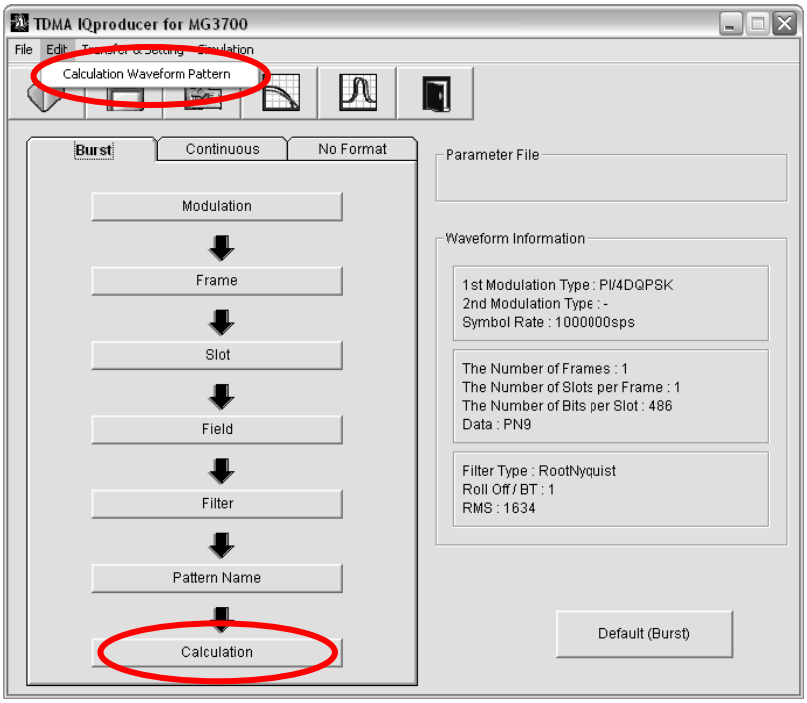


Figura 3.58. Métodos para calcular el patrón final

Una vez escogida el botón de cálculo de la forma de onda (*Calculation*) de cualquier método, aparece la ventana donde se desea guardar el archivo. Es mejor deja sin cambios esta ventana para en caso de olvidarse de la ruta siempre encontrarla en la carpeta de IQproducer.

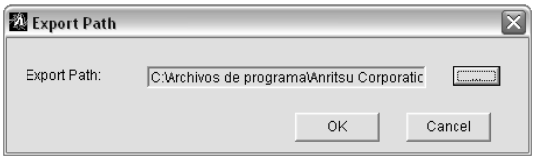


Figura 3.59. Ventana de ruta de trasferencia de archivos

3.3.5. Generación de ondas en CDMA2000 1xEV-DO (IQproducer)

El programa IQproducer permite la generación y modificación de parámetros de formas de onda en el estándar CDMA2000 1xEV-DO (*1xEV-DOforward&1xEV-DO reverse*). Al igual que TDMA la ventaja de usar este

estándar es que se posee la licencia para poder reproducir los patrones de forma de onda a través del MG3700A.

En esta sección se verá un pequeño resumen de las funciones de esta opción de software. En caso de mayor profundidad existe un manual para cada estándar del IQproducer en el CD que viene incluido en el equipo [13].

Para acceder a la aplicación de generación de 1xEV-DO (ya sea para *forward* o *reverse*) es en la barra de menú en "*System*".

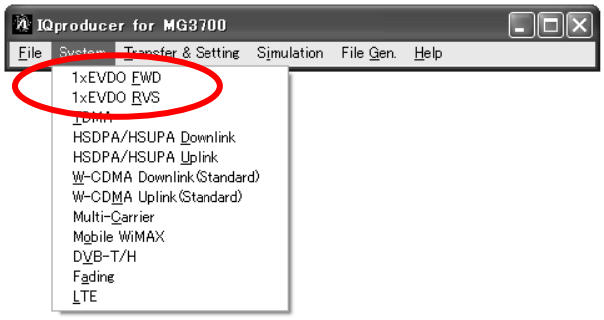


Figura 3.60. Acceso al 1xEV-DO

Existen dos interfaces para el sistema de software 1xEV-DO que puede dividirse como dos programas distintos.

- 1xEV-DO FWD
- 1xEV-DO RVS

Ya que en las prácticas de laboratorio sólo se va a relatar de EV-DO canal de directo o de bajada (1xEV-DO FWD) no se incluirá al canal de retorno (Reverse cannel)

- **EV-DO canal de bajada (1xEV-DO FWD)**

Para acceder al programa de canal de bajada una vez abierto el programa IQproducer, en la barra de menú seleccionar "*System*" → "*1xEV-DO FWD*".

Una vez seleccionada la opción, la primera pantalla del sistema se verá como la Figura 3.61. Esta ventana de configuración posee dos pestañas, la de

edición de portadora "*Carrier Edit*" y la de composición de múltiples portadoras "*Multicarrier Composition*"

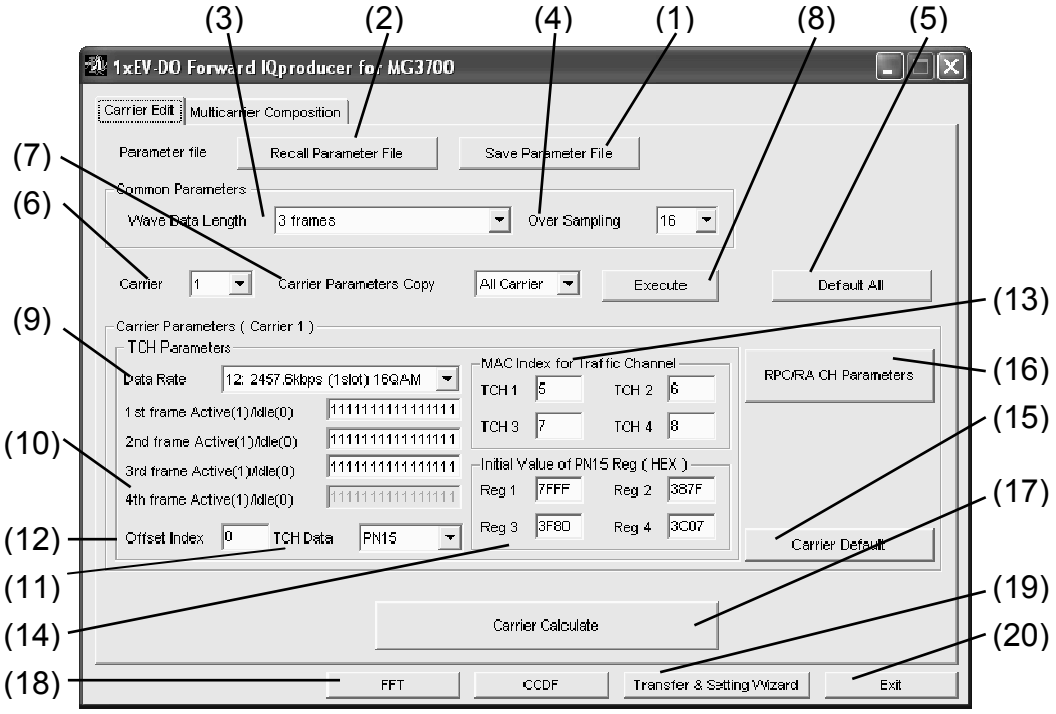


Figura 3.61. Pantalla de edición de portadora 1xEV-DO *forward*

La descripción breve de cada parámetro usado para configurar el patrón CDMA2000 1xEV-DO se verá a continuación. En el caso de profundizar en el estudio de mas funciones o alguna en específico acudir al manual de IQproducer EV-DO que incluye en el CD del equipo.

(1) *Save Parameter File*:Guardar todos los parámetros de configuración de edición de portadora y composición de múltiples portadoras.

(2) Recall Parameter File: Abre un archivo de configuración de parámetros hecho anteriormente.

(3) *Wave Data Length:*El número de tramas puede ser especificada como máximo 4 tramas. Solo tres tramas pueden ser especificados cuando se crea múltiples portadoras.

(4) *Over Sampling:* 4/8/16. Es el sobre muestreo del patrón de la forma de onda.

(5) *Default All:* Retorna a un valor fijo inicial. Reset

(6) *Carrier*: Portadora del 1 al 9. La seleccionada se configura.

(7) *Carrier Parameters Copy:* Portadora de la 1 a la portadora 9. Copia el contenido de una configuración de portadora a otra portadora.

(8) *Execute*: Ejecuta la opción (7).

(9) *Data Rate:* Se configura la tasa de datos y el slot transmitido de una sola portadora a ser creada.

(10) *1st to 4th Frame Active(1)/Idle(0):* Activa el canal de tráfico para cada slot.

(11) *TCH Data:* Datos o *All'0' - All'1' - PN15.* Se configura el *payload* de datos del canal de tráfico.

(12) Offset Index: 0 al 511. Índice de offset de la portadora a ser creada es especificado.

(13) *TCH1 to TCH4:* 5 al 63. Índice MAC usado para la secuencia de esparcimiento de un canal de tráfico y la asignación del código Walsh del preámbulo.

(14) *Reg1 to Reg4:* 0 al 7FFF en hexadecimal. Cambiando el valor inicial del registro de desplazamiento cuando se configura el TCH Data al PN15, se puede agregar un offset a una serie de PN15 de cada TCH.

(15) *Carrier Default*: El valor de configuración de la portadora específica se retorna al valor inicial.

(16) *RPC/RA CH Parameters*: Se abre la ventana de parámetros RPC/RA CH.

(17) *Carrier Calculate*: El patrón de onda de nueve portadoras se crea según pa configuración colocada. Para componer la forma de onda se debe abrir la hoja de Composición de multiple portadora.

(18) *FFT:* Se muestra la gráfica FFT. Esta imagen muestra la gráfica del espectro del patrón de onda creado.

(19) *Transfer & Setting Wizard:* Abre la ventana de asistente de transferencia de forma de onda para enviar el patrón al MG3700A.

(20) Exit: Sale del programa

Ventana *RPC/RA CH Parameters*

Ahora para configurar los parámetros del ítem (16) anterior [RPC/RA CH Parameters], se hace *click* en este botón. Una nueva ventana se abre. La descripción breve de la ventana se hace a continuación:

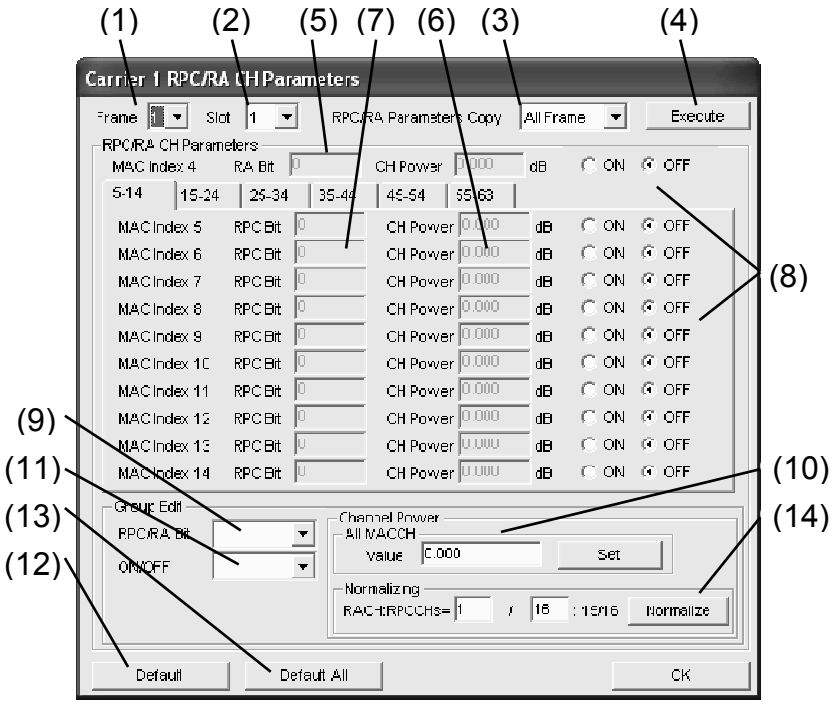


Figura 3.62. Pantalla de edición de parámetros *RPC/RA CH*

(1) *Frame:* Se puede editar la trama (*frame*) escogida

(2) *Slot:* Se puede editar el *slot* escogido

(3) *RPC/RA Parameters Copy:* Slot 1 al Slot 16, todo el *slot* o todo la trama. Se puede copiar los parámetros a otros *slots*.

(4) *Execute:* Ejecuta el parámetro (3).

(5) *RA Bit:* 0 o 1. Es un bit RA del canal RA.

(6) *CH Power:* -40dB al +40dB. Es la ganancia de canal (valor relativo de un canal piloto) de un canal MAC.

(7) *RPC Bit:* 0 o 1. Es el bit RPC del canal RPC.

(8) *ON/OFF:* Activa o desactiva cada canal MAC.

(9) *RPC/RA Bit* (Edición de grupo): Todos los bits RPC especificados son colocados a 0 o a 1 (All '0',All '1').

(10) *Channel Power* (Edición de grupo): La ganancia del canal (valor relativo de un canal piloto) del canal MAC en un slot es configurado colectivamente.

(11) *ON/OFF* (Edición de grupo): Activa o desactiva cada canal MAC en un slot es configurado en bloque.

(12) *Default:* Solo el slot usado se regresa a su estado original.

(13) *Default All:* Todos los parámetros RPC/RA CH de la portadora específica son puestos a su valor inicial.

(14) *Normalize:* La ganancia del canal de RPC / RA del slot específico son configurados en grupo en la tasa mostrada por una fracción. La tasa se configura por la igualdad en el lado izquierdo del botón "*Normalize*". El numerador de la relación del canal RA puede ser configurado en el rango de 1 a "denominador-1". También, el denominador puede ser configurado en el rango de 2 al 99.

Para finalizar se verá la ventana de configuración de composición de múltiples portadoras.

Ventana *Multicarrier Composite*

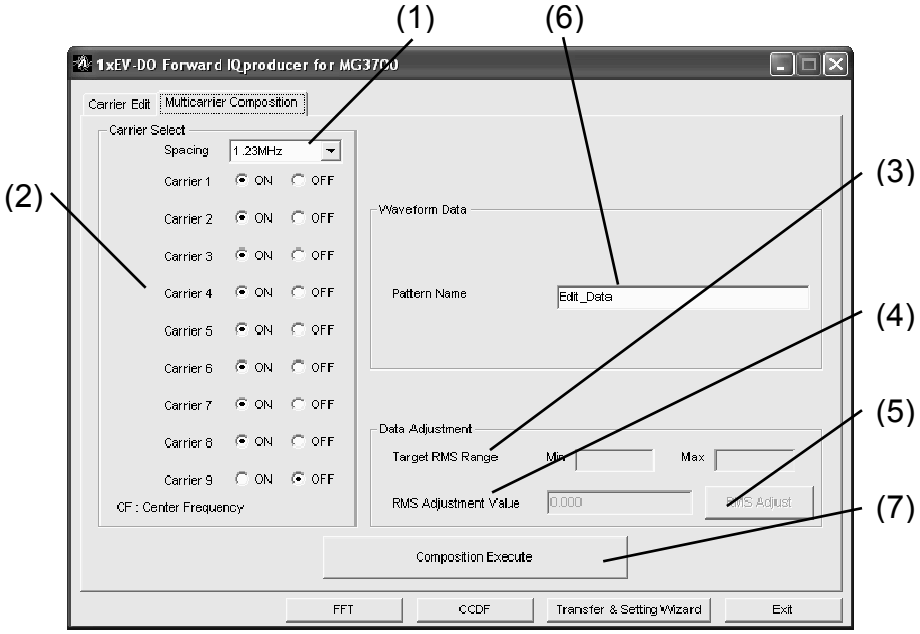


Figura 3.63. Pantalla de hoja de composición de múltiples portadoras

(1) *Spacing:* 1.20/1.23/1.25MHz. El intervalo de frecuencia entre las portadoras se configura.

(2) *Carrier Select:* Activa o desactiva las portadoras usadas en la creación de múltiples portadoras.

(3) *Target RMS Range:* "RMS" significa el valor RMS del patrón de forma de onda.

(4) *RMS Adjustment Value:* El valor RMS de la onda de múltiples portadoras se configura. Generalmente, el piso de ruido se vuelve bajo aunque la señal de modulación de la salida se vuelve más susceptible a distorsión cuando el valor RMS de la forma de onda aumenta. De forma contraria, el piso de ruido se vuelve mayor aunque la señal de la modulación de a salida se vuelva menos susceptible a la distorsión cuando el valor de RMS disminuye.

5) *RMS Adjust:* Este botón convierte el patrón de onda creado al valor RMS colocado en el punto (4).

(6) *Pattern name:* El nombre del patrón de forma de onda se coloca en este campo. No se puede exceder de 20 caracteres.

(7) *Composition Execute:* Se crea el patrón de forma de onda. Un archivo con la extensión *.wdv y *.wdi son creados como el patrón de forma de onda.

CAPITULO VI

4 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

En este capítulo se verá la aplicación del equipo Generador Vectorial de señales Anritsu MG3700A en prácticas de laboratorio enfocadas a telefonía celular móvil.

Los estándares a cubrir son GSM (TDMA), CDMA2000 1xRtt, CDMA2000 1xEV-DO y WCDMA, para los que los varios patrones de onda de cada tecnología son analizados y comprobados teóricamente. Además, a través de las interfaces de salida que posee el equipo, se visualizará en función del tiempo la señal RF modulada y las señales I/Q que nos brinda por separado el MG3700A.

Finalmente se realizará la generación y modificación de señales en los estándares de señales basados en TDMA y CDMA2000 1xEV-DO con el software de creación y modificación de patrones de señales, incluido en el equipo MG3700A llamado IQproducer. Al crear los patrones de onda usando el computador, se procederá a trasladarlos al equipo a su memoria interna del MG3700A y reproducirlos como una señal modulada en RF o en sus componentes I y Q. Los resultados son observados en un osciloscopio y en un analizador de espectro.

Una vez cubierto las diferentes prácticas con el equipo, el estudiante podrá manejar el equipo de forma cómoda y aprender las tecnologías celulares mas a profundidad enfocadas a capa física y parámetros de modulación.

En resumen enlistando los temas que se van a cubrir de modo puntual son:

- Visualización de los diferentes patrones de onda de cada estándar (GSM, CDMA2000 1xRtt, CDMA2000 1xEV-DO y WCDMA) en función de la

frecuencia usando el analizador vectorial de señales con su función de analizador de espectro. El objetivo es realizar un análisis espectral de los patrones de los sistemas de telefonía celular.

- Visualización en el tiempo de las señales generadas: señal moduladora (RF), señal modulada y separación de las señales en cuadratura I (in-fase) y Q (cuadratura) que brinda el equipo. Se obtendrá un bosquejo del diagrama de modulación que presentan los diferentes patrones de onda usando la función XY del osciloscopio. El objetivo es observar la señal en tiempo y comprobar valores obtenidos con la teoría del estándar usado.
- Se usará el software IQproducer que viene incluido en el equipo para generar señales celulares en los sistemas TDMA y CDMA2000 1xEV-DO usando un computador. Se modificarán parámetros de ambos estándares y se observará cual es el resultado al momento de generar las señales por el equipo. El objetivo es aprender a usar el software, modificar parámetros y analizar los resultados de las modificaciones aplicadas.
- Al finalizar este documento, en C*onclusiones y Recomendaciones* se analizará las ventajas y características que presenta el equipo MG3700A para el uso en un laboratorio didáctico y un laboratorio práctico de investigación.

Para las prácticas de laboratorio relatadas en este documento se va a usar los siguientes equipos:

- Generador Vectorial de Señales Anritsu MG3700A (250 kHz – 6 GHz)
- Analizador Vectorial de Redes Anritsu MS2036A
- Osciloscopio digital, dos canales GW INSTEK GDS-2102 (100MHz)

- **Consideraciones generales antes de empezar las prácticas**

Antes de realizar la práctica, al encender el equipo MG3700A, hay que tomar ciertas consideraciones:

- Desconectar cualquier cable o conector previamente conectado del equipo.
- Conectar el equipo con un cable de poder de buena calidad de tres hilos (fase, neutro y tierra).
- Conectar el equipo a una red eléctrica con buen circuito de tierra.
- Antes de encender el equipo, observar que el LED (izquierdo) verde del botón

de encendido se encuentre prendido. Esto indica que está conectado a la red eléctrica.

Verificando que no exista problema con la conexión eléctrica, se procede a encender el equipo esperando el inicio del equipo en la pantalla principal. Al encender exitosamente y ver la pantalla principal del equipo, dejar que se equilibre térmicamente para realizar las prácticas. En la parte superior de la pantalla debe observarse el mensaje parpadeante

(horno frío) el cual indica que el equipo no está térmicamente listo para brindar una señal estable. Al paso de 5 minutos aproximadamente esta señal desaparece y el equipo está listo para ser usado.

4.1. Análisis Espectral De Señales

El análisis espectral de las señales celulares en estándares como GSM, CDMA2000 y WCDMA. Estos van a ser analizados a partir de gráficas obtenidas del espectro de cada señal.

El objetivo de la telefonía celular es tratar de tener el mayor número de usuarios posibles en el menor espacio de frecuencia asignado, eso sí, sin dejar de brindar servicios como calidad de voz, servicio de mensajería corta, datos a altas tasas de transferencia como e-mail, Internet y muchos más. Todos estos servicios requieren de técnicas físicas para acceder al medio, compartir el espectro con los demás usuarios y agregar seguridad al sistema. Cada sistema posee su método de acceso al medio, como se pudo ver TDMA posee el método más sencillo que es separar su portadora en tiempo para varios usuarios. CDMA en cambio usa código para separar a los usuarios.

Para observar cómo está compuesto el espectro de cada señal a analizar, se usará un analizador de espectro. Para poder ver la portadora de cada señal de forma íntegra se conectará un cable coaxial entre el emisor (generador vectorial) y el receptor (analizador de espectro) para evitar pérdidas o filtración de otras señales que se encuentren en el aire.

En la Figura 4.1 se muestran los equipos usados para la práctica y su conexión física.

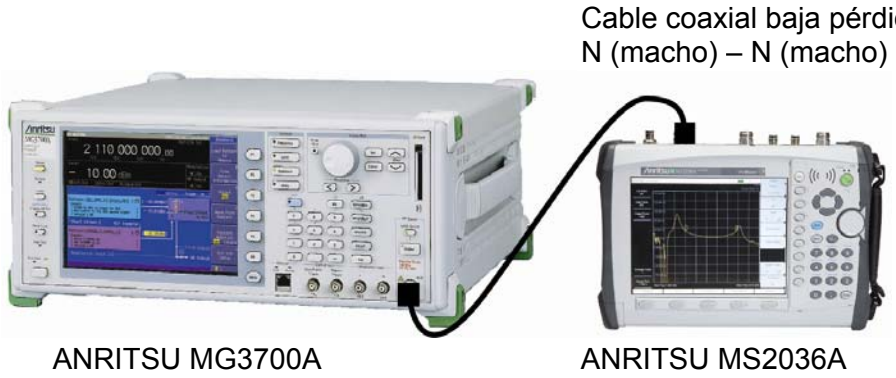


Figura 4.1. Diagrama de conexión entre generador y analizador

- Generador Vectorial de Señales Anritsu MG3700A (*RF Output 50 Ω*, en el panel delantero; conector tipo N hembra).
- Analizador Vectorial de Redes Anritsu MS2036A (S*pectrum Analyzer RF In 50 Ω* en la parte superior; conector tipo N hembra).
- Cable coaxial para RF con terminales N (macho).

Esta primera práctica enseñará el uso y configuración básica de ambos equipos, el generador vectorial de señales el analizador de espectro. Ya que en el capítulo anterior se explica el uso de ambos los equipos y las funciones que se van a usar en este laboratorio no se detallará a profundidad procesos de configuración. El objetivo es poder obtener las gráficas del analizador de espectro e interpretarlas con la teoría.

4.1.1. Consejos y prevención de errores durante el análisis espectral

Al momento del análisis espectral hay que tener ciertas consideraciones y criterios de medición para no tener errores y evitarlos. Los errores pueden ocurrir con el generador vectorial MG3700A o con el analizador de espectro. Aquí las consideraciones en caso de recibir errores.

- Mientras se usa el analizador de espectro, puede ser que al momento de medir una señal en amplitud cercana al límite del nivel de referencia (*Reference Level*) en pantalla se obtenga un error de “ADC ERROR”, esto se debe a que el atenuador de entrada (*Input Attenuator*) no está configurado correctamente fijado. Para solucionar este error presionar “*Amplitude: Input Attenuator: Automatic*”.
- Se recomienda no apagar el MG3700A mientras se esté encendido la modulación y la salida RF.
- Usando el en el MG37000A, en caso de que los caracteres que muestran el valor de nivel de potencia estén de color rojo, significa que se encuentra desbalanceado la salida. Comprobar la configuración del generador vectorial MG3700A o bajar el nivel de potencia.

- No encender la modulación si el terminal de salida de RF no está colocada ninguna antena o un cable de conexión. La señal RF a niveles altos puede ser perjudicial para la salud.

4.1.2. GSM – EDGE (Práctica ejemplo)

Objetivo de la práctica:

Generar una señal *GSM-EDGE* con una frecuencia de portadora de 200 MHz y de -20 dBm de nivel de potencia. Además al ser la primera práctica se verá a detalle el manejo de los equipos MG3700A y MS2036A como primera práctica ejemplo.

- *Tipo de Modulación:* 8PSK
- *Frecuencia Portadora:* 200 MHz
- *Nivel:* -20 dBm
- *Patrón de señal:* 8PSK_PN9

Patrón de señal: 8PSK_PN9

El patrón de forma de onda 8PSK_PN9es el uno de los más sencillos del paquete de GSM ya que no posee formato de slot y además es continuo en todo la trama.

El valor PN9 es insertado en todo la trama. La modulación usada en este patrón es 8-PSK, siendo esta es la principal diferencia en *GSM-EDGE* en la capa física.

Configuración generador vectorial de señales.

1. Antes de configurar parámetros de frecuencia, nivel de la señal y patrón escogido, se debe definir el modo de forma de onda que se va a utilizar. Es decir, modo Definido (*Defined*) o modo Edición (*Edit*). Para esto se

ingresará al menú de banda base [Baseband] y seguidamente presionando la tecla [More] para verificar que la opción de Combinación de Patrón (*Combination Pattern*) esté en valor: Definido (*Defined*), si no lo está, presionar la tecla [F5] y especificar el valor correcto.

Figura 4.2. Modo de uso de patrón, Definido

2. Configurar la frecuencia portadora del generador vectorial de señales a 200 MHz y -20 dBm de nivel de potencia.

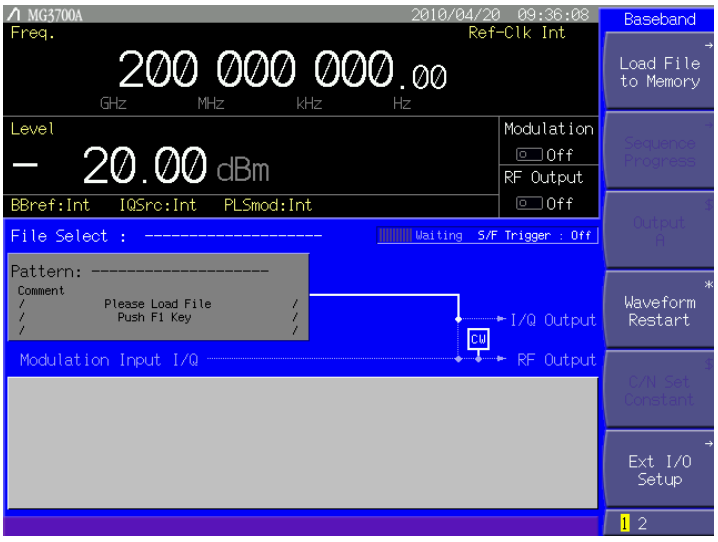


Figura 4.3. Configuración de frecuencia de portadora y potencia

3. Se procede a cargar el patrón de señal a usar en la memoria del equipo. Como el objetivo es generar una señal *GSM-EDGE*, se debe cargar un patrón de señal con una modulación tipo 8-PSK. Se va a escoger el patrón de señal que viene incluido en el disco duro interno del equipo llamado 8PSK_PN9 en el paquete de GSM. Además se va a configurar cargar el patrón en la memoria A. Si existía algún patrón cargado previamente en las memorias A y B, se debe borrarlo antes de cargar el patrón GSM.

Baseband → F1 → F1 → "GSM" → Set

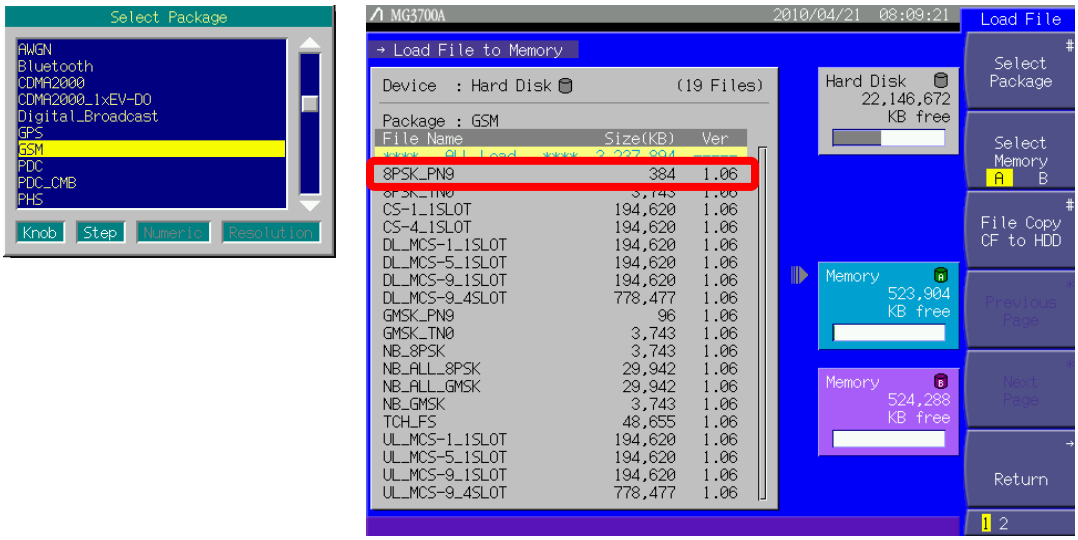


Figura 4.4. Cargar patrón de forma de onda en memoria A

4. Al cargar el patrón en la memoria interna A y salir de la ventana principal el cursor de selección debe estar sobre la opción de "*File Select*". Cargar el patrón 8PSK_PN9 al equipo.

Set → "GSM" → "8PSK_PN9" → Set

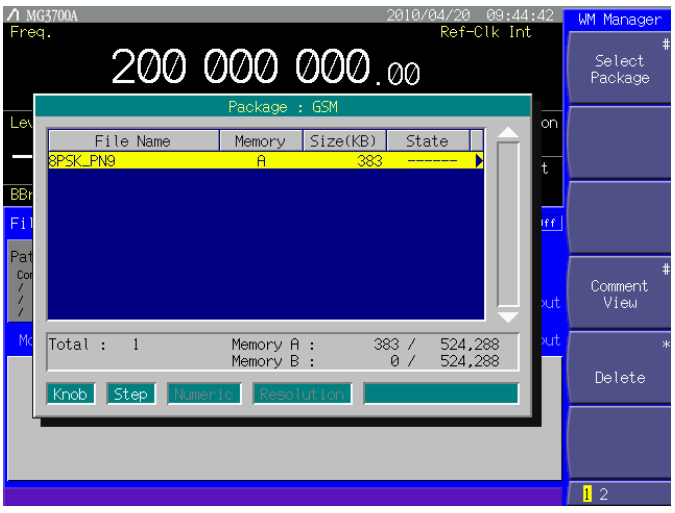


Figura 4.5. Paquete GSM con el contenido del patrón guardado anteriormente

Al cargar el patrón 8PSK_PN9 en el equipo. En la pantalla principal se puede ver el patrón cargado sobre el cursor de selección

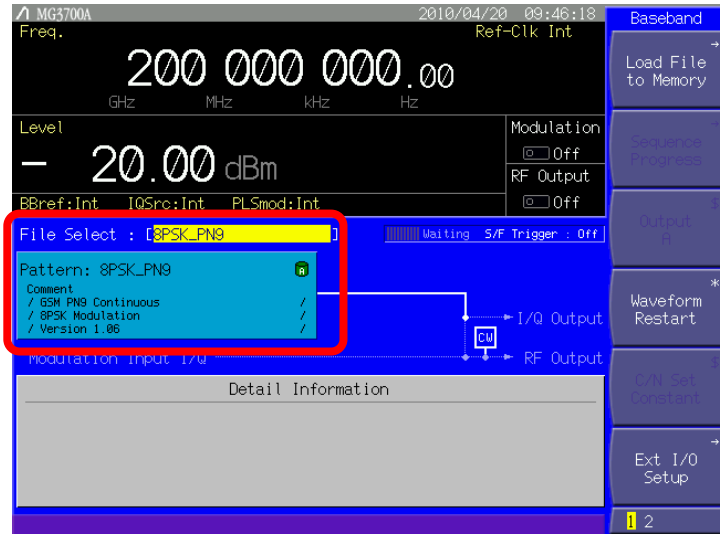


Figura 4.6. Patrón BPSK_PN9 cargado al equipo

5. Presionar F6 (*EXT I/O Setup*) para acceder al menú de configuración de salida o entrada externa. Los parámetros de configuración de en esta ventana son como muestra la Figura 4.7.

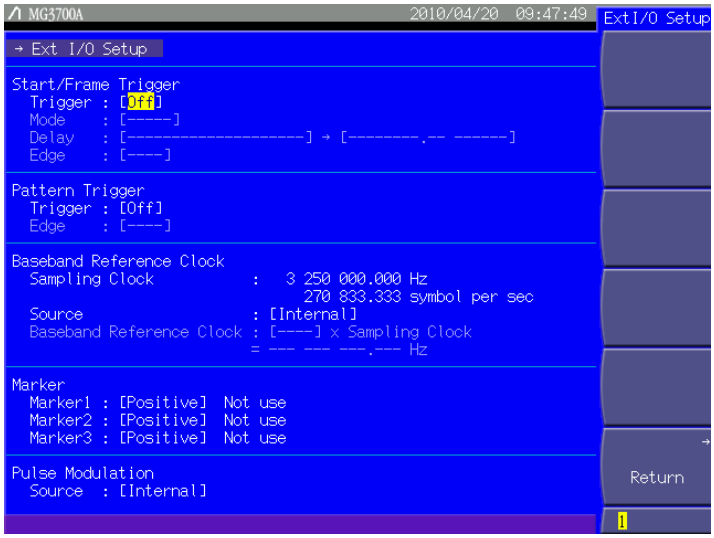


Figura 4.7. Configuración de parámetros predeterminados

- *Strat/Frame Trigger:* OFF
- *Pattern Trigger:* OFF
- *Baseband Reference Clock:*
  - *Sampling Clock*: 3 250 000 000 Hz
    270 833.333 symbol per sec
  - *Source*: [*Internal*]
- *Pulse Modulation*: [*Internal*]

Las opciones de Marcadores (*Marker*), no están habilitadas en este patrón de onda.

Para aceptar la selección cerrar la ventana con la tecla F6 (*Return*) y retornar a la pantalla principal.

6. En la Figura 4.8 se presentan las señales de modulación de cuadratura I/Q que se encuentren apagadas y la fuente I/Q sea interna.

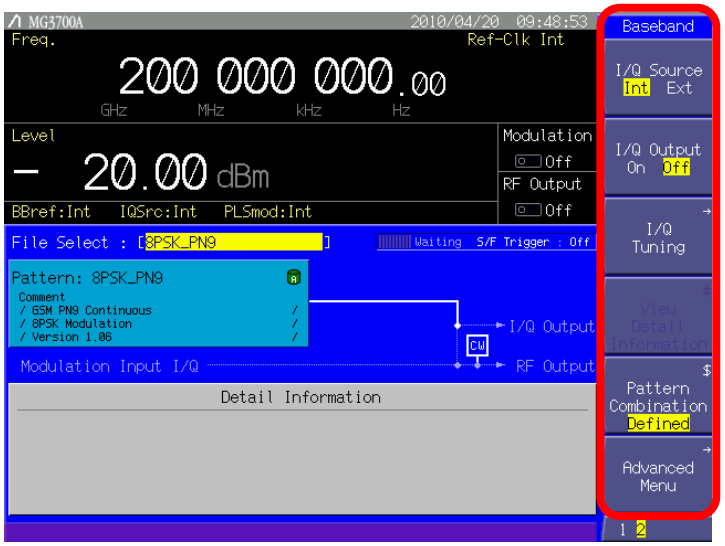


Figura 4.8. Ajuste de parámetros I/Q

7. Acceder al menú avanzado de I/Q (*I/Q Tunning* F3) para configurar valores de voltaje y desfase de la señal. Los valores mostrados son los que

se mantendrán para todas las prácticas de este capítulo. Si fuera el caso contrario, ajustar para obtener los resultados deseados (en prácticas I/Q).

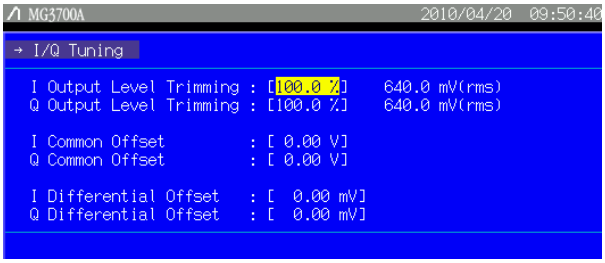


Figura 4.9. Ajuste de nivel I/Q

I Output Level Trimming	: [100%]	640.0 mV(rms)
Q Output Level Trimming	: [100%]	640.0 mV(rms)
I Common Offset	: [0.00 V]	
Q Common Offset	: [0.00 V]	
I Differential Offset	: [0.00 mV]	
Q Differential Offset	: [0.00 mV]	

Para aceptar la selección, se cierra la ventana con la tecla F6 (*Return*) y retornar a la pantalla principal.

8. Otro de los valores que no van a ser modificado son las configuraciones avanzadas del menú, "*Advance Menu*" con la tecla F6. Los valores predeterminados son como muestra la Figura 4.10. No se modificarán estos valores a lo largo de la práctica.

