



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS



CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**“ESTUDIO PARA DETERMINAR MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE
MEDICIÓN PARA FRECUENCIAS SUPERIORES A LOS 5GHZ. PARA LA
DELEGACIÓN REGIONAL CENTRO SUPERINTENDENCIA DE
TELECOMUNICACIONES”**

**Proyecto de Pasantía de grado previo a la obtención del Título de Ingeniera en
Electrónica y Comunicaciones.**

Autor:

MARÍA DANIELA GUTIÉRREZ CASTILLO

Tutor:

Ing. JULIO CUJI

Ambato – Ecuador

Diciembre 2007

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad del tutor del trabajo de investigación sobre el tema:

“ESTUDIO PARA DETERMINAR MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN PARA FRECUENCIAS SUPERIORES A LOS 5GHZ. PARA LA DELEGACIÓN REGIONAL CENTRO SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES”, de la señorita María Daniela Gutiérrez Castillo, estudiante de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas de la Universidad Técnica de Ambato considero que dicho informe investigativo reúne los requerimientos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación de conformidad al Artículo 68 del Reglamento de Pregrado de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, diciembre 2007

EL TUTOR

Ing. Julio Cuji

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación “*ESTUDIO PARA DETERMINAR MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN PARA FRECUENCIAS SUPERIORES A LOS 5GHZ. PARA LA DELEGACIÓN REGIONAL CENTRO SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES*”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Ambato, diciembre 2007

María Daniela Gutiérrez Castillo

C.C. 1803865789

DEDICATORIA

Este Proyecto está dedicado a Dios por ser la luz en mi camino, a mis padres queridos quienes siempre han tenido las palabras justas en el momento indicado, a mi familia que son una parte fundamental en mi vida y a todos mis amigos que son motivadores constantes.

AGRADECIMIENTO

Expreso total gratitud al Ing. Julio Cuji tutor de mi pasantía y al Ing. Alex Troya tutor empresarial, que gracias a sus conocimientos impartidos de manera ética y profesional han contribuido en gran parte al desarrollo del presente trabajo, y a Don Gerardo Sánchez quien está a cargo de la biblioteca de las Facultad de Ingeniería en Sistemas por brindarme su ayuda y mano amiga.

INDICE:

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Tema de investigación	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	2
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.2.5 Delimitación del problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos.....	5
2.2 Fundamentación Legal.....	5
2.3 Categorizaciones Fundamentales.....	31
ANTENAS.....	31
Definición.....	31
Distribución de corriente en una antena.....	31
Parámetros generales de una antena.....	32
Impedancia.....	32
Resistencia de radiación.....	33
Resistencia de pérdidas.....	33
Eficiencia o Rendimiento de la antena.....	33
Intensidad de Radiación.....	34
Diagrama de Radiación.....	35
Directividad.....	41
Ganancia.....	42
Polarización.....	42

Ancho de Banda de la Antena.....	43
Parámetros de antenas receptoras.....	44
Adaptación.....	44
Área y longitud efectiva.....	45
Campos Cercanos y Lejanos.....	46
Ecuación de transmisión.....	46
Tipos de antenas.....	48
Antenas de Hilo.....	49
Antenas de Apertura y Reflectores.....	52
Agrupaciones de Antenas.....	55
Lentes.....	56
Antenas en recepción.....	58
Por Frecuencia y tamaño.....	60
Por Directividad.....	60
Por Construcción física.....	61
Por Aplicaciones.....	61
PROPAGACIÓN DE ONDAS.....	61
Propagación en el espacio libre y en el entorno terrestre.....	61
Efecto de la tierra.....	63
Reflexión en tierra plana.....	63
Difracción.....	65
Onda de superficie.....	67
Efecto de la troposfera.....	67
Atenuación.....	67
Refracción.....	69
Difusión Troposférica.....	71
Efecto de la ionosfera.....	72
ESPECTRO.....	72
Definición de espectro.....	73
Razones para medir el espectro.....	73
Análisis espectral.....	73
Analizador de espectro.....	75
Analizadores por barrido de frecuencia (swept-tune).....	76
Atenuador de entrada.....	77

Mezclador.....	77
Generador de barrido.....	78
IF Filter.....	78
Detector.....	79
Tipos de Detectores.....	80
Video Filter.....	83
Analizador por FFT (Fast Fourier Transform).....	85
Transformada del tiempo en el dominio de frecuencia.....	85
Transformada de Fourier Discreta DFT.....	86
Transformada Rápida de Fourier FFT.....	86
Frecuencia de Nyquist.....	86
Efecto aliasing.....	87
Filtro antialiasing.....	88
Analizadores por FTT.....	88
Amplificador.....	89
Convertidor Análogo Digital.....	90
Definiciones y términos.....	90
Frecuencia central.....	90
Ref Level.....	90
Rango dinámico.....	90
Span.....	91
Span cero (zero Span).....	92
Span máximo (Full Span).....	92
Anchura del canal.....	93
Espaciado del canal.....	93
Funciones.....	93
Marcadores delta.....	93
FStep.....	93
Límites.....	93
Calibración.....	93
Compensación de ganancias y pérdidas.....	94
Modificación de la Impedancia de Entrada.....	94
Configuración de la traza.....	94
Características principales de un analizador.....	95

Rango de frecuencias.....	95
Sensibilidad.....	95
Tiempo de Barrido (SWT).....	95
Características No linealidades.....	95
Resolución en frecuencia.....	96
Parámetros que determinan la resolución de frecuencia.....	97
Ancho de banda de resolución RBW.....	97
Selectividad (factor de forma).....	98
FM Residual.....	99
Bandas Laterales de Ruido.....	99
Dependencia de parámetros.....	100
Tiempo de barrido, span, RBW y VBW.....	100
Atenuador y nivel de referencia.....	101
Medidas De Nivel Y De Frecuencia.....	101
Técnicas de medición.....	102
Ajuste en los parámetros de nivel.....	102
Reduciendo el nivel de ruido.....	103
Alta sensibilidad en mediciones de armónicos.....	103
Medición del espectro de señales complejas.....	103
Aplicaciones típicas.....	104
Medición del ruido de fase, armónicos y espúreas.....	104
Ruido de fase.....	104
Armónico.....	105
Medición de productos de intermodulación.....	106
Distorsión de intermodulación.....	106
Medida en potencia de canal y canal adyacente.....	108
Modo de potencia de canal.....	110
Relación de potencia de canal adyacente (ACPR).....	111
Ancho de banda ocupada (OBW).....	111
Análisis de espectro con Modulación.....	111
RUIDO EN AMPLIFICADORES.....	113
Tipos de ruido eléctrico.....	113
Por el exterior.....	113
Lo genera el propio circuito.....	113

Interferencias o EMI.....	113
EMC.....	114
EMS.....	114
Ruidos aleatorios.....	116
Ruido térmico o de Johnson.....	116
Ruido de disparo.....	116
Ruido de baja frecuencia.....	117
Medidas del ruido.....	117
Densidad de ruido.....	117
Relación señal-ruido.....	118
Figura de ruido.....	118
Temperatura de ruido.....	119
Ruido en amplificadores.....	120
Problemas de tierras.....	121
Conexión entre equipos.....	121
Amplificadores de Bajo Ruido.....	122
LNA (Low Noise Amplifier).....	122
LNB (Low Noise Block Down Converter).....	123
LNC (Low Noise Converter).....	124
2.4 Hipótesis.....	125
2.5 Determinación de Variables.....	125
2.5.1 Variable Independiente.....	125
2.5.2 Variable Dependiente.....	125
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	
3.1 Enfoque.....	126
3.2 Modalidad Básica de la Investigación.....	126
3.3 Niveles de Investigación.....	126
3.4 Población y muestra.....	126
3.5 Recolección de información.....	127
3.6 Procesamiento de la información.....	127

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Estudio de los parámetros que intervienen en los enlaces microonda.....	128
4.2 Estudio de los equipos que intervienen en la medición de la señal.....	128
4.3 Obtención de los datos del patrón de radiación de la envolvente.....	129
4.4 Propuesta de los métodos de medición desarrollo.....	130
4.5 Procedimientos de medición.....	146
4.6 Pruebas prácticas.....	148

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	152
5.2 Recomendaciones.....	155

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Justificación.....	157
6.1.1 Validación Operacional.....	158
6.1.2 Validación Técnica.....	158
6.1.3.1 Hardware.....	158
6.1.3.2 Software.....	159

BIBLIOGRAFIA.....	160
-------------------	-----

ANEXOS.....	162
-------------	-----

Manual del programa.....	163
--------------------------	-----

Manual del analizador de espectros.....	176
---	-----

Equipos.....	213
--------------	-----

Datos de Enlaces.....	232
-----------------------	-----

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente estudio se plantea un método y procedimientos de medición para frecuencias superiores a 5 GHz, para esto se ha considerado en primera instancia los equipos que dispone la empresa, para en función de éstos proponer los métodos que más se ajuste a sus requerimientos.

Se ha desarrollado una aplicación, la misma que tiene como función determinar el nivel de señal que se recepta a cierta distancia a partir de la torre donde se encuentra la antena transmisora, para la realización de la misma se ha considerando una serie de parámetros como: las pérdidas por espacio libre, pérdidas de conductores, ganancia de la antena transmisora, entre otros; los cuales serán detallados posteriormente.

Se ha propuesto tres procedimientos de medición, los mismos que fueron planteados entorno a los equipos que disponen y a los que se podrían adquirir.

Adicionalmente se sugiere modelos de antenas receptoras que trabajen en la banda SHF (súper alta frecuencia) para el analizador de espectros, como también de amplificadores de bajo ruido; considerando cada una de sus características,

Se realizó un estudio detallado de las principales características de las Antenas, del Analizador de Espectros y Amplificador de bajo ruido; denotando los parámetros que se deben tomar en cuenta al momento de la medición.

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas han revolucionado al mundo, para transmitir información de un lugar a otro se requiere del uso de frecuencias, una de las bandas más utilizadas es SHF (Super High Frequencies) que va desde 3 GHz hasta 30 GHz., entre las principales aplicaciones que posee esta banda se encuentra la comunicación satelital y los enlaces por microonda._

Para la medición de la potencia de transmisión es necesario disponer de equipos especializados, tales como: analizadores de espectro, amplificadores de bajo ruido y antenas. El modelo de la antena varía de acuerdo a la banda en la que se esté trabajando, en este caso los equipos a utilizar deben tener un rango de operación en frecuencia superiores a los 5 GHz.

En este estudio que se ha desarrollado, se indica un método y procedimientos que se pueden utilizar para la medición de los principales parámetros en enlaces inalámbricos.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA:

“ESTUDIO PARA DETERMINAR MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN PARA FRECUENCIAS SUPERIORES A LOS 5 GHZ. PARA LA DELEGACIÓN REGIONAL CENTRO SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente el ritmo al que crecen las Telecomunicaciones es completamente acelerado, la principal necesidad que se tiene es la comunicación, el transporte de la información de un lugar a otro de manera inmediata. Existen diversos métodos para la transmisión de información, entre ellos se tiene la comunicación inalámbrica.

Esta técnica implica el uso de equipos especializados como son; antenas transmisoras y receptoras, transmisores, en algunos casos repetidores, entre otros. Existen innumerables empresas que se dedican a brindar este servicio, y es por esta razón que los Organismos de Control se encargan de regular todos los parámetros necesarios para que la prestación sea eficiente y sobretodo que no atente contra la salud y seguridad de las personas.

Los Organismos de Control son los únicos autorizados para emitir los reglamentos y estatutos que deben acatar las distintas empresas y entidades al momento de la transmisión. Y así mismo tienen la fiel obligación de hacer respetar dichas leyes.

Independientemente del mecanismo que se emplee para el control, es indispensable la utilización de equipos de medición.

En las grandes potencias mundiales, dónde se desarrollan equipos modernos de telecomunicaciones, el control es más sencillo, puesto que su mejor aliada es la tecnología, el costo de los equipos de medición es asequible para su economía. Desafortunadamente para todos los lugares del mundo no es así, un claro ejemplo es la realidad de los países en desarrollo y en este grupo se encuentra Ecuador.

En nuestro país se cuenta con la Superintendencia de Telecomunicaciones, Organismo encargado del control permanente, pero para cumplir con su rol a cabalidad no sólo basta con informar a las empresas de las leyes vigentes, se requiere de equipos, métodos y técnicas de medición que facilitan su trabajo.

La Superintendencia de Telecomunicaciones Delegación Centro dispone algunos equipos de medición, teniendo ciertas carencias en cuanto a los mismos, la falta de presupuesto por parte del Estado Ecuatoriano ha dado como consecuencia el no poder adquirir un número suficiente de equipos. Además que mientras mayor sea el rango de operación en frecuencia el costo del equipo es más elevado.

Para la detección de frecuencias superiores a 5 GHz el principal equipo con el que se cuenta es un Analizador de Espectros, todos los métodos de medición que disponen se han desarrollado en base a éste, limitándose forzosamente a no implementar nuevas técnicas en base a nuevos equipos.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

Inicialmente las frecuencias que se utilizaban para los enlaces microonda no superaban los 5 GHz, pero a medida que se los enlaces se incrementaron las frecuencias a asignar eran superiores. La principal causa a los pocos métodos y procedimientos que dispone la Superintendencia de Telecomunicaciones Delegación Regional Centro es la falta de presupuesto para la adquisición de nuevos equipos.

1.2.3 PROGNOSIS

En el momento que el personal de la Suptel lleve a cabo sus tareas de medición, presentará ciertos inconvenientes para desempeñar sus funciones. Esto se debe principalmente a la ausencia de equipos especializados, dando como consecuencia pocos métodos de medición. Uno de los inconvenientes que podrían presentar es la imposibilidad de la recepción de la señal en el analizador de espectros, esto puede ser debido a múltiples factores como es la lluvia, la neblina, y otros factores climáticos; además de la antena de recepción que se esté utilizando, al umbral de recepción del equipo el cual es otro aspecto determinante. Estos problemas dan lugar a la pérdida de tiempo al momento de desempeñar su trabajo.

Por lo tanto, es necesario realizar un estudio sobre la detección de frecuencias a partir de 5 GHz, planteando métodos de medición, especificando tipos de equipos a requerir.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La falta de control, detección y medición en la emisión de frecuencias superiores a 5 GHz ocasionará que las comunicaciones no sean óptimas?

1.2.5 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo investigativo se realizará en la Superintendencia de Telecomunicaciones Delegación Centro, durante el período comprendido de Abril, Agosto del 2007, con una población de 2 personas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES es un Organismo Técnico encargado de controlar tanto a instituciones públicas como privadas con la finalidad de que los servicios que prestan se sujeten a la ley y atiendan al interés general.

Mediante este estudio el aporte teórico que se presenta es una información detallada de los principales equipos a requerir en las mediciones, además de los

procedimientos a seguir. También se plantea métodos, los cuales serán analizados previamente para determinar si es posible su ejecución.

Se ha considerado de vital importancia realizar este estudio orientado a frecuencias superiores a los 5 GHz., puesto que facilita el control por parte de la Suptel. Dando como consecuencia un mejor escaneo en los enlaces autorizados y mayor eficiencia al momento de medir la señal con sus respectivos parámetros.

Uno de los beneficios que se proporciona con este proyecto es la optimización del tiempo, debido a que teniendo un procedimiento a seguir las mediciones no serán improvisadas.

Este proyecto es factible realizarlo debido a que la Suptel me facilitará todo lo necesario para el desarrollo del mismo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio para determinar un método y procedimientos de medición para frecuencias superiores a 5 GHz.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener información sobre la emisión, detección y métodos de medición de frecuencias superiores a 5 GHz.
- Determinar el tipo de equipos a requerir para la detección de frecuencias.
- Realizar un estudio de las principales características de los equipos a requerir para las mediciones.
- Plantear el método de medición que más se ajuste a los requerimientos de la empresa con sus respectivos procedimientos
- Comprobar el correcto funcionamiento del método escogido mediante pruebas prácticas.
- Evaluar la propuesta

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Revisado los archivos de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial no existe algún antecedente investigativo

2.2 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La Constitución Política de la República del Ecuador en el artículo 222 establece que: "Las superintendencias serán organismos técnicos con autonomía administrativa, económica y financiera y personería jurídica de derecho público, encargados de controlar instituciones públicas y privadas, a fin de que las actividades económicas y los servicios que presten, se sujeten a la Ley y atiendan el interés general.

La Ley determinará las áreas de actividad que requieran de control y vigilancia, y el ámbito de acción de cada Superintendencia."

La Ley Especial de Telecomunicaciones publicada en el Registro Oficial N° 996 de 10 de agosto de 1992 creó la Superintendencia de Telecomunicaciones. Luego, en la Ley Reformatoria a la ley Especial de Telecomunicaciones publicada en el Registro Oficial N° 770 de 30 de agosto de 1995, establece que la Superintendencia es el único ente autónomo encargado del control de las telecomunicaciones del país, en defensa de los intereses del Estado y del pueblo, usuario de los servicios de telecomunicaciones. Tiene personería jurídica, régimen de contrataciones, administración financiera y contable y administración de

recursos humanos autónomos, para tales efectos se rige por los reglamentos que expida el Presidente de la República.

Las funciones de la Superintendencia son:

Según la ley reformativa a la ley especial de telecomunicaciones

1. Controlar y monitorear el uso del espectro radioeléctrico.
2. Controlar las actividades técnicas de los operadores de los servicios de telecomunicaciones.
3. Controlar la correcta aplicación de los pliegos tarifarios aprobados por el CONATEL.
4. Supervisar el cumplimiento de las concesiones y permisos otorgados para la explotación del servicio de telecomunicaciones.
5. Supervisar el cumplimiento de las normas de homologación y normalización aprobadas por el CONATEL.
6. Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL.
7. Aplicar las normas de protección del mercado y estimular la libre competencia; y,
8. Juzgar a las personas naturales y jurídicas que incurran en las infracciones señaladas en la Ley y aplicar las sanciones en los casos que corresponda.

Según la ley reformativa a la ley de radiodifusión y televisión

1. Administrar y controlar las bandas del espectro radioeléctrico destinadas por el Estado para radiodifusión y televisión
2. Someter a consideración del CONARTEL los proyectos de reglamentos, del plan nacional de distribución de frecuencias para radiodifusión y televisión, del presupuesto del Consejo, de tarifas, de convenios o de resoluciones en general con sujeción a esta Ley.
3. Tramitar todos los asuntos relativos a las funciones del CONARTEL y someterlos a su consideración con el respectivo informe.
4. Realizar el control técnico y administrativo de las estaciones de radiodifusión y televisión

5. Mantener con los organismos nacionales o internacionales de radiodifusión y televisión públicos o privados, las relaciones que corresponda al país como miembro de ellos, de acuerdo con las políticas que fije el CONARTEL
6. Imponer las sanciones que le faculte esta ley y los reglamentos.
7. Ejecutar las resoluciones del CONARTEL
8. Suscribir contratos de concesión de frecuencia para estación de radiodifusión o televisión o de transferencia de la concesión, previa aprobación del CONARTEL.

Ley Especial de Telecomunicaciones reformada

(Ley No. 184)

CONGRESO NACIONAL

EL PLENARIO DE LAS COMISIONES LEGISLATIVAS

Considerando:

Que es indispensable proveer a los servicios de telecomunicaciones de un marco legal acorde con la importancia, complejidad, magnitud, tecnología y especialidad de dichos servicios, de suerte que se pueda desarrollar esta actividad con criterios de gestión empresarial y beneficio social;

Que es indispensable asegurar una adecuada regulación y expansión de los sistemas radioeléctricos y servicios de telecomunicaciones a la comunidad y mejorar permanentemente la prestación de los servicios existentes, de acuerdo a las necesidades del desarrollo social y económico del país; y,

En ejercicio de sus atribuciones constitucionales, expide la siguiente:

LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES

DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Art. 1.- **Ámbito de la Ley.**- La presente Ley Especial de Telecomunicaciones tiene por objeto normar en el territorio nacional la instalación, operación, utilización y desarrollo de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, sonidos e información de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos. Los términos técnicos de telecomunicaciones no definidos en la presente Ley, serán utilizados con los significados establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Art. 2.- **Espectro radioeléctrico.**- El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado.

Art. 3.- **Administración del espectro.**- Las facultades de gestión, administración y control del espectro radioeléctrico comprenden, entre otras, las actividades de planificación y coordinación, la atribución del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de autorizaciones para su utilización, la protección y defensa del espectro, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, la identificación, localización y eliminación de interferencias perjudiciales, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro, la detección de infracciones, irregularidades y perturbaciones, y la adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro, y a reestablecerlo en caso de perturbación o irregularidades.

Art. 4.- **Uso de frecuencias.**- El uso de frecuencias radioeléctricas para los servicios de radiodifusión y televisión requieren de una concesión previa otorgada por el Estado y dará lugar al pago de los derechos que corresponda. Cualquier ampliación, extensión, renovación o modificación de las condiciones, requiere de nueva concesión previa y expresa.

El uso de frecuencias radioeléctricas para otros fines diferentes de los servicios de radiodifusión y televisión requieren de una autorización previa otorgada por el Estado y dará lugar al pago de los derechos que corresponda. Cualquier ampliación, extensión, renovación o modificación de las condiciones, requiere de nueva autorización, previa y expresa.

La concesión y la autorización para el uso de frecuencias radioeléctricas tendrán un plazo definido que no podrá exceder de cinco años, renovables por períodos iguales.

Art. 5.- Normalización y homologación.- El Estado formulará, dictará y promulgará reglamentos de normalización de uso de frecuencias, explotación de servicios, industrialización de equipos y comercialización de servicios, en el área de telecomunicaciones, así como normas de homologación de equipos terminales y otros equipos que se considere conveniente acordes con los avances tecnológicos, que aseguren la interconexión entre las redes y el desarrollo armónico de los servicios de telecomunicaciones.

Art. 6.- Naturaleza del servicio.- Las telecomunicaciones constituyen un servicio de necesidad, utilidad y seguridad públicas y son de atribución privativa y de responsabilidad del Estado.

Las telecomunicaciones relacionadas con la defensa y seguridad nacionales son de responsabilidad de los Ministerios de Defensa Nacional y de Gobierno.

Los servicios de radiodifusión y de televisión se sujetarán a la Ley de Radiodifusión y Televisión y a las disposiciones pertinentes de la presente Ley.

Art. 7.- Función básica.- Es atribución del Estado dirigir, regular y controlar todas las actividades de telecomunicaciones.

Art. 8.- Servicios finales y servicios portadores.- Para efectos de la presente Ley, los servicios abiertos a la correspondencia pública se dividen en servicios finales y servicios portadores, los que se definen a continuación y se prestan a los usuarios en las siguientes condiciones:

a) Servicios finales de telecomunicaciones son aquellos servicios de telecomunicación que proporcionan la capacidad completa para la comunicación entre usuarios, incluidas las funciones del equipo terminal y que generalmente requieren elementos de conmutación.

Forman parte de estos servicios, inicialmente, los siguientes: telefónico rural, urbano, interurbano e internacional; videotelefónico; telefax; burofax; datafax; videotex, telefónico móvil automático, telefónico móvil marítimo o aeronáutico de correspondencia pública; telegráfico; radiotelegráfico; de télex y de teletextos.

También se podrán incluir entre los servicios finales de telecomunicación los que sean definidos por los organismos internacionales competentes, para ser prestados con carácter universal.

El régimen de prestación de servicios finales será:

1. (Numeral derogado por el lit. p) del Art. 100 de la Ley 2000-4, R.O. 34-S, 13-III-2000);
2. El Reglamento Técnico de cada servicio final de telecomunicación deberá definir los puntos de conexión a los cuales se conecten los equipos terminales del mismo. Esta definición deberá contener las especificaciones completas de las características técnicas y operacionales y las normas de homologación que deberán cumplir los equipos terminales; y,
3. Los equipos terminales, con certificado de homologación, podrán ser libremente adquiridos a la empresa estatal o a empresas privadas;

b) Servicios portadores son los servicios de telecomunicación que proporcionan la capacidad necesaria para la transmisión de señales entre puntos de terminación de red definidos.

El régimen de prestación de servicios portadores se sujeta a las siguientes normas:

1. En este tipo de servicios existen dos modalidades:
 - a. Servicios que utilizan redes de telecomunicaciones conmutadas para enlazar los puntos de terminación, tales como la transmisión de datos por

redes de conmutación de paquetes, por redes de conmutación de circuitos, por la red conmutada o por la red télex; y,

- b. Servicios que utilizan redes de telecomunicación no conmutadas. Pertenecen a este grupo, entre otros, el servicio de alquiler de circuitos;

2. Los puntos de terminación de red a que hace referencia la definición de servicios portadores deberán estar completamente especificados en todas sus características técnicas y operacionales en los correspondientes Reglamentos Técnicos.

3. (Numeral derogado por el lit. p) del Art. 100 de la Ley 2000-4, R.O. 34-S, 13-III-2000).

Art. 9.- Autorizaciones.- El Estado regulará, vigilará y contratará los servicios de telecomunicaciones en el País.

Art. 10.- Intercomunicaciones internas.- No será necesaria autorización alguna para el establecimiento o utilización de instalaciones destinadas a intercomunicaciones dentro de residencias, edificaciones e inmuebles públicos o privados, siempre que para el efecto no se intercepten o interfieran los sistemas de telecomunicaciones públicos. Si lo hicieran, sus propietarios o usuarios estarán obligados a realizar, a su costo, las modificaciones necesarias para evitar dichas interferencias o interceptaciones, sin perjuicio de la aplicación de las sanciones previstas en esta Ley. En todo caso, también estas instalaciones estarán sujetas a la regulación y control por parte del Estado.

Art. 11.- Uso prohibido.- Es prohibido usar los medios de telecomunicación contra la seguridad del Estado, el orden público, la moral y las buenas costumbres. La contravención a esta disposición será sancionada de conformidad con el Código Penal y más leyes pertinentes.

Art. 12.- Sistemas móviles.- Compete al Estado la regulación de todos los sistemas radioeléctricos de las naves aéreas o marítimas y cualquier otro vehículo,

nacional o extranjero, que operen habitualmente en el país o se encuentre en tránsito en el territorio nacional.

La Armada Nacional prestará, explotará y controlará el Servicio Móvil Marítimo que incluye las estaciones costeras, tanto en el aspecto Militar como en el abierto a la correspondencia pública, concertando para este último los convenios operativos de interconexión con la operadora de los servicios finales de telefonía, telegrafía y télex con sujeción a los reglamentos de Radiocomunicaciones acordados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, de la cual el Ecuador es país signatario.

Art. 13.- Regulación del espectro radioeléctrico.- Es facultad privativa del Estado el aprovechamiento pleno de los recursos naturales como el espectro de frecuencias radioeléctricas, y le corresponde administrar, regular y controlar la utilización del espectro radioeléctrico en sistemas de telecomunicaciones en todo el territorio ecuatoriano, de acuerdo con los intereses nacionales.

Art. 14.- Derecho al secreto de las telecomunicaciones.- El Estado garantiza el derecho al secreto y a la privacidad de las telecomunicaciones. Es prohibido a terceras personas interceptar, interferir, publicar o divulgar sin consentimiento de las partes la información cursada mediante los servicios de telecomunicaciones.

Art. 15.- Control en casos de emergencia.- En caso de guerra o conmoción interna, así como de emergencia nacional, regional o local, declarada por el Presidente de la República, el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, en coordinación con la operadora de los servicios finales, tomará el control directo e inmediato de los servicios de telecomunicaciones. Este control cesará al desaparecer la causa que lo originó.

Art. 16.- Coordinación con obras viales.- El Ministerio de Obras Públicas realizará la coordinación que sea indispensable, a pedido de la operadora de servicios finales o del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, para la ejecución o supresión de obras relacionadas con líneas físicas de

telecomunicaciones en las carreteras que sean construidas o modificadas por el Ministerio de Obras Públicas o por entidades municipales y provinciales.

Art. 17.- Protección contra interferencias.- INECEL, las Empresas Eléctricas y cualquier otra persona natural o jurídica que establezcan líneas de transmisión o de distribución de energía eléctrica o instalaciones radioeléctricas de cualquier tipo, están obligadas a evitar, a su costo, cualquier interferencia que pudiera producirse por efecto de dichas instalaciones sobre el sistema de telecomunicaciones, ya sea adoptando normas apropiadas para el trazado y construcción de las mismas o instalando los implementos o equipos necesarios para el efecto.

Nota:

La Ley 98-14 (R.O. 37-S, 30-IX-98), reformativa a la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece el proceso de liquidación de INECEL y el plazo extintivo de su personalidad jurídica al 31 de marzo de 1999.

Art. 18.- Daños a instalaciones.- Cuando las instalaciones de telecomunicaciones pertenecientes a la red pública o las instalaciones de radio comunicaciones que forman parte del servicio público, sufran interferencias, daños o deterioros causados por el uso de equipos eléctricos, vehículos, construcciones o cualquier otra causa, corresponderá al causante del daño pagar los costos de las modificaciones o reparaciones necesarias, inclusive por la vía coactiva.

DEL PLAN DE DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES

Plan de desarrollo.- (Sustituido inc. 2 por el Art. 7 de la Ley 94, R.O. 770, 30-VIII-95).- El Plan de Desarrollo de las Telecomunicaciones tiene por finalidad dotar al país de un sistema de telecomunicaciones capaz de satisfacer las necesidades de desarrollo, para establecer sistemas de comunicaciones eficientes, económicas y seguras.

Las empresas legalmente autorizadas para prestar al público servicios de telecomunicaciones deberán presentar, para aprobación del Consejo Nacional de

Telecomunicaciones (CONATEL), un plan de inversiones a ser ejecutado durante el período de exclusividad.

DE LOS USUARIOS

Derecho al servicio.- Todas las personas naturales o jurídicas, ecuatorianas o extranjeras, tienen el derecho a utilizar los servicios públicos de telecomunicaciones condicionado a las normas establecidas en los reglamentos y al pago de las tasas y tarifas respectivas.

Las empresas legalmente autorizadas establecerán los mecanismos necesarios para garantizar el ejercicio de los derechos de los usuarios.

Prohibición de conceder exoneraciones.- (Reformado por el Art. 8 de la Ley 94, R.O. 770, 30-VIII-95).- Prohíbese conceder exoneraciones del pago de tasas y tarifas por el uso de los servicios públicos de telecomunicaciones o por el otorgamiento de concesiones o autorizaciones.

En los presupuestos de cada uno de los organismos y entidades del sector público, constarán obligatoriamente partidas destinadas al pago de los servicios de telecomunicaciones.

DE LAS SANCIONES

Delitos contra las telecomunicaciones.- Los delitos cometidos contra los medios y servicios de telecomunicaciones serán los tipificados en el Código Penal y serán sancionados de conformidad con lo dispuesto en dicho código.

Infracciones.- Constituyen infracciones a la presente Ley, las siguientes:

- a. El ejercicio de actividades o la prestación de servicios sin la correspondiente concesión o autorización, así como la utilización de frecuencias radioeléctricas sin permiso o en forma distinta de la permitida;
- b. El ejercicio de actividades o la prestación de servicios que no correspondan al objeto o al contenido de las concesiones o autorizaciones;

- c. La conexión de otras redes a la red de telecomunicaciones sin autorización o en forma distinta a la autorizada o a lo previsto en esta Ley y sus Reglamentos;
- d. La instalación, la utilización o la conexión a la red de telecomunicaciones de equipos que no se ajusten a las normas correspondientes;
- e. La producción de daños a la red de telecomunicaciones como consecuencia de conexiones o instalaciones no autorizadas;
- f. La importación, fabricación, distribución, venta o exposición para la venta de equipos o aparatos que no dispongan de los certificados de homologación y de cumplimiento de las especificaciones técnicas que se establezcan en los Reglamentos;
- g. La competencia desleal en la prestación de los servicios de telecomunicaciones; y,

Se consideran infracciones graves las siguientes:

1. La conducta culposa o negligente que ocasione daños, interferencias o perturbaciones en la red de telecomunicaciones en cualquiera de sus elementos o en su funcionamiento;
2. La alteración o manipulación de las características técnicas de los equipos, aparatos o de terminales homologados o la de sus marcas, etiquetas o signos de identificación;
3. La producción deliberada de interferencias definidas como perjudiciales en el Convenio Internacional de Telecomunicaciones; y,
4. La violación a la prohibición constante en el artículo 14 de la presente Ley.

Sanciones.- La persona natural o jurídica que incurra en cualquiera de las infracciones señaladas en el artículo anterior sin perjuicio de la reparación de los daños ocasionados será sancionada por las autoridades indicadas en el artículo 30 con una de las siguientes sanciones según la gravedad de la falta, el daño producido y la reincidencia en su comisión:

- a. Amonestación escrita;
- b. Sanción pecuniaria de uno hasta cincuenta salarios mínimos vitales generales;
- c. Suspensión temporal de los servicios;
- d. Suspensión definitiva de los servicios; y,
- e. Cancelación de la concesión o autorización y negativa al otorgamiento de nuevas.

Juzgamiento.- Corresponde al Superintendente de Telecomunicaciones juzgar al presunto infractor, graduando la aplicación de la sanción según las circunstancias, mediante resolución motivada y notificada al infractor.

Notificación.- La notificación de la presunta infracción se hará por una boleta, en el domicilio mercantil o civil del infractor o por correo certificado.

Cuando no se conociera el domicilio o se trate de notificar a los herederos del infractor, la notificación se hará mediante una publicación en un periódico de la capital de provincia de su domicilio, cuando hubiera, y además en uno de los periódicos de la capital de la República. Las notificaciones por la prensa podrán hacerse individual o colectivamente, cuando fueran varios los presuntos infractores.

Contestación.- El presunto infractor tendrá el término de ocho días contados desde el día hábil siguiente al de la notificación respectiva para contestarla y ejercer plenamente su derecho de defensa.

Resolución.- El Superintendente dictará resolución en el término de quince días contados desde el vencimiento del término para contestar, haya o no recibido la contestación.

Las resoluciones contendrán la referencia expresa a las disposiciones legales y reglamentarias aplicadas y a la documentación y actuaciones que las fundamenten; decidirán sobre todas las cuestiones planteadas en la notificación y su contestación y en las alegaciones pertinentes de los interesados.

La resolución que dicte el Superintendente causará ejecutoria en la vía administrativa, pero podrá contradecirse en la vía jurisdiccional ante el Tribunal de lo Contencioso Administrativo, conforme a la Ley.

Nota:

El Tribunal de lo Contencioso Administrativo fue suprimido por las reformas constitucionales del 23-XII-92, que crearon los Tribunales Distritales de lo Contencioso Administrativo. De presentarse recurso de casación lo conocerá la Sala especializada de la Corte Suprema de Justicia en esta materia.

Reglamento de Radiocomunicaciones.

DE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN

Clasificación.- Los sistemas de radiocomunicación se clasifican en:

- a. Sistemas privados; y,
- b. Sistemas de explotación.

Sistemas Privados.- Son aquellos que están destinados para uso exclusivo del usuario. Se considerarán también sistemas privados los sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad. Se prohíbe expresamente alquilar el sistema a terceras personas.

Sistemas de Explotación.- Son aquellos que están destinados a dar servicio al público en régimen de libre competencia. Estos sistemas bajo ningún punto de vista serán tratados como sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad.

Los sistemas de explotación operarán con base en los títulos habilitantes previstos en la Ley Especial de Telecomunicaciones y su Reglamento General, para la prestación de servicios de telecomunicaciones

DE LAS CONCESIONES

Las Concesiones.- Las concesiones de los servicios de radiocomunicación que operan bajo sistemas de explotación, se registrarán conforme a lo establecido en el Reglamento de Concesiones de los Servicios de Telecomunicaciones.

DE LAS AUTORIZACIONES Y RENOVACIONES DE USO DE FRECUENCIAS

La Autorización.- Es un acto administrativo mediante el cual la SNT, por delegación del CONATEL, suscribe un contrato de autorización de uso de frecuencias para que una persona natural o jurídica opere sistemas de radiocomunicación.

La SNT, por delegación del CONATEL, tiene la facultad de autorizar directamente el uso de frecuencias en el caso de un sistema privado.

Las Personas Autorizadas.- Podrán celebrar contratos de autorización de uso de frecuencias para operar sistemas de radiocomunicación, las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, que tengan capacidad jurídica para hacerlo, expresen su consentimiento y cumplan con los requisitos previstos en el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias, en el presente reglamento y en los reglamentos, normas técnicas, planes y resoluciones expedidos sobre la materia por el CONATEL.

Solicitud para la Autorización.- Para la autorización de uso de frecuencias, el interesado debe presentar a la SNT una solicitud por escrito y cumplir con los requisitos de carácter legal, técnico y económico que establezca el CONATEL para el efecto.

Requisitos para la Autorización.- Para obtener la autorización de uso de frecuencias para operar un Sistema de Radiocomunicación, el solicitante deberá presentar a la SNT los siguientes requisitos:

Información Legal:

- a. Solicitud dirigida al Secretario, detallando el tipo de servicio;
- b. Nombre y dirección del solicitante (para personas jurídicas, de la compañía y de su representante legal);
- c. Copia certificada de la escritura constitutiva de la compañía y reformas en caso de haberlas (para personas jurídicas);
- d. Nombramiento del representante legal debidamente inscrito (para personas jurídicas);
- e. Copia de la cédula de ciudadanía (para personas jurídicas, del representante legal);
- f. Copia del certificado de votación del último proceso electoral (para personas jurídicas, del representante legal);
- g. Certificado actualizado de cumplimiento de obligaciones otorgado por la Superintendencia de Compañías o Superintendencia de Bancos según el caso, a excepción de las instituciones estatales (para personas jurídicas);
- h. Registro único de contribuyentes;
- i. Fe de presentación al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del solicitante, a excepción de las instituciones estatales (para personas jurídicas, del representante legal); y,
- j. Otros documentos que la SNT solicite.

Información Técnica:

El estudio técnico del sistema elaborado en formulario disponible en la SNT será suscrito por un ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, inscrito en una de las filiales del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE) y registrado en la SNT. La información técnica y operativa incluirá entre otros los siguientes aspectos:

De los servicios fijo y móvil:

- a. Descripción de los servicios que ofrecerá, con los detalles de las facilidades y limitaciones del sistema;
- b. Rango de frecuencias;

- c. Número de frecuencias requeridas, y la anchura de banda para cada una de ellas;
- d. Modo de operación;
- e. Tipo de emisión;
- f. Ubicación de las estaciones fijas;
- g. Cálculo de propagación del sistema;
- h. Diagramas de perfil, basados en un mapa geográfico 1:50.000;
- i. Cálculo del área de cobertura;
- j. Características técnicas de las antenas y equipos;
- k. Procedimientos de administración, operación, mantenimiento y gestión del sistema que se propone instalar;
- l. Plan de ejecución que describa la implementación del sistema para la provisión de los servicios a partir de la fecha de autorización;
- m. Plan de expansión del sistema; y,
- n. Otros documentos que la SNT solicite.

De los servicios fijo y móvil por satélite:

- a. Descripción de los servicios que ofrecerá, con los detalles de las facilidades y limitaciones del sistema;
- b. Ubicación de las estaciones terrenas o unidades satelitales fijas;
- c. Satélite y ubicación del mismo;
- d. Información sobre el servicio nacional o internacional, señalando los lugares que intervienen en la comunicación;
- e. Certificación del Plan de Transmisión del proveedor satelital;
- f. Características de la estación terrena o unidad satelital a instalarse y de sus accesorios, de forma que se pueda identificar su capacidad de transmisión y recepción, además de las características de los equipos generadores de señales, en caso de haberlos;
- g. Bandas de frecuencias;
- h. Número de enlaces satelitales requeridos, velocidad, modulación y anchura de banda para cada uno de ellos;
- i. Análisis de transmisión del enlace ascendente y descendente;

- j. Características técnicas de las antenas y equipos;
- k. Procedimientos de administración, operación, mantenimiento y gestión del sistema que se propone instalar;
- l. Plan de ejecución que describa la implementación del sistema para la provisión de los servicios a partir de la fecha de autorización;
- m. Plan de expansión del sistema; y,
- n. Otros documentos que la SNT solicite.

Contenido del Contrato de Autorización.- El contrato de autorización de uso de frecuencias contendrá los siguientes elementos:

- a. Período de vigencia de la autorización;
- b. Objeto del contrato;
- c. Características técnicas;
- d. Pago de derechos, tarifas;
- e. Cesión de derechos;
- f. Obligatoriedad de firmar el acta de puesta en operación del sistema conjuntamente con la SUPTEL;
- g. Notificación de modificaciones;
- h. Proveedor del segmento espacial si es del caso;
- i. Derechos y obligaciones de las partes y las sanciones por incumplimiento del contrato;
- j. Adecuaciones técnicas;
- k. Terminación del contrato;
- l. Cualquier otro que el CONATEL establezca; y,
- m. Las demás que se determine en la legislación ecuatoriana.

Duración del Contrato de Autorización.- Los contratos de autorización de uso de frecuencias para los Sistemas de Radiocomunicación tendrán una duración de cinco (5) años. El contrato de autorización podrá ser renovado previa solicitud del concesionario o usuario, dentro de los plazos establecidos en los reglamentos de cada servicio y siempre que no contravenga a los intereses del Estado.

Modificaciones del Contrato de Autorización.- De surgir causas administrativas o legales que modifiquen las condiciones de los contratos de autorización de uso de frecuencias se procederá a la celebración de un adéndum al contrato siguiendo el procedimiento establecido en las normas vigentes.

Modificaciones Técnicas.- El concesionario o usuario no requiere suscribir un nuevo contrato de autorización en los siguientes casos:

a) Servicio Fijo y Móvil:

Cambio de frecuencias.

Modificación del número de estaciones fijas, móviles y portátiles.

Reubicación de repetidora, estaciones fijas o móviles (cambio de vehículos).

Cambio de Potencia o área de cobertura.

Renovación de equipos.

b) Servicio Fijo y Móvil por Satélite:

Cambio de frecuencias.

Cambio del proveedor satelital.

Cambio de lugar de la estación terrena o unidad satelital.

Cambio de velocidad y anchura de banda.

La SNT autorizará las modificaciones técnicas mediante oficio.

Terminación del Contrato de Autorización.- Los contratos de autorización de uso de frecuencias celebrados por la SNT pueden legalmente terminar por las siguientes causas:

- a. (Reformado por el Art. 1 de la Res. 753-26-CONATEL-2004, R.O. 484, 17-XII-2004) Cumplimiento del plazo contractual, sin que se haya solicitado la renovación del contrato durante el plazo de su vigencia;
- b. Mutuo acuerdo de las partes, siempre que no se afecte a terceros;
- c. Sentencia judicial ejecutoriada que declare la nulidad del contrato; y,
- d. Declaración unilateral de terminación anticipada del contrato por parte de la SNT, en caso de incumplimiento del concesionario o usuario.

(Reformado por el Art. 2 de la Res. 753-26-CONATEL-2004, R.O. 484, 17-XII-2004) Terminación por mutuo acuerdo.- El contrato se podrá dar por terminado de mutuo acuerdo, cuando por circunstancias imprevistas, técnicas, económicas o causas de fuerza mayor o caso fortuito debidamente justificados, no fuere posible o conveniente para los intereses de la SNT, ejecutar total o parcialmente el contrato, caso en el que las partes podrán, por mutuo acuerdo, convenir en la extinción de todas o algunas de las obligaciones contractuales, en el estado en que se encuentren.

Por voluntad del concesionario expresada mediante solicitud escrita, aceptada por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

Terminación unilateral.- La SNT podrá declarar terminada anticipada y unilateralmente el contrato, en los siguientes casos:

- a. Por incumplimiento del concesionario o usuario de una o varias cláusulas contractuales;
- b. Por disolución o liquidación anticipada de la persona jurídica contratista;
- c. (Eliminado por el Art. 3 de la Res. 753-26-CONATEL-2004, R.O. 484, 17-XII-2004);
- d. Incumplimiento de los plazos establecidos en la norma técnica correspondiente a cada servicio, respecto a la operación e instalación del sistema;
- e. Quiebra o insolvencia del concesionario o usuario;
- f. Mora en el pago a la SNT, por más de noventa (90) días, de las obligaciones correspondientes;
- g. Traspasar, ceder, arrendar o enajenar total o parcialmente a terceras personas, los derechos establecidos en el contrato, sin previa autorización de la SNT, respaldada por el informe técnico emitido por la SUPTEL;
- h. No utilizar o suspender las operaciones por el tiempo establecido en la norma técnica específica a cada uno de los servicios sin autorización de la SNT, respaldada por el informe técnico emitido por la SUPTEL;
- i. Por solicitud motivada del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas;

- j. Por cualquiera de las causas establecidas en el contrato de autorización, aún cuando no se contemplen en las enunciadas; y,
- k. Cuando la protección del interés público lo demande.

Notificación de la Terminación del Contrato de Autorización.- Antes de proceder a la terminación del contrato, la SNT notificará al concesionario o usuario, con la anticipación prevista en las normas vigentes, sobre su decisión de terminarlo. Junto con la notificación, se remitirán los informes técnico, económico, jurídico y el informe de la SUPTEL en caso de ser necesario, referentes al cumplimiento de las obligaciones contractuales con la SNT. La notificación señalará específicamente el incumplimiento en que ha incurrido el concesionario o usuario.

Autorización Temporal de Uso de Frecuencias.- La SNT podrá autorizar el uso temporal de frecuencias a las personas naturales o jurídicas que lo soliciten para uso eventual o de emergencia, por noventa (90) días, renovables por una sola vez y por un período igual. El valor por esta autorización temporal será pagado de acuerdo al Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias y no requiere la suscripción del contrato de autorización.

Sistemas que no Requieren Autorización.- Los usuarios del espectro radioeléctrico que operen equipos de radiocomunicaciones con potencias menores a 100 mW sin antenas directivas y que no correspondan a sistemas de última milla y los que operen al interior de locales, edificios y en general áreas privadas con potencias menores a 300 mW sin antenas exteriores, en cualquier tecnología, no requieren autorización del CONATEL.

(Reformado por el Art. 4 de la Res. 753-26-CONATEL-2004, R.O. 484, 17-XII-2004) Renovación del Contrato de Autorización.- Es un acto administrativo mediante el cual la SNT, por delegación del CONATEL, suscribe un contrato de renovación de uso de frecuencias para que una persona natural o jurídica continúe operando un Sistema de Radiocomunicación. Los requisitos, debidamente actualizados, para solicitar la renovación de los contratos de autorización de uso de frecuencias son los mismos requisitos que para la autorización inicial.

Para los servicios fijo y móvil, y fijo y móvil por satélite, el estudio técnico puede ser sustituido por la actualización del sistema en el formulario correspondiente, siempre que no se haya modificado el área de cobertura y el proveedor satelital respectivamente.

La SNT por delegación del CONATEL tiene la facultad de renovar directamente la autorización de uso de frecuencias para sistemas privados y de explotación e informar al CONATEL en la siguiente sesión.

Condiciones de Renovación y Autorización.- La autorización y renovación de uso de frecuencias se realizará sobre la base del Plan Nacional de Frecuencias, reglamentos, normas técnicas y resoluciones vigentes.

Suscripción de Contratos.- Los contratos de autorización o renovación de uso de frecuencias, deben ser suscritos dentro de treinta (30) días calendario contados a partir de que la SNT notifique al concesionario o usuario la aprobación de su solicitud y que éste la haya recibido. Transcurrido este plazo se anulará el trámite y el interesado no tendrá derecho a reclamo alguno por el mismo, o a solicitar la devolución de valores pagados como derechos de autorización.

Si el incumplimiento es por parte de la SNT, ésta deberá ampliar el plazo por un período igual.

DE LAS OBLIGACIONES DE LOS ENTES DE REGULACIÓN Y CONTROL

Obligaciones de la SNT.- La SNT, en uso de sus competencias, tiene entre otras las siguientes obligaciones:

- a) Poner a disposición del público en general los reglamentos y normas vigentes;
- b) Publicar cada treinta (30) días un boletín con las concesiones, autorizaciones, permisos y cancelaciones realizadas. Dicha información estará disponible en una página WEB de internet.
- c) Disponer la reubicación de las frecuencias o bandas, previo el otorgamiento de un plazo, en los siguientes casos:

- Para el cumplimiento de acuerdos internacionales suscritos o adoptados por el Ecuador.
- Solución de problemas de interferencia perjudicial.
- Cumplimiento del Plan Nacional de Frecuencias.
- Cuando el interés público lo exija, para la prestación de servicios prioritarios, estratégicos y de seguridad pública.

d) Modificar las características técnicas del contrato, para solucionar problemas de interferencias perjudiciales;

e) Autorizar el uso temporal de frecuencias de acuerdo a lo establecido en el artículo 22 de este reglamento; y,

f) Suscribir los contratos de renovación de autorización de uso de frecuencias, en el caso de los sistemas fijo y móvil privados.

Obligaciones de la SUPTEL.- La SUPTEL, en uso de sus competencias, tiene entre otras las siguientes obligaciones:

- a. Acceso a los sitios y vehículos donde se encuentren instalados los equipos de radiocomunicaciones;
- b. Realizar inspecciones a los sistemas de radiocomunicación, con el objeto de verificar la correcta instalación y buen funcionamiento de los mismos;
- c. Suscribir el acta de puesta en operación de los sistemas de radiocomunicación dentro de los plazos establecidos en los reglamentos y normas correspondientes. Una copia de dicha acta deberá remitirse inmediatamente a la SNT;
- d. Cobrar por vía coactiva los valores que por sanciones adeude un concesionario o usuario;
- e. Cobrar por vía coactiva a petición de la SNT, los valores que adeude un concesionario o usuario a esta institución de conformidad con un acuerdo que suscriban las dos entidades. Dichos valores serán remitidos a la SNT luego de la liquidación con base a este convenio;
- f. Realizar permanentemente la verificación del espectro radioeléctrico en las diferentes regiones del país, para determinar aquellas frecuencias

- utilizadas sin autorización y comprobar las características técnicas autorizadas con las que operan los concesionarios o usuarios;
- g. Imponer las sanciones correspondientes a las personas naturales o jurídicas que infrinjan las disposiciones contempladas en la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, el presente reglamento, el respectivo contrato suscrito y los demás reglamentos, normas y planes expedidos sobre la materia por el CONATEL;
 - h. Solucionar problemas de interferencia perjudicial;
 - i. La SUPTEL enviará a la SNT un reporte mensual de todas las personas naturales y jurídicas que no hayan cancelado las multas impuestas;
 - j. Emitir informes periódicos sobre la operación de las estaciones autorizadas y no autorizadas. El informe debe incluir las características técnicas del sistema de acuerdo al Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT; y,
 - k. Denunciar ante los jueces penales competentes a quienes incurran en la infracción prevista en el artículo 422 del Código Penal.

OBLIGACIONES Y PROHIBICIONES DEL CONCESIONARIO O USUARIO

Obligaciones del Concesionario o Usuario.- El concesionario o usuario tiene las siguientes obligaciones:

- a. Instalar, operar, comercializar y mantener el servicio de radiocomunicación, conforme a lo establecido en los contratos de concesión y de autorización de uso de frecuencias, y en las normas vigentes;
- b. Notificar a la SNT, con copia a la SUPTEL, el cambio de dirección y del representante legal;
- c. Operar el sistema en las frecuencias que la SNT le autorice para tal efecto. Las frecuencias no podrán ser modificadas sin previa autorización de la SNT;
- d. Prestar el servicio únicamente en las áreas autorizadas;
- e. Solucionar a su costo y responsabilidad problemas de interferencia perjudicial, o daños a terceros que cause su sistema;

- f. Notificar el inicio de operación del sistema, mediante la firma de un acta de puesta en operación conjuntamente con la SUPTEL;
- g. Solicitar a la SNT la aprobación de cualquier modificación de las características técnicas descritas en el contrato;
- h. Poner a disposición del Estado su Sistema de Radiocomunicación en los casos de guerra, emergencia nacional, regional o local declarados por el Presidente de la República mientras éstos duren, de conformidad con la Ley de Seguridad Nacional;
- i. Prestar todas las facilidades para que la SUPTEL conjuntamente con un representante del concesionario o usuario, inspeccione y realice las pruebas necesarias para evaluar la precisión, calidad y confiabilidad del sistema;
- j. Precautelar los intereses de los abonados mediante la asignación de códigos de seguridad a cada uno de los terminales de abonado;
- k. Homologar los equipos y terminales de telecomunicaciones, de acuerdo con el Reglamento para Homologación de Equipos Terminales;
- l. Prestar el servicio a sus abonados sin interrupciones, aún en el caso de mantenimiento del sistema, a no ser que existan razones de fuerza mayor o caso fortuito. Se excluyen los casos en que previa autorización de la SNT, la interrupción del servicio sea indispensable;
- m. Presentar toda la información que requiera la SNT o la SUPTEL para cumplir con sus respectivas funciones;
- n. Notificar por escrito a la SNT la voluntad del concesionario o usuario para terminar el contrato de autorización de uso de frecuencias. Esta comunicación deberá realizarse con un mínimo de treinta (30) días de anticipación al cese de operaciones del sistema y pagar todos los valores adeudados hasta la fecha de cancelación de la autorización;
- o. Sujetarse a las condiciones que establezca la SNT, respecto a los convenios bilaterales o multilaterales vigentes, para la cobertura de zonas fronterizas;

- p. Identificar sus estaciones mediante indicativos de llamada que serán otorgados por la SNT o indicativos digitales propios del equipo de ser el caso, de conformidad con lo establecido en el presente reglamento;
- q. Colocar los documentos de identificación de ser el caso, suministrados por la SNT en sus estaciones de radiocomunicaciones; y,
- r. Cumplir con las demás obligaciones contempladas en la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, en el presente reglamento, en el contrato de autorización de uso de frecuencias, y en los reglamentos, normas, planes o resoluciones que expidan sobre la materia los órganos de regulación, administración y control, dentro del ámbito de su competencia.