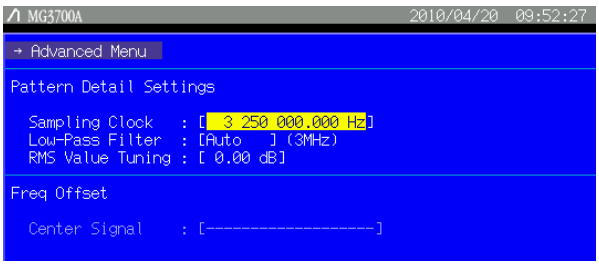


Figura 4.10. Configuración de menú avanzado

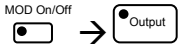
Pattern Detail Settings

Sampling Clock : [3 250 000.000 Hz]

Low-Pass Filter : [Auto] (3MHz)

RMS Value Tuning : [0.00 dB]

9. Finalmente el generador vectorial de señales ha sido configurado. Para encender el equipo y la señal se debe presionar la tecla para encender la modulación MOD On/Off seguidamente con la salida Output (ambas luces de cada botón deben estar encendidos) respectivamente.



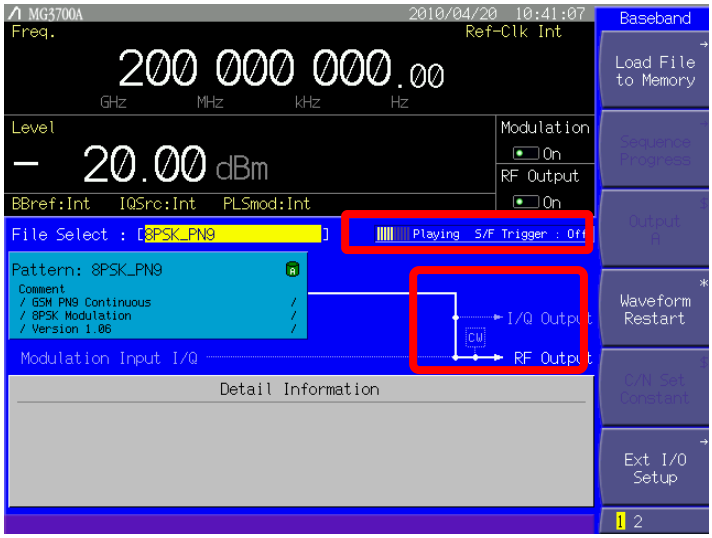


Figura 4.11. Señal de modulación y RF encendidas

Configuración analizador vectorial de redes.

10. Para configurar al Analizador de Redes en el modo de analizador de Espectro presionar Shift → Mode 9. Seguidamente se despliega una ventana de los modos de funcionamiento, escoger "*Spectrum Analyzer*" y aceptar la selección con la tecla Enter. Dentro del modo de analizador de espectro es

necesario siempre empezar con la configuración predeterminada para evitar cualquier problema de medición, presionar Shift → Preset 1 y escoger "*Preset*" del menú de teclas suave. Con la señal del generador encendida, el resultado visto en pantalla será el siguiente:

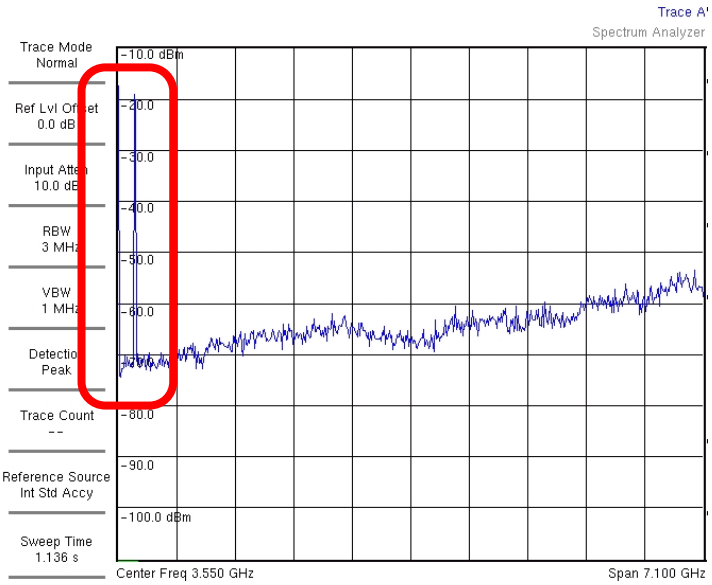


Figura 4.12. Analizador de espectro en *Full Span*

El pico mostrado de señal mostrado es la señal GSM-EDGE que se ha generado a través del generador vectorial. No debe aparecer ningún otro pico de señal en este punto. En caso de no observar ninguna señal, verificar el cable RF de conexión o si la señal se encuentra presente (verificar MOD On/Off y Output del generador).

11. Para ajustar la señal al analizador de espectro MS2036A seguir los siguientes pasos:
    a. Con la tecla dura de función dura "*Frequency*" se procede a colocar al analizador en la frecuencia central de la señal generada, es decir 200 MHz.
    b. Ajustando el rango horizontal con la tecla de menú, *Span*, y colocarlo a 5 MHz.

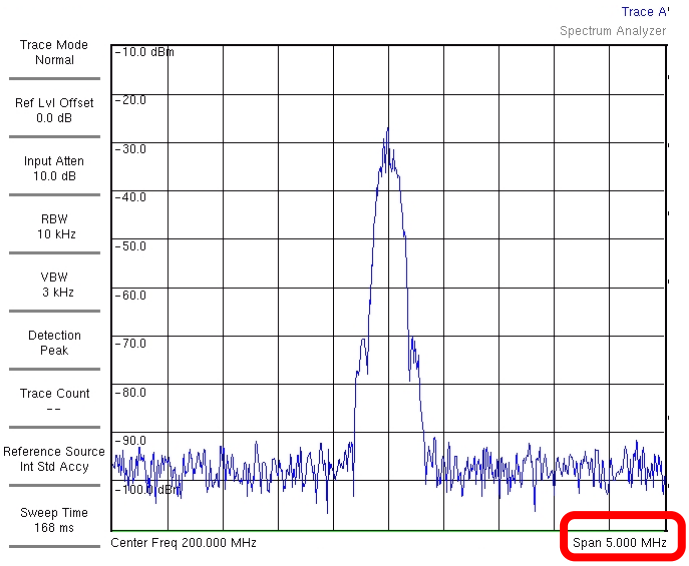


Figura 4.13. Visualización de la señal ajustada frecuencia y *Span*

c. Usar la función de promedio de la señal (*Average*) para suavizar la traza. Para activar la función, presionar Shift → Trace 5 →"*Trace A Operations*". Modificar el valor de número de promedios con la tecla "*# of Averages*" y colocar un valor de 32 muestras. Activar el modo "*Average*" en la misma ventana. Se puede ver en la parte de izquierda en una columna la información de la traza, el valor de números de promedios y la función Promedio "*Average*" como método de trazo.

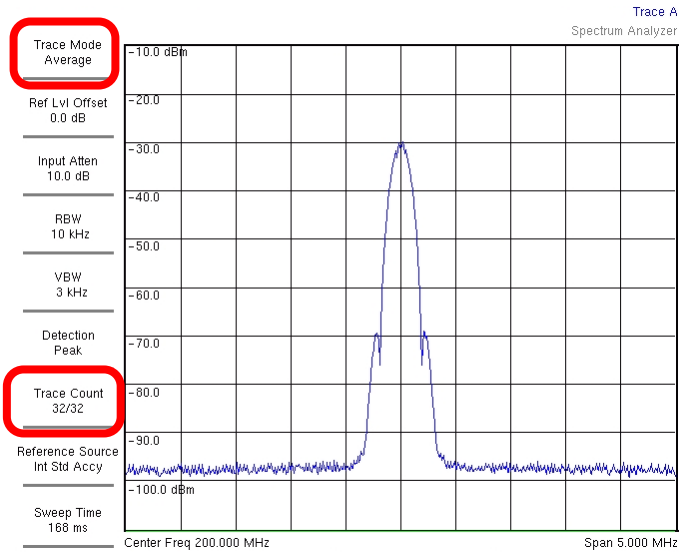


Figura 4.14. Traza suavizada por la función promedio

d. Ahora ajustar el valor de *Span* a 1MHz para ver la señal de mejor manera. Se reduce a 1MHz ya que el ancho de banda de una señal GSM es de 200 kHz y el valor de 5 MHz es demasiado grande.

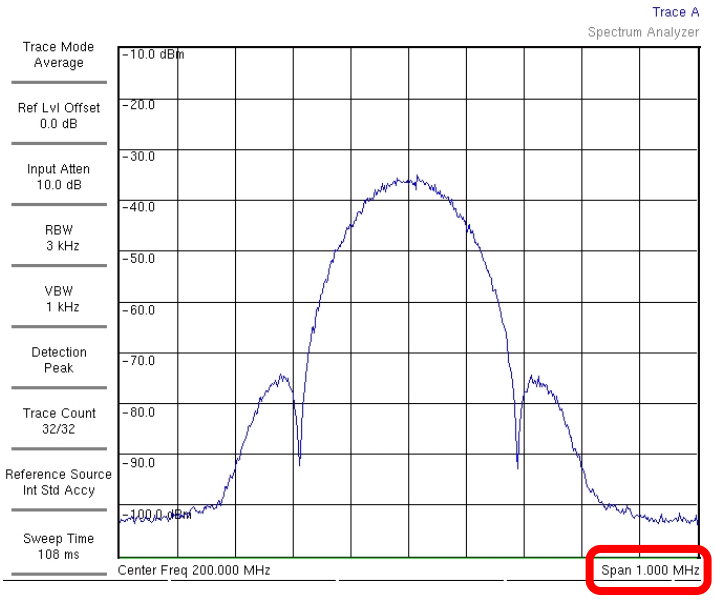


Figura 4.15. Ajuste de *Span* a 1 MHz

El nivel de amplitud se ha conservado original a la configuración predeterminada en el equipo. En caso de no obtener esta el resultado como la Figura 4.15, ajustar la tecla de función dura de amplitud "*Amplitude*". La configuración actual es de -10 dBm de nivel de referencia y de 10 dB por división vertical (10 dB/div).

e. Usando la función de medición de potencia, "*Channel Power*",del analizador de espectro configurar el ancho del canal a medir. Como GSM usa un canal de 200 kHz, se ajusta el valor a "*Ch Pwr Width*" a "200 kHz". Ya que al configurar los parámetros de potencia no activa la función de medición, activarla con la opción de "*Measure: On*" con la tecla de función suave.

   Inmediatamente la medición aparece en la pantalla con dos marcadores verticales que delimitan el ancho del canal. Una pequeña ventana debajo del a gráfica muestra los valores de potencia de canal, densidad de potencia del canal y el ancho del mismo (200 kHz).

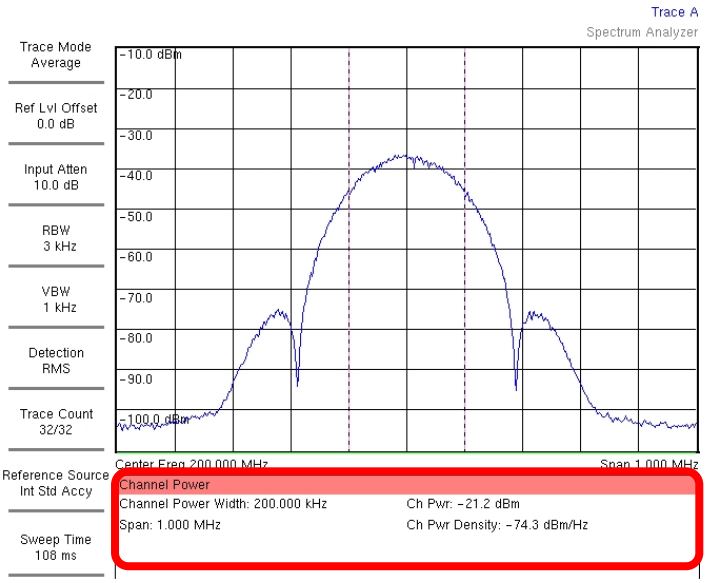


Figura 4.16. Función de *medición de potencia*

4.1.3. GSM (Variación de Amplitud)

Objetivo de la práctica:

Generar una señal GSM con una frecuencia de portadora de 350 MHz e ir variando la amplitud del nivel de señal para observar los cambios en el espectro. El tipo de forma de patrón de onda no debe contener formato en su trama ni time slots,

- *Tipo de Modulación:* GMSK
- *Frecuencia Portadora:* 350MHz
- *Nivel* variable: -1, -20, -40 y -60 dBm
- *Patrón de señal:* GMSK_PN9

Patrón de señal: GMSK_PN9

El patrón de forma es el más sencillo del paquete de GSM, es un patrón que no posee formato de slot, es decir que es continuo en todo la trama.

El valor PN9 es insertado en toda la trama. La modulación usada en este patrón es la modulación nativa GSM, es decir GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*).

Configuración generador vectorial de señales.

1. Configurar la frecuencia de portadora del generador a 350 MHz y un nivel de -1 dBm de potencia. Cargar el patrón de forma de onda GMSK_PN9 que se encuentra dentro del paquete GSM en el disco duro del generador de señales.

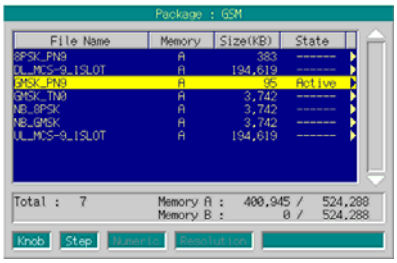


Figura 4.17. Selección del patrón GMSK_PN9

Activar la modulación y la salida RF.

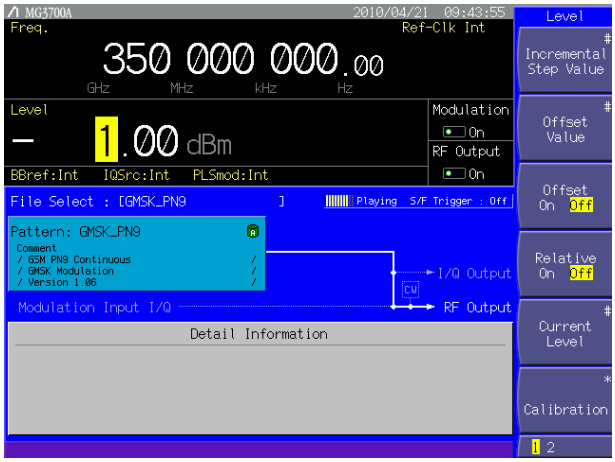


Figura 4.18. Configuración 350 MHz y -1 dBm

Configuración analizador vectorial de redes.

2. Ajustar al analizador de redes en modo analizador de espectro (*Mode: Spectrum Analyzer*).

3. Ajustar el nivel de referencia de amplitud usando la tecla de función dura “Amplitude: Ref Level” a un valor de -10 dBm. Seguidamente ajustar el rango vertical de amplitud con “Amplitude: Div/dB” a un valor de 10 dB por división.

4. Fijar la frecuencia central se presiona la tecla de función suave “*Frequency*”, y el valor de “350 MHz”.

5. Fijar un valor de *Span* para observar la señal correctamente, ni muy grande o muy pequeña. Digitar la tecla de función suave “*Span*” y fijar a un valor de “1 MHz”.

6. Configurar para un trazo más suave la función Promedio (*Mode: Trace: Average*). Ajustar con un valor promedio de 32 trazas.
   Shift → Trace 5 → “Trace A Operations” → “# of Averages” →“32” →”Average”

7. Para observar las gráficas con mayor precisión, se puede ajustar la resolución de ancho de banda o “*Resolution Bandwidth*” a un valor menor. Presionar la tecla de “BW”, seguidamente la tecla de función suave correspondiente a “RBW” y digitar el valor de “300 Hz”. Una vez cambiado el valor, el valor del barrido de señal se vuelve ligeramente más lento.

Figura 4.19. Configuración de parámetros RBW

8. Para tener una medición de potencia sobre el canal GSM (200 kHz), escoger la función de medición de potencia de canal (Measure: Channel Power).

   Shift → Measure 4 → “Channel Power” → “Ch Pwr Width” → “200 kHz” → “Measure: On”

   Finalmente se obtiene el espectro de la primera señal deseada. Ya que esta señal va a ser tomada para -1 dBm de potencia como se puede observar aproximadamente en la pantalla del analizador de espectro.

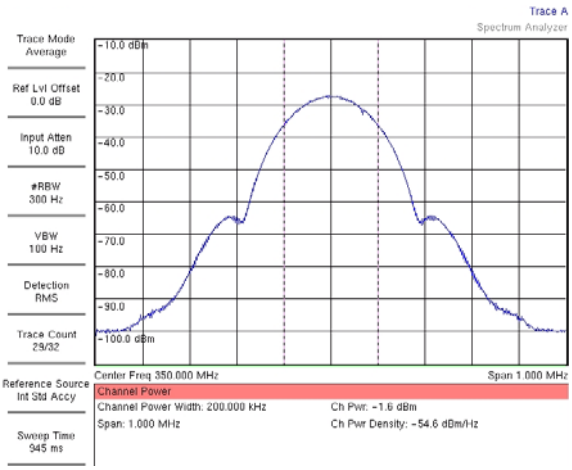


Figura 4.20. Espectro señal GSM -1 dBm

9. A continuación se debe variar la amplitud de la onda para observar los cambios producidos en el espectro de la señal. Para esto se necesita repetir los pasos:
   a. Repetir paso 1 en el generador vectorial, cambiando únicamente el valor de potencia a -20, -40 y -60 dBm:
      - -20 dBm

Figura 4.21. 350 MHz, -20 dBm

- -40 dBm

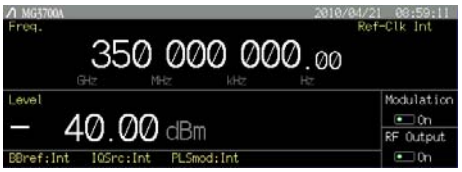


Figura 4.22. 350 MHz, -40 dBm

- -60 dBm

Figura 4.23. 350 MHz, -60 dBm

b. Para cada señal obtenida repetir paso 3. en el analizador de espectro, cambiando el valor de nivel de referencia y rango vertical de amplitud (Amplitude: dB/Div; Amplitude:RefLevel) como se muestra:

- -20 dBm: dB/Div: 10, Ref Level: -10 dBm

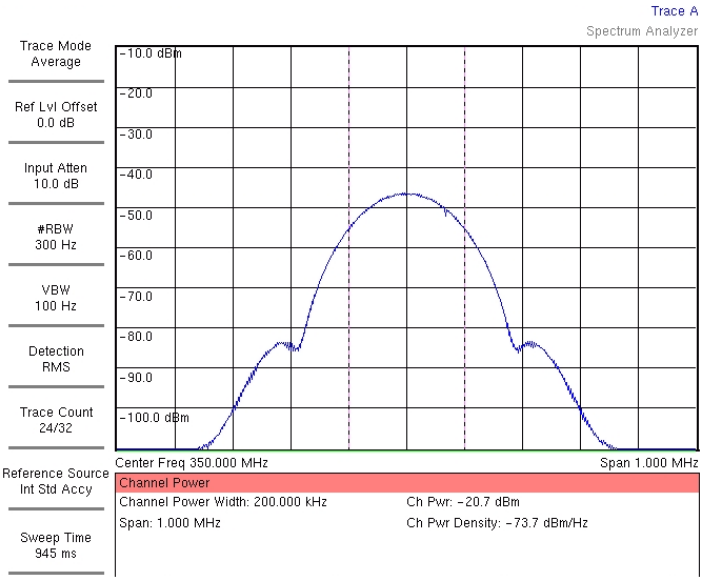


Figura 4.24. Espectro en 350 MHz, -10 dBm

- -40 dBm: dB/Div: 10, Ref Level: -50 dBm

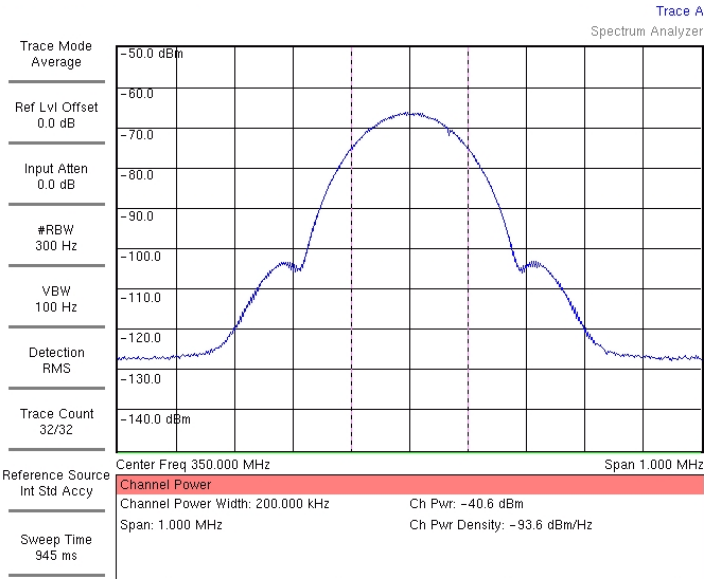


Figura 4.25. Espectro en 350 MHz, -40 dBm

- -60 dBm: dB/Div: 5, Ref Level: -80dBm

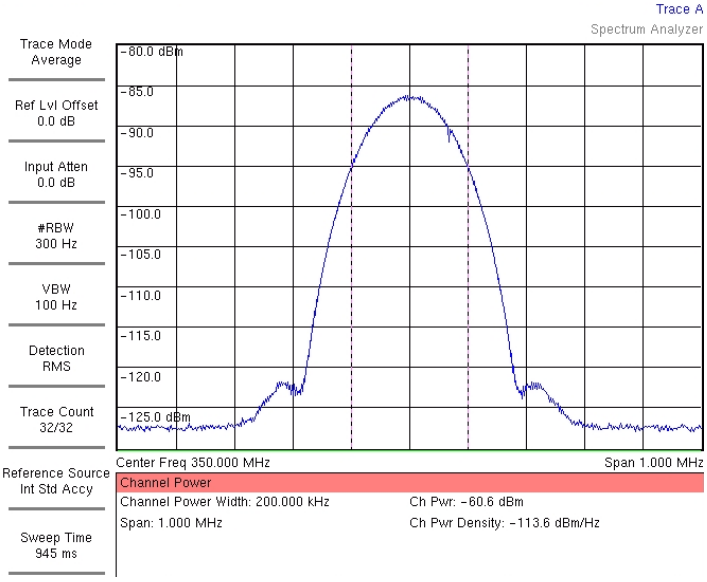


Figura 4.26. Espectro en 350 MHz, -80 dBm

Los resultados se muestran a continuación como la unión de todas las formas de onda anteriores.

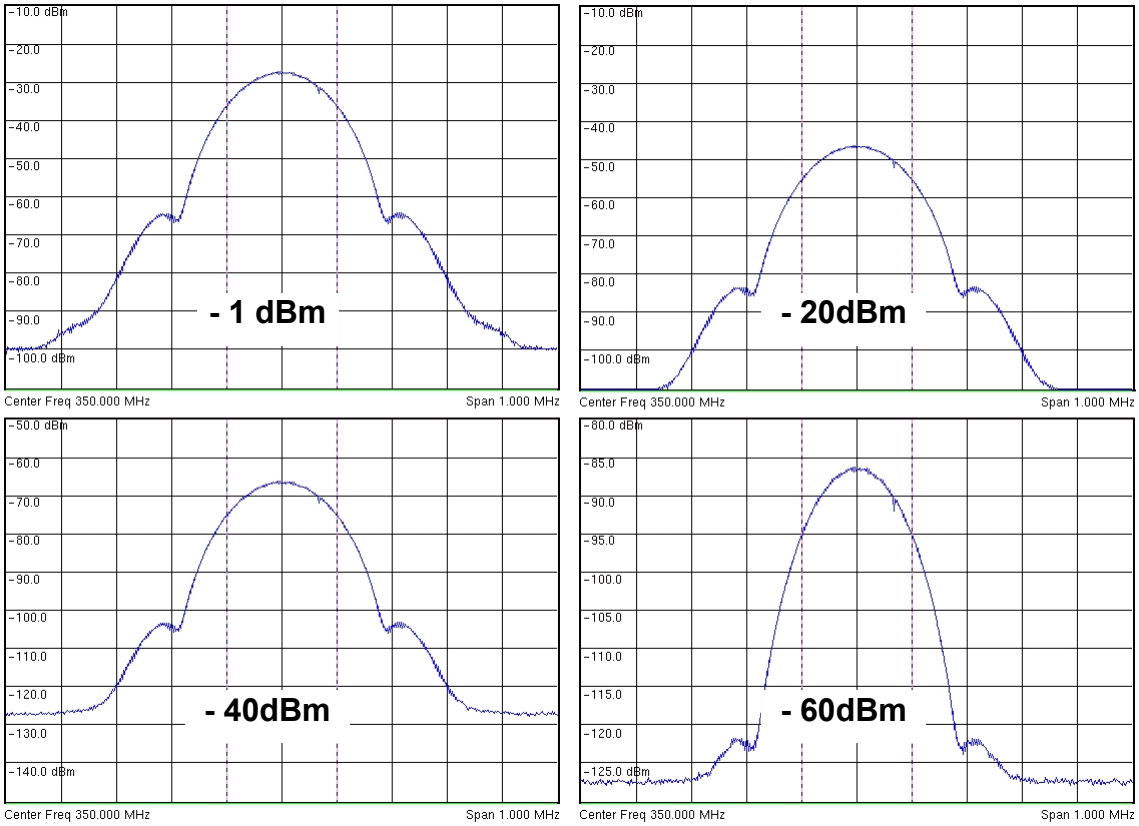


Figura 4.27. Resultados de variación de amplitud

4.1.4. GSM (Time slot 0)

Objetivo de la práctica:

Generar una señal GSM con una frecuencia de portadora de 600 MHz y nivel de señal de -10 dBm con un patrón de señal que corresponda a una modulación GMSK y su salida sea únicamente por un solo time slot. El time slot no debe tener formato.

- *Tipo de Modulación:* GMSK
- *Frecuencia Portadora:* 600 MHz
- *Nivel*: -10dBm
- *Patrón de señal:* GMSK_TN0

Patrón de señal: GMSK_TN0

Es un patrón de pruebas que es destinado para el uso en pruebas de sistemas de telefonía móvil celular en tráfico de subida o bajada. La característica fundamental de este patrón es que su salida o su información será únicamente sobre el time slot 0.

La información contenida en este time slot es PN9 en todos los campos del time slot excepto en el campo de guarda (*Guard*). La modulación es GMSK.

PN	G
148	8.25

Unidad: bit

PN: Información — Patrón seudo aleatorio PN9 (Continuo entre los slots transmitidos)

G: Bits de guarda FF_H

Al usar un solo time slot de salida, el tiempo en el que se mantiene la señal presente es demasiado pequeño (tiempo de slot = 0.577ms) en comparación al tiempo de barrido del analizador de espectro. Para observar esta señal, se necesita usar la función "*Max Hold*" del analizador de espectro que capta los puntos de persistencia de la señal.

Configuración generador vectorial de señales.

1. Configurar la frecuencia de portadora del generador a 600 MHz y un nivel de -10 dBm de potencia. Cargar el patrón de forma de onda GMSK_TN0 que se encuentra dentro del paquete GSM en el disco duro del generador de señales.

Activar la modulación y la salida RF.

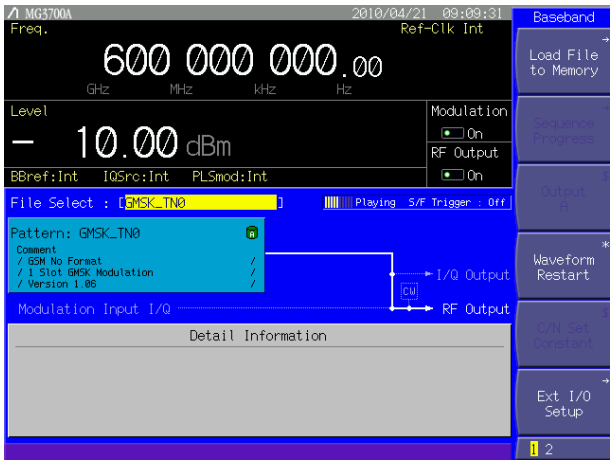


Figura 4.28. Configuración de la práctica

Configuración analizador vectorial de redes.

2. Ajustar al analizador de redes en modo analizador de espectro (*Mode: Spectrum Analyzer*).

3. Ajustar el nivel de amplitud de referencia a un valor de -20 dBm. Seguidamente ajustar a un valor de 10 dB por división.

4. Fijar la frecuencia central a “600 MHz”.

5. Fijar un valor de *Span* de “1 MHz”.

6. Debido a que el tiempo de slot (0,577 ms) es mucho más pequeño que el tiempo de barrido del analizador de espectro, es imposible captar la señal de un time slot que genera el patrón seleccionado. Se necesita usar la función del analizador de espectro de persistencia de la señal llamada “*Max Hold*”. Esta función se encuentra en el menú de traza del analizador (Trace). Para activarla se accede de siguiente manera:

   Shift → Trace 5 → “Trace A Operations” → “*Max Hold*”

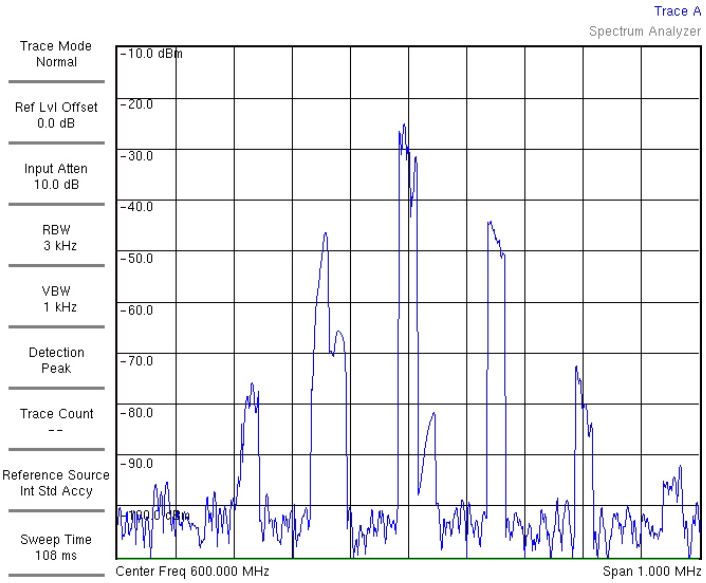


Figura 4.29. Efecto producido sin usar función "Max Hold"

7. Si el valor de ancho de banda de resolución, "*Resolution Bandwidth*" (RBW) se muestra en pantalla con un signo "#", debe ser configurado con valor automático. Digitando la tecla "BW", seleccionar el modo "RBW Auto", el valor debe cambiar y se debe eliminar el símbolo "#" mostrado en la pantalla.

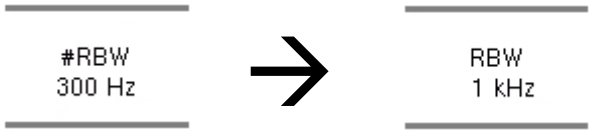


Figura 4.30. Cambio de RBW a automático

8. Con la función de medición de potencia, "*Channel Power*", ajustar el valor de ancho de canal a 200 kHz.

   Finalmente se obtiene la señal al final de este proceso debe tener la siguiente forma. Para obtener la señal se necesita tiempo para que la función "*Max Hold*" capte toda la señal y forme el espectro mostrado en la Figura 4.33. Si no se activa esta función no se podrá ver el resultado.

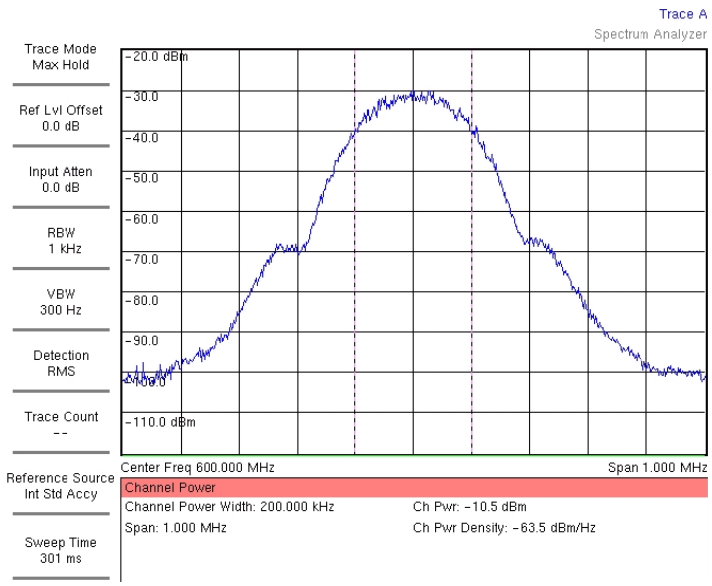


Figura 4.31. Señal de GSM en time slot 0

4.1.5. GSM (Configuración de time slot 0 en todos los campos)

Objetivo de la práctica:

Generar una señal GSM en modulación 8PSK con una frecuencia de portadora de 400 MHz y -60 dBm de nivel. La configuración de slot debe tener formato en todos sus campos, incluido el campo de la información.

- *Tipo de Modulación:* GMSK
- *Frecuencia Portadora:*400MHz
- *Nivel*: - 60dBm
- *Patrón de señal:*NB_8PSK

Patrón de señal: NB_8PSK

Este patrón de señal corresponde a GSM-EDGE debido a su modulación 8PSK. Es usado generalmente para pruebas en sistemas de telefonía móvil para verificar el uso de un canal usando un time slot. Al igual que el anterior patrón de señal analizado (GMSK_TN0), la salida se dará en el time slot 0 de la trama.

Este time patrón tiene sus campos definidos respecto al slot de una ráfaga normal (*normal burst*). La información contenida en los campos encriptados (*payload*) es insertada con valor PN9.

La configuración del slot en este patrón:

T1	E	TCS	E	T2	G
9	174	78	174	9	24.75

Unidad: bit

T1: Tail bit	$1FF_H$ (9 bits)
E: Encrypted bit	Información de patrón seudo aleatorio PN9 (continuo entre slots transmitidos)
TSC: Training sequence bit	$3F3F\ 9E29\ FFF3\ FF3F\ 9E49_H$
T2: Tail bit	$1FF_H$ (9 bits)
G: Guard bit	FF_H

Al usar un solo time slot de salida, el tiempo en el que se mantiene la señal presente es demasiado pequeño (tiempo de slot = 0.577 ms) en comparación al tiempo de barrido del analizador de espectro. Para observar esta señal, se necesita usar la función "*Max Hold*" del analizador de espectro que capta los puntos de persistencia.

Configuración generador vectorial de señales.

1. Configurar la frecuencia de portadora del generador a 400 MHz y un nivel de -60 dBm de potencia. Cargar el patrón de forma de onda NB_8PSK que se encuentra dentro del paquete GSM en el disco duro del generador de señales.

   Activar la modulación y la salida RF.

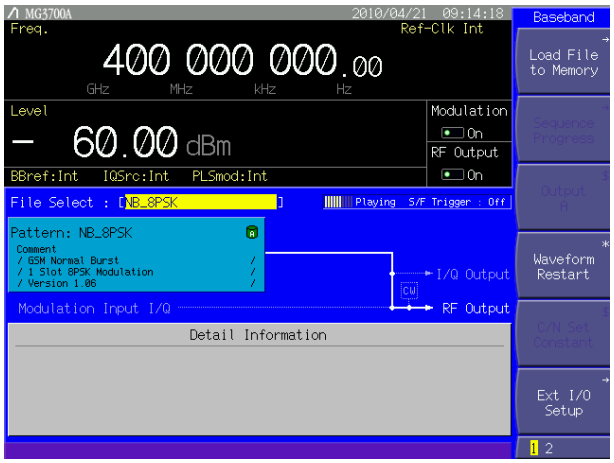


Figura 4.32. Configuración para patrón NB_8PSK

Configuración analizador vectorial de espectro.

2. Ajustar al analizador de redes en modo analizador de espectro (*Mode: Spectrum Analyzer).*

3. Ajustar el nivel de amplitud referencia a un valor de -20 dBm. Seguidamente ajustar a un valor de 10 dB por división.

4. Fijar la frecuencia central a un el valor de “600 MHz”.

5. Fijar un valor de *Span* de “1 MHz”.

6. Debido a que el tiempo de slot (0,577 ms) es mucho más pequeño que el tiempo de barrido del analizador de espectro, es imposible captar la señal de un time slot que genera el patrón seleccionado. Se necesita usar la función del analizador de espectro de persistencia de la señal llamada “Max Hold”.

   (Shift) → (Trace 5) → “Trace A Operations” → “*Max Hold*”

7. Con la función de medición de potencia, “*Channel Power*”, ajustar el valor de ancho de canal a 200 kHz.

Finalmente se obtiene la señal al final de este proceso debe tener la siguiente forma. Para obtener la señal se necesita tiempo para que la función "*Max Hold*" capte toda la señal y forme el espectro mostrado en la Figura 4.33. Si no se activa esta función no se podrá ver el resultado.

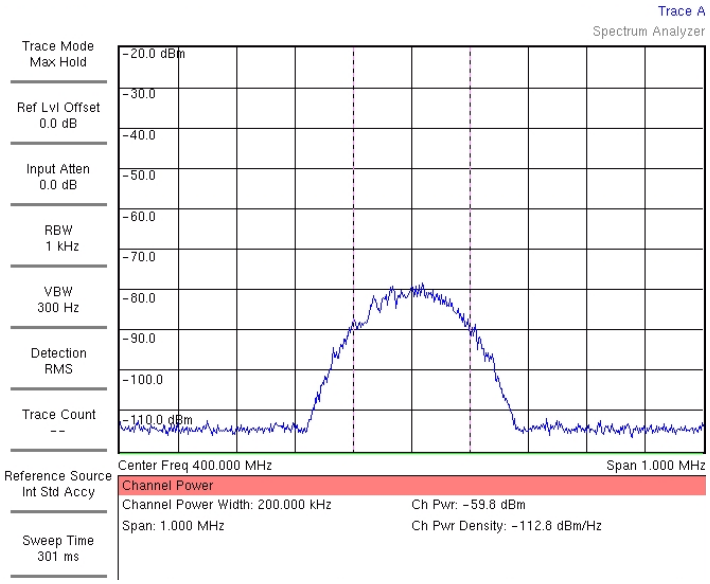


Figura 4.33. Figura para GSM, patrón NB_8PSK, 400MHz, -60 dBm

4.1.6. CDMA2000 1X–RC1 y RC2

Objetivo de la práctica:

Generar una señal CDMA2000 1X en el canal de subida (reverse) con una frecuencia de portadora de 800 MHz y de -5 dBm de nivel. El patrón de CDMA2000 será de bajada y con configuración en los canales RC1 y RC2.

- Canal de bajada (*Forward*)
- *Configuración de canal: RC1, RC2*
- *Frecuencia Portadora:* 800 MHz
- *Nivel*: - 5 dBm
- *Patrón de señal:* FWD_RC1-2_9channel

Patrón de señal: FWD_RC1-2_9channel

El patrón de señal "FWD_RC1-2_9channel" es un patrón usado en CDMA2000 1xRTT que obedece a la configuración de radio 1 (RC1) y configuración de radio 2 (RC2).

La configuración del paquete multiplexa varios canales:

- F-PICH (*Forward Pilot Channel*)
- F-SyncCH (*Forward Sync Channel*)
- PagingCH (*Paging Channel*)
- F-FCH (*Forward Fundamental Channel*)

	Código Walsh	**Tasa de Símbolos**	**Datos de símbolo**
F-PICH	0	N/A	Todos "0"
F-SyncCH	32	4.8 ksps	PN9
PagingCH	1	19.2 ksps	PN9
F-FCH x 6	8 al 13	19.2 ksps	PN9

Tabla 4.1. Configuración del patrón FWD_RC1-2_9channel

Configuración generador vectorial de señales.

1. Configurar la frecuencia de portadora del generador a 800 MHz y un nivel de -5 dBm de potencia. Ahora para cargar el patrón FWD_RC1-2_9, buscar en el paquete de CDMA2000 y cargarlo en la memoria A.

Baseband → F1 → F1 → "CDMA2000" → Set

"FWD_RC1-2_9channel" → Set

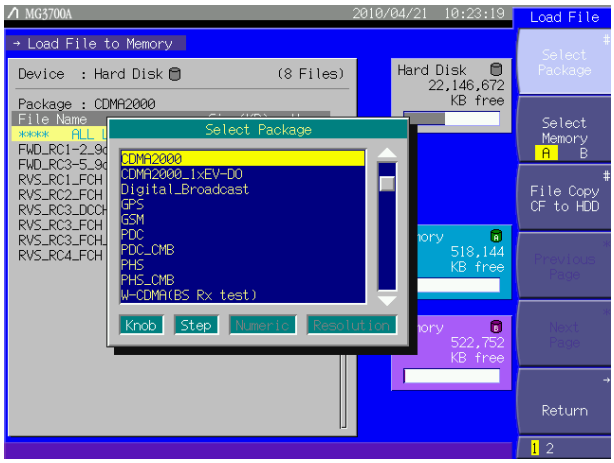


Figura 4.34. Selección del paquete CDMA2000

Activar la modulación y la salida RF.

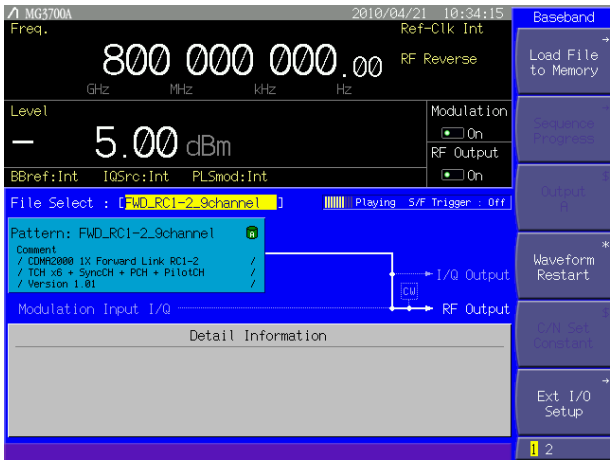


Figura 4.35. Configuración para patrón FWD_RC1-2_9channel

Configuración analizador vectorial de redes.

2. Ajustar al analizador de redes en modo analizador de espectro (*Mode: Spectrum Analyzer).*

3. Ajustar el nivel de amplitud referencia a un valor de -10 dBm. Seguidamente ajustar a un valor de 10 dB por división.

4. Fijar la frecuencia central a un el valor de “800 MHz”.

5. Verificar el ancho de banda de resolución a valor automático. Digitando la tecla de función dura “BW”, seleccionar el modo “RBW Auto”.

6. Fijar un valor de *Span* de “2 MHz”. El ancho de banda de una señal CDMA2000 es 1.23 MHz.

7. Configurar para un trazo más suave la función Promedio (*Mode: Trace: Average*). Ajustar con un valor promedio de 32 trazas.

8. Con la función de medición de potencia, “*Channel Power*”, ajustar el valor de ancho de canal a 1.23MHz.

   Finalmente se obtiene la señal al final de este proceso debe tener la siguiente forma.

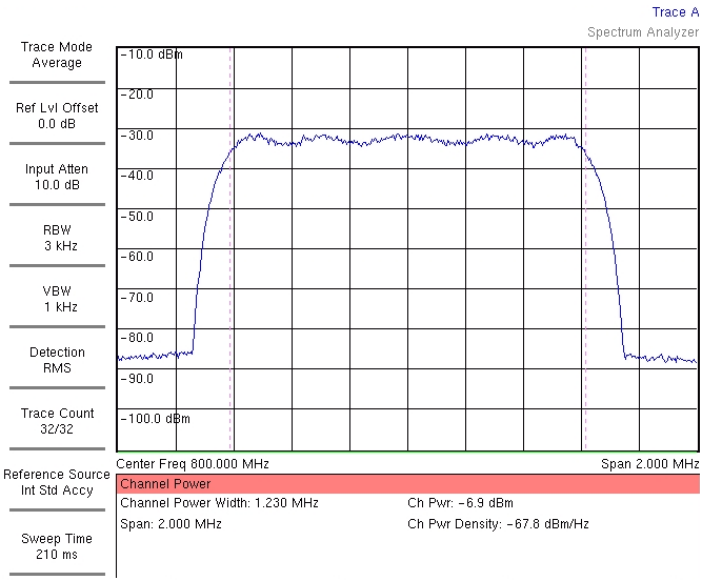


Figura 4.36. Figura de CDMA2000, patrón FWD_RC1-2_9channel, 800 MHz, -5 dBm

4.1.7. CDMA2000 1X – RC3 y RC5

Objetivo de la práctica:

Generar una señal CDMA2000 1X con una frecuencia de portadora de 900 MHz y de -45 dBm de nivel. El patrón de CDMA2000 será de subida y con configuración en los canales RC3 y RC5.

- Canal de bajada (*forward*)
- *Configuración de canal: RC3 y RC5*
- *Frecuencia Portadora:* 900MHz
- *Nivel*: - 45 dBm
- *Patrón de señal:* FWD_RC3-5_9channel

Patrón de señal: FWD_RC3-5_9channel

El patrón de señal "FWD_RC3-5_9channel" es un patrón usado en CDMA2000 1xRTT que obedece a la configuración de radio 3 (RC1) y configuración de radio 5 La configuración del paquete multiplexa varios canales:

- F-PICH (*Forward Pilot Channel*)
- F-SyncCH (*Forward Sync Channel*)
- PagingCH (*Paging Channel*)
- F-FCH (*Forward Fundamental Channel*)

	Código Walsh	**Tasa de Símbolos**	**Datos de símbolo**
F-PICH	0	N/A	Todos "0"
F-SyncCH	32	4.8 ksps	PN9
PagingCH	1	19.2 ksps	PN9
F-FCH x 6	8 al 13	38.4 ksps	PN9

Tabla 4.2. Configuración del patrón FWD_RC3-5_9channel

Configuración generador vectorial de señales.

1. Configurar la frecuencia de portadora del generador a 900 MHz y un nivel de -45 dBm de potencia. Ahora para cargar el patrón FWD_RC3-5_9channel, buscar en el paquete de CDMA2000 y cargarlo en la memoria A.

   Baseband → F1 → F1 → "CDMA2000" → Set

   "FWD_RC3-5_9channel" → Set

   Activar la modulación y la salida RF.

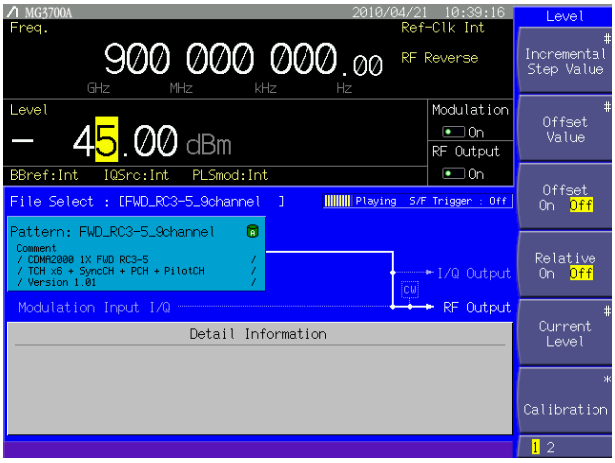


Figura 4.37. Configuración principal del patrón FWD_RC3-5_9channel

Configuración analizador vectorial de redes.

2. Ajustar al analizador de redes en modo analizador de espectro (*Mode: Spectrum Analyzer).*

3. Ajustar el nivel de amplitud referencia a un valor de -60 dBm. Seguidamente ajustar a un valor de 7 dB por división. Si se coloca un valor más pequeño de división por pantalla, se amplifica el rango de amplitud.

4. Fijar la frecuencia central a un el valor de "900 MHz".

5. Verificar el ancho de banda de resolución a valor automático. Digitando la tecla de función dura “BW”, seleccionar modo “RBW Auto: ON”.

6. Fijar un valor de *Span* de “2 MHz”. El ancho de banda de una señal CDMA2000 es 1.23 MHz.

7. Configurar para un trazo más suave la función Promedio (*Mode: Trace: Average*). Ajustar con un valor promedio de 32 trazas.

8. Con la función de medición de potencia, “*Channel Power*”, ajustar el valor de ancho de canal a 1.23 MHz.

   Finalmente se obtiene la señal al final de este proceso debe tener la siguiente forma.

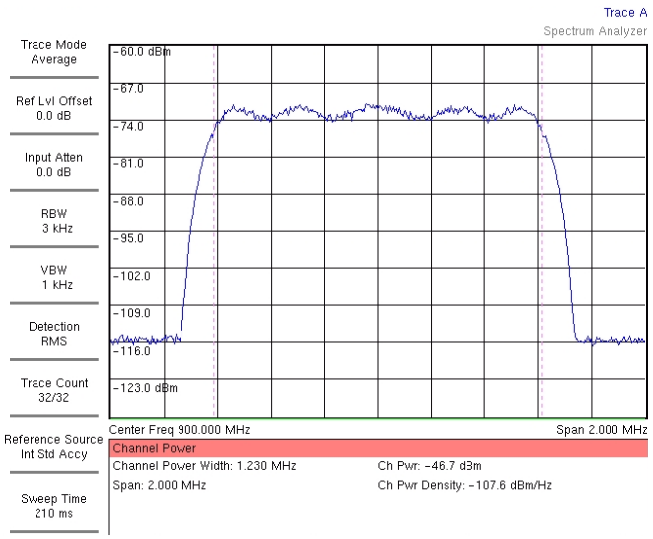


Figura 4.38. Figura de CDMA2000, patrón FWD_RC3-5_9channel, 900 MHz, -45 dBm

4.1.8. CDMA2000 1xEV-DO

Objetivo de la práctica:

Generar una señal CDMA2000 1XEV-DO con una frecuencia de portadora de 500 MHz y de -10 dBm de nivel. El patrón de EV-DO será de subida y con configuración en los canales RC3 y RC5.

- *Frecuencia Portadora:* 500 MHz
- *Nivel*: - 10 dBm
- Modulación: QPSK
- *Patrón de señal:*FWD_1228_8kbps_1slot

Patrón de señal: FWD_1228_8kbps_1slot

El patrón FWD_1228_8kbps_1slot corresponde a un patrón de bajada (*forward*) que usa un solo time slot y usa una alta transferencia de datos en la tecnología CDMA2000 1xEV-DO. Tiene una tasa de datos de 1228.8 kbps y una modulación de QPSK. Cabe recalcar que este patrón tiene la tasa de datos más alta usando QPSK en esta tecnología.

Configuración generador vectorial de señales.

1. Configurar la frecuencia de portadora del generador a 500 MHz y un nivel de -10 dBm de potencia. Ahora para cargar el patrón FWD_1228_8kbps_1slot, buscar en el paquete de CDMA2000 y cargarlo en la memoria A.

Baseband → F1 → F1 → "CDMA2000_1xEV-DO" → Set

"FWD_1228_8kbps_1slot" → Set

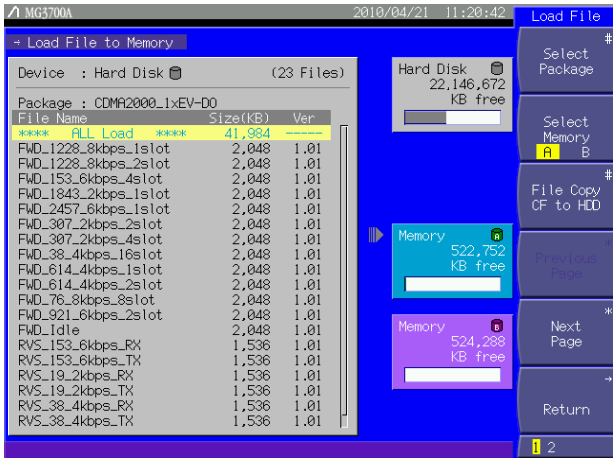


Figura 4.39. Selección del patrónFWD_1228_8kbps_1slot en la memoria A

Activar la modulación y la salida RF.

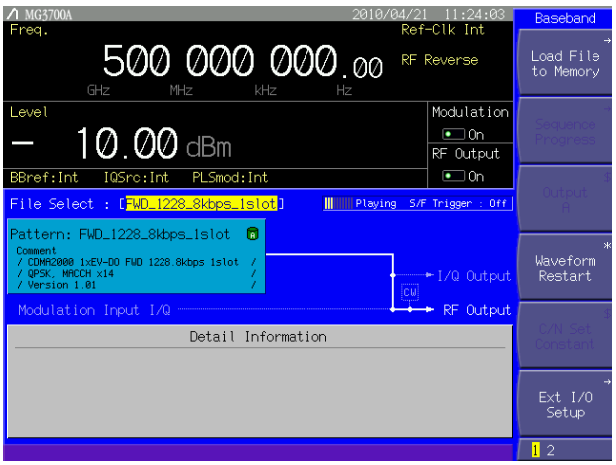


Figura 4.40. Configuración para patrón FWD_1228_8kbps_1slot

Configuración analizador vectorial de redes.

2. Ajustar al analizador de redes en modo analizador de espectro (*Mode: Spectrum Analyzer).*

3. Ajustar el nivel de amplitud referencia a un valor de -10 dBm. Seguidamente ajustar a un valor de 10 dB por división.

4. Fijar la frecuencia central a un el valor de “500 MHz”.

5. Verificar el ancho de banda de resolución a valor automático. Digitando la tecla de función dura “BW”, seleccionar el modo “RBW Auto”.

6. Fijar un valor de Span de “2 MHz”. El ancho de banda de una señal CDMA2000 es 1.23 MHz.

7. Configurar para un trazo más suave la función Promedio (*Mode: Trace: Average*). Ajustar con un valor promedio de 32 trazas.

8. Con la función de medición de potencia, “*Channel Power*”, ajustar el valor de ancho de canal a 1.23 MHz.

   Finalmente se obtiene la señal al final de este proceso debe tener la siguiente forma.

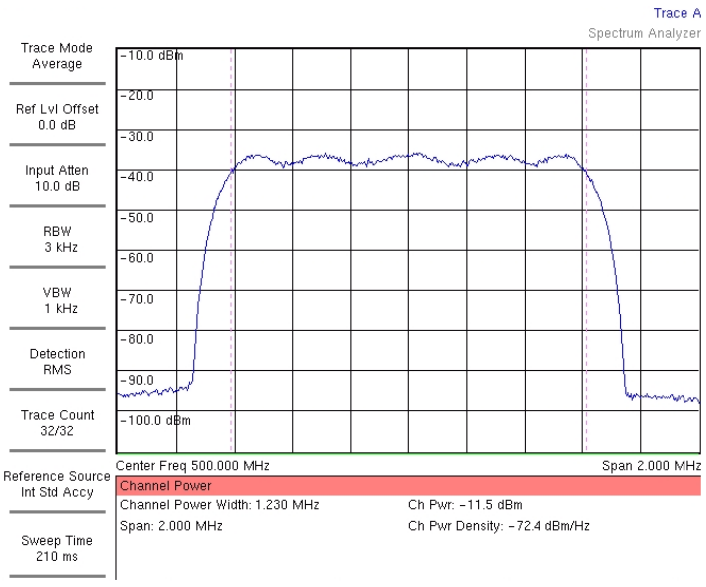


Figura 4.41. Figura de EV-DO, patrón FWD_1228_8kbps_1slot, 500 MHz, -10 dBm

4.1.9. W-CDMA

Objetivo de la práctica:

Generar una señal en el sistema W-CDMA con una frecuencia de portadora de 100 MHz y de -5 dBm de nivel. El patrón de W-CDMA es un patrón usado para pruebas de radio bases en recepción.

- *Frecuencia Portadora:* 500 MHz
- *Nivel*: - 10 dBm
- Modulación: QPSK
- *Patrón de señal:* UL_64kbps_Packet

Patrón de señal: UL_64kbps_Packet

Dicho patrón es usado en pruebas de W-CDMA para radio bases como canal de subida. Su tasa de información efectiva es de 64 kbps.

Configuración generador vectorial de señales.

1. Configurar la frecuencia de portadora del generador a 100 MHz y un nivel de -5 dBm de potencia. Ahora para cargar el patrón UL_64kbps_Packet, buscar en el paquete de W-CDMA(BS Rx Test) y cargarlo en la memoria A.

   Baseband → F1 → F1 → "W-CDMA (BS Rx Test)" → Set
   "UL_64kbps_Packet" → Set

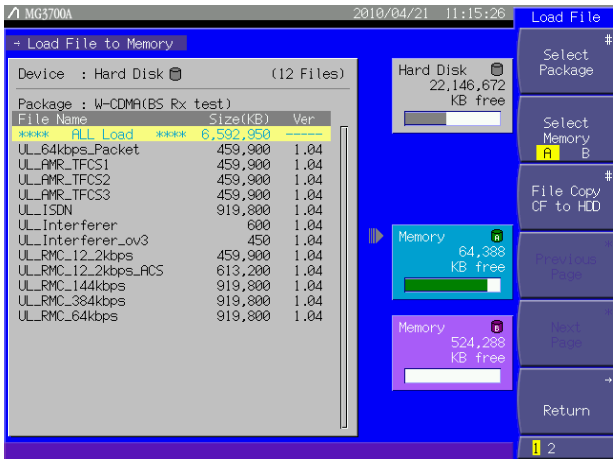


Figura 4.42. Selección del patrón UL_64kbps_Packet a la memoria A

Activar la modulación y la salida RF.

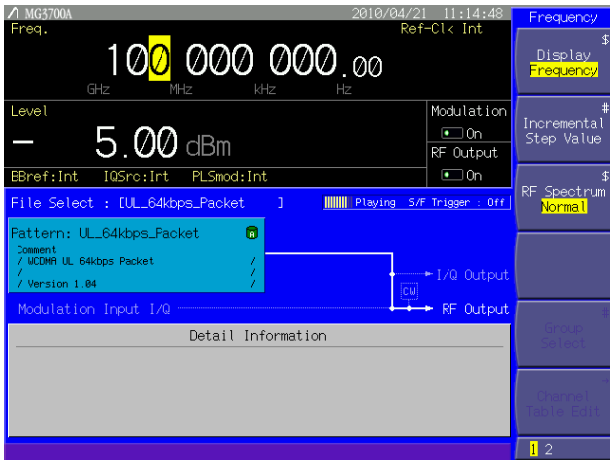


Figura 4.43. Configuración para patrón UL_64kbps_Packet

Configuración analizador vectorial de redes.

2. Ajustar al analizador de redes en modo analizador de espectro (*Mode: Spectrum Analyzer).*

3. Ajustar el nivel de amplitud referencia a un valor de -10 dBm. Seguidamente ajustar a un valor de 10 dB por división.

4. Fijar la frecuencia central a un el valor de “100 MHz”.

5. Verificar el ancho de banda de resolución a valor automático. Digitando la tecla de función dura “BW”, seleccionar el modo “RBW Auto”.

6. Fijar un valor de *Span* de “7 MHz”. El ancho de banda de una señal W-CDMA es 5 MHz.

7. Configurar para un trazo más suave la función Promedio (*Mode: Trace: Average*). Ajustar con un valor promedio de 32 trazas.

8. Con la función de medición de potencia, “*Channel Power*”, ajustar el valor de ancho de canal a 1.23 MHz.

   Finalmente se obtiene la señal al final de este proceso debe tener la siguiente forma.

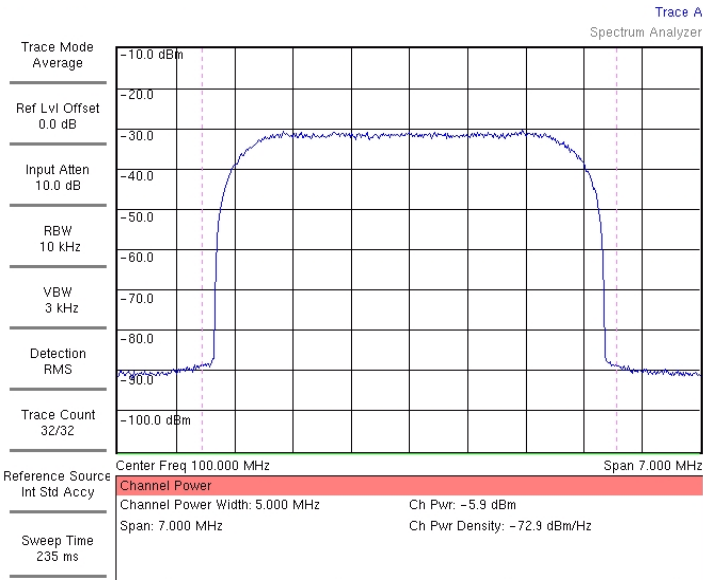


Figura 4.44. Figura de WCDMA, patrón UL_64kbps_Packet, 100 MHz, -5 dBm

4.1.10. Resultados Generales

Se pudo configurar con todos los parámetros necesarios al generador vectorial MG3700A para generar los patrones de onda y medirlos con el analizador de espectro. Las prácticas realizadas en el análisis espectral son:

- GSM EDGE (práctica ejemplo)
- GSM (variación de amplitud)
- GSM (time slot 0)
- GSM (Configuración de time slot 0 en todos los campos)
- CDMA2000 1X – RC1 y RC2
- CDMA2000 1X – RC3 y RC5
- CDMA2000 1xEV-DO
- W-CDMA

El análisis de cada patrón será analizado de acuerdo a su tecnología haciendo un resumen de la señal obtenida en la práctica.

GSM

GSM es el sistema más simple que usa TDMA y FDMA como tecnologías de multiplexación y acceso al medio. Ya que es considerado uno de los sistemas pioneros en ser usado masivamente a nivel mundial, fue hecho para principalmente llamadas telefónica únicamente. El espectro de GSM tiene un ancho de banda de 200 kHz, y una modulación de GMSK la cual brinda robustez a la portadora RF a posibles interferencias. Debido que su portadora tiene limitado el ancho de banda, se necesita transmitir a potencias relativamente altas en comparación a CDMA, esto es una desventaja en tamaño de los terminales móviles al ser más grande por tener una batería que soporte estas potencias.

La primera práctica GSM EDGE, es una práctica para aprender a manejar el equipo cómodamente y configurar sus parámetros para la reproducción del patrón de onda. Además el objetivo es aprender a usar un analizador de espectro

de forma sencilla y práctica. Parámetros como *Span* y ancho de banda de resolución pueden ser nuevos para el estudiante, pero se ha explicado cambiando sus valores para ver sus diferencias.

Aunque señal GSM-EDGE y GSM usan diferentes esquemas de modulación (GMSK versus 8-PSK), se pudo constatar que ambas usan el mismo recurso de RF. El esquema de modulación 8-PSK usa una variación que permite reducir sus lóbulos laterales de espectro y ser prácticamente igual a GMSK. Esta es la ventaja del sistema EDGE, que sobre el mismo recurso físico emplea un esquema con tres veces la velocidad de datos del sistema original GSM. Aunque EDGE es una evolución del sistema GPRS, este trabaja con un sistema de conmutación de paquetes y no de conmutación de circuitos como lo hace enteramente el original GSM.

La práctica de variación de frecuencia enseña como una señal GSM varía disminuyendo la potencia, pero siempre conservando su lóbulo principal de energía visible para el decodificador.

La práctica de time slot 0 es una práctica demostrativa de la función del analizador de espectro llamada *Max Hold*, la cual mantiene en pantalla toda traza muy rápida que no se pueda observar en el analizador por ser más rápida que el tiempo de barrido. El espectro de la señal en un slot o toda la trama es el mismo.

Finalmente en la práctica de time slot 0 con configuración de todos los campos, se ve el espectro de la señal GSM pero a diferencia de las otras todos los campos del slot se encuentran definidos. Se observa a diferencia de las demás señales GSM que no poseían un formato de slot o trama que no existe cambio en el espectro de la señal.

CDMA2000 1xRTT

La principal característica de una señal CDMA2000 1xRTT es el espectro de un ancho de banda de 1.23 MHz. Es espectro es totalmente ocupado y tiene forma rectangular. A diferencia de GSM, este no tiene lóbulos laterales donde se escape energía. CDMA2000 al ser la evolución del sistema cdmaOne o IS-95

conserva el mismo ancho de banda de la portadora pero aporta con las configuraciones de canal diferentes para aumentar su tasa de transmisión de datos.

El objeto de realizar las prácticas en los estándares EV-DO con configuraciones de canal diferentes (RC1 y RC2 usan BPSK mientras RC3 y RC4 usan QPSK) es demostrar el que al igual que GSM, al hacer una mejora en esta tecnología, no necesariamente se tiene que modificar la parte física de RF ya que modificarla generaría un gran impacto económico para el proveedor del servicio, teniendo que cambiar centenares de radio bases y terminales móviles.

CDMA2000 1xEV-DO

La mejora del sistema CDMA2000 para datos se llama 1xEV-DO. El prefijo 1x se refiere al uso de una sola portadora de 1.23 MHz y una tasa de chips de 1.2288 Mcps. Una vez más se demuestra que a pesar de los cambios a la red, y cambios físicos, la ingeniería para optimizar el recurso espectral debe ser la misma para brindar coexistencia con los sistemas anteriores y no interferir espectralmente con otras señales en la misma banda de frecuencia.

W-CDMA

La práctica en el estándar W-CDMA tiene el único objetivo de mostrar el ancho de banda y la figura del espectro W-CDMA. El estándar indica un ancho de banda de 5 MHz con una tasa de 3.84 Mcps. Este sistema es usado actualmente por la evolución de GSM-EDGE llamada UMTS, que ahora usa un acceso múltiple al medio por división de código CDMA. Esta tecnología es considerada puramente 3G.

4.2. I/Q. Diagramas de constelación

En esta práctica se verá las señales I y Q que emite el equipo MG3700A. El generador vectorial MG3700A posee un generador vectorial arbitrario que se encarga de concebir las señales I y Q individualmente para luego mezclarlas en el modulador de cuadratura con la frecuencia de portadora asignada.

La salida de señales I/Q que puede proveer el equipo MG3700A con tienen controles para modificar sus parámetros como amplitud ni frecuencia. Cada señal posee un nivel máximo de señal y una frecuencia fija. Así que en esta etapa de la práctica no será necesario configurar estos parámetros como se hizo en la práctica de Análisis de espectro.

Para la conexión física de los equipos, con la ayuda de un cable especial de dos salidas BNC se podrá visualizar las señales individuales I y Q en un osciloscopio. Con el osciloscopio se podrá ver las señales de cuadratura I y Q en función del tiempo. Además con la función del osciloscopio XY, se podrá observar el diagrama polar de modulación.

Equipo usado para la práctica y conexión física:

- Generador Vectorial de Señales Anritsu MG3700A
- Osciloscopio GW Instek GDS-2102, dos canales y 100 MHz ancho de banda.
- Cable DB-15 (macho) a doble BNC (macho) con las señales I y Q.

El cable para conectar entre el generador vectorial de señales MG3700A y el osciloscopio es un cable especial DB-15 a doble BNC que permite obtener las señales I y Q directamente. En la parte posterior del MG3700A se encuentra el conector DB-15 (hembra) para salida de las señales I y Q. El *pin-out* del conector se encuentra a un lado mostrando que se tiene las señales I y Q y sus negados. El cable de la Figura 4.45 muestra colores diferentes en el caso de I y Q:

- *I* → Blanco
- *Q* → Negro

Figura 4.45. Cable DB-15 a doble BNC para señales I y Q

Por lo tanto la conexión entre el generador vectorial MG3700A y el osciloscopio será como muestra la Figura 4.46.

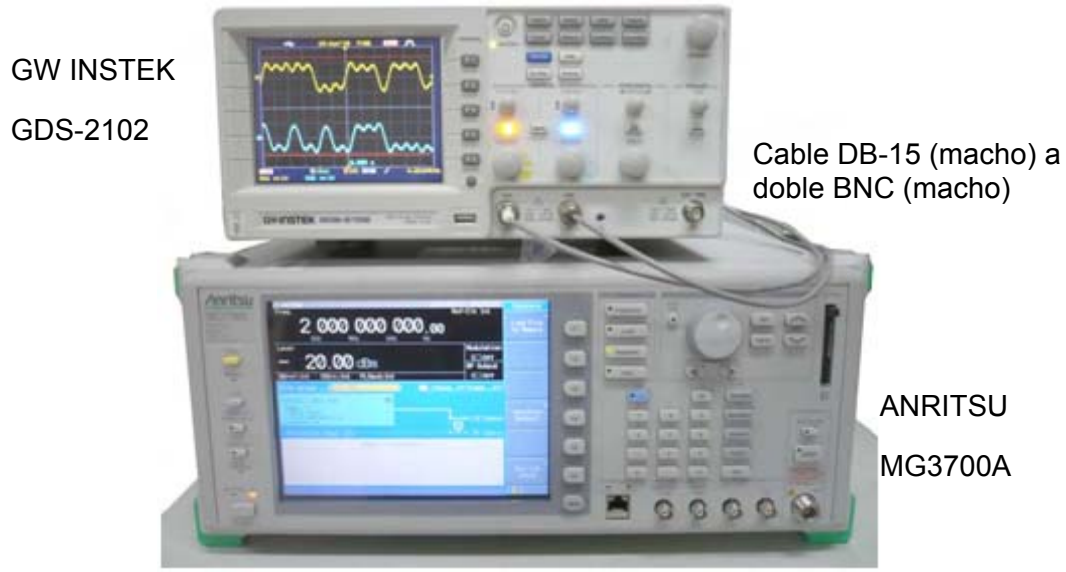


Figura 4.46. Conexión entre generador y osciloscopio con el cable DB-15 a doble BNC

4.2.1. Consideración antes de la primera práctica

Es necesario ajustar los parámetros en banda base para asegurar la salida de las señales I/Q de forma normal y el método de carga de patrones de onda como definido (*Defined*).

- Fuente de señales I/Q Interna: [Baseband] → (More) (pag 2) → (F1)
- Salida de señales I/Q Activada: [Baseband] → (More) (pag 2) → (F2)
- Combinación de patrones Definida: [Baseband] → (More) (pag 2) → (F5)

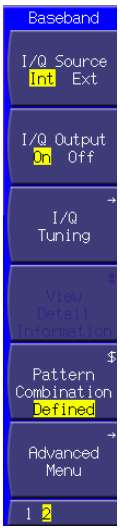


Figura 4.47. Configuración de parámetros banda base para salida de señales I/Q

Antes de efectuar la primera práctica, es necesario borrar las memorias internas A y B del MG3700A. Además no será necesario usar ningún parámetro de frecuencia ni de potencia de la señal por lo que se debe apagar la modulación y salida del generador con las teclas [MOD On/Off] y [Output] respectivamente (LEDs apagados).

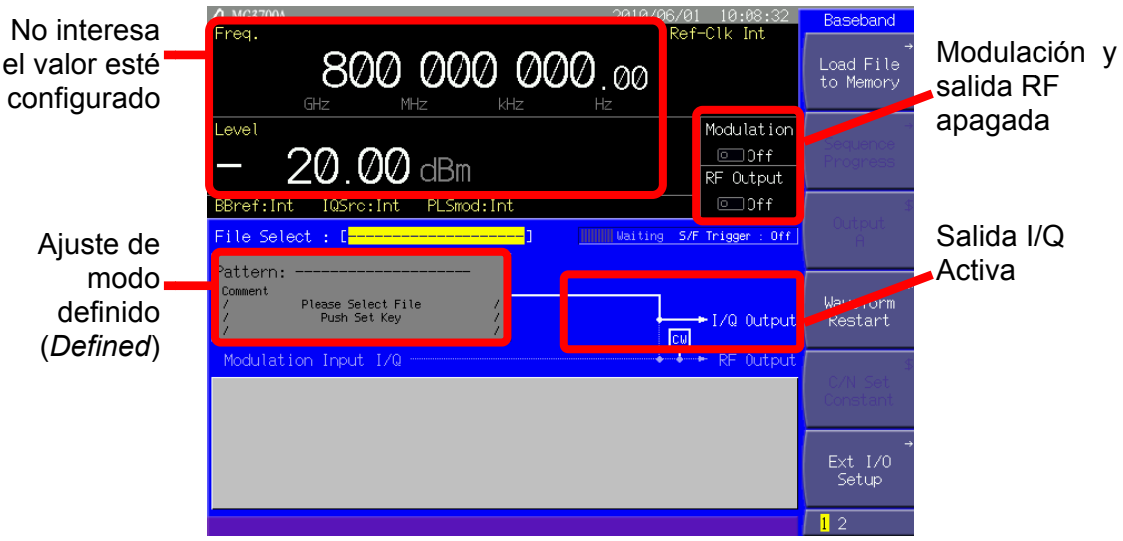


Figura 4.48. Equipo configurado previamente antes de las prácticas I/Q

4.2.2. GSM – GMSK

Objetivo de la práctica:

Reproducir el patrón de forma de onda GMSK_TN0 correspondiente a la tecnología GSM, con el objetivo de medir el tiempo de un slot GSM, mirar la forma de onda de una señal modulada en GMSK en sus componentes I/Q y observar un bosquejo del diagrama de modulación usando el osciloscopio.

Tecnología: GSM

Patrón: GMSK_TN0

Configuración generador vectorial de señales.

1. Cargar el patrón de forma de onda GMSK_TN0 en la memoria A que se encuentra contenido en el paquete GSM del disco duro del equipo.

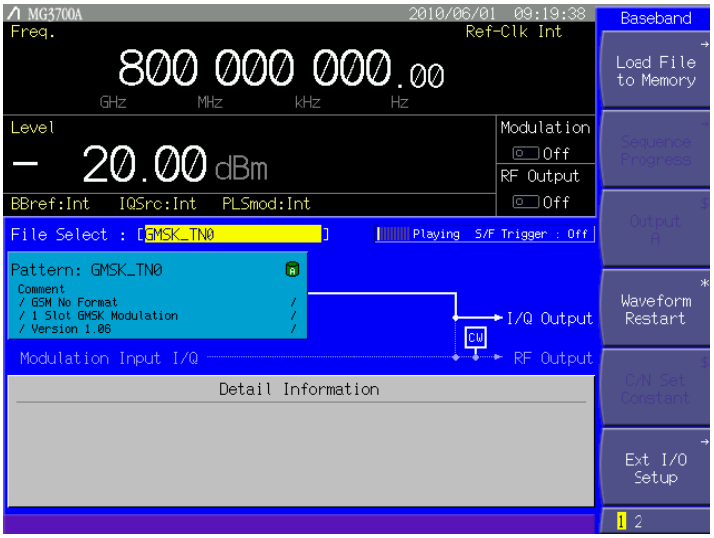


Figura 4.49. Elección del patrón GMSK_TN0

Configuración osciloscopio.

2. De las salidas del cable DB-15 provenientes del generador vectorial de funciones MG3700A, conectar el canal I (blanco) en la entrada 1 del osciloscopio y conector del canal Q en la entrada 2 del osciloscopio.

3. Encender canales 1 y 2 del osciloscopio.

4. Colocar ajuste de disparo como automático e interno.

5. Ajustar la amplitud a 1V por división y acople DC.

6. Colocar la referencia de la señal 1 (*I*) en +2V y la referencia de la señal 2 (*Q*) en -2V.

7. Ajustar la división de tiempo a 10 µs por división. El resultado es obtener las señales I y Q del osciloscopio.

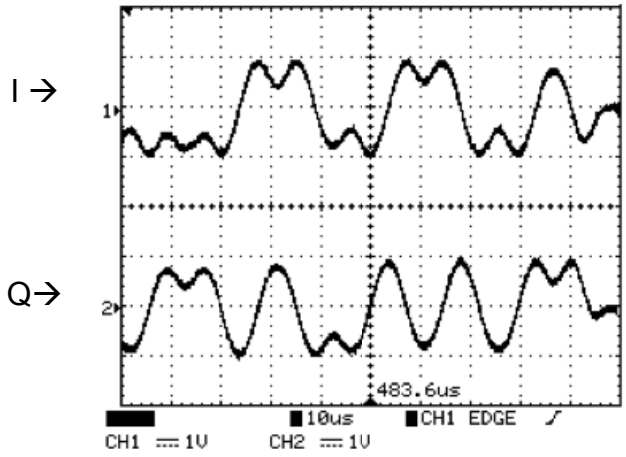


Figura 4.50. Señal I/Q, GMSK_TN0

- **RESULTADOS**

Tiempo de slot

El patrón de señal GMSK_TN0 tiene la característica de que su salida es a través del slot número 0. Ampliando el rango de medición de tiempo del osciloscopio, se puede observar el tiempo de slot usando las opciones de medición del osciloscopio.