Prohibiciones del Concesionario o Usuario.- El concesionario o usuario no podrá realizar las siguientes actividades:

- a. Utilizar distorsionadores de voz u otros dispositivos que hagan ininteligible la comunicación sin la autorización de la SNT;
- b. Operar los sistemas de radiocomunicación en horarios no autorizados;
- c. Hacer uso en las transmisiones, de códigos o claves no autorizados por la SNT;
- d. Operar equipos de radioaficionados o banda ciudadana en actividades diferentes del servicio destinado o en bandas de frecuencias atribuidas a otros servicios;
- e. No cumplir con los parámetros técnicos de los enlaces satelitales establecidos en el contrato de autorización y no cumplir con las certificaciones de los proveedores del segmento espacial;
- f. Prestar servicios de mantenimiento, instalación, puesta en funcionamiento de sistemas de radiocomunicación y arriendo de infraestructura a personas que no tienen contrato de concesión o autorización de uso de frecuencias otorgado por la SNT o que se hallen en trámite;
- g. Utilizar o permitir el uso del sistema de radiocomunicación para actividades ilícitas penadas por las leyes ecuatorianas;
- h. Cursar comunicaciones de tipo delictivo a juicio de la autoridad competente;

- i. Enajenar, traspasar, alquilar, ceder o gravar en todo o en parte la concesión o autorización de uso de frecuencias o los derechos que de ella se derivan, sin autorización previa de la SNT;
- j. Utilizar un proveedor del segmento espacial sin previa autorización de la SNT; y,
- k. No dar cumplimiento sin justificación a los plazos para iniciar la operación de los servicios establecidos en el contrato de concesión o contrato de autorización de uso de frecuencias, así como también, los del plan de ejecución.

Incumplimiento.- Las obligaciones y prohibiciones del concesionario o usuario, establecidas en los artículos precedentes deberán ser observadas estrictamente. Su incumplimiento será sancionado conforme a la Ley Especial de Telecomunicaciones.

DE LOS DERECHOS Y TARIFAS

Tarifas por Autorización para Uso de Frecuencias.- Las tarifas por autorización para uso de frecuencias son determinadas de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias.

Tarifas por Uso de Frecuencias.- Las tarifas mensuales por uso de frecuencias son determinadas de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Tarifas por el Uso de Frecuencias.

Recaudación.- Las tarifas por autorización para uso de frecuencias, tarifas por uso de frecuencias y derechos por concesión de servicios que fije el CONATEL serán recaudadas por la SNT.

Pago de Impuestos.- El concesionario o usuario deberá cancelar al Estado todos los impuestos a que hubiere lugar por la actividad que realice en el país, conforme a lo establecido en las normas vigentes. Los montos que de acuerdo a la ley se pague por impuestos no podrán imputarse a los pagos que realice a la SNT y SUPTEL.

Pago de Uso de Frecuencias para personas naturales o jurídicas que utilicen frecuencias sin autorización.- Sin perjuicio de las sanciones aplicables, las personas naturales o jurídicas que utilicen frecuencias radioeléctricas sin concesión o autorización otorgada por el órgano competente, cancelarán los valores correspondientes a la liquidación que practique la SNT aplicando las tarifas vigentes desde que se comprobare su uso no autorizado por parte de la Superintendencia de Telecomunicaciones. Dicha liquidación será cancelada en la SNT e incluirá los intereses respectivos.

2.3 CATEGORIZACIONES FUNDAMENTALES

ANTENAS

DEFINICIÓN

Es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre. Está formado por un conjunto de conductores que, unido a un generador, permite la emisión de ondas de radio frecuencia, o que, conectado a una impedancia, sirve para captar las ondas emitidas por una fuente lejana para este fin.

Las antenas deben dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección. Es decir, deben acentuar un solo aspecto de dirección y anular o mermar los demás. Deben dotar a la onda radiada de una polarización.

DISTRIBUCIÓN DE CORRIENTE EN UNA ANTENA

Una antena, al ser un elemento de un circuito, tendrá una distribución de corrientes sobre ella misma. Esta distribución dependerá de la longitud que tenga la antena y del punto de alimentación de la misma.

Una onda estacionaria es una onda que se crea cuando una señal se está propagando por un medio de transmisión y es reflejada por culpa de una mala adaptación o por culpa de un final de línea.

Línea acabada en circuito abierto y alimentada en uno de sus extremos- En el momento de alimentar a esta línea de transmisión con una señal senoidal, se crea una onda que se propaga por la línea. Esta señal se irá repitiendo cada longitud de onda lambda ya que es una señal senoidal y es periódica. Esto provoca que ahora tengamos una distribución de corrientes que no es constante y que varía en función de la longitud de onda lambda.

Una vez que la onda llega al final de la línea, ésta es reflejada al no poder continuar su camino, volviendo hacia el generador. Esta onda reflejada tiene un desfase de 90° respecto de la onda incidente, por lo que al sumarse con la onda incidente genera una onda estacionaria.

Acabada en corto circuito- también se reflejaría la onda, pero en vez de estar desfasada 90°, estaría desfasada 180°. También se suma a la onda incidente y se crea la onda estacionaria.

PARÁMETROS GENERALES DE UNA ANTENA

- **Impedancia**

Cuando una antena se conecta a un transmisor radia el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas. Se debe adaptar la antena al transmisor para una máxima transferencia de potencia, que se suele hacer a través de una línea de transmisión.

La impedancia de entrada es la impedancia que la antena presenta al circuito de alimentación

$$Z_e = R_e(\omega) + iX_e(\omega)$$

Esta impedancia posee una parte real $R_e(\omega)$ y una parte imaginaria $X_e(\omega)$, dependientes de la frecuencia. La impedancia es un parámetro de gran trascendencia, ya que condiciona las tensiones de los generadores que se deben aplicar para obtener determinados valores de corriente a la antena y, en consecuencia, una determinada potencia radiada.

La resistencia de entrada, $Re(w)$, se puede descomponer en dos resistencias, la resistencia de radiación (R_r) y la resistencia de pérdidas (R_Ω).

Resistencia de radiación

Se define la resistencia de radiación como una resistencia que disipa en forma de calor la misma potencia que radia la antena emisora (efecto Joule).

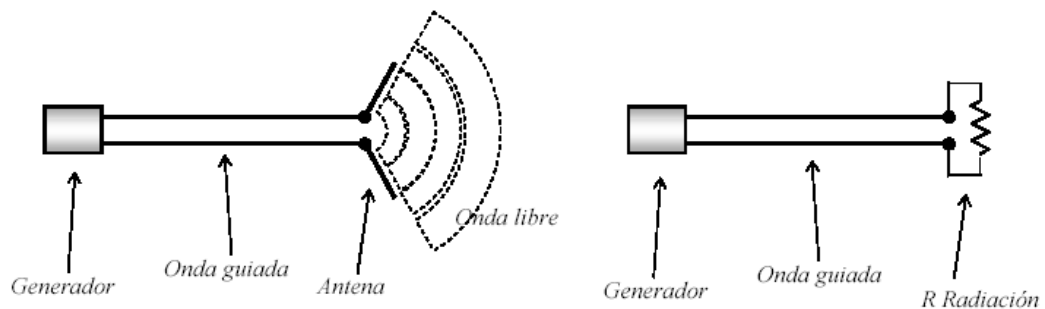


Fig. 001 Resistencia de Radiación

Resistencia de pérdidas

La antena por estar compuesta por conductores tendrá unas pérdidas en ellos. Estas pérdidas son las que definen la resistencia de pérdidas en la antena.

Eficiencia o Rendimiento de la antena

Eficiencia de radiación- indica cuan buena es una antena emitiendo señal. Se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. Como la potencia está relacionada con la resistencia de la antena, se puede también definir la Eficiencia de Radiación como la relación entre la Resistencia de radiación y la Resistencia de la antena

$$\eta_r = P \text{ radiada} / P \text{ entregada} = R_r / (R_r + R_\Omega)$$

Eficiencia de reflexión- nos indica si está bien adaptada una antena a una línea de transmisión. Es la relación entre la potencia que le llega a la antena y la potencia que se le aplica a ella.

$$\text{Eficiencia de Reflexión} = 1 - (\text{Coeficiente de Reflexión})^2,$$

Donde la Eficiencia Total es el producto entre la Eficiencia de Radiación y la Eficiencia de Reflexión.

$$\text{Eficiencia Total} = \text{Eficiencia de Radiación} \times \text{Eficiencia de Reflexión}$$

Intensidad de Radiación

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar con una direccionalidad, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio.

A partir de los valores eficaces de los campos se obtiene la densidad de flujo por unidad de superficie mediante:

$$\mathcal{P}(\theta, \phi) = \text{Re} (\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) \text{ W/m}^2$$

Dónde:

Re = parte real

X = producto vectorial

* = complejo conjugado

$\mathcal{P}(\theta, \phi)$ = densidad de flujo (vector de pointing)

Para los campos radiados, los módulos del campo eléctrico y del campo magnético están relacionados por la impedancia característica del medio η , que en el vacío vale $120\pi\Omega$

Por lo tanto la densidad de potencia radiada también se puede calcular a partir de las componentes transversales del campo eléctrico.

$$\mathcal{P}(\theta, \phi) = (|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2) / \eta$$

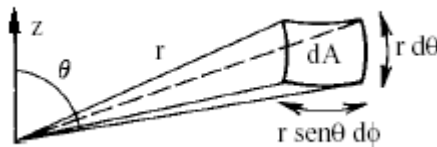


Fig. 002 Intensidad de Radiación en un ángulo Sólido

Sus unidades son el vatios por estereoradián y a grandes distancias tiene la propiedad de ser independiente de la distancia a la que se encuentra la antena.

Diagrama de Radiación

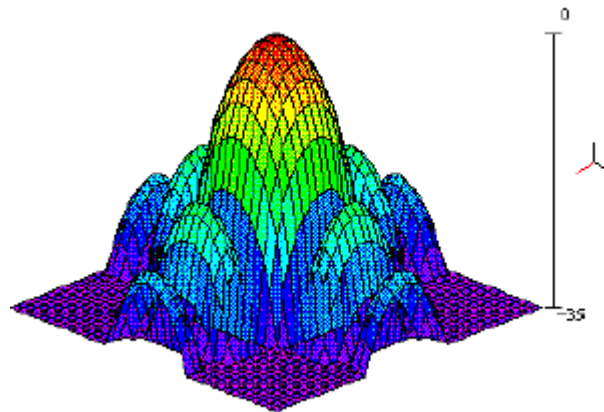


Fig. 003 Diagrama Tridimensional

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. Normalmente se emplean coordenadas esféricas. Con una antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia, el campo eléctrico se expresa en función de las variables angulares (θ, ϕ) . El campo al ser una magnitud vectorial, se debe determinar en cada punto de la esfera de radio constante el valor de dos componentes ortogonales, habitualmente según $\hat{\theta}$ y $\hat{\phi}$.

La representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico. El diagrama de radiación de la antena se puede representar en forma tridimensional utilizando técnicas gráficas diversas, como la curva de nivel o el dibujo en perspectiva.

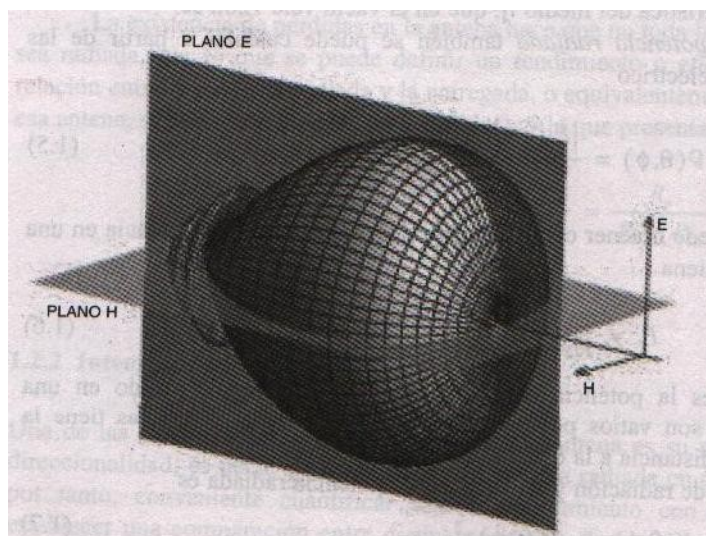


Fig. 004 Diagrama de Radiación Tridimensional

En la figura de la parte superior se muestra el diagrama tridimensional de una antena y los planos E y H. Los niveles se expresan en decibelios respecto al máximo de radiación.

Los cortes bidimensionales del diagrama de radiación se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas. En el primer caso el ángulo en el diagrama polar representa la dirección del espacio, mientras que el radio representa la intensidad del campo eléctrico o la densidad de potencia radiada. En coordenadas cartesianas se representa el ángulo en abscisas y el campo o densidad de potencia en ordenadas.

La representación en coordenadas cartesianas permite observar los detalles en antenas muy directivas, mientras que el diagrama polar suministra una información más clara de la distribución de potencia en las diferentes direcciones del espacio.

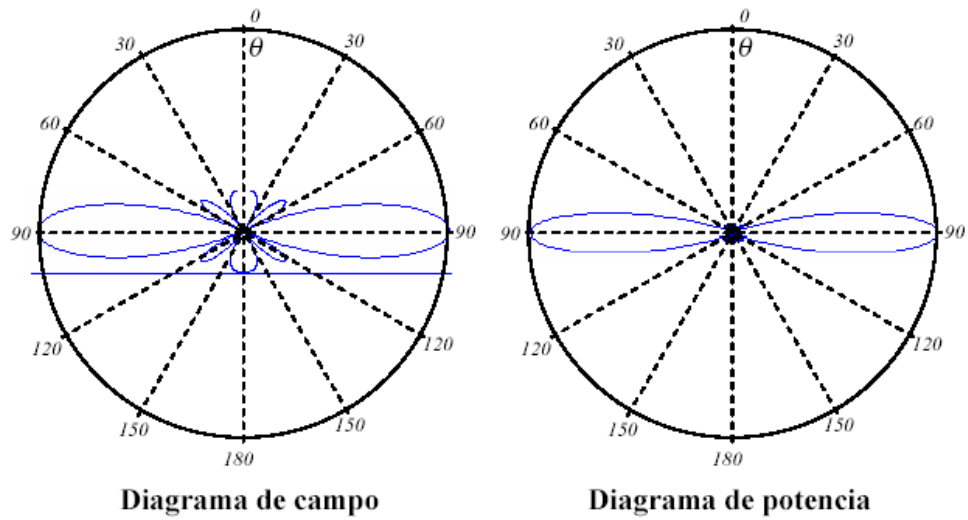


Fig. 005 Diagramas polares horizontales del campo y la densidad de potencia radiados por un arreglo de radiadores ubicados sobre el eje vertical.

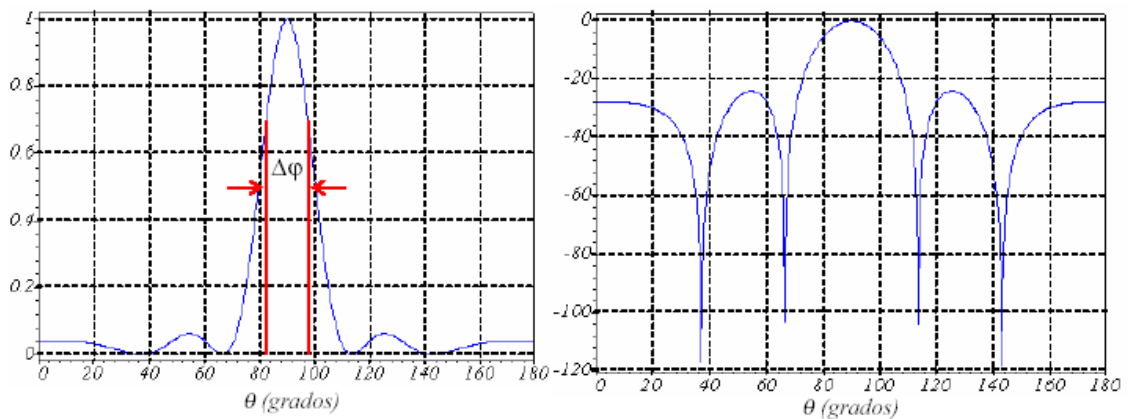


Fig. 006 Diagramas en coordenadas cartesianas con ordenada proporcional a la amplitud del campo o a la densidad media de potencia radiada, en escala normal o en escala logarítmica (en dB).

Parámetros en el diagrama de radiación

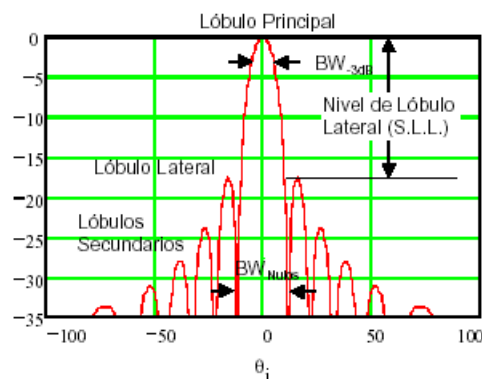


Fig 007 Parámetros de un Diagrama de Radiación

Lóbulo- Es una de las porciones tridimensionales del diagrama de radiación de una antena, delimitada por regiones de radiación más débil. Se define por su amplitud y su ancho de haz de potencia media ($\Delta\theta_{-3dB}$) para el cual la densidad de potencia cae a la mitad del valor máximo para el lóbulo (y los campos a $1/\sqrt{2}$).

- o Lóbulo principal: contiene la dirección de máxima radiación
- o Lóbulos laterales: adyacentes al lóbulo principal, son las zonas que rodean a los máximos de menor amplitud
- o Lóbulos secundarios: lóbulo lateral de mayor amplitud, se hacen más evidentes en los diagramas logarítmicos
- o Lóbulo posterior, en dirección opuesta al principal.

Ancho del Haz de la Antena ($\Delta\theta_{-3dB}$)- El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomando en uno de los planos "principales".

El área del haz es menor cuanto más concentrada se halla la radiación en un ángulo pequeño. El área del haz se puede expresar en forma aproximada como el producto de los anchos de potencia media sobre las dos direcciones principales ortogonales:

$$\Omega_A \cong \Delta\theta\Delta\phi$$

Tipos de diagramas:

De acuerdo al servicio que da la antena se clasifican en:

– Isotrópicos (cuasi-isotrópico) Si un diagrama de radiación presenta simetría de revolución en torno a un eje se dice que la antena es omnidireccional. Toda la información contenida en el diagrama tridimensional puede representarse en un único corte que contenga al eje.

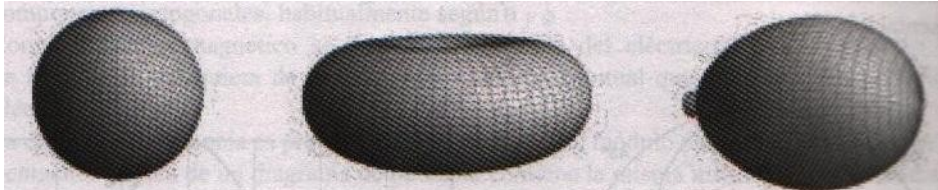


Fig 008 Diagrama de radiación isotrópico, omnidireccional y directivo

- Omnidireccionales: Direccionales en un plano e isotrópicos en el otro.
- Direccionales: Concentra la radiación fundamentalmente en un pequeño cono angular, se clasifican en:
 - Pincel: Haz cónico, para comunicaciones punto a punto.
 - Abanico: para antenas sectoriales de estaciones base de sistemas móviles
 - Haz contorneado, típicos para dar cobertura ajustada en servicios DBS
 - Haz conformado, típicos de radares de vigilancia (csc2)
 - Multihaz: varios lóbulos principales.

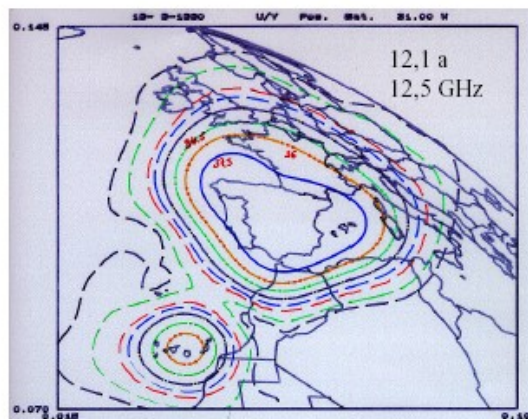


Fig. 009 Diagrama multihaz de haces contorneados de la antena DBS del satélite HISPASAT.

- Multidiagrama: Varios diagramas simultáneos.

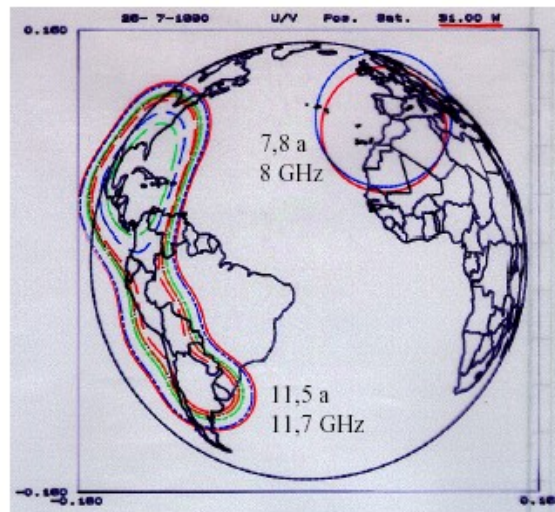


Fig. 010 Diagramas de la antena TVA-GOV (antena multidiagrama) del satélite HISPASAT.

- Antenas de Haz Reconfigurable.
- Antenas adaptativas

Angulo Sólido:

Es la zona del espacio abarcada por una sucesión de líneas radiales con vértice en el centro de una esfera. Su unidad es el estereoradián.

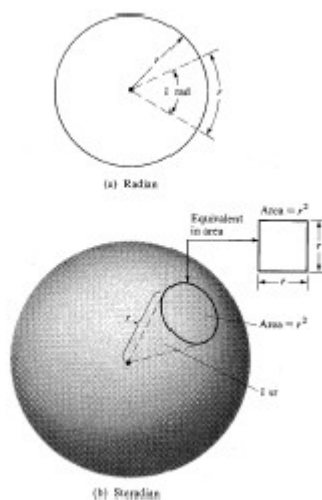


Fig. 011 Ángulo Sólido

Directividad

La directividad D de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría en esa misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena.

$$D(\theta, \phi) = \frac{\wp(\theta, \phi)}{Pr/(4\pi r^2)}$$

La directividad resulta en un número ≥ 1 que mide el grado de anisotropía de la radiación. La directividad es directamente proporcional al área del haz

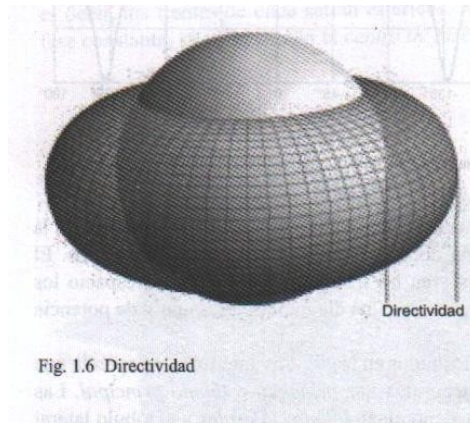


Fig. 012 Directividad

La directividad se puede obtener, en general a partir del conocimiento del diagrama de radiación de la antena. Si se define el diagrama normalizado mediante:

$$t(\theta, \phi) = \frac{\wp(\theta, \phi)}{\wp_{m\acute{a}x}} = \frac{K(\theta, \phi)}{K_{m\acute{a}x}} = D = \frac{4\pi}{\int_{4\pi} f(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_e}$$

Dónde:

Ω_e : se define como el ángulo sólido equivalente

En antenas directivas, con un solo lóbulo principal y lóbulos secundarios de valores reducidos, se puede tener una estimación de directividad considerando que se produce radiación uniforme en un ángulo sólido definido por los anchos de haz a -3 dB en los dos planos principales del diagrama de radiación ($\Delta\theta_1 \cdot \Delta\phi_2$)

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} = \frac{4\pi}{\Delta\theta_1 \cdot \Delta\theta_2}$$

Ganancia

Es la relación que existe entre el campo medido en la dirección de radiación privilegiada y el que daría una antena que sirve de referencia, situada en el mismo sitio y radiando la misma potencia. El campo se mide en V/m. Se expresa en general en decibelios. Aumentar la ganancia de una antena supone concentrar las radiaciones, dispersas en todos los azimutes, en un ángulo sólido restringido.

La ganancia y la directividad están relacionadas, en consecuencia, por la eficiencia de la antena.

$$G(\theta, \phi) = \frac{\frac{\wp(\theta, \phi)}{4\pi r^2}}{\frac{P_{entregada}}{4\pi r^2}} = \frac{P_{radiada} \wp(\theta, \phi)}{P_{entregada} \frac{P_{radiada}}{4\pi r^2}} = \eta_l D(\theta, \phi)$$

Si la antena no posee pérdidas, cosa habitual a altas frecuencias, ambos parámetros son equivalentes.

Polarización

La polarización de una antena está definida por la dirección de las líneas de fuerza del campo eléctrico respecto a la tierra. Una antena horizontal emitirá ondas polarizadas horizontalmente y una antena vertical ondas polarizadas verticalmente.

Si se emplean sistemas de antenas que lleven elementos de polarizaciones diferentes, por ejemplo elementos verticales y horizontales, la polarización resultante será intermedia entre la horizontal y la vertical y dependerá de la respectiva intensidad de los campos componentes.

A distancia relativamente corta del emisor, la mejor recepción se obtiene por una antena receptora que tenga respecto al suelo la misma disposición que la antena emisora. A gran distancia se produce, a causa de las reflexiones en la atmósfera una rotación de la polarización que hace que la posición de la antena receptora sea indiferente y entonces habrá que elegir posición de la antena receptora para que capte la menor cantidad de parásitos locales y esté despejada lo más posible de

obstáculos circundantes. Estas condiciones implica lo más frecuentemente una disposición horizontal de la antena.

Ejemplo:

Polarización lineal:

$$\begin{aligned} \underline{E} &= \hat{x}e^{j(\omega t - kz)} \\ \underline{E} &= 2\hat{y}e^{j(\omega t - kz)} \\ E &= (\hat{x} + 0.5\hat{y})e^{j(\omega t - kz)} \end{aligned}$$

Dónde:

K: número de onda

$$K = \omega\sqrt{\mu\epsilon} = 2\pi / \lambda$$

Se produce una polarización lineal cuando las fases de las dos componentes ortogonales del campo eléctrico son iguales o difieren en un número entero de π radianes.

Polarización circular

A izquierdas:
$$E = (\hat{x} + j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

A derechas:
$$E = (\hat{x} - j\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

Se produce polarización angular cuando las amplitudes de ambas componentes son iguales y sus fases se diferencian en $\pi/2$ o $3\pi/2$ radianes

Polarización elíptica

$$E = (\hat{x} + j0.5\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

$$E = (\hat{x} + (1 + j)\hat{y})e^{j(\omega t - kz)}$$

Ancho de Banda de la Antena

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es "satisfactoria". Esto, por lo general, se toma

entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena. El ancho de banda se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central. Dicha relación se suele expresar en forma de porcentaje.

$$BW = \frac{f_{m\acute{a}x} - f_{m\acute{i}n}}{f_0}$$

Dónde:

f_0 : frecuencia central

En antenas de banda ancha se suele especificar en la forma:

$$BW = \frac{f_{m\acute{a}x}}{f_{m\acute{i}n}} : 1$$

El ancho de banda de la antena lo impondrá el sistema del que lo forme parte y afectará al parámetro más sensible o crítico de la aplicación. Cuando la resistencia de la antena coincide con la impedancia de la línea de transmisión, el ancho de banda puede expresarse como:

$$BW = \frac{1}{Q} \frac{S-1}{\sqrt{S}}$$

Dónde:

S: relación de la onda estacionaria

PARÁMETROS DE ANTENAS DE RECEPCIÓN

Una antena capta de una onda incidente sobre ella parte de la potencia que transporta y la transfiere al receptor. La antena actúa como un sensor e interacciona con la onda y con el receptor, dando origen a una familia de parámetros asociados con la conexión circuital a éste y a otra vinculada a la interacción electromagnética con la onda incidente.

Adaptación

La impedancia de una antena receptora es la misma que la impedancia de dicha antena actuando como transmisora.

En recepción, la antena se conecta a una línea de transmisión o bien directamente a un receptor. Para que haya una máxima transferencia de potencia, la impedancia de la antena

$Z_a = R_a + jX_a$ y la impedancia de carga $Z_L = R_L + jX_L$ deben ser complejas conjugadas

$Z_L = Z_a^*$. En este caso

$$P_{Lm\acute{a}x} = \frac{|V_{CA}|^2}{4R_a}$$

Dónde:

V_{CA} : tensión inducida en circuito abierto en los bornes de la antena

En general si no hay adaptación se tiene:

$$P_L = P_{Lm\acute{a}x} C_a = P_{Lm\acute{a}x} (1 - |\rho|^2)$$

Dónde C_a es el coeficiente de desadaptación, que se puede calcular de la siguiente manera:

$$C_a = \frac{4R_a R_L}{(R_a + R_L)^2 + (X_a + X_L)^2}$$

Área y longitud efectiva

La antena extrae potencia del frente de la onda incidente, por lo que representa una cierta área de captación o área efectiva A_{eff} , definida como la relación entre la potencia que entrega la antena a su carga (supuesta sin pérdidas y adaptación a la carga) y la densidad de potencia de la onda incidente

$$A_{ef} = \frac{P_L}{\wp}$$

Al área efectiva también se la puede expresar en función de la longitud efectiva:

$$A_{ef} = \frac{\ell_{ef}^2 \eta}{4R_a}$$

$$\ell_{ef} = \frac{|V_{CA}|}{|E|}$$

El área efectiva dependerá de la dirección angular en la que incidan las ondas, de una forma similar a la directividad

$$A_{ef}(\theta, \phi) = A_{ef} t(\theta, \phi)$$

La longitud efectiva también variará proporcionalmente al diagrama de radiación del campo.

$$l_{ef}(\theta, \phi) = l_{ef} \sqrt{t(\theta, \phi)}$$

Campos Cercanos y Lejanos

El campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual que el campo de radiación que se encuentra a gran distancia. El termino campo cercano se refiere al patrón de campo que esta cerca de la antena, y el termino campo lejano se refiere al patrón de campo que está a gran distancia. Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano. Durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que está en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción es similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por tanto, el campo cercano se llama a veces campo de inducción. La potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena por lo tanto el campo lejano se llama campo de radiación. La potencia de radiación, por lo general es la mas importante de las dos, por consiguiente, los patrones de radiación de la antena, por lo regular se dan para el campo lejano. El campo cercano se define como el área dentro de una distancia d^2/l de la antena, en donde l es la longitud de onda y d el diámetro de la antena en las mismas unidades.

ECUACIÓN DE TRANSMISIÓN

En un sistema de comunicaciones ha de establecerse el balance de potencia entre el transmisor y el receptor, ya que el mínimo nivel de señal detectable en este último fija la potencia mínima que ha de suministrar el primero.

Las antenas no son en la realidad isótropas, concentran energía en ciertas direcciones. La densidad de potencia se obtendrá multiplicando la que habría producido una antena isótropa por la directividad, con lo que resultará

$$\wp(\theta, \phi) = \frac{Pr}{4\pi r^2} D(\theta, \phi) = \frac{Pe}{4\pi r^2} G(\theta, \phi)$$

Al producto de la potencia radiada por una antena por la directividad, o de la potencia entregada por la ganancia, se le denomina potencia isotrópica radiada equivalente, PIRE, y suele expresarse en dBW (decibelios sobre una potencia de referencia de 1 W)

$$PIRE = Pr \cdot D = Pe \cdot G$$

Para dos antenas separadas una distancia r , conectadas a sus correspondientes transmisor y receptor, la ecuación de transmisión de Friis establece la relación entre la potencia recibida y la radiada. La potencia que la antena receptora entregará a su carga adaptada vale:

$$P_L = \frac{Pr}{4\pi r^2} D_T \cdot A_{efR}$$

La relación entre la potencia recibida y la radiada se denomina pérdida de transmisión entre las antenas, y se acostumbra indicar en decibelios.

Si las antenas no estuvieran adaptadas habría que introducir en esta expresión los coeficientes de desadaptación C_a del transmisor y del receptor. Si el medio de propagación introduce pérdidas, habrá que contabilizarlas mediante un factor multiplicativo C_m de pérdidas en el medio. Asimismo, habrá que tener en cuenta que la potencia captada dependerá no sólo de la densidad de potencia incidente, sino también de la polarización de la onda, por lo que aparecerá un coeficiente de polarización C_p .

Existe una relación entre la directividad y el área efectiva de cualquier antena, la siguiente ecuación está en términos de la directividad que tendría la antena receptora si actuara como transmisora

$$\frac{A_{ef}}{D} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Resultando entonces

$$\frac{P_L}{P_r} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 D_T \cdot D_R$$

El término $\lambda / 4\pi r^2$ se denomina pérdida de transmisión en el espacio libre L_0 y se corresponde con la pérdida de transmisión entre antenas isotropas. Toma, en decibelios, un valor

$$L_0 = 20 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) = 22 + 20 \log \left(\frac{r}{\lambda} \right) = 32.5 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log r_{(Km)}$$

En general se tiene

$$\frac{P_L}{P_r} = -L_0 + D_T + D_R - L \text{ (dB)}$$

Dónde todos los términos han de calcularse en decibelios y L engloba todos los factores de desadaptación en las antenas y las pérdidas.

Desde el punto de vista del cómputo del balance de potencia en sistemas de comunicaciones, es conveniente referir la potencia recibida, P_R , a la potencia transmitida, P_T , entendida en este caso como la entregada a la antena. La ecuación de transmisión resultante se escribe en términos de las ganancias de las antenas y en el factor de pérdidas L' no se han de contabilizar las pérdidas en las antenas, por ya estar ya incluidas en las ganancias

$$\frac{P_L}{P_r} = -L_0 + G_T + G_R - L' \text{ (dB)}$$

TIPOS DE ANTENAS

Cada aplicación y cada banda de frecuencias presentan características peculiares que dan origen a unas tipologías de antenas muy diversas. En una forma amplia y no exhaustiva, los tipos más comunes se pueden agrupar en los grandes bloques siguientes:

1. Antenas de Hilo

Son antenas cuyos elementos radiantes son conductores de hilo que tienen una sección despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo. Las dimensiones suelen ser como máximo de una longitud de onda. Se utilizan extensamente en las bandas de MF, HF, VHF y UHF. Se pueden encontrar agrupaciones de antenas de hilo. Ejemplos de antenas de hilo son:

- o El monopolo vertical
- o El dipolo y su evolución,
- o La antena Yagi
- o La espira
- o La hélice
- o Antena de cuadro

Las antenas de hilo se analizan a partir de las corrientes eléctricas de los conductores.

► Antena de cuadro

Antena de escasa sensibilidad, formada por una bobina de una o varias espiras arrolladas en un cuadro, cuyo funcionamiento bidireccional la hace útil en radiogoniometría.

► Dipolo de Media Onda

El dipolo de media onda lineal o dipolo simple es una de las antenas más ampliamente utilizadas en frecuencias arriba de 2MHz. En frecuencias abajo de 2 MHz, la longitud física de una antena de media longitud de onda es prohibitiva. Al dipolo de media onda se le refiere por lo general como antena de Hertz.

Una antena de Hertz es una antena resonante. O sea, es un múltiplo de un cuarto de longitud de onda de largo y de circuito abierto en el extremo más lejano. Las ondas estacionarias de voltaje y de corriente existen a lo largo de una antena resonante.

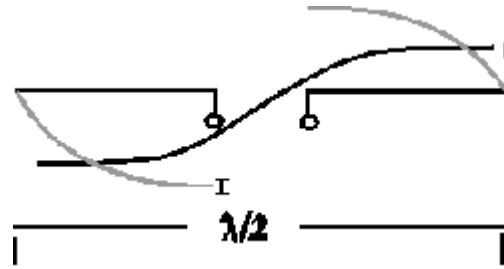


Fig. 013 Distribución de corriente y voltaje ideales a lo largo de un dipolo de media onda.

En la figura anterior cada polo de la antena se ve como una sección abierta de un cuarto de longitud de onda de una línea de transmisión. Por lo tanto en los extremos hay un máximo voltaje y un mínimo de corriente y un mínimo de voltaje y un máximo de corriente en el centro. En consecuencia, suponiendo que el punto de alimentación está en el centro de la antena, la impedancia de entrada es $E_{\text{mínimo}} / I_{\text{máximo}}$ y un valor mínimo. La impedancia en los extremos de la antena de $E_{\text{máximo}} / I_{\text{mínimo}}$ y un valor máximo.

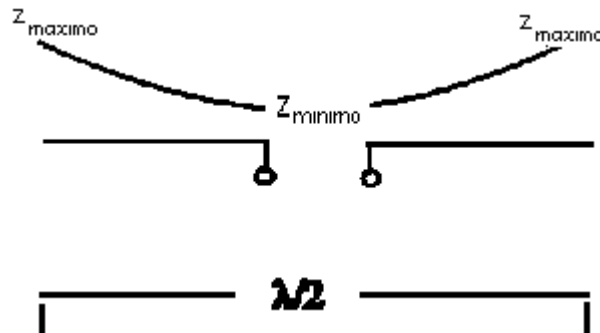


Fig. 014 Curva de impedancia para un dipolo de media onda alimentado en el centro.

El patrón de radiación de espacio libre para un dipolo de media onda depende de la localización horizontal o vertical de la antena con relación a la superficie de la tierra.

El dipolo de media onda alimentado en el centro posee una impedancia teórica de 75 ohms en el espacio abierto. Esto no ocurre en los montajes prácticos, debido a los elementos circundantes y a la altura a la que se instale el dipolo.

Antena Yagi:

La antena Yagi básica consiste en un cierto número de elementos rectos que miden cada uno aproximadamente la mitad de la longitud de onda. El elemento excitado o activo de una Yagi es el equivalente a una antena dipolo de media onda con alimentación central. En paralelo al elemento activo, y a una distancia que va de 0,2 a 0,5 longitudes de onda en cada lado, hay varillas rectas o alambres llamados reflectores y directores, o simplemente elementos pasivos. Un reflector se ubica detrás del elemento activo y es ligeramente más largo que media longitud de onda; un director se coloca en frente del elemento activo y es ligeramente más corto que media longitud de onda. Una Yagi típica tiene un reflector y uno o más directores. La antena propaga la energía del campo electromagnético en la dirección que va desde el elemento activo hacia los directores, y es más sensible a la energía electromagnética entrante en esta misma dirección. Cuantos más directores tiene una Yagi, mayor la ganancia. Cuantos más directores se agreguen a una Yagi, la misma va a ser más larga.

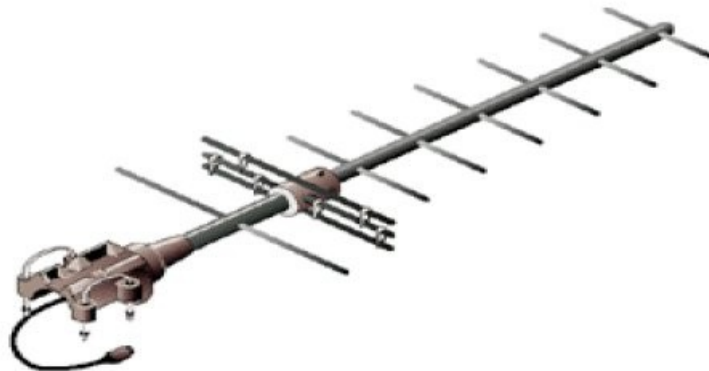


Fig. 015 Antena Yagi con 6 directores y 1 reflector.

Las antenas Yagi son utilizadas principalmente por los enlaces Punto a Punto; tienen una ganancia desde 10 a 20 dBi y un ancho de haz horizontal de 10 a 20 grados.

2. Antenas de Apertura y Reflectores

Las antenas de apertura son aquellas que utilizan superficies o aperturas para direccionar el haz electromagnético de forma que concentran la emisión y recepción de su sistema radiante en una dirección, formando ángulos sólidos, como ejemplo se tiene las bocinas (piramidales, cónicas), las aperturas y las ranuras sobre planos conductores, y las bocas de guía. Este tipo de antenas se caracteriza por los campos eléctricos y magnéticos de la apertura, variables armónicamente en el tiempo.

Hay dos tipos de antenas de apertura según su tipo de apertura:

- de ancho estándar
- de apertura sintética (por software)

El reflector es el candidato más deseable en sistemas de antenas de satélite debido a su ligero peso, su simple estructura y un diseño más consolidado. La desventaja del reflector es que tiene un bloqueo del alimentador, lo cual acaba con la simetría rotacional y limita el rango de scan a muy pocos anchos de haz

El empleo de reflectores, asociados a un alimentador primario, permite disponer de antenas con las prestaciones necesarias para servicios de comunicaciones a grandes distancias, tanto terrestres como espaciales.

► Antena Parabólica

Las antenas basadas en reflectores parabólicos son el tipo más común de antenas directivas cuando se requiere una gran ganancia. La ventaja principal es que pueden construirse para tener una ganancia y una directividad tan grande como sea requerido. Generalmente es usado por su peso ligero y estructura simple. La desventaja principal es que los platos grandes son difíciles de montar y están predispuestos a sufrir los efectos del viento. Los platos de más de un metro generalmente están hechos de material sólido. Frecuentemente se utiliza el aluminio por una ventaja de peso, su durabilidad y sus buenas características

eléctricas. El efecto del viento se incrementa rápidamente con el tamaño del plato y se convierte en un problema severo. A menudo se utilizan platos que tienen una superficie reflectora constituida por una malla abierta. Éstos tienen una relación de ganancia adelante/atrás más pobre pero son seguros de utilizar y sencillos de construir. Materiales como el cobre, aluminio, bronce (latón), acero galvanizado y hierro son apropiados para una malla.



Fig. 016 Antena Plato Sólida

El reflector parabólico es el más, utilizado tanto en enlaces de radio terrestres como satelitales, la ganancia de dichas antenas estará relacionada con la superficie de la parábola, a mayor tamaño mayor colimación del haz tendremos y por lo tanto mayor ganancia en una menor apertura angular. El elemento radiante es el Iluminador, el cual puede iluminar en forma directa a la parábola o en forma indirecta mediante un sub reflector, dependiendo del diseño de la misma. El iluminador está generalmente ubicado en el foco de la parábola. La desventaja del reflector es que tiene un bloqueo del alimentador, lo cual acaba con la simetría rotacional y limita el rango de scan a muy pocos anchos de haz

► **Reflector sin bloqueo: reflector**

asimétrico.

La antena de foco desplazado (off-set) es una alternativa interesante que se encuentra en fase de rápido desarrollo, si bien resulta más cara. En ella, el reflector está formado por una parte de la parábola, de manera que el alimentador situado en el foco aparece decalado. Esta disposición elimina el efecto de enmascaramiento o de sombra que el alimentador y su soporte producen sobre las ondas incidentes que llegan del satélite, con lo que se obtiene una mejor eficacia de la antena. La principal desventaja es que se produce un nivel de polarización cruzada superior al caso de alimentación frontal debido a la falta de simetría de la estructura.

Reflector con bloqueo: antena Cassegrain

Este tipo de antenas se utiliza en aplicaciones espaciales donde se requiere gran directividad, una elevada potencia en el transmisor y un receptor de bajo ruido. Utilizar una gran antena reflectora implica grandes distancias del receptor al foco y la imposibilidad de colocar equipos en él por lo que una solución es emplear un segundo reflector o subreflector y colocar la alimentación cerca o en el vértice del paraboloide. El foco del subreflector coincide con el del reflector principal. De todas formas el bloqueo no desaparece, el máximo bloque viene determinado por el diámetro del subreflector y por la sombra que proyecta el alimentador desde el foco sobre el paraboloide.

► Un cuarto tipo de antena más extendido o no es parabólico, se

trata de la antena plana, formada por un cierto número de dipolos cableados de forma que se obtenga un ángulo de apertura del lóbulo principal de magnitud similar a la obtenida con las antenas parabólicas.

► **Antena Bocina**

El nombre de la antena bocina deriva de su apariencia característica acampanada o de cuerno. La porción acampanada puede ser cuadrada, rectangular, cilíndrica o cónica. La dirección de máxima radiación se corresponde con el eje de la campana. Se puede alimentar con una guía de onda, pero también puede hacerse con un cable coaxial y la transición apropiada. Las antenas bocina se utilizan comúnmente como el elemento activo en una antena de plato. La antena bocina se coloca hacia el centro del plato reflector. El uso de una bocina, en lugar de una antena dipolo o cualquier otro tipo de antena en el punto focal del plato, minimiza la pérdida de energía alrededor de los bordes del plato reflector. A 2,4GHz, una antena bocina simple hecha con una lata tiene una ganancia del orden de 10 a 15 dBi.



Fig. 017 Antena bocina hecha con una lata de comida

3. Agrupaciones de Antenas

Consiste básicamente en un grupo de antenas radiando en fase. Bocinas, dipolos, hélices, espirales, parabólicas y muchos otros tipos pueden ser los elementos radiantes. Requiere de N redes de alimentación para N rayos lo que lo hace pesado y complejo. Una agrupación de antenas para aplicaciones de satélite puede utilizarse para:

- Conseguir un haz fijo tanto simple como múltiple.
- Array de alimentación de lentes o reflectores de sistemas de antena.

► **Sistemas
de
antenas
multihaz**

Una antena multihaz es la que se usa generalmente en los sistemas de antenas de satélite. Consiste en una superficie enfocada iluminada por un array de elementos alimentadores. Cada elemento ilumina a la apertura óptica y genera un haz. El ancho de haz de un rayo va determinado por el tamaño de la apertura óptica y la posición y separación angular de estos rayos está determinada por la separación entre los elementos.

Con esta configuración el satélite puede comunicarse a través de una sola antena con varias estaciones terrenas geográficamente dispersas. Además en estas estaciones terrenas se necesitan antenas menores que reducen el coste debido a que tienen la radiación focalizada hacia ellas.

Las antenas multihaz utilizan un reflector que lleva el radiador primario en el foco del mismo. La dirección del haz se puede modificar cambiando la posición de los elementos radiadores alrededor del foco. Hay que tener en cuenta el bloqueo que producen los radiadores dispuestos en torno a éste. Es por ello mucho más útil el empleo de configuraciones offset.

4. Lentes

Las lentes se utilizan como antenas colimantes de gran ganancia. Una lente no tiene bloqueo por el alimentador, aunque es un bloqueo para la alimentación, es más atractiva por su funcionamiento escaneado y porque es más compacta. Sin embargo es también bastante pesada en aplicaciones de baja frecuencia. Las reflexiones de la superficie de la lente causan pérdidas de potencia, errores en la alimentación.

La clave de un buen diseño está en el equilibrio de los siguientes parámetros:

- Tipos de lentes: la mayoría de las lentes usadas para aplicaciones de los satélites son guía de onda, TEM y dieléctricos.
- Dimensiones: viene definida por la relación f/D , siendo f la distancia focal y D el diámetro.
- Formas de superficie de lente: las superficies convencionales son planas, esféricas o paraboloides.
- Tolerancias de la superficie: las desviaciones de la superficie de la lente causan pérdidas de ganancia y degradación del patrón.

Antena	Ventajas	Desventajas
Lentes	<ul style="list-style-type: none"> • No bloqueo en la alimentación • Mejor barrido del espacio 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes en aplicaciones de baja frecuencia • Errores en la apertura • Necesario offset para evitar el bloqueo del alimentador
Reflectores	<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Ligeros • Diseño consolidado • Distribución de la potencia en niveles de radiación elementales 	<ul style="list-style-type: none"> • Pobre barrido del espacio • Complejidad • Pesado
Phased Array	<ul style="list-style-type: none"> • Fiable • No tiene pérdidas de desbordamiento • No hay bloqueo en la apertura 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes pérdidas en la red de formación del haz.

Tabla 01 Características de las antenas Básicas

Antenas en recepción

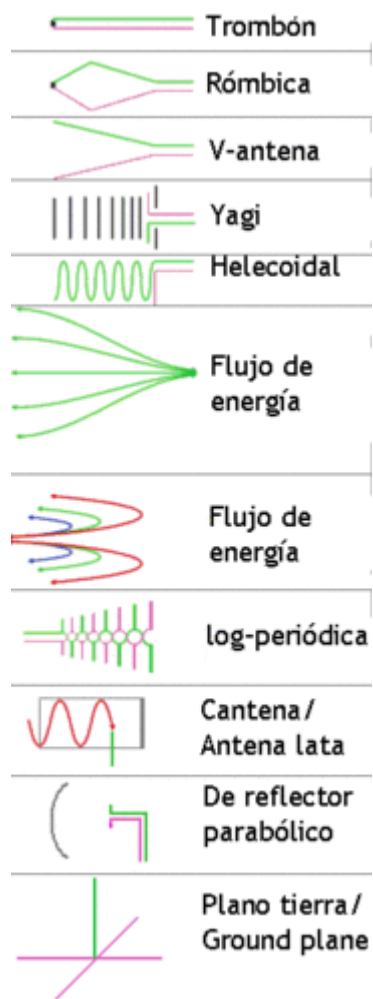


Fig. 018 Diferentes tipos de antenas y su irradiación.

El campo eléctrico de una onda electromagnética induce una tensión en cada pequeño segmento del conductor de una antena. La corriente que circula en la antena tiene que atravesar la impedancia de la antena.

Utilizando el [teorema de reciprocidad](#) se puede demostrar que el circuito equivalente de Thevenin de una antena en recepción es el siguiente:

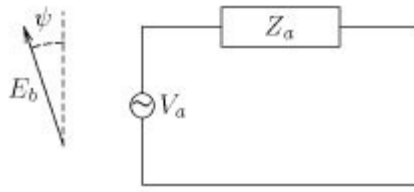


Fig. 019 Circuito Equivalente de Thevenin

$$V_a = \frac{\sqrt{R_a G_a} \lambda \cos \psi}{\pi \sqrt{120}} E_b$$

Dónde:

- V_a : es la tensión del circuito equivalente de Thevenin.
- Z_a : es la impedancia del circuito equivalente de Thevenin y es igual a la impedancia de la antena.
- R_a : es la resistencia en serie de la impedancia Z_a de la antena.
- G_a : es la ganancia de la antena (la misma que en emisión) en la dirección de donde vienen las ondas electromagnéticas.
- λ : es la longitud de onda.
- E_b : es el campo eléctrico de la onda electromagnética incidente.
- Ψ : es el ángulo que mide el desalineado del campo eléctrico con la antena. Por ejemplo, en el caso de una antena formada por un dipolo, la tensión inducida es máxima cuando el dipolo y el campo eléctrico incidente están alineados. Si no lo están, forman un ángulo Ψ la tensión inducida estará multiplicada por $\cos \Psi$

El circuito equivalente y la fórmula anterior son válidos para todo tipo de antena: que sea un dipolo simple, una antena parabólica, una antena Yagi-Uda o una red de antenas.

Definiciones:

$$\text{Longitud eficaz de la antena} = \frac{\sqrt{R_a G_a} \lambda \cos \psi}{\pi \sqrt{120}}$$

$$\text{Potencia disponible máxima} = \frac{G_a \lambda^2}{480 \pi^2} E_b^2$$

$$\text{Superficie eficaz o sección eficaz} = \frac{G_a}{4\pi} \lambda^2$$

El corolario de estas definiciones es que la potencia máxima que una antena puede extraer de una onda electromagnética solo depende de la ganancia de la antena y del cuadrado de λ .