La configuración del osciloscopio usada para ver esta señal es:

- Usar únicamente el canal 2 (apagar canal 1).
- *Tiempo:* 100 µs por división
- *Amplitud canal 1*: 500 mV por división

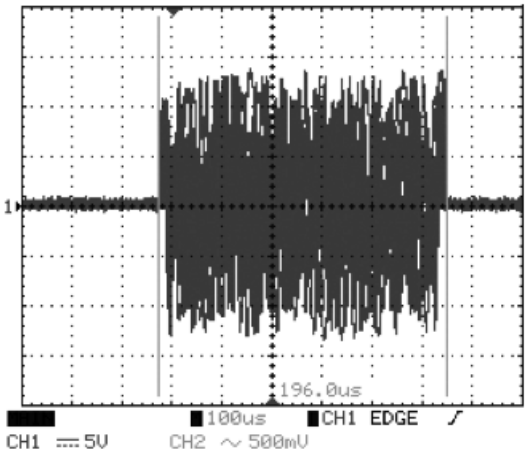


Figura 4.51. Tiempo de slot GSM, GMSK

La traza obtenida es constante y siempre actúa igual incluso sin detener la traza del osciloscopio. El resultado de colocar a la señal I y Q sobrepuestas con el mismo nivel de referencia. Se puede ver una señal copada ya que ambas señales están superpuestas.

Midiendo las divisiones de tiempo se puede establecer que el tiempo de slot equivale aproximadamente a 570 µs, siendo 577 µs el tiempo en teoría que dura un slot. De esta manera se comprueba que el patrón GMSK_TN0 emite únicamente por un solo *slot*, *slot* número 0.

Diagrama de modulación GMSK

Ya que el patrón de señal GMSK_TN0 tiene una modulación GMSK, se debe usar la opción de visualización del osciloscopio XY para ver el diagrama de modulación.

La función XY del osciloscopio crea una imagen basada en las entradas 1 y 2. Esta imagen es una representación vectorial donde la señal del canal 1 son los puntos en el eje de las abscisas y los puntos del canal 2 son el eje de las ordenadas.

La configuración del osciloscopio usada para ver esta señal es:

- Colocar la referencia de la señal 1 y 2 en 0 V.
- Colocar en modo de Visualización: XY
- Tiempo: el tiempo depende de la mejor visualización del osciloscopio usado. En esta traza se observa una configuración de 25 µs por división.
- Amplitud: debe ser igual la amplitud en ambos canales. Generalmente colocar 200 mV por división (este parámetro depende del osciloscopio digital)

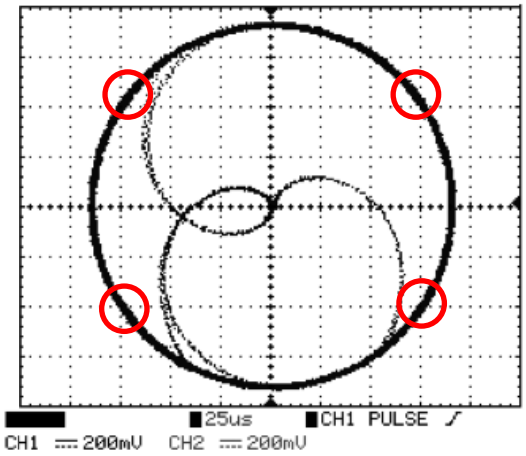


Figura 4.52. Diagrama de constelación GMSK

La imagen XY simula el diagrama de modulación I/Q para GMSK, viendo los posibles trayectos de la señal a lo largo del tiempo. Para poder observar esta traza es necesario colocar en el analizador la función de visualización de persistencia (*Hold*).

Como es una señal que no es constante en todo el tiempo, solo se activa en el time slot 0, las señales I y Q van a empezar en algún momento en 0V. El efecto se observa en las transiciones que hace la señal desde el centro del diagrama polar de constelación. Es imposible que la señal una vez que está activa cruce por 0V.

La modulación GMSK hace transiciones de ±π/2 (± 90º), en cada cambio de símbolo, esta es la razón por la que su diagrama puede recorrer un círculo completo. En GMSK cada símbolo representado en la constelación de modulación representa un bit. Cuando un símbolo está en una posición, solo puede realizar

desplazamientos de fase de ±π/2 rad. Un aumento de fase de +π/2 es un “0” lógico y disminuir la fase -π/2 es un “1” lógico [14].

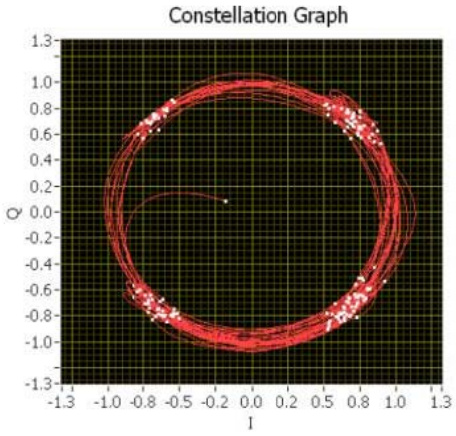


Figura 4.53. GMSK práctico de un sistema real de medición [15]

GMSK es un tipo de modulación es de amplitud constante, ya que se puede ver que si diagrama de modulación es una circunferencia de valor de radio fijo. Recordando que la amplitud de un símbolo viene dado por la fórmula:

$$Amplitud = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

Figura 4.54. Ecuación de amplitud de un símbolo

4.2.3. GSM EDGE– 8PSK

Objetivo de la práctica:

Reproducir el patrón de forma de onda 8PSK_TN0 correspondiente a la tecnología GSM-EDGE, con el objetivo de medir el tiempo de un slot GSM, mirar la forma de onda de una señal modulada en GMSK en sus componentes I/Q y observar un bosquejo del diagrama de modulación usando el osciloscopio.

Tecnología: GSM-EDGE

Patrón: 8PSK_TN0

Configuración generador vectorial de señales.

1. Cargar el patrón de forma de onda 8PSK_TN0 en la memoria A que se encuentra contenido en el paquete GSM del disco duro del equipo.

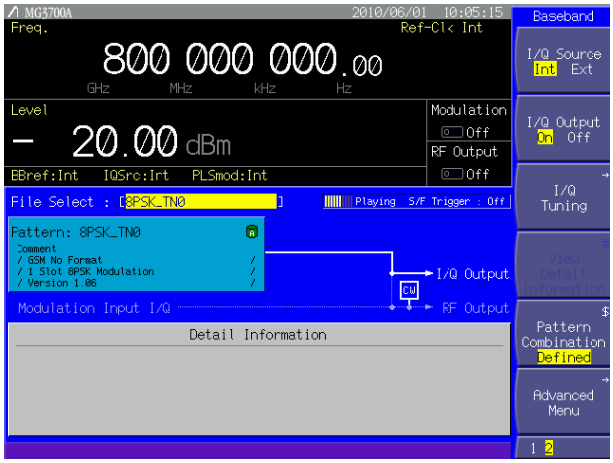


Figura 4.55. Elección del patrón 8PSK_TN0

Configuración osciloscopio.

2. De las salidas del cable DB-15 provenientes del generador vectorial de funciones MG3700A, conectar el canal I (blanco) en la entrada 1 del osciloscopio y conector del canal Q en la entrada 2 del osciloscopio.

3. Encender canales 1 y 2 del osciloscopio.

4. Colocar ajuste de disparo como automático e interno.

5. Ajustar la amplitud a 1V por división y acople DC.

6. Colocar la referencia de la señal 1 (*I*) en +2V y la referencia de la señal 2 (*Q*) en -2V.

7. Ajustar la división de tiempo a 10 µs por división. El resultado es obtener las señales I y Q del osciloscopio.

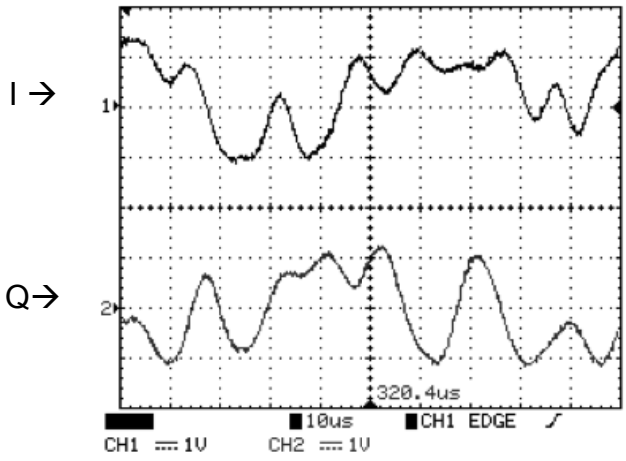


Figura 4.56. Señal I/Q, 8PSK_TN0

- **RESULTADOS**

Tiempo de slot

El patrón de señal 8PSK_TN0 tiene la característica de que su salida es a través del slot número 0. Ampliando el rango de medición de tiempo del osciloscopio, se puede observar el tiempo de slot usando las opciones de medición del osciloscopio.

Se usa únicamente la señal Q para apreciar el tiempo ya que la señal I es la una señal parecida y ocupa el mismo espacio de tiempo. Es más sencillo localizar los límites de tiempo con los cursores con una sola señal en pantalla (ver Figura 4.51)

La configuración del osciloscopio usada para ver esta señal es:

- Usar únicamente el canal 2 (apagar canal 1).
- Tiempo: 100 µs por división
- Amplitud canal: 500 mV por división

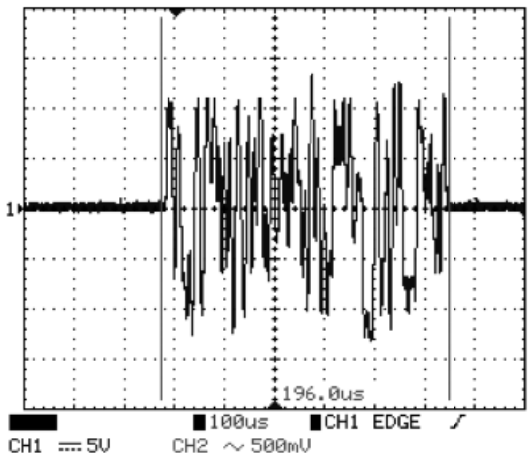


Figura 4.57. Tiempo de slot GSM – EDGE, 8PSK

La traza obtenida es constante y siempre actúa igual incluso sin detener la traza del osciloscopio.

Midiendo las divisiones de tiempo se puede establecer que el tiempo de slot equivale aproximadamente a 570µs, siendo 577 µs el tiempo en teoría que dura un slot. Así se comprueba que el paquete 8PSK_TN0 emite únicamente por un slot (slot 0).

Diagrama de modulación 8-PSK

Ya que el patrón de señal 8PSK_TN0 tiene una modulación 8-PSK[2], se debe usar la opción de visualización del osciloscopio XY para ver el diagrama de modulación.

[2] Generalmente se dice 8-PSK a la modulación usada en EDGE, pero realmente es una variación llamada 3pi/8 8-PSK (*offset modulation*).

La función XY del osciloscopio crea una imagen basada en las entradas 1 y 2. Esta imagen es una representación vectorial donde la señal del canal 1 son los puntos en el eje de las abscisas y los puntos del canal 2 son el eje de las ordenadas.

La configuración del osciloscopio usada para ver esta señal es:

- Colocar la referencia de la señal 1 y 2 en 0 V.
- Colocar en modo de Visualización: XY
- Tiempo: el tiempo depende de la mejor visualización del osciloscopio usado. En esta traza se observa una configuración de 100µs por división.
- Amplitud: debe ser igual la amplitud en ambos canales. Generalmente colocar 500 mV por división (este parámetro depende del osciloscopio digital)

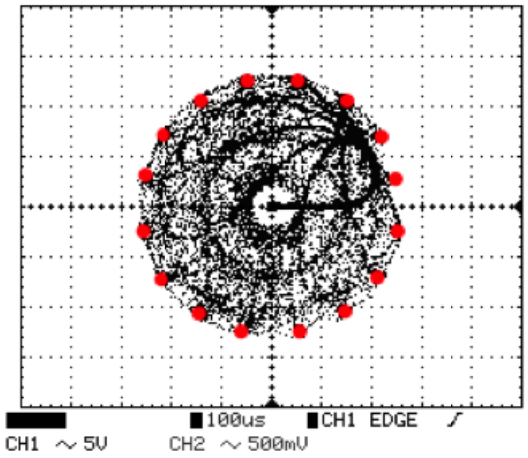


Figura 4.58. Diagrama de constelación 3pi/8 8-PSK

El diagrama de modulación de 8PSK_TN0 nos muestra un diagrama muy copado para ser simplemente 8PSK. Lo que en realidad pasa es que EDGE usa una variación de 8-PSK llamada 3π/8 8-PSK o simplemente 8-PSK desfasada 67,5º. Es decir que se tiene dos diagramas de modulación 8PSK conjuntos para evitar las transiciones por 0V de ambas señales.

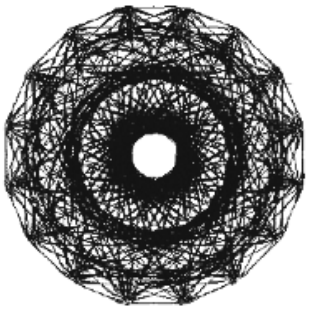


Figura 4.59. Diagrama teórico 3pi/8 8-PSK

EDGE al ser una mejor del sistema GSM y al conservar su espectro exactamente igual que usando GMSK, necesitaba tratar de usar una estructura espectral similar sin exceder el ancho de banda de 200 kHz. Como se revisó en la teoría el objetivo de no tener cruces por cero en el diagrama de modulación es mejorar la eficiencia espectral y sus lóbulos laterales.

Por estas razones se puede ver que el diagrama de 3π/8 8-PSK tiene 16 puntos clave, en comparación con los 8 usuales de 8-PSK. La amplitud es constante en todos los puntos, teniendo como desventaja la proximidad entre cada punto.

Debido a ello, el estándar GSM-EDGE no solo trabaja con 8-PSK porque en entornos de baja señal y alto BER, se necesita usar un es que de modulación con mayor inmunidad al ruido como lo es GMSK.

La Figura 4.60 muestra una imagen tomada de un demodulador digital marca *Agilent Technologies* que brinda trazas del diagrama polar de constelación en el estándar EDGE.

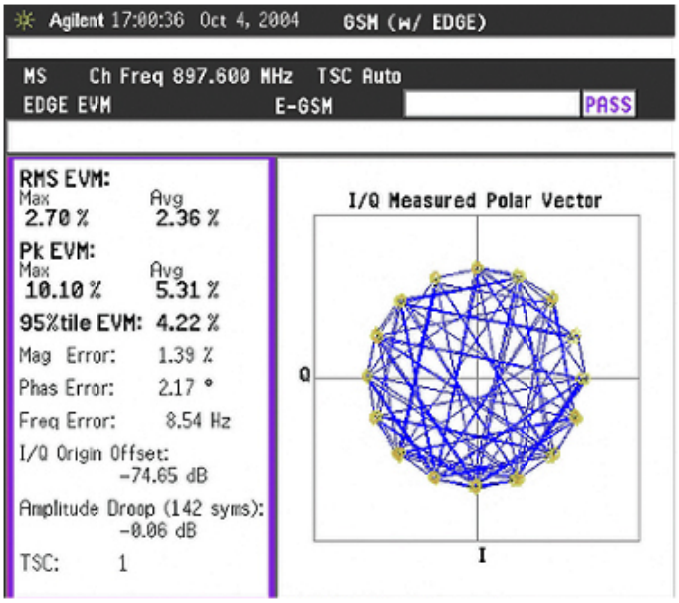


Figura 4.60. Diagrama polar de vector usado para medir sistemas reales EDGE

4.2.4. CDMA20001xRTT en RC1-RC2

Objetivo de la práctica:

Reproducir el patrón de forma de onda FWD_RC1-2_9channel correspondiente a la tecnología CDMA2000 1xRTT canal de bajada. El objetivo es observar la forma de onda de una señal modulada en BPSK en sus componentes I/Q y observar un bosquejo del diagrama de modulación usando un osciloscopio.

Tecnología: CDMA2000 1xRTT

Patrón: FWD_RC1-2_9channel

Configuración generador vectorial de señales.

1. Cargar el patrón de forma de onda FWD_RC1-2_9channel en la memoria A que se encuentra contenido en el paquete CDMA2000 del disco duro del equipo.

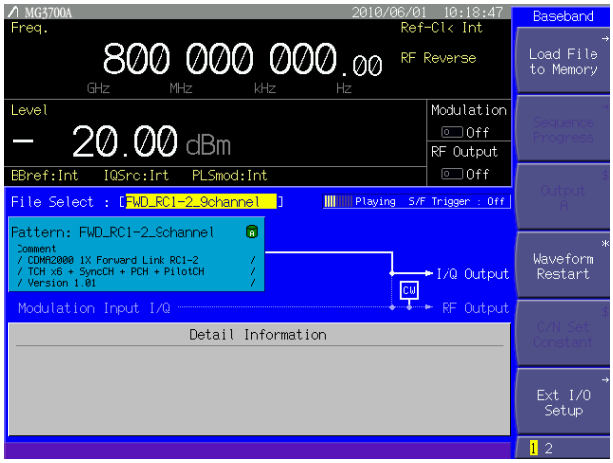


Figura 4.61. Elección del patrón FWD_RC1-2_9channel

Configuración osciloscopio.

2. De las salidas del cable DB-15 provenientes del generador vectorial de funciones MG3700A, conectar el canal I (blanco) en la entrada 1 del osciloscopio y conector del canal Q en la entrada 2 del osciloscopio.

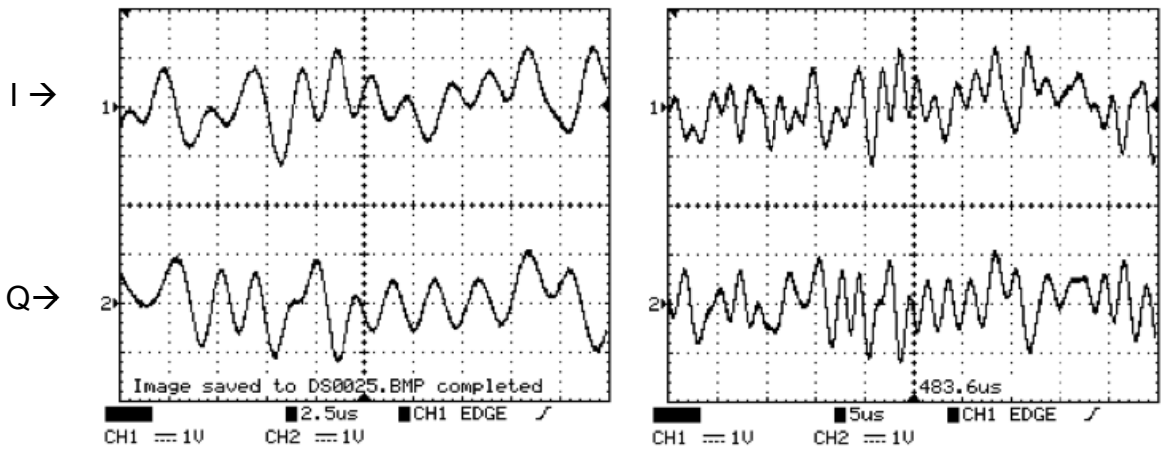
3. Encender canales 1 y 2 del osciloscopio.

4. Colocar ajuste de disparo como automático e interno.

5. Ajustar la amplitud a 1V por división y acople DC.

6. Colocar la referencia de la señal 1 (*I*) en +2V y la referencia de la señal 2 (*Q*) en -2V.

7. Ajustar la división de tiempo según la imagen. El resultado es obtener las señales I y Q del osciloscopio.



2.5 µs por división *5 µs por división*

Figura 4.62. Señal I/Q, BPSK RC1 y RC2

- **RESULTADOS**

Diagrama de modulación BPSK

Ya que el patrón de señal FWD_RC1-2_9channeltiene una configuración de canal RC1 y RC2, la modulación usada es BPSK. Para poder visualizar el diagrama polar de modulación se debe usar la opción de visualización del osciloscopio XY.

La función XY del osciloscopio crea una imagen basada en la entrada 1 y entrada 2. Esta imagen es una representación vectorial donde la señal del canal 1 son los valores en el eje de las abscisas y los valores del canal 2 son el eje de las ordenadas.

La configuración del osciloscopio usada para ver esta señal es:

- Colocar la referencia de la señal 1 y 2 en 0 V.
- Colocar en modo de Visualización: XY
- Tiempo: el tiempo depende de la mejor visualización del osciloscopio usado. En esta traza se observa una configuración de 25µs por división.

- Amplitud: debe ser igual la amplitud en ambos canales. Generalmente colocar 500 mV por división (este parámetro depende del osciloscopio digital)

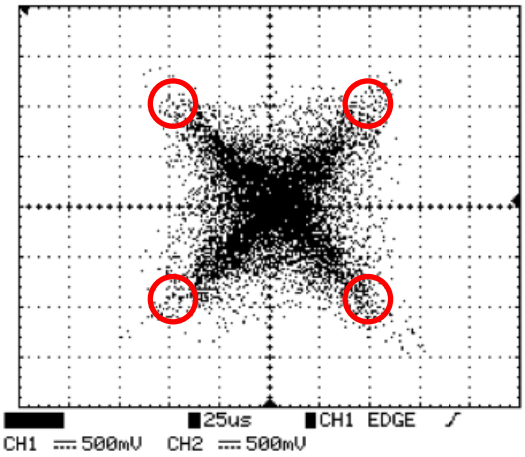


Figura 4.63. Diagrama de constelación BPSK - doble

A simple vista este diagrama de constelación correspondería a QPSK ya que tiene 4 posiciones relativas de símbolos y no 2 como es el caso de BPSK. Esto sucede ya que como IS-95 (cdmaOne) usaba el esquema de modulación BPSK, esta usaba en realidad dos moduladores BPSK en cuadratura. El primer modulador de encuentra desfasado 45 grados y el segundo en cuadratura con el primero, es decir 135 grados del origen. Como se pudo ver en el capítulo teórico, CDMA2000 1xRTT RC1 y RC2 son totalmente compatibles con IS-95 por el uso de la portadora. Pero la ventaja de CDMA2000 usando las demás configuraciones de radio es que sobre el mismo diagrama de dos moduladores BPSK puede colocar un esquema QPSK, en donde cada símbolo ya no representa un único bit, sino que se duplica la capacidad ya que cada símbolo representa 2 bits (4 símbolos presentes, 2 bits por símbolo)

$$4 \text{ símbolos} = 2^2 \therefore 2 \text{ bits por símbolo}$$

La persistencia del diagrama muestra que las transiciones horizontales o verticales son poco probables y se encuentran más centrados diagonalmente. Esto sucede debido a que como dos símbolos son paralelos e iguales, la

probabilidad de ir de un lugar a otro es mucho menor, lo que no ocurre en QPSK ya que aquí existen todas las posibilidades por igual por ser cada uno una combinación de dos bits por símbolo.

4.2.5. CDMA2000 1xEV-DO *Reverse Channel*

Objetivo de la práctica:

Reproducir el patrón de forma de onda RVS_153_6kbps_RX de la tecnología CDMA2000 1xEV-DO canal de subida. El objetivo es observar la forma de onda de una señal modulada en QPSK en sus componentes I/Q y observar el bosquejo del diagrama de modulación usando un osciloscopio.

Tecnología: CDMA2000 1xEV-DO

Patrón: RVS_153_6kbps_RX

Configuración generador vectorial de señales.

8. Cargar el patrón de forma de onda RVS_153_6kbps_RX en la memoria A que se encuentra contenido en el paquete CDMA2000_1xEVDO del disco duro del equipo.

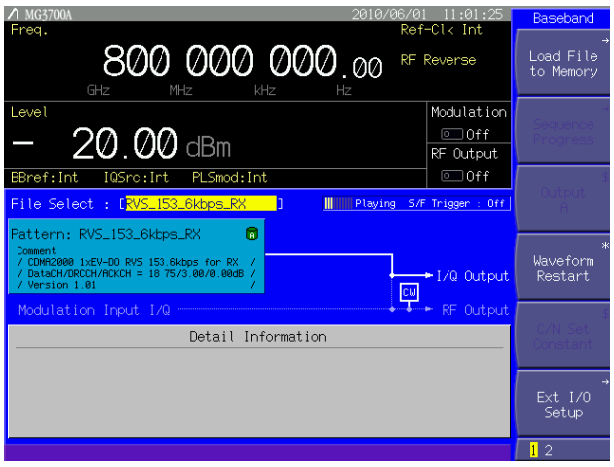


Figura 4.64. Elección del patrón RVS_153_6kbps_RX

Configuración osciloscopio.

9. De las salidas del cable DB-15 provenientes del generador vectorial de funciones MG3700A, conectar el canal I (blanco) en la entrada 1 del osciloscopio y conector del canal Q en la entrada 2 del osciloscopio.

10. Encender canales 1 y 2 del osciloscopio.

11. Colocar ajuste de disparo como automático e interno.

12. Ajustar la amplitud a 500m V por división y acople DC.

13. Colocar la referencia de la señal 1 (*I*) en +1V y la referencia de la señal 2 (*Q*) en -1V.

14. Ajustar la división de tiempo según la imagen. El resultado es obtener las señales I y Q del osciloscopio.

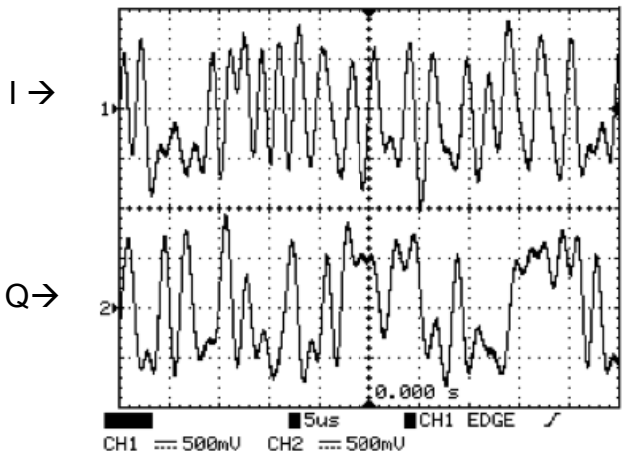


Figura 4.65. Señal I/Q, QPSK canal de reversa

- **RESULTADOS**

Diagrama de modulación QPSK

Ya que el patrón de señal RVS_153_6kbps_RX tiene una modulación QPSK, se debe usar la opción de visualización del osciloscopio XY para ver el diagrama de modulación.

La función XY del osciloscopio crea una imagen basada en las entradas 1 y 2. Esta imagen es una representación vectorial donde la señal del canal 1 son los puntos en el eje de las abscisas y los puntos del canal 2 son el eje de las ordenadas.

La configuración del osciloscopio usada para ver esta señal es:

- Colocar la referencia de la señal 1 y 2 en 0 V.
- Colocar en modo de Visualización: XY
- Tiempo: el tiempo depende de la mejor visualización del osciloscopio usado. En esta traza se observa una configuración de 5 µs por división.
- Amplitud: debe ser igual la amplitud en ambos canales. Generalmente colocar 500 mV por división (este parámetro depende del osciloscopio digital)

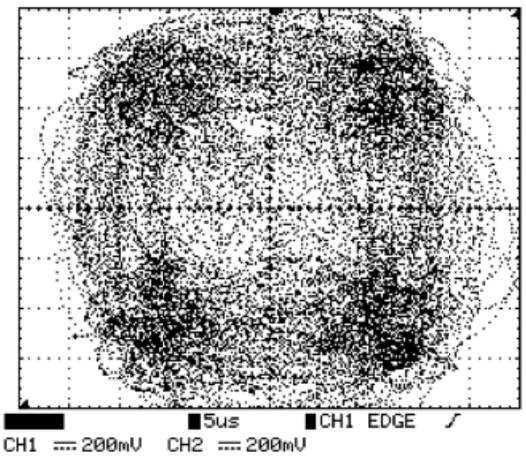


Figura 4.66. Diagrama de constelación QPSK

El diagrama de constelación del patrón de forma de onda RVS_153_6kbps_RX, es un tipo de forma de onda usada en el canal de subida.

Los patrones de forma de onda de CDMA2000 1xEV-DO dentro del equipo pertenecen a la revisión 0. Eel canal de reversa tiene la característica que su máxima velocidad se puede alcanzar 153.6 kbps. Para alcanza estas velocidades, el estándar en esta revisión usa una modulación QPSK.

Las transiciones del diagrama indican todos los caminos que puede tomar un símbolo para nuevamente cambiar hacia sus otros. Para que un símbolo se repita a continuación de otro, el camino que debe tomar es alrededor de sí mismo, por este motivo los puntos del diagrama son más redondeados.

En la Figura 4.65, se observa la imagen de la señal I y Q para QPSK en EV-DO de reversa. Se puede ver los pequeños cambios en la señal con las transiciones en fase, y su amplitud no siempre llega a un pico o a un valle ya que esto significa un cambio a otro símbolo.

4.3. Creación y modificación de patrones de onda usando IQproducer™

El objetivo de esta práctica es usar el software IQproducer y combinarlo con el generador vectorial MG3700A. El generador puede reproducir los patrones creados por el software IQproducer en los estándares TDMA y CDMA2000 1xEV-DO, ya que se poseen las licencias en ambos sistemas. Se comprobarán las señales usando el analizador de espectro y el osciloscopio para comprobar los parámetros que se introdujo en el patrón gracias al software.

El software IQproducer TDMA posee dos herramientas poderosas para el análisis computacional de los patrones de onda generados. Las herramientas son un análisis de espectro a través de la transformada rápida de Fourier y la un análisis en el tiempo de las señales I y Q correspondientes al patrón analizado. En ambas herramientas es posible superponer en pantalla hasta cuatro patrones de onda diferentes para comparar espectro y señales I/Q en el tiempo. El diferente comportamiento de cada una se puede comparar para obtener resultados de filtros, modulaciones y datos dentro del patrón (información contenida).

Se verá en mayor profundidad el estándar TDMA ya que este brinda la facilidad de crear varios tipos de patrones con muchas modificaciones físicas gracias a parámetros como: filtros, *slots*, campos, información de *slots* y esquemas de modulación. En todas las prácticas anteriores no se ha visto a profundidad la información contenida en cada patrón por la falta de un decodificador de señales. El paquete IQproducer para crear y modificar señales CDMA2000 1xEV-DO tiene el problema que los parámetros de configuración son en su mayoría campos de información. Por este motivo no se profundizará en este sistema ya que en esta tesis el objetivo es mirar los cambios físicos que tiene la capa física de los estándares de telefonía celular y sus implicaciones en la red.

Equipo usado para la práctica:

- Computador con las siguientes características

CPU:	Pentium III, 1 GHz o mayor
Memoria RAM:	512 MB o más
Disco Duro Libre:	5 GB o más
Pantalla:	1024 x 768 pixeles
Sistema Operativo:	Windows 2000 Professional o Windows XP

- Generador Vectorial de Señales Anritsu MG3700A.
- Cable LAN RJ45 cruzado
- Osciloscopio GW Instek GDS-2102, dos canales y 100 MHz ancho de banda.
- Cable DB-15 (macho) a doble BNC (macho) con las señales I y Q .
- Analizador Vectorial de Redes Anritsu MS2036A (S*pectrum Analyzer RF In 50 Ω* en la parte superior; conector tipo N hembra).
- Cable coaxial para RF con terminales N (macho).

4.3.1. Configuración inicial. *IQproducer* y MG3700A

Esta práctica se empleará los métodos de medición de ambas prácticas anteriores de análisis espectral, diagramas de modulación y señales I/Q en función del tiempo. Ya que estas prácticas han sido detalladas, se enfatizará en las prácticas de generación de señales y el traslado de los patrones al equipo MG3700A vía LAN.

Para la conexión entre el equipo es necesario conectarse con el cable cruzado entre el computador y el PC (ver “Conexión y configuración entre el MG3700A y la PC” en el capítulo 3). La conexión remota con el equipo no es necesaria en el momento de la creación de los patrones en el computador. Es posible usar el software separado en la PC y después de haber creado el archivo, conectarse al MG3700A y transferir el patrón.

4.4. Creación de patrones en el estándar TDMA

El paquete del software IQproducer TDMA nos permite crear patrones de forma de onda de manera fácil, rápida y con muchos parámetros para trabajar y combinar. No es basado en un estándar creado o fijo de telefonía celular. Por software es tan general que se puede generar un patrón de forma de onda GSM desde 0.

El objetivo de esta práctica es ir variando los parámetros e ir observando los cambios que cada uno de ellos produce físicamente a la señal. Cambios como ancho de banda, lóbulos laterales de espectro, forma de los pulsos I/Q variando los filtros y diagramas de constelación.

El nombre del patrón tendrá relación con las características a configurar dentro de la práctica

4.4.1. TDMA–Tipos de filtros aplicados en modulación

Objetivo de la práctica:

El objetivo de la práctica es crear cinco patrones de onda TDMA cambiando los filtros de la señal. Con el software de la transformada rápida de Fourier incluido en el software IQproducer verificar los cambios producidos al aplicar los diferentes filtros a una señal base. A su vez, con la función de visualización de señales en el dominio del tiempo (I/Q), se podrá observar cómo cambia la señal original de banda base al aplicar cada uno de los filtros.

Para poder comparar los patrones a crear con una señal de referencia, todos los patrones creados en esta etapa tendrán la misma configuración de modulación y datos por excepción del filtro aplicado. El nombre del patrón obedecerá al filtro aplicado.

Configuración común de patrones de forma de onda a excepción del filtro:

- *Modulación*: BPSK
- *Tasa de símbolos*: 50 ksps
- *Tasa de sobre-muestreo*: 32
- *Datos*: Puesto por el usuario

El primer patrón de onda será la base para la comparación de todos los demás filtros ya que será una señal binaria pura (sin filtro). Los cuatro siguientes patrones por analizar se detallan a continuación:

Identificación	Archivo de patrón	Filtro
Patrón 1 (patrón base)	BPSK_sformat_sfiltr	*Sin filtro*
Patrón 2	BPSK_sformat_Nyq	*Nyquist*
Patrón 3	BPSK_sformat_RtNyq	*Root Nyquist*
Patrón 4	BPSK_sformat_Gss	Gaussiano
Patrón 5	BPSK_sformat_Ideal	Filtro pasa bajos ideal

Tabla 4.3. Patrones y filtros aplicados en la práctica

Patrón 1: “BPSK_sformat_sfiltr”

Configuración del IQproducer

1. Abrir el IQproducer y escoger el sistema “TDMA”. En la ventana de TDMA escoger presionar sobre la pestaña de “*No Format*” (sin formato), para escoger un tipo de onda TDMA sin formato.
   Dentro del IQproducer TDMA “*No Format*”, en la parte derecha aparece un cuadro de información de la onda. En esta ventana se puede apreciar la configuración actual después de algún cambio en cualquier parámetro.

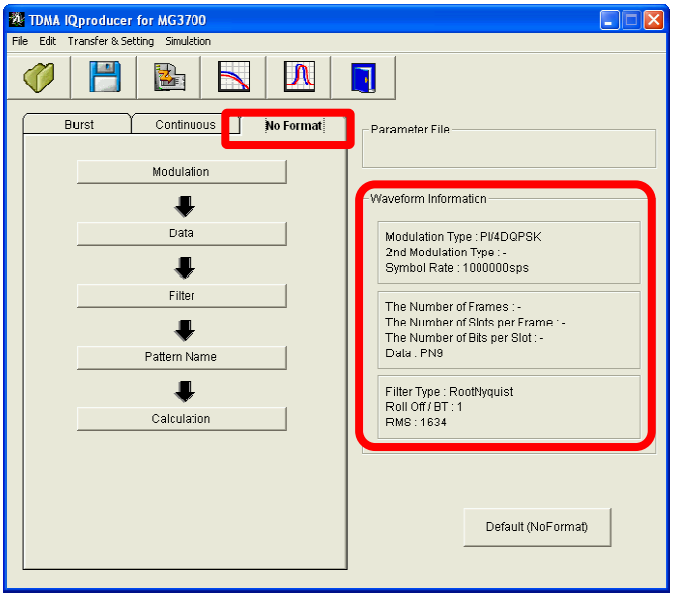


Figura 4.67. Ventana TDMA, “*No Format*”

2. En la ventana de modulación, escoger BPSK de la caja de selección. Seleccionar la tasa de símbolos a 50 ksps y una tasa de sobre modulación de 32. La tasa de sobre modulación permite tener mayor muestras por patrón, teniendo un mejor funcionamiento al momento de la aplicación de filtros y el análisis computacional (por ejemplo FFT).

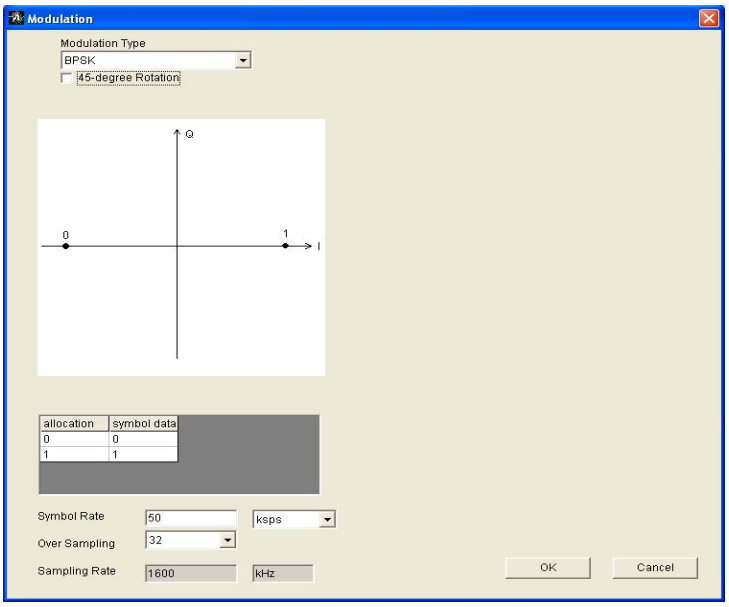


Figura 4.68. Selección de esquema de modulación: BPSK

La tasa de muestreo (*Sampling Rate*) es el resultado entre la multiplicación de la tasa de símbolos y el factor de sobre muestreo (50 x 32 = 1600 KHz).

3. En este paso se agregará una cadena de bits que se desee reproducir por determinada por el usuario en el campo de datos del patrón. Esto permitirá usar la misma cadena de información en todos los patrones para poder comparar su resultado al final de la práctica.

   Para crear la secuencia binaria se debe abrir el editor de texto “Block de notas” de Windows. “Inicio” → “Ejecutar”→ (digitar) “notepad”.

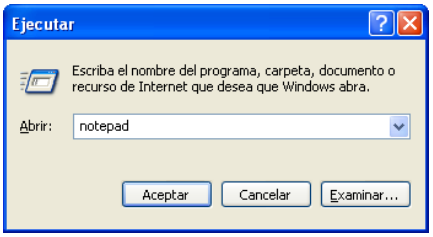


Figura 4.69. Apertura de *Block de Notas* de *Windows*

Introducir la siguiente cadena de caracteres (sin saltos de línea, ni espacios):

111001010100011010101011101010101010111011110101011100011011
1110110110111111101110111010101$0_2$

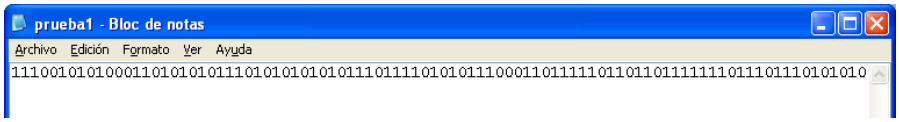


Figura 4.70. Secuencia binaria introducida por el usuario

Los únicos caracteres admitidos son “1” y “0”, como los símbolos binarios del patrón. Grabar el patrón como archivo de texto (*.txt) en la carpeta de IQproducer “*TDMA*”[3] con el nombre de “*prueba1*”

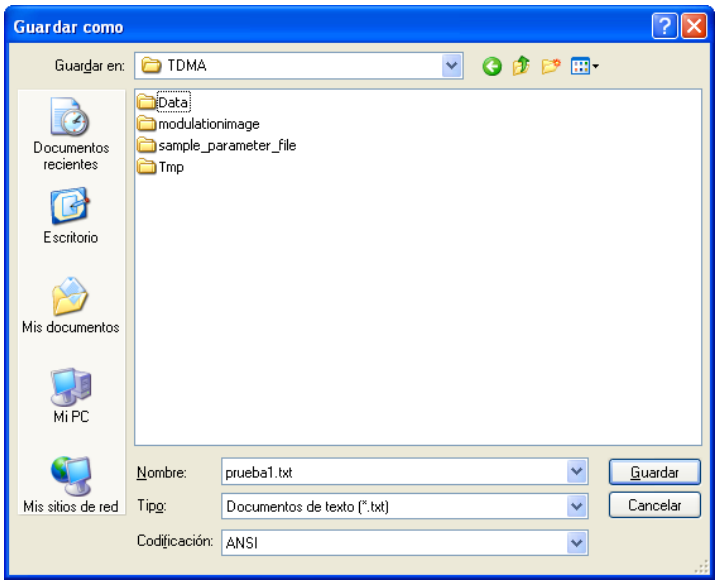


Figura 4.71. Grabar en la carpeta de TDMA dentro del IQproducer

Una vez guardado el archivo binario, abrir la ventana de datos presionando el botón “Data” en la pantalla principal TDMA. Escoger “UserFile”.

Se abre a continuación una ventana para elegir el archivo de usuario. Escoger el archivo guardado anteriormente en la carpeta TDMA del IQproducer.

[3] Ruta de la carpeta TDMA: *C:\Archivos de programa\Anritsu Corporation\IQproducer\TDMA*

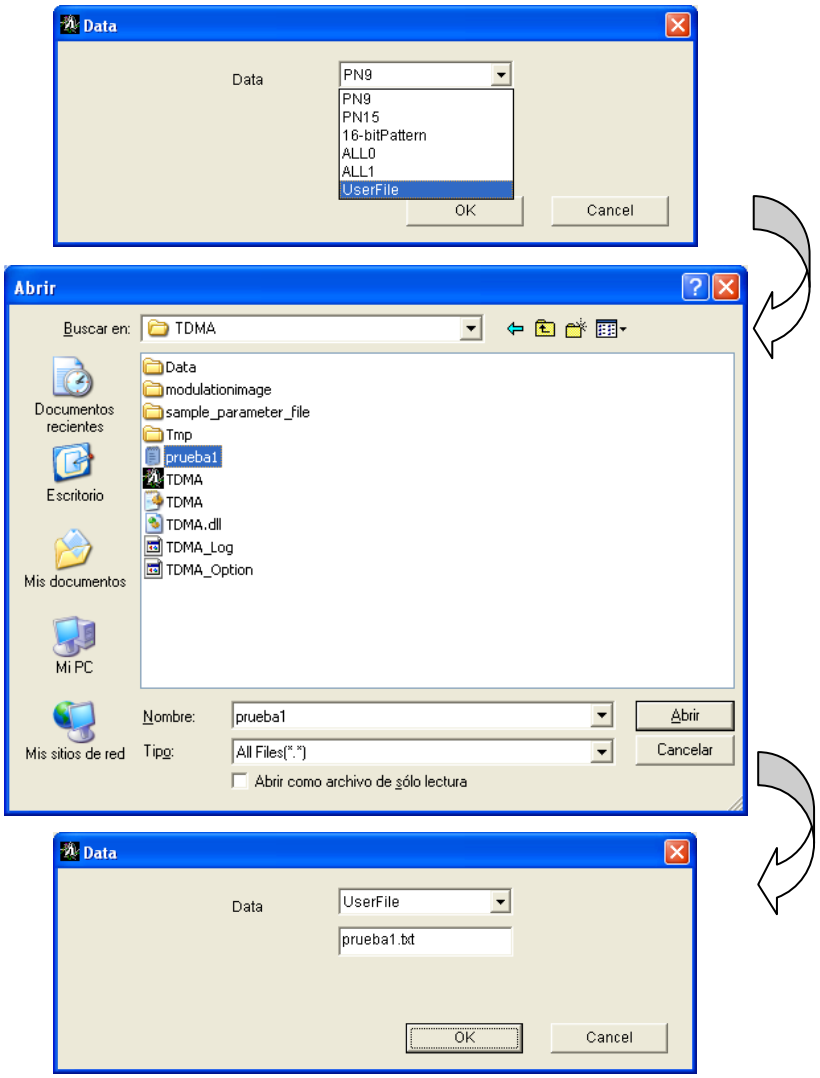


Figura 4.72. Selección datos: "UserFile"

4. Se procederá a escoger el filtro del patrón de onda. En la ventana principal TDMA escoger la opción "*Filter*". En la lista de filtros desplegable escoger "*None*" y el valor de RMS[4]colocar el valor de 1634 (valor predeterminado).

[4] Este valor RMS no debe ser modificado. Aunque es un valor que puede ser cambiado, es un valor de funcionamiento interno del MG3700A que brinda de resolución a la forma de onda.

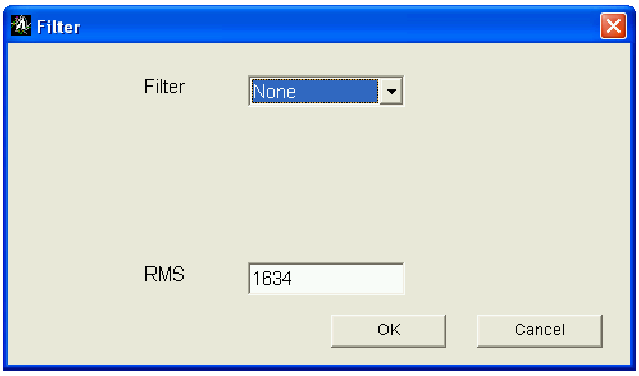


Figura 4.73. Selección de filtro: Sin filtro

Luego de haber aceptado la selección del filtro, el patrón se ha configurado con las especificaciones a nuestro gusto. Al aceptar el filtro y salir a la ventana principal, el cuadro de información debe mostrar la configuración elegida. En esta ventana en la parte intermedia muestra que no existe configuración por slot ni de trama.

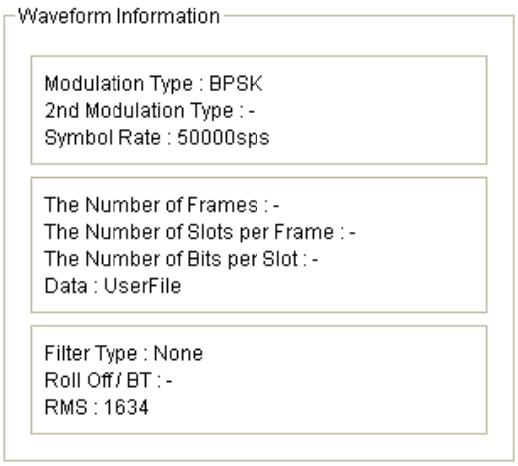


Figura 4.74. Información de configuración de patrón

5. Para colocar el nombre del patrón, en la ventana principal TDMA, aplastar el botón "*Pattern Name*". La ventana a continuación aparece.

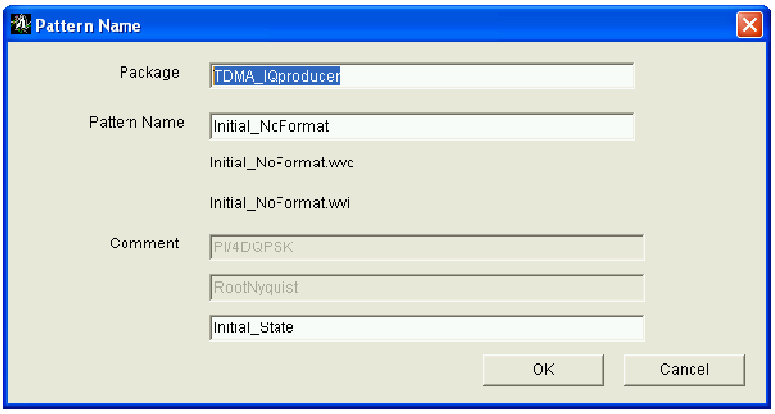


Figura 4.75. Ventana predefinida de nombre del patrón

En la ventana de la Figura 4.75 se muestran los valores predefinidos por el programa. Se procederá a cambiar el nombre del paquete (*Package*) a "*Practica_TDMA*"; el del nombre del patrón (*Pattern name*) a "*BPSK_sformat_sfiltr*". Las dos primeras casillas de comentario (*Comment*) muestran la modulación y el filtro aplicado, estos valores son sólo ilustrativos. En la tercera casilla de comentario colocar como la información de "*Primera practica*" (evitar tildes). La configuración especificada se muestra en la siguiente ventana.

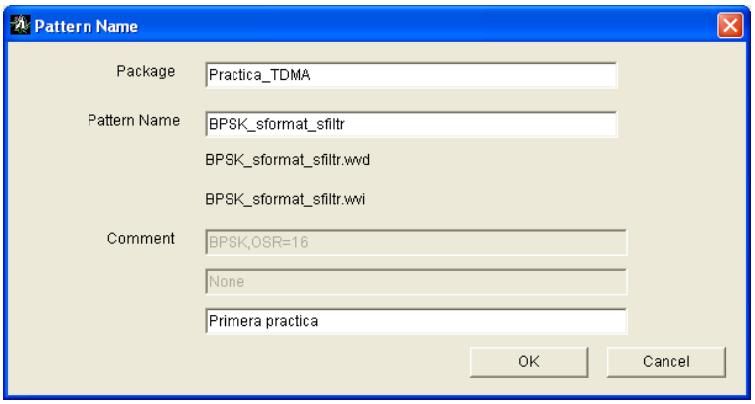


Figura 4.76. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_sfiltr

Como recomendación es importante colocar el nombre del patrón con datos clave para identificar el archivo al momento de cargarlo en el MG3700A. El nombre del patrón "*BPSK_sformat_sfiltr*"indica un patrón con

modulación BPSK, sin formato (sformat – sin formato) y sin filtro (sfiltr- sin filtro).

6. Al aceptar el nombre del patrón, para finalizar ahora se debe crear el patrón usando el botón "*Calculation*". Al presionar este botón se despliega una ventana para guardarlo en la ruta de disco duro específica. La ruta en la que el archivo será guardado es mejor no cambiarla de su configuración estándar. La ruta predefina es:
"C*:\Archivos de programa\Anritsu Corporation\IQproducer\TDMA\Data*"

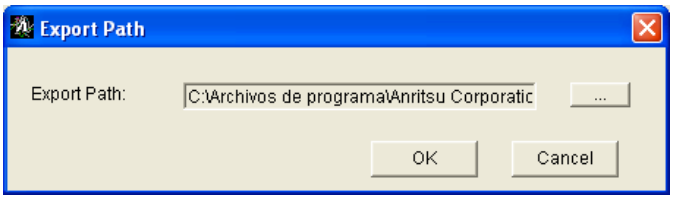


Figura 4.77. Ruta para guardar patrón TDMA

Luego de escoger la ruta, presionar OK. La ventana a continuación es el progreso de creación de la forma de onda. Una vez terminada, aceptar la selección.

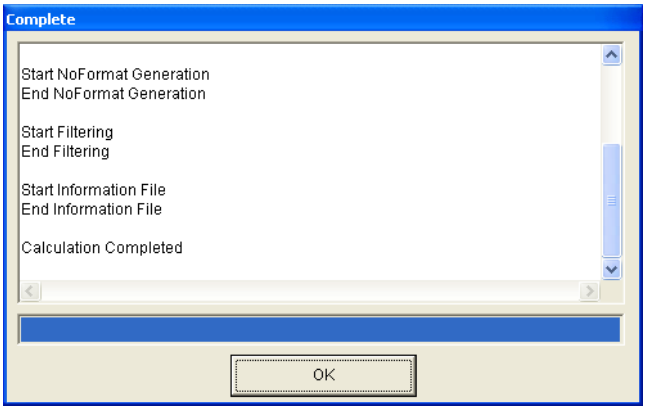


Figura 4.78. Proceso de creación de forma de onda

Se procederá a crear los demás patrones usando los diferentes filtros. Para cada patrón se repetirá todos los pasos anteriores a excepción del paso 4 que será el valor la nueva configuración de filtro.

Patrón 2: “BPSK_sformat_Nyq”

Este patrón se modificará usando el filtro de *Nyquist* con un índice de Roll Off de 0,6. Para configurar este patrón no es necesario salir de la ventana principal de TDMA. En caso de haber cerrado el programa, repetir los pasos del Patrón 1 con excepción del paso 4 en el que se colocará el filtro nuevo.

Configurando el filtro Nyquist con índice Roll Off: 0,6.

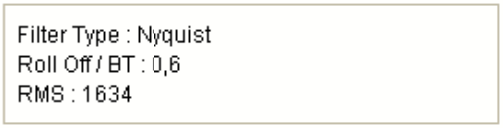


Figura 4.79. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA

Finalmente es necesario guardar el patrón creado con las mismas características que el patrón original (Patron 1: *BPSK_sformat_sfiltr*) pero con su filtro cambiado. Grabar el patrón con el nombre “*BPSK_sformat_Nyq*”, donde *Nyq* se refiere al filtro *Nyquist*.

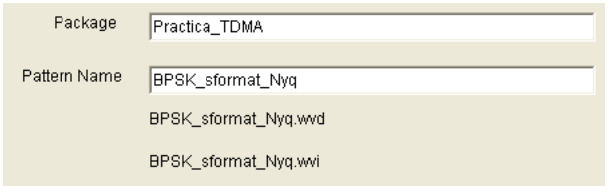


Figura 4.80. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_Nyq

Patrón 3: "*BPSK_sformat_RtNyq*"

En este patrón se usará el filtro *Root Nyquist* con un índice de *Roll Off* de 0,6. Para configurar este patrón no es necesario salir de la ventana principal de TDMA. En caso de haber cerrado el programa, repetir los pasos del Patrón 1 con excepción del paso 4 en el que se colocará el filtro nuevo.

Configurando el filtro *Root Nyquist* con índice Roll Off: 0,6.

Figura 4.81. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA

Finalmente es necesario guardar el patrón creado con las mismas características que el patrón original (Patron 1: BPSK_sformat_sfiltr) pero con su filtro cambiado. Grabar el patrón con el nombre "BPSK_sformat_RtNyq", donde RtNyq se refiere al filtro *Root Nyquist*.

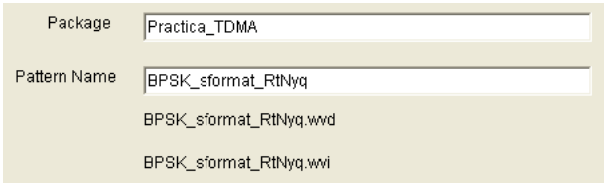


Figura 4.82. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_RtNyq

Patrón 4: "BPSK_sformat_Gss"

En este patrón se usará el filtro el filtro Gaussiano con un índice BT = 0,6. Para configurar este patrón no es necesario salir de la ventana principal de

TDMA. En caso de haber cerrado el programa, repetir los pasos del Patrón 1 con excepción del paso 4 en el que se colocará el filtro nuevo.

Configurando el filtro Gaussiano con índice BT: 0,6.

Figura 4.83. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA

Finalmente es necesario guardar el patrón creado con las mismas características que el patrón original (Patron 1: BPSK_sformat_sfiltr) pero con su filtro cambiado. Grabar el patrón con el nombre “BPSK_sformat_Gss”, donde Gss se refiere al filtro Gaussiano.

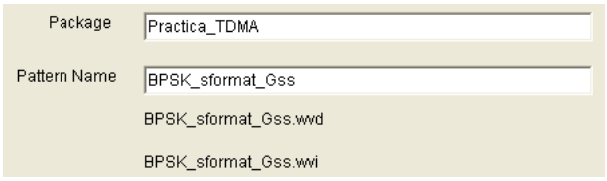


Figura 4.84. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_Gss

Patrón 5: “BPSK_sformat_Ideal”

Este patrón se modificará usando un filtro pasa bajos ideal con la frecuencia de corte de una fracción de la frecuencia de muestreo. Colocar una frecuencia adecuada de corte, colocar Fs/4 (Fs = Frecuencia de muestreo). Para configurar este patrón no es necesario salir de la ventana principal de TDMA. En caso de haber cerrado el programa, repetir los pasos del Patrón 1 con excepción del paso 4 en el que se colocará el filtro nuevo.

Configurando filtro ideal pasa bajos con frecuencia de corte Fs/4.

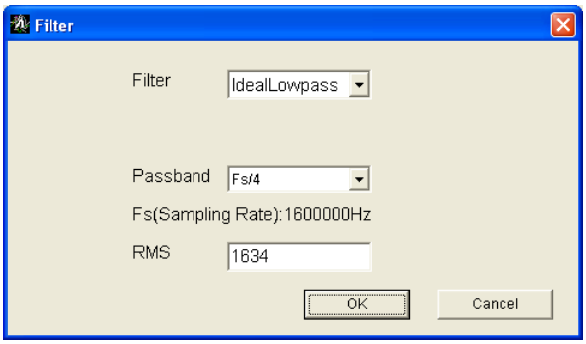


Figura 4.85. Configuración de Filtro: Gaussiano, Corte: Fs/4

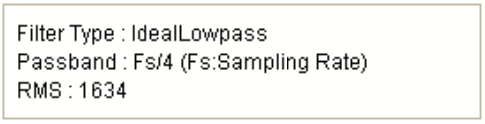


Figura 4.86. Configuración de filtro en la ventana principal TDMA

Finalmente es necesario guardar el patrón creado con las mismas características que el patrón original (Patron 1: *BPSK_sformat_sfiltr*) pero con su filtro cambiado. Grabar el patrón con el nombre "*BPSK_sformat_Ideal*", donde *Ideal* se refiere al filtro ideal pasa bajo.

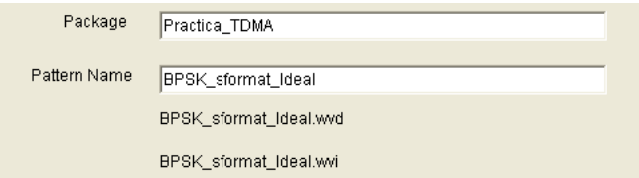


Figura 4.87. Configuración del nombre del patrón: BPSK_sformat_Ideal

Carga de archivos de patrón recientemente creados al MG3700A

El método más sencillo para enviar los patrones de onda creados al MG3700A es a través del asistente automático de transferencias.

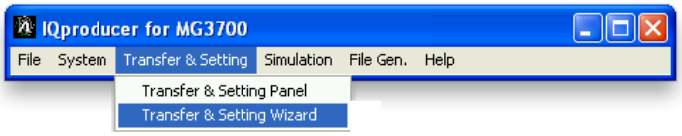


Figura 4.88. Abrir el panel de transferencias del IQproducer

Una vez abierto el la ventana de transferencias, se debe escoger conectarse al equipo (previamente se debe haber configurado la conexión remota del equipo y estar conectado con un cable LAN cruzado) por la dirección asignada.

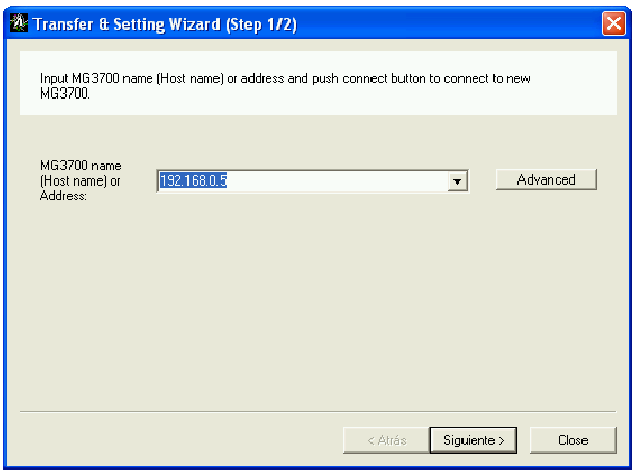


Figura 4.89. Ventana de conexión al equipo vía dirección IP

Al presionar siguiente, automáticamente si el equipo se conecto correctamente avanza a la siguiente ventana donde se escoge que patrones se quiere trasladar al MG3700A. Para buscar otra carpeta de patrones o de tecnología se puede navegar por carpetas con el ícono ... hasta encontrar la carpeta donde estén contenidos los patrones de onda deseados. Con el botón “Transfer” se transfiere los patrones al MG3700A.

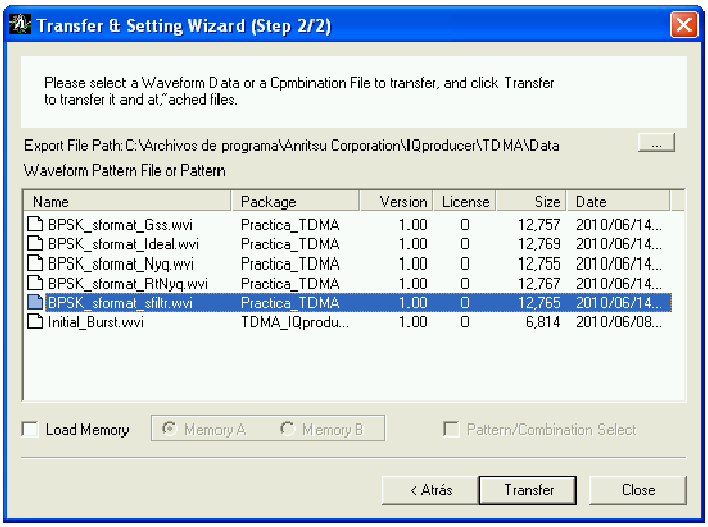


Figura 4.90. Ventana de asistente de transferencias

Al transferir los patrones de onda alMG3700A, dentro de los paquetes de patrones para escoger se puede ver el paquete "*Practica_TDMA*" y dentro de éste los patrones que se han creado.

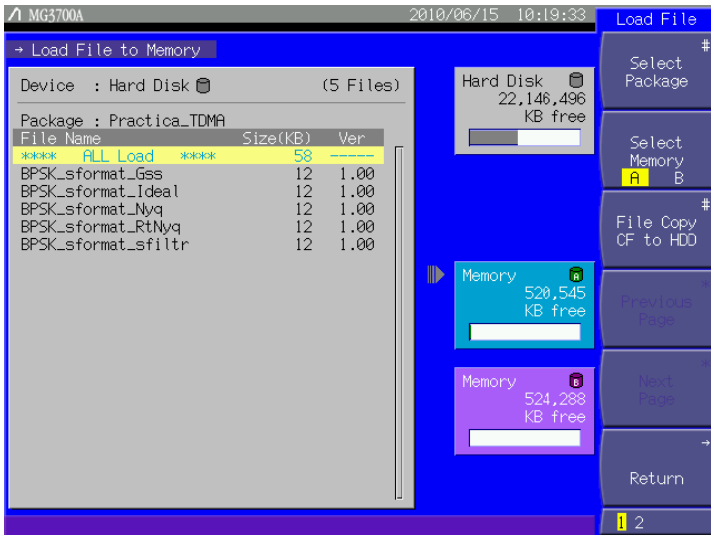


Figura 4.91. Archivos de computador trasladados al MG3700A

Análisis en el tiempo de las señales I/Q generadas por el MG3700A

Para analizar el efecto que cada filtro genera en el patrón original creado es necesario tener la imagen de los pulsos I/Q y sus cambios en función del tiempo. El software IQproducer posee la función de graficar patrones generados en función del tiempo en sus señales I y Q por separado. Es capaz de superponer trazas de patrones I y Q para comparar su resultado.

Accediendo por la barra del menú del IQproducer escoger "*Simulation*" → "*Time Domain*"

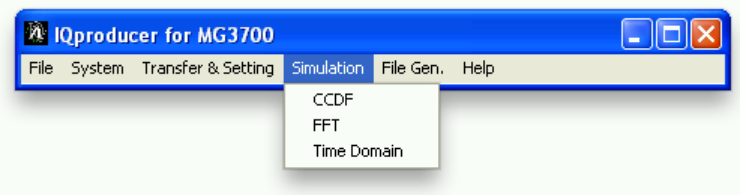


Figura 4.92. Función de gráficas en función del tiempo IQproducer

Al abrir esta ventana se despliega la ventana de análisis en el tiempo de señales. El objetivo primordial de haber creado un mismo archivo de datos para todos los patrones, es poder comparar cada forma de onda con su similar aplicada un filtro diferente. Si se hubiera escogido como valor de datos un número aleatorio (PN9 o PN15), en cada patrón se hubiera creado valores diferentes y los cambios no se podrían apreciar.

Time Domain tiene la capacidad de cargar hasta 4 patrones de onda simultáneos su análisis. Con el botón "*Add*" se selecciona el patrón guardado en la PC y se genera la gráfica.

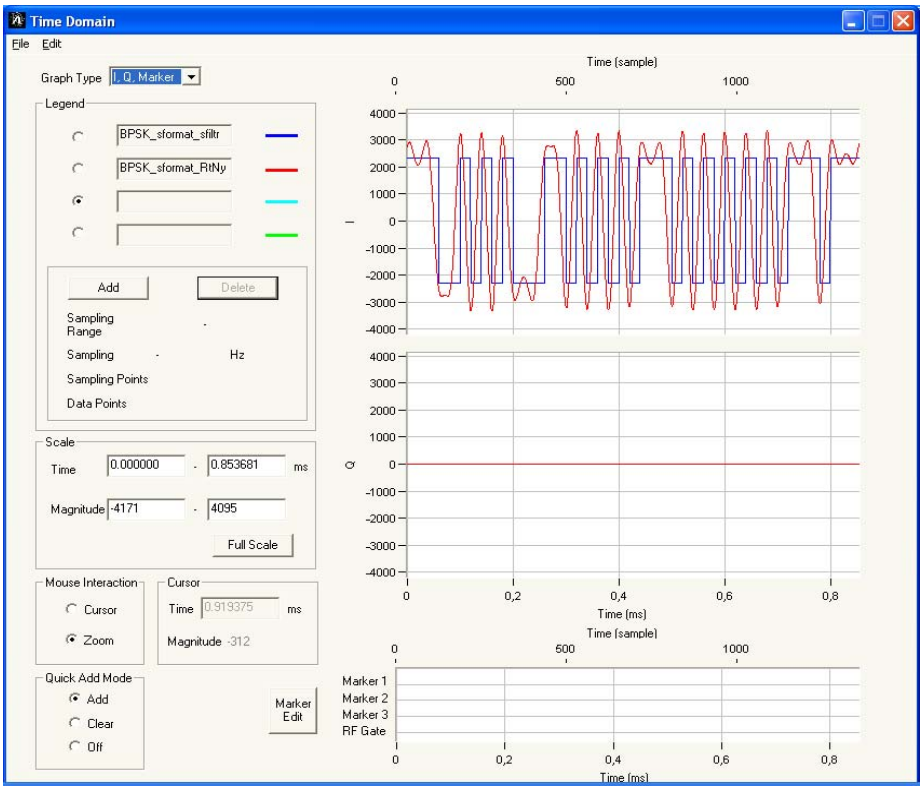
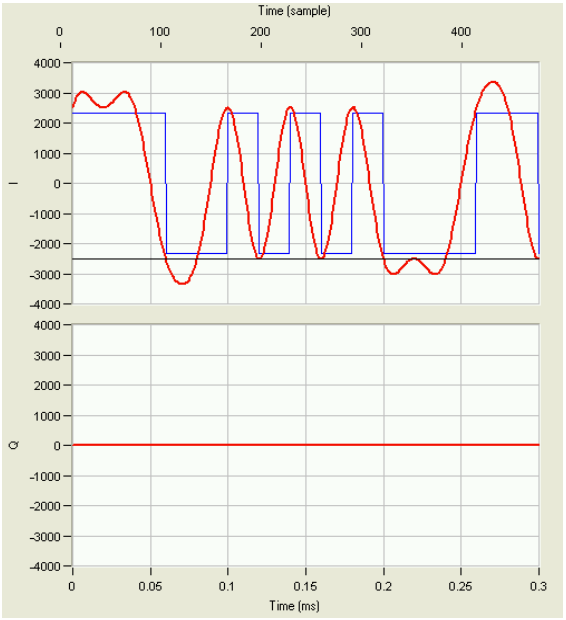


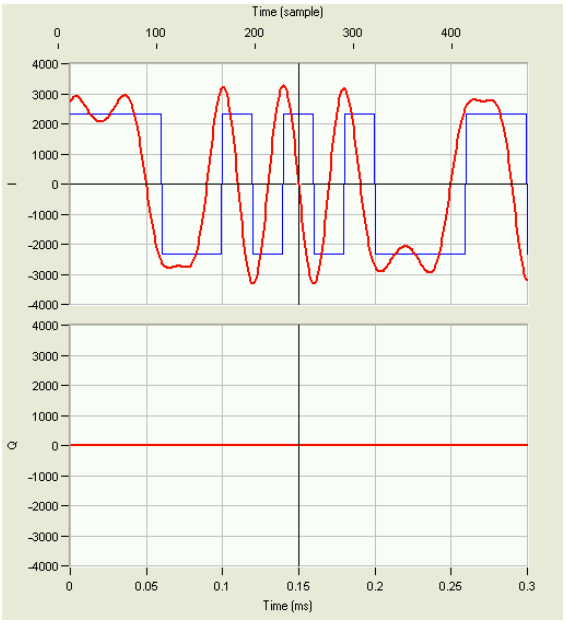
Figura 4.93. Análisis en el tiempo "*Time Domain*"

A continuación se superpondrá a cada señal filtrada versus la señal original para analizar los cambios que sufre el patrón original al aplicarse un filtro. El efecto de un filtro es diferente variando su coeficiente BT, Roll Off o frecuencia de corte dependiendo del caso[5]. La señal original sin filtro tendrá color azul, mientras el patrón comparado con otro filtro, color rojo.

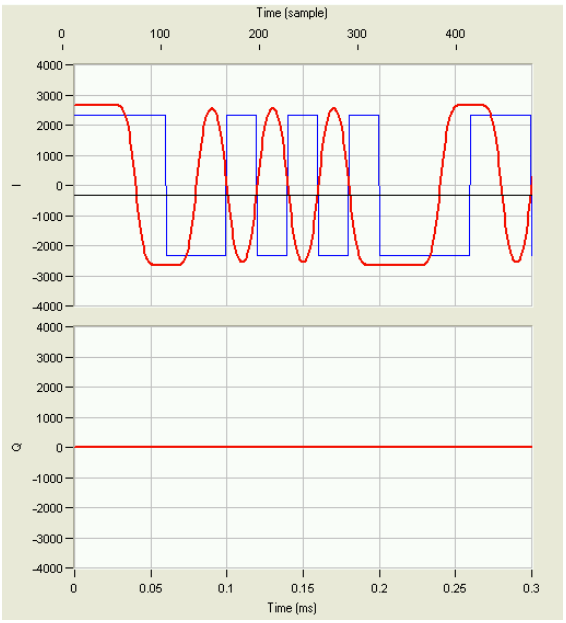
[5] En estas prácticas solo se visualizará el uso de un coeficiente fijo BT = 0.6, Roll Off = 0,6 y Frecuencia de corte = Fs/4



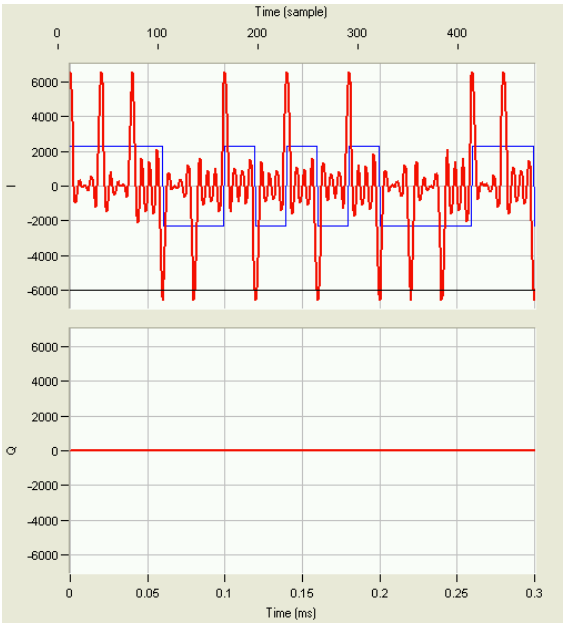
Sin filtro Vs Nyquist (Roll Off: 0,6)



Sin filtro Vs Root Nyquist (Roll Off: 0,6)



Sin filtro Vs Gaussiana (BT: 0,6)



Sin filtro Vs Filtro ideal pasa bajos (Fs/4)

Figura 4.94. Comparación de señales I/Q en el tiempo

Se puede observar que la señal Q del esquema de modulación BPSK se encuentra a cero. Se debe recordar que BPSK únicamente usa dos frecuencias separada en fase por 180º, lo que hace que sólo exista componente en I y no exista en Q. En el diagrama de constelación se muestra que la señal solo varía en I y nunca en Q.

Para la comprobación de los trazos obtenidos con el software IQproducer "*Time Domain*", se reproducirá por el MG3700A usando la salida I/Q para observarla con el osciloscopio.

El patrón original muestra el mismo comportamiento descrito en el software con la diferencia que se puede observar los sobre picos en los pulsos ascendentes y descendentes.

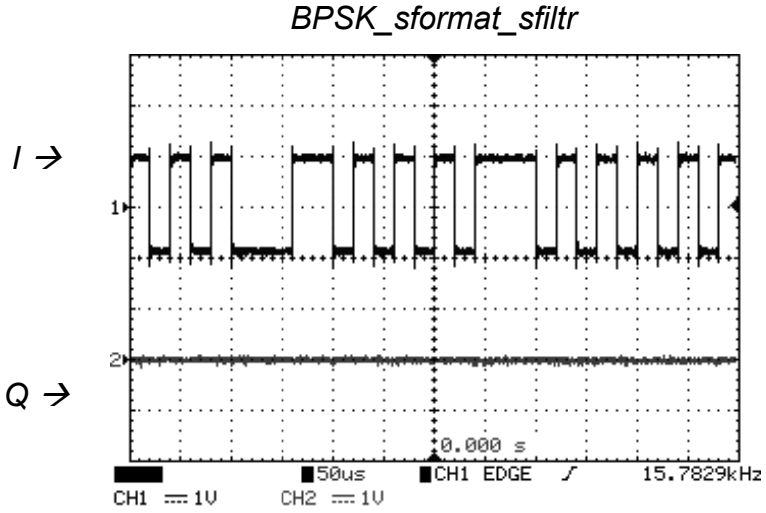


Figura 4.95. Osciloscopio: Señal original sin filtro

La característica de la familia de los filtros *Nyquist*, es su función de transferencia de ondulación antes símbolos consecutivos del mismo valor después de uno opuesto. Además la amplitud de estos pulsos luego de la ondulación tiende a crecer. Cabe mencionar que esto es corregible con el factor *Roll Off*.

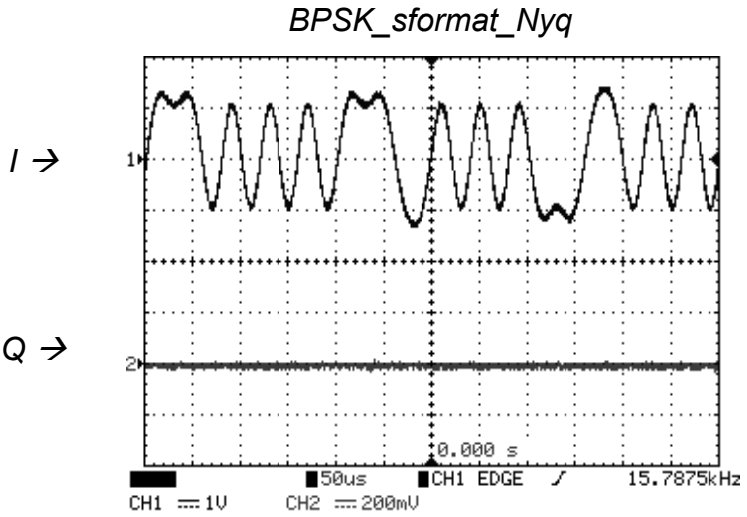


Figura 4.96. Osciloscopio: *Nyquist* (Roll Off: 0,6)

En el filtro *Root Nyquist*, el comportamiento es el esperado teniendo oscilación en símbolos “1” o “0” consecutivos. La amplitud usando este filtro es más constante que usando *Nyquist*, siendo una estabilidad mejorada en este filtro.

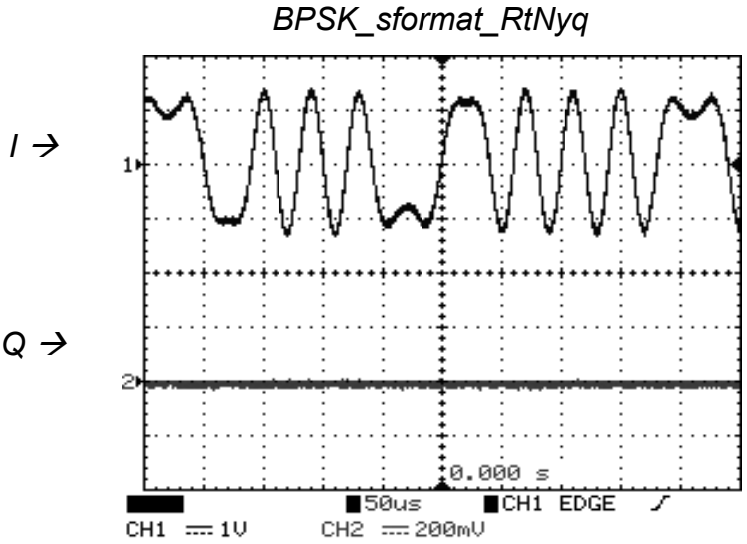


Figura 4.97. Osciloscopio: Señal Original *Root Nyquist* (Roll Off: 0,6)

El filtro Gaussiano tiene la característica de retrasar un pulso en la secuencia de símbolos. En la gráfica de tiempo generada en software se observa esta característica a detalle. Este filtro tiene la característica que no genera sobre

picos, ni oscilaciones luego de un pulso, es decir simplemente lo suaviza para reducir su ancho de banda.