La clasificación de las antenas también puede basarse en:

► **Frecuencia y tamaño**

Las antenas utilizadas para HF son diferentes de las antenas utilizadas para VHF, las cuales son diferentes de las antenas para microondas. La longitud de onda es diferente a diferentes frecuencias, por lo tanto las antenas deben ser diferentes en tamaño para radiar señales a la correcta longitud de onda. A los 2400 MHz la longitud de onda es 12,5cm, mientras que a los 5000 MHz es de 6cm.

► **Directividad.**

Las antenas pueden ser omnidireccionales, sectoriales o directivas. Las antenas omnidireccionales irradian aproximadamente con la misma intensidad en todas las direcciones del plano horizontal, es decir en los 360°. Los tipos más populares de antenas omnidireccionales son los dipolos y las de plano de tierra. Las antenas *sectoriales* irradian principalmente en un área específica. El haz puede ser tan amplio como 180 grados, o tan angosto como 60 grados. Las direccionales o directivas son antenas en las cuales el ancho del haz es mucho más angosto que en las antenas sectoriales. Tienen la ganancia más alta y por lo tanto se utilizan para

enlaces a larga distancia. Tipos de antenas directivas son las Yagi, las biquad, las de bocina, las helicoidales, las antenas patch, los platos parabólicos, y muchas otras.

► **Construcción física.**

Las antenas pueden construirse de muchas formas diferentes, desde simples mallas, platos parabólicos, o latas de café.

► **Aplicaciones.**

Los puntos de acceso tienden a hacer redes punto a multipunto, mientras que los enlaces remotos son punto a punto. Esto implica diferentes tipos de antenas para el propósito. Los nodos utilizados para accesos multipunto pueden utilizar tanto antenas omnidireccionales, las cuales irradian igualmente en todas direcciones, como antenas sectoriales que se enfocan en un área limitada. En el caso de los enlaces punto a punto, las antenas se usan para conectar dos lugares. Las antenas directivas son la elección principal para esta aplicación.

PROPAGACIÓN DE ONDAS

PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE Y EN EL ENTORNO TERRESTRE

Todo sistema de telecomunicación debe diseñarse para que en el receptor se obtenga una relación señal-ruido mínima que garantice su funcionamiento. Los servicios de radiocomunicaciones, radiodifusión, radiolocalización (radar), teledetección y radioayudas a la navegación tienen en común el empleo de ondas electromagnéticas radiadas como soporte de la transmisión de información entre el transmisor y el receptor. Para la correcta planificación de cualquiera de estos sistemas resulta esencial conocer los factores que pueden alterar la propagación electromagnética, su magnitud y su influencia en las distintas bandas de frecuencias.

En condiciones de propagación en el espacio libre la relación entre la potencia recibida y la transmitida (pérdida de transmisión) por dos antenas separadas una distancia r es

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{1}{4\pi r^2} D_T \cdot A_{efR} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 D_T D_R = \left(\frac{1}{\lambda r} \right)^2 A_{efR} \cdot A_{efT}$$

Como regla general puede afirmarse que para antenas de dimensiones fijas y considerando la propagación en el espacio libre, disminuir la frecuencia en bandas de frecuencias bajas y aumentarla en bandas de frecuencias elevadas reduce la pérdida de transmisión.

La propagación en el espacio libre responde a un modelo ideal análogo a las condiciones de propagación en el vacío. En el entorno terrestre muy pocas situaciones se ajustan a este modelo. La presencia de la tierra, la atmósfera y la ionosfera alteran en la mayoría de los casos reales las condiciones de propagación.

En la siguiente figura se representan de forma esquemática estos tres fenómenos asociados a la presencia de la tierra: reflexión, difracción y onda de superficie.

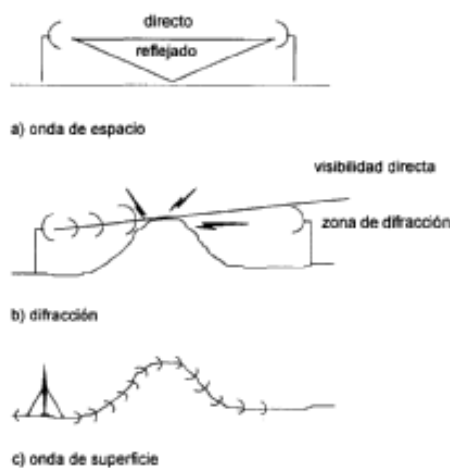


Fig 020. Efecto de la tierra en la propagación

En la práctica cuando se proyecta un servicio, debe identificarse en primer lugar los fenómenos que son relevantes en función de la frecuencia a emplear y de la ubicación de las antenas.

EFECTO DE LA TIERRA

Reflexión en tierra plana

La presencia de la tierra produce reflexiones al incidir sobre ella una onda electromagnética. La tierra es un medio dieléctrico con pérdidas cuyas constantes dieléctricas varían en función del tipo de suelo, el grado de humedad del mismo y la frecuencia. En la siguiente tabla se muestra el valor de la permitividad relativa y de la conductividad para diferentes tipos de suelo a dos frecuencias distintas, en bandas típicas de radiocomunicaciones (MF y UHF)

TERRENO	1 MHz			1 GHz		
	ϵ'	σ (S/m)	ϵ''	ϵ'	σ (S/m)	ϵ''
Agua salada, 20° C	70	5	$9 \cdot 10^4$	70	5	90
Suelo húmedo	30	10^{-2}	180	30	$5 \cdot 10^{-2}$	0,9
Agua dulce, 20° C	80	$2 \cdot 10^{-3}$	36	80	$5 \cdot 10^{-2}$	0,9
Suelo moderadamente seco	15	10^{-3}	18	15	$3 \cdot 10^{-2}$	0,5
Suelo muy seco	3	10^{-4}	1,8	3	$5 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-4}$
Agua pura, 20° C	80	$<10^{-5}$	$<0,2$	80	10^{-1}	3,6
Hielo, -1° C	3	$3 \cdot 10^{-5}$	0,5	3	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$

Tabla 02 Permitividad relativa y conductividad típica para distintos tipos de suelos

Es de destacar la influencia de la humedad del suelo en el valor de las constantes dieléctricas, así como una mayor dependencia de la conductividad en función de la frecuencia. Por otra parte, un determinado tipo de terreno se comportará como un buen conductor cuando $\epsilon'' = \sigma / \omega \epsilon_0 \gg \epsilon'$ condición doblemente dependiente de la frecuencia ya que la conductividad también depende de ella.

Al incidir una onda plana sobre un dieléctrico se genera una onda transmitida al medio dieléctrico y una onda reflejada.

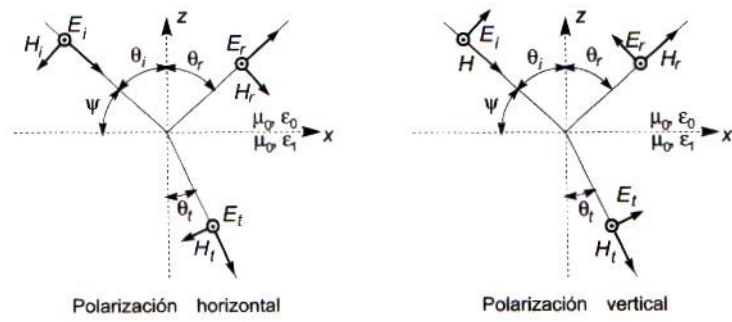


Fig. 021 Incidencia de una onda plana en un medio dieléctrico

Se define el coeficiente de reflexión de la onda polarizada horizontalmente como:

$$\rho_H = \frac{\text{sen}\psi - \sqrt{n_2^2 - \cos^2\psi}}{\text{sen}\psi + \sqrt{n_2^2 - \cos^2\psi}}$$

Dónde:

ψ : ángulo de elevación.

n : índice de refracción

Para la polarización vertical se tiene:

$$\rho_v = \frac{n_2^2 \text{sen}\psi - \sqrt{n_2^2 - \cos^2\psi}}{n_2^2 \text{sen}\psi + \sqrt{n_2^2 - \cos^2\psi}}$$

Donde:

n_2 es el índice de refracción del terreno, es decir,

$$n_2 = \sqrt{\epsilon' - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}}$$

ϵ : Permitividad

ϵ_0 : Permitividad al vacío

σ : Conductividad

La relación entre la potencia transmitida y la recibida, para reflexión en tierra plana con ángulo de incidencia rasante y mucho menor que el ancho de haz de las antenas empleadas, puede escribirse como

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{1}{4\pi R^2} D_T A_{efR} \left(\frac{2kh_1 h_2}{R} \right)^2 \propto \frac{1}{R^4}$$

Dónde:

K: constante de propagación en el medio

D_T : directividad de la antena transmisora

A_{efR} : área efectiva de la antena receptora

h: alturas

En este caso, la potencia recibida es inversamente proporcional a la distancia elevada a la cuarta potencia, en lugar de al cuadrado, como sucede en el espacio libre.

► Difracción

La difracción es el fenómeno que ocurre cuando una onda electromagnética incide sobre un obstáculo. La tierra y sus irregularidades pueden impedir la visibilidad entre antena transmisora y receptora en ciertas ocasiones. La zona oculta a la antena transmisora se denomina la zona de difracción

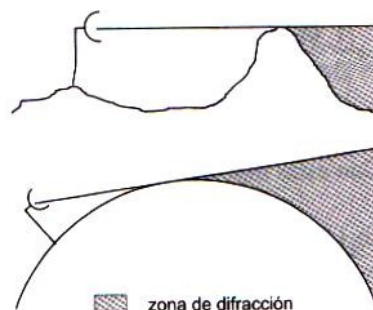


Fig. 022 Obstrucción causada por la tierra

En esta zona los campos no son nulos debido a la difracción causada por el obstáculo y, por tanto, es posible la recepción, si bien con atenuaciones superiores a las del espacio libre.

Considerando la situación de la siguiente figura:

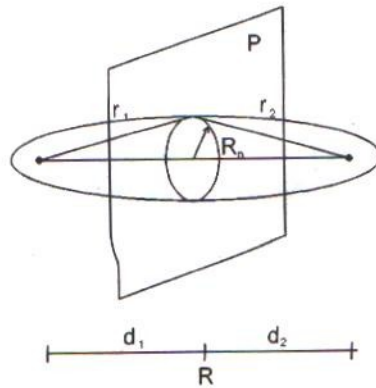


Fig. 023 Definición de la zona de Fresnel

En que dos antenas isótropas están separadas una distancia R . A una distancia d_1 de la antena transmisora donde se halla el obstáculo, se define un plano P infinito, perpendicular a la línea que une a la antena transmisora con la receptora.

Se definen las zonas de Fresnel como aquellos puntos del espacio que cumplen:

$$(r_1 + r_2) - R = n\lambda / 2; \quad n = 1, 2, \dots$$

Las zonas de Fresnel son elipsoides de revolución cuyo eje mayor tiene una longitud de $R + n\lambda/2$.

$$R_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

El radio de la primera zona de Fresnel permite definir la condición de visibilidad entre antenas, de forma que mientras no exista un obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel se considera que la trayectoria no ha sido obstruida. Por el contrario, cuando el obstáculo se encuentra dentro de la primera zona de Fresnel

existirá una disminución apreciable en la potencia recibida, por lo que se considera que la trayectoria ha sido obstruida y deberá considerarse el efecto de la difracción.

► Onda de superficie

La radiación de ondas electromagnéticas sobre una superficie esférica lisa es un problema que admite una solución analítica. El campo radiado puede expresarse como una suma de términos cuyas amplitudes son función de la frecuencia, el tipo de terreno, la altura de las antenas sobre el suelo, la polarización y la distancia.

Si las antenas se aproximan al suelo, la potencia recibida en ambas polarizaciones decrece hasta una cierta altura en que la potencia recibida en polarización vertical permanece constante, mientras que en polarización horizontal continúa decreciendo. Cuando la altura de las antenas es una fracción de la longitud de onda, la potencia recibida en polarización horizontal es despreciable frente a la potencia recibida en polarización vertical. Este fenómeno es especialmente importante a frecuencias bajas (MF e inferiores, $\lambda > 100$ m) en las que las antenas están necesariamente próximas a la superficie terrestre.

La onda de superficie es el mecanismo responsable de la propagación a grandes distancias en la banda de MF, donde se encuentra ubicado el servicio de radiodifusión en OM. Con potencias de transmisión del orden de 100 kW se obtienen coberturas de hasta unos 100 km con señal de gran calidad ($S/N \approx -30$ dB) sin necesidad de que exista visibilidad directa entre el transmisor y el receptor.

EFECTO DE LA TROPOSFERA

► Atenuación

La absorción molecular de los gases contenidos en la atmósfera y la atenuación producida por los hidrometeoros son las principales causas de la atenuación atmosférica.

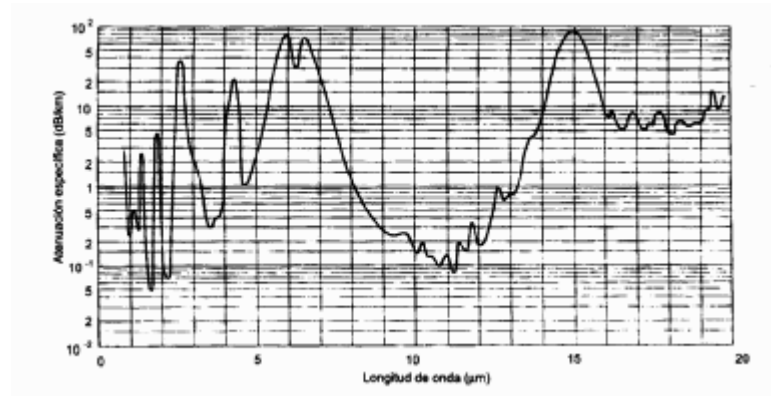


Fig. 024 Atenuación específica por absorción molecular en la banda de infrarrojos [UIT]

En cuanto a la atenuación por hidrometeoros, es especialmente importante la lluvia, ya que la niebla, la nieve y el granizo producen atenuaciones mucho menores en las bandas de SHF e inferiores. La atenuación por lluvia depende de la intensidad y de factores tales como el tipo de lluvia, el tamaño y la velocidad de las gotas de agua. En la planificación de un servicio el efecto de la lluvia debe considerarse de forma estadística teniendo en cuenta la probabilidad de que una cierta intensidad de lluvia ocurra, y sobredimensionando el sistema de forma que la atenuación adicional asociada a esta intensidad de lluvia no afecte al sistema.

Para aplicaciones prácticas la atenuación específica de la lluvia puede calcularse como:

$$\gamma_R = KR^\alpha \text{ (dB/Km)}$$

Dónde R es la intensidad de la lluvia en mm/h, y las constantes K y α son función de la frecuencia y difieren para polarización vertical y horizontal, ya que las gotas de lluvia no son esféricas sino que por efecto del rozamiento del aire tienden a achatarse formando esferoides con el eje vertical menor que el horizontal, por lo que la atenuación para la polarización vertical es ligeramente menor que para la horizontal. La relación entre la atenuación específica oscila entre 1,05 y 1,35 dB para cada polarización en el margen de frecuencias entre 10 y 80 GHz. En la tabla

siguiente se muestra el valor de los parámetros K y α para distintas frecuencias y para cada polarización.

Frecuencia (GHz)	Ku	Kv	α_H	β_V
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,88
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
30	0,187	0,167	1,021	1
40	0,35	0,31	0,939	0,929

Tabla 03. Coeficiente para estimar la atenuación específica de la lluvia

Para trayectos inclinados debe considerarse el incremento de atenuación debido a la mayor longitud del trayecto recorrido dentro de la atmósfera. Esta puede calcularse del siguiente modo, si ψ es el ángulo de elevación

$$A(\psi) = \frac{A(90^\circ)}{\text{sen}\psi}$$

Dónde $a(90^\circ)$ es la atenuación para el trayecto cenital. Esta expresión corresponde a un modelo de tierra plana que no considera la curvatura de la superficie terrestre y, por tanto, sólo es válida para trayectos que no estén muy alejados de la vertical, como sucede habitualmente en comunicaciones tierra-satélite.

► Refracción

El índice de refracción de la atmósfera varía en función de la concentración de gases. Es por este motivo, para una atmósfera normal, que el índice de refracción disminuye con la altura. El índice de refracción del aire es muy próximo a la unidad. Para facilitar los cálculos se define el coíndice de refracción o refractividad N como

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 \text{ unidades N}$$

De forma que la refractividad tiene en la superficie terrestre valores de centenas de unidades N. Si se supone la atmósfera como un gas ideal con una cierta concentración de vapor de agua, la refractividad puede obtenerse como:

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}$$

Donde:

P: presión atmosférica en mbar

T: temperatura absoluta en K

e: presión parcial del vapor de agua en mbar

Tanto la presión atmosférica como la temperatura y el contenido de vapor de agua son función de la altura. Para un perfil atmosférico medio la refractividad varía exponencialmente en función de la altura. La UIT define como atmósfera de referencia aquella en que la refractividad varía como

$$N(h) = 315e^{-0.136h} \text{ Unidades N}$$

Dónde: h es la altura en km.

La principal consecuencia de la variación del índice de refracción atmosférico es la refracción de las ondas, es decir, que las ondas no se propagan en línea recta. Para un medio estratificado como el de la figura siguiente,

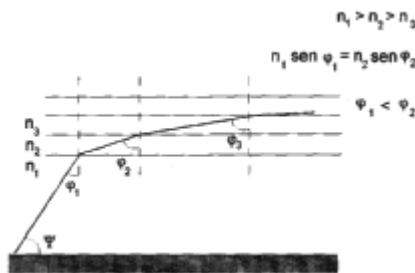


Fig. 025 Curvatura de las trayectorias en la atmósfera

El índice de refracción disminuye con la altura, la trayectoria de la onda se curva hacia la región de mayor índice de refracción. El radio de curvatura r de la trayectoria está dado por

$$\frac{1}{r} = -\frac{1}{n(h)} \frac{dn}{dh} \cos\psi$$

Cuando la variación de n con la altura es significativa, el radio de curvatura no es muy grande y la trayectoria de las ondas no es recta sino que se curva debido a la refracción. Este efecto debe tenerse en cuenta al considerar la visibilidad entre antenas, la distancia al horizonte y la distancia entre trayectorias y obstáculos. Para simplificar los cálculos se supone que en la proximidad de la superficie terrestre el gradiente de la refractividad es constante. En este caso el radio de curvatura de la trayectoria es constante, es decir, describe una circunferencia. Es posible definir un radio equivalente de la tierra, para la cual las ondas se propagan en línea recta. La condición que debe cumplir este radio equivalente es

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_T} - \frac{1}{r} = \left(157 + \frac{dN}{dh}\right) 10^{-6}$$

► Difusión Troposférica

Si mediante la antena transmisora se radia hacia una de estas heterogeneidades suficiente energía, la energía interceptada y reradiada hacia la antena receptora bastará para realizar una comunicación transhorizonte con niveles de señal superiores a los que se conseguirían por difracción sobre la tierra esférica.

La difusión troposférica es importante en las bandas de VHF y UHF en las que el tamaño de las heterogeneidades es comparable a la longitud de onda, y la atenuación atmosférica es despreciable. Permite alcances de centenares de kilómetros y, sin embargo, está sujeta a desvanecimientos debido a variaciones locales rápidas de las condiciones atmosféricas.

Este último inconveniente puede superarse aumentando la potencia de transmisión. Hasta el advenimiento de los satélites, la comunicación troposférica era la única posibilidad de establecer enlaces a grandes distancias en las bandas de VHF y UHF; en la actualidad su uso ha disminuido, si bien se sigue usando en los radares transhorizonte.

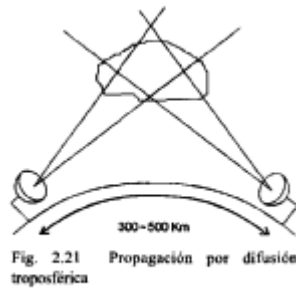


Fig. 026 Propagación por difusión troposférica

EFFECTO DE LA IONOSFERA

La ionosfera es una capa de la atmósfera comprendida entre los 50 y los 2.000 Km. de altitud por encima de la superficie terrestre y que se caracteriza por contener densidades importantes de moléculas ionizadas. La propagación por medios ionizados está sujeta a fenómenos de reflexión, absorción y refracción en función de parámetros tales como la frecuencia y la densidad de ionización.

ESPECTRO

Furier determinó que todos los fenómenos eléctricos están compuestos de una o más ondas senoidales de determinada amplitud, fase y frecuencia.

Ejemplo: Si se hace pasar la luz del Sol a través de un prisma ésta se descompone en una gama de colores similares a los que pueden observarse en un arco iris (rojo anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta). A esta gama de colores se le da

el nombre de espectro de la luz visible. El arco iris es un espectro natural producido por fenómenos meteorológicos

Con un filtro adecuado, es posible descomponer cualquier forma de onda en sus componentes de frecuencia y analizar cada senoidal en fase y amplitud. Este proceso se conoce como transformación del tiempo en el dominio de frecuencia.

DEFINICIÓN DE ESPECTRO

Conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan de manera ondulatorias y con velocidad constante, que es la de la luz, aproximadamente de 300.000 km/s. Las ondas electromagnéticas se dividen en luz visible, infrarroja, ultravioleta, rayos X, rayos gama, radiofrecuencia y microondas. Cada onda se diferencia en la frecuencia (número de vibraciones en la unidad de tiempo) y la longitud (distancia entre dos ondas sucesivas). Frecuencia y longitud de onda son inversamente proporcionales, por esto su producto siempre es constante e igual a la velocidad de la luz.

Cada función de onda lleva asociada una energía, por lo tanto a mayor frecuencia mayor es la energía transportada

RAZONES PARA MEDIR EL ESPECTRO

El dominio de la frecuencia es más útil para medir el contenido de armónicas de la señal. En sistemas de comunicaciones se está especialmente interesado en medir la distorsión armónica de la señal portadora, la cual puede interferir en otras señales de otros sistemas. La ocupación del espectro es otra medida importante en el dominio de la frecuencia.

ANÁLISIS ESPECTRAL

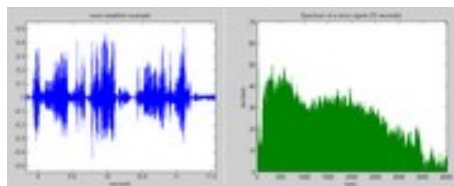


Fig. 027 Forma de onda de la voz y su espectro de frecuencia

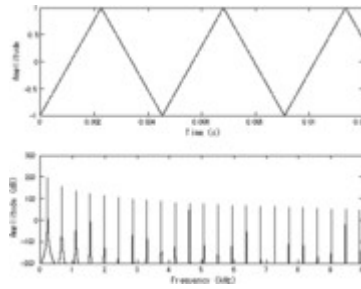


Fig. 028 Una onda triangular representada en el dominio temporal (arriba) y en el dominio frecuencia (abajo). La frecuencia fundamental está en torno a 220 Hz

Matemáticamente el análisis espectral está relacionado con una herramienta llamada transformada de Fourier o análisis de Fourier. Ese análisis puede llevarse a cabo para pequeños intervalos de tiempo, o menos frecuentemente para intervalos largos, o incluso puede realizarse el análisis espectral de una función

determinista (tal como $\frac{\sin(t)}{t}$). Además la transformada de Fourier de una función no sólo permite hacer una descomposición espectral de los formantes de una onda o señal oscilatoria, sino que con el espectro generado por el análisis de Fourier incluso se puede reconstruir (sintetizar) la función original mediante la transformada inversa. Para poder hacer eso, la transformada no solamente contiene información sobre la intensidad de determinada frecuencia, sino también sobre su fase. Esta información se puede representar como un vector bidimensional o como un número complejo. En las representaciones gráficas, frecuentemente sólo se representa el módulo al cuadrado de ese número, y el gráfico resultante se conoce como espectro de potencia o densidad espectral de potencia.

Es importante recordar que la transformada de Fourier de una onda aleatoria, mejor dicho estocástica, es también aleatoria. Un ejemplo de este tipo de onda es el ruido ambiental. Por tanto para representar una onda de ese tipo se requiere cierto tipo de promediado para representar adecuadamente la distribución frecuencial. Para señales estocásticas digitalizadas de ese tipo se emplea con frecuencia la transformada de Fourier discreta. Cuando el resultado de ese análisis

espectral es una línea plana la señal que generó el espectro se denomina ruido blanco

ANALIZADOR DE ESPECTRO



Fig. 029 Analizador de espectro.

Un analizador de espectro es un instrumento electrónico que permite visualizar en una pantalla las componentes espectrales de las señales presentes en la entrada, pudiendo ser ésta cualquier tipo de ondas eléctricas, acústicas u ópticas.

En el eje de ordenadas suele presentarse en una escala logarítmica el nivel en dB del contenido espectral de la señal. En el eje de abscisas se representa la frecuencia, en una escala que es función de la separación temporal y el número de muestras capturadas. Se denomina frecuencia central del analizador a la que corresponde con la frecuencia en el punto medio de la pantalla. A menudo se mide con ellos el espectro de la potencia eléctrica.

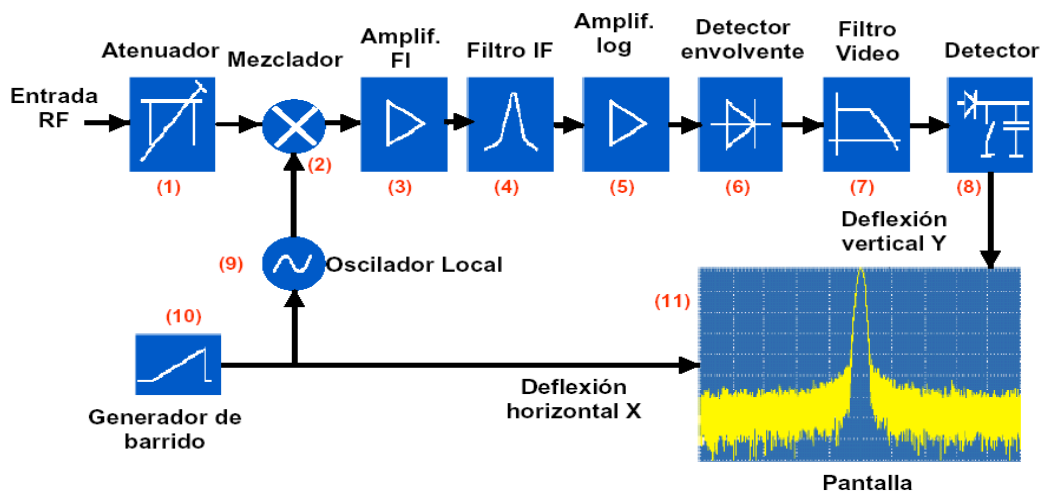


Fig. 030 Diagrama de bloques del analizador de espectros

Tipos

Los tipos de analizadores existentes están relacionados con las dos formas básicas de realizar análisis espectral: por FFT (Fast Fourier Transform) o por barrido en frecuencia.

ANALIZADORES POR BARRIDO DE FRECUENCIA (SWEPT-TUNE)

Estos analizadores se basan en un esquema superheterodino, cuyo elemento principal es un sintonizador u oscilador local, LO, que varía su frecuencia de modo que en pantalla se visualizan los valores de frecuencia desde el extremo inferior del rango al superior. Esto se denomina barrido y la señal ofrecida en pantalla se denomina traza. Al ser necesario un tiempo no despreciable, sweep time, provoca que los elementos transitorios no puedan ser correctamente apreciados con este tipo de analizador. El efecto es equivalente a disponer de un filtro pasa banda que se desliza de un extremo al otro de la banda de interés. Sí será posible capturar eventos aleatorios y periódicos. Al disponer de dos importantes filtros en su esquema, permite reducir notablemente el ruido térmico ofreciendo rangos dinámicos mucho mayores que sus homólogos digitales.

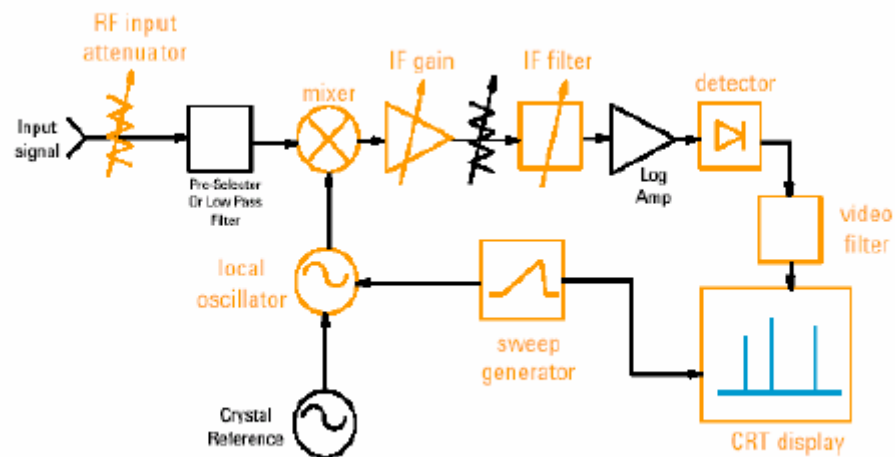


Fig. 031 Esquema básico de un analizador de espectro basado en barrido de Frecuencia

Elementos principales:

Atenuador de entrada: tiene una doble función: atenuar la señal a la entrada para preservar los dispositivos posteriores de un sobre nivel, y reducir el nivel de ruido térmico en el analizador. El atenuador adecua la señal para que el mezclador trabaje en su punto óptimo

Mezclador: Con la ayuda del O.L. convierte la frecuencia de la señal a frecuencia intermedia (F.I.) mediante:

$$|m \cdot f_{OL} \pm n \cdot f_{in}| = f_{FI}$$

- donde:
- m, n = 1, 2, ...
 - f_{OL} = frecuencia del oscilador local
 - f_{in} = frecuencia de la señal de entrada
 - f_{FI} = frecuencia intermedia

Tomando sólo la frecuencia fundamental del oscilador local se tiene:

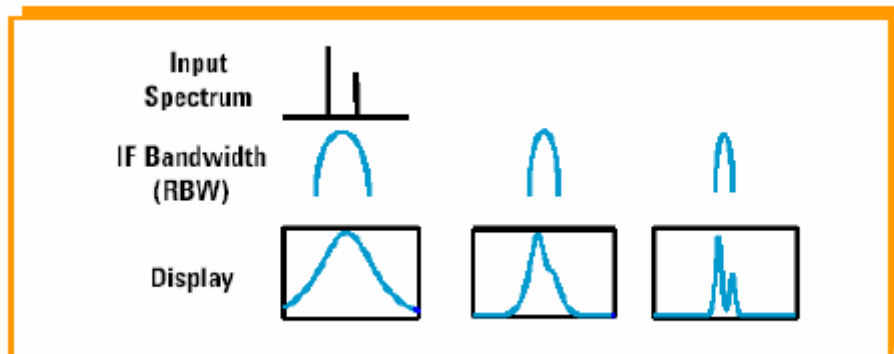


Fig. 034. En la parte superior se puede observar la señal de entrada del espectro, las señales del filtro de frecuencia Intermedia y finalmente la señal que se visualiza en el analizador.

Detector: la señal filtrada entra en el detector que ofrecerá a su salida una señal en banda base o de video. Se trata pues de un detector de envolvente, de modo que la información de fase de la señal de entrada al analizador no puede ser discriminada.

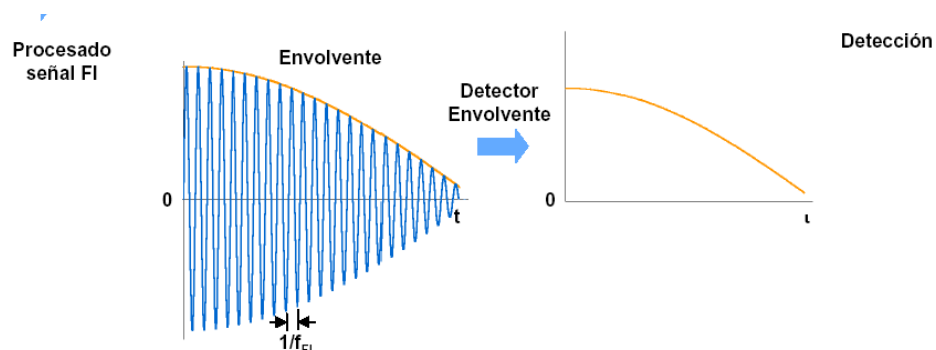


Fig. 035 Detección de la señal envolvente

Tipos de Detectores

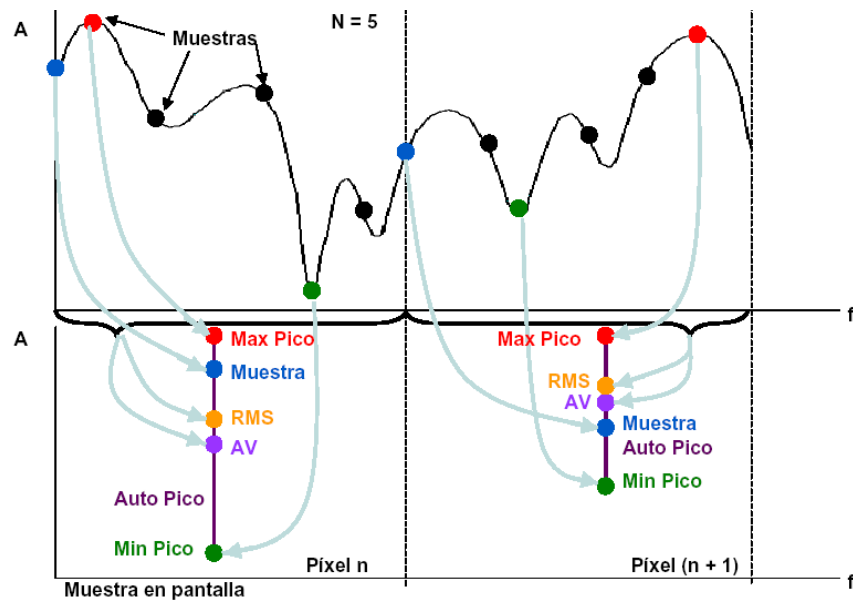


Fig. 036 Muestreo de la señal.

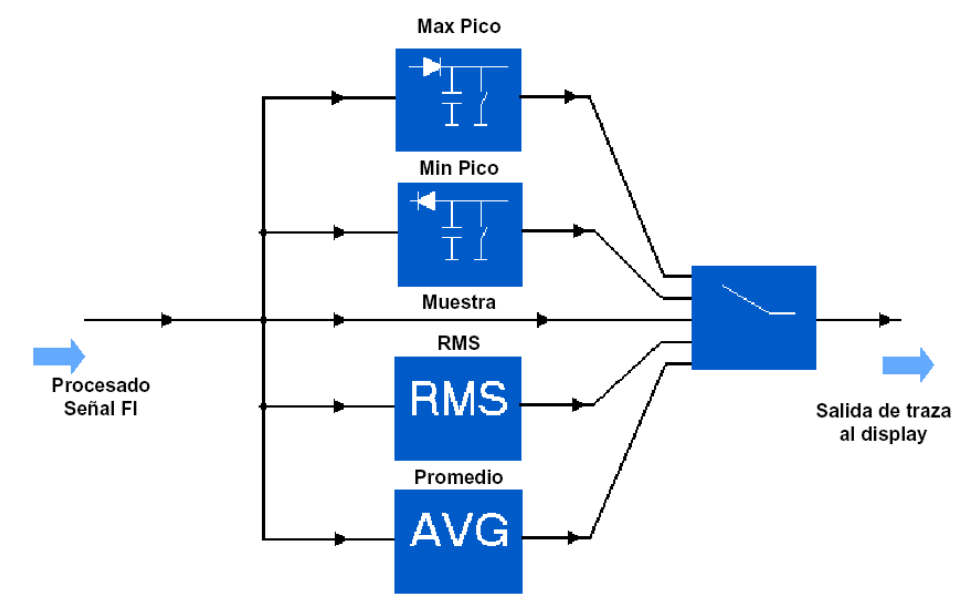


Fig. 037 Funcionamiento de detectores

- Detección positiva: selecciona el punto de mayor amplitud de los n que conforman el bin. Este modo es válido si predomina la señal sobre el ruido.

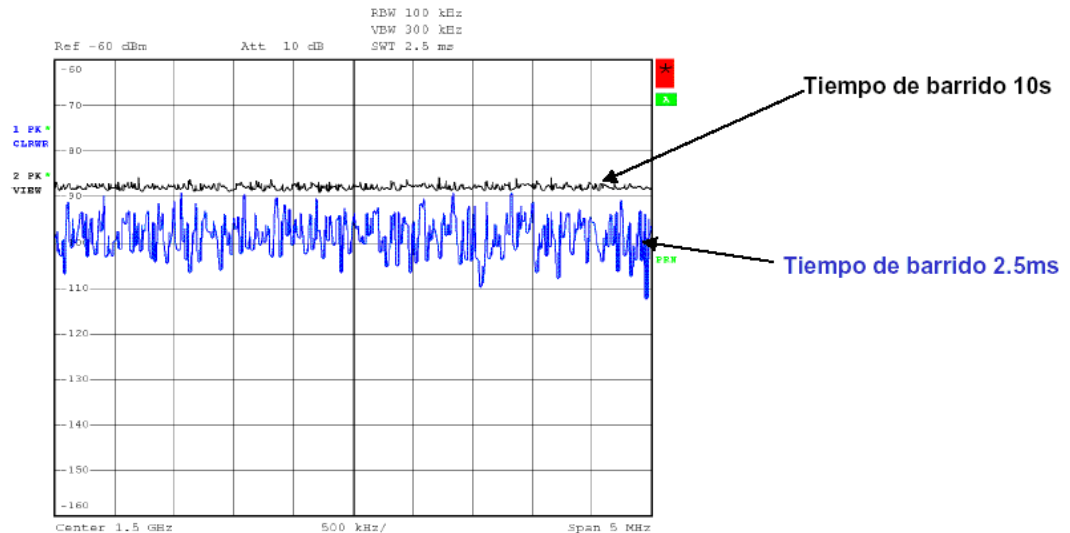


Fig. 038 Señal con detección positiva

- Detección negativa: selecciona el punto de menor amplitud de los n que conforman el bin o píxel.

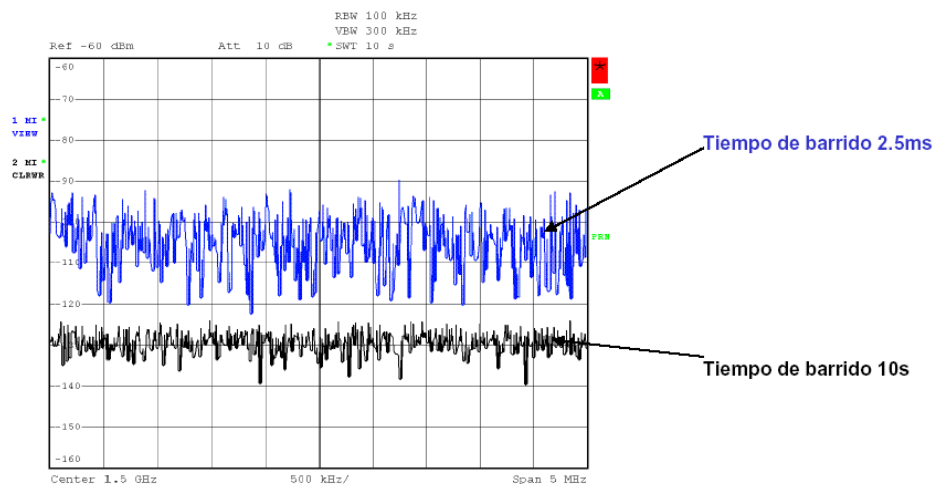


Fig. 039 Gráfica de una señal con detección negativa

- Modo sample: selecciona un punto del bin de forma aleatoria. Puede obviar la componente de nuestro interés, en el caso de señales muy estrechas.

- Modo normal o modo Rosenfell: analiza la señal para determinar si prevalece la señal o el ruido y selecciona el mejor modo de forma automática.
- Detección AV: calcula el valor promedio de cada píxel a partir de las muestras en escala lineal

$$V_{AV} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N v_i$$

donde V_{AV} = Tensión promedio, en voltios
 N = Número de muestras situadas en el píxel
 v_i = Muestras de la envolvente, en voltios

Usando la impedancia de referencia: $P = \frac{V_{AV}^2}{R}$

- Detección rms: proporciona la potencia rms del bin, esto es, la raíz cuadrada de la suma de todas las muestras del bin. Es el modo apropiado para medir de forma correcta la potencia rms real de un canal. Se denomina detector rms.

en escala lineal.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N v_i^2}$$

donde V_{RMS} = Valor RMS de la tensión, en voltios
 N = Número de muestras situadas en el píxel
 v_i = Muestras de la envolvente, en voltios

Usando la impedancia de referencia: $P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$

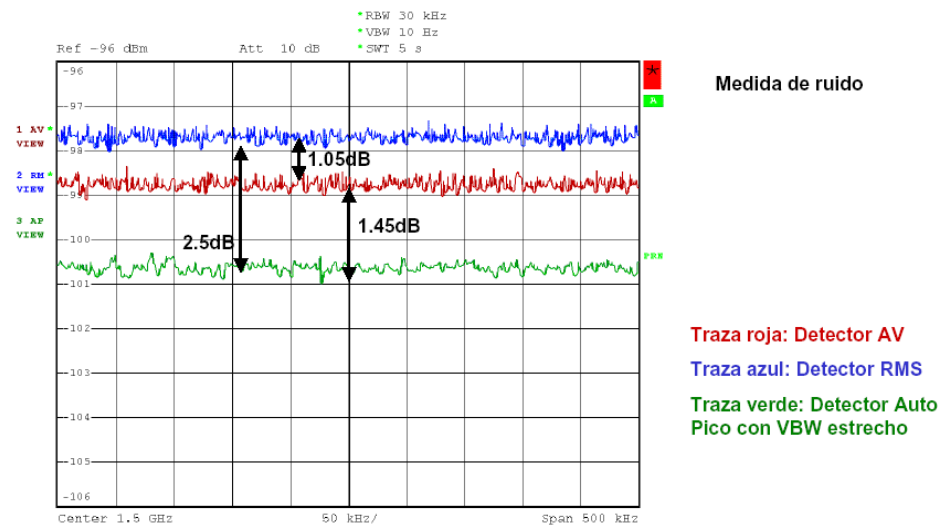


Fig. 040 Señales de los detectores AV, RMS y Auto Pico

DETECTOR	Señales Pulsadas		Señales Aleatorias		Señales Estáticas Sinusoidales, mod AM/FM
	EMC	Radar	Ruido	Mod. Dig.	
Auto Pico					●
Max Pico	●	●		●	
Muestra			●		
RMS	●	●	●	●	
AV	●				
QP	●				

TRAZA	DESCRIPCIÓN	Detector (AUTOSELECT)
CLEAR/WRITE	Cada traza sobrescribe la anterior en cada barrido	AUTO PICO
AVERAGE	Se calcula el promedio de un número determinado de trazas y de la nueva traza en cada barrido	SAMPLE
MAX HOLD (MIN HOLD)	Los valores de la traza se sobrescriben si el valor almacenado es menor (mayor) que el nuevo en cada barrido	MAX PICO (MIN PICO)

Tabla 04. Funcionamiento de los detectores

Video Filter: se trata de un filtro paso bajo analógico localizado a la salida del detector de envolvente y antes del ADC. Es empleado para promediar o suavizar la traza vista en pantalla. No incrementa la resolución en frecuencia.

El analizador visualiza señal más ruido. Para disminuir la relación pico-pico de la señal de ruido podemos ajustar el ancho de banda del video (VBW). Esto suaviza la señal en pantalla, y permite distinguir o rescatar señales de escasa amplitud.

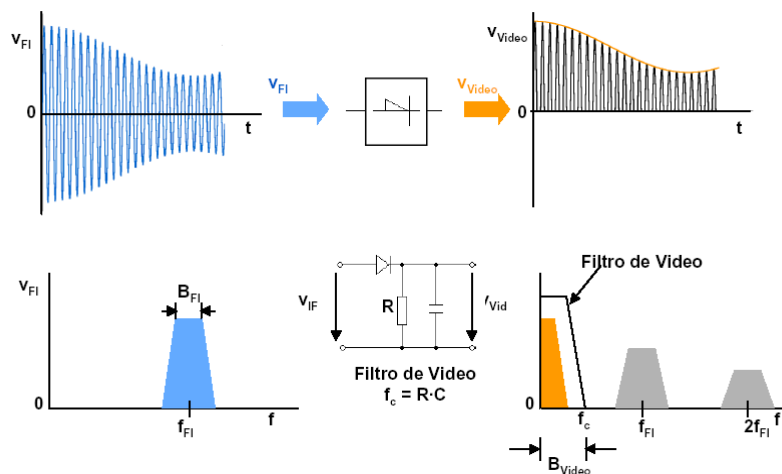


Fig. 041 Filtro de video

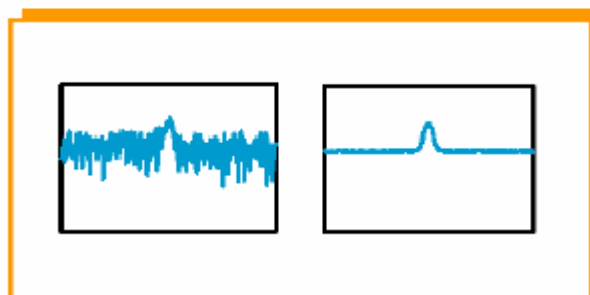


Fig. 042 Utilización del ancho de banda de video en una señal.

Finalmente, el funcionamiento del conjunto es el mostrado en el siguiente gráfico:

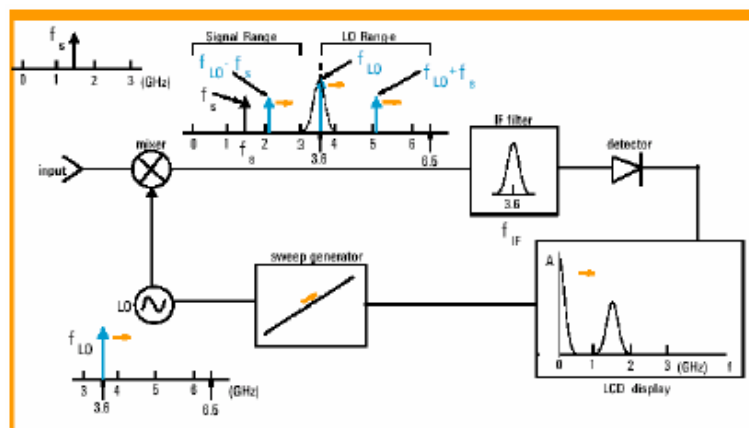


Fig. 043 Señales generadas en cada etapa del analizador de espectro

ANALIZADOR POR FFT (FAST FOURIER TRANSFORM)

Este analizador utiliza la transformada rápida de Fourier (FFT).

Transformada del tiempo en el dominio de frecuencia

Mediante la transformada de Fourier que es una operación matemática, se transforma una señal de dominio de tiempo a dominio de frecuencia y viceversa. En el dominio de tiempo, la señal se expresa con respecto al tiempo. En el dominio de frecuencia, una señal es expresada con respecto a la frecuencia.

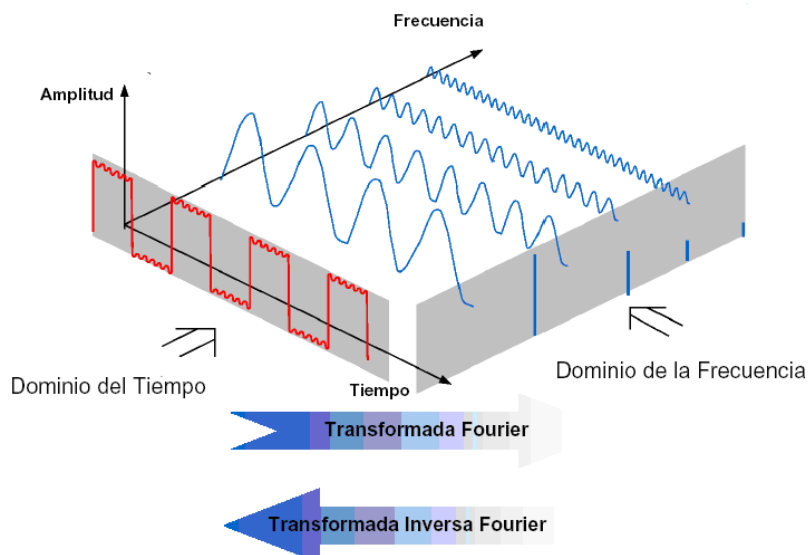


Fig. 044 señales en el dominio el tiempo y en el dominio de la frecuencia.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt$$

Dónde:

$X(f)$ = señal en el dominio de la frecuencia

$X(t)$ = señal en el dominio del tiempo

f = frecuencia

t = tiempo

Transformada de Fourier Discreta DFT

Es el nombre dado a la transformada de Fourier cuando se aplica a una señal digital (discreta) en vez de una análoga (continua). Toma datos discretos del dominio del tiempo y los representa en el dominio de frecuencia. Permite la representación en frecuencia de señales del mundo real.

Transformada Rápida de Fourier FFT

Es una versión más rápida de la DFT que puede ser aplicada cuando el número de muestras de la señal es una potencia de dos. Es un algoritmo de cálculo de la DFT que produce el mismo resultado que la DFT.

Las funciones de FFT son de "dos lados", lo cual significa que su salida incluye frecuencias negativas que existen puramente como propiedades matemáticas de la Transformada de Fourier. La primera mitad de la salida de FFT contiene frecuencias desde DC (0 Hz) hasta la frecuencia de Nyquist en orden ascendente. La segunda mitad del arreglo es una imagen con frecuencias negativas.

Frecuencia de Nyquist

La tasa o frecuencia de muestreo es el número de muestras por unidad de tiempo que se toman de una **señal continua** para producir una señal discreta, durante el proceso necesario para convertirla de analógica en digital.

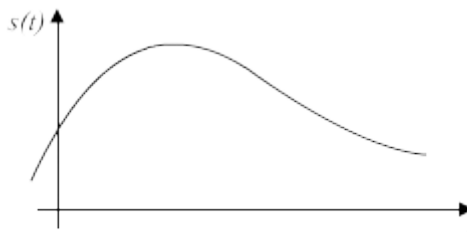


Fig. 045 Señal a muestrear

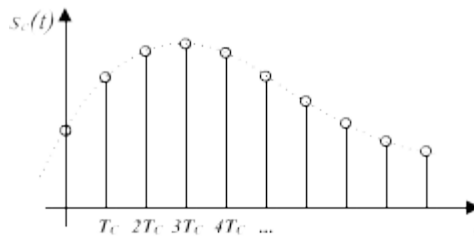


Fig. 046 Señal muestreada

Según el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, para poder replicar con exactitud la forma de una onda es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear.

El teorema de Nyquist sólo indica el valor mínimo necesario para que el muestreo resulte eficaz. Por encima de ese valor, cuanto mayor sea el número de niveles de comparación (muestras), más fiel será la conversión analógica digital (A/D), lo que se traduce en una mayor calidad de la señal resultante. Cuantas más muestras se tengan, será posible reconstruir mejor la señal; no obstante, a mayor frecuencia de muestreo (más información/datos), mayor será el ancho de banda necesario.

Matemáticamente se ha demostrado que, llegado un determinado punto (sobrepasada cierta cantidad de muestras por segundo), la calidad ya no aumenta, debido al principio general de rendimientos marginales decrecientes.

En todos los sistemas de procesamiento de señales digitales, incluyendo los analizadores TRF el ritmo de muestreo es lo suficientemente superior a la frecuencia Nyquist para evitar la aparición de alias.

Efecto aliasing

Si se utiliza una frecuencia menor a la establecida por el teorema de Nyquist, se produce una distorsión conocida como aliasing; algunos autores traducen este término como solapamiento. El aliasing impide recuperar correctamente la señal cuando las muestras de ésta se obtienen a intervalos de tiempo demasiado largos. La forma de la onda recuperada presenta pendientes muy abruptas.

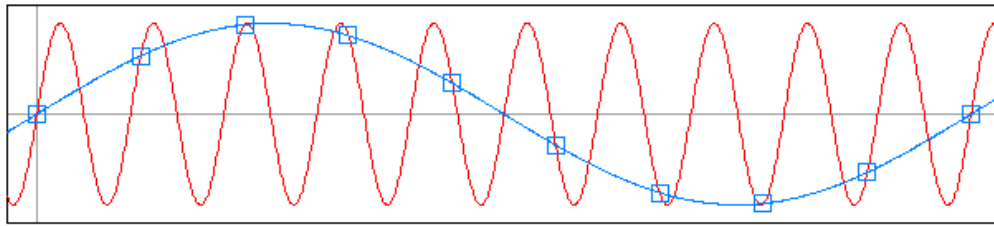


Fig. 047 Efecto aliasing

Las frecuencias que se encuentran sobre la $f_{\text{eff}}/2$ son devueltas a la pantalla del analizador en el dominio de la frecuencia. Estas frecuencias no deseadas se las conoce como alias. Donde f_{eff} es la tasa de muestreo efectiva de registro de tiempos. El aliasing se evita si la tasa de muestreo efectiva es mayor a dos veces el ancho de banda de la señal bajo prueba.

Filtro antialiasing

Para eliminar el aliasing, los sistemas de digitalización incluyen filtros paso bajo, que eliminan todas las frecuencias que sobrepasan la frecuencia ecuator (la que corresponde a la mitad de la frecuencia de muestreo elegida) en la señal de entrada. Es decir, todas las frecuencias que queden por encima de la frecuencia de muestreo seleccionada son eliminadas. El filtro paso bajo para este uso concreto recibe el nombre de filtro antialiasing. Sin embargo, abusar de los filtros antialiasing, puede producir el mismo efecto que se quiere evitar. Cuando se conectan varios filtros en cadena (en el muestreo, en la conversión digital-analógica, etc.), un filtrado excesivo de una onda que ya cumplía con el requisito para su correcta transformación A/D puede degenerar y provocar que la onda final presente una pendiente marcada. Por esta desventaja del filtro antialiasing se ha generalizado la técnica conocida como sobremuestreo de la señal.

Analizadores por FFT

Los analizadores basados en FFT toman la señal en el dominio temporal, la muestrean de forma digital y después llevan a cabo el procesamiento matemático necesario para transformarla al dominio de frecuencia, mostrando el resultado por pantalla. Ello permite disponer a la vez de toda la información relativa al ancho de

banda seleccionado. Es por ello que se llaman analizadores de tiempo real. El efecto es semejante al de disponer de muchos filtros pasa banda trabajando simultáneamente.

Entre las propiedades de los analizadores de FFT está la de poder capturar eventos periódicos y aleatorios además de transitorios. Su velocidad es notablemente superior a la de los analizadores de barrido. Su esquema incluye ADC de gran velocidad y ancho de banda, unidos a técnicas de submuestreo, lo que repercute en un menor margen dinámico en este tipo de analizadores.

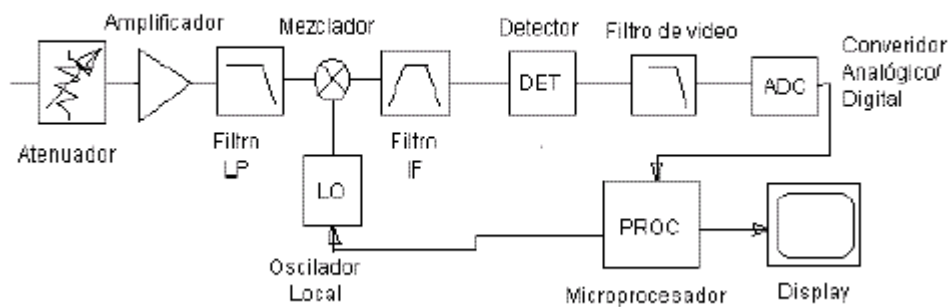


Fig. 048 Diagrama de bloques de un analizador de espectro por FFT, controlado por microprocesador.

Amplificador

Señal de entrada: señal sinusoidal:

$$v_{ent}(t) = U \cdot \text{seno}(2\pi f_{ent} \cdot t)$$

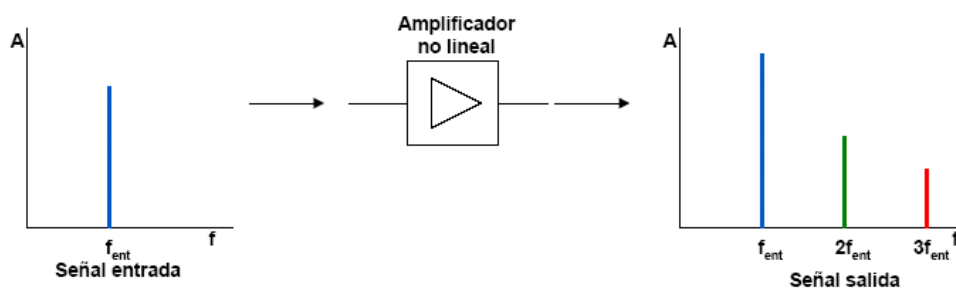


Fig. 049 Funcionamiento del amplificador no lineal

Convertidor Análogo Digital: la señal de video se digitaliza por medio de un ADC y esta información tratada se representa en el eje Y de amplitudes del display. La digitalización de la señal de video es un paso crucial. En primer lugar permite obtener una traza discreta y no continua sobre el ancho de banda de frecuencias de interés, lo cual facilita su representación y su procesado. El número de puntos a asignar a cada traza suele ser un parámetro seleccionable, M . No se corresponden los puntos ofrecidos en pantalla con los que realmente constituyen la trama. El procesado digital sobre la señal de video puede actuar de varias formas para ofrecer la traza discreta de salida. En primer lugar, divide la traza continua en un número de intervalos o *bins* equivalente al número de puntos de la traza digital final, M . A cada bin le corresponde un número de puntos n . De todos los puntos que componen el bin, n , sólo es seleccionado uno de acuerdo al modo de detector que se configura previamente en el analizador:

DEFINICIONES Y TÉRMINOS

- Frecuencia central

Se denomina frecuencia central a la que corresponde con la frecuencia en el punto medio de la pantalla. A menudo se mide con ellos el espectro de la potencia eléctrica

- Ref Level

Determina el valor superior de amplitud en el eje Y de la rejilla del display.

- Rango dinámico

Es la diferencia de amplitud (medida en dB) entre el pico máximo posible y el umbral de ruido.

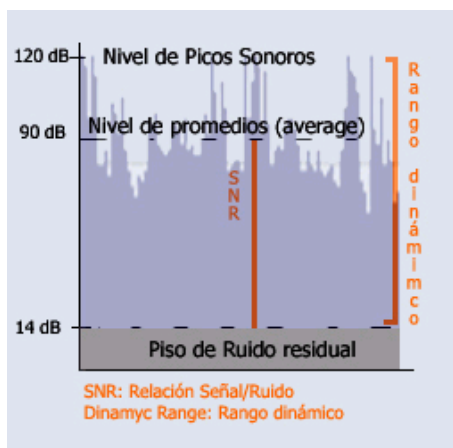


Fig. 050 Rango dinámico es de 120-14 = 106 dB

Proporciona información sobre la capacidad del analizador de procesar simultáneamente dos señales con niveles muy diferentes, el rango dinámico es presentado en dB.



Fig.051 Rango dinámico

- Span

Es el margen de frecuencia medido y mostrado en pantalla, se denomina usualmente margen de frecuencia.

- Span cero (zero Span)

El modo SPAN ZERO, también conocido como fixed-tune me permite medir en el dominio del tiempo con un analizador de espectros. Esto implica que el oscilador local interno se sintoniza a una única frecuencia, pero que no coincide con la frecuencia de la señal RF de entrada. Se obtiene una señal de frecuencia intermedia que se convierte en banda base a la salida del detector de envolvente. Tendrá especial importancia el filtro de IF. El resultado es que el eje de frecuencias pasa a convertirse en eje de tiempos. La duración de la traza en pantalla es equivalente a la del tiempo de barrido, o sweep time.

La frecuencia central se configura para igualar a la de la portadora y el resolution bandwidth debe ser lo suficientemente largo como para que entren las bandas laterales. La frecuencia de la moduladora más baja que se puede observar es aproximadamente $1/(\text{tiempo de barrido o sweep time})$. Un ciclo ocupará toda la pantalla.

En ocasiones, una desviación del valor ideal de frecuencia o una selección inadecuada del filtro de IF, impiden conseguir visualizar de forma correcta la señal de entrada.

El funcionamiento del analizador de espectros en zero span no se limita a medidas de modulación; se puede usar para caracterizar cualquier señal que varia lentamente en amplitud.

La resolución temporal se obtiene de dividir el sweep time entre el número de puntos de la traza. En el eje de amplitudes, obtendremos la variación de amplitud de la señal de entrada

- Span máximo (Full Span)

Permite la visualización de la banda completa de frecuencias

- Anchura del canal

La anchura del canal es el ancho de banda que se espera que ocupe la transmisión, y puede ajustarse para realizar las mediciones de potencia de canal y canal adyacente y de ACRP.

- Espaciado del canal

Es la distancia del canal de frecuencia entre dos canales adyacentes, y puede ajustarse para realizar la medida ACRP

FUNCIONES

- Marcadores delta

Son marcadores relativos, me indican el nivel de potencia y frecuencia respecto a un marcador que no es definido como relativo.

- FStep

Esta función asigna la frecuencia del marcador activo (o de un marcador relativo) a Fstep, que es la anchura adoptada en cada salto de frecuencia para la selección de la frecuencia central y de la frecuencia del marcador. Es útil para realizar medidas de armónicos o de productos de intermodulación, se puede ir cambiando fácilmente de frecuencia en pasos definidos por el usuario.

- Límites

Los límites siempre están formados por dos valores límite, superior e inferior, de nivel constante y deberán activarse para que tengan algún efecto. Una vez activados, a medida irá acompañada de un resultado “pasa/no pasa” que indicará si los resultados de la medida estaban o no dentro de los límites especificados.

- Calibración

Todos los instrumentos de prueba deben ser verificados respecto a sus especificaciones. Si la precisión del analizador estuviera de las tolerancias

especificadas, podría ser necesario realizar una corrección o ajuste en el instrumento. Se recomienda un intervalo de calibración de un año

- Compensación de ganancias y pérdidas

Si un dispositivo bajo prueba está conectado al analizador de espectros por medio de un amplificador o por medio de un dispositivo de atenuación de señal, tal como una antena o un cable demasiado largo, los resultados de las medidas resultarán erróneos por defecto de este factor de ganancia o de pérdida, el cual puede ser constante o incluso dependiente de la frecuencia.

Para obtener resultados de medidas correctas, esta ganancia o pérdida puede ser compensada, incluso cuando este factor sea dependiente de la frecuencia. Mediante la utilización de un software se puede introducir una curva o una tabla de corrección.

- Modificación de la Impedancia de Entrada

La mayoría de aplicaciones de radiofrecuencia utilizan una impedancia de 50Ω ; otras aplicaciones tales como la TV por cable utilizan 75Ω . Los resultados de las medidas con la entrada de 50Ω serán recalculados automáticamente para tener en cuenta otras impedancias diferentes.

Las reflexiones de la señal en el cable entre los 50Ω del analizador y los 75Ω del dispositivo, afectarán a la precisión de las medidas. Para obtener resultados más precisos, se debe utilizar un convertidor de impedancias, aunque dicho convertidor provocará una atenuación que afectará a los resultados de las medidas. Esta atenuación puede ser contrarestanda mediante la compensación de pérdidas y ganancias.

- Configuración de la traza

Las funciones de la traza proporcionan diferentes modos de presentar las medidas; por ejemplo, la medida actual o el valor medio del último par de medidas, incluso se puede seleccionar a la vez dos modos diferentes de presentar las medidas.

Otra opción consiste en comparar las medidas actuales con medidas anteriores que se hubieran almacenado y que se hubiera cargado en una de las vistas de las tazas. Las funciones del detector permiten definir el método de presentación de estas muestras en la pantalla.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN ANALIZADOR

Rango de frecuencias: indica el rango de frecuencias para la señal de entrada.

Sensibilidad: en función del nivel mínimo de señal que es capaz de medir por encima del nivel de ruido térmico propio del analizador para una configuración dada.

Tiempo de Barrido (SWT): determina cuanto tiempo durará un barrido completo sobre el margen de frecuencia de la medida (span). Cuando el tiempo de barrido se ajusta manualmente, se debe seleccionar lo suficientemente grande como para que la señal filtrada pueda alcanzar un estado estable.

Características No linealidades

Señal de entrada: señal sinusoidal.

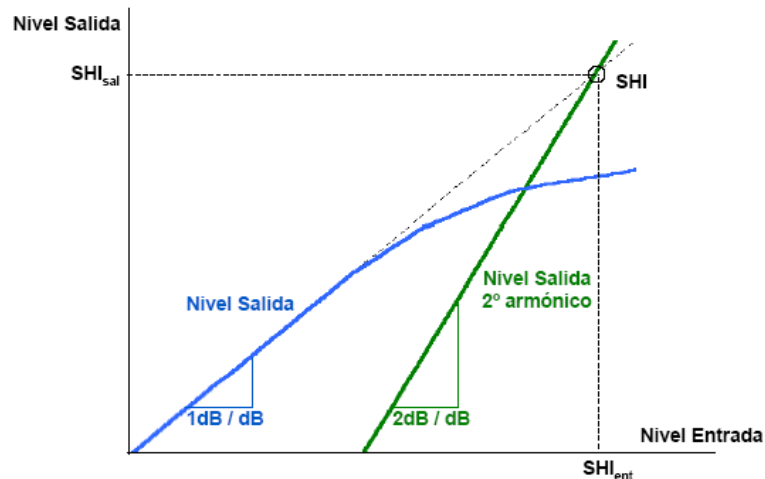


Fig. 052 Intercepción del segundo armónico (Second harmonic Intercept, SHI)

Señal de entrada: dos tonos

$$v_{ent}(t) = U_1 \cdot \text{seno}(2\pi f_1 \cdot t) + U_2 \cdot \text{seno}(2\pi f_2 \cdot t)$$

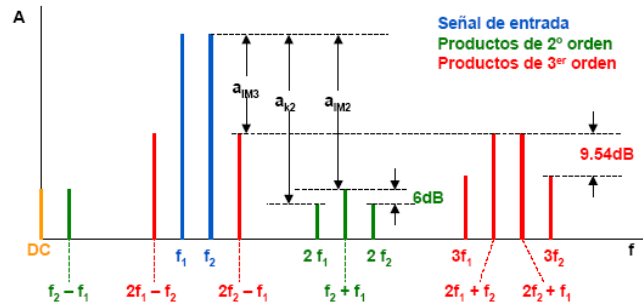


Fig. 053 Productos de segundo y tercer orden

Señal de entrada: dos tonos

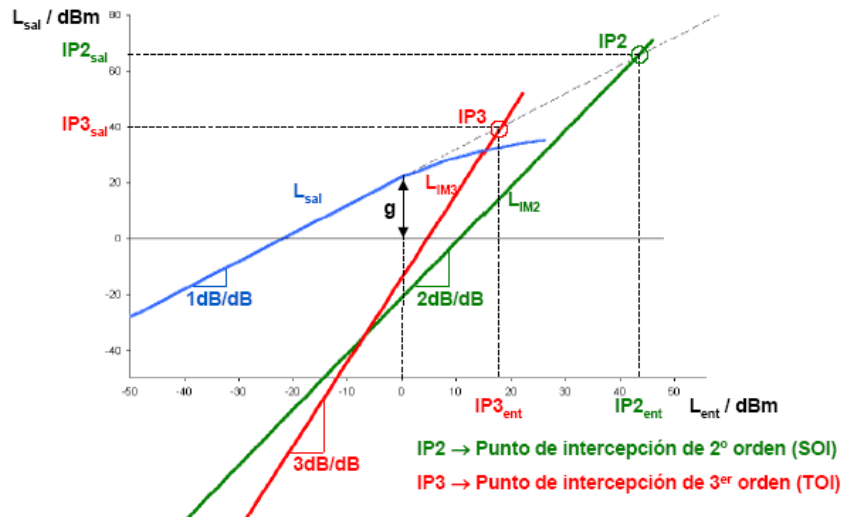


Fig. 054 Puntos de intercepción de segundo y tercer orden

Resolución en frecuencia: La resolución de frecuencia es la habilidad de un analizador de espectros para separar dos señales de entrada en dos senoidales de distinta respuesta. Si las señales están muy juntas, pueden aparecer como una sola señal, afortunadamente los analizadores de espectros tienen filtros de IF seleccionables, de modo que se pueda observar el espectro verdadero.

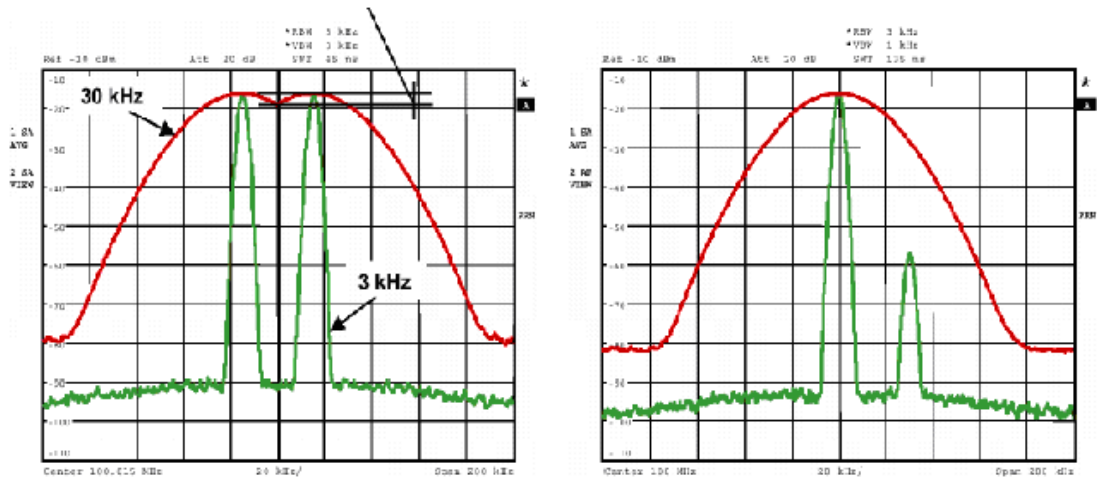


Fig. 055 Separación entre portadora = RBW -> Caída de 3dB

Parámetros que determinan la resolución de frecuencia

Las características de la resolución de frecuencia del analizador de espectros son el principal contribuyente a la respuesta de frecuencia amplia del mismo.

Existen cuatro factores principales que limitan la resolución de un analizador de espectro:

- Ancho de banda del filtrado de resolución
- Tipo y forma del ancho de banda
- FM residual del oscilador local
- Bandas laterales de ruido

Ancho de banda de resolución RBW

Es el ancho de banda del filtro de frecuencia intermedia (IF), y es uno de los parámetros principales a la hora de configurar el analizador y realizar medidas. Si seleccionamos un filtro IF estrecho incrementaremos la selectividad o capacidad de resolver señales. Esto incrementa la relación S/N. En cambio, el tiempo de barrido y, por tanto, la velocidad de actualización de la traza, se degrada. La elección del RBW dependerá de la aplicación.

Los filtros IF limitan la resolución de banda estrecha. Dos señales con una diferencia en amplitud de 60 dB deben estar separadas por cuando menos la mitad del ancho de banda de 60 dB. Por lo tanto, el factor de forma (relación de los anchos de banda de 60 dB a 3 dB) es clave para determinar la resolución de señales de amplitud desigual.

$$\text{Factor de forma} = (60 \text{ dB BW}) / (3 \text{ dB BW})$$

El factor de forma del filtro del IF determina la resolución de señales de amplitud desigual.

FM Residual

Otro factor que afecta la resolución es la estabilidad de frecuencia del oscilador local (LO) del analizador de espectro. FM residual es el proceso de convertir la frecuencia de la señal de entrada a IF, la inestabilidad de LO se transfiere al producto de la mezcla. Este proceso es independiente de la estabilidad de entrada. Si el analizador tiene un ancho de banda de resolución lo suficientemente estrecho, la inestabilidad se presenta en forma de FM residual. Esto es, la respuesta de la señal se dispersa o se barre.

Si dos señales están separadas en frecuencia por el FM residual o menos, sus respuestas se barren juntas y no sería posible determinar que se trata de dos señales. Por esto, el RBW típico está limitado al FM residual. Este RBW mínimo, a su vez, limita la habilidad del analizador para resolver señales con separación reducida. El bloqueo de fase de los osciladores locales a una referencia reduce la FM residual y reduce el RBW mínimo permitido. Los analizadores de espectro de mayor rendimiento son más caros porque cuentan con mejores esquemas de bloqueo de fase con menor FM residual y RBW mínimo más estrechos.

Bandas Laterales de Ruido

La inestabilidad restante aparece como bandas laterales de ruido en la base de la respuesta de la señal. Este ruido puede enmascarar señales cercanas (a una portadora) de bajo nivel que de otra forma podrían ser vistas si solamente se

considerara el ancho de banda y factor de forma. Estas bandas laterales de ruido afectan la resolución de señales cercanas de bajo nivel. Las bandas laterales de ruido son el resultado de ruido en la fase del sistema que modula el oscilador local. Con frecuencia las bandas laterales de ruido se denominan de fase.

Las bandas laterales de ruido pueden evitar la resolución de señales desiguales.

DEPENDENCIA DE PARÁMETROS

Tiempo de barrido, span, RBW y VBW

El tiempo de barrido está limitado por los tiempos de los filtros IF y video

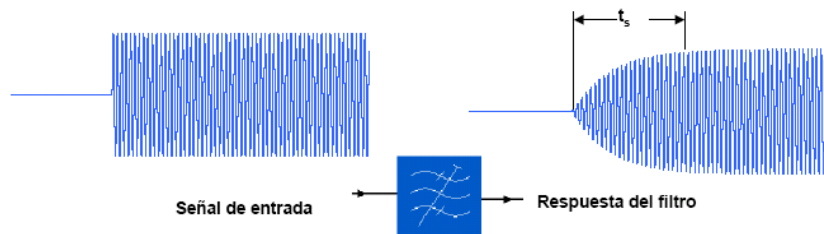


Fig. 058. Señal de entrada y salida de un filtro de FI.

t_s = tiempo de establecimiento

t_d = tiempo que tiene que estar la señal estable a la entrada del filtro.

Se tiene que cumplir que:

$$t_d = \frac{T_{\text{barrido}} \cdot B_{FI}}{\Delta f} \geq t_s = \frac{K}{B_{FI}}$$

donde T_{barrido} = Tiempo de barrido mínimo (s)
 B_{IF} = Ancho de banda de resolución (Hz)
 Δf = Span de frecuencias (Hz)
 k = Factor de proporcionalidad

$$\text{Si } VBW > RBW \Rightarrow T_{\text{barrido}} \geq k \cdot \frac{\Delta f}{B_{IF}^2}$$

Si $VBW > RBW$ entonces

$$T_{\text{barrido}} \geq k \cdot \frac{\Delta f}{B_{IF}^2}$$

Si $VBW > RBW$ entonces, el tiempo de barrido depende de la respuesta del VBW.

Existe una relación lineal entre el tiempo de barrido y el VBW.

Atenuador y nivel de referencia

- El rango de medida de un analizador típico es de: -147 dBm a + 30 dBm.
- No es posible medir en todo el rango con la misma configuración
- Adaptación de medida como el atenuador(a_{RF}) y la ganancia del amplificador de FI (g_{FI}) a la ventana de medida de forma automática
- Para evitar la sobrecarga o el daño de la etapa de entrada, el valor del atenuador aumenta.

$$L_{mezclador} = L_{Ref} - a_{RF}$$

Nivel de Referencia	-40dBm (baja distorsión)		-30dBm (normal)		-20dBm (bajo ruido)	
	Atenuación RF	Ganancia FI	Atenuación RF	Ganancia FI	Atenuación RF	Ganancia FI
+30 dBm	70 dB	30 dB	60 dB	20 dB	50 dB	10 dB
+20 dBm	60 dB	30 dB	50 dB	20 dB	40 dB	10 dB
+10 dBm	50 dB	30 dB	40 dB	20 dB	30 dB	10 dB
0 dBm	40 dB	30 dB	30 dB	20 dB	20 dB	10 dB
-10 dBm	30 dB	30 dB	20 dB	20 dB	10 dB	10 dB
-20 dBm	20 dB	30 dB	10 dB	20 dB	10 dB	20 dB
-30 dBm	10 dB	30 dB	10 dB	40 dB	10 dB	30dB
-40 dBm	10 dB	40 dB	10 dB	50 dB	10 dB	40dB
-50 dBm	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB
-60 dBm	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB
-70 dBm	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB
-80 dBm	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB
-90 dBm	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB
-10 dBm	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB	10 dB	50 dB

Tabla 05. Niveles del atenuador y de la ganancia de frecuencia intermedia

Medidas De Nivel Y De Frecuencia

Las señales de radio deben utilizar frecuencias con tolerancias menores a 1%. Es importante que el nivel (potencia o voltaje) de la sinusoide esté al menos en un orden de magnitud adecuado. Antes de poder realizar una medida, el analizador

debe configurarse para mostrar la señal en un margen de frecuencia adecuado y con un nivel de referencia y de atenuación óptimos.

Para poder visualizar un margen de frecuencia específico, por ejemplo, el rango alrededor de la frecuencia de portadora de la señal a medir, debemos ajustar la escala horizontal. El margen de frecuencia medido y mostrado en pantalla se denomina Span.

Cualquier señal posee su propia amplitud. Una señal muy grande podría exceder el límite superior de la pantalla, mientras que una señal muy pequeña podría quedar escondida en el ruido de base situado en la parte inferior de la misma. El ruido de base proviene del hecho de que un analizador de espectros posee un rango dinámico limitado. Para obtener un mejor rango dinámico para la señal que se desea medir, es importante ajustar el nivel de referencia, que es el nivel asignado en la parte superior de la pantalla. La mayoría de los analizadores de espectros ajustan automáticamente su atenuación interna cuando el usuario selecciona un nivel de referencia, de modo que el analizador puede mostrar el mejor rango dinámico posible para el nivel de referencia seleccionado.

Suponiendo que se desea visualizar una señal sinusoidal de 10 MHz. Esta frecuencia es relativamente baja y será suficiente con visualizar el espectro de 0 a 20 MHz, lo cual estrechará el espectro mostrado al rango de interés proporcionando una razonable resolución de frecuencia. Si la frecuencia esperada de la senoide es significativamente elevada, resultará más útil seleccionar un rango de un par de megaciclos alrededor de su frecuencia.

TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Ajuste en los parámetros de nivel

La precisión y el rango dinámico entre la señal medida y el ruido de base, depende de los parámetros de nivel, estos parámetros son el nivel de referencia y la atenuación.

El nivel de referencia determina básicamente el nivel en la parte superior de la pantalla. El eje vertical está dividido, pudiendo ajustarse esta escala a las referencias del usuario.

Los parámetros de atenuación pueden acoplarse para que siga automáticamente a los parámetros del nivel de referencia. Para niveles de referencia de -20 dBm e inferiores, el nivel de la atenuación es recomendable colocarla en 10 dB.

La atenuación o ganancia debida a acoplamientos externos se puede compensar mediante factores de acoplamiento dependiendo de la frecuencia, de modo que los valores de medida presentados reflejen la potencia real en el dispositivo bajo prueba.

Reduciendo el nivel de ruido.

Si la resolución del ancho de banda es decrementada, el ruido es reducido en forma proporcional. Si RBW es reducido por un factor de diez, el ruido también es reducido por el mismo factor.

Alta sensibilidad en mediciones de armónicos

Si los armónicos tienen niveles muy pequeños, el ancho de banda de resolución debe ser reducido considerablemente. El tiempo de barrido es, por lo tanto, también incrementado considerablemente.

Medición del espectro de señales complejas

Una característica básica del analizador de espectros es poder separar las componentes espectrales de una señal. La resolución del ancho de banda con la cual las componentes son separadas es determinada por la resolución del ancho de banda. Si la RBW es muy larga, los componentes espectrales pueden no ser muy distintos. Estos pueden ser visualizados como una sola componente.

Dos señales, con la misma amplitud pueden ser resueltas si la RBW es menor o igual a la diferencia de la frecuencia de las señales. Si la RBW y la diferencia de

las frecuencias son iguales, una inmersión de un nivel de 3dB puede ser vista en el medio de las dos señales.

Si hay grandes diferencias de nivel entre señales, la resolución es determinada por la selectividad así como la RBW que ha sido seleccionada

El piso de ruido y el ruido de fase dependen de la RBW que ha sido seleccionada. Mientras más pequeña sea la resolución del ancho de banda, el piso de ruido y el ruido de fase están en un mínimo y así el rango máximo es obtenido. A anchos de banda mayores, la influencia del ruido de fase es mayor que el que estaría con anchos de banda pequeños.

Nota:

Para encontrar señales confiables cuando el span es pequeño, es mejor sincronizar la fuente de la señal con el analizador.

APLICACIONES TÍPICAS

Medición del ruido de fase, armónicos y espúreas

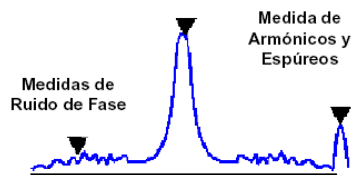


Fig. 059. Medición de ruido de fase, armónicos y señales espúreas

Ruido de fase

Esta medición se la lleva a cabo mediante las marcas (marks) que dispone el analizador provocado por una señal de fase aleatoria, habitualmente de pequeño módulo, superpuesto a la senoide del oscilador. El ruido de fase en sintetizadores de frecuencia empeora con el aumento de la frecuencia.

Efectos físicos del ruido de fase- El ruido de fase, al superponerse a la oscilación en elementos no-lineales, provoca un fenómeno llamado mezclado recíproco (reciprocal mixing). Como consecuencia, aparecen componentes espurios en la señal, que degradan su calidad. Con las sucesivas amplificaciones, el ruido llega a tapar a la señal útil. Es preciso, entonces, que la señal original, la que se obtiene del oscilador, sea lo más limpia posible.

Consecuencias tecnológicas del ruido de fase- La consecuencia de la presencia de ruido de fase en un oscilador, es que al estar presente al principio mismo de la cadena de generación de señal, toda amplificación y toda operación que involucre a esa señal incluirá el ruido, haciéndolo imposible de suprimir.

Con cada aumento de frecuencia, el ruido de fase en los osciladores de frecuencia sintetizada es un problema cada vez más importante.

Armónico

En telecomunicaciones, un armónico de una onda es un componente sinusoidal de una señal. Su frecuencia es un múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos más altos es mucho menor que la amplitud de la onda fundamental y tiende a cero; por este motivo los armónicos por encima del quinto o sexto generalmente son inaudibles.

Los principales inconvenientes causados por los armónicos se pueden resumir en interferencia con sistemas de comunicación (telemandos y sistemas telefónicos).

Los armónicos son producidos por características no lineales. Estos son reducidos por filtros pasa bajos.

Reglas para medir los armónicos:

1. Seleccionar el ancho de banda de resolución más pequeño posible para un piso de ruido mínimo

2. Seleccionar una atenuación de radiofrecuencia la cual sea lo suficientemente alta para medir el armónico

Para hacer que los armónicos crezcan fuera del ruido, se debe modificar los siguientes parámetros.

- Reducir el ancho de banda de video
- La traza debe estar en modo AVERAGE (detector average)
- Reducir la resolución de ancho de banda.

Medición de productos de intermodulación

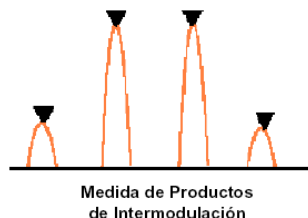


Fig. 060 Medición de productos de intermodulación

Distorsión de intermodulación

La distorsión de intermodulación es el resultado de la interacción entre dos o más señales en el interior de un dispositivo no lineal como son los amplificadores y mezcladores; produciendo a su salida otras señales no deseadas. Estas señales adicionales que aparecen a la salida del dispositivo se conocen con el nombre de productos de intermodulación. Considerando que a la entrada del dispositivo no lineal tenemos dos tonos de radiofrecuencia f_1 y f_2 , a su salida se producirán productos de intermodulación a razón de la suma y diferencia de múltiplos de las frecuencias originales, es decir:

$$f_{\text{salida}} = mf_1 \pm nf_2$$

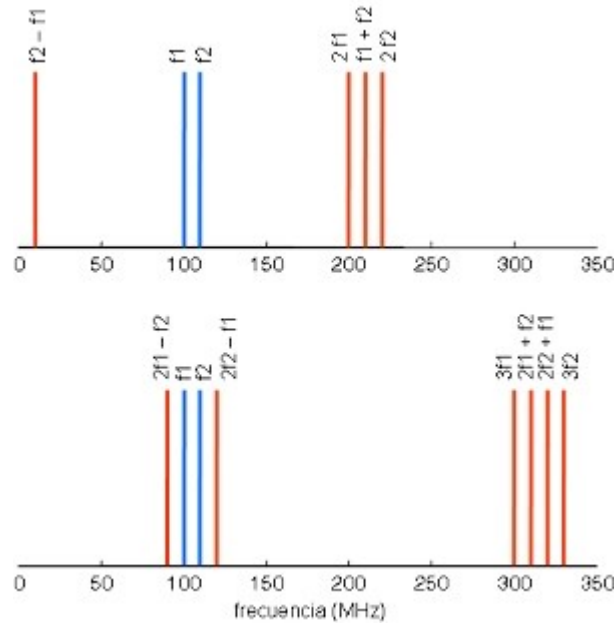


Fig. 061 Productos de intermodulación

Donde m y n son números enteros mayores o iguales que la unidad. El orden de la distorsión no lineal queda determinado por la suma de m y n .

En los casos particulares de $m = 0$ ó $n = 0$, a la salida del dispositivo se obtienen armónicos a frecuencias múltiplos de las frecuencias de entrada:

$$f_{\text{salida}} = mf_1, \quad f_{\text{salida}} = nf_2$$

El nivel de los productos de intermodulación depende del nivel de las señales útiles. Si el nivel de las dos señales útiles es incrementado por 1 dB, el nivel de los productos de intermodulación es incrementado por 3 dB. La distancia de intermodulación d_3 es, por lo tanto, reducida por 2 dB.

El nivel del producto de intermodulación de tercer orden se incrementa tres veces más rápido que el nivel de la señal útil. El nivel de los productos de intermodulación intrínsecos de un analizador de espectros depende del nivel de la señal de radiofrecuencia en la entrada del mezclador. Cuando se adiciona una

atenuación de radiofrecuencia, el nivel del mezclador es reducido y la distancia de la intermodulación es incrementada. Con una atenuación de 10 dB, los niveles de los productos de intermodulación son reducidos por 20 dB. El nivel de ruido es, sin embargo, incrementado por 10 dB.

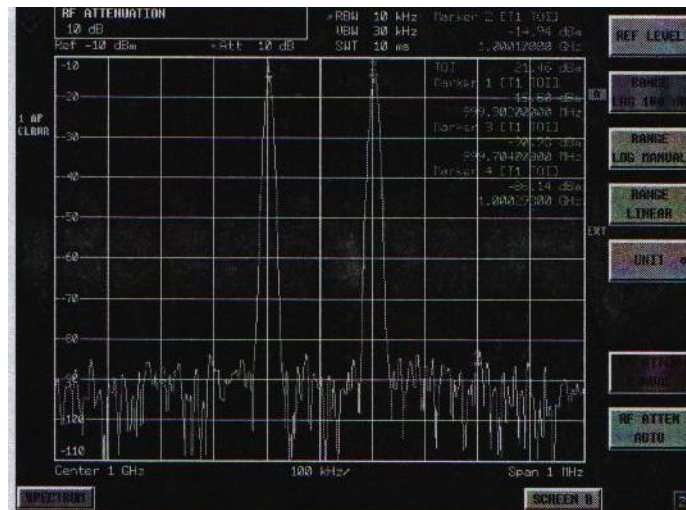


Fig.062 Si la atenuación es incrementada, los productos de intermodulación desaparecen bajo el piso de ruido.

Identificación de los productos de intermodulación:

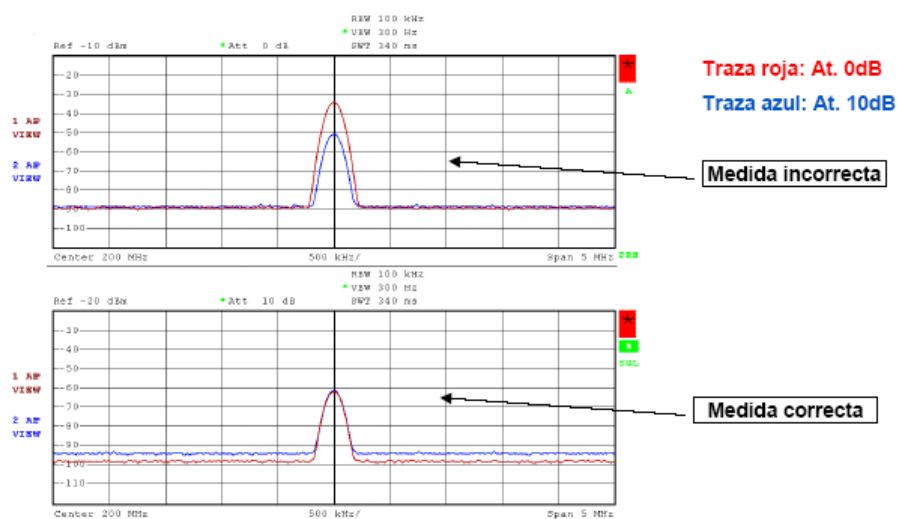


Fig. 063 Medición de los productos de intermodulación

Medida en potencia de canal y canal adyacente

El medir la potencia de canal y canal adyacente es una de las más importantes tareas en el campo de transmisión digital para un analizador de espectros con la necesidad de pruebas de rutinas. Mientras que teóricamente, el canal de potencia puede ser medido con gran exactitud con un medidor de potencia, su baja sensibilidad significa que no es conveniente para medir potencias de canales adyacentes como son los valores absolutos o relativos para la transmisión de la potencia del canal. La potencia de un canal adyacente puede ser medida sólo con un medidor de potencia selecto.

Existen dos posibles métodos para la medición de potencia de canal y canal adyacente con el analizador de espectros:

1. Método de integración de ancho de banda (IBM)- en el cual el analizador de espectros mide con una RBW que es menor que ancho de banda del canal e integra el nivel de valores de las trazas versus el canal de ancho de banda.
2. Medición usando el canal del filtro- en este caso el analizador hace mediciones en el dominio del tiempo usando un filtro de IF. Hasta ahora, este método no ha sido usado para analizadores de espectros, porque el filtro del canal no fue disponible y la RBW, optimizada para el barrido, no ha tenido suficiente selectividad. Este método fue reservado para receptores especiales optimizados para un método especial de transmisión

En el modo de potencia de canal se puede medir:

- Potencia de canal
- Relación de potencia de canal adyacente
- Ancho de banda ocupada

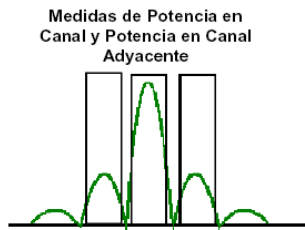


Fig. 064 Medición de la potencia de canal y canal adyacente

Modo de potencia de canal

Permite medir la potencia radiada dentro de una determinada banda de frecuencia. Cada canal está definido por su frecuencia central y por su anchura de canal (y no por el margen de frecuencia). Este modo reduce la complejidad de todas las posibles configuraciones necesarias para determinados sistemas de comunicaciones.

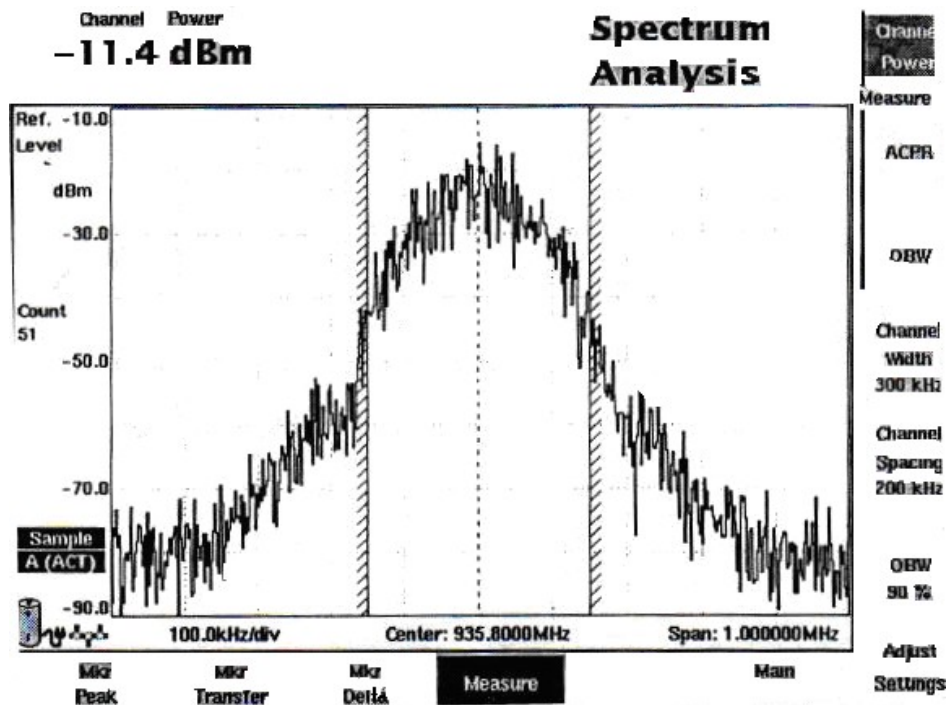


Fig. 065 Medición de potencias de canal

Relación de potencia de canal adyacente (ACPR)

Es la relación entre la potencia transmitida de un canal adyacente superior o inferior y la transmitida en el canal utilizado para la comunicación. Esta medida puede utilizarse para evaluar la calidad del modulador y del transmisor. Cuando mayor sea el resultado de la medida, peor será la calidad del transmisor, ya que la parte de la energía transmitida por otros canales podría interferir con otras comunicaciones en curso. Se determina los canales adyacentes a partir de los parámetros de entrada de anchura de canal y de espacio de canal.

Ancho de banda ocupada (OBW)

Identifica el margen de frecuencia sobre el que se encuentra un porcentaje determinado de la potencia de la señal. Este margen de frecuencia no tiene por qué ser necesariamente simétrico respecto de la frecuencia central, sino que se selecciona de modo que el ancho de banda que contenga determinado porcentaje del OBW definido por el usuario, esté minimizado. OBW se indica como valor absoluto

Análisis de espectro con Modulación

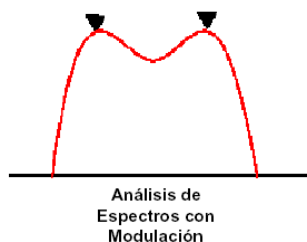


Fig. 066 Análisis de espectros con modulación

Las señales de radiofrecuencia son usadas para transmitir información, una portadora de radiofrecuencia es modulada. Métodos de modulación analógica como amplitud modulada, frecuencia modulada y fase modulada; y métodos de modulación digital son usados en sistemas modernos. El medir la potencia y el espectro de señales moduladas es una importante tarea para asegurar la calidad de

transmisión y garantizar la integridad de otros servicios de radio. Esta tarea puede ser realizada por un analizador de espectros. Los analizadores modernos también proveen rutinas que son esenciales para simplificar la complejidad de la medición.

En el espectro de una señal modulada en amplitud se representa con la fundamental y sus dos bastones laterales separados. Con un índice de modulación $m = 1$, los bastones tienen una altura de la mitad de la portadora. Con $m = 0$, sólo la portadora se verá. Con sobre modulación además de la portadora y las bandas laterales aparecerán frecuencias como consecuencia de la distorsión producida.



Fig. 067 Señal modulada en amplitud, espectro de la señal modulada en amplitud

Representación de una señal modulada en frecuencia por un tono sinusoidal simple. El ancho de banda y la cantidad de bandas laterales dependerá del índice de modulación y éste de la señal modulante.

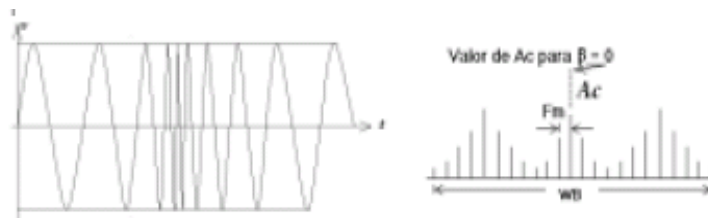


Fig.
068

Señal modulada en frecuencia, espectro de la señal modulada en frecuencia

RUIDO EN AMPLIFICADORES

El ruido eléctrico es cualquier señal eléctrica no deseada que se suma a una señal existente.

TIPOS DE RUIDO ELÉCTRICO.

Un ruido eléctrico puede aparecer de dos maneras diferentes:

Por el exterior: Otra fuente de señal u otro circuito que cause cambios en una señal / línea de potencia introduce su señal o sus cambios en nuestro circuito. Esto se llama interferencia.

Lo genera el propio circuito. Esos tipos de ruido se llaman ruidos aleatorios, y se dividen en:

- o Ruido térmico o de Johnson.
- o Ruido de disparo.
- o Ruido de baja frecuencia o Flicker noise

Una mala conexión a tierra genera ruidos y diafonía.

1. Interferencias o EMI

Definiciones

- **EMI:** ElectroMagnetic Interference.
- **EMC:** ElectroMagnetic Compatibility.
- **EMS:** ElectroMagnetic Susceptibility.
- **EMP:** ElectroMagnetic Pulses.
- **NEMP:** Nuclear ElectroMagnetic Pulses.
- **ESD.** ElectroStatic Discharge.
- **RFI:** Radio Frecuency Interference.

Entre estas siglas, se explicará brevemente en qué consisten dos de ellas, las más importantes:

EMC: Es la manera en la que emite EMI un equipo, y su habilidad para injerir en el correcto funcionamiento de otro equipo. Ejemplo: Cuando enciendes el microondas en la tele aparecen rayas.

EMS: Es la forma en la que un equipo es sensible a la EMI recibida desde otros equipos. Ejemplo: Una tele funciona correctamente hasta que se le llega EMI de un microondas y aparecen rayas. También un aparato es mejor cuanto más inmune (menos susceptible) sea a la EMI.

En el estudio de EMI hay tres bloques básicos. Emisores de EMI, caminos de acoplamiento y receptores de EMI.



Fig 069 Bloques Básicos de EMI

Las maneras más obvias de luchar contra EMI son obstaculizar cualquiera de estos tres bloques. Se puede aislar la fuente, se pueden poner pantallas electromagnéticas en los emisores o receptores, o se pueden inmunizar los receptores, o varias de ellas.

Los efectos que produce la EMI en un receptor son muy variados, y la Unión Europea establece las siguientes categorías.

- ▶ **0:** El equipo no es afectado en absoluto. Un hornillo eléctrico.
- ▶ **A:** El equipo se ve afectado pero funciona de manera aceptable:
- ▶ **B:** El equipo se ve alterado temporalmente, pero vuelve a funcionar sin intervención técnica y sin daños irreversibles:

► **C:** El equipo se ve afectado y requiere intervención técnica para volver a funcionar.

► **D:** El equipo se ve afectado de manera irreversible.

Tampoco todas las formas de EMI son iguales: Se establecen las siguientes categorías según su origen.

► **Naturales:** Una bolsa de plástico, una alfombra, o cualquier objeto que pueda adquirir carga eléctrica produce una EDS en un aparato. Ejemplo: cuando se va a encender un aparato y se produce un chispazo. (nosotros también adquirimos carga).

► **Artificiales.** Una fuente conmutada, un microondas, un motor

Por el medio de propagación también se establecen las siguientes categorías:

► **Conducidas:** Si el medio de propagación es un cable de alimentación, de señal, la propia red de 220V. Ejemplo: una fuente conmutada mala de un ordenador genera un ruido de 40kHz en un medidor (osciloscopio, etc.)

► **Radiadas:** La propagación se realiza a través de campos eléctricos o electromagnéticos. Ejemplo: el microondas y la tele.

► **Acopladas:**

o **Acoplo inductivo:** Un campo electromagnético afecta a otros dispositivos. Ejemplo: un transformador, una bobina...

o **Acoplo capacitivo:** Dos pistas de un circuito impreso sumamente próximas en un circuito digital, con muy altas frecuencias y capacidad parásita de entre 10 y 100pF, unido a muy altas impedancias hace que se acople capacitivamente una señal de una pista a otra.

La principal diferencia entre EMI radiada y acoplada es la distancia. Las bandas de frecuencias típicas que tiene cada tipo de EMI son:

- ▶ <150kHz: EMI conducida, y a frecuencias altas, acoplada.
- ▶ 150kHz~ 30MHz. EMI acoplada y radiada.
- ▶ >30MHz: EMI radiada.

2. Ruidos aleatorios.

Ruido térmico o de Johnson.

Es un ruido aleatorio que se genera por la agitación térmica de los portadores. Su espectro de frecuencias es plano, es un ruido blanco. Se genera en cualquier elemento que se comporte como una resistencia, se mide como un voltaje y es el límite inferior de ruido alcanzable para cualquier elemento con resistencia.

Depende directamente de la resistencia y de la temperatura (en °K).

$$V_{n(RMS)} = \sqrt{4kTRB}$$

Dónde:

K es la constante de Boltzman

B en ancho de banda.

$$K = 1.318 \cdot 10^{12} \text{ Julios} / \text{° Kelvin}$$

Ruido de disparo.

Se genera en todas las uniones semiconductoras por el hecho de que la carga es discreta. Para grandes corrientes (1A) sus efectos son completamente despreciables, pero para intensidades del orden de 1pA, puede suponer un 5.6% de la señal. Su espectro es plano.

$$I_{n(RMS)} = \sqrt{2qI_{DC}B}$$

Dónde:

q es la carga de un electrón,

B el ancho de banda.

Ruido de baja frecuencia.

Se genera por la inhomogeneidad de la materia. A diferencia de los dos anteriores ruidos, su espectro decae inversamente proporcional a la frecuencia (1/f), es un ruido rosa.

$$I_{n(RMS)} = \sqrt{KI_{DC}B/f}$$

Es un ruido añadido al ruido Johnson y al de disparo que depende del tipo de resistencia.

- Carbon-composition 0.1mV a 3.0mV
- Carbon-film 0.05mV a 0.3mV
- Metal-film 0.02mV a 0.2mV
- Wire-wound 0.01mV a 0.2mV

El ruido de la base de un transistor BJT también es un ruido de baja frecuencia.

MEDIDAS DEL RUIDO.

Densidad de ruido

En las medidas de ruidos aleatorios, éstas dependen del ancho de banda elegido. La densidad de ruido elimina este inconveniente para los ruidos blancos.

$$V_{n(RMS)} = \sqrt{V_{n(RMS)}^2 B}$$

Así la medida del ruido no depende del ancho de banda. Se mide en:

$$V / \sqrt{\text{Hz}}$$

También se suele indicar la medida del ruido como la densidad elevada al cuadrado, V_n^2

Cuando se superponen dos señales de ruido, la suma RMS es:

$$V_n = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$$

Relación señal-ruido.

Es una medida que indica cuán mayor es la señal útil respecto de la señal de ruido.

$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{V_{\text{SIGNAL}}^2}{V_{\text{NOISE}}^2} \right)$$

Significa signal-noise ratio, y se mide en dB. Cuando el ancho de banda es estrecho, conviene indicarlo. Cuanto más alto sea, mejor.

Figura de ruido

El ruido de Johnson es el límite inferior de ruido de cualquier sistema. Nada puede estar por debajo de él, pero a éste ruido se le pueden sumar otros.

La figura de ruido define la relación entre el ruido de Johnson de un sistema y el ruido total de ese mismo sistema,

$$V_{\text{Johnson}}^2 = 4kTR_s$$

$$V_{\text{total}}^2 = 4kTR_s + V_s^2$$

Se define la figura de ruido (noise figure) como:

$$NF = 10\log\left(\frac{4kTR_s + V_s^2}{4kTR_s}\right) = 10\log\left(\frac{4kTR_s + V_s^2}{4kTR_s}\right)$$

La figura de ruido es una medida de cuan optimizado para bajo ruido está el sistema. El ruido de Johnson sólo se puede bajar enfriando el circuito o bajando las resistencias. Pero con otras técnicas como mejorar la calidad de las resistencias, transistores, aumentar las corrientes de polarización, y evitar EMS, se pueden bajar los otros tipos de ruido a niveles más bajos.