BPSK_sformat_Gss

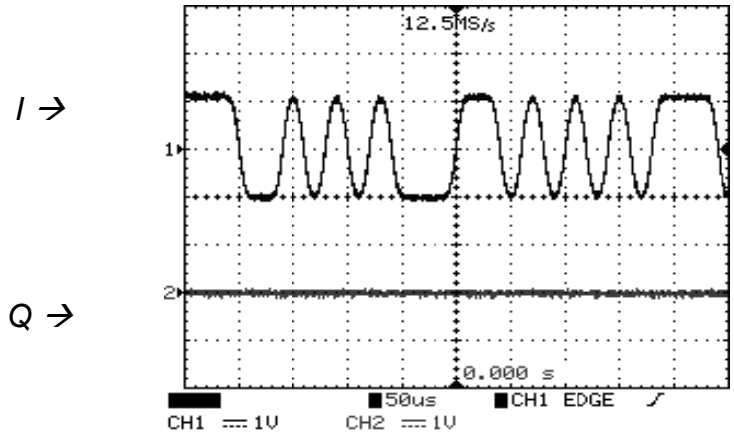


Figura 4.98. Osciloscopio: Gaussiano BT: 0,6

El filtro ideal es un filtro el cual es aplicado y reduce el número de componentes de frecuencia. Al ser un filtro perfecto simplemente de la frecuencia de muestreo borra las frecuencias mayores de la frecuencia de corte. Al ser un filtro perfecto el espectro resultante es prácticamente cuadrado ya que tiene un corte fuerte de frecuencia, pero genera armónicos a lo largo de las frecuencias participantes, ocupando así mucho ancho de banda. La onda muestra que existen varias oscilaciones para cada pulso.

BPSK_sformat_Ideal

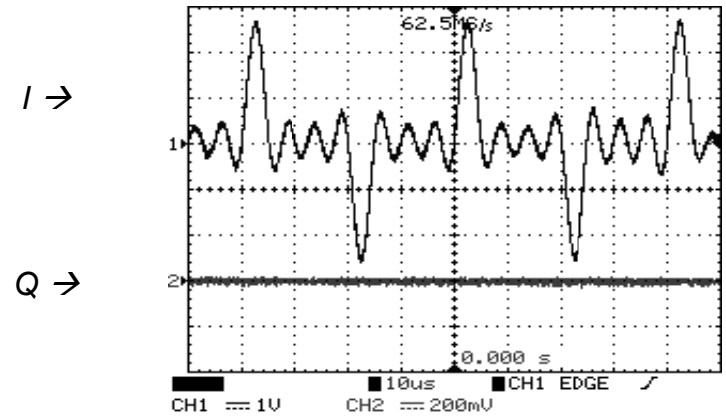
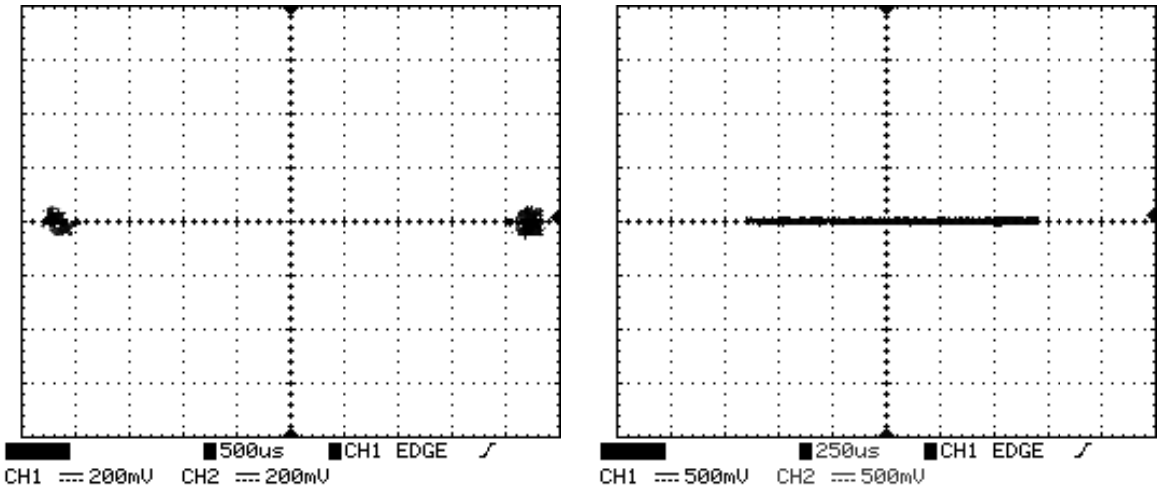


Figura 4.99. Osciloscopio: Filtro ideal pasa bajos (Fs/4)

Usando el osciloscopio en el modo XY se puede observar el gráfico de diagrama de modulación. Para observar un diagrama de mejor manera es más fácil analizarlo sin filtro. Sin filtro las transiciones de cada pulso son exactas (pulsos cuadrados), en cambio con filtros las transiciones son más suaves creando una trayectoria curva del camino. En los siguientes gráficos se verá la diferencia entre una trayectoria perfecta y curva entre símbolos.



a) *b)*

Figura 4.100. Diagrama de constelación BPSK. a) Sin filtro b) Filtro *Root Nyquist, Roll Off*: 0,6

La señal del patrón original modulada en BPSK no posee componente en Q, por este motivo en las trazas analizadas en tiempo tomadas con el osciloscopio siempre la componente Q se encuentra a 0. No confundir que no es efecto de ningún filtro. Los filtros no pueden eliminar una componente I o Q ya que actúan antes de entrar al modulador de cuadratura.

Análisis espectral de los filtros usando el software IQproducer FFT

El software además de poseer la función de análisis en el tiempo de señales I/Q, posee la herramienta de analizar los patrones de onda con una gráfica de la transformada rápida de Fourier o FFT. Esta función nos brinda una imagen que el analizador de espectro nos entrega ya que ambos usan FFT.

Analizar el espectro permite ver cómo actúa un filtro sobre la señal deseada y cual filtro es el más adecuado para la señal a transmitir.

Para usar esta función, accediendo por la barra del menú del IQproducer escoger "*Simulation*" → "*FFT*"

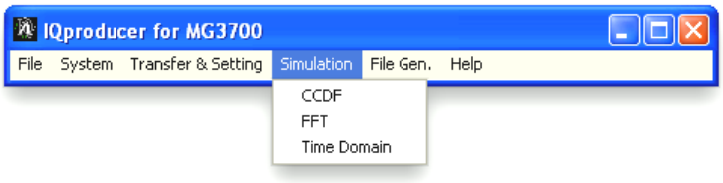


Figura 4.101. Función de gráficas FFT

La ventana de la función FFT cuenta con la posibilidad de realizar la vista del patrón deseado con la transformada rápida de Fourier. La frecuencia central no tiene valor pero se tiene parámetros de ancho de banda y de amplitud que pueden ser ajustados para una mejor visualización de la onda. El *Span* disponible depende de la frecuencia de muestreo del patrón.

La ventana tiene la posibilidad de cargar hasta 4 patrones de onda simultáneos para analizarlos en comparación con otro por superposición de gráficas. Con el botón "*Add*" se selecciona el patrón guardado en memoria y se genera la gráfica. Se puede observar el ejemplo en la siguiente ventana el espectro de la señal original sin filtro.

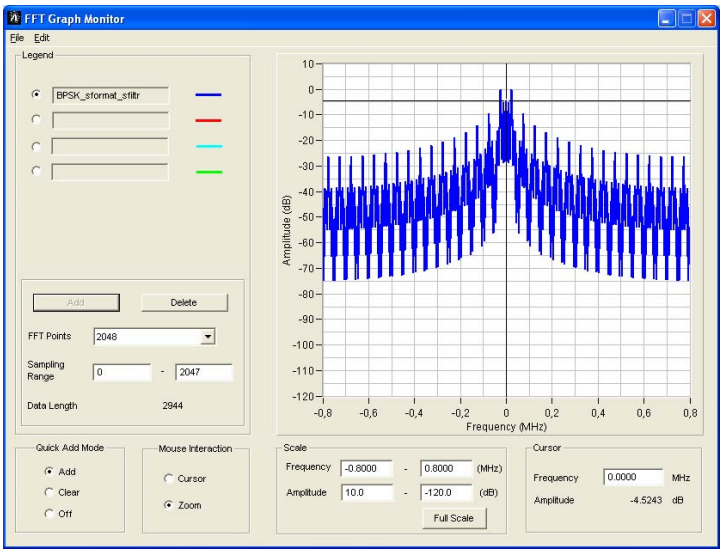
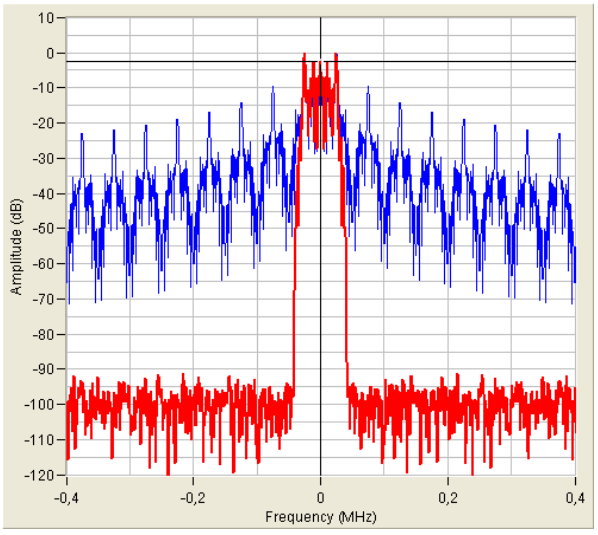


Figura 4.102. Ventana de análisis de frecuencia FFT

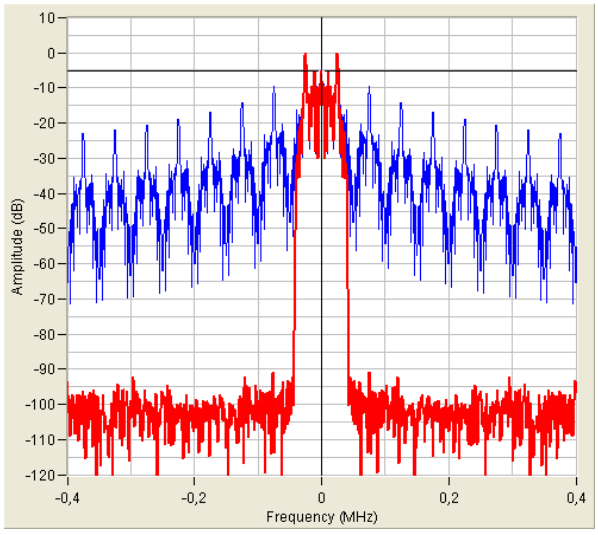
A continuación se superpondrá a cada señal filtrada versus la señal original para ver los cambios importantes que sucede en las ondas al aplicarse un filtro determinado. El efecto de un filtro es diferente variando su coeficiente BT, Roll Off o frecuencia de corte dependiendo del caso. Para cada figura se configurará un diferente valor de Span que será especificado

Span: 800 kHz



Sin filtro Vs Nyquist (Roll Off: 0,6)

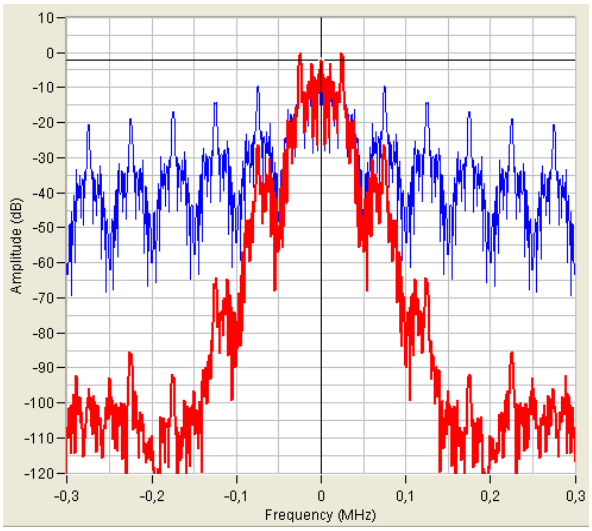
Span: 800 kHz



Sin filtro Vs Root Nyquist (Roll Off: 0,6)

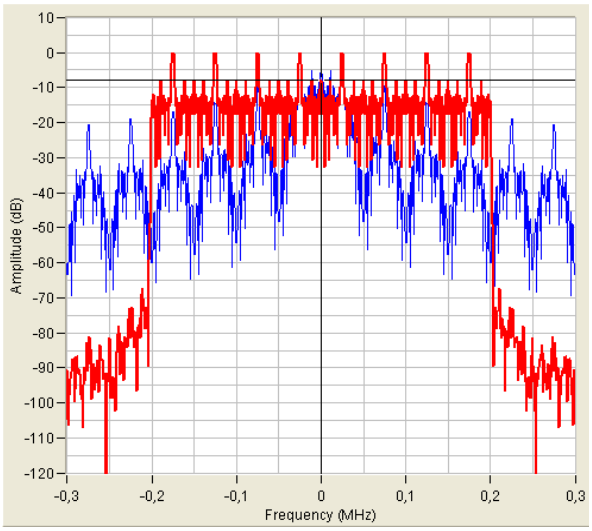
Figura 4.103. Comparación de señales I/Q en el tiempo: Nyquist y Root Nyquist

Span: 600 KHz



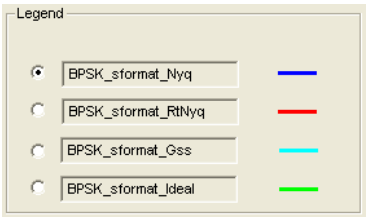
Sin filtro Vs Gaussiana (BT: 0,6)

Span: 600 kHz



Sin filtro Vs Filtro ideal pasabajos (Fs/4)

Figura 4.104. Comparación de señales I/Q en el tiempo: Gaussiana, Filtro ideal pasa bajos



- Nyquist
- Root Nyquist
- Gaussiana
- Filtro ideal pasa bajo Fs/4

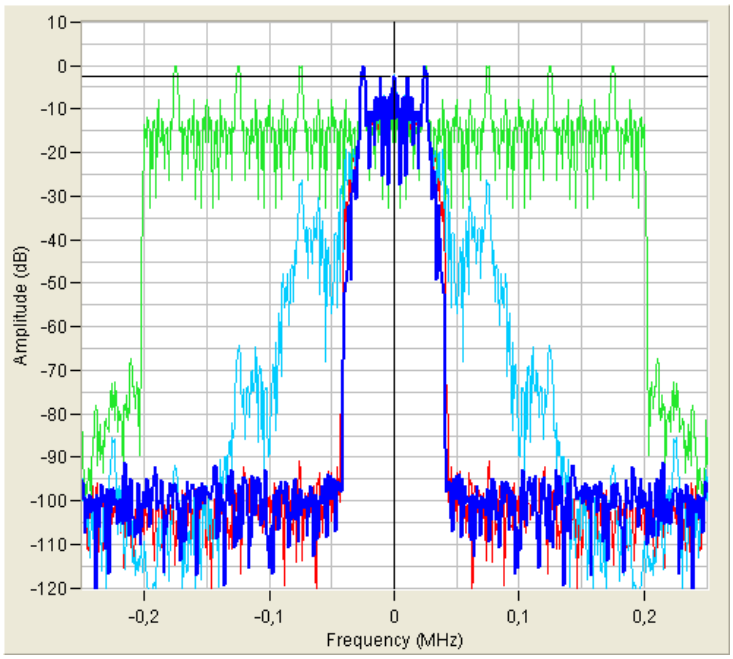


Figura 4.105. Comparación de todos los filtros y su ancho de banda

La Figura 4.105 muestra la superposición de los 4 patrones de onda con filtro.

Además el propósito de generar patrones TDMA con el software IQproducer es reproducirlos a través del generador vectorial MG3700A. Usando el analizador de espectro MS2036A se verificará el espectro de cada patrón generado anteriormente.

La configuración el generador vectorial para la reproducción de los patrones generados es la siguiente:

- *Frecuencia de portadora*: 800 MHz
- *Nivel de señal*: -10 dBm
- *Span*: 1MHz
- *Nivel de Referencia (amplitud*): -10 dB
- *Divisiones verticales de amplitud*: 10 dB/div (únicamente en el *Patrón 1 - Original* tiene 7 dB/div).

Todos los patrones cumplen esta configuración ya que no interesa un nivel de potencia variable,ni la frecuencia de portadora, simplemente su forma espectral.

Patrón 1: BPSK_sformat_sfiltr

El espectro que genera el patrón de forma de onda original, que no posee filtro, muestra la energía de la señal concentrada principalmente en su frecuencia central, pero la energía de sus armónicos va decayendo como lóbulos laterales. En teoría un pulso totalmente cuadrado necesita todo el ancho de banda ya que sus componentes de frecuencia son infinitas. Cada pico de la señal obedece a un múltiplo de los armónicos de la señal. Esta es la razón principal por la que en modulación digital a pesar de aplicar diferentes esquemas de modulación se necesita aplicar filtros para reducir el ancho de banda de la información sin sacrificar la capacidad de recuperación de la información contenida en la portadora.

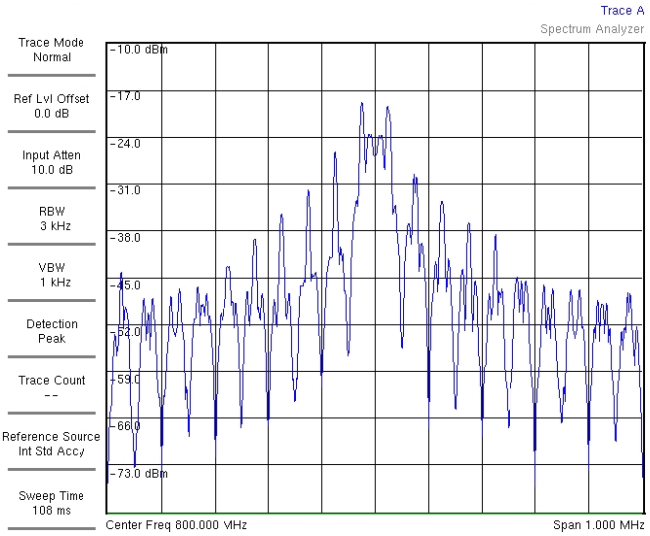


Figura 4.106. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_sfiltr

Patrón 2: BPSK_sformat_Nyq

La Figura 4.107 muestra la respuesta del filtro Nyquist tomado con el analizador de espectro. Este filtro tiene la característica de limitar el ancho de banda produciendo una eficiencia espectral mucho mayor a otros filtros. Este tipo de filtros produce sobre picos en la señal los cuales hacen que en el lado de transmisor de señales se utilice una potencia mayor para enviar un símbolo de lo que normalmente se necesita. Este tipo de filtro también tiene una interferencia inter-simbólica *ISI* baja. Este tipo de filtros suele ser usado cuando se necesita de filtraje en una de las etapas la comunicación. Transmisión o recepción ya que tiene una respuesta buena ante el ruido e interferencia entre canales que afecta principalmente a las tecnologías TDMA.

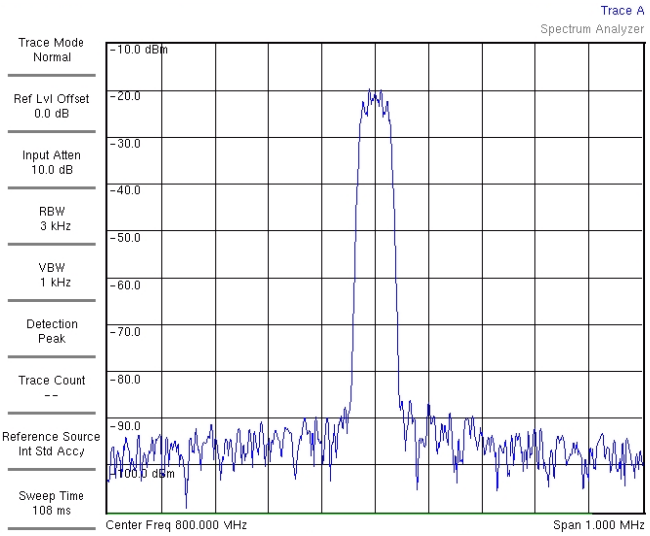


Figura 4.107. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_Nyq

Una característica principal de este filtro es que su respuesta impulsiva resuena a la frecuencia de símbolo, por lo que cuando un símbolos consecutivos son de diferente valor actúa como una onda senoidal. En cambio si un tren de tres pulsos, el primero tiene un valor determinado y el segundo y tercer pulso tienen el valor opuesto, va a generar un sobre pico y una ondulación en la parte redundante del tren de pulsos.

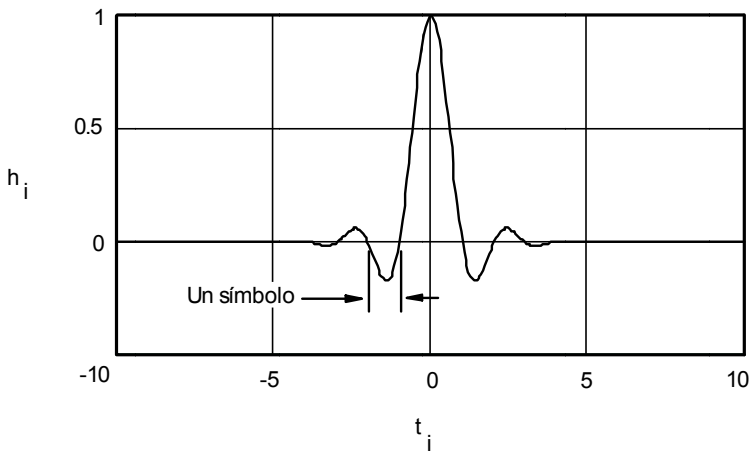


Figura 4.108. Función de transferencia del filtro Nyquist

Patrón 3: BPSK_sformat_RtNyq

La Figura 4.109 obedece al filtro *Root Nyquist* tomada con el analizador de espectro. Este filtro tiene este nombre debido a que matemáticamente es la raíz cuadrada de la función impulsiva del filtro *Nyquist* visto anteriormente.

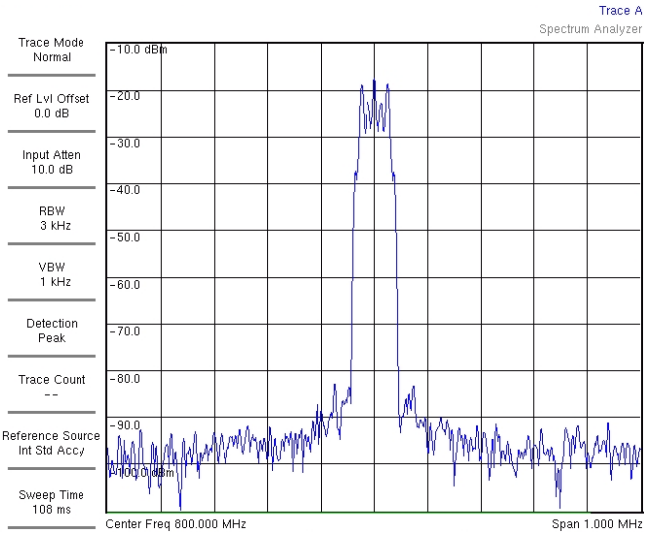


Figura 4.109. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_RtNyq

Aunque su comportamiento en este caso es parecido al *Nyquist* común, es usado para sistemas que necesitan aplicar filtros en ambos componentes de la comunicación. En la etapa de transmisión se coloca un filtro *Root Nyquist* y en la recepción otro filtro *Root Nyquist*, debido a que la respuesta impulsiva de ambos filtros es multiplicada entre sí al momento de ser aplicada dos veces, equivale a aplicar un filtro *Nyquist* en la parte del receptor pero rechazando más ruido. La Figura 4.110 es un sistema teórico de la aplicación de este filtro.

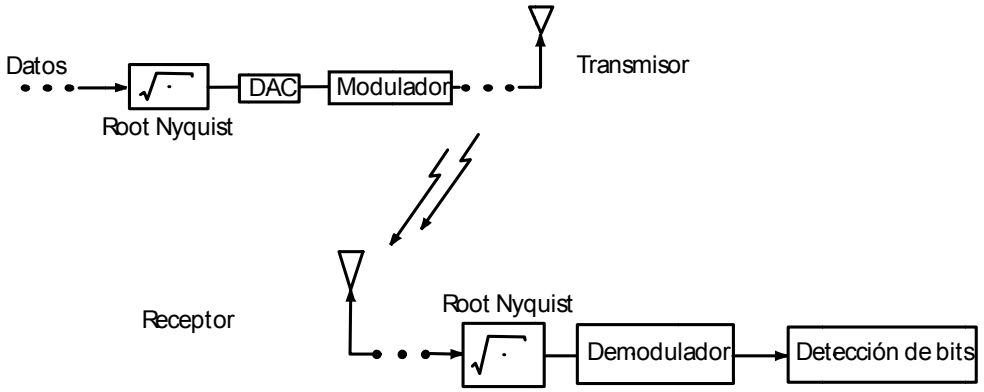


Figura 4.110. Sistema de transmisión usando filtros *Root Nyquist* en etapa de transmisión y recepción

Patrón 4: BPSK_sformat_Gss

La Figura 4.111 ilustra la señal original pasada por un filtro Gaussiano de coeficiente BT=0.6. Al realizar las prácticas de eficiencia espectral se puede ver que GSM usa este filtraje en su esquema de modulación. La tendencia de tener a la portadora y a dos lóbulos laterales es una característica de este filtro.

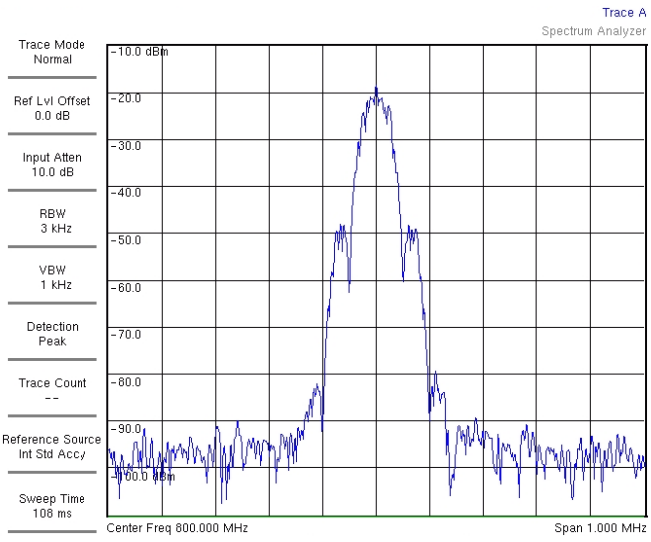


Figura 4.111. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_Gss

Los filtros gaussianos son usados por ejemplo en GSM por sus ventajas relacionadas con potencia de portadora, ancho de banda y reloj de símbolos de fácil recuperación. El filtro gaussiano obedece a la función de transferencia gaussiana mostrada en la Figura 2.15, que no posee ninguna ondulación ni resonancia en ninguna parte del filtro. Esto brinda de una transición suave de símbolos al ser insertado el filtro en la modulación. Una ventaja en GSM de aplicar estos filtros es la habilidad de tener interferencia inter-simbólica entre el símbolo más probable, por lo que reduce el diseño y complejidad de los amplificadores.

Patrón 5: BPSK_sformat_Ideal

La Figura 4.112 ilustra la aplicación de un filtro ideal pasa bajos. Este filtro es usado en sistemas CDMA y WCDMA para delimitar el espectro de manera estricta. Este filtro tiene la característica que reduce casi de forma completa las demás componentes espectrales de la señal fuera del rango del filtro.

Este filtro gracias a su función de transferencia, iguala la potencia de las componentes de frecuencia a un nivel básico para obtener una señal espectral de forma cuadrada.

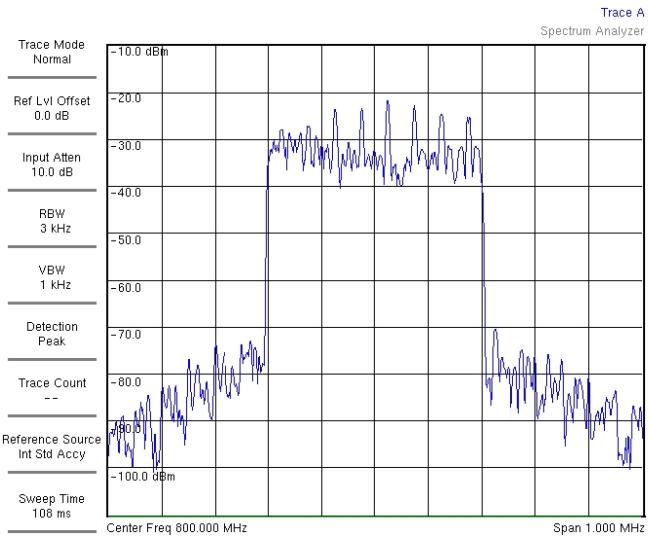


Figura 4.112. Espectro obtenido del patrón BPSK_sformat_Ideal

Este tipo de filtros teóricamente ideales son llamados los filtros de respuesta finita FIR. Por ejemplo, el filtro que se aplica a CDMA IS-95 es el filtro "*Chebyshev equiripple*". Este actúa tajantemente con las frecuencias más allá de la frecuencia de corte gracias a su función de transferencia.

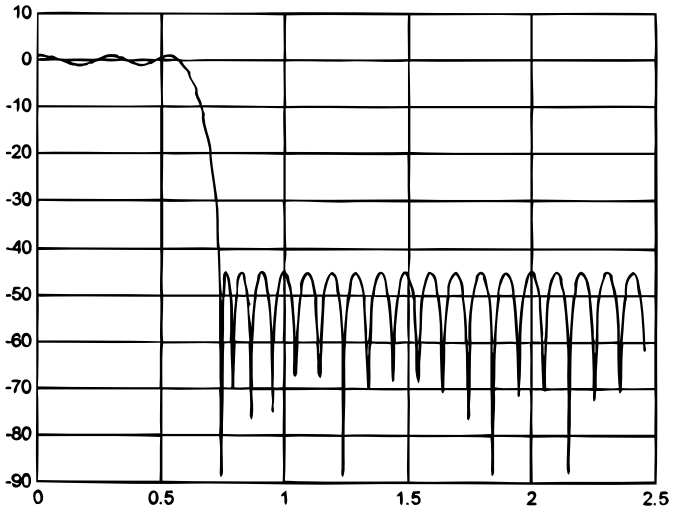
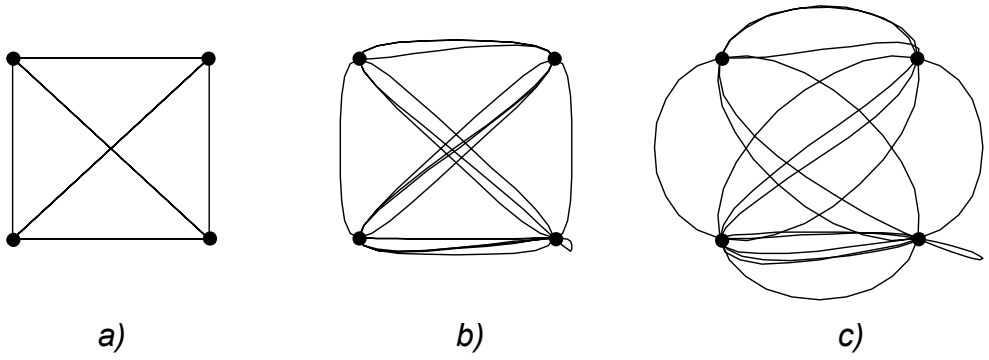


Figura 4.113. Función de transferencia de un filtro de respuesta finita *Chebyshev equiripple*

Ya que el efecto de los filtros sobre la señal es acortar el ancho de banda ocupado, existen otros efectos que ocurren sobre los diagramas de constelación. Un diagrama de constelación que no posea filtro, sus transiciones serán directas siempre conservando el camino recto entre símbolos. Una señal sin filtro genera un diagrama de constelación perfecto, pero una sin filtro es una señal con todo el ancho de banda disponible lo cual es imposible.

En cambio si una señal usa un filtro las transiciones entre símbolos tienen un comportamiento mucho más redondeado y suave. Si el filtro es aún más estricto, las trayectorias de un símbolo hacia otro serán más amplias y difícilmente una trayectoria será igual a otra.



a) *b)* *c)*

Figura 4.114. Efecto del filtraje en diagramas de constelación. a) Sin filtro. b) Filtro suave. c) Filtro estricto

La Figura 4.115 ilustra un diagrama polar y de constelación de una señal DQPSK con trayectoria de 157 símbolos.

a) *b)*

Figura 4.115. Señal DQPSK. a) Diagrama polar b) Diagrama de constelación

Modulación BPSK en radio frecuencia y pulsos en el domino del tiempo

Para terminar concluyendo la práctica de filtros, se mostrará la señal original modulada en el tiempo generada por el MG3700A en comparación con el pulso original usando un osciloscopio. Se puede comprobar teóricamente el principio de la modulación BPSK de cambio de fase de una portadora.

Conexión de los equipos:

- Conectar la salida del MG3700A I/Q con el cable DB-15 a doble BNC. Conectar únicamente el cable de la señal *I* al canal 1 del osciloscopio. No conectar el canal Q a nada.
- Conectar la salida RF del generador vectorial de señales MG3700A con un cable coaxial RF hacia la entrada del osciloscopio 2.

Configuración del generador vectorial de señales MG3700A

1. Configurar la frecuencia de portadora a 250 kHz y el nivel de señal a -10 dBm.

2. Cargar el patrón de forma de onda BPSK_sformat_sfiltr en la memoria A del equipo y cargarlo al equipo.

3. Activar la salida de modulación I/Q de forma externa (conector trasero I/Q).

4. Encender salida de modulación y de RF.

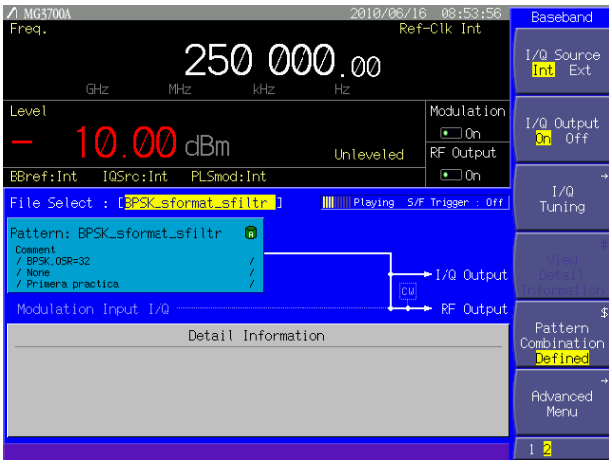


Figura 4.116. Configuración del equipo MG3700 para generar I/Q y RF

Configuración del osciloscopio

5. Encender las entradas del osciloscopio 1 y 2.

6. Colocar el método de disparo en automático.

Símbolos binarios (canal I)→

Señal RFmodulada BPSK→

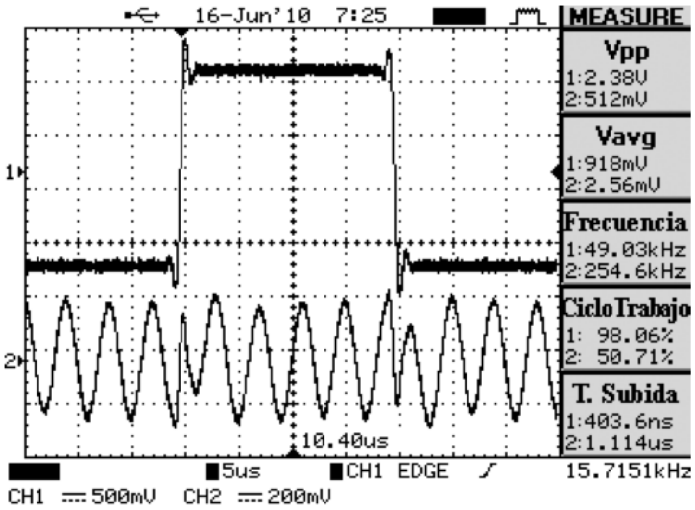


Figura 4.117. Señal BPSK y pulso obtenido

Como resultado se observa y se comprueba en tiempo real como es una señal BPSK y su cambio de frecuencia en portadora. Se ha escogido una frecuencia de portadora baja de 250 kHz para poder observar claramente las envolventes de la senoidal y el cambio de fase al detectar un cambio de símbolo.

El símbolo además es un pulso casi cuadrado, pero se puede ver que tiene un porcentaje de sobre pico considerable. El generador vectorial MG3700A es un equipo que posee un generador arbitrario de señales el cual necesita de muestras digitales para dibujar la onda. En este caso, la onda cuadrada no posee de las suficientes muestras para ser dibujada cuadrada y además por sistemas de cambio de estado electrónico, un cambio brusco de señal siempre produce un sobre pico.

La Figura 4.117 muestra la función del osciloscopio de medición en la que se detalla la frecuencia del canal 1 (canal *I* o secuencia binaria) de

aproximadamente 50 kHz y en el canal 2 de 250 kHz que es la frecuencia de la portadora. Recordar que la configuración del patrón reproducido tenía una tasa de símbolos de 50 Ksps.

4.4.2. TDMA – Esquemas de modulación

Objetivo de la práctica:

El objetivo de la práctica es crear patrones de forma de onda los esquemas de modulación más populares usando el software IQproducer en el estándar CDMA. Los patrones a crear serán sin formato de trama (ni slot), sin filtro, con una cadena de datos conocida pero con una modulación diferente en cada caso en base a una señal. En la práctica anterior una de las conclusiones es que el uso de una señal sin filtro permite una visualización más sencilla de los diagramas de constelación y señal modulada.