La figura de ruido se mide en dB y es mejor cuanto más baja sea (así el sistema no estará aportando otros tipos de ruido). Es una medida relativa, y debe prestarse atención a si el circuito está optimizado para tener un bajo ruido de Johnson, en un sistema donde se amplifica una señal con impedancia de salida $R_s=1\text{M}\Omega$ no es difícil que NF sea de 1dB o menos, en cambio cuando $R_s=2\Omega$, es fácil que el ruido dominante no sea el ruido de Johnson.

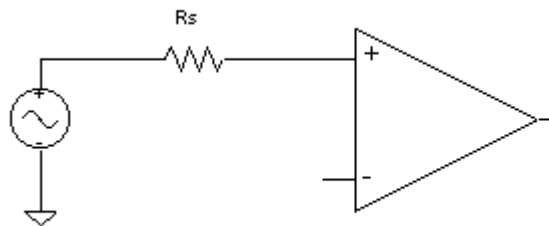


Fig. 070 Amplificador con una impedancia de salida

Temperatura de ruido

Es un concepto semejante al de figura de ruido. Es la relación entre el ruido total del sistema y el ruido de Johnson, pero basándose en temperatura, no en una relación en dBs

La temperatura de ruido es la temperatura a la que el ruido de Johnson alcanza el ruido total a temperatura estándar (suelen ser 17 °C, 290°K)

$$T_n = T \left(10^{\left(\frac{NF(dB)}{10} \right)} - 1 \right)$$

RUIDO EN AMPLIFICADORES.

Sea el amplificador del tipo que sea (discreto, monolítico, un simple transistor) se puede utilizar el siguiente modelo:

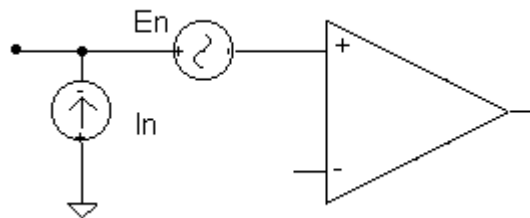


Fig. 071 Amplificador con una fuente de corriente y voltaje

Dónde:

En: es una fuente de ruido de voltaje

In: es una fuente de ruido de corriente.

Normalmente los transistores bipolares tienen menos ruido de voltaje y mayor ruido de corriente que los Jfet. Los mosfet tienen un ruido de corriente ínfimo, pero un ruido de voltaje bastante elevado.

Se debe tener en cuenta que el ruido se amplifica, y que cada elemento aporta su parte de ruido, por lo que es mejor que en menos etapas se amplifique una señal.

El ruido de voltaje se divide por raíz de *n*, siendo *n* el número de amplificadores colocados en paralelo y como contraparte, el ruido de corriente se multiplica por raíz de *n* en ese mismo caso. Esto se deduce de las leyes de Kirchoff y del siguiente circuito, junto a la suma de densidades de ruido.

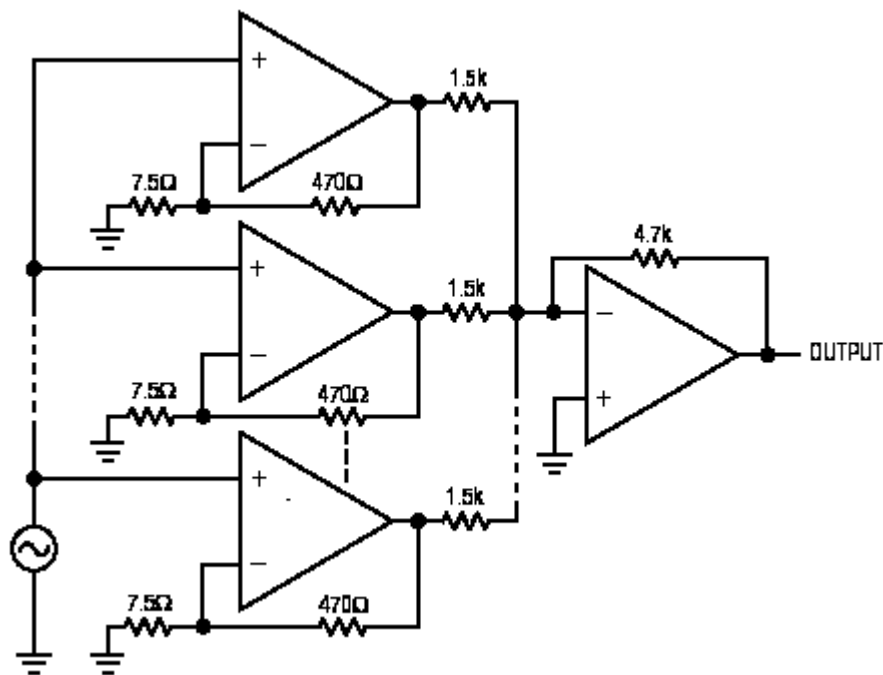


Fig. 072 Diagrama de un amplificador conformado por varios amplificadores en paralelo

PROBLEMAS DE TIERRAS.

La tierra en un diseño de bajo ruido debe considerarse como una señal más, ya que el voltaje no existe por sí sólo, lo que existe es la diferencia de potencial. No se puede amplificar algo sin no hay una tensión de referencia. Las conexiones nunca son perfectas, los cables tampoco, tienen efectos parásitos de capacidad, inductancia y resistencia

Conexión entre equipos.

La alimentación de red no es limpia, lleva EMI conducida. Cuando dos equipos tienen exactamente el mismo ruido de alimentación es como si no tuviesen ruido, pero esto no es común. Normalmente hay diferencias entre las alimentaciones, y por supuesto, entre las tierras.

Para distancias cortas, el típico cable apantallado puede valer, pero desde luego no es un buen método para proteger una señal contra el ruido. El punto más importante de todos: la malla no debe conducir corriente. Esto hace que no se comporte como una pantalla eléctrica y realmente proteja de ruidos.

AMPLIFICADORES DE BAJO RUIDO

LNA (LOW NOISE AMPLIFIER)

Está compuesto por un sistema amplificador y una guía de onda. La función del LNA dentro de un receptor es principalmente amplificar la señal que se recibe en la antena, introduciendo el menor ruido posible, antes de que esta señal entre en el mezclador para ser bajada a una frecuencia intermedia. De esta forma se incrementa el rango dinámico del receptor.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques típico de un receptor de radio frecuencia (RF), en donde el LNA se encuentra al principio de la cadena de recepción.

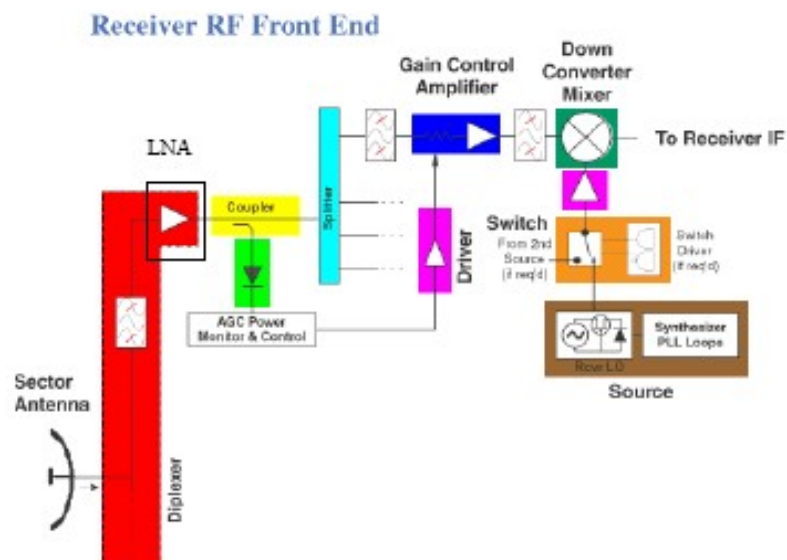


Fig. 073 Ejemplo de un receptor

El amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) debe cumplir con:

- ▶ Mínima figura de ruido

Al ser uno de los primeros bloques de la cadena de recepción, determinará la figura de ruido del sistema:

- ▶ Entrada adaptada

Máxima transferencia de potencia

- ▶ Mínimo consumo

Muy importante para aplicaciones portables

La medida de los parámetros como la adaptación, ganancia y aislamiento del LNA se realizara utilizando un VNA (analizadores vectoriales de redes) o También se puede medir de forma alternativa la ganancia del circuito con el analizador de espectros

LNB (LOW NOISE BLOCK DOWN CONVERTER)

También llamado convertidor. Es un LNA completado por un circuito electrónico que transforma una frecuencia en otra. Gracias a su oscilador local, en el que la frecuencia varía según los diferentes tipos, el convertidor satélite transfiere, en la gama de 950 a 2050 MHz (llamada BIS) directamente transformada por el tuner del receptor, las señales emitidas en gigahercios (GHz) por el satélite en cuestión. También permite mayor flexibilidad de tratamiento y transporte de la señal. Existen varios tipos de LNB o convertidores que también pueden tratar las hiperfrecuencias (full banda, triple banda, Marconi, Universal). También se les llama LNC. $LNA + LNC = LNB$.

Este dispositivo es utilizado en la recepción de señales procedentes de satélites. Tiene la función de recibir o captar el máximo posible de la señal proveniente del satélite, reflejada en la parábola de la antena. La posición exacta del LNB depende del tipo de antena, en el caso de las denominadas de Foco Primario se encuentra en el foco, en el caso de las Offset se encuentra ligeramente desplazado y para una tipo Cassegrain entre el vértice y el foco de la parábola.

Funcionamiento:

La señal procedente del satélite se introduce en el Amplificador de Bajo Ruido o LNA, del inglés Low Noise Amplifier. Una vez amplificada, la señal de salida del LNA, en el rango de los gigahercios (GHz), se convierte a una banda de radiofrecuencia inferior. Este proceso se efectúa mediante la heterodinación, en un mezclador, de la señal con la frecuencia generada en un oscilador local seguida de un filtro paso banda que selecciona la frecuencia intermedia, situada en la banda inferior deseada, como por ejemplo la banda L (950-1750 MHz). A esta etapa reductora de la frecuencia se le llama Block Down Converter (BDC).

Con esta reducción de la gama de frecuencias se consigue que la atenuación ofrecida por el cable de bajada desde la antena al receptor sea menor y por tanto no sea necesario amplificar excesivamente, lo que conllevaría un deterioro de la relación señal/ruido (SNR).

El factor principal para determinar los parámetros de rendimiento y la calidad de la señal en un LNB es la temperatura de ruido, medida en Kelvin. El nivel de calidad de la señal de los LNB depende de este parámetro, a menor temperatura de ruido mayor será la calidad de señal.

Estos dispositivos tienen una elevada ganancia alrededor de 40 a 60 dB. La alimentación del LNB se realiza a través del propio cable coaxial de señal mediante una tensión de 15 ó 20 V en corriente continua.

LNC (LOW NOISE CONVERTER)

Conversor de bajo ruido, éste es similar al LNA, la diferencia es que recibe y emite mediante el mismo dispositivo la señal y la convierte en otra.

2.4 HIPÓTESIS

A través del estudio para determinar métodos y procedimientos de medición para frecuencias superiores a los 5 GHz, se detectará la factibilidad para aplicar dichos métodos y procedimientos para la Superintendencia de Telecomunicaciones Delegación Regional Centro.

2.5 DETERMINACIÓN DE VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Estudio para determinar métodos y procedimientos de medición para frecuencias superiores a los 5 GHz.

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Enlaces no autorizados que utilizan frecuencias superiores a 5 Ghz.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 ENFOQUE

La presente investigación estará enmarcada dentro del paradigma crítico propositivo por lo tanto tendrá un enfoque cuali - cuantitativo ya que se trabajará con sentido holístico y participativo considerando una realidad dinámica pero al mismo tiempo estará orientado a la comprobación de hipótesis y con énfasis en el resultado

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

En al desarrollo del proceso investigativo se empleará la investigación bibliográfica para la elaboración del marco teórico y la investigación de campo para la recolección de datos y manipulación de equipos que servirán de base para la elaboración de la propuesta

3.3 NIVELES DE INVESTIGACIÓN.

La investigación abarcará desde el nivel exploratorio hasta el nivel explicativo pues se reconocerán las variables que competen al problema, se establecerá las características de la realidad a investigarse, el grado de relación que existe entre las variables, las causas y consecuencias del problema y se llegará a la comprobación de la hipótesis.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.

El trabajo investigativo se realizará en la Superintendencia de Telecomunicaciones Delegación Centro localizada en la ciudad de Riobamba con una población de dos personas de las cuales los directivos son el Ingeniero Alex

Troya y el Ingeniero Edwin Narváez que corresponden a la sección del Departamento Técnico de la Delegación Regional Centro, se trabajará con todo el universo investigativo considerando que el universo es pequeño.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Las técnicas que se emplearán en el proceso de investigación serán la recolección de datos y observación.

La primera será empleada para obtener datos significativos que me permitan determinar el método y las diferentes técnicas de medición más adecuadas.

La observación será de gran valor en la apreciación de la realidad, circunstancias que permiten confrontar los hechos e imprimir un sello de transparencia en la investigación.

3.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez recolectada la información se procederá al análisis de los datos obtenidos los cuales serán parte medular para la propuesta. Los datos serán presentados con las respectivas conclusiones.

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LOS ENLACES MICROONDA

Para determinar tanto el método y los procedimientos de medición a plantear el primer paso fue la realización de un estudio detallado de los principales parámetros que intervienen en un enlace microonda, como fueron: la propagación en el espacio libre, el efecto que tiene la tierra, el efecto que tiene la troposfera, entre otros.

4.2 ESTUDIO DE LOS EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN LA MEDICIÓN DE LA SEÑAL

Otro factor importante a considerar fue los equipos implicados para la detección de la señal. El estudio de cada uno de ellos fue necesario para entender su funcionamiento, manejo y sobretodo su funcionalidad. Los equipos estudiados fueron: el analizador de espectros con sus características y técnicas de medición, antenas con los distintos parámetros que tiene una antena transmisora y una antena receptora, además de sus tipos; y el amplificador de bajo ruido.

Los dos estudios previamente mencionados fueron base suficiente para plantear el método y técnicas de medición.

4.3 OBTENCIÓN DE LOS DATOS DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE LA ENVOLVENTE

Para la realización del programa se debe tomar muy en cuenta el Diagrama de Radiación de la antena transmisora, puesto que éste me proporciona la ganancia de la misma, factor importante para determinar la potencia de recepción.

Para la obtención de los datos del Patrón de Radiación de la Envolverte se utilizó un software, el mismo que el fabricante de las antenas lo provee. Mediante el registro que maneja la Superintendencia de Telecomunicaciones Delegación Centro el fabricante de las antenas utilizadas en los enlaces microonda es Andrew.

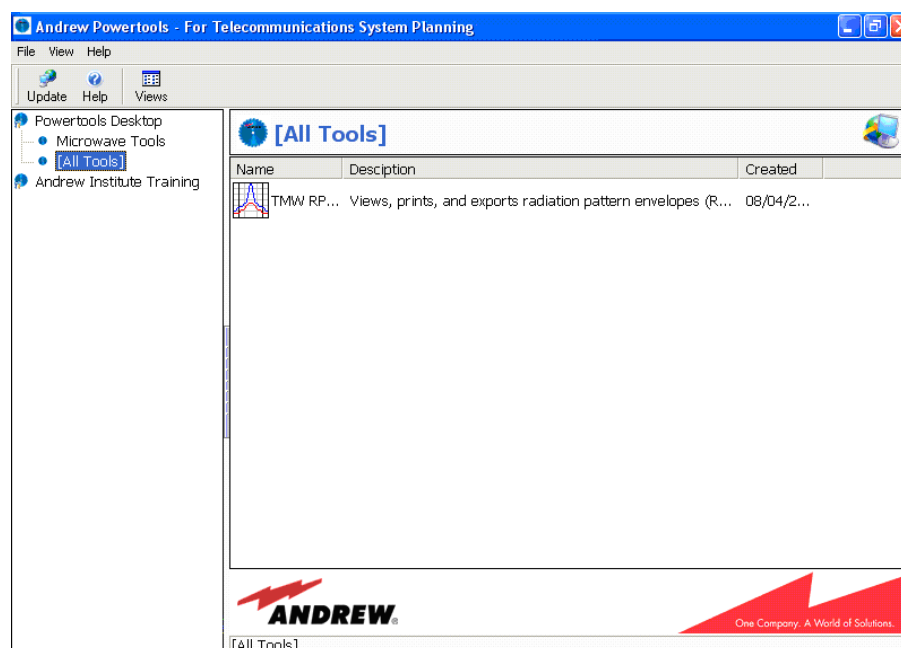


Fig. 074 Software de Andrew

Este software proporciona la opción de seleccionar o buscar el tipo de antena. En la parte derecha se puede apreciar el diagrama de radiación en forma rectangular de acuerdo a la antena.

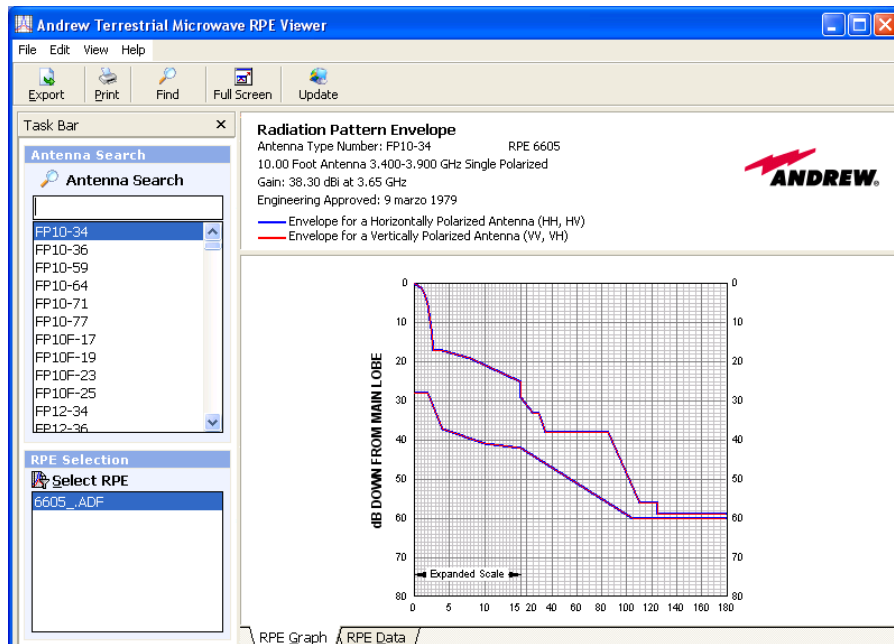


Fig 075 Obtención del Patrón de Radiación

A continuación se puede visualizar los datos son del Patrón del Diagrama de Radiación, los mismos que son utilizados en la aplicación realizada en Matlab.

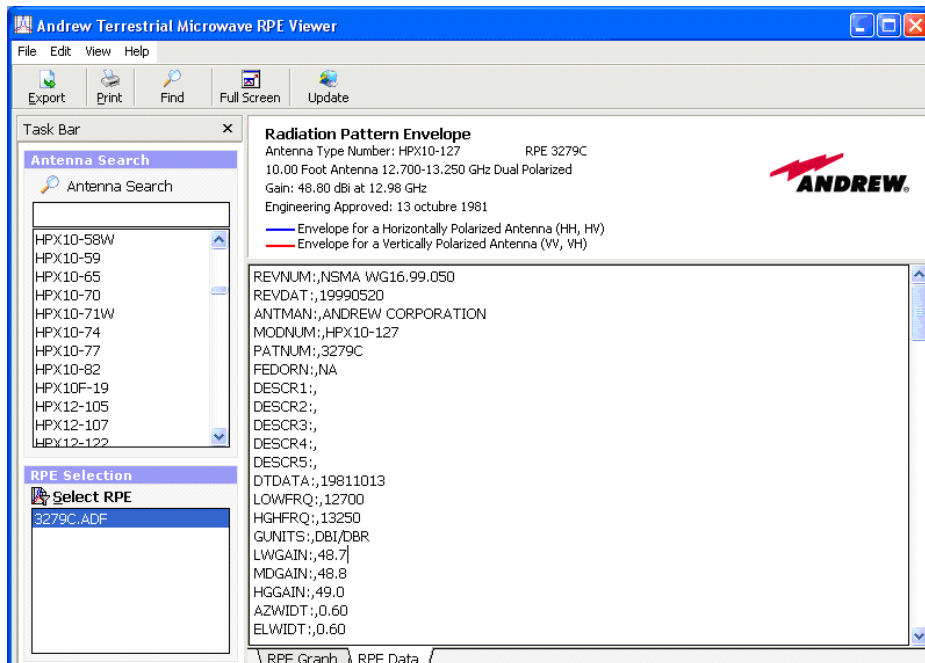


Fig. 076 Obtención de los datos del Patrón de Radiación.

4.4 PROPUESTA DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN

1. El primer método propuesto es una aplicación desarrollada en Matlab, la misma que tiene como funcionalidad determinar el nivel de la señal a cierta distancia, esta aplicación también me permite realizar los cálculos de la ganancia de recepción dependiendo de la antena que se esté midiendo; para la elaboración del mismo se ha tomado en cuenta la hoja de especificaciones característica de cada antena. Con el ingreso de los parámetros como son. La frecuencia, la potencia de transmisión, la ganancia de la antena receptora, las pérdidas de conductores y de espacio libre, el til mecánico, la altura de la torre donde se instala la antena a medir, el umbral de recepción y la ganancia del amplificador de bajo ruido; los resultados que me da la aplicación son bastante reales, puesto que se aproximan a los valores que se obtienen mediante las mediciones con el analizador de espectros

Además de la potencia de recepción calculada en el programa se puede establecer adicionalmente si la señal recibida necesita una amplificación para que el analizador de espectros pueda procesarla, de ser necesario el software automáticamente me determina la ganancia a requerir en el amplificador de bajo ruido.

Una de las ventajas que se obtiene de la aplicación es la optimización del tiempo en el momento que se lleva a cabo la medición. Pues con esta aplicación se puede determinar previamente el nivel de la señal en función de la distancia con respecto a la torre. Con estos parámetros las personas que realizan las mediciones tan solo deben escoger a que distancia se ubicarán de la torre para recibir la señal.

Por consiguiente el método propuesto cumple satisfactoriamente los requerimientos por parte de la empresa.

DESARROLLO

Para la realización de la aplicación fue necesario disponer de:

- ▶ Datos característicos del Patrón de Radiación de la Envolverte típico de cada antena, proporcionados por el fabricante.
- ▶ Un lenguaje de programación que realice con gran exactitud operaciones matemáticas, se escogió el software Matlab

A continuación se detalla el desarrollo de la aplicación

Una vez abierto Matlab, seleccionamos el modo GUIDE para la interfaz gráfica

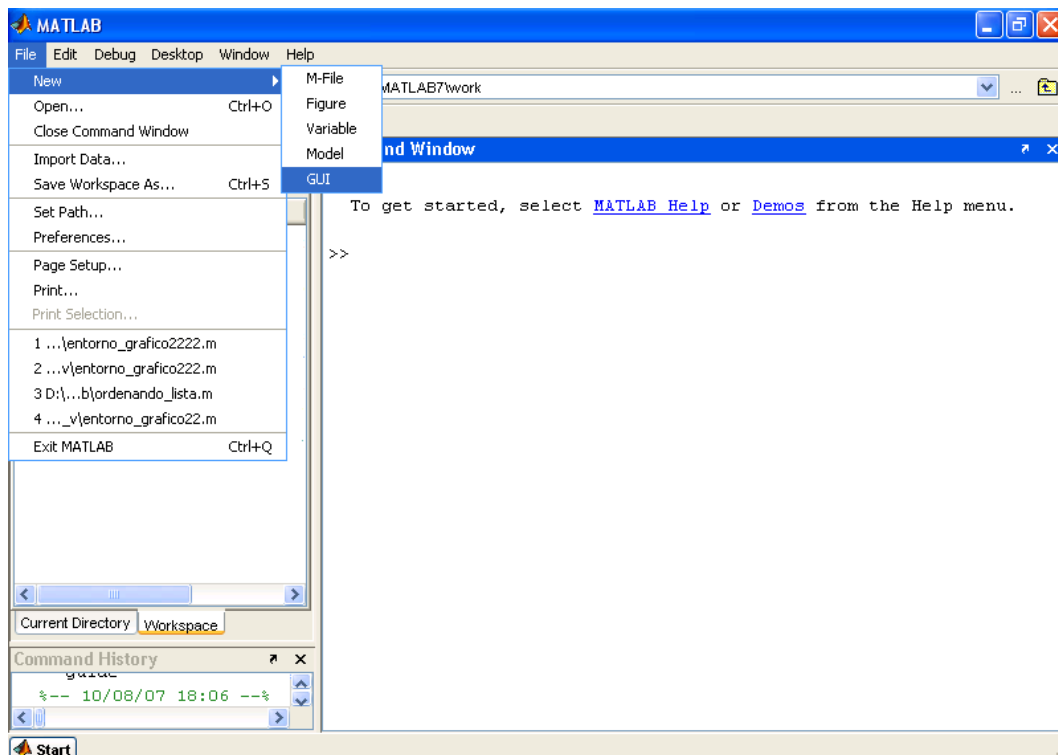


Fig. 077 Selección del modo GUIDE

Se selecciona la opción Blank GUI (Default)

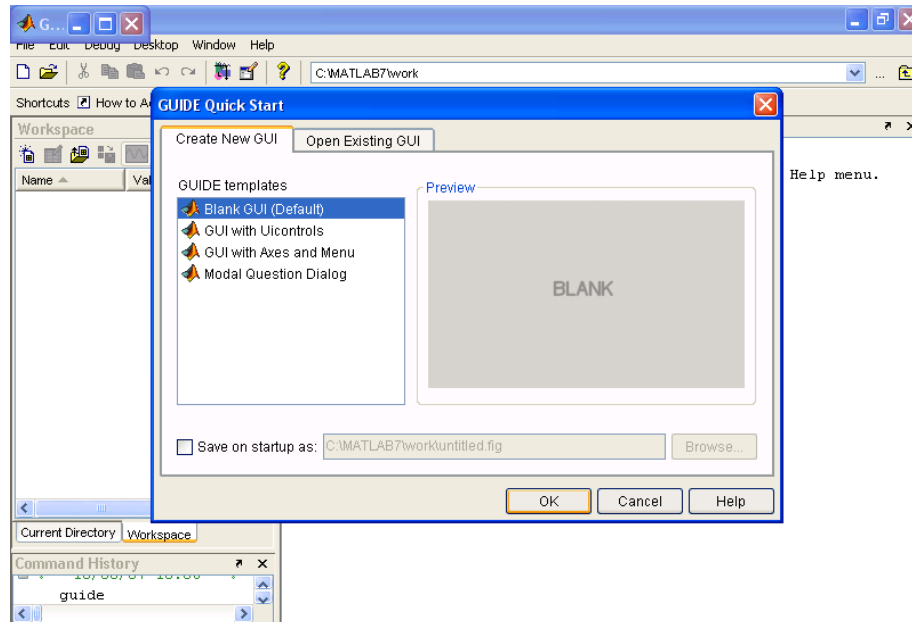


Fig. 078 Creando un nuevo proyecto

A continuación se abre una nueva ventana con un ambiente de trabajo diferente, a su derecha dispone de una barra de herramientas denominada Component Palette, la misma que abarca todos los controles de interface de usuario

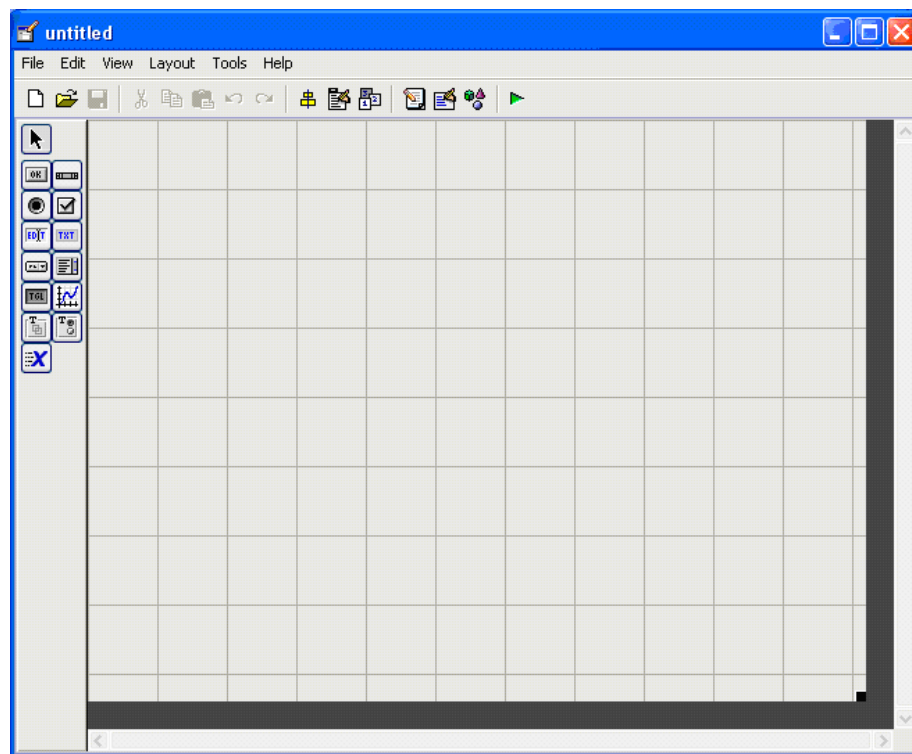


Fig. 079 Ventana de la Interfaz Gráfica

Se procede a ubicar los diversos controles que conformarán la aplicación, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

El ingreso por parte del usuario de los siguientes datos:

- ▶ Frecuencia en GHz.
- ▶ Pérdida por cables en dB
- ▶ Potencia de transmisión en dB (PTx)
- ▶ Ganancia de recepción en dB (GRx)
- ▶ Altura de la torre de la antena transmisora en metros.
- ▶ Til mecánico de la antena transmisora en grados
- ▶ Ganancia del amplificador de bajo ruido en dB
- ▶ Distancia a la cual es Slider se va a ajustar en metros

Para esto utilizamos los controles Edit Text.

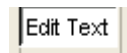


Fig. 080 Edit text

La selección del tipo de antenas cargadas en el programa y de las distintas polarizaciones como son:

- ▶ H/H
- ▶ H/V
- ▶ V/V
- ▶ V/H

Se las realiza a través del Pop-up Menú

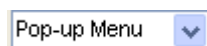


Fig 081 Pop-up Menu

Para la visualización de las distintas imágenes que se presentarán en el programa se emplean los Axes.

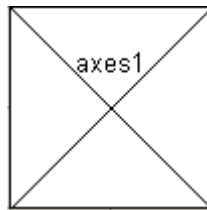


Fig. 082 Eje para Gráficas

Para seleccionar la distancia a la cual se ubicará el analizador de espectros con la antena receptora se empleará un Slider

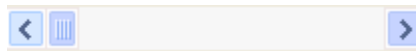


Fig 083 Slider

Y para la visualización de su resultado como también para la rotulación de los controles se utilizó los Static Text

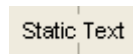


Fig. 084 Static Text

Para la visualización de los resultados también se utilizarán los edit text. Adicionalmente los ángulos y dB del patrón de radiación de la envolvente de la antena transmisora que se haya seleccionado se indicarán en los List Box.

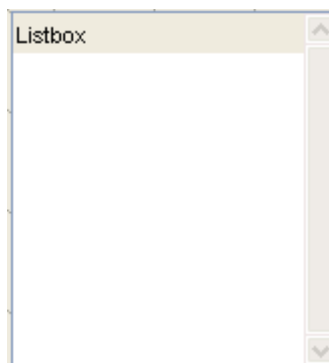


Fig. 085 List Box

A través del accionar los controles Push Button se envía la orden para que los resultados como la Ganancia de la antena transmisora (GTx), las Pérdidas por Espacio Libre (Le) y el Nivel de Señal sean enviados a los Edit Box y de esta forma sean visualizados.

Push Button

Fig. 086 Push Button

En la siguiente figura se puede apreciar todos los controles que dispone la aplicación.

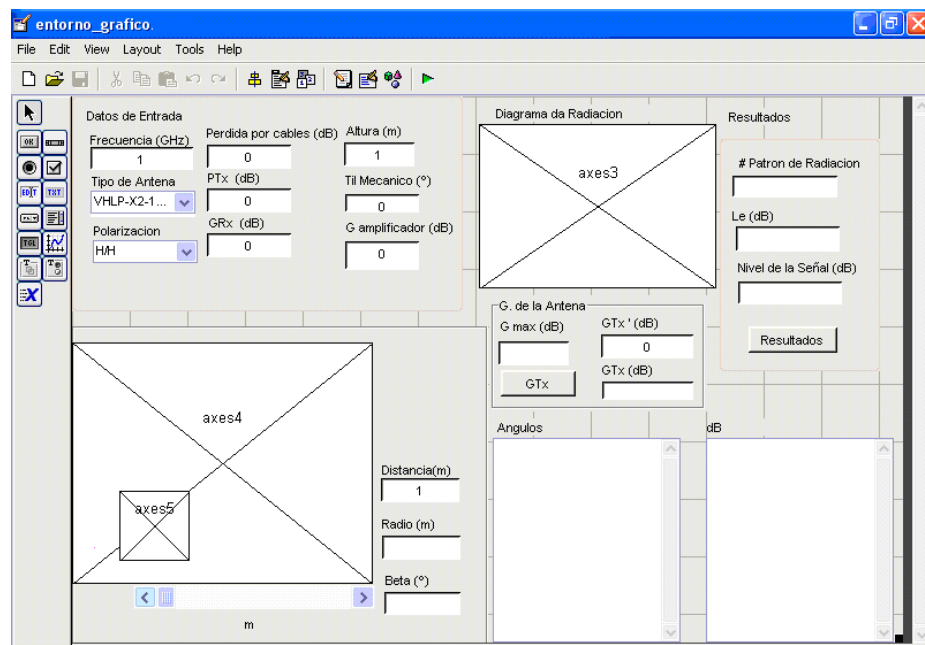


Fig. 087 Controles de la Aplicación

Las propiedades de cada uno de los controles deben ser configuradas previamente a la programación estructurada en el Property Insector.

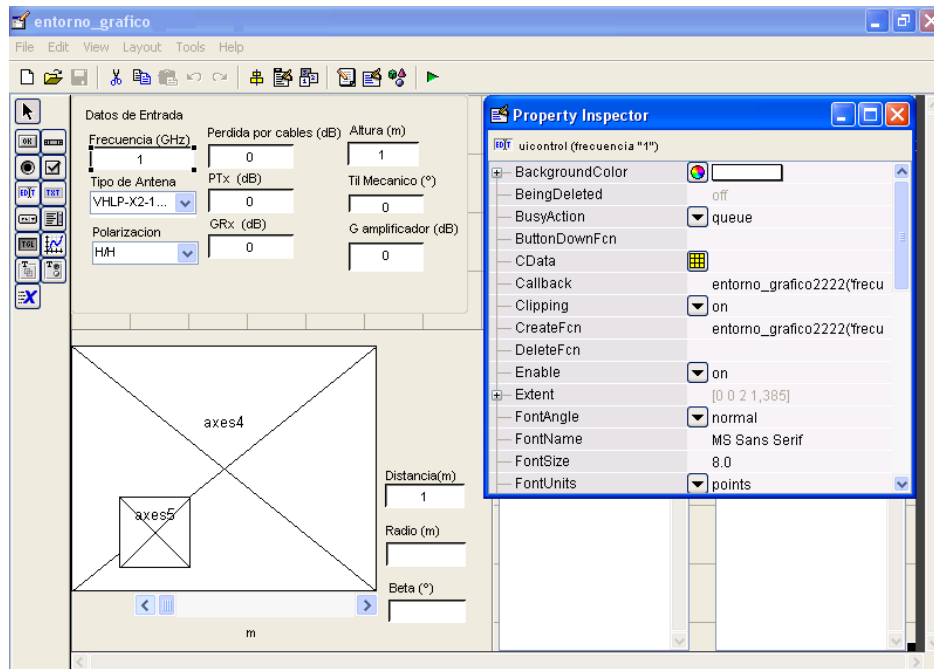


Fig. 088 Propiedades de los Controles

Se procede a la programación estructurada de cada uno de los componentes que se la hace en el M-file Editor

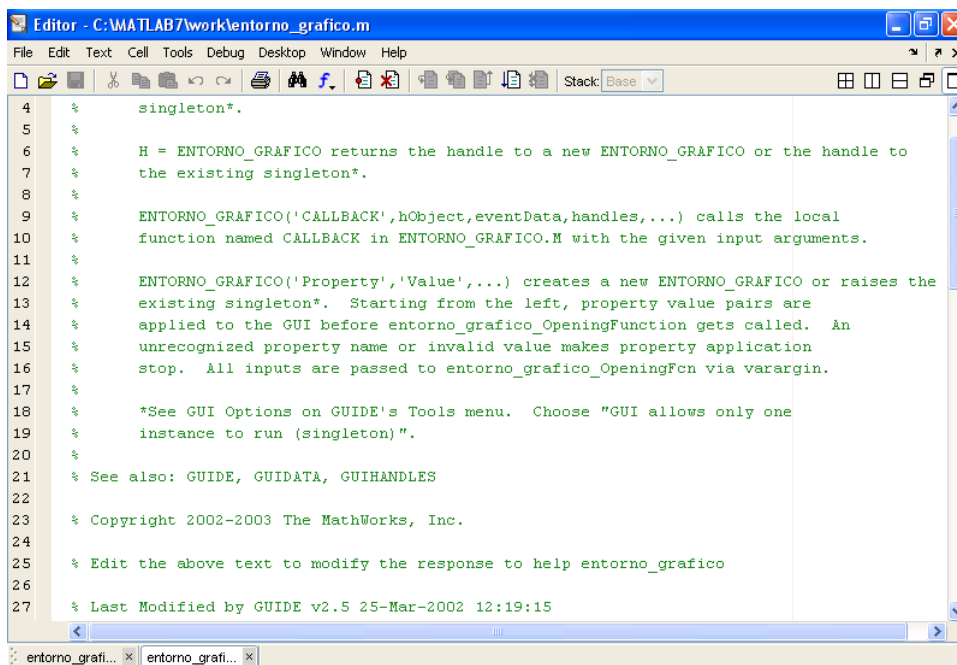


Fig. 089 M-file Editor

Una vez concluida la programación se procede a la verificación de su funcionamiento mediante la ejecución del programa

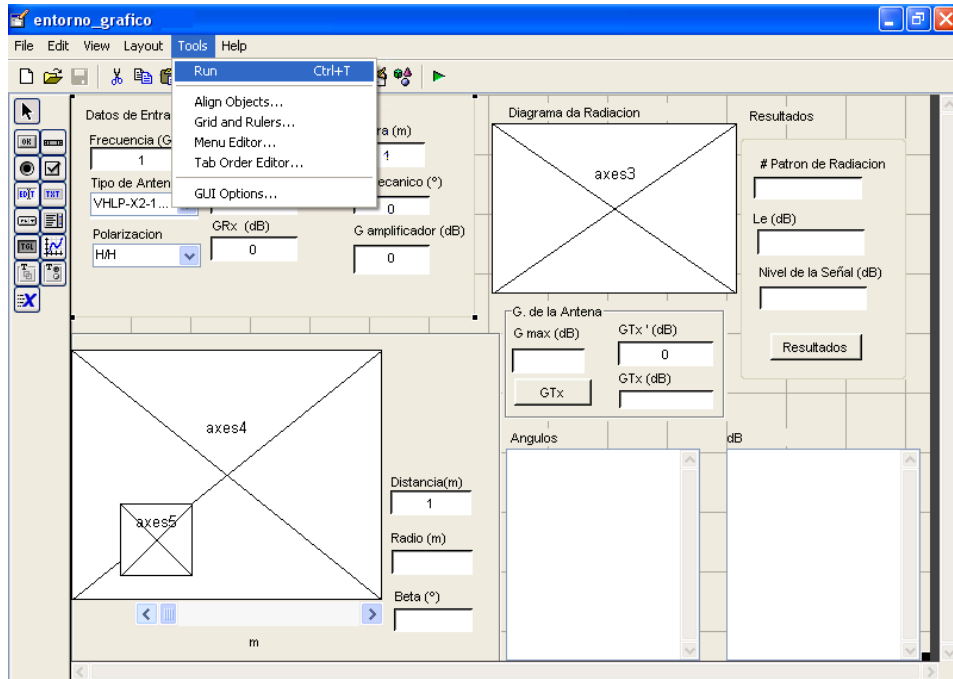


Fig. 090 Selección de la opción ejecutar

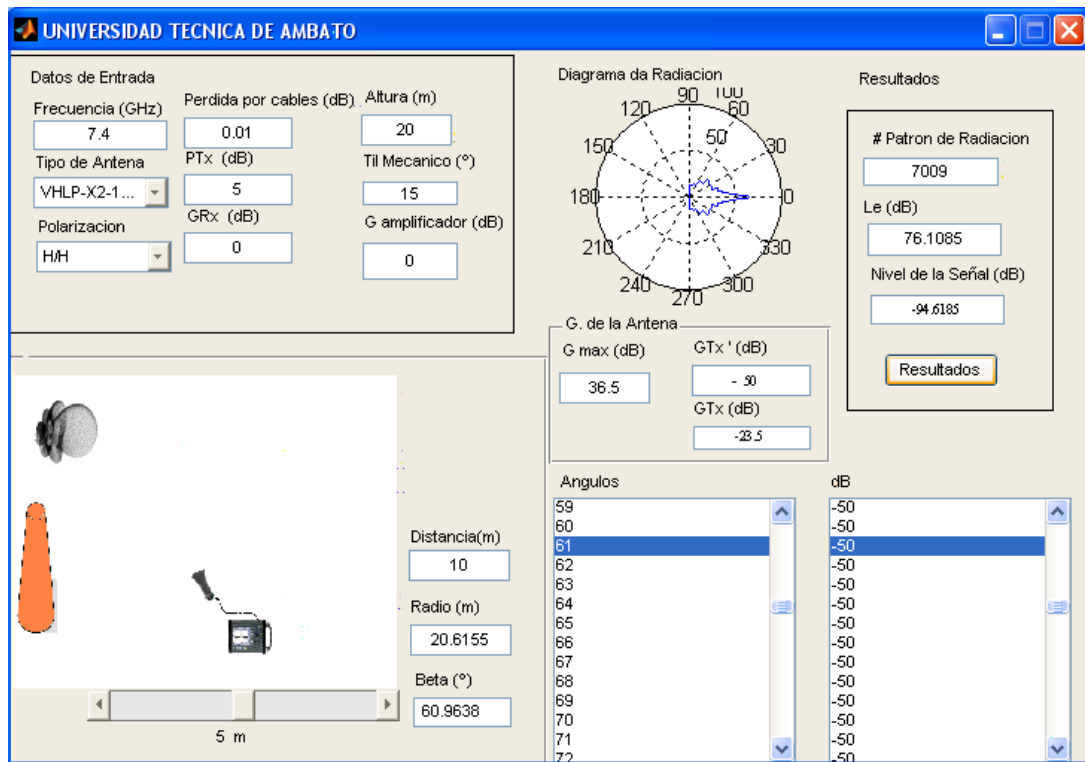


Fig. 091. Ejecución del Programa

2. El segundo método planteado tiene una variante respecto al primero, en este caso no se toma en cuenta el Patrón de Radiación de la Envolvente proporcionado por el fabricante, para obtener el Diagrama de Radiación se utilizan parámetros como la ganancia máxima que posee, su geometría, potencia de transmisión, entre otros.

Mediante los datos facilitados por la Superintendencia de Telecomunicaciones uno de los parámetros que se puede observar es el modelo de las antenas (Anexo 4). Las fórmulas para el campo eléctrico dependen del modelo de la antena, en este caso son parabólicas.

DESARROLLO

Ecuaciones a utilizar:

$$\vec{E}_a = \sqrt{\frac{\eta \text{Pr} D_f(\theta', \phi')}{4\pi}} \frac{1}{r'} e^{-jk(r+z')} \vec{e}_r$$

$$E_\theta = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (1 + \cos\theta) \int_{S_0} \int [E_x^a \cos\phi + E_y^a \text{sen}\phi] e^{jk \cdot \vec{r}'} ds$$

$$E_\phi = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (1 + \cos\theta) \int_{S_0} \int [-E_x^a \text{sen}\phi + E_y^a \cos\phi] e^{jk \cdot \vec{r}'} ds$$

$$E_x^a = E_a \text{sen}\theta \cos\phi$$

$$E_y^a = E_a \text{sen}\theta \text{sen}\phi$$

Dónde:

E_a : Campo Eléctrico

E_ϕ : Campo Eléctrico en ϕ

E_θ : Campo Eléctrico en θ

η : Impedancia característica del medio

Pr: Potencia de Radiación

$D_f(\theta', \phi')$: Diagrama de Radiación para un sistema de ángulos θ' y ϕ'

r' : Distancia Focal

z' : distancia que va desde el foco de la antena hasta un punto cualquiera ubicado en el plato de la antena.

λ : Longitud de Onda

r : distancia a la que se va a calcular el campo

E_x^a : Campo Eléctrico en x

E_y^a : Campo Eléctrico en y

k : intensidad de radiación

$$Df(\theta', \phi') = D$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eff}$$

$$A_{eff} = \frac{g\lambda^2}{4\pi}$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} * \frac{g\lambda^2}{4\pi}$$

$$D = g$$

$$g = 10 \log\left(\frac{G}{10}\right)$$

$$Df(\theta', \phi') = g$$

$$k = \frac{Pr}{4\pi} Df(\theta', \phi')$$

$$k = \frac{Pr}{4\pi} g$$

$$\lambda = \frac{c}{F}$$

Dónde:

D: directividad

A_{ef} : área efectiva

g : ganancia adimensional

F: frecuencia

RELACIÓN f/d

Para antenas estándar y blindadas:

$$f/d = 0.333$$

Dónde:

f : distancia focal

d : diámetro

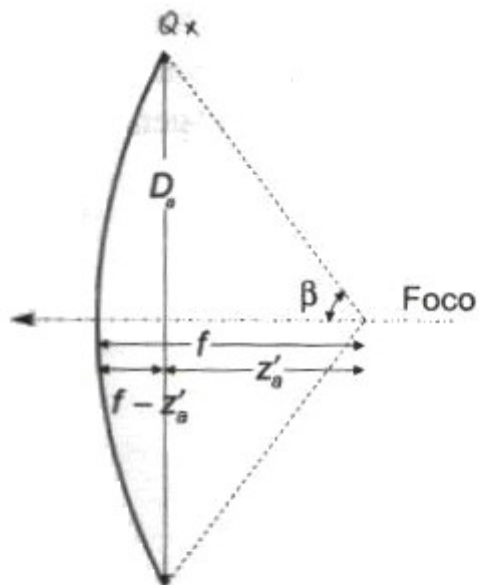


Fig. 092 Corte bidimensional de un paraboloide

$$\cot \beta = \frac{Za'}{d/2}$$

$$\cot \beta = \frac{2f}{d} - \frac{1}{8f/d}$$

$$\tan \beta = \frac{1}{\frac{2f}{d} - \frac{1}{8f/d}}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\frac{2f}{d} - \frac{1}{8f/d}} \right)$$

$$Qx = f \cos \beta$$

$$Qx < z < r'$$

$$\eta_0 = 120\pi [\Omega]$$

Datos

Se ha tomado como ejemplo a los datos de un enlace proporcionado por la empresa (Anexo 4)

Tipo: HP 10-71W-B1A

G = 44.8 dBi

Pr = 0.25W

F = 7.498 GHz

$\eta = \eta_0$

d = 1.8 m

Reemplazo de los Datos en las Ecuaciones

$$g = 10 \log \left(\frac{44.8}{10} \right)$$

$$g = 30199.517$$

$$k = \frac{0.25}{4\pi} * 30199.517$$

$$k = 600.722[W]$$

$$Df(\theta', \phi') = g$$

$$Df(\theta', \phi') = 44.8[dB]$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{7.498 \times 10^9}$$

$$\lambda = 0.04[m]$$

$$\eta = 120\pi [\Omega]$$

$$\eta = 377.04 [\Omega]$$

$$f = 0.333 * d$$

$$f = 0.599 [m]$$

$$f = r'$$

$$r' = 0.599[m]$$

$$\beta = \operatorname{tag}^{-1} \left(\frac{1}{\frac{2 * 0.599}{1.8} - \frac{1}{8 * 0.599 / 1.8}} \right)$$

$$\beta = 73.83^\circ$$

$$Qx = 0.599 * \cos 73.83$$

$$Qx = 0.17 [m]$$

$$Qx < z < r'$$

$$0.17m < z < 0.599m$$

$$z = 0.30[m]$$

$$\vec{E}_a = \sqrt{\frac{(377.04)(0.25)(44.8)}{4\pi}} \frac{1}{0.599} e^{-j600.722(0.599+0.30)} \vec{e}_r$$

$$E_a = 30.601e^{-j540.049} \vec{e}_r$$

$$E_\theta = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (1 + \cos\theta) \int_{S_0} [E_x^a \cos\phi + E_y^a \sin\phi] e^{jk \cdot \vec{r}'} ds$$

$$r^2 e^{jk \cdot \vec{r}'} \left[\int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_a \sin^2\theta \cos^2\phi d\theta d\phi + \int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_a \sin^2\theta \sin^2\phi d\theta d\phi \right]$$

$$r^2 e^{jk \cdot \vec{r}'} \left[2 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_a \sin^2\theta \cos^2\phi d\theta d\phi \right]$$

$$r^2 e^{jk \cdot \vec{r}'} E_a 2 \left[\left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin(2\theta) \right)_0^\pi \left(\frac{\phi}{2} + \frac{1}{4} \sin(2\phi) \right)_0^{2\pi} \right]$$

$$r^2 e^{jk \cdot \vec{r}'} E_a \pi^2$$

$$E_\theta = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (1 + \cos\theta) r^2 e^{jk \cdot \vec{r}'} E_a \pi^2$$

$$E_\theta = j3775.247r(1 + \cos\theta) e^{-j(600.722r+180.217)}$$

$$E = j3775.247r(1 + \cos\theta) e^{-j(600.722r+180.217)} \vec{e}_\theta$$

$$E_\phi = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (1 + \cos\theta) \int_{S_0} [-E_x^a \sin\phi + E_y^a \cos\phi] e^{jk \cdot \vec{r}'} ds$$

$$r^2 e^{jk \cdot \vec{r}'} \left[\int_0^{2\pi} \int_0^\pi -E_a \sin^2\theta \cos\phi \sin\phi d\theta d\phi + \int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_a \sin^2\theta \cos\phi \sin\phi d\theta d\phi \right]$$

$$r^2 e^{jk \cdot \vec{r}'} [0]$$

$$E_\phi = 0$$

$$E = j3775.247r(1 + \cos\theta) e^{-j(600.722r+180.217)} \vec{e}_\theta$$

$$E = j3775.247re^{-j(600.722r+180.217)}(1 + \cos\theta)e_\theta$$

$$E_0 = j3775.247re^{-j(600.722r+180.217)}$$

$$E = E_0(1 + \cos\theta)e_\theta$$

$$E_x = (1 + \cos\theta)\cos\theta\cos\phi$$

$$E_y = (1 + \cos\theta)\cos\theta\sin\phi$$

$$E_z = -(1 + \cos\theta)\sin\theta$$

Los resultados del diagrama de radiación obtenido mediante las fórmulas no fue satisfactorio, la diferencia que existía entre el diagrama de radiación generado con los datos del fabricante respecto al generado por fórmulas era grande. Las diferencias radicaban principalmente en su directividad, y sobretodo el ancho del lóbulo principal, dando como consecuencia una ganancia de transmisión incorrecta.

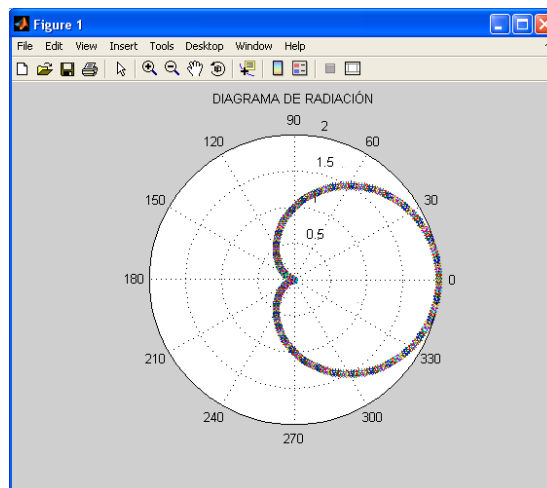


Fig. 093 Diagrama de Radiación por fórmulas:

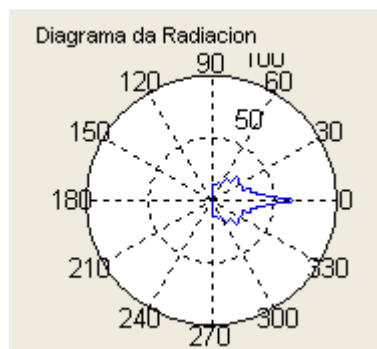


Fig. 094 Diagrama de Radiación por fabricante

Con el diagrama generado por fórmulas fue prácticamente imposible obtener resultados finales correctos, razón suficiente para descartar este método.