Para medir el diagrama de modulación se usará el osciloscopio en su modo XY, y en modo continuo para medir cómo reacciona la portadora en función de la modulación. Con la herramienta de tiempo I/Qproducer "*Time Domain*" se verá como son los símbolos I/Q en comparación con su señal original.

Configuración común de patrones de forma de onda a excepción modulación:

- *Filtro*: Sin filtro
- *Tasa de símbolos*: 500 ksps
- *Tasa de sobre-muestreo*: 32
- *Datos*: Cadena de datos definida por el usuario

El primer patrón de onda será la base para la comparación de todos los demás esquemas de modulaciones ya que será una señal binaria pura sin filtro y con modulación BPSK. Los cuatro siguientes patrones por analizar se detallan a continuación:

Identificación	Archivo de patrón	Modulación
Patrón A (patrón base)	BPSK_mod_orig_A	BPSK
Patrón B	QPSK_mod_B	QPSK
Patrón C	8PSK_mod_C	8PSK
Patrón D	16QAM_mod_D	16QAM

Tabla 4.4. Patrones y esquemas de modulación aplicados en la práctica

Patrón A: "BPSK_mod_orig_A"

Configuración del IQproducer

1. Abrir el IQproducer y escoger el sistema "*TDMA*". En la ventana de TDMA escoger presionar sobre la pestaña de "*No Format*" (sin formato), para escoger un tipo de onda TDMA sin formato.

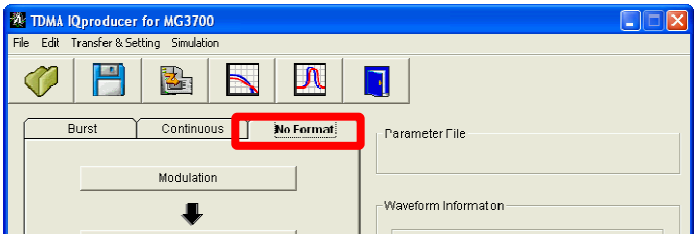


Figura 4.118. Ventana TDMA, "*No format*"

2. En la ventana de modulación, escoger BPSK de la caja de selección. Seleccionar la tasa de símbolos a 500 ksps y una tasa de sobre modulación de 32. Una mayor tasa de sobre modulación nos brinda un mayor muestreo de la señal. Esto es útil para tener mayor detalle (muestreo) de la señal creada.

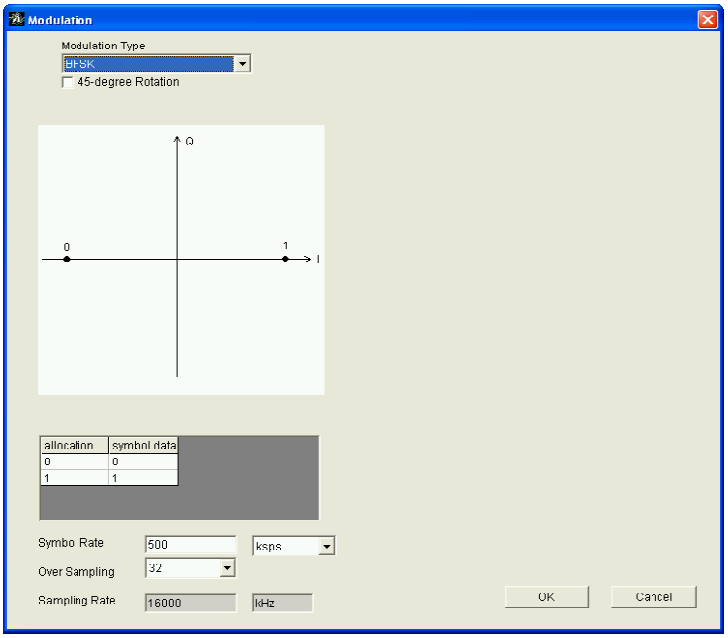


Figura 4.119. Selección de esquema de modulación: BPSK

La tasa de muestreo (*Sampling Rate*) es el resultado entre la multiplicación de la tasa de símbolos y el factor de sobre muestreo (500 x 32 = 16000 KHz = 1,6 MHz).

3. En este paso se agregará una cadena de bits que se desee reproducir por determinada por el usuario en el campo de datos del patrón. Esto permitirá usar la misma cadena de información en todos los patrones para poder comparar su resultado al final de la práctica.

   Para crear la secuencia binaria se debe abrir el editor de texto “Block de notas” de Windows. “Inicio” → “Ejecutar”→ (digitar) “notepad”.

   En el *Block de notas* introducir la siguiente cadena de caracteres (sin saltos de línea, ni espacios):

$$0111010111011111011001001100111000100000100010100011000110011011_2$$

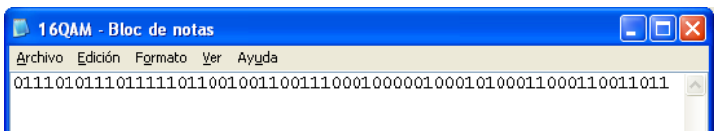


Figura 4.120. Block de notas, secuencia 16 QAM

Los únicos caracteres admitidos son “1” y “0”, como los símbolos binarios del patrón. Grabar el patrón como archivo de texto (*.txt) en la carpeta de IQproducer “*TDMA*” con el nombre de “*16QAM.txt*”[6]. La ruta para grabar el archivo es:

C:\Archivos de programa\Anritsu Corporation\IQproducer\TDMA\Data

Una vez guardado el archivo binario, abrir la ventana de datos presionando el botón “Data” en la pantalla principal TDMA. Escoger “*UserFile*”.
Se abre a continuación una ventana para elegir el archivo de usuario. Escoger el archivo guardado anteriormente en la carpeta TDMA del IQproducer.

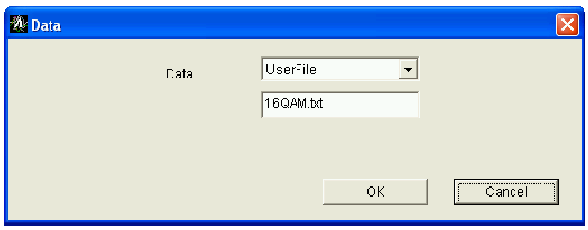


Figura 4.121. Selección datos: “UserFile”, “16QAM.txt”

4. Se procederá a escoger el filtro del patrón de onda. En la ventana principal TDMA escoger la opción “*Filter*”. En la lista de filtros desplegable escoger “*None*” y el valor de RMS colocar el valor de 1634 (valor predeterminado).

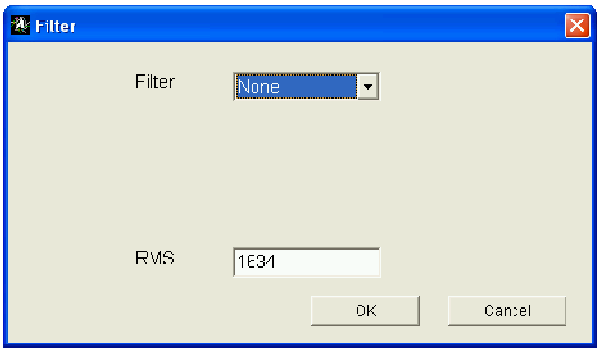


Figura 4.122. Selección de filtro: Sin filtro

[6] La secuencia de datos es la combinación de todos los estados de 16QAM, es decir 64 bits.

En la ventana principal TDMA, en la parte intermedia muestra la configuración del patrón.

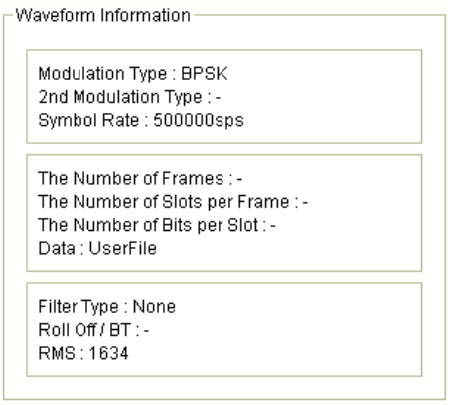


Figura 4.123. Información de configuración de patrón

5. Para colocar el nombre del patrón, en la ventana principal TDMA, aplastar el botón "*Pattern Name*". Cambiar el nombre del paquete (*Package*) a "*MOD_TDMA*" y el del nombre del patrón (*Pattern name*) a "*BPSK_mod_orig_A*". Las dos primeras casillas de comentario (*Comment*) muestran la modulación y el filtro aplicado, estos valores son sólo ilustrativos. En la tercera casilla de comentario colocar como la información de "*practicas modulacion*" (evitar tildes). La configuración especificada se muestra en la siguiente ventana.

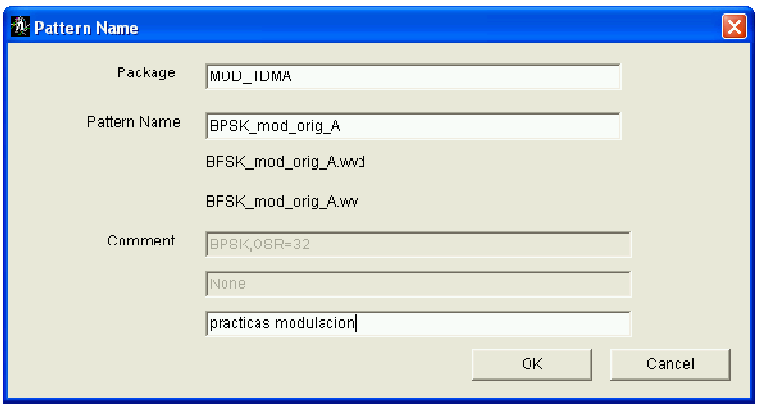


Figura 4.124. Configuración del nombre del patrón: BPSK_mod_orig_A

Como recomendación es importante colocar el nombre del patrón con datos clave para identificar el archivo al momento de cargarlo en el MG3700A. El nombre del patrón “BPSK_mod_orig_A” indica un patrón con modulación BPSK y la letra A que significa el indicador de patrón de la práctica.

6. Al aceptar el nombre del patrón, para finalizar ahora se debe crear el patrón usando el botón “*Calculation*”. Al presionar este botón se despliega una ventana para guardarlo en la ruta de disco duro específica. La ruta en la que el archivo será guardado es mejor no cambiarla de su configuración estándar. La ruta predefina es:

   C:\Archivos de programa\Anritsu Corporation\IQproducer\TDMA\Data

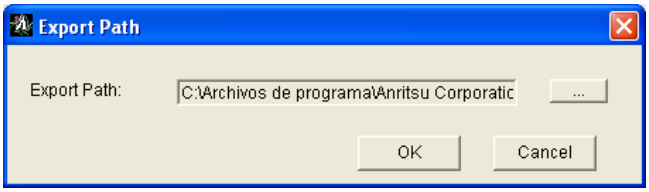


Figura 4.125. Ruta para guardar patrón TDMA

Luego de escoger la ruta, presionar OK. La ventana a continuación es el progreso de creación de la forma de onda. Una vez terminada, aceptar la selección.

A continuación se procederá a crear los demás patrones usando los diferentes esquemas de modulación.

Patrón B: “QPSK_mod_B”

Este patrón de forma de onda, únicamente cambia el esquema de modulación a QPSK. No cambiar ningún otra configuración.

Figura 4.126. Configuración modulación: QPSK

Finalmente es necesario guardar el patrón creado con el esquema de modulación diferente. Grabar el patrón con el nombre “QPSK_mod_B” y no cambiar ningún nombre ni de paquete ni el comentario. Realizar el cálculo (*Calculation*) para crear el archivo de patrón de onda.

Figura 4.127. Configuración del nombre del patrón: QPSK_mod_B

Se configurará a continuación el patrón D antes que el patrón C, ya que este necesita otro secuencia diferente a la secuencia 16QAM y se detallará después.

Patrón D: “16QAM_mod_D”

Este patrón de forma de onda, únicamente cambia el esquema de modulación a 16QAM. No cambiar ninguna otra configuración.

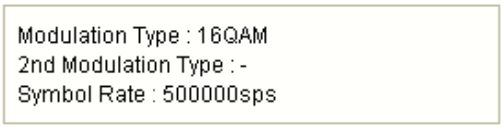


Figura 4.128. Configuración modulación: 16QAM

Finalmente es necesario guardar el patrón con el esquema de modulación diferente. Grabar el patrón con el nombre “16QAM_mod_D” y no cambiar ningún nombre ni de paquete ni el comentario. Realizar el cálculo (*Calculation*) para crear el archivo de patrón de onda.

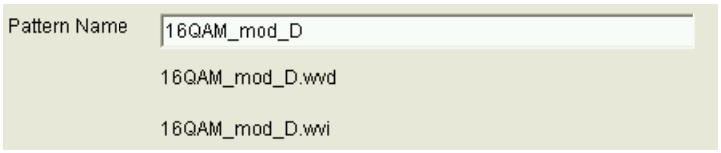


Figura 4.129. Configuración del nombre del patrón: 16QAM_mod_D

Patrón C: “8PSK_mod_C”

A continuación cambiar la modulación a 8PSK para luego de ello obtener la ventana de información de modulación.

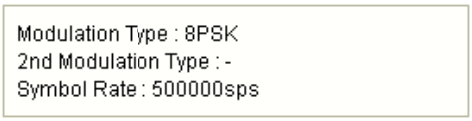


Figura 4.130. Configuración modulación: 8-PSK

Este patrón de forma de onda, va a ser configurado con otra secuencia de datos. No es recomendable usar la secuencia 16QAM ya que es una secuencia con un número de bits par (64 bits). El esquema de modulación 8-PSK necesita una secuencia con un número múltiplo de 3 bits ya que cada 3 bits un símbolo es trazado. Esto ayudará en la visualización de la trama ya que será periódica cuando se observe en el osciloscopio.

Asignar una cadena de datos usando el block de notas con el archivo llamado “8PSK.txt”. Al igual que la secuencia “16QAM.txt”, guardar el archivo en

la misma ruta TDMA del IQproducer. La secuencia de datos 8PSK a colocar cubrirá todos los estados de 8-PSK.

$$111110010011011000100101_2$$

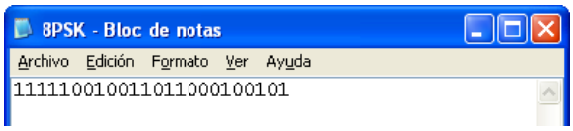


Figura 4.131. Block de notas, secuencia 9-PSK

Finalmente es necesario con el esquema de modulación diferente. Grabar el patrón con el nombre “8PSK_mod_C” y no cambiar ningún nombre ni de paquete ni comentario. Realizar el cálculo (*Calculation*) crear el archivo de patrón de onda.

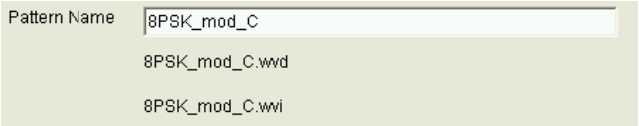


Figura 4.132. Configuración del nombre del patrón: 8PSK_mod_C

Una vez creados los cuatro patrones de onda, transferirlos al MG3700A (*ver práctica TDMA – Filtros*). En el generador MG3700A se puede ver el paquete creado MOD_TDMA y dentro los patrones creados anteriormente.

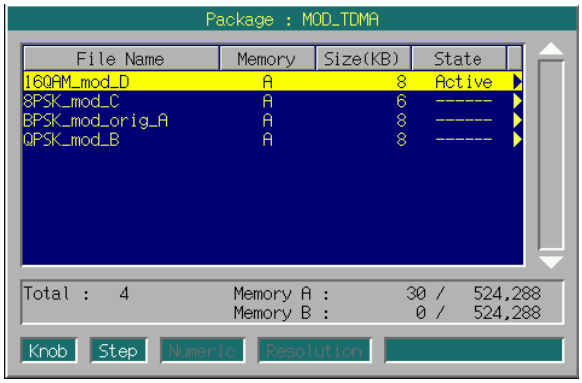


Figura 4.133. Imagen de los patrones de forma de onda MOD_TDMA en el MG700A

Análisis en el tiempo de las señales I/Q generadas por el MG3700A

Cada esquema de modulación producirá un efecto diferente en el diagrama de constelación y en el ancho de banda usado. Para observar las señales I/Q que genera cada patrón de onda, se usará la función de "*Time Domain*" del software IQproducer y el osciloscopio para comprobar las señales que se obtienen. Los diagramas de constelación se verán usando un osciloscopio.

Inicialmente se usará el software IQproducer "*Time Domain*" para visualizar los archivos generados y tener una referencia de los patrones de onda. Al realizar el análisis teórico de los patrones a continuación serán reproducidos en el MG3700A y observados en un osciloscopio.

Accediendo por la barra del menú del IQproducer escoger "*Simulation*" → "*Time Domain*". En la ventana de análisis de tiempo, cargar uno por uno los patrones de onda (no simultáneos para medir su resultado)

Patrón A: BPSK_mod_orig_A

Al igual que la práctica anterior, el patrón de onda modulado en BPSK no tendrá componente en Q, teniendo todo el tren de bits en el canal I. Ya que la secuencia fue definida por el usuario "16QAM.txt", se tiene toda la cadena seguida de 64 bits en pantalla.

$$0111010111011111011001001100111000100000100010100011000110011011_2$$

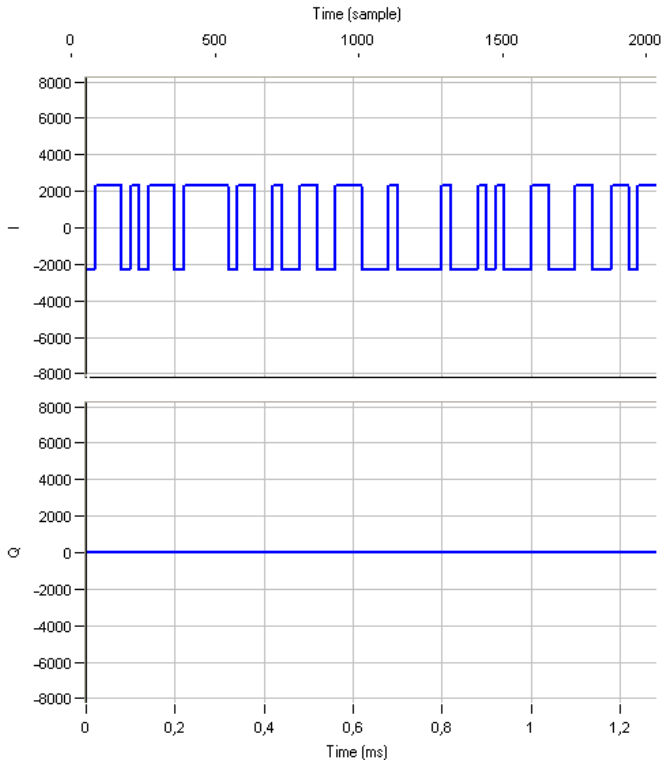


Figura 4.134. I/Q del patrón de onda BPSK y secuencia de datos "16QAM.txt"

La Figura 4.134 será la base de referencia de los demás análisis. Modulaciones en QPSK (patrón B) y 16QAM (patrón C) serán comparadas con la longitud de esta. La modulación en 8PSK tendrá una secuencia de datos diferente y no será comparada con esta modulación.

En la Figura 4.134 se muestra la secuencia de datos reproducida una sola vez, es decir, los 64 bits de la secuencia 16QAM. El que se demora en recorrer la secuencia será de 1,28ms en modulación BPSK.

Patrón B: QPSK_mod _B

Este patrón de onda usa un esquema de modulación QPSK con la secuencia de datos para 16 QAM. La modulación QPSK tiene una constelación de 4 símbolos y 2 bits por símbolo. Esto quiere decir que por cada símbolo receptado, se decodificará 2 bits.

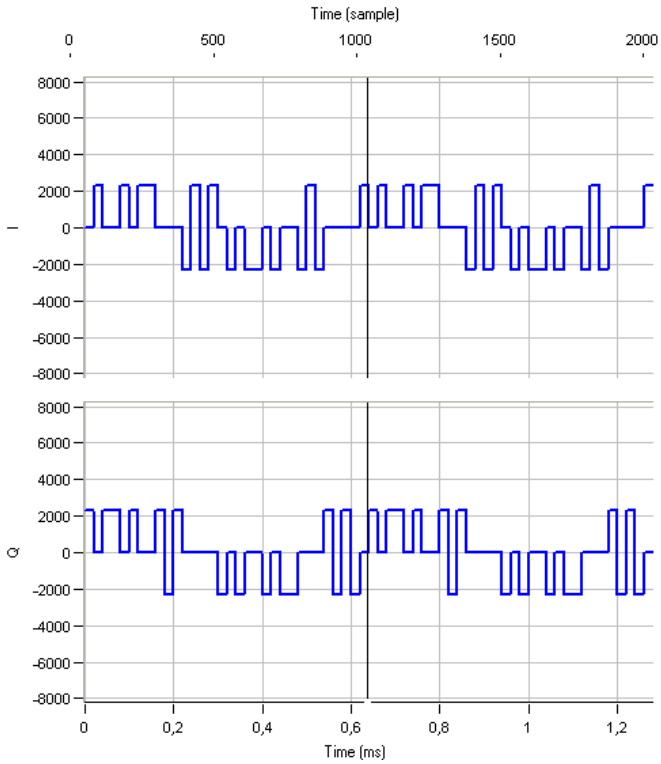


Figura 4.135. I/Q del patrón de onda QPSK y secuencia de datos "16QAM.txt"

Cada símbolo representa 2 bits, se obtiene un aumento del doble de la tasa de bits original. Debido a que la tasa de símbolos es la misma, se obtiene una secuencia periódica, repitiendo la secuencia dos veces lo que se demora en recorrer la secuencia original en el mismo período.

Patrón C: 8PSK_mod _C

Este patrón de onda usa un esquema de modulación 8-PSK. Ya que para efectos de visualización demostrado en el patrón B (periodicidad de la onda), para este patrón se usó una secuencia de datos diferente. La secuencia usada se encuentra en el archivo "8PSK.txt" creado con anterioridad. Esta secuencia

representa todos los estados posibles de 8-PSK (3 bits por símbolo), es decir 24 bits.

$$111110010011011000100101_2$$

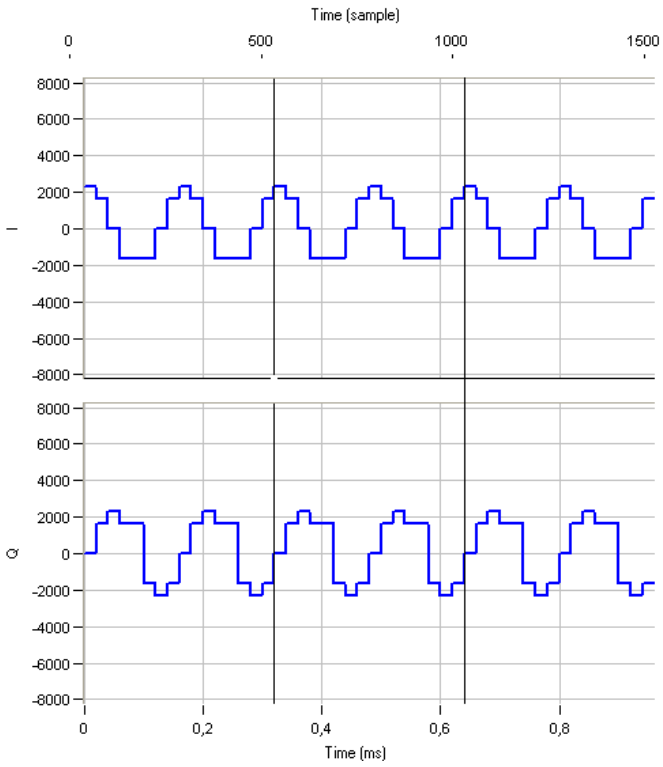


Figura 4.136. I/Q del patrón de onda 8-PSK y secuencia de datos "8PSK.txt"

Cada símbolo representa 3 bits, se obtiene un aumento en al triple de la tasa de bits original. Debido a que la tasa de símbolos es la misma, se obtiene una secuencia periódica, repitiendo la secuencia tres veces lo que se demora en recorrer la secuencia original en el mismo período.

Patrón D: 16QAM_mod_D

Este patrón de onda usa un esquema de modulación 16QAM con la secuencia creada para probar principalmente este patrón. La modulación 16 tiene una constelación de 16 símbolos y 4 bits por símbolo. Esto quiere decir que por cada símbolo receptado, se decodificará 4 bits. Esta modulación posee cambios

de amplitud en cuatro niveles en las señales I/Q así teniendo una combinación total de 16 símbolos.

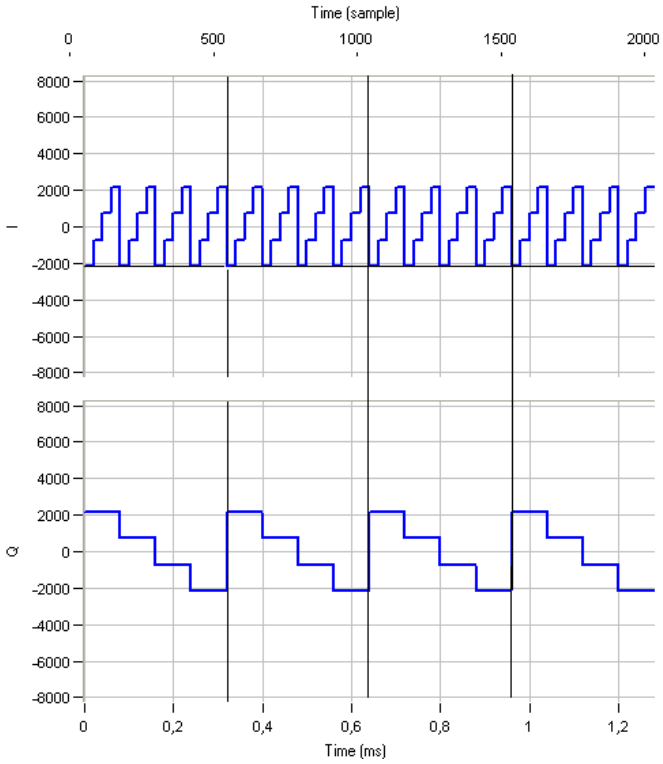


Figura 4.137. I/Q del patrón de onda 16-QAM y secuencia de datos "16QAM.txt"

Cada símbolo representa 4 bits, se obtiene un aumento de cuatro veces la tasa de bits original. Debido a que la tasa de símbolos es la misma, se obtiene una secuencia periódica, repitiendo la secuencia cuatro veces lo que se demora en recorrer la secuencia original en el mismo período.

Para comprobar las gráficas obtenidas por el IQproducer, se procederá a reproducir los patrones por el MG3700A en orden de obtener las mismas gráficas usando el osciloscopio.

La conexión física entre el generador vectorial MG3700A y el osciloscopio será a través del cable DB-15 a doble coaxial para las señales I y Q a través del conector trasero I/Q del MG3700A. Conectar señal *I* al canal 1 y el canal *Q* al canal 2.

La configuración del generador MG3700A para reproducir los patrones de onda será la siguiente:

- Apagar señal RF y modulación.
- Encender la salida de señales I/Q.
- Configuración I/Q como fuente interna.

Las señales I/Q de los patrones A, B C y D se muestran a continuación:

Patrón A - BPSK

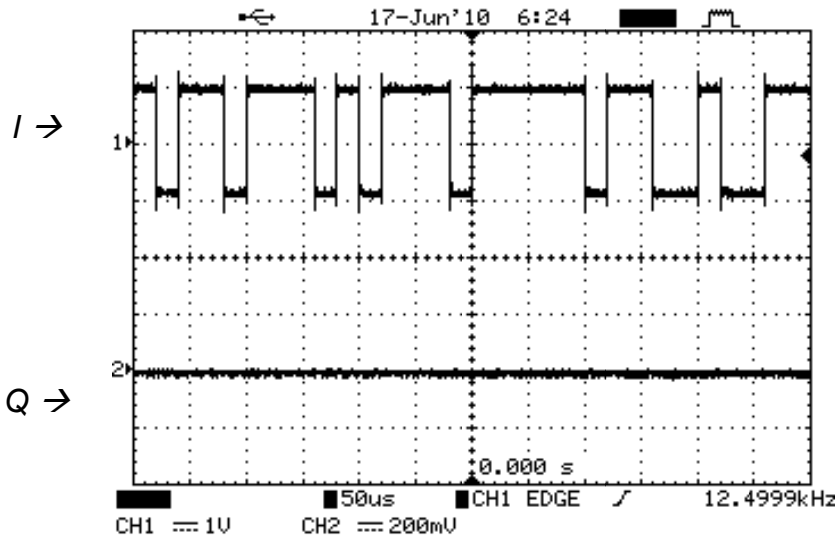


Figura 4.138. Señales I y Q por separado del Patrón A: BPSK

Patrón B - QPSK

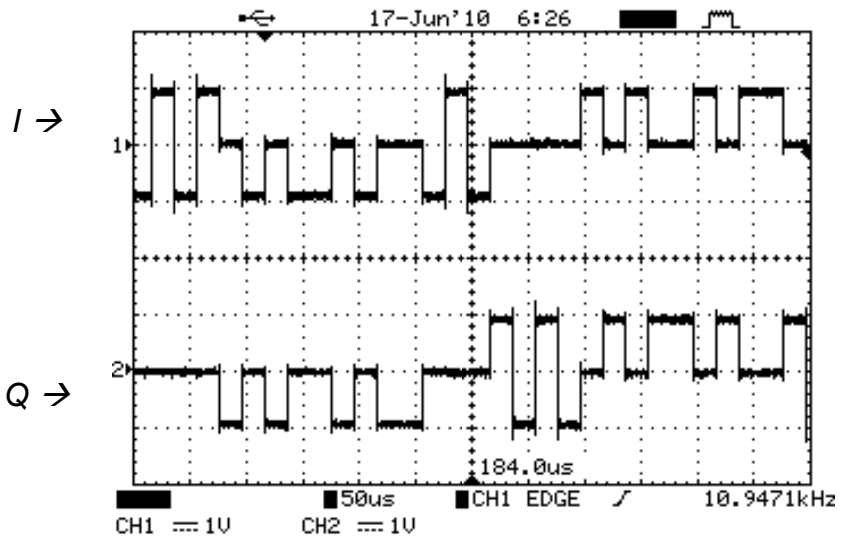


Figura 4.139. Señales I y Q por separado del Patrón B: QPSK

Patrón C - 8PSK

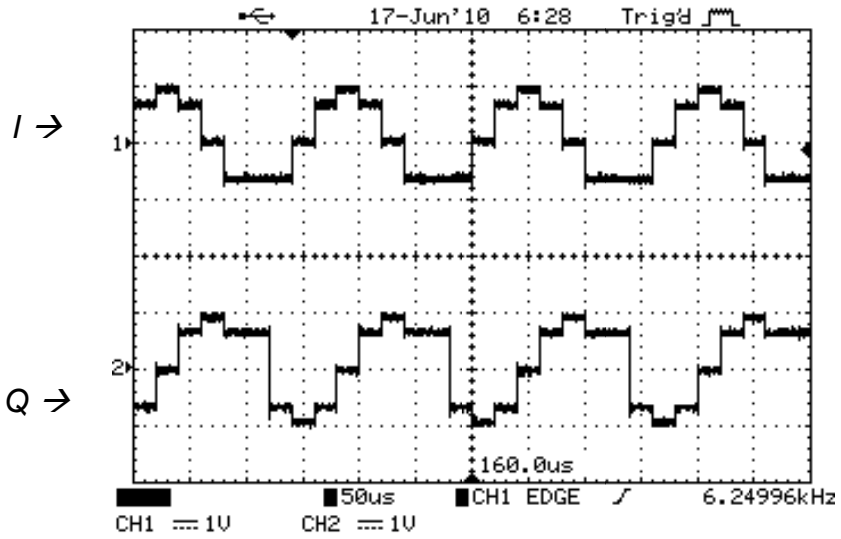


Figura 4.140. Señales I y Q por separado del Patrón C: 8PSK

Patrón D -16QAM

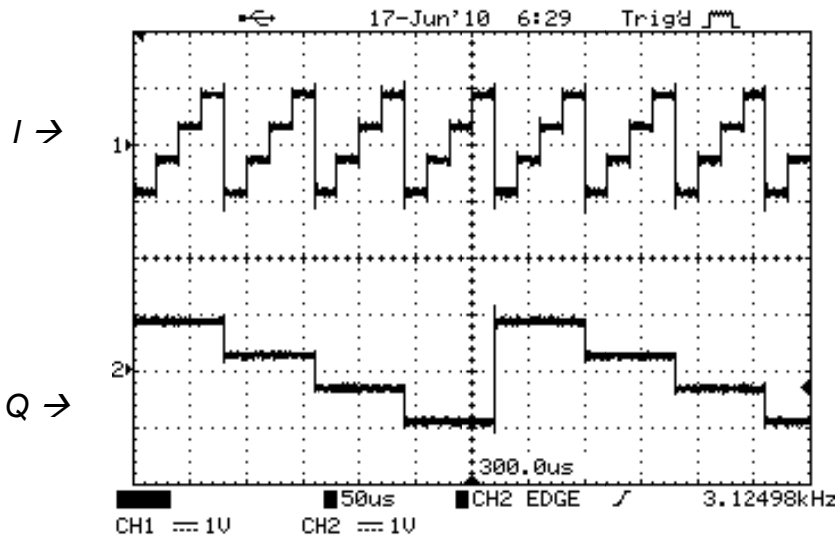


Figura 4.141. Señales I y Q por separado del Patrón D: 16QAM

Gracias a la periodicidad de los patrones, es sencillo poder observar en el osciloscopio las señales obtenidas. En el caso de las señales que se encuentran en el equipo MG3700A pertenecientes a algún estándar de telefonía celular, los patrones contienen generalmente datos definidos y otras veces son datos aleatorios que es difícil la abstracción de información. La información que contiene una señal perteneciente a un estándar fijo como W-CDMA no interesa en este caso ya que no se verá ningún tipo de demodulación ni transporte de señales. El principio fundamental de la generación de señales usando el MG3700A es aprender del procesamiento digital que sufre una señal a transmitir y el efecto que tiene el proceso al ser enviada por radiofrecuencia.

Diagramas de modulación

Cada patrón que ha sido generado a través del software IQproducer está hecho de tal manera que las secuencias contenidas en cada esquema de modulación, cumplan con todos los estados posibles de la constelación deseada.

Las constelaciones de modulación serán capturadas por un osciloscopio usando la función XY. La configuración del generador MG3700A y osciloscopio se detallarán a continuación.

Para la conexión física de los equipos es necesario usar el cable DB-15 a doble BNC para conectar la señal *I* a la entrada 1 y la señal *Q* a la entrada 2 del osciloscopio.

Configuración del generador vectorial de señales MG3700A

1. Configurar la frecuencia de portadora a 2 MHz y el nivel de señal a -10 dBm.

2. Cargar el patrón de forma de onda A, B, C o D (dependiendo del caso) a la memoria interna A y escoger el archivo para reproducirlo.

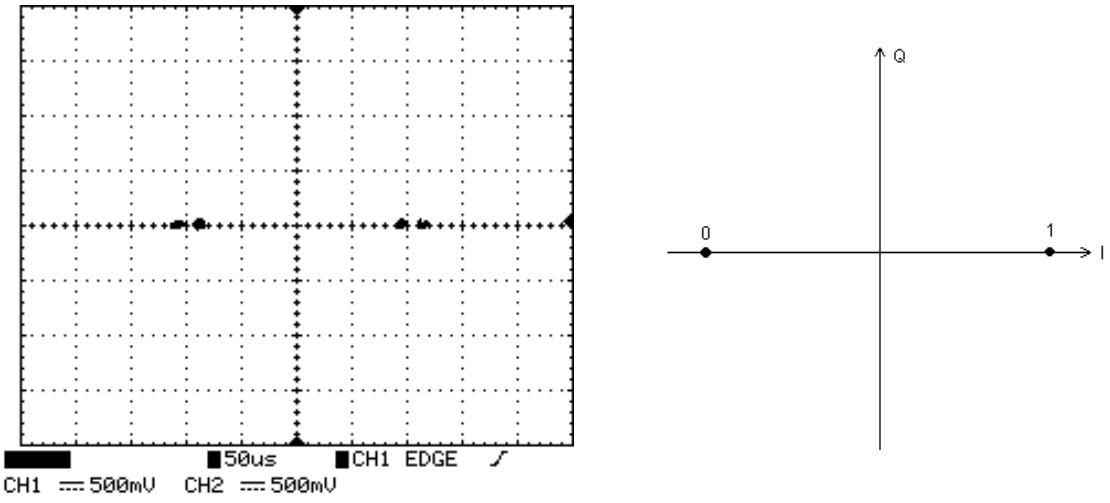
3. Activar la salida de modulación I/Q de forma externa (conector trasero I/Q).

Configuración del osciloscopio

4. Encender las entradas del osciloscopio 1 y 2.

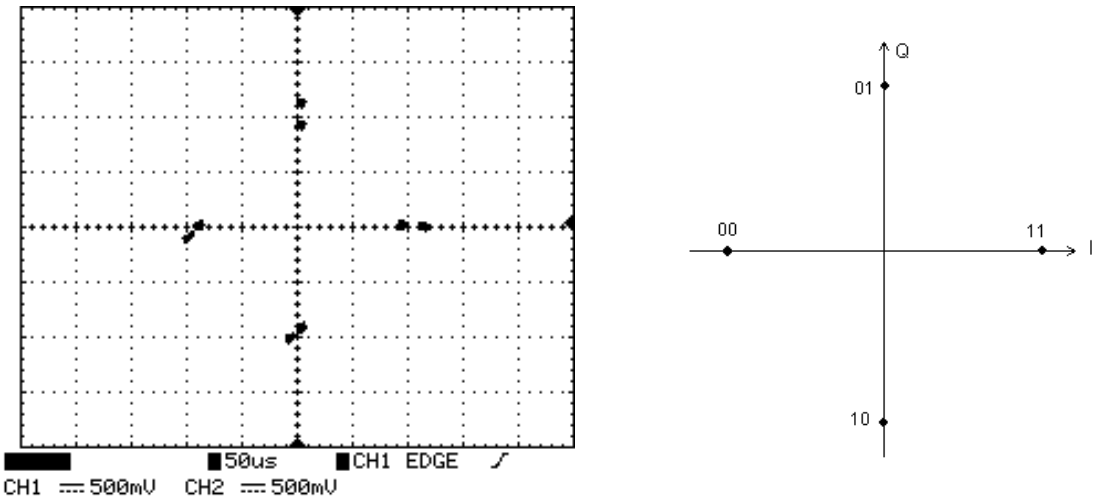
5. Colocar el método de disparo en automático.