4.5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

Para la medición del Nivel de Señal o Potencia de Recepción se requiere de equipos específicos, tales como el analizador de espectros, el amplificador de bajo ruido y la antena receptora. Pero no en toda circunstancia es necesario el uso del amplificador de bajo ruido, puesto que el analizador de espectros puede tener un umbral de recepción tal que no amerite la amplificación previa. El uso del amplificador de bajo ruido no sólo depende del umbral de recepción del analizador, también depende de las condiciones climáticas del entorno, puesto que estas dan lugar a las pérdidas por espacio libre, atenuando a la señal.

A continuación se plantean algunos procedimientos para la medición:

1. Una vez ubicada en la zona de medición, los equipos que se pueden utilizar son:

- ▶ Analizador de espectros
- ▶ Amplificador de bajo ruido (LNA)
- ▶ Antena
- ▶ Guía de onda

El analizador de espectros se conectará mediante la guía de onda al amplificador de bajo ruido (LNA), a la vez el LNA se conectará a la antena Receptora. Una vez que la señal sea capturada por la antena pasará al amplificador de bajo ruido, el mismo cumplirá con el propósito de su diseño, amplificar la señal eliminando el ruido. Una vez amplificada la señal es transportada al analizador de espectros mediante la guía de onda. La guía de onda es utilizada debido a que las frecuencias de interés se encuentran en la banda SHF (Super High Frequencies), y al ser frecuencias elevadas en el orden de los gigahercios no es apropiado transportarlas mediante cable coaxial, el medio más indicado son las guías de onda. Finalmente el analizador de espectros al recibir la señal, la convierte a su frecuencia intermedia para procesar completamente y poder medir todos los parámetros de interés.

2. Luego de ubicarse en el sitio de interés para las mediciones los equipos a requerir son:

- ▶ Analizador de espectros
- ▶ LNB (Low Noise Block Down Converter)
- ▶ Antena
- ▶ Cable Coaxial

En este caso se propone el uso del LNB en lugar del LNA, el LNB a diferencia del amplificador de bajo ruido, incorpora un sistema que a más de amplificar la señal eliminando el ruido, a la frecuencia receptada la convierte a una frecuencia inferior de la que se está receptando. Además con el LNB ya no se requiere de la presencia de las guías de onda, la frecuencia que entrega el LNB al ser inferior puede ser transportada sin ningún inconveniente por cable coaxial.

3. A diferencia de los procedimientos anteriormente mencionados sólo se requerirá de:

- ▶ Analizador de espectros
- ▶ Antena
- ▶ Cable Coaxial

En este caso no se requiere de la presencia de algún amplificador, puesto que el analizador de espectros dispone de un Umbral de Recepción tal que puede capturar la señal sin mayor inconveniente, este método es aplicable únicamente si el analizador posee gran sensibilidad para la recepción de señales.

El primer procedimiento planteado es apropiado en el caso que se dispone de un analizador de espectros con un gran rango de operación en frecuencias, sobretodo si su rango de operación abarca las frecuencias a medir. Uno de los inconvenientes de esta técnica es la poca facilidad de movimiento a causa de la guía de onda. Por el contrario con el segundo procedimiento no se requiere de un analizador de espectros con una operación en frecuencias elevadas, debido a que con el LNB puede captar frecuencias elevadas como las de la banda SHF y tranquilamente convertirlas a frecuencias mucho menores, aptas para que el analizador pueda

recibir las; otra de las ventajas que esta técnica ofrece es la libertad de movimiento, puesto que con el cable coaxial al ser flexible los movimientos de la persona que va a medir no estarán limitados.

4.6 PRUEBAS PRÁCTICAS

Una de las aplicaciones del programa es la facilidad que proporciona para determinar si la antena receptora a adquirir (Anexo 3) puede fácilmente captar la señal o si necesita de la ayuda de un amplificador de bajo ruido.

Para la siguiente prueba se utilizarán los siguientes datos:

Frecuencia: 7.477 GHz

Tipo de antena: VHLP-X2X152-WH

Pérdida por cables: 0

Potencia de transmisión: 6 dB

Ganancia de la antena Receptora: 1dBi

Altura de la antena (incluyendo la altura de la torre): 30m

Til mecánico: 10°

Ganancia del Amplificador: 0 dB

Umbral de Recepción del analizador de espectros: -80 dB

Distancia desde la torre: 4 m.

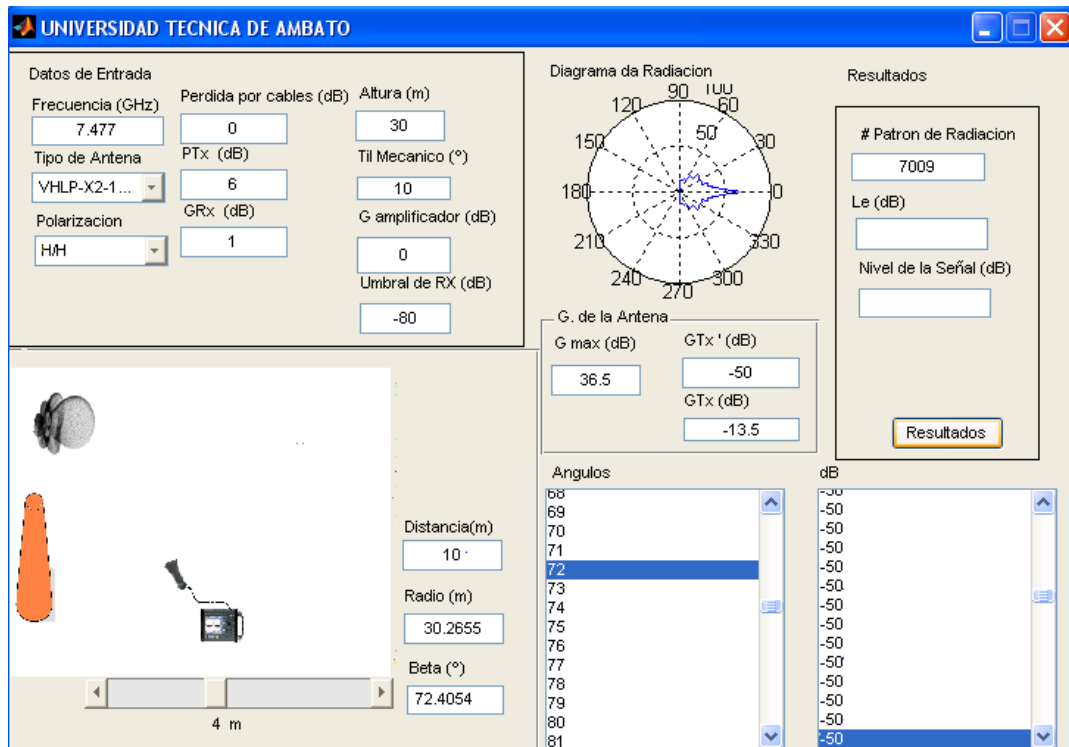


Fig. 095 Ingreso de los parámetros

En la parte de resultados de la siguiente figura se puede apreciar que la señal requiere de una amplificación previa, por tanto la antena no sería útil sin la ayuda de un amplificador de bajo ruido. La amplificación que requiere es este caso es de 6.0335 dB.

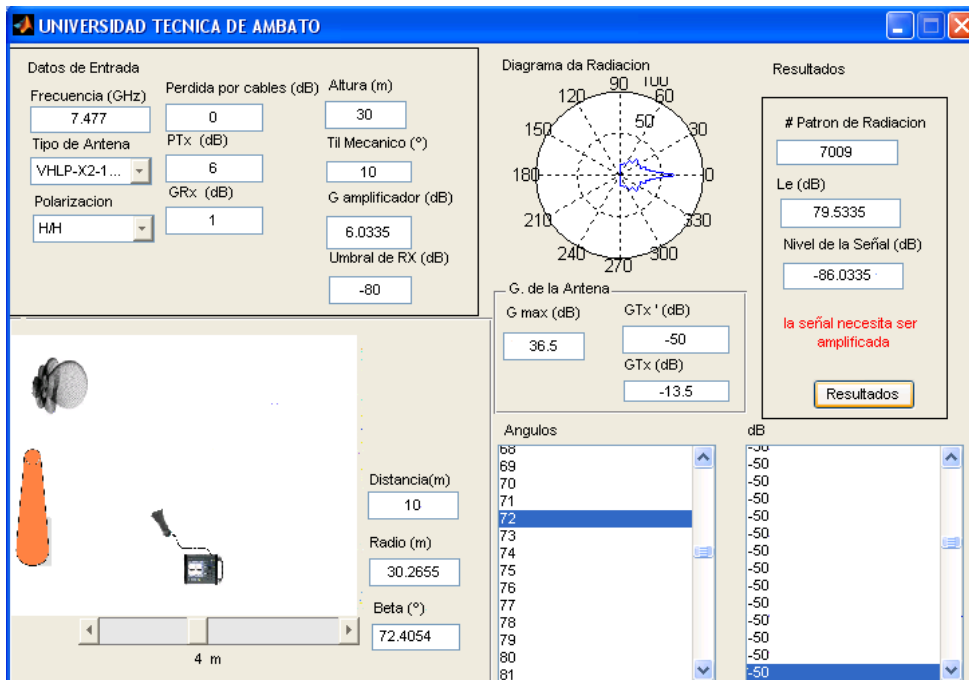


Fig. 096 Obtención de Resultados

La ventaja de la antena propuesta es que su ganancia puede incrementar a hasta 10 dBi con la ayuda de un LNA. En este caso la señal se recibiría fácilmente.

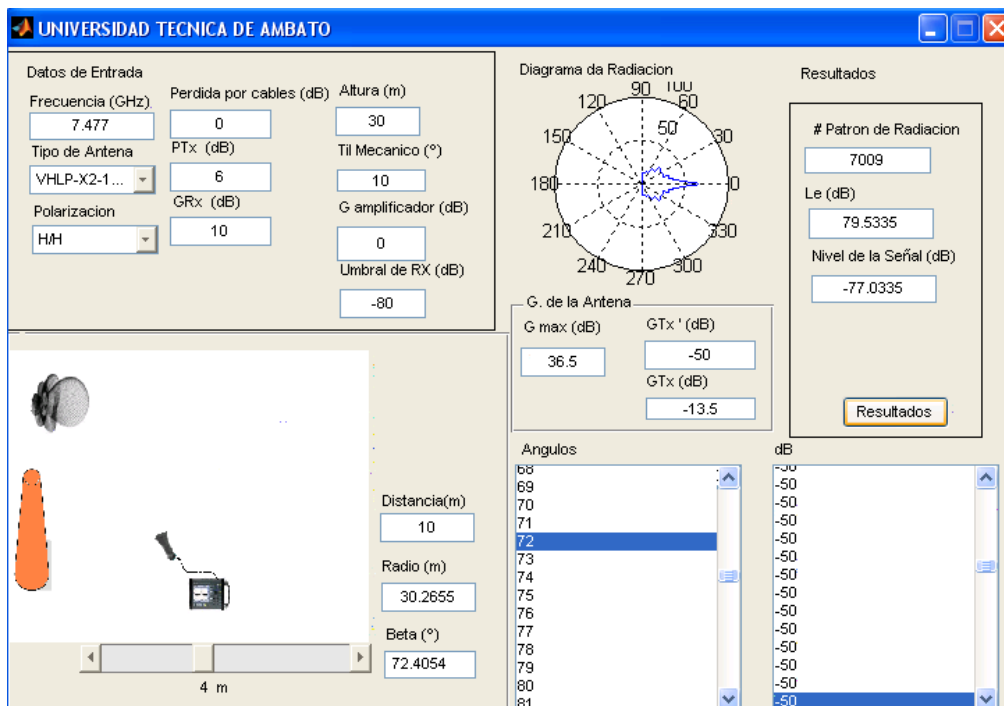


Fig. 097 Ingreso de la Ganancia de la antena de recepción 10 dBi

A distancia superiores la antena ya no requiere la ayuda de un LNA. Puede captar fácilmente la señal como se puede observar en la figura siguiente. Receptando una potencia de -75.9467 dB.

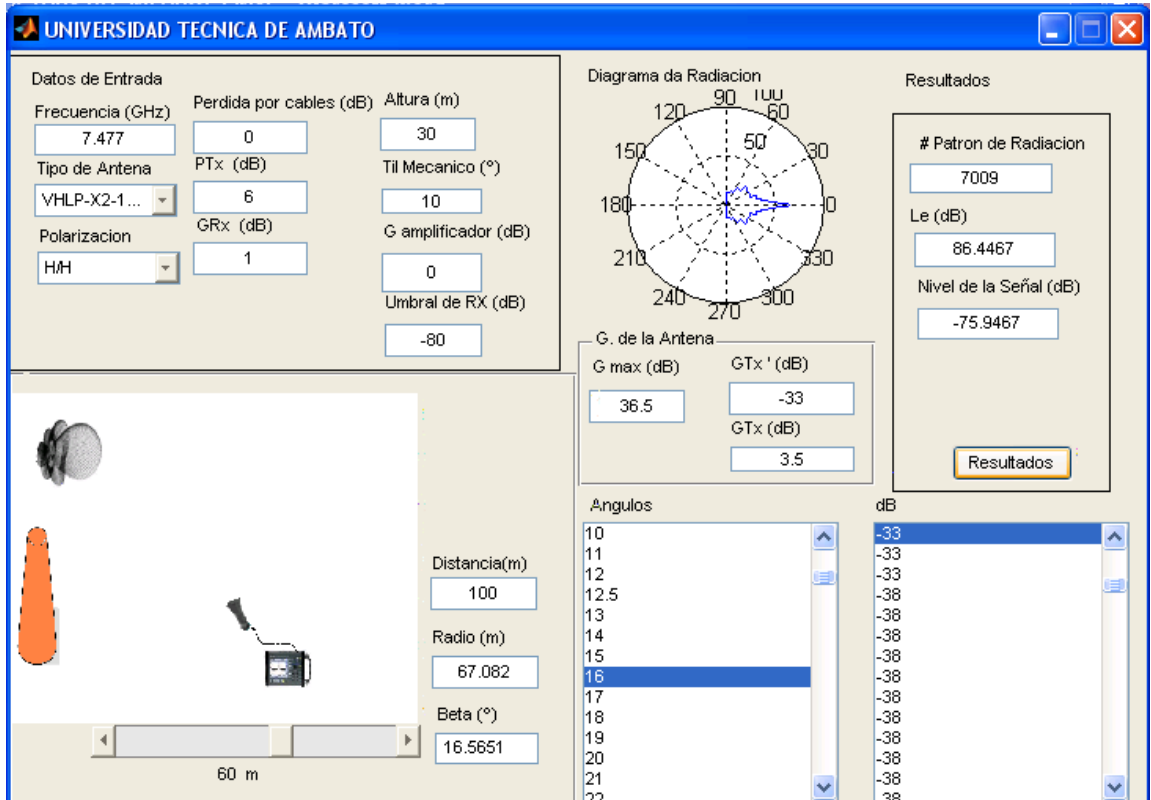


Fig. 098 Obtención de resultados con una distancia de 60 m.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La mejor recepción a distancias cortas se obtiene cuando una antena receptora tiene respecto al suelo la misma disposición que la antena emisora. A gran distancia se produce, a causa de las reflexiones en la atmósfera una rotación de la polarización que hace que la posición de la antena receptora sea indiferente, en este caso de debe elegir la posición de la antena receptora para que capte la menor cantidad de parásitos locales.
- Para que haya una máxima transferencia de potencia al momento que la antena receptora envía la señal al analizador de espectros, la impedancia del cable que va desde la antena hasta el equipo y la impedancia del analizador deben ser las mismas, lo que también evitará posibles reflexiones de la señal en el cable.
- El analizador de espectros es un dispositivo que permite obtener información valiosa como es el contenido de armónicas de la señal, teniendo presente que la distorsión armónica de la señal portadora puede interferir en otras señales de otros sistemas y ocasionar problemas.
- El tiempo de barrido, la resolución de ancho de banda y el ancho de banda de video en un analizador de espectros son factores importantes al momento de realizar las mediciones. El tiempo de barrido se debe seleccionar tomando en cuenta que debe ser lo suficientemente grande como para que la señal filtrada pueda alcanzar un estado estable y no tan elevado como para que las trazas sean reales y no se degraden.

- Si la resolución del ancho de banda es decrementada, el ruido es reducido en forma proporcional. Si RBW es reducido por un factor de diez, el ruido también es reducido por el mismo factor, pero como contraparte la actualización de la traza será muy lenta y es muy probable que la señal visualizada deje pasar datos importantes; prácticamente su valor dependerá de la aplicación.
- Si la señal de recepción tiene un nivel inferior respecto al umbral de recepción del analizador de espectros es necesario el uso de un Amplificador de Bajo Ruido (LNA), con éste la señal puede ser captada y procesada por el analizador de espectros luego de la respectiva amplificación, facilitando de esta manera todas las mediciones necesarias.
- El costo beneficio al adquirir un LNB o un LNA dependerá principalmente de los equipos que dispone la empresa, si el analizador de espectros posee un rango de operación de frecuencias bajo es recomendable un LNB, puesto que éste facilita la conversión de la frecuencia receptada a una frecuencia inferior, en cambio si el analizador dispone de un rango de operación de frecuencia alto, es preferible un LNA, pues ya no existiría la necesidad de convertir la frecuencia de entrada a una frecuencia inferior.
- Mediante el programa se puede realizar pruebas para determinar si los equipos a adquirir operarían correctamente en una banda específica, de si la señal a recibir necesita una amplificación previa y que valor requiere ser amplificada. Además optimiza el tiempo al momento de llevar a cabo las mediciones en el campo ya que entrega la potencia de recepción a una determinada distancia de la antena.
- Se pudo constatar mediante pruebas prácticas que el nivel de la señal varía en función de la distancia que se encuentra la antena receptora respecto a la antena transmisora. En las gráficas siguientes se puede observar el nivel de la señal a 4 metros y a 10 metros de distancia respectivamente. La diferencia entre las potencias recibidas no es muy grande, será considerable cuando la segunda medición se realice a distancias mayores.

A 4 metros de distancia

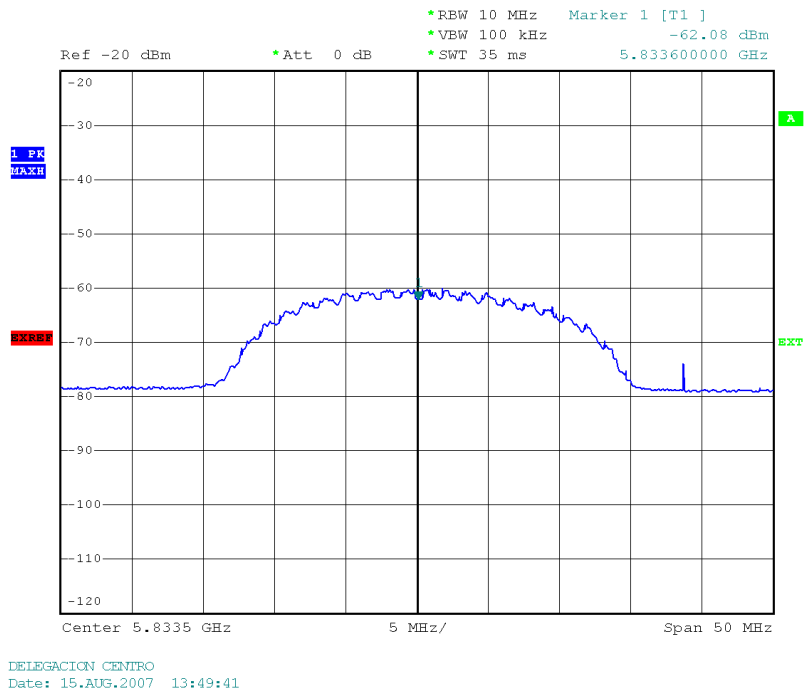


Fig. 099 Espectro de una señal a una frecuencia de 5.8335 GHz.

A 10 metros de distancia.

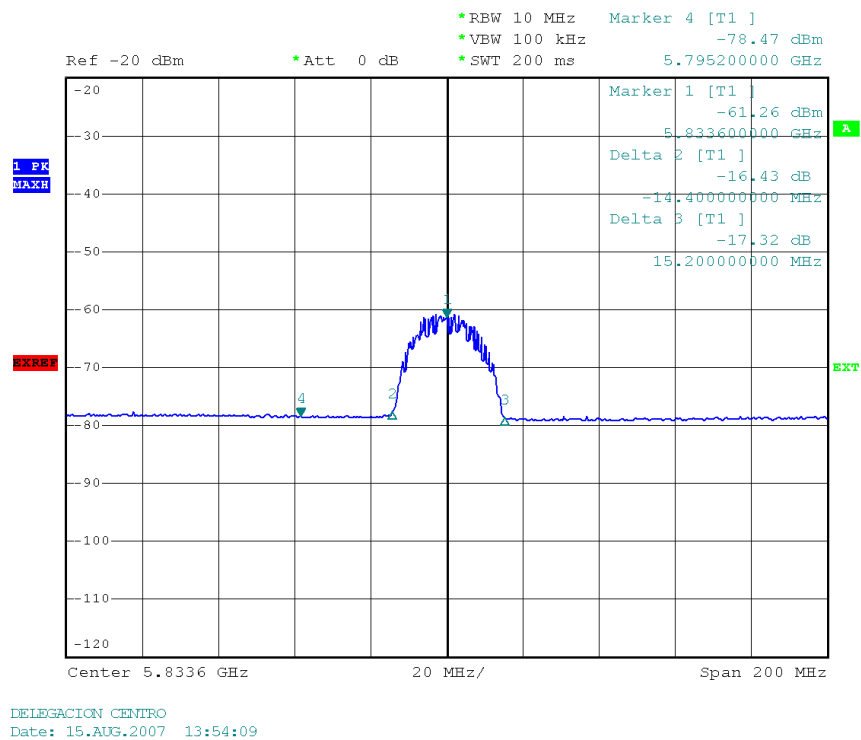


Fig.100 Espectro de una señal a una frecuencia de 5.8335 GHz.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para llevar a cabo las mediciones de la potencia de recepción es necesario un analizador de espectros que opere en el rango de frecuencia a medir y una antena receptora que cumpla con las propiedades suficientes para poder captar la señal.
- Para medir dos señales con la misma amplitud y que se encuentran juntas, es recomendable que la resolución de ancho de banda sea menor a la separación que existe entre ellas, caso contrario se barrerán como una sola señal
- Para hacer que los armónicos crezcan fuera del ruido, se debe modificar la reducir del ancho de banda de video, la traza debe estar en modo AVERAGE (detector average) y reducir la resolución de ancho de banda
- Al ajustar el ancho de banda del video (VBW) la señal en pantalla se suaviza, permitiendo distinguir o rescatar señales de escasa amplitud entre el nivel de ruido.
- Al momento de realizar las mediciones se debe considerar que los productos de intermodulación son generados en el interior del equipo, que afectan en la medición pero que no son parte de la señal y no afectan a otros sistemas, mientras que los armónicos son parte de la señal y en consecuencia podrían generar problemas en sistemas ajenos.
- Al momento de adquirir un analizador de espectros se debe tener en cuenta todas las prestaciones que nos brinda. Considero que un analizador de espectros de FFT es la mejor opción, las ventajas que presenta un analizador de espectros de FFT respecto a un analizador de espectros por barrido son superiores, puede capturar eventos periódicos y aleatorios además de transitorios. Su velocidad es notablemente superior. Su esquema incluye ADC de gran velocidad y ancho de banda, unidos a técnicas de submuestreo.

- Al momento de adquirir una LNA y un LNB se debe considerar que su figura de ruido sea mínima, ya que mientras menor sea la figura de ruido mejor será el amplificador.
- Si se dispone de varios analizadores de espectros con una amplia gama de operación de frecuencias, es preferible adquirir un LNB a un LNA, las mediciones resultarían ser más cómodas por el mismo hecho de que con un LNA se requiere de una guía de onda, mientras que con un LNB se requiere de un cable coaxial, el cual proporciona mayor flexibilidad.
- El programa podría ser más útil si se realizaría un enlace con base de datos, pues facilitaría en un futuro que los datos de las antenas de los nuevos enlaces se ingresen, facilitando las mediciones en esos enlaces.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 JUSTIFICACIÓN

La aplicación propuesta se realizó principalmente en base a los equipos que dispone la Superintendencia de Telecomunicaciones Delegación Regional Centro, a los datos proporcionados por la misma y a los resultados satisfactorios obtenidos en forma manual mediante la aplicación de las fórmulas a emplearse en el programa.

La aplicación debía cumplir con los siguientes requisitos:

1. Ingreso de los principales parámetros que intervienen en un enlace
 - ▶ Frecuencia en GHz.
 - ▶ Pérdida por cables en dB
 - ▶ Potencia de transmisión en dB (PTx)
 - ▶ Ganancia de recepción en dB (GRx)
 - ▶ Altura de la torre de la antena transmisora en metros.
 - ▶ Til mecánico de la antena transmisora en grados
 - ▶ Ganancia del amplificador de bajo ruido en dB
 - ▶ Distancia a la cual se va a medir la señal

2. Almacenamiento y visualización de los datos que conforman el Patrón de Radiación de la Envolverte característico de la antena transmisora

3. Visualización del nivel de señal con sus respectivas pérdidas por espacio libre

4. Determinación de si la señal necesita una previa amplificación para que el analizador de espectros pueda recibirla.

De igual manera para plantear los procedimientos de medición se tomó en cuenta los equipos que dispone la empresa y los que podrían adquirir. Teniendo presente la funcionalidad que ofrece cada uno.

6.1.1 VALIDACION OPERACIONAL

El programa está en toda la capacidad de cumplir con todas las necesidades del usuario y además cuenta con la garantía de indicar los resultados, los cuales son bastante cercanos a los obtenidos en el campo.

6.1.2 VALIDACION TÉCNICA

Tanto el software como el hardware con el que cuenta la empresa y que es necesario para la utilización del programa cumple con los requerimientos para un funcionamiento óptimo.

Para los procedimientos planteados se cuenta con al menos tres de los componentes necesarios en la medición, disponiendo de un analizador de espectros, en cable coaxial y una antena receptora.

6.1.3.1 HARDWARE

Para la aplicación:

► Un computador

Características mínimas:

- Memoria Ram de 512 MB
- Procesador Pentium 4 de 2.4 GHz
- Disco duro de 80 GB
- Monitor SVGA
- 1 CDRW

Para los procedimientos de medición:

► Un Analizador de Espectros que opere en la banda SHF

- ▶ Una Antena Receptora
- ▶ Un Cable Coaxial
- ▶ Un Amplificador de Bajo Ruido (LNA)
- ▶ Un LNB
- ▶ Una Guía de Onda.

6.1.3.2 SOFTWARE

Para la aplicación:

- ▶ Matlab
- ▶ Powretools

Para los procedimientos de medición:

El analizador de espectros dispone de la plataforma Windows Xp.

BIBLIOGRAFIA:

- ▶ CARDAMA, Ángel, “Antenas”, Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V, Segunda Edición, 2004.
- ▶ BRAULT, R, “Las Antenas”, Editorial Paraninfo, Tercera Edición, 1998.
- ▶ WILLTEK, “9101 Handheld Spectrum Analyzer Manual de Instrucciones”, Copyright 2004 Willtek Communications GMBH, version 2.21, 2004.
- ▶ ROHDE & SCHWARZ, “Rohde & Schwarz Documentation Operating Manual Spectrum Analyzer R&S FSP 40” 2003

Internet:

- ▶ <http://www.monografias.com/trabajos5/elso.shtml#ondas>
- ▶ <http://www.monografias.com/trabajos6/elme.shtml#induccion>
- ▶ <http://www.monografias.com/trabajos14/acceso-atm/acceso-atm.shtml>
- ▶ <http://www.monografias.com/trabajos7/mafu/mafu.shtml>
- ▶ <http://www.monografias.com/trabajos10/carso/carso.shtml>
- ▶ <http://www.dxfun.com/modules.php?name=News&file=article&sid=1005>
- ▶ <http://www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html>
- ▶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>
- ▶ http://www.upv.es/satelite/trabajos/sat_tv/tipoant.htm
- ▶ <http://www.monografias.com/trabajos/antenas/antenas.shtml>
- ▶ <http://www.astromia.com/glosario/espectro.htm>
- ▶ <http://www.dliengineering.com/vibman-spanish/frecuencianyquist1.htm>
- ▶ http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_de_frecuencias
- ▶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Superheterodino>
- ▶ <http://www.canariaswireless.net/modules.php?name=News&file=article&sid=481>
- ▶ http://www.abe.it/pdf/T_es_D005_03_2005.pdf

- ▶ [http://translate.google.com/translate?
hl=es&sl=en&u=http://www.willtek.com/english/glossary&sa=X&oi=translate
&resnum=3&ct=result&prev=/search%3Fq%3DFM%2Bresidual%26hl%3Des
%26sa%3DG](http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.willtek.com/english/glossary&sa=X&oi=translate&resnum=3&ct=result&prev=/search%3Fq%3DFM%2Bresidual%26hl%3Des%26sa%3DG)
- ▶ http://w3.iec.csic.es/ursi/articulos_gandia_2005/articulos/PS5/672.pdf
- ▶ [http://www.voltimum.es/page.jsp?
id=/content/ESPECIALES/EQUIPOS_DE_MEDIDA/TRESCAL_LIVINGST
ON](http://www.voltimum.es/page.jsp?id=/content/ESPECIALES/EQUIPOS_DE_MEDIDA/TRESCAL_LIVINGSTON)
- ▶ [http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?
p=221&model=MS2781B&name=Signature%20-%20High%20Performance
%20Signal%20Analyzer](http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=221&model=MS2781B&name=Signature%20-%20High%20Performance%20Signal%20Analyzer)
- ▶ <http://www.audiomidilab.com/showArticle.jsp?idx=160>
- ▶ ["http://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_de_fase"](http://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_de_fase)
- ▶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Arm%C3%B3nico>
- ▶ <http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo5/antenas/descend.htm>
- ▶ http://electronicosonline.com/noticias/notas.php?id=2331_0_1_0_M4
- ▶ <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=1204>
- ▶ <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2240883&info=resumen>
- ▶ [http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GE
NERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Astronomia/Investigacion/Tecnolog
ia/](http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Astronomia/Investigacion/Tecnologia/)
- ▶ <http://www.iar.unlp.edu.ar/ES/transferencia.htm>
- ▶ ["http://es.wikipedia.org/wiki/Low_Noise_Block"](http://es.wikipedia.org/wiki/Low_Noise_Block)

ANEXOS

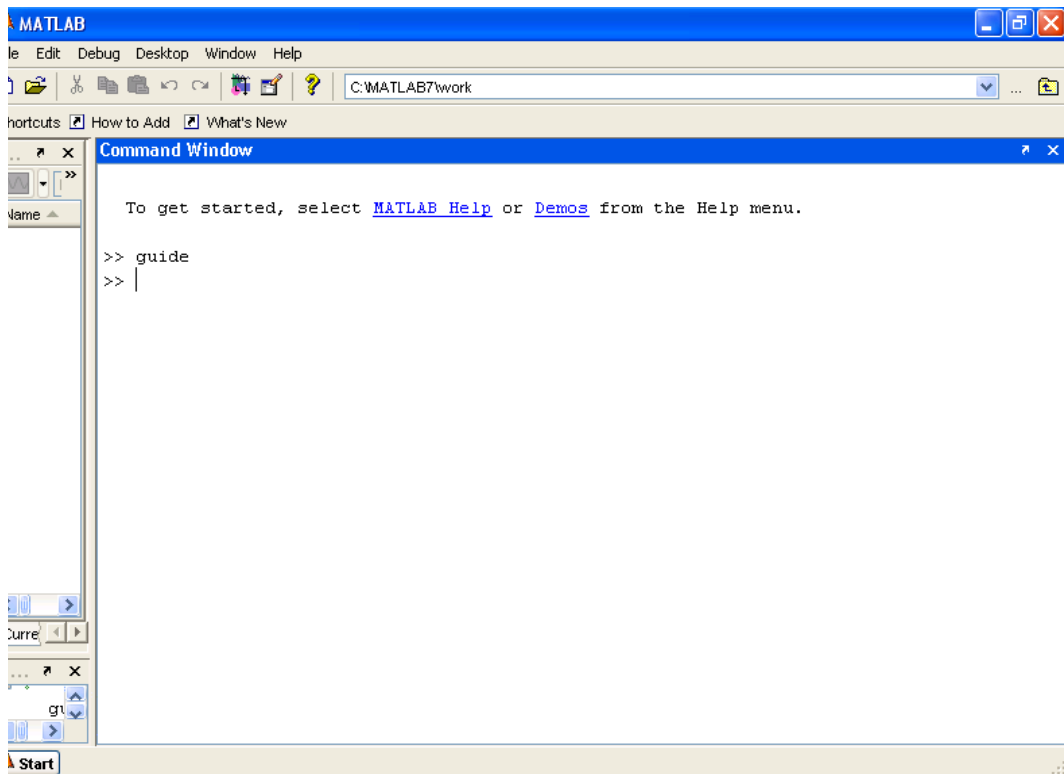
ANEXO 1

MANUAL DEL PROGRAMA

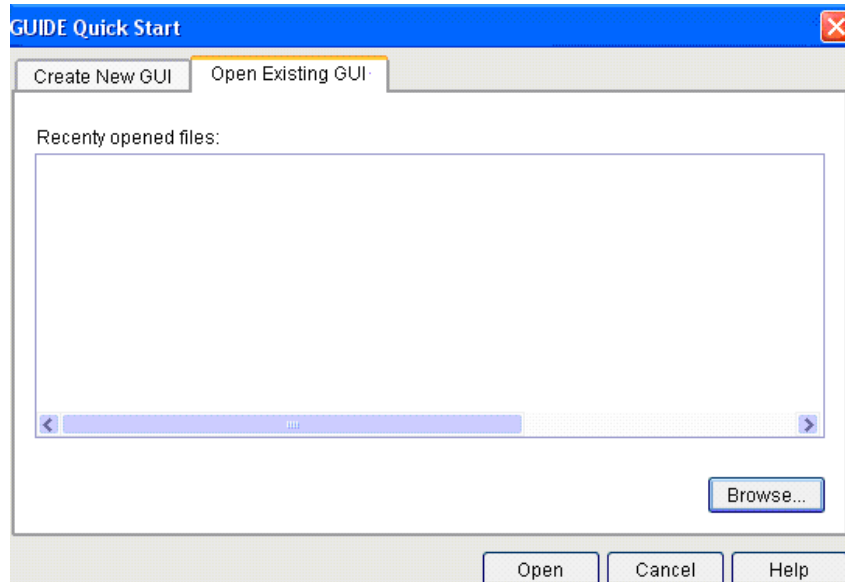
1. Para iniciar el programa haga doble clic sobre el siguiente ícono:



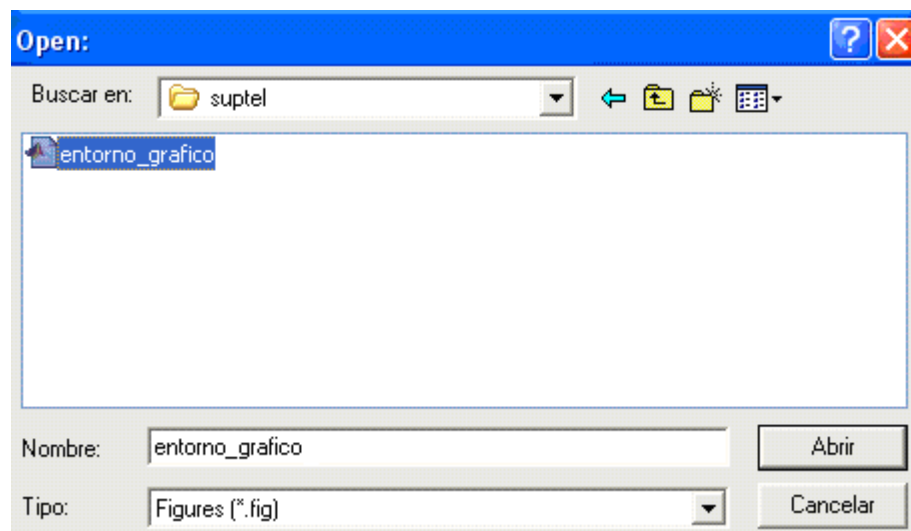
2. Introduzca el comando `guide`.



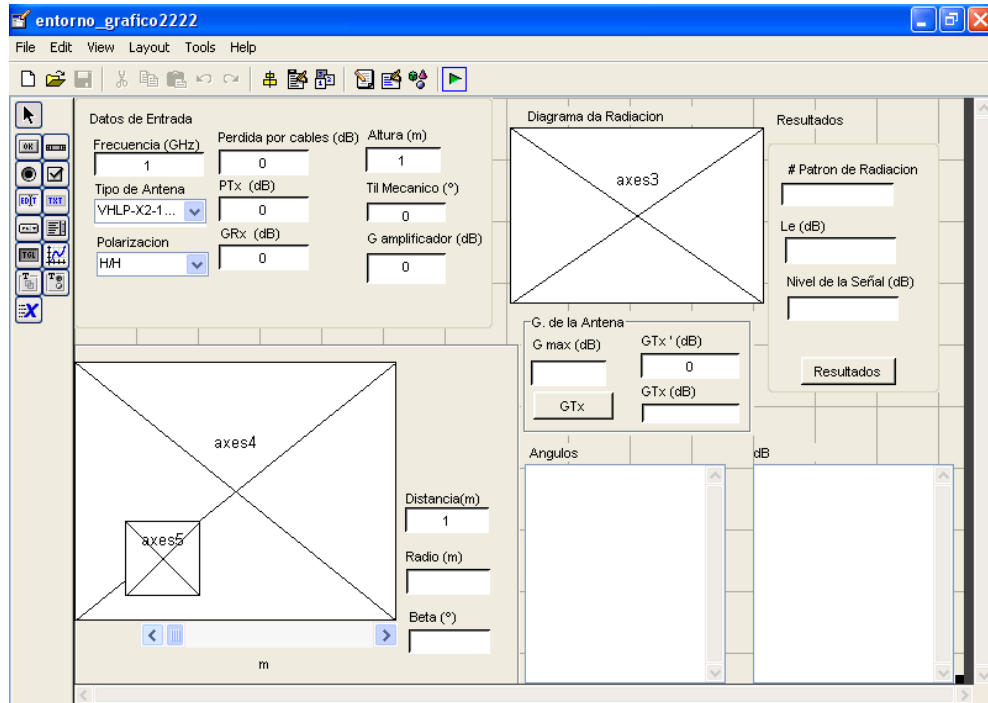
3. Seleccione Open Existing GUI



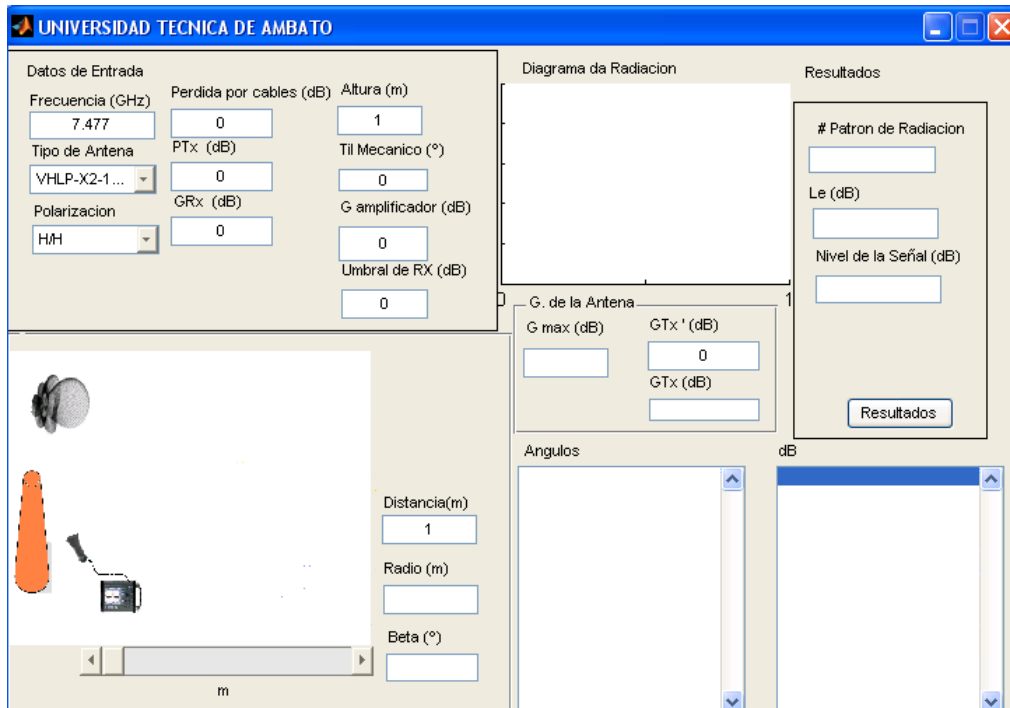
4. Hacer clic en Browse, a continuación se abrirá una ventana para seleccionar el directorio del programa y finalmente cargarlo.



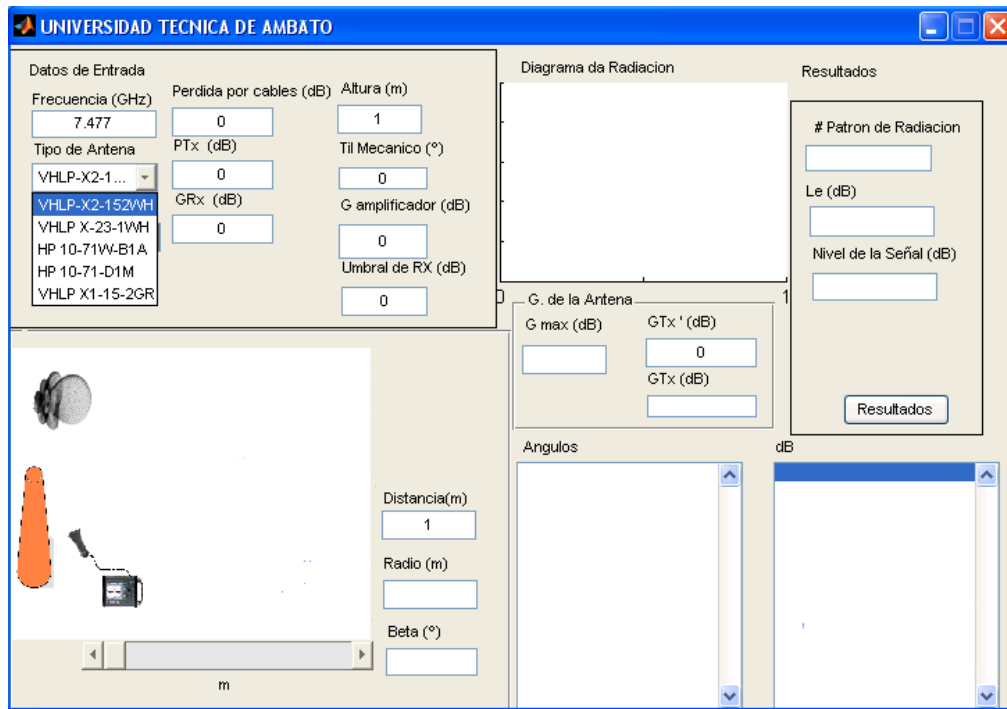
5. Una vez cargada la aplicación, proceda a ejecutarla



6. Ingrese la frecuencia en GHz

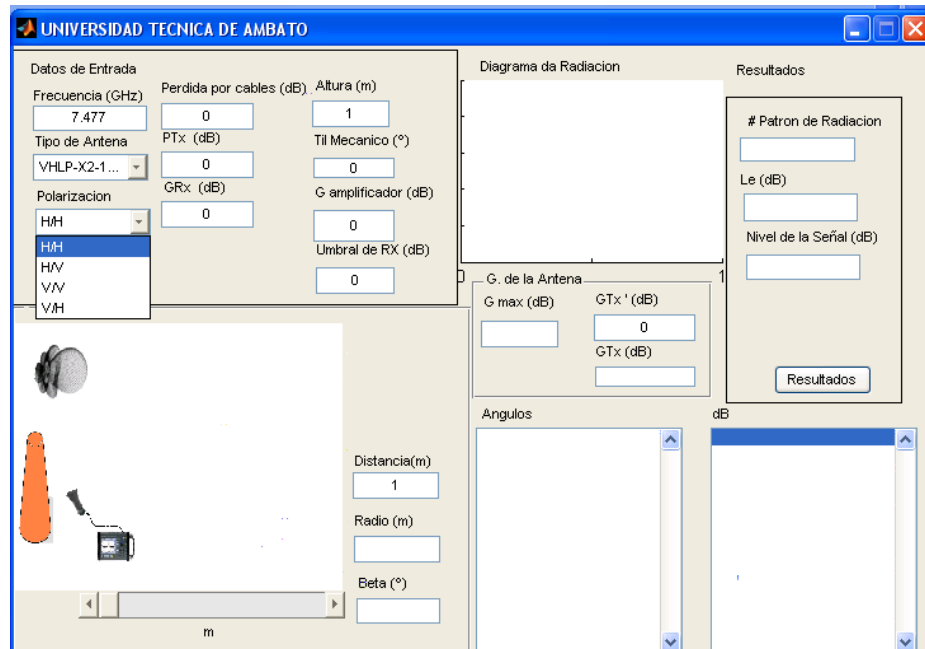


7. Seleccione el tipo de antena



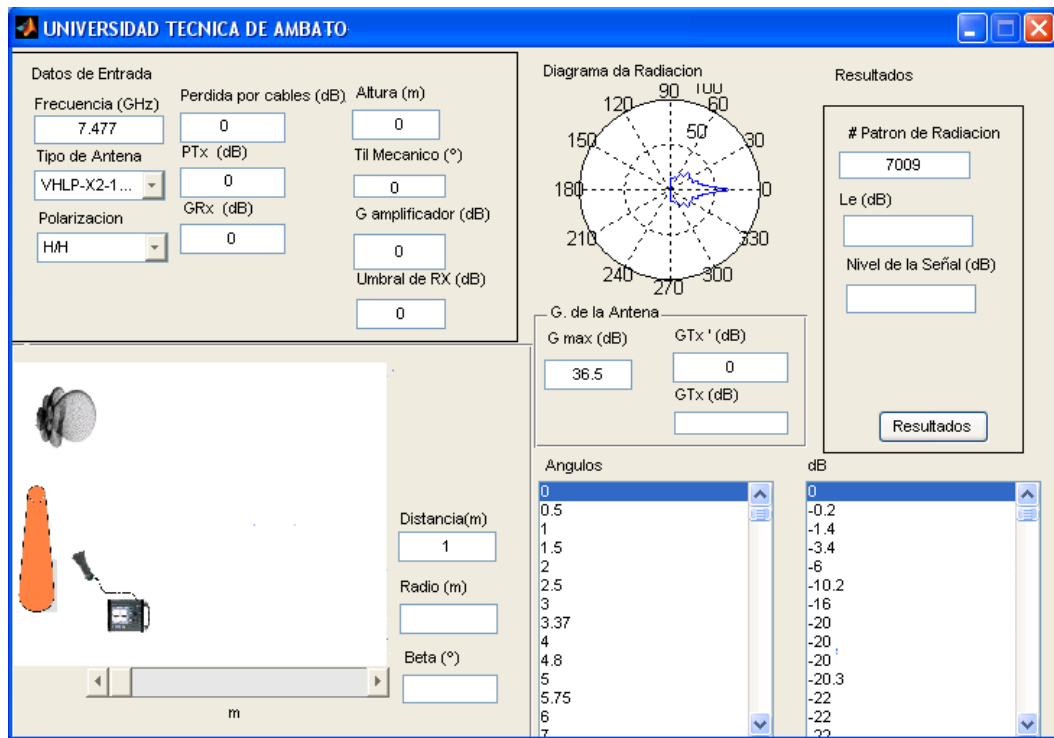
8. Seleccione la polarización de acuerdo a:

Polarización de la antena transmisora/polarización de la antena receptora.



Una vez seleccionada la polarización, los listbox despliegan una lista de ángulos y de dB, estos valores conforman el patrón de radiación del lóbulo principal proporcionados por el fabricante. También se puede visualizar el diagrama de radiación de la antena transmisora, el cual es generado con los datos de los listbox.

Adicionalmente en la sección de los resultados se puede apreciar el número del patrón de radiación y en la sección de la ganancia de la antena receptora se puede observar su ganancia máxima.



9. Ingrese la pérdida ocasionada por los conductores en dB.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

Datos de Entrada

Frecuencia (GHz)	Perdida por cables (dB)	Altura (m)
7.477	0.01	1
Tipo de Antena	PTx (dB)	Til Mecanico (°)
VHLP-X2-1...	0	0
Polarizacion	GRx (dB)	G amplificador (dB)
HH	0	0
		Umbral de RX (dB)
		0

Diagrama da Radiacion

G. de la Antena

G max (dB)	GTx' (dB)
36.5	0
	GTx (dB)

Resultados

Patron de Radiacion
7009
Le (dB)
Nivel de la Señal (dB)

Angulos

Angulos	dB
0	0
0.5	-0.2
1	-1.4
1.5	-3.4
2	-6
2.5	-10.2
3	-16
3.37	-20
4	-20
4.8	-20
5	-20.3
5.75	-22
6	-22
7	-22

10. Ingrese la potencia de transmisión en dB.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

Datos de Entrada

Frecuencia (GHz)	Perdida por cables (dB)	Altura (m)
7.477	16	1
Tipo de Antena	PTx (dB)	Til Mecanico (°)
VHLP-X2-1...	0	0
Polarizacion	GRx (dB)	G amplificador (dB)
HH	0	0
		Umbral de RX (dB)
		0

Diagrama da Radiacion

G. de la Antena

G max (dB)	GTx' (dB)
36.5	0
	GTx (dB)

Resultados

Patron de Radiacion
7009
Le (dB)
Nivel de la Señal (dB)

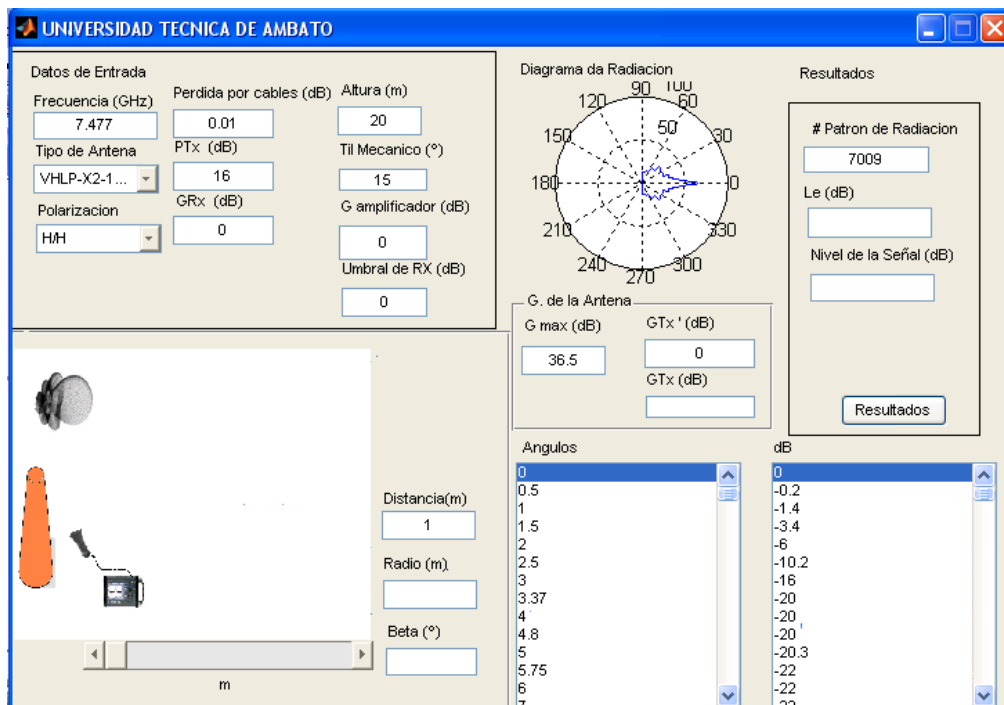
Angulos

Angulos	dB
0	0
0.5	-0.2
1	-1.4
1.5	-3.4
2	-6
2.5	-10.2
3	-16
3.37	-20
4	-20
4.8	-20
5	-20.3
5.75	-22
6	-22
7	-22

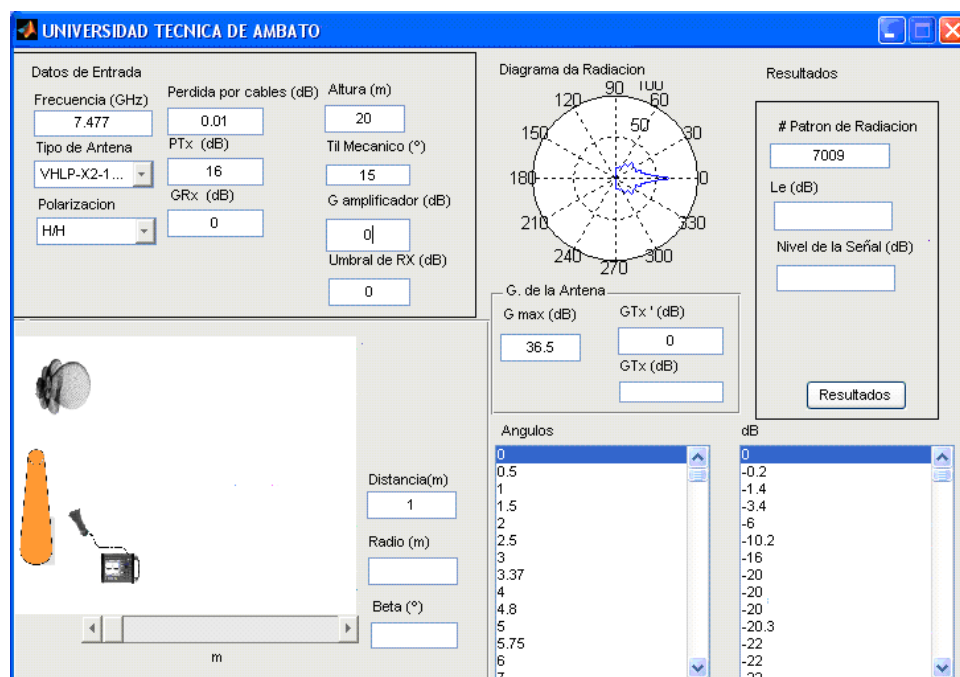
11. Ingrese la ganancia de la antena receptora en dB.

12. Ingrese la altura de las antenas, incluyendo la altura de las torres en metros.

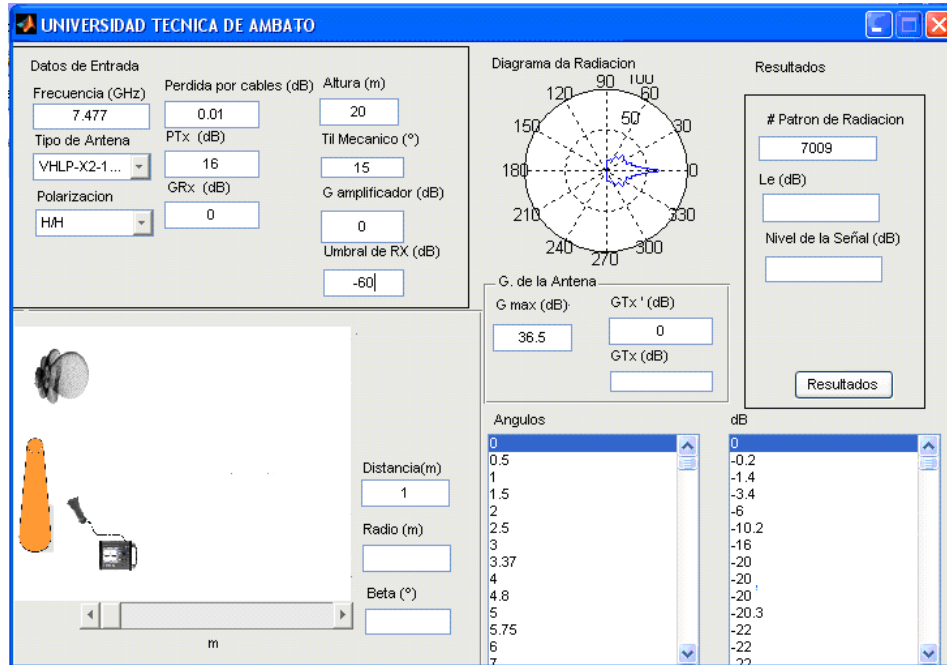
13. Ingrese el til mecánico de la antena transmisora en grados.



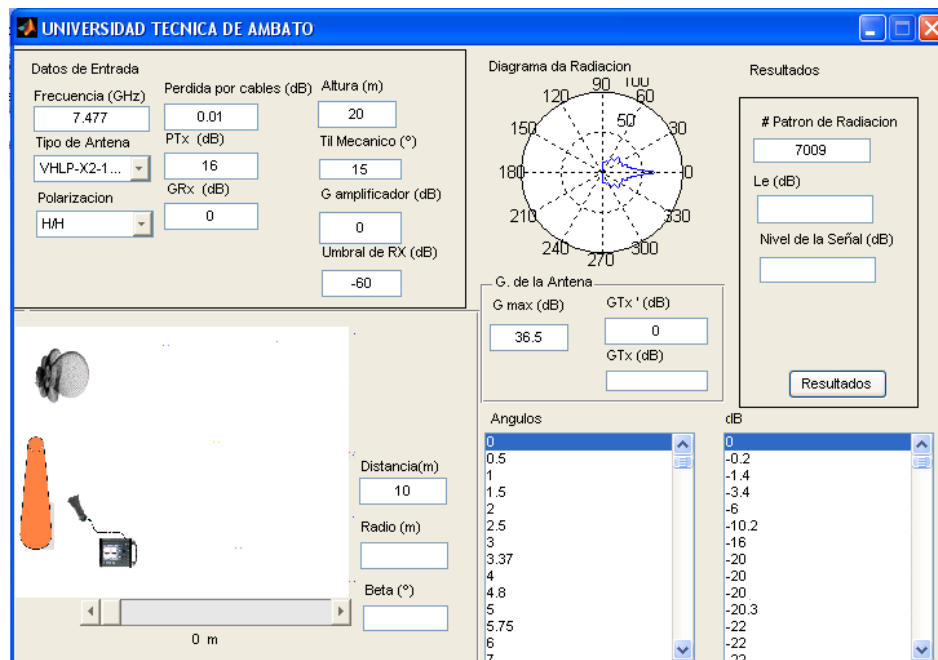
14. Ingrese la ganancia del amplificador de bajo ruido en dB. Es recomendable dejarla en cero para que el programa determine si se requiere de una amplificación para poder captar la señal.



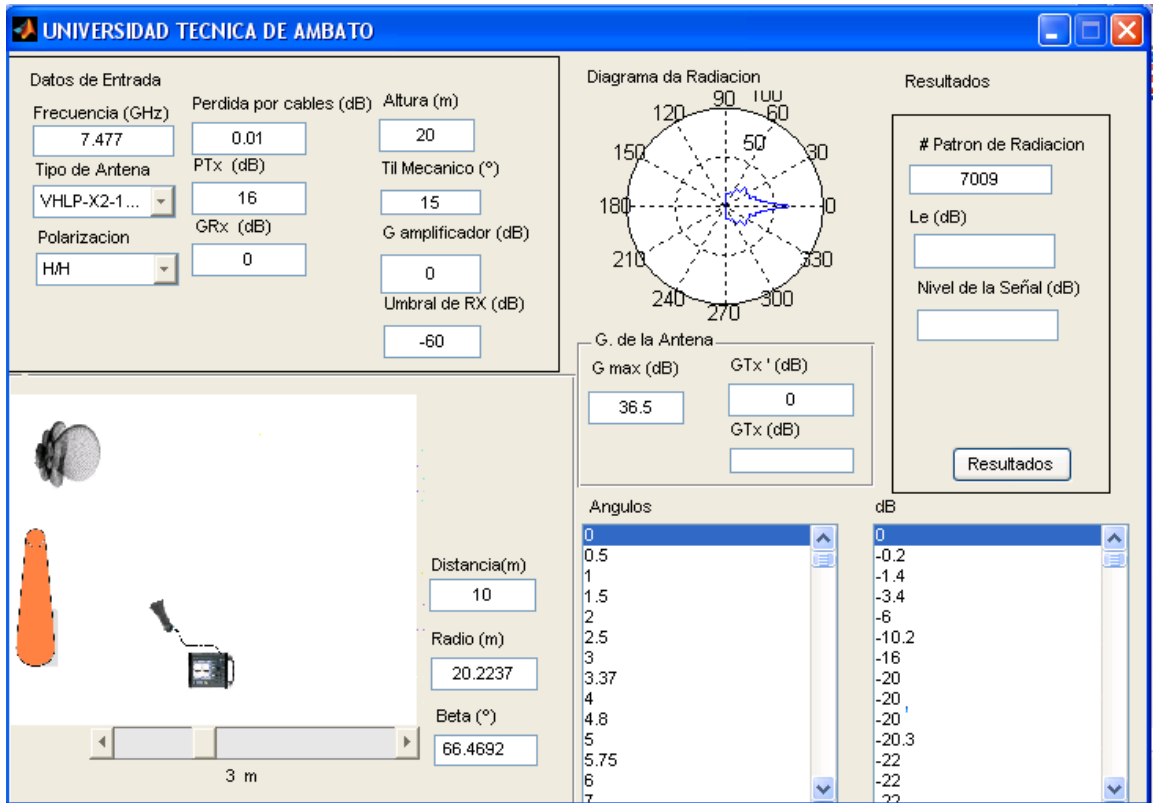
15. Ingrese el umbral de recepción del analizador de espectros. Este parámetro varía en función de la banda que se vaya a medir y del analizador que se esté empleando. Con el umbral de recepción se puede determinar si la señal receptada requiere de una amplificación previa.



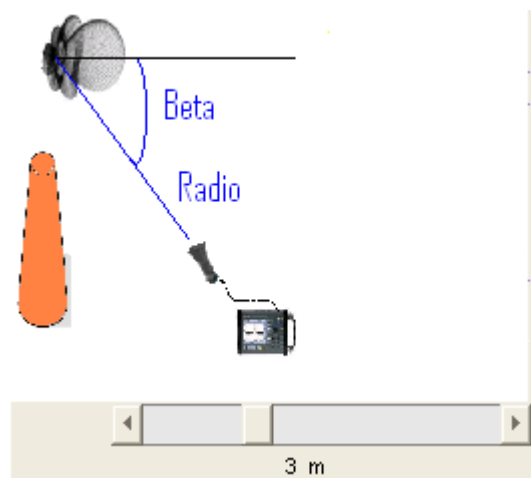
16. Ingrese la distancia a la cual el slider se va a ajustar. Por ejemplo si ingresa el valor 10 el valor máximo que podrá tomar el slider será 10.



17. Varíe el Slider de acuerdo a la distancia a la que se va a tomar las mediciones.

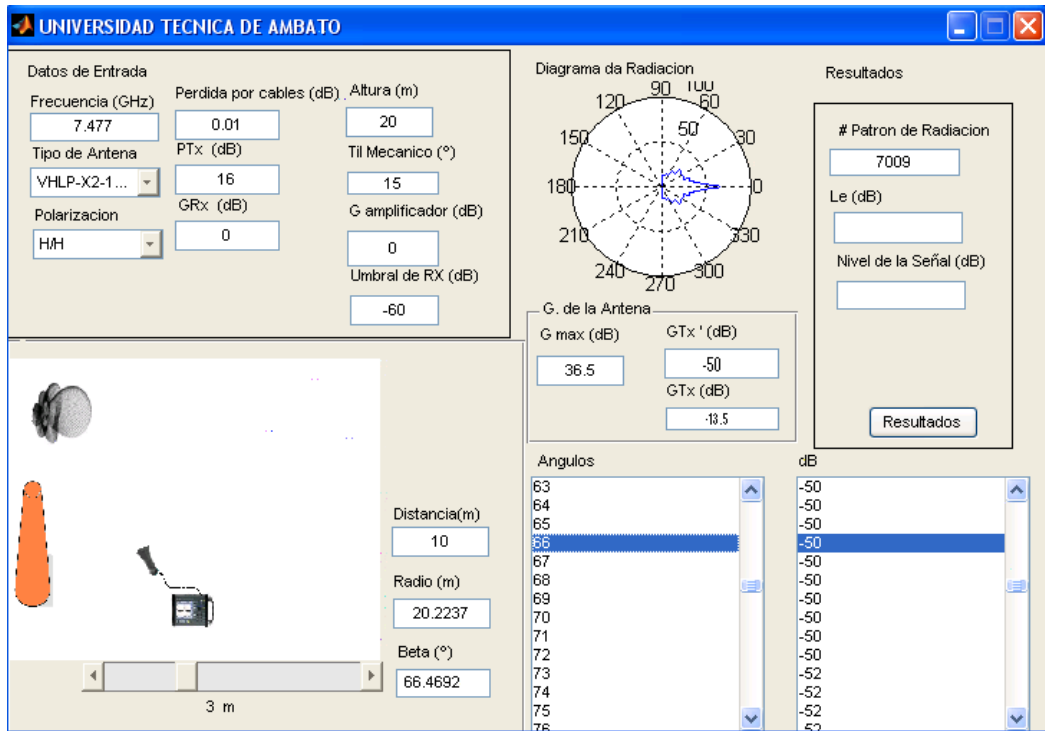


Mediante se desplaza el Slider el Radio también varía. El radio es la distancia desde la antena transmisora hasta el analizador de espectros.



Beta indica a que ángulo del Diagrama de Radiación se encuentra ubicada la persona que va a realizar las mediciones. Mediante este ángulo se puede determinar la ganancia de la antena que le corresponde en ese punto.

18. Una vez obtenido el ángulo Beta proceda a ubicarlo en la lista de Ángulos haciendo clic en el valor que más se aproxime, simultáneamente en la lista de dB se marcará el valor correspondiente al ángulo.



Para efectos de visualización en el edit correspondiente a GT_x' se indicará el mismo valor marcado en la lista de dB. Mientras que en el edit de la ganancia de la antena transmisora (GT_x) se indicará la diferencia entra la $G_{máx}$ y GT_x' . Este valor es la ganancia de la antena a una determinada distancia, éste variará en función de la distancia a la que la persona se ubique para realizar las mediciones.

19. Finalmente haga clic en el botón Resultados. Aparecerán automáticamente las pérdidas por espacio libre y la potencia de recepción en dB. En el caso de que la señal amerite una amplificación previa el programa emitirá un mensaje como se puede apreciar en la siguiente figura. Además en el edit correspondiente al amplificador se visualizará la amplificación que requerirá la señal para poder ser receptada.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

Datos de Entrada

Frecuencia (GHz)	Perdida por cables (dB)	Altura (m)
7.477	0.01	20
Tipo de Antena	PTx (dB)	Til Mecanico (°)
VHLP-X2-1...	16	15
Polarizacion	GRx (dB)	G amplificador (dB)
HH	0	6.94178
		Umbral de RX (dB)
		-60

Diagrama da Radiacion

Resultados

Patron de Radiacion
7009
Le (dB)
76.0318
Nivel de la Señal (dB)
-66.9418

la señal necesita ser amplificada

G. de la Antena

G max (dB)	GTx ' (dB)
36.5	74
	GTx (dB)
	-6.9

Angulos

63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76

dB

-50
-50
-50
-50
-50
-50
-50
-50
-50
-50
-52
-52
-52
-52
-52
-52

3D Model

Distancia(m): 10

Radio (m): 20.2237

Beta (°): 66.4692

3 m

Resultados

20. Al hacer nuevamente clic en Resultados el mensaje desaparecerá como consecuencia de los nuevos resultados realizados con la ganancia del amplificador.

The screenshot displays the 'UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO' software interface, which is used for antenna simulation. The interface is divided into several sections:

- Datos de Entrada (Input Data):**
 - Frecuencia (GHz): 7.477
 - Perdida por cables (dB): 0.01
 - Altura (m): 20
 - Tipo de Antena: VHLP-X2-1...
 - PTx (dB): 16
 - Til Mecanico (°): 15
 - Polarizacion: H/H
 - GRx (dB): 0
 - G amplificador (dB): 6.94178
 - Umbral de RX (dB): -60
- Diagrama da Radiacion (Radiation Pattern Diagram):** A polar plot showing the radiation pattern of the antenna. The main lobe is oriented towards 0 degrees.
- G. de la Antena (Antenna Gain):**
 - G max (dB): 36.5
 - GTx ' (dB): 74
 - GTx (dB): -6.9
- Resultados (Results):**
 - # Patron de Radiacion: 7009
 - Le (dB): 76.0318
 - Nivel de la Señal (dB): -60
- Visualización (Visualization):** A 3D view of the antenna and its radiation pattern. Parameters include:
 - Distancia(m): 10
 - Radio (m): 20.2237
 - Beta (°): 66.4692
- Tablas (Tables):**
 - Angulos (Angles):** A list of angles from 63 to 76 degrees.
 - dB:** A list of corresponding dB values, mostly -50 dB, with some -52 dB values at the end.

ANEXO 2

MANUAL DEL ANALIZADOR DE ESPECTROS

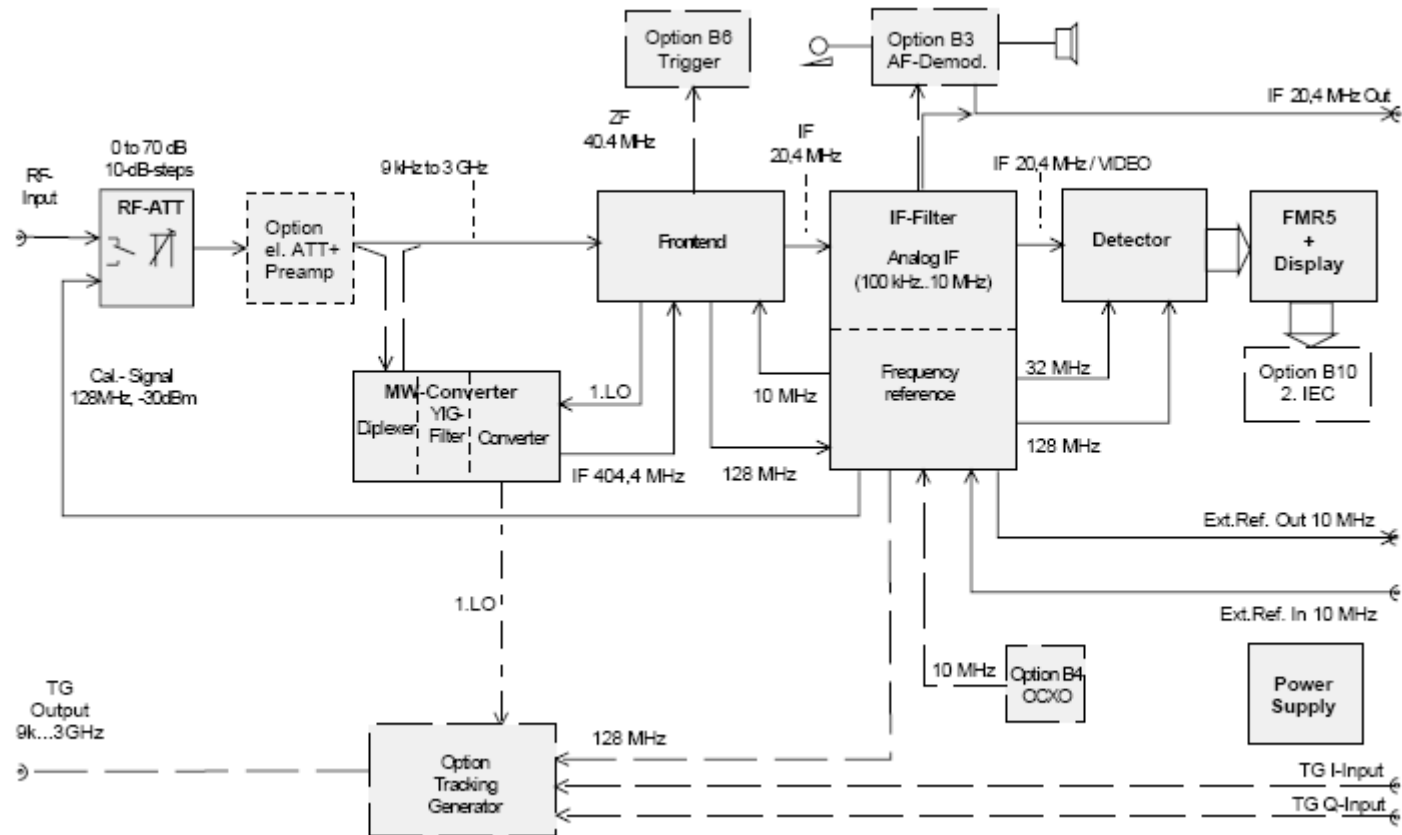
Spectrum Analyzer R&S FSP



Características Principales:

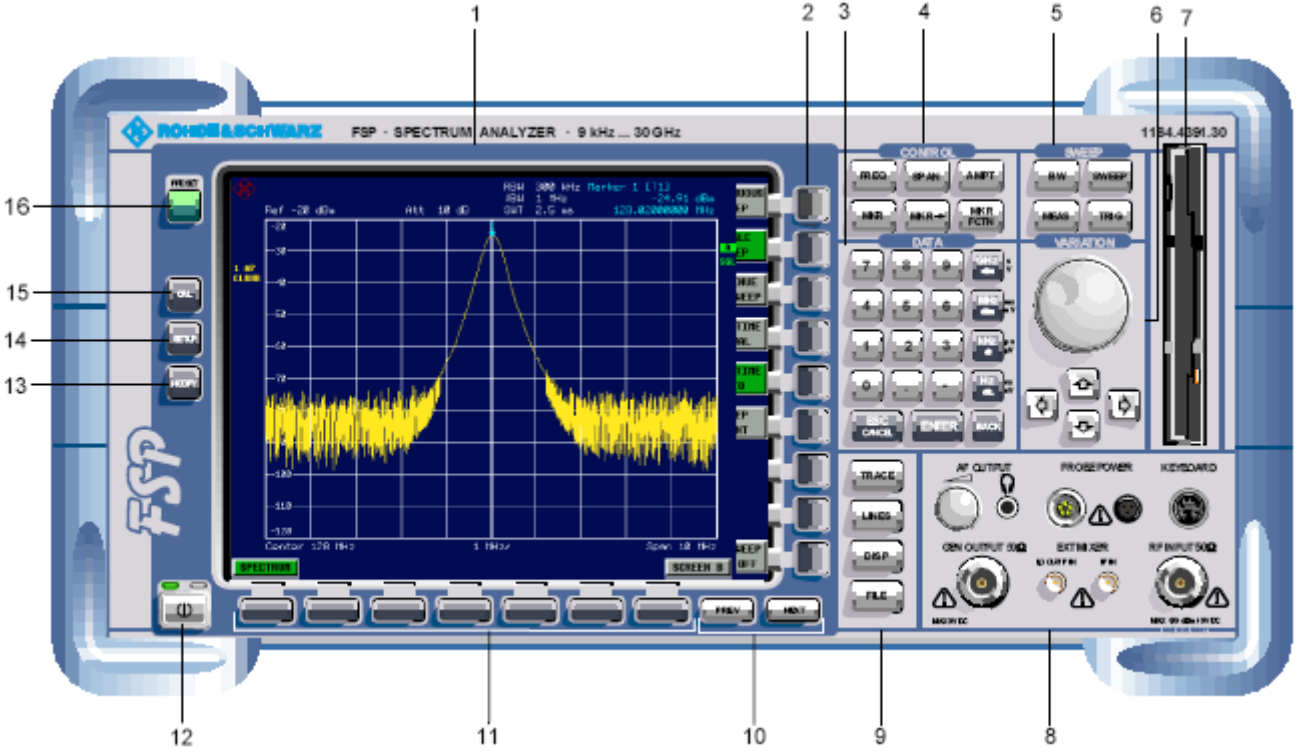
- Pantalla de visualización de 21 cm.
- Resolución de Ancho de banda de 1 Hz a 10 MHz.
- Detector RMS rápido y Seguro para mediciones de señales digitales.
- 2.5 ms es el tiempo del barrido mínimo en el dominio de frecuencia
- 1 μ s tiempo de barrido en el dominio del tiempo
- La incertidumbre de la medida total es de 0.5 dB
- Promedio de ruido -155 dBm (1 Hz)
- Fase de ruido -113 dBc (1 Hz) a 10 kHz
- Un rango Dinámico del detector RMS de 100 dB.

Diagrama de Bloques de Analizador de Espectros



Descripción de las Partes Del Analizador de Espectros.

Parte Frontal



1

Pantalla de Visualización.

2

Teclas Programables

3

Entradas:

Números del 0 -9

Punto decimal

Signo

ESC.- Sierra el campo de entrada

CANCEL.-Borra la entrada actual en el campo de entrada

ENTER.-Guarda las entradas.

BACK,. Borra la ultima entrada.

Ingreso de unidades (GHz s -dBm V, MHz ms dBm mV, KHz us dB uV, Hz ns dB nV)



4

FREQ.- Ingreso de las Frecuencias

SPAN.- Ingreso del Span (espacio de medición)

AMPT.-Ingreso del nivel de amplitud y configuración de la entrada de RF.

MKR.- Seleccione entre el marcador normal y delta y sus funciones.

MKR->.-Mas opciones de las marcas.

MKR FCTN.-Selección del marcador extenso y delta y sus funciones.



5

BW.- Establece la resolución del ancho de banda, ancho de video y el tiempo de barrido.

SWEEP.- Selecciona el Barrido

MEAS.- Selecciona la fuente de las medidas.

TRIG.- Pone las fuentes activas.



6

Grupo importante por entrar en los datos y para el movimiento del cursor

Teclas del cursor

- Permite el movimiento del cursor dentro de la entrada de los campos.
- Varíe el valor de la entrada.

Rollon

- Varía los valores de la entrada.
- Los marcadores del movimiento y límites.
- Las cartas selectas en el editor de línea de ayuda.
- Para elegir los datos presione ENTER



7

Disquetera disco 3 ½

8

AF OUTPUT esta opción solo para FSP B3

Control de Volumen

Conector de Audífonos

PROBE POWER Fuente de Poder (+15V/-12V) para accesorios.

KEYBOARD Conector para teclado externo.

RF INPUT Entrada de RF



9

TRACE.- Selecciona y activa las trazas y detectores.

LINES.- Ingresa los límites de las líneas.

DISP.- Configuración de la pantalla.

FILE.- Guarda y Recarga los datos en el equipo



10

NEXT.- Cambio entre Menús

PREV.- Llama al menú Principal.



11

Teclas

12

Botón ON/STANDBY



13

Configuración y comienzo de un trabajo impreso.



14

Definición General de la Configuración



15

Grabar datos de una conexión

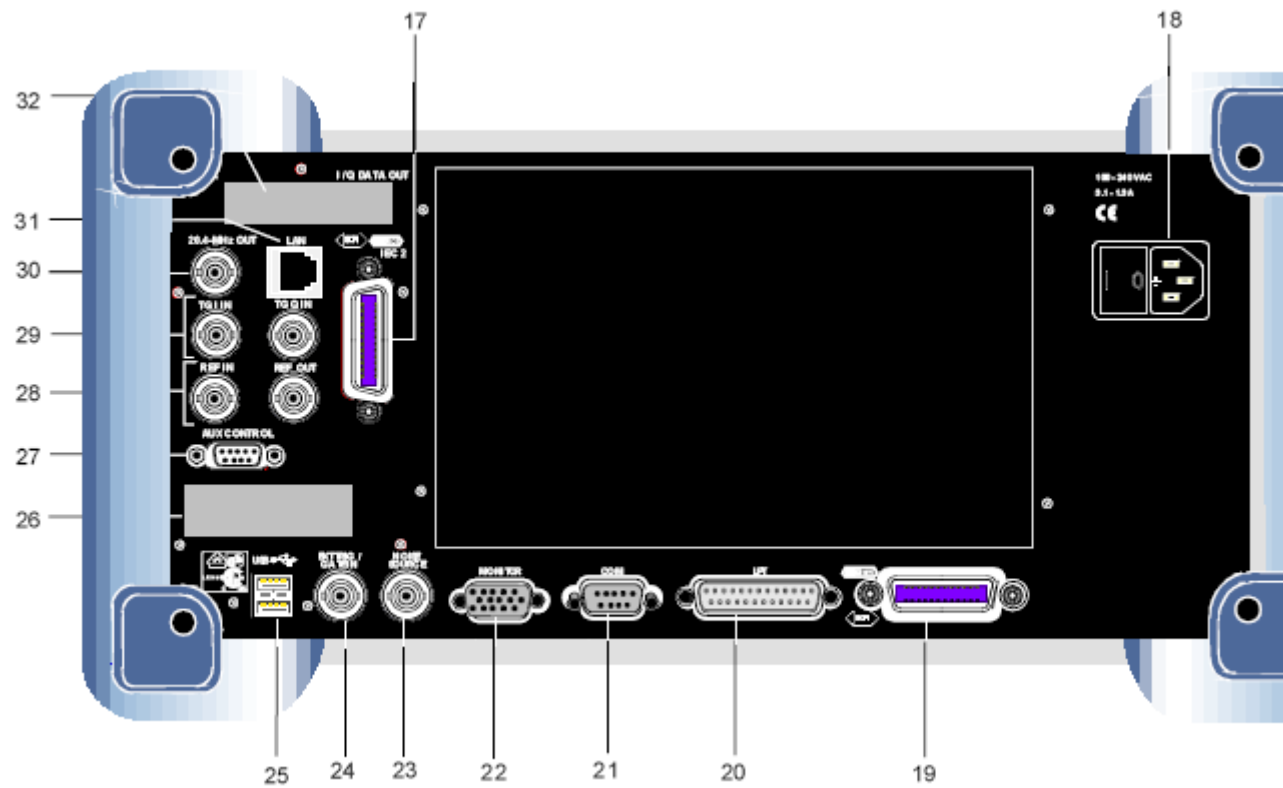


16

Carga los valores predeterminados



Parte Posterior.



17

Reservado para otras opciones.

18

Switch de poder y conector de la fuente de AC.



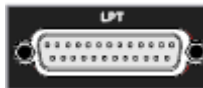
19

Conector IEC/IEEE



20

Conector para el puerto paralelo



21

Conector para el puerto serial



22

Conector para monitor externo



23

Conector de salida para una fuente externa de ruido



24

Conector de salida para una señal gate externa o una trigger



25

Conector USB



26

Reservada para otras opciones.

27

Conector externo para el control del generador



28

REF IN Entrada para una fuente de referencia exterior (10MHz).

REF OUT Salida para una fuente de referencia interna (10MHz)



29

TG IN Conector de entrada para una señal de modulación externa.

TG Q IN Conector de entrada para una señal de modulación externa.



30

Conector de salida de 20.4MHz IF



31

Interfase LAN



32

Reservada para otras opciones.

Comienzo del Manejo del Analizador de Espectros.

Encendido /Apagado

Con el interruptor se prende y se apaga el equipo

Posición 1=ON

En esta posición el instrumento esta en Standby o en operación, dependiendo del botón ON/STANDBY

Posición 0=OFF

Esta posición implica una desconexión de la fuente de AC.

ON/STANDBY

Aquí tenemos opciones diferentes del modo de operación que se indican en los leds

ON (led verde).- El instrumento esta realizando las operaciones. Todos los módulos de los instrumentos son abastecidos con la fuente

STANDBY (led amarillo).- Solo la fuente poder esta conectada y el analizador se mantiene a la temperatura normal.

MEDICIONES DE NIVELES Y FRECUENCIAS

La medición de la frecuencia y niveles de una señal en uno de los propósitos más importantes de un analizador de espectros. Para señales desconocidas, el analizador de espectro tiene configuraciones predefinidas (PRESET) que da un buen punto de partida para comenzar las mediciones.

Si los niveles de la señal pasa los 30 dBm (= 1 W), se debe activar el atenuador.

Mediciones de Frecuencia y Niveles Usando Marcas.

La medición del nivel y la frecuencia de una señal con las funciones de las marcas son fáciles. En la posición de la marca el Analizador indica la frecuencia y amplitud de la señal. La precisión de la medida es determinada por las referencias de la frecuencia, la resolución de las marcas en la pantalla y la resolución de la imagen.

Ejemplo:

Mediciones con una frecuencia de 128MHz

1.- Ponga el Analizador en sus configuraciones predeterminadas.

- Presione el botón PRESET

2.-Conecte la muestra de la señal en el RF INPUT en la parte frontal del panel.

3.- Encienda el generador de referencia interno.

- Presione el botón SETUP
SETUP abre otro menú
- Presione la tecla SERVICE
SETUP-SERVICE abre otro menú
- Presione la tecla INPUT CAL
El generador interno esta encendido

4.-Ingrese la frecuencia central (128MHz)

- Presione el botón FREQ
- La entrada de la frecuencia se visualiza en la pantalla
- Ingrese 128 mediante el panel de botones y termine el ingreso con el botón MHz

5.-Reduzca el rango de la medida de la frecuencia (SPAN) a 1 MHz.

- Presione el botón SPAN
- Ingrese 1 con el panel de botones y termine con el botón de MHz.

6.-Medida del nivel y frecuencia de la señal usando marcas.

- Presione el botón MKR.

La marca se enciende y automáticamente puede saltar entre los picos de la señal.

7.-Para poder visualizar mejor la señal modifique los parámetros necesarios como el SPAN.

Medición de la Frecuencia con el Contador de Frecuencia.

Con el contador interno de frecuencias las frecuencias pueden medirse mas exactamente que con las marcas.

El rango de resolución para medir las frecuencias es de 0.1Hz a 10 kHz. El ancho de banda >300kHz, el tiempo requerido para la medición depende de la selección de resolución del contador (1/Frecuencia de resolución).

Vamos Hacer las mediciones del Ejemplo anterior.

1.- Ponga el Analizador en sus configuraciones predeterminadas.

- Presione el botón PRESET

2.- Encienda el generador de referencia interno.

- Presione el botón SETUP
SETUP abre otro menú
- Presione la tecla SERVICE-INPUT CAL

3.-Ingrese la frecuencia central y la frecuencia del SPAN

- Presione el botón FREQ e ingrese 128MHz
- Presione la tecla SPAN e ingrese 1MHz

4.-Encienda las Marcas

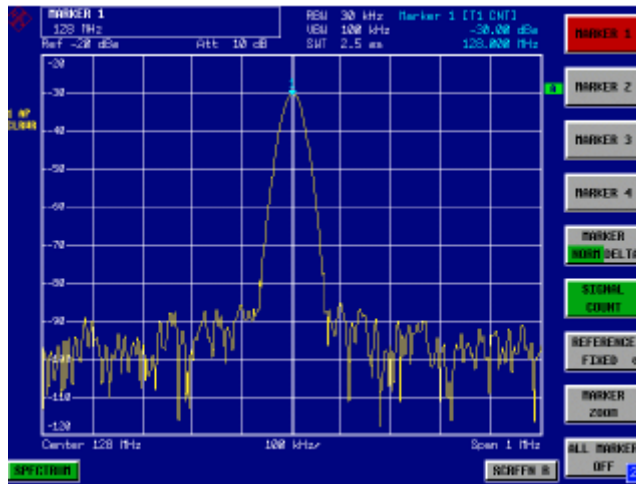
- Presione el botón MKR
Al encender las marcas e ingresar la señal máxima. El nivel y frecuencia se visualizan en la pantalla.

5.- Encienda el contador de frecuencia.

- Presione la tecla SIGNAL COUNT en el menú de las marcas.
El contador de frecuencia es visualizada en el campo de las marcas encima de la pantalla

6.- Ingrese la resolución del contador a 1Hz.

- Presione el botón NEXT
- Presione la tecla CNT RESOL 1Hz



7.- Encienda la entrada de RF para operación normal del Analizador.

- Presione el botón PRESET
- Presione la tecla INPUT RF.

Medición de Armónicos

La medición de los armónicos de una señal es un problema frecuente que puede resolverse mediante la utilización de un analizador de espectros.

Los armónicos son producidos por características no lineales de la señal y estos pueden ser reducidos con filtros pasa bajos.

Medición de la Distancia entre la onda fundamental y el 2° y 3° armónico de una señal de referencia interna.

1.- Ponga el Analizador en sus configuraciones predeterminadas.

- Presione el botón PRESET

2.- Encienda el generador de referencia interno.

- Presione el botón SETUP
- Presione la tecla SERVICE-INPUT CAL

3.-Ingrese la frecuencia de inicio a 100MHz y la frecuencia final a 400MHz

- Presione el botón **FREQ**
- Presione la tecla **START** e ingrese 100MHz
- Presione la tecla **STOP** e ingrese 400MHz

El Analizador de espectros muestra la frecuencia fundamental y el 2° y 3° armónico de la señal de entrada.

4.- Ingrese al Atenuador de RF 0dB para mayor sensibilidad.

- Presione el botón **AMP**
- Presione la tecla **RF ATTEN MANUAL** e ingrese 0dB.

5.-Reduzca el ancho de banda de video.

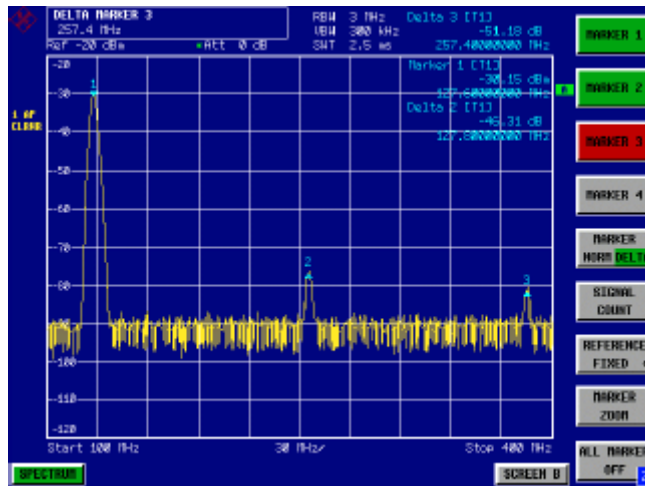
- Presione el botón **BW**
- Presione la tecla **COUPLING RADIO**
- Seleccione **RBW/VBW NOISE [10]** usando el cursor

6.- Encienda las marcas

- Presione el botón **MKR**

7.- Encienda el marcador delta y mida la distancia de los armónicos.

- Presione la tecla **MARKER 2** en el menú de las marcas
La marca 2 es activada como delta
- Presione la tecla **MARKER 3** en el menú de las marcas
La marca 3 es activada como delta

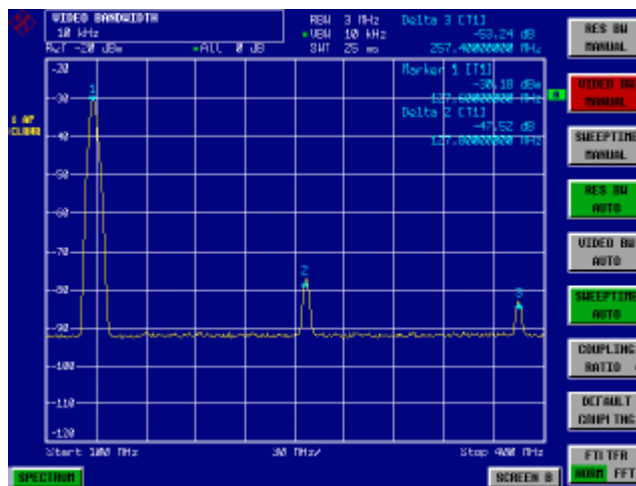


Para poder visualizar mejor se puede:

- Reducir el ancho de video
- Reducir la resolución del ancho de banda.

8.-Reducir el ruido reduciendo el ancho de video.

- Presione el botón BW
- Presione la tecla VIDEO BW MANUAL
- Reduzca el ancho de video a 10kHz o el valor que mejor se adapte a la medida.

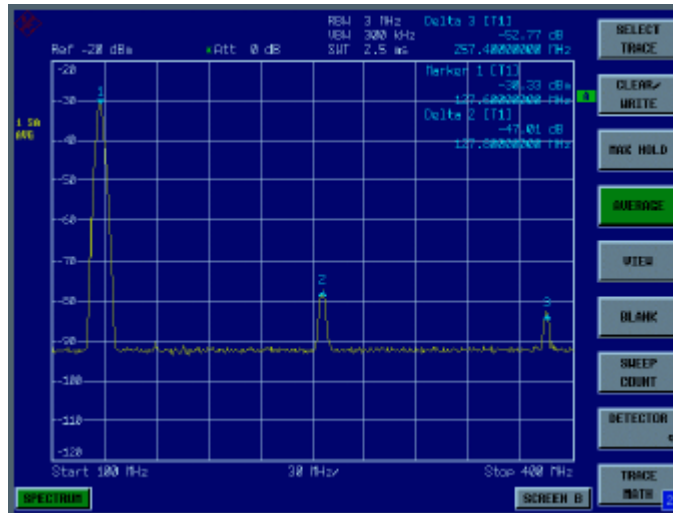


9.- Acople el ancho de video y la resolución del ancho de banda.

- Presione la tecla VIDEO BW AUTO.

10.-Deduzca el ruido con la señal promedio.

- Presione el botón TRACE
- Presione la tecla AVERAGE



11.-Apague la señal promedio

- Presione la tecla CLEAR/WRITE

12.-Reduzca el ruido reduciendo el ancho de banda.

Si se reduce la resolución del ancho de banda, el ruido se reduce proporcionalmente.

13.-Ingrese la resolución del ancho de banda a 10kHz

- Presione el botón BW
- Presione la tecla RES BW MANUAL e ingrese 10kHz

14.- Restaure la resolución del ancho de banda

- Presione la tecla RES BW AUTO

Alta Sensibilidad en la Medición de Armónicos

Si el nivel de los armónicos es demasiado bajo, la resolución del ancho de banda requerido para la medición tiene que reducirse considerablemente.

1.- Ponga el Analizador en sus configuraciones predeterminadas.

- Presione el botón PRESET

2.- Encienda el generador de referencia interno.

- Presione el botón SETUP
- Presione la tecla SERVICE-INPUT CAL

3.- Ingrese la frecuencia central a 128MHz y un span 100kHz

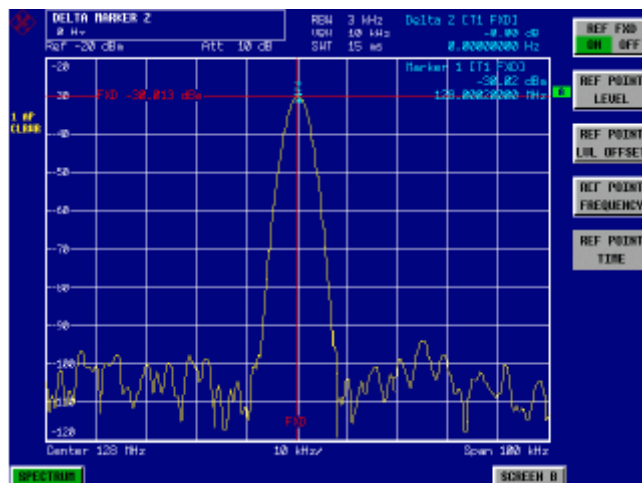
- Presione el botón FREQ
- Ingrese 128 en el cuadro con el teclado y presione el botón MHz.
- Presione el botón SPAN
- Ingrese 100 en el cuadro con el teclado y presione el botón kHz.

4.- Encienda las marcas

- Presione el botón MKR

5.-Fije la señal, los niveles y valores de referencia.

- Presione la tecla REFERENCE FIXED
- En la posición de la marca ponga el nivel de referencia. El punto de referencia del nivel es indicado con una línea horizontal. El punto de referencia de la frecuencia con una línea vertical. Encienda la marca 2 con delta.



6.-Haga el tamaño de los pasos para la frecuencia central igual a la señal

- Presione el botón **FREQ**
- Presione la tecla **CF STEPSIZE** y la tecla **=MARKER** en el submenú
El tamaño de los pasos de la frecuencia central es ahora igual a las marcas.

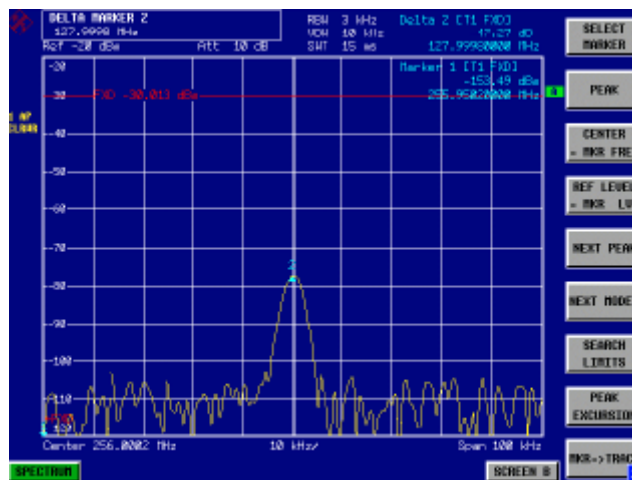
7.-Ingrese la frecuencia central para el 2° armónico de la señal.

- Presione el botón
- Presione la parte de arriba del cursor

8.-Ponga la marca delta en el 2° armónico

- Presione el botón **MKR->**
- Presione la tecla **PEAK**

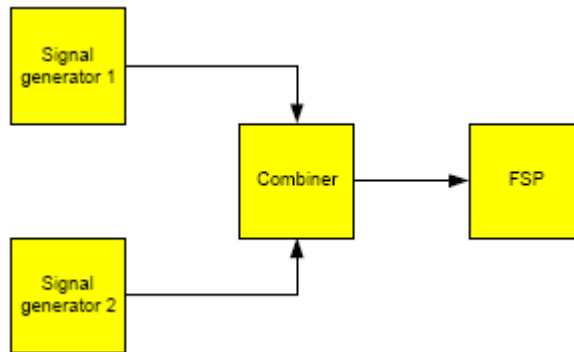
La marca delta salta al segundo armónico



Mediciones de Señales Complejas.

Una de las características básicas del analizador de espectro es que permite separar las componentes de una señal.

Dos señales con un nivel de -30dBm y una diferencia de 30kHz



	Level	Frequency
Signal generator 1	-30 dBm	100.00 MHz
Signal generator 2	-30 dBm	100.03 MHz

1.- Ponga el Analizador en sus configuraciones predeterminadas.

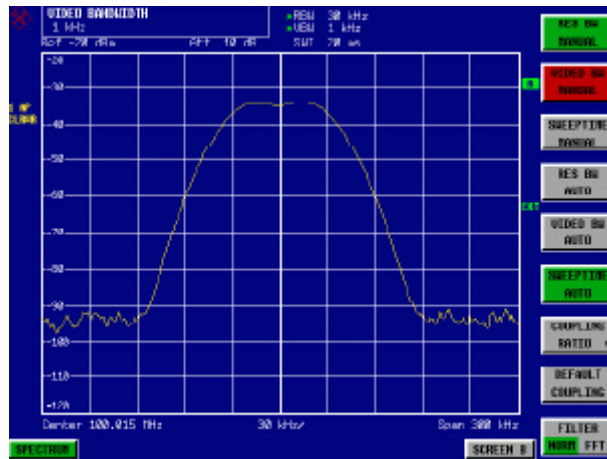
- Presione el botón PRESET

2.- Ingrese una frecuencia central de 100.015MHz y una frecuencia de SPAN de 300kHz

- Presione el botón FREQ e ingrese 100.015 MHz
- Presione el botón SPAN e ingrese 300kHz

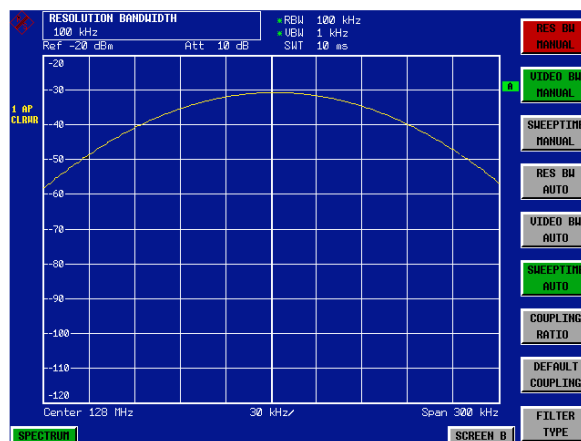
3.-Ingrese la resolución de ancho de banda a 30kHz y el ancho de video a 1kHz

- Presione el botón BW
- Presione la tecla RES BW MANUAL e ingrese 30kHz
- Presione la tecla VIDEO BW MANUAL e ingrese 1kHz
- Las dos señales están separadas por 3dB

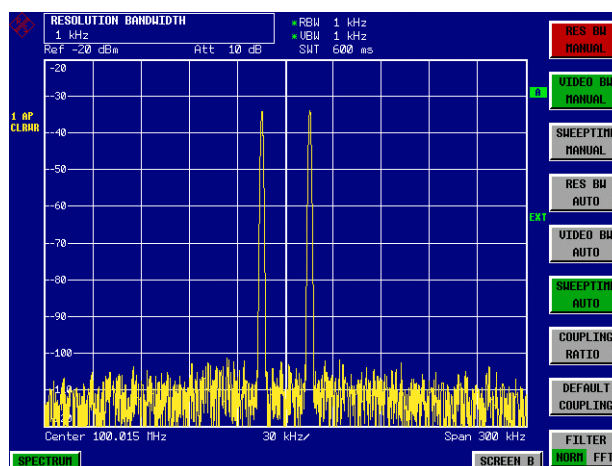


4.- Ingrese la resolución del ancho de banda a 100kHz

- Presione la tecla RES BW MANUAL e ingrese 100kHz



5.- Ingrese la resolución del ancho de banda a 1KHz



Medición de Intermodulación

Señal de entrada:

	Level	Frequency
Signal generator 1	-10 dBm	999.9 MHz
Signal generator 2	-10 dBm	1000.1 MHz

1.-Ponga el Analizador en sus configuraciones predeterminadas.

- Presione el botón PRESET

2.- Ingrese la frecuencia central a 1GHz y un SPAN de 1MHz

- Presione el botón FREQ e ingrese 1GHz
- Presione el botón SPAN e ingrese 1MHz

3.-Ingrese el nivel de referencia a -10dBm y Atenuador de radiofrecuencia a 0dB

- Presione el botón AMPT e ingrese -10dBm
- Presione la tecla RF ATTEN MANUAL e ingrese 0dB

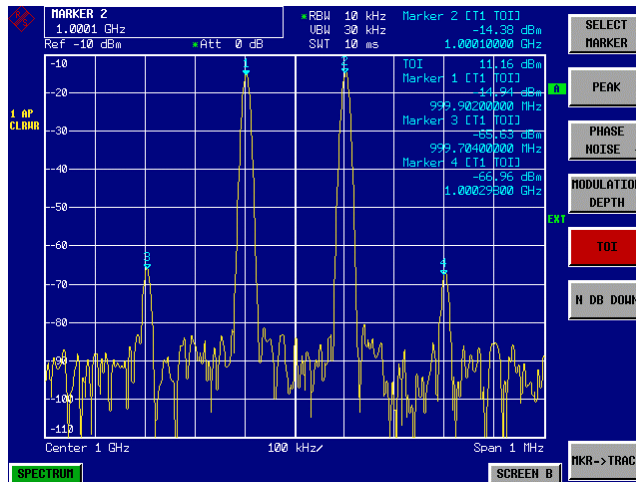
4.-Ingrese la resolución de ancho de banda a 10kHz

- Presione el botón BW
- Presione la tecla RES BW MANUAL e ingrese 10kHz

5.- La medición de intermodulación se da con la intersección de la función de 3° orden

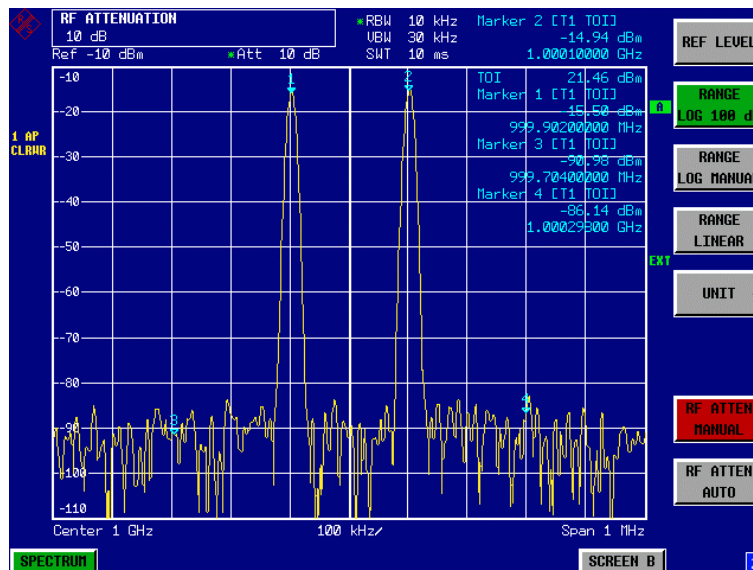
- Presione el botón MKR FCTN
- Presione la tecla TOI

Se activa 4 marcas para la medición. Dos son las posiciones de la señal y dos el producto de intermodulación.



6.-Incremente la Atenuación de RF a 10dB para reducir los productos de Intermodulación

- Presione el botón AMPT
- Presione la tecla RF ATTEN MANUAL e ingrese 10dB



Medición de Señales Cercanas al Ruido

El nivel mínimo de una señal que puede medir el analizar esta limitado intrínsecamente por el ruido.

La visualización del ruido en el analizador depende de: la forma del ruido, la selección del atenuador, nivel de referencia entre otros parámetros.

Atenuador RF

La sensibilidad del analizador es influenciada directamente con el atenuador. La sensibilidad es alta cuando la atenuación es 0dB.

Resolución del Ancho de Banda

La sensibilidad del analizador es influenciada directamente con el atenuador. La sensibilidad es alta cuando se tiene un pequeño ancho de banda.

Ancho de Video

Si el ancho de video es considerablemente mas pequeño que la resolución de ancho de banda los picos de ruido se suprimen.

Detector

La detección de un ruido también depende de la elección del detector.

Medición del nivel del general de referencia interno con una relación S/N baja

1.-Ponga el Analizador en sus configuraciones predeterminadas.

- Presione el botón PRESET

2.-Encienda el generador de referencia interno

- Presione el botón SETUP
- Presione la tecla SERVICE-INPUT CAL

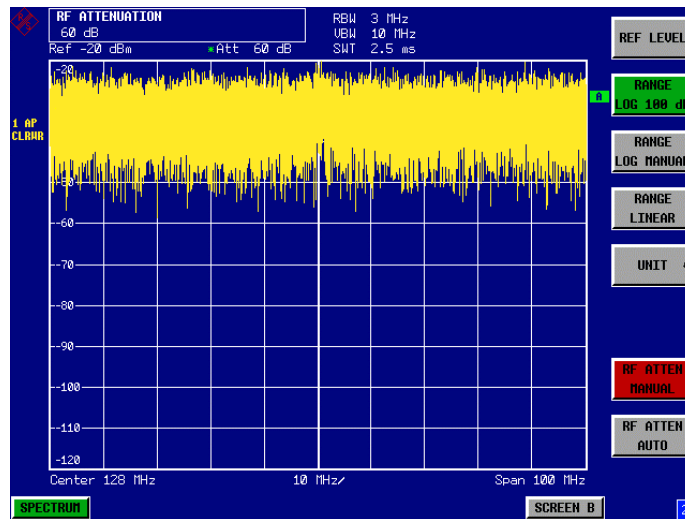
3.-Ingrese la frecuencia central a 128 MHz y Un SPAN de 100MHz

- Presione el botón FREQ e ingrese 128MHz
- Presione el botón SPAN e ingrese 100MHz

4.- Ingrese una atenuación de RF de 60dB

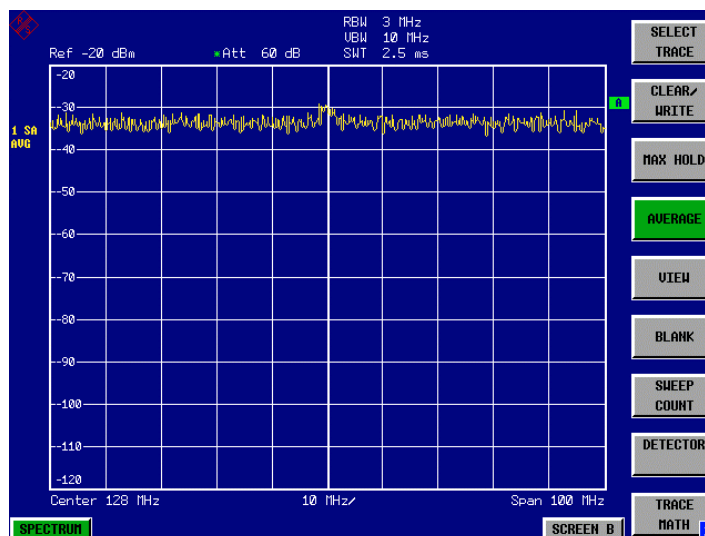
- Presione el botón AMPT

- Presione la tecla RF ATTEN MANUAL e ingrese 60dB



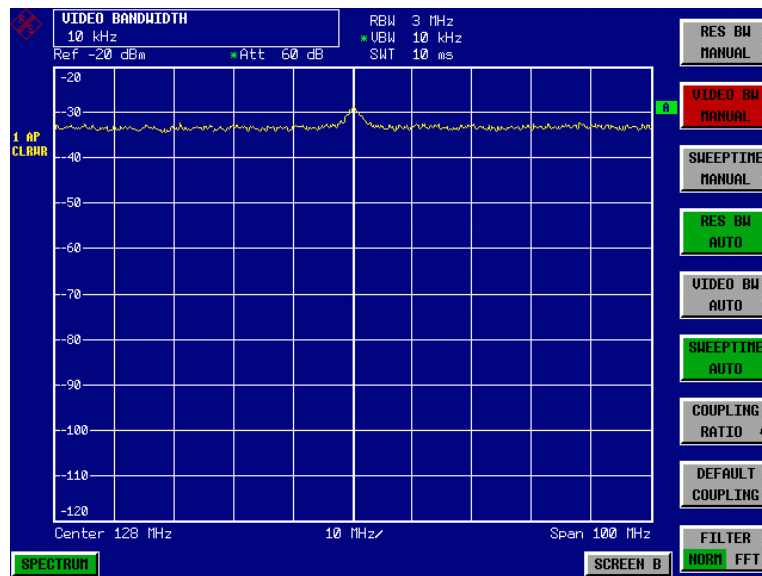
5.- Para suprimir los picos del ruido active AVERAGE

- Presione el botón TRACE
- Presione la tecla AVERAGE



6.- En lugar de ver la señal promedio puede reducirse el filtro de video y Resolución del ancho de banda.

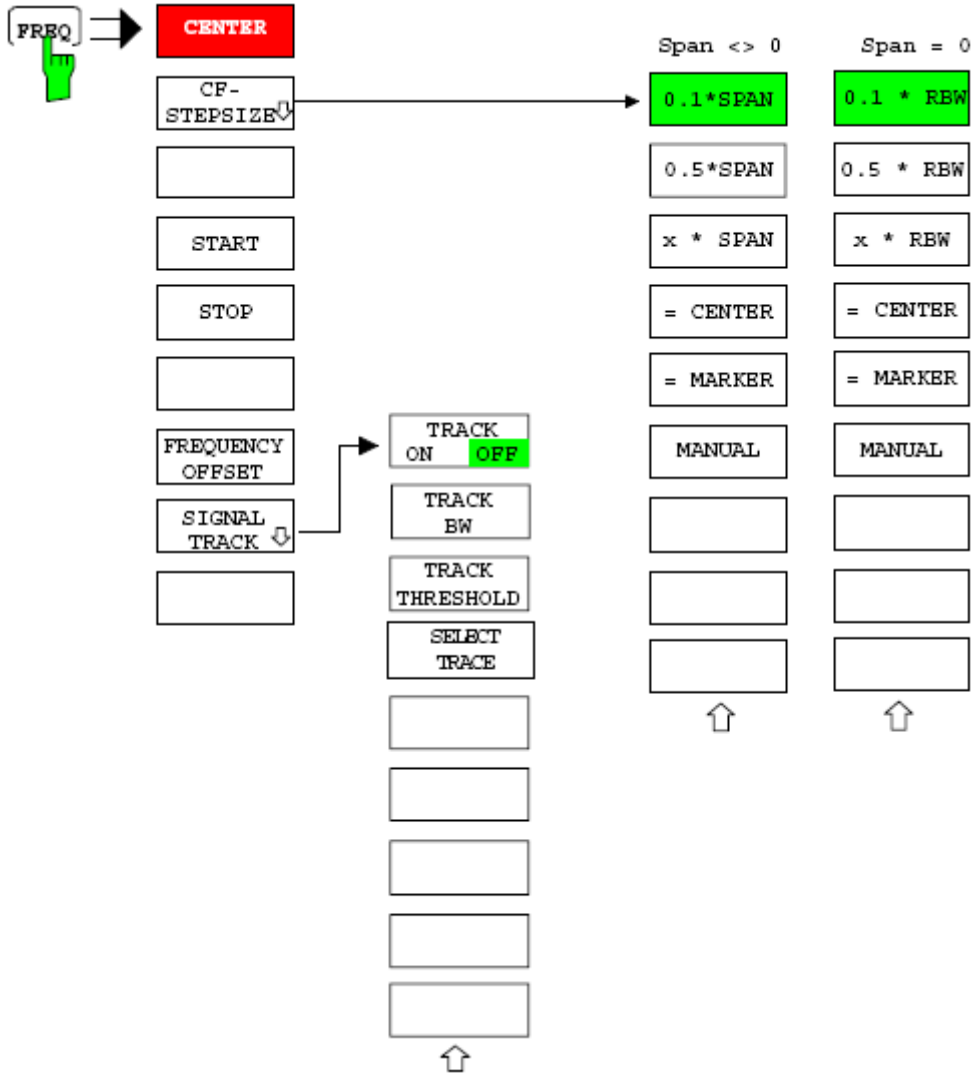
- Presione la tecla CLEAR/WRITE en el menú de trazas
- Presione el botón BW
- Presione la tecla VIDEO BW MANUAL e ingrese 10kHz



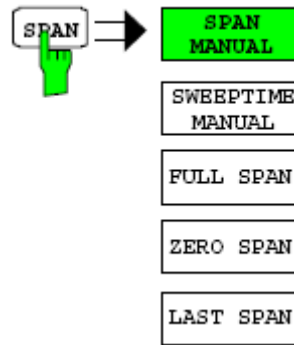
Apreciación Global del Menú del Analizador de Espectros

La sección siguiente da una apreciación global gráfica de los menús del Analizador de Espectros.

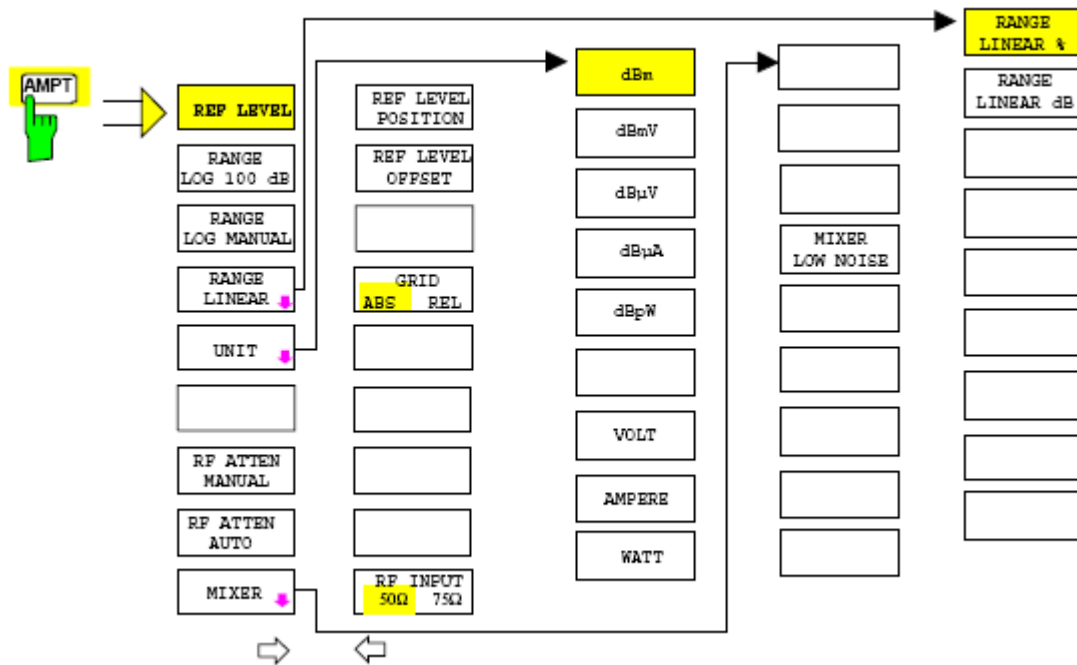
Botón de Frecuencia



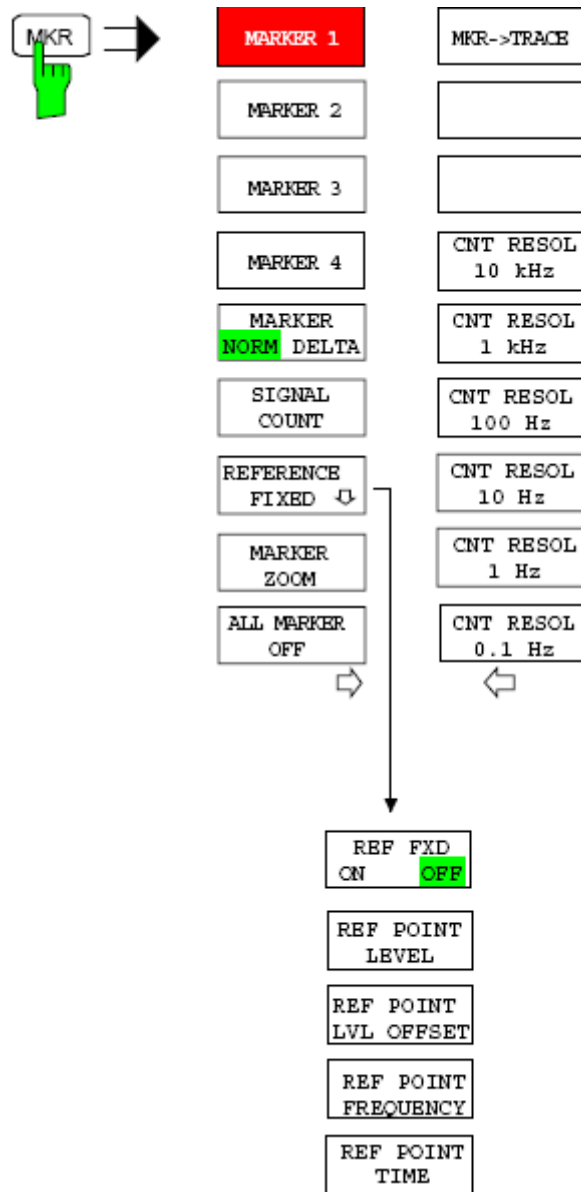
Botón SPAN



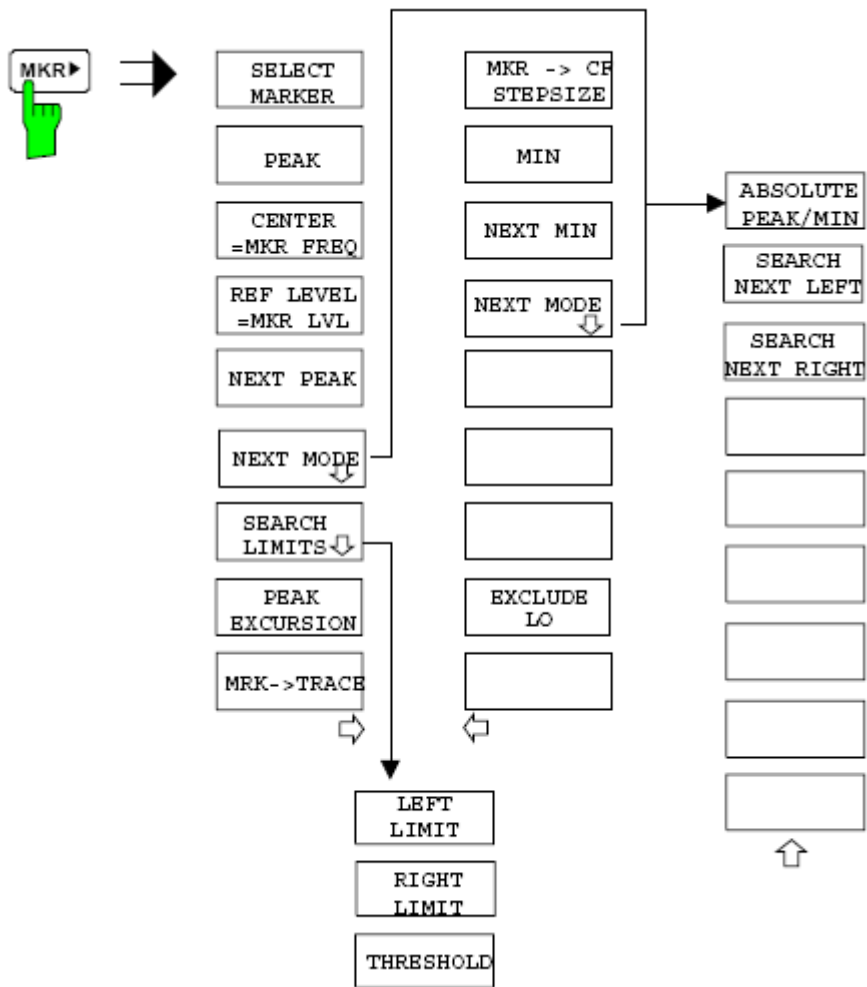
Botón AMPT



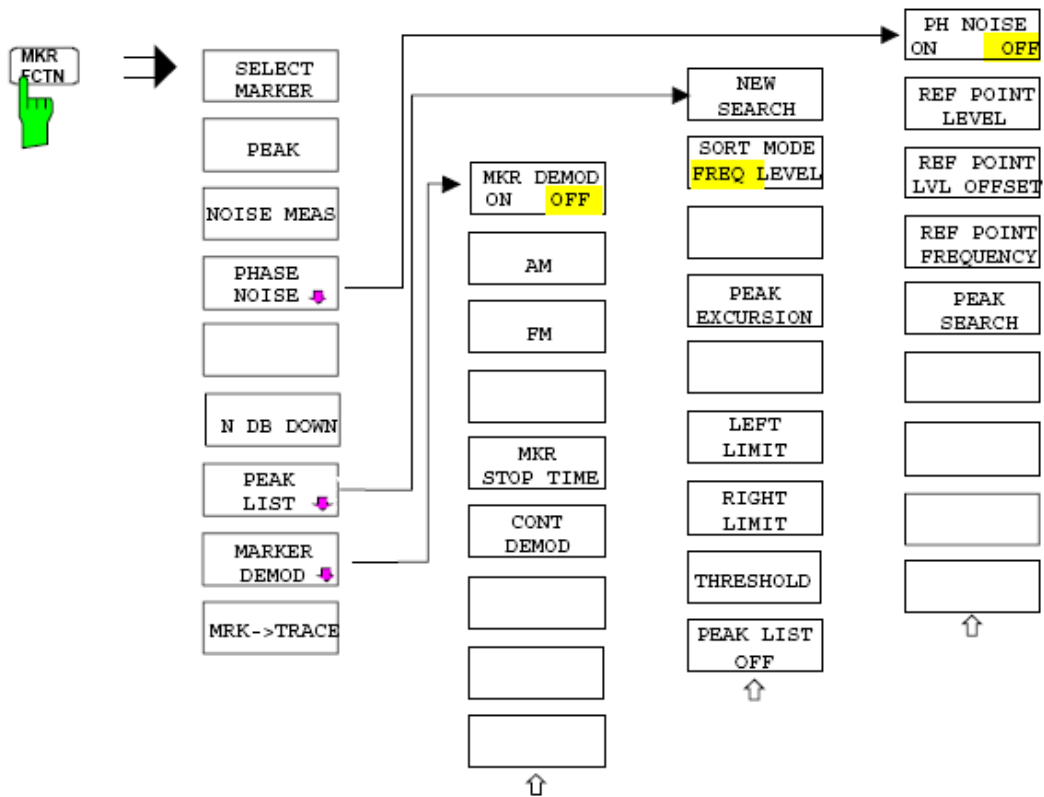
Botón MKR



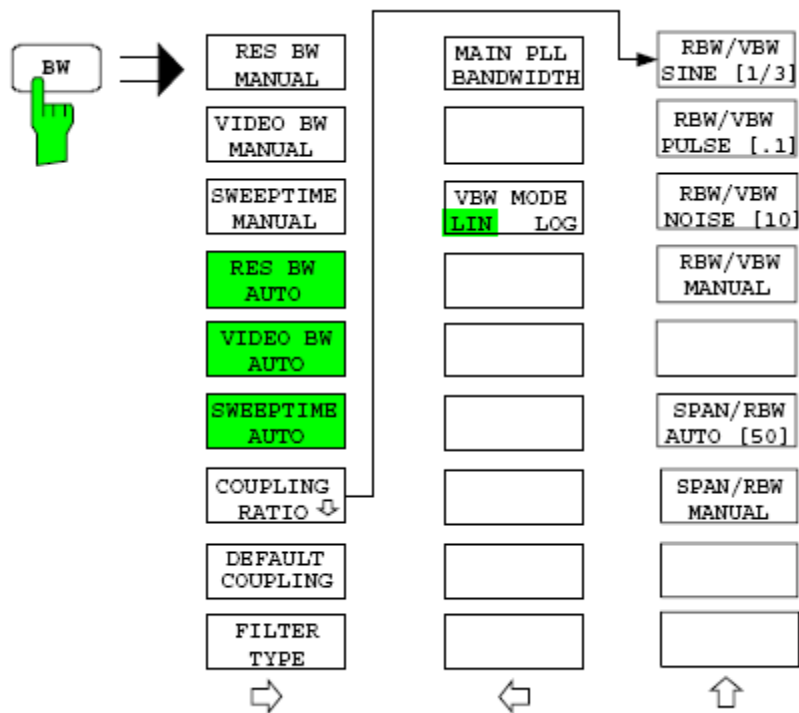
Botón MKR->



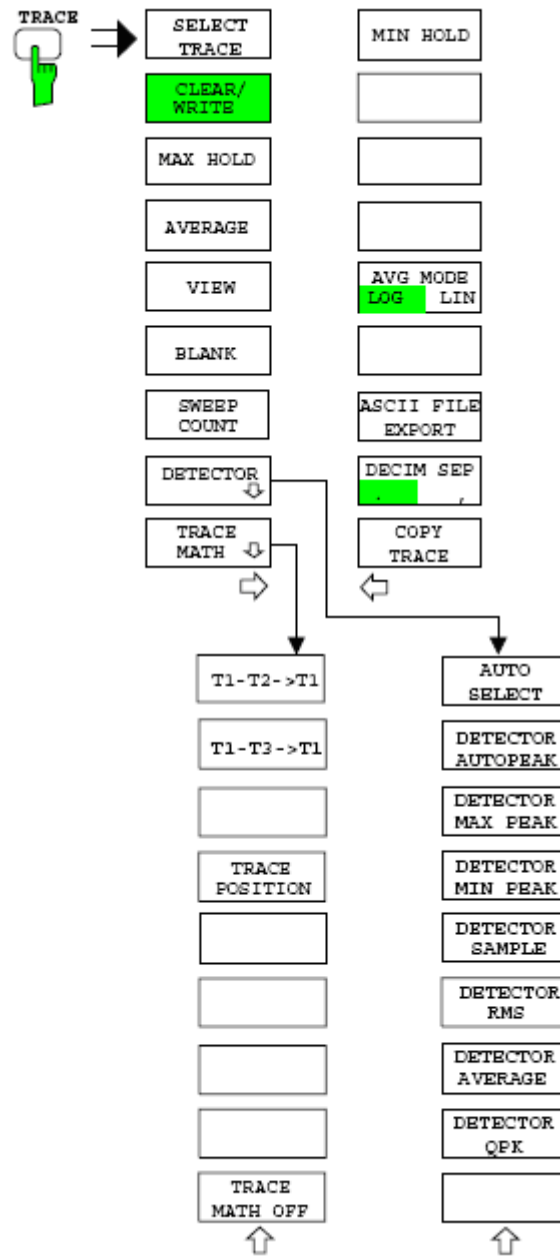
Botón MKR FCTN



Botón BW



Botón TRACE



Especificaciones principales del Analizador de Espectros:

	R&S®FSP3	R&S®FSP7	R&S®FSP13	R&S®FSP30	R&S®FSP40
Frequency					
Frequency range	9 kHz to 3 GHz	9 kHz to 7 GHz	9 kHz to 13.6 GHz	9 kHz to 30 GHz	9 kHz to 40 GHz
Frequency resolution	0.01 Hz				
Internal reference frequency (nominal)					
Aging per year ¹⁾	1×10^{-6}				
Temperature drift	1×10^{-6}				
With option R&S®FSP-B4 (0CX0)					
Aging per year ¹⁾	1×10^{-7}				
Temperature drift	1×10^{-8}				
External reference frequency	10 MHz				
Frequency display	with marker or frequency counter				
Marker resolution	span/500				
Max. deviation (sweep time >3 x auto sweep time)	$\pm(\text{frequency} \times \text{reference frequency} + 0.5\% \times \text{span} + 10\% \times \text{resolution bandwidth} + \frac{1}{2} \text{ (last digit)})$				
Frequency counter resolution	0.1 Hz to 10 kHz (selectable)				
Count accuracy (S/N >25 dB)	$\pm(\text{frequency} \times \text{reference frequency} + \frac{1}{2} \text{ (last digit)})$				
Frequency span	0 Hz, 10 Hz to 3 GHz	0 Hz, 10 Hz to 7 GHz	0 Hz, 10 Hz to 13.6 GHz	0 Hz, 10 Hz to 30 GHz	0 Hz, 10 Hz to 40 GHz
Max. span deviation	0.1%				

Los valores típicos para SSB para la fase de ruido (referencia a 1Hz de Ancho de Banda):

Offset	$f_{in}= 3 \text{ GHz}$	$f_{in}= 7 \text{ GHz}$	$f_{in}= 13 \text{ GHz}$	$f_{in}= 22 \text{ GHz}$	$f_{in}= 26 \text{ GHz}$	$f_{in}= 40 \text{ GHz}$
100 Hz	-74 dBc	-67 dBc	-61 dBc	-57 dBc	-55 dBc	-52 dBc
1 kHz	-100 dBc	-94 dBc	-88 dBc	-84 dBc	-82 dBc	-79 dBc
10 kHz	-108 dBc	-104 dBc	-98 dBc	-94 dBc	-92 dBc	-91 dBc
100 kHz	-108 dBc	-106 dBc	-100 dBc	-96 dBc	-94 dBc	-92 dBc
1 MHz	-118 dBc	-118 dBc	-112 dBc	-108 dBc	-106 dBc	-102 dBc

	R&S®FSP3	R&S®FSP7	R&S®FSP13	R&S®FSP30	R&S®FSP40
Sweep time					
Span $\geq 10 \text{ Hz}$	2.5 ms to 16000 s				
Max. deviation	1%				
Span 0 Hz	1 μs to 16000 s				
Resolution	125 ns				
FFT filter					
Bandwidths	1 Hz to 30 kHz (-3 dB) in 1, 3 sequence				
Bandwidth accuracy	5%, nominal				
Shape factor -60 dB:-3 dB	2.5:1 nominal				

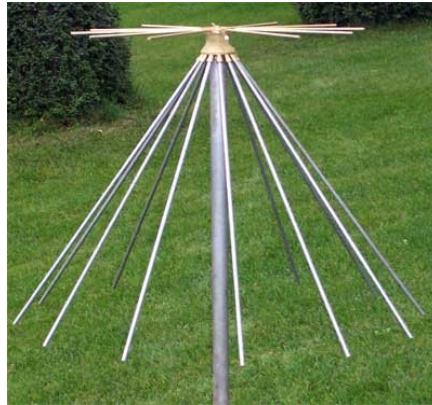
Maximum input level				
DC voltage	50 V		0 V	
RF attenuation 0 dB				
CW RF power	20 dBm			
Pulse spectral density	97 dB μ V (1 MHz)			
RF attenuation \geq10 dB				
CW RF power	30 dBm			
Max. pulse voltage	150 V	50 V		
Max. pulse energy (10 μ s)	1 mWs	0.5 mWs		
1 dB compression of input mixer				
0 dB RF attenuation, f > 200 MHz	0 dBm nominal			
Second harmonic intercept point (SHI)				
<100 MHz	typ. 25 dBm			
100 MHz to 1.5 GHz	typ. 35 dBm			
1.5 GHz to 7 GHz	–	typ. 80 dBm		
7 GHz to 13.6 GHz	–	–	typ. 80 dBm	
13.6 GHz to 30 GHz	–	–	–	typ. 80 dBm
30 GHz to 40 GHz	–	–	–	–
				typ. 80 dBm
Displayed average noise level				
(0 dB RF attenuation, RBW 10 Hz, VBW 1 Hz, 20 averages, trace average, span 0 Hz, termination 50 Ω)				

Level display	
Screen	501 × 400 pixels (one diagram), max. two diagrams with independent settings
Logarithmic level scale	10 dB to 200 dB, in steps of 10 dB
Linear level scale	10% of reference level per level division (10 divisions)
Traces	max. 3, with two diagrams on screen max. 3 per diagram
Trace detector	max peak, min peak, auto peak, sample, quasi-peak, average, RMS
Trace functions	clear/write, max. hold, min hold, average
Number of test points	501, selectable in steps of approx. factor 2, 125 to 8001
Setting range of reference level	
Logarithmic level display	-130 dBm to 30 dBm, in steps of 0.1 dB
Linear level display	70.71 nV to 7.07 V in steps of 1%
Units of level scale	dBm, dBmV, dBμV, dBμA, dBpW (log level display), mV, μV, mA, μA, pW, nW (linear level display)

Trigger functions			
Trigger			
Span ≥ 10 Hz			
Trigger source	free run, video, external, IF level		
Trigger offset	125 ns to 100 s, resolution 125 ns min. (or 1% of offset)		
Span = 0 Hz			
Trigger source	free run, video, external, IF level		
Trigger offset	± 125 ns to 100 s, min. resolution 125 ns, dependent on sweep time		
Max. deviation of trigger offset	$\pm(125 \text{ ns} + (0.1\% \times \text{delay time}))$		
Gated sweep			
Trigger source	external, IF level, video		
Gate delay	1 μ s to 100 s		
Gate length	125 ns to 100 s, min. resolution 125 ns or 1% of gate length		
Max. deviation of gate length	$\pm(125 \text{ ns} + (0.05\% \times \text{gate length}))$		
Inputs and outputs (front panel)			
RF input	N female, 50 Ω	test port system 50 Ω N female, 3.5 mm female ²¹	test port system 50 Ω N female, K female ²¹

ANEXO 3 EQUIPOS

ANTENAS



La serie JXTXPZ de la antena Discone es un tipo de antena de banda ancha omnidireccional linealmente polarizada. Esta antena está diseñada para transmitir y recibir señales. Su ganancia típica es de 1 dBi. Sobre la más grande dirección de radiación. Agregando un LNA, puede usarse como una antena activa, y la ganancia puede aumentarse hasta 10dBi, pero sólo puede ser antena receptora

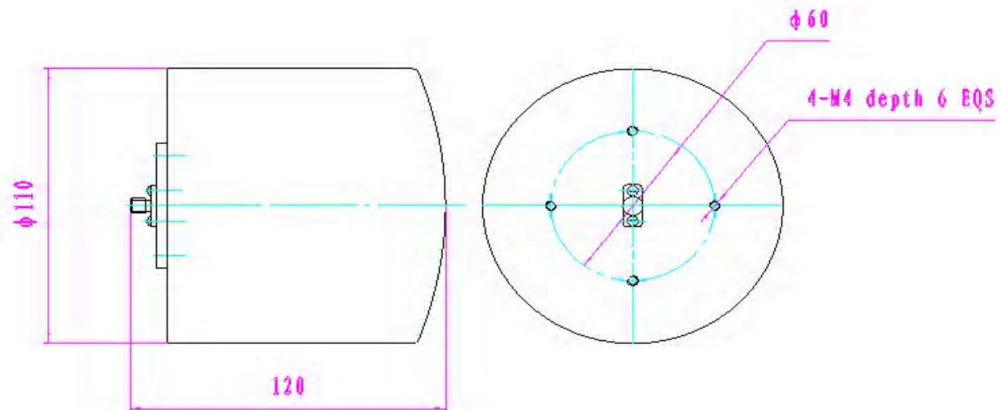


TEST REPORT
for
JTXPZ-100800/P

Technical Specification

Frequency Range	Polarization	VSWR(Typ.)	Connector	Size
1.0-8.0GHz	Vertical	2.5:1	SMA Type	Φ110 x 120mm

Outline Drawing

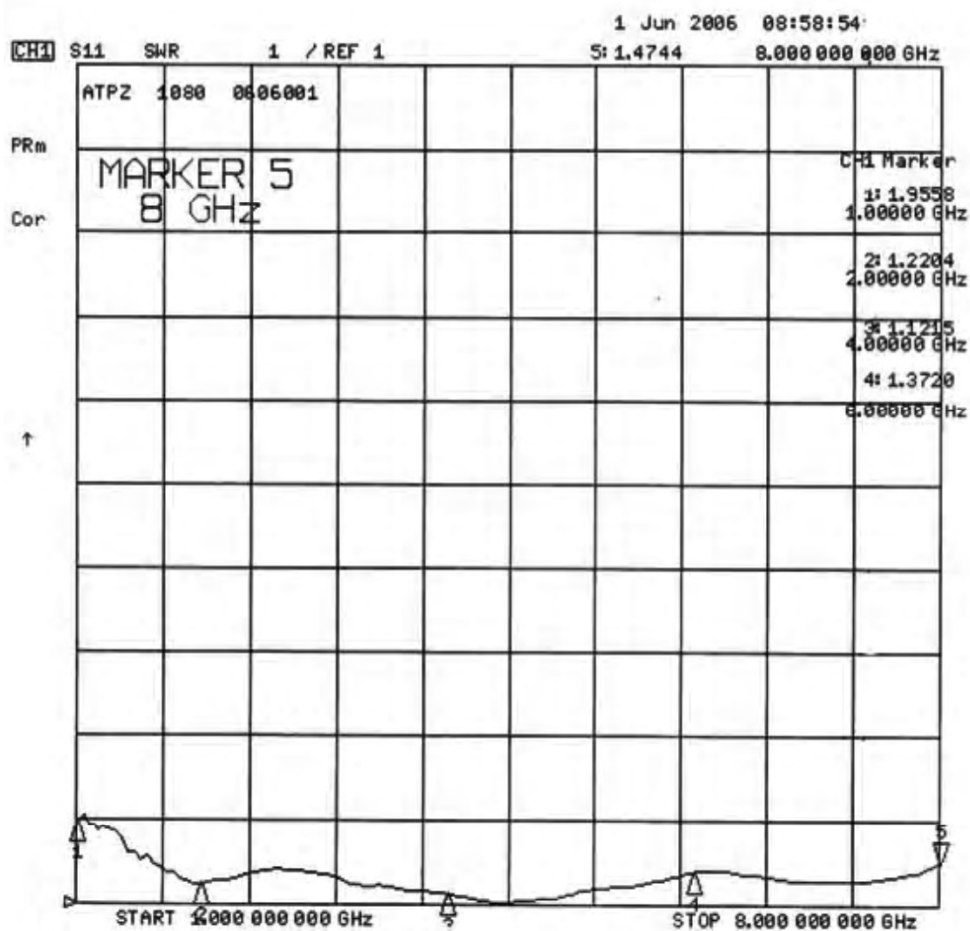


Test Instruments

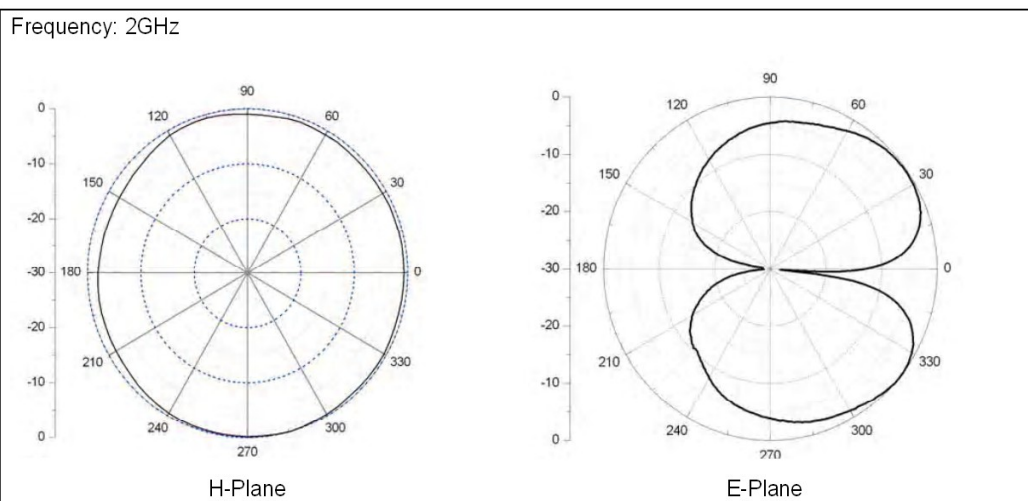
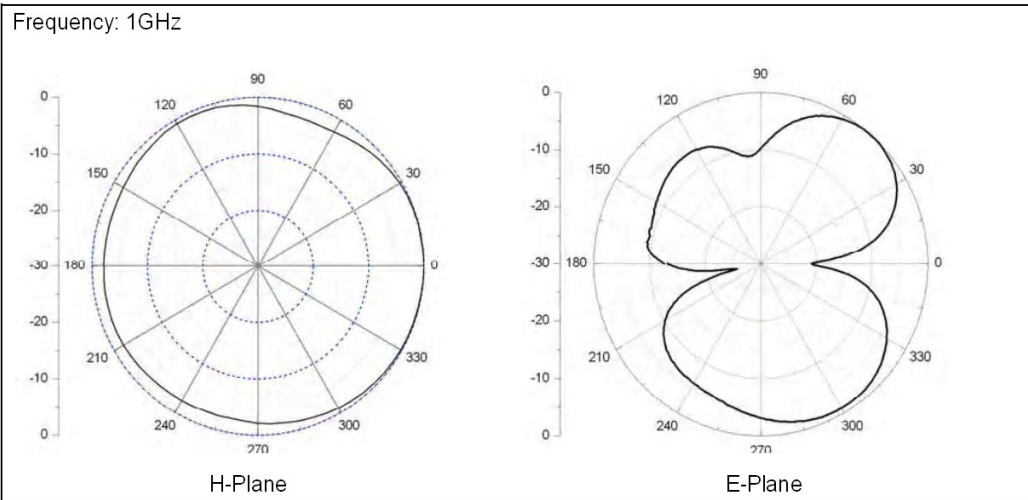
- AV1487B
- HP8592L
- HP8720D

Test Results

1. VSWR

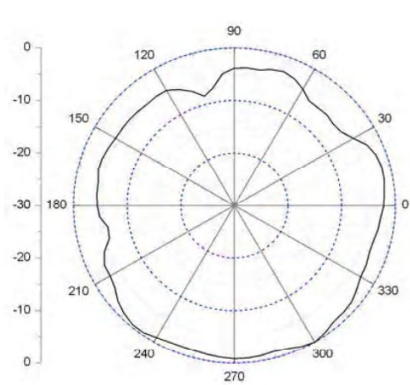


3. Pattern

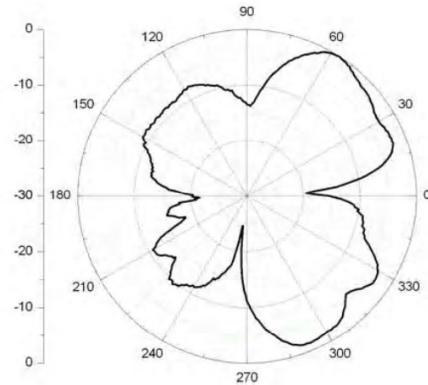


JTXPZ-100800/P
1.0~8.0GHz Disccone-type Antenna

Frequency: 4GHz

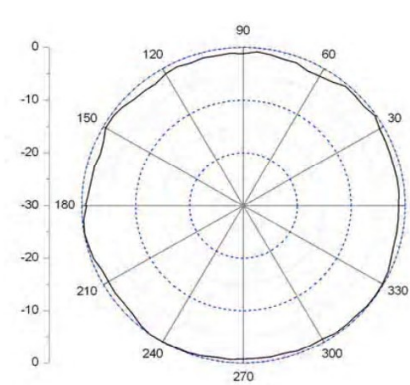


H-Plane

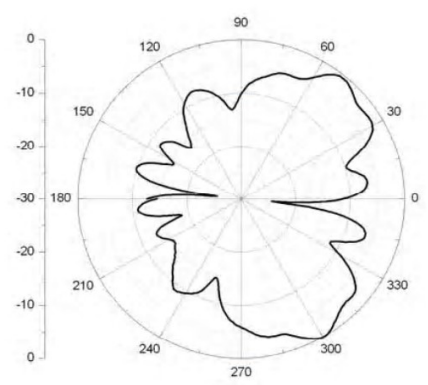


E-Plane

Frequency: 8GHz



H-Plane



E-Plane

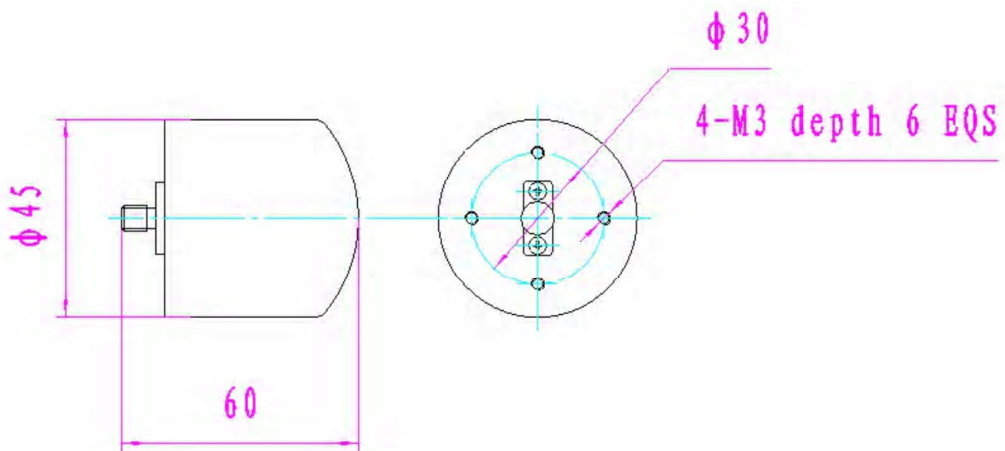


TEST REPORT
for
JTXPZ-8001800/P

Technical Specification

Frequency Range	Polarization	VSWR(Typ.)	Connector	Size
8.0-18.0GHz	Vertical	2.5:1	SMA Type	Φ45 x 60mm

Outline Drawing

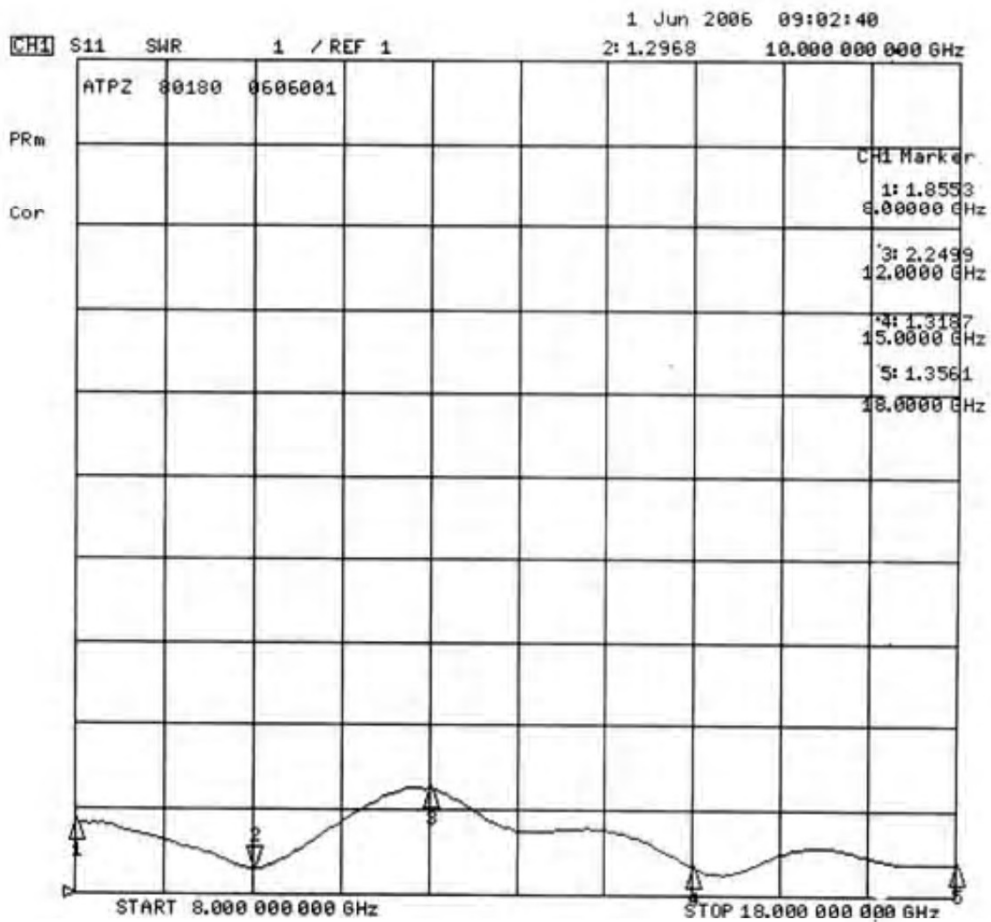


Test Instruments

- AV1487B
- HP8592L
- HP8720D

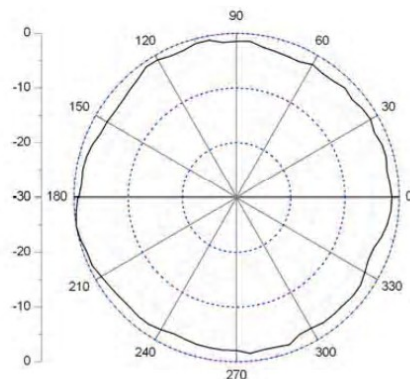
Test Results

1. VSWR



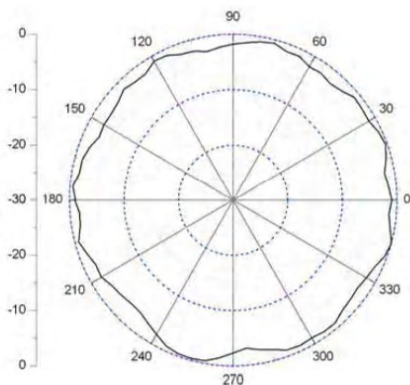
3. Pattern

Frequency: 8GHz



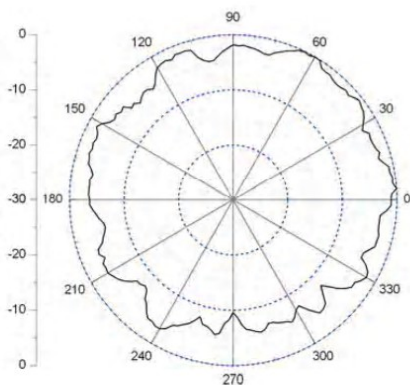
Azimuth

Frequency: 13GHz



Azimuth

Frequency: 18GHz



Azimuth

LNB



Digital Ku-Band DRO LNB 4000 Series

LNB

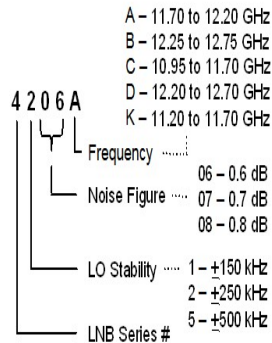


Norsat's 4000 Series LNB offers a built-in transmitter filter, and the best DRO Stability and Phase Noise in a compact package.

The 4000 Series is designed to provide higher performance for VSAT and select digital applications such as:

- Higher data rate digital video or commercial analog
- SCPC digital or analog audio applications
- Any SCPC data rate above 1 Mbps

How to Order a 4000 Series LNB



Ku DRO Series



Norsat Advantages

- Norsat LNBs are graded by Stability and Noise Figure to provide the perfect balance between performance and cost
- Compact to fit in smaller enclosures, reducing wind profile
- Proven reliability for lower lifetime costs
- Best DRO LO stability to control receiver drift and employ lower bit rates or narrower space segment
- Excellent Phase Noise to lower Carrier to Noise margins, improving BER
- Superior microphonics
- Built-in transmitter interference filter for compact installations and lower costs

Norsat Ku-Band DRO LNB Product Line

	7000	2000	4000
Noise Figure	0.6dB to 0.8 dB	0.7dB to 1.0 dB	0.6dB to 0.8 dB
Input VSWR	2.5:1	3.5:1	2.5:1
LO Stability	± 750 to ± 900 kHz	± 500 to ± 900 kHz	± 150 to ± 500 kHz
Phase Noise	-55dBc/Hz @ 1kHz	-55dBc/Hz @ 1kHz	-65dBc/Hz @ 1kHz

Norsat 4000 Series Specifications

Electrical Specifications

RF Input Frequency

- 4000A: 11.70 to 12.20 GHz
- 4000B: 12.25 to 12.75 GHz
- 4000C: 10.95 to 11.70 GHz
- 4000D: 12.20 to 12.70 GHz
- 4000K: 11.20 to 11.70 GHz

Input VSWR

- 2.5 : 1 maximum

IF Output Frequency

- 4000A: 950 to 1450 MHz
- 4000B: 950 to 1450 MHz
- 4000C: 950 to 1700 MHz
- 4000D: 950 to 1450 MHz
- 4000K: 950 to 1450 MHz

Output VSWR

- 2.5 : 1 maximum, 75 Ohms

Gain

- 55 dB minimum
- 65 dB maximum, 60 dB typical

Gain Stability

- 4 dB p-p maximum, 6 dB maximum over temperature and frequency

Gain Flatness

- 1 dB p-p maximum per 27 MHz segment

1 dB Gain Compression Point

- +8 dBm minimum

Noise Figure

- 0.6 to 0.8 dB depending on model number

Image Rejection

- 45 dB minimum

Transmitter interference rejection

- Gain: 1.0 dB max. change with -10 dBm input @ 14 GHz to 14.5 GHz
- NF: 0.2 dB max. change with -10 dBm input @ 14 GHz to 14.5 GHz

Local Oscillator Frequency

- 4000A: 10.75 GHz
- 4000B: 11.30 GHz
- 4000C: 10.00 GHz
- 4000D: 11.25 GHz
- 4000K: 10.25 GHz

Local Oscillator Stability

- ± 150 kHz to ± 500 kHz depending on model number

Local Oscillator Leakage

- -45 dBm maximum measured at waveguide input

Mechanical Specifications

Input Interface

- WR-75 Waterproof (Mated with matching flange and O-ring)

Output Interface

- F-Type, 75 Ohm Female Waterproof

Size

- 84 (L) x 41 (W) x 41 (H) mm
- 3.3 x 1.6 x 1.6 in

Weight

- 120g / 4.2 oz

Paint / Color

- White, Plastic Shell

Environmental Specifications

Operating Temperature

- -40 to +60 degrees Celsius

Thermal Gradient

- -40 degrees Celsius/Hour

Relative Humidity

- Up to 100% condensation and frost

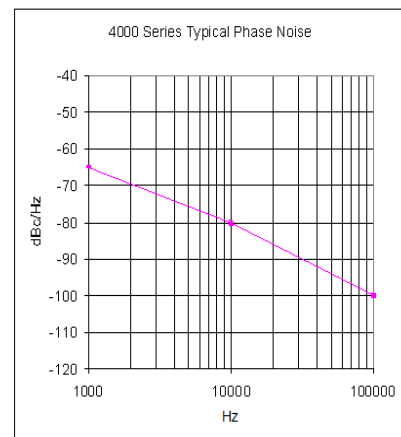
Power Requirements

Input DC Voltage

- +15 to +24 V supplied through center conductor of IF cable

Current Drain

- 120 mA maximum