Las trazas obtenidas en comparación de la constelación teórica se muestran a continuación:



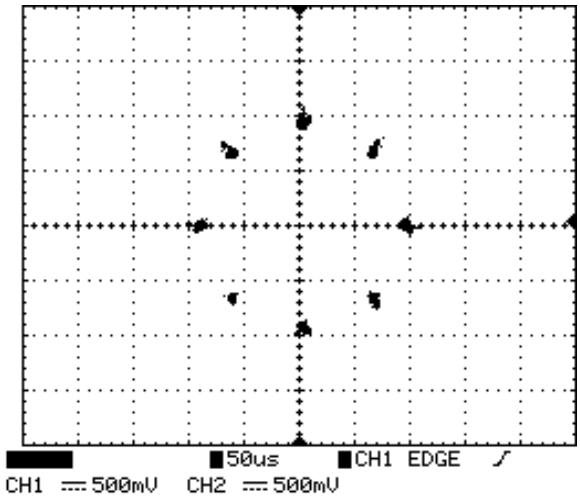
a) *b)*

Figura 4.142. Constelación BPSK. a) Osciloscopio b) Valor teórico

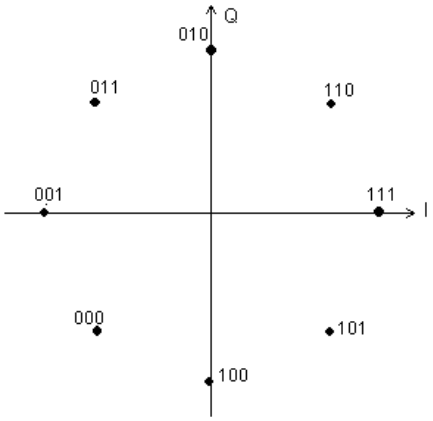


a) *b)*

Figura 4.143. Constelación QPSK. a) Osciloscopio b) Valor teórico

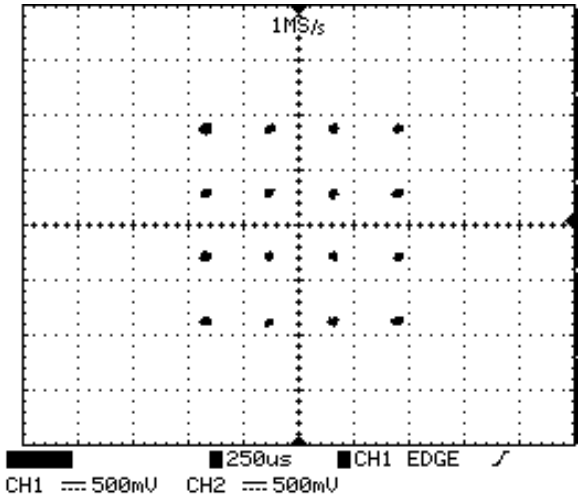


a)

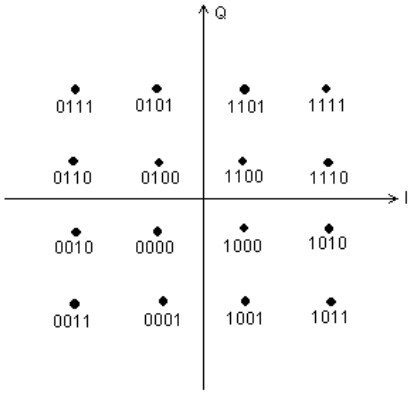


b)

Figura 4.144. Constelación 8PSK. a) Osciloscopio b) Valor teórico



a)



b)

Figura 4.145. Constelación 16QAM. a) Osciloscopio b) Valor teórico

Resultados generales de la práctica modulaciones

La práctica de esquemas de modulación tiene el fin de mostrar prácticamente como está formada una onda modulada en BPSK, QPSK, 8-PSK y 16QAM en la vida real usando el MG3700A para reproducir patrones de onda.

Además al osciloscopio hemos aprendido la herramienta de realizar bosquejos de diagramas de modulación. Como se concluyo en la otra práctica anterior, ningún sistema real de comunicación emite su información sin antes ser filtrada, por lo que los diagramas de modulación no serán tan perfectos como en este caso.

Los esquemas de modulación permiten aumentar la tasa de bits de un sistema de comunicación considerablemente, pero tiene un costo alto baja inmunidad al ruido si el esquema transmite mayor número de bits por símbolo. Por ejemplo, 16QAM posee 16 estados que se encuentran a distancias pequeñas uno de otros. Para poder que estas distancias sean lo considerablemente altas, el transmisor debe emitir su información con potencia más alta. Además el degrado que sufre la señal en el trayecto la modifica haciendo difícil para el receptor captar el mensaje. Los diagramas de modulación, al igual que los filtros variables que se analizó anteriormente, no pueden ser iguales en todos los sistemas de comunicación, es decir, no existe un mejor sistema o un sistema malo de modulación, todo depende del escenario que se desee enviar la información. Esquemas de modulación con bajo número de símbolos son eficaces ante un escenario ruidoso y con limitación de potencia. En cambio sistemas con un número alto de símbolos y mayor tasa de bits funcionan en comunicaciones de pequeña distancia, con altas potencias y con un ambiente poco ruidoso.

4.5. Creación de patrones en el estándar CDMA2000 1xEV-DO

El software IQproducer posee la licencia para crear patrones de onda en el estándar CDMA2000 1xEV-DO en la revisión 0. En este software puede crear patrones de forma de onda en el canal de bajada (*Forward*) y en el canal de subida (*Reverse*) ya que sus aplicaciones se manejan como dos programas diferentes. Al igual que TDMA, CDMA2000 1xEV-DO puede simular sus patrones de onda usando las tres herramientas gráficas que presenta IQproducer que son dominio del tiempo, FFT y CCDF.

Debido a que CDMA2000 1xEV-DO es un estándar de telefonía móvil celular, sus parámetros de capa física ya se encuentran definidos. El software IQproducer puede configurar únicamente parámetros físicos como número portadoras y esquemas de modulación permitidos en EV-DO. Los demás parámetros son parámetros de datos que pueden ser personalizados para una prueba de alguna aplicación específica que requiera el intercambio de información usando EV-DO como estándar de comunicación. Ya que el objetivo de la práctica es mostrar y aprender parámetros de capa física de los estándares celulares, no se verá la aplicación de prueba de datos, por lo que se obviará todo lo que se refiera a configuración en el campo de datos. Aunque en esta tesis no se use la función de modificación de datos, es interesante tener para futuro esta herramienta ya que puede ser muy útil para probar algún sistema de comunicación basado en CMA2000 1xEV-DO.

Se procede a crear una señal en el canal de bajada (*Forward*) para luego crear su patrón de onda y transferirlo al MG3700A. Con herramientas como FFT del IQproducer se comprobará el espectro de la señal usando el analizador de espectro Anritsu MS2036A. Finalmente se comprobará la modulación empleada en el patrón creado con un osciloscopio graficando su diagrama de constelación.

4.5.1. CDMA2000 1xEV-DO Forward Channel

Acceder a la función de *CDMA2000 1xEV-DO Forward Channel* dentro del IQproducer. Por la barra de menú: "*System*" → "*1xEVDO FWD*"

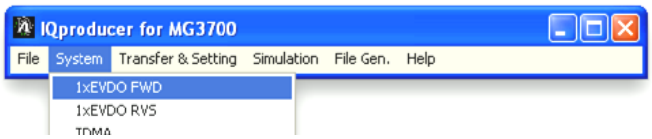


Figura 4.146. Apertura de 1xEVDO FWD

La siguiente ventana se abre a continuación:

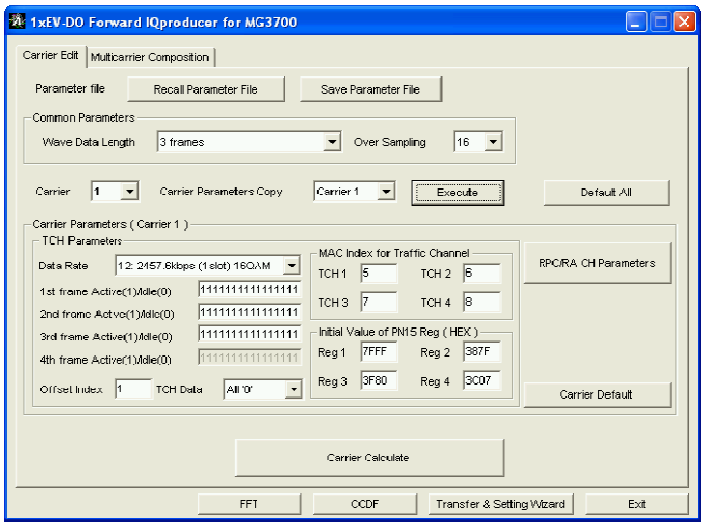


Figura 4.147. Ventana de *1xEVDO Forward Channel*

Esta ventana se procederá a configurar únicamente el valor de la tasa de datos, y la longitud de información, esto es, usando una trama, dos, tres o cuatro tramas. Ya que el valor de datos no es importante es estas prácticas se escogerá el valor de 1 trama. Esto significa que solo se tendrá una portadora una portadora. Aquí se debe asignar también el factor de sobre modulación. Como se explicó en las

prácticas de TDMA, un valor alto de sobre modulación nos brinda un patrón mas acertado al tener mayor número de puntos para el muestreo.

En la Figura 4.148 se configura los parámetros comunes que actuarán sobre las tramas que se configuren en general. Escoger:

- *Wave Data lenght* : “1 Frame (Single Carrier Only)”
- *Over Sampling*: “16”

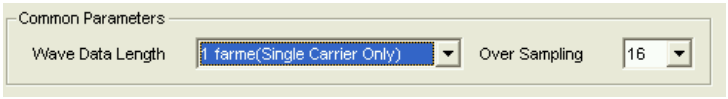


Figura 4.148. Configuración de parámetros comunes

Una vez configurado el valor para todas las portadoras de EV-DO canal de bajada, se debe especificar que el valor de configuración aplica para todas las portadoras. Esto significa que no se va a configurar más que una sola portadora y automáticamente se configurarán las demás.

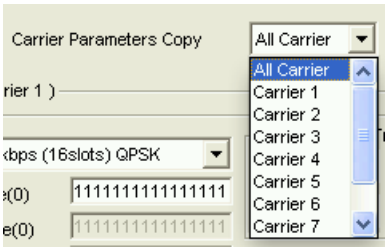


Figura 4.149. Configuración de parámetros comunes

Para aplicar la configuración a las demás portadoras, presionar el botón “*Execute*” que se encuentra en el lado derecho.

La casilla de tasa de datos nos permite especificar la velocidad y modulación para esta práctica. Para poder realizar una comprobación más sencilla de la

información contenida en el patrón a crea, escoger la tasa de 38,4 kbps que a su vez posee un esquema de modulación QPK.

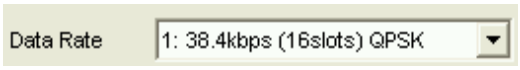


Figura 4.150. Configuración tasa de datos y modulación.

Antes de terminar la configuración de la onda verificar que la siguiente ventana de índices MAC para canales de tráfico se encuentre de la misma manera como muestra la siguiente grafica:

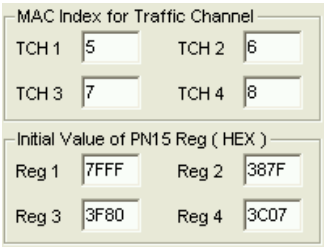


Figura 4.151. Configuración tasa de datos y modulación.

Para evitar cambios en la forma de onda final, es preferible no modificar la configuración predeterminada de los índices MAC.

Los parámetros de canales RPC y RA no serán tampoco configurados ya que no interesa el valor de datos. Únicamente verificar que se encuentre apagada la opción con el botón de radio de canales RPC y RA de la siguiente ventana:

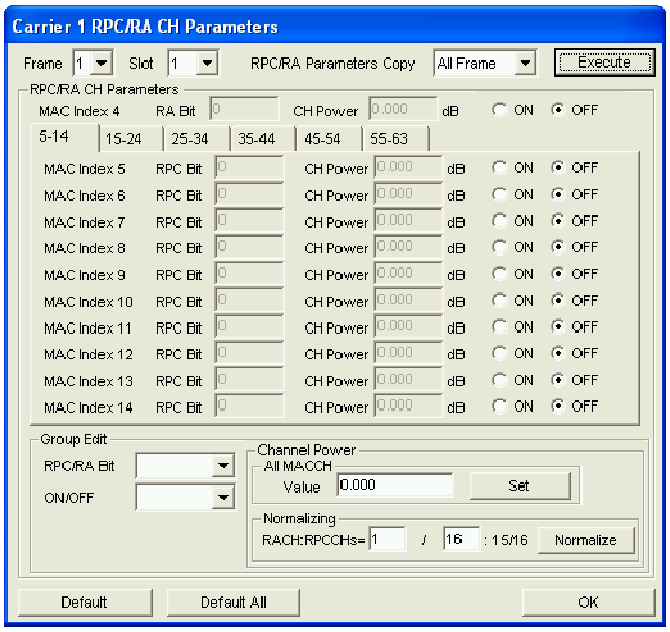


Figura 4.152. Parámetros de canales RPC y RA

En este punto se ah configurado el patrón de onda con valores estándar de datos, la ventana de configuración total debe tener la siguiente configuración:

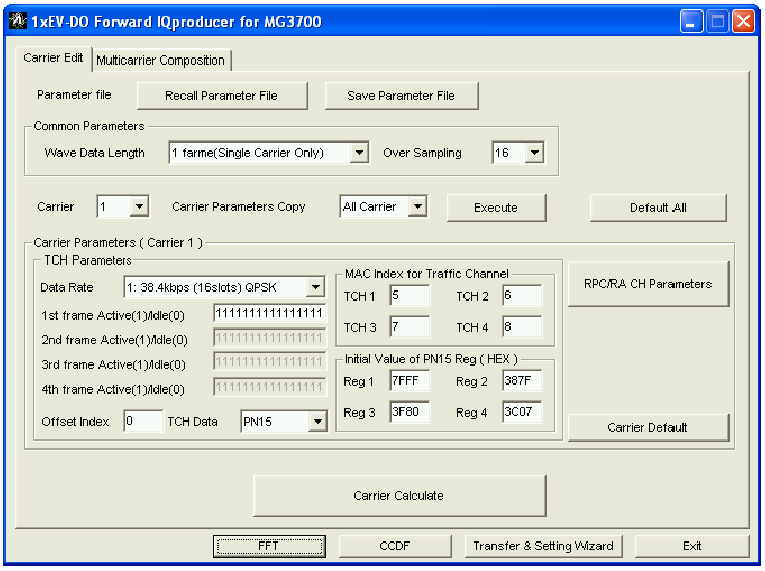


Figura 4.153. Ventana de configuración final del patrón de onda

Presionar el botón de "*Carrier Calculate*" para *calcular* la portadora. No se debe confundir ya que este proceso no crea aún el patrón de onda. Configurar las portadoras a asignar en la pestaña de "*Multicarrier Composition*".

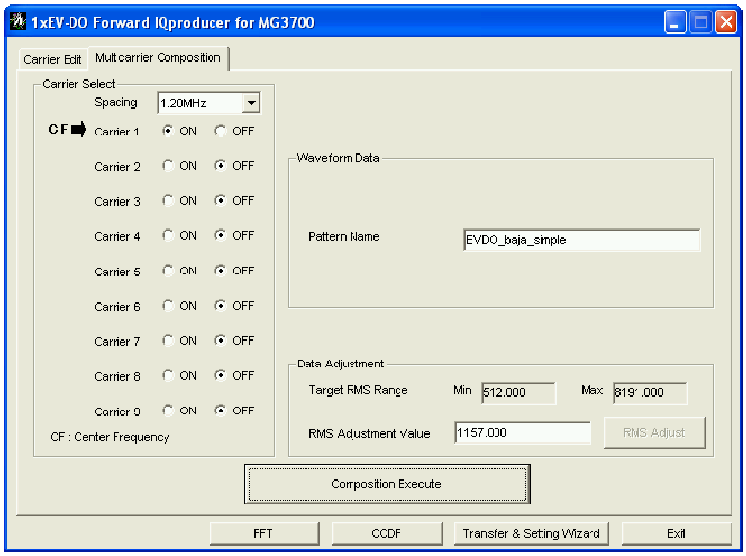


Figura 4.154. Pestaña "*Multicarrier Composition*"

En esta ventana se debe activar solo una portadora. El software permite crear hasta 9 portadoras con un ancho de separación de portadora variable. Pero para métodos ilustrativos de señal espectro y constelación, se escoge solo la portadora 1 (*Carrier 1*) y las demás se desactivan. En esta etapa se escoge el nombre del patrón. En la ventana de "Pattern Name" escribir "EVDO_baja_simple" como nombre del patrón. El valor de "*RMS Adjustment Value*: 1157.000" no debe ser modificado ya que es un valor interno de funcionamiento del MG3700A.

Crear el patrón con el botón "*Composite Execute*". Si todo el proceso se encuentra correcto, al finalizar indica un mensaje de onda creada correctamente.

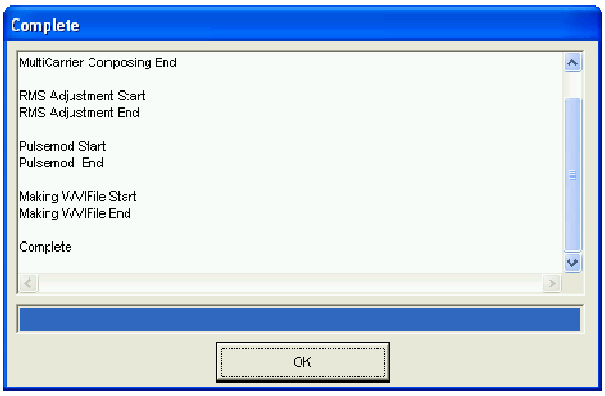


Figura 4.155. Creación correcta del patrón: EVDO_baja_simple

En este paso es necesario transferir el patrón al equipo MG3700A vía LAN. A diferencia de los patrones creados en TDMA donde se puede crear el nombre del paquete que pertenezca el patrón, IQproducer EVDO FWD crea un paquete automáticamente llamado "1xEVDO_FWD_IQproducer" donde guarda el patrón generado.

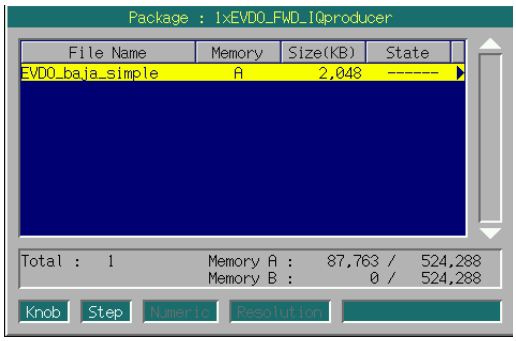


Figura 4.156. Paquete "1xEVDO_FWD_IQproducer" dentro del MG3700A

- **Análisis espectral: IQproducer FFT y analizador de espectro**

Usando la herramienta gráfica de FFT del IQproducer se procederá a una vista rápida del patrón creado. En este se comprobará el ancho de banda de la señal.

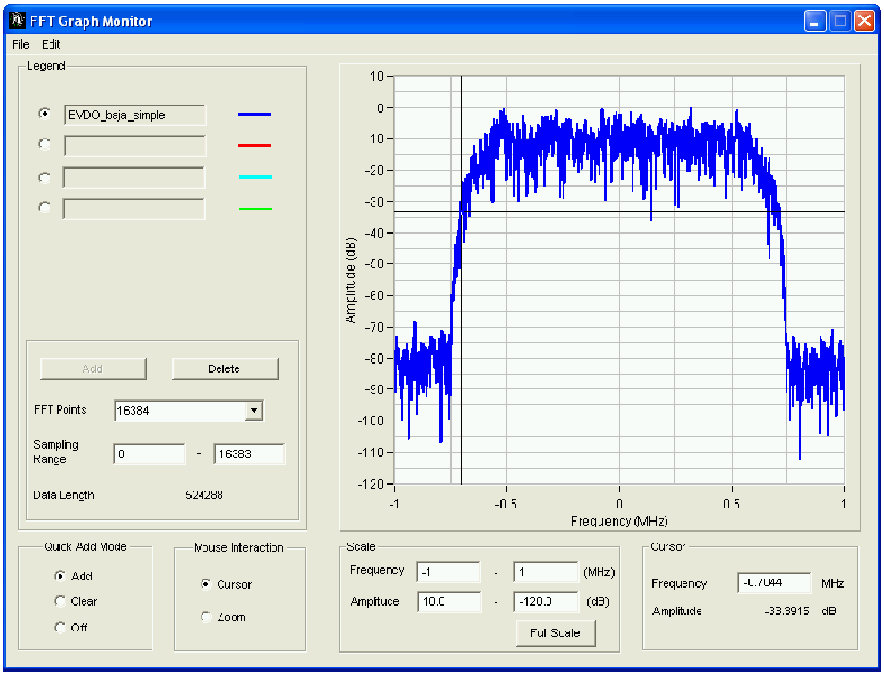


Figura 4.157. Medición espectro IQproducer FFT

Para reproducir el patrón en el MG3700A se configuró de la siguiente manera.

- Frecuencia de portadora: 800 MHz
- Nivel se señal -10 dBm

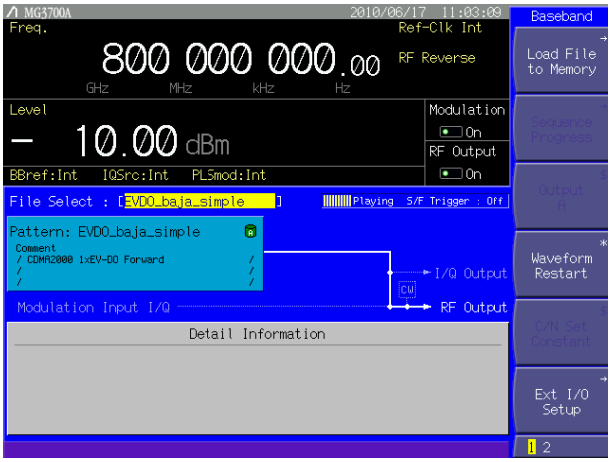


Figura 4.158. Configuración MG3700A para espectro patrón "EVDO_baja_simple"

El analizador de espectro MS2036A será ajustado para medir la portadora y el nivel de señal. Se ha usado la función de promedio con 32 trazas y la función de ancho de banda ocupado sobre la portadora de 800 MHz.

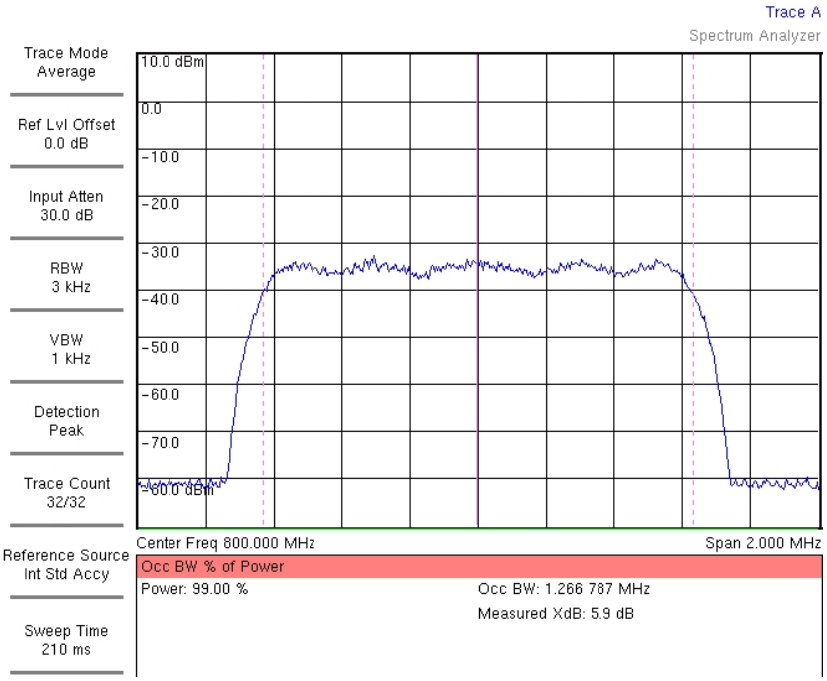


Figura 4.159. Figura 4.160. Medición espectro con analizador de espectro

- **RESULTADO ESPECTRAL**

Aunque se ha configurado la forma de onda de CDMA2000 1xEV-DO con los parámetros básicos, su forma es igual que cualquier forma de onda en el estándar CDMA básico. Conserva su espectro de 1.25 con la característica de una potencia uniforme a lo largo de toda la banda. Gracias a la práctica efectuada en TDMA, esta potencia constante en toda una banda definida cuadrada es efecto de un filtro con una frecuencia de corte fuerte, o un filtro del estivo pasa bajo ideal que se analizó anteriormente.

- **Señales I/Q en el tiempo y diagrama de constelación**

Los resultados de esta medición serán efectuados por un osciloscopio que medirá los canales I y Q del patrón CDMA2000 1xEV-DO. Además se analizará el diagrama de constelación del patrón de onda. Ya que se configuró a la señal EVDO_baja_simple con una tasa de datos de 38.4 kbps y una modulación QPSK, se observará los pulsos I/Q y la generación del diagrama de modulación QPSK.

Para configurar los equipos, primero se debe conectar el generador vectorial MG3700A con el osciloscopio usando el cable DB-15 a doble BNC.

En el generador apagar la salida RF y la modulación. Activar la salida de I/Q a través del conector trasero.

Las señales I/Q se muestran a continuación:

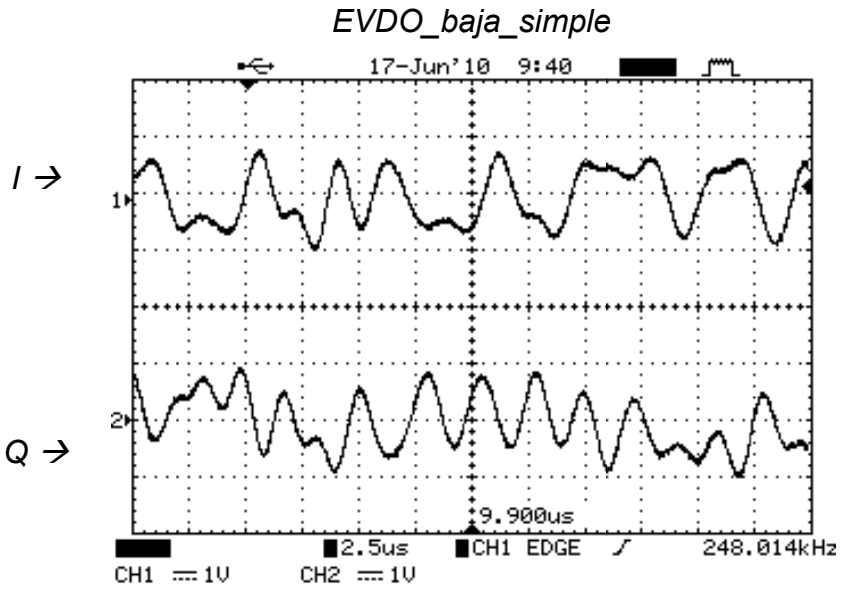


Figura 4.161. Señales I y Q por separado del patrón "EVDO_baja_simple"

La Figura 4.162 ilustra el diagrama de constelación de QPSK.

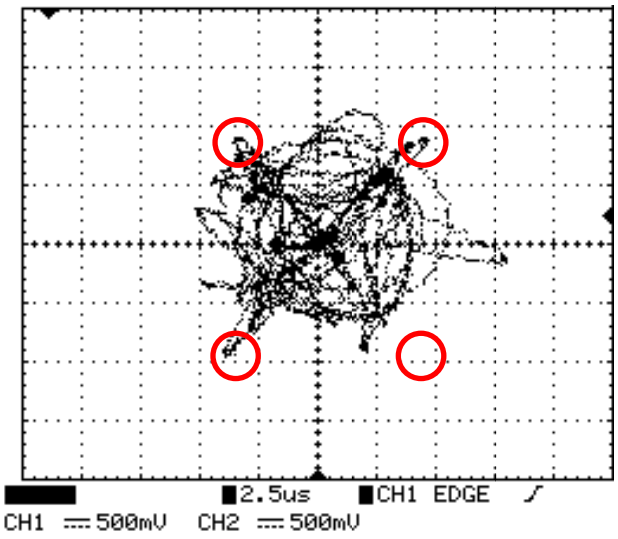


Figura 4.162. Constelación QPSK de patrón de señales "EVDO_baja_simple"

La constelación de señales de QPSK obedece a la conclusión tomada en la práctica de filtros de que si se aplica un filtro más severo al patrón (en este caso un filtro pasa bajos), las trayectorias de los símbolos no serán limpias ni directas, fluctuarán dependiendo de qué símbolo haya venido y a que símbolo vaya a cambiar. El gráfico muestra una clara constelación QPSK saltando principalmente en diagonales los símbolos, por eso se muestra más asentada la forma de una "X".

- **Resultados generales de análisis del tiempo**

La característica fundamental del análisis en el tiempo de una señal EV-DO es que su estándar está hecho principalmente para el canal de bajada únicamente, dividiendo su portadora en ranuras de tiempo para aumentar su tasa de datos.

En la Figura 4.163 se puede ver a la forma de onda en señales I/Q correspondientes a una división por tiempo, es decir multiplexada la señal. No interesa el valor de la información, pero interesa ver el concepto básico de EV-DO.

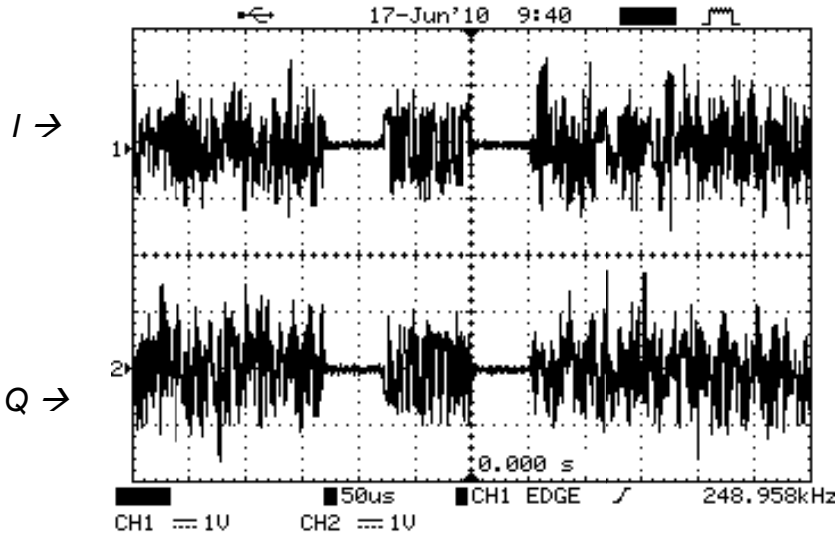


Figura 4.163. Señal CDMA con principio de división en el tiempo

La tecnología CDMA2000 1xEV-DO[7] en canales de subida y bajada son completamente iguales en lo que respecta a capa física. La única diferencia que existe en el canal de bajada es la capacidad de brindar modulación 16QAM. El canal de subida solo permite modulación QPSK debido a problemas de potencia. Recordar que EV-DO emite con potencia máximo a todos los usuarios en el canal de bajada, pero el canal de subida un usuario no puede incrementar su potencia debido a la batería del terminal móvil.

El motivo para no realizar analizar un patrón de onda de en canal de bajada modulado en 16QAM es que su diagrama de modulación no es posible visualizar usando un osciloscopio. Para estos casos se necesita un decodificador o un equipo medidor puro de datos.

[7] CDMA2000 1xEV-DO Revisión 0

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este documento ha sido realizado con el fin de ayudar a alumnos de pregrado a comprender los principios fundamentales de capa física de telefonía celular móvil de forma práctica y didáctica usando como herramienta principal el equipo Generador Vectorial de Señales Anritsu MG3700A.

Se han abordado varios puntos en el compendio de este documento de los cuales se puede hacer las siguientes conclusiones.

- El resumen de telefonía móvil celular en el capitulo teórico aporta con información valiosa y compacta para que el lector pueda desarrollar las prácticas de laboratorio de manera más comprensible.

- Para el uso de equipos de medición se ha agregado un resumen básico de su funcionamiento y terminología para ayudar en el desarrollo de las prácticas.

- Dentro del estudio universitario, el uso y prácticas con un analizador de espectro es muy limitado, por lo que se creó una pequeña guía el uso del analizador de espectro Anritsu MS2036A y sus funciones principales prácticas para la medición espectral de señales.

- Se ha hecho un resumen del uso y funcionamiento del Generador Vectorial de Funciones Anritsu MG3700A basado en el manual de usuario y las funciones principales a usar en la práctica. Este resumen permitirá no solo usar el equipo para las prácticas de laboratorio, sino guiar al usuario a manejar el equipo de forma ágil y segura para en a futuro, por ejemplo, crear nuevas prácticas de laboratorio según su interés.

- Los estándares tratados en las prácticas son: TDMA, GSM, CDMA2000 1xRtt, CDMA2000 1xEV-DO y W-CDMA. El principal enfoque que se dio a lo largo de las prácticas fue al análisis de capa física excluyendo la información que llevan codificada las señales. El principal impedimento para analizar la información

que carga cada estándar, es que actualmente no se cuenta con un equipo decodificador de señales en los laboratorios de electrónica de la Escuela Superior Politécnica del Ejército.

- Con el software IQproducer que viene incluido en el equipo para PC, se pueden crear patrones de onda para luego transferirlos al MG3700A y reproducirlos como una señal modulada en RF con amplitud y frecuencia variable. Existe un impedimento ya que este software solo permite la reproducción de patrones de onda en el MG3700A si se posee una licencia de funcionamiento. En las prácticas de laboratorio se usaron los estándares TDMA y CDMA2000 1xEV-DO (*Forward Channel* y *Reverse Channel*) del IQproducer ya que la Escuela Politécnica del Ejército adquirió las licencias de estos estándares el momento que adquirió el MG3700A.

- Es posible crear cualquier patrón de los estándares que vienen incluidos en el software IQproducer y no necesariamente reproducirlos por el MG3700A. Aunque se tendrá la limitación de no tener una señal física usando el generador vectorial de señales MG3700A, se pueden usar estos archivos de patrón en software de simulación de señales como MATLAB o *Microwave Office*.

- Gracias a la capacidad del software IQproducer TDMA en la modificación de parámetros de capa física, se pudo generar prácticas de laboratorio completamente interactivas con la teoría que el lector aprendió en el resumen de telefonía móvil celular.

- El software IQproducer CDMA2000 1 EV-DO (*Forward Channel* y *Reverse Channel*) permite la creación de patrones de onda bajo el estándar de CDMA2000 EV-DO. En este documento no se pudo aprovechar de las capacidades máximas del software ya que está diseñado más a la modificación de datos contenidos en el campo de información que a la modificación de parámetros de capa física.

Aunque en este documento se hayan cubierto varios temas de prácticas de laboratorio usando el equipo MG3700A, equipos de medición como analizador de espectro y osciloscopio, existen muchas otras aplicaciones que se podrían realizar o profundizar de la base de lo aprendido.

Este equipo fue creado principalmente para probar sistemas de comunicación inalámbricos y medir la tasa de errores de bits (BER). Como el equipo MG3700A es basado en un generador vectorial aleatorio, se pueden usar herramientas de software como MATLAB para crear patrones de onda con componentes I/Q y reproducirlos a través del MG3700A en una señal modulada en RF. El equipo tiene tantas funciones de creación y reproducción de patrones de onda que son imposibles cubrirlas en este documento. La posibilidad de generación de nuevas prácticas y aplicaciones son muchas, lo que lo hace del MG3700A una excelente herramienta educativa y de desarrollo.

Ya que el generador vectorial de señales Anritsu MG3700A y el analizador vectorial de redes Anritsu MS2036A (analizador de espectro) serán equipos destinados al laboratorio de Electrónica de la Escuela Superior Politécnica del Ejército, se recomienda que para un mejor desarrollo estudiantil y de investigación se tenga en consideración la adquisición de un equipo o software decodificador de señales en los estándares de telefonía celular de tercera generación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Clint Smith, Daniel Collins, *3G Wireless Networks*, McGraw-Hill, 2002, Primera Edición.

[2] Agilent Technologies, *Digital Modulation in Communications Systems - An Introduction.pdf*, www.home.agilent.com, 2001, 2010.

[3] Harry Newton, *Newton's Telecom Dictionary,* CMP Books, 2003, 19th Edition.

[4] Kostedt, Fred, *Practical GMSK Data Transmission.pdf*, http://sss-mag.com/pdf/gmsk_tut.pdf, 1998, 2010

[5] Anritsu Company, *Must-Have Reference for Wireless Communication.pdf*, www.us.anritsu.com,2008, 2010.

[6] Alan S.Morris, *Principles of Measurement and Instrumentation*, Prentice Hall, 1994, Segunda edición.

[7] M.R. Karim, *W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks*, McGraw-Hill, 2002, Primera Edición.

[8] Tektronix, *XYZs of Oscilloscopes*, www.tektronix.com, 2009, 2010

[9] Anritsu Company,*MG3700A Operation Manual (Standard Waveform Pattern).pdf*, 2008, 2010

[10] Anritsu Company,*MG3700A Operation Manual (Mainframe).pdf*, 2008, 2010

[11] Anritsu Company,*MG3700A Operation Manual (IQproducer™).pdf*, 2008, 2010

[12] Anritsu Company,*MX370102A TDMA IQproducer™ (For MG3700A) Operation Manual.pdf*, 2008, 2010

[13] Anritsu Company,*MX370103A 1xEVDO IQproducer™ (For MG3700A) Operation Manual.pdf*, 2008, 2010

[14] Asha Mehrotra, *GSM System Engineering*, Artech House, 1997, Primera edición.

[15] David Hall, *Sniffing GSM off the air*, www.rfdesignline.com/206904824, 2008, 2010

[16] Samuel C. Yang, *3G CDMA2000 Wireless System Engineering*, Artech House, 2004, primera edición.

Sangolquí 29 de Junio del 2010

ELABORADO POR:

_____

Pablo Fernando Raza Buitrón

C.I. 171559154-9

_____

Ing. Gonzalo Olmedo Ph.D

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES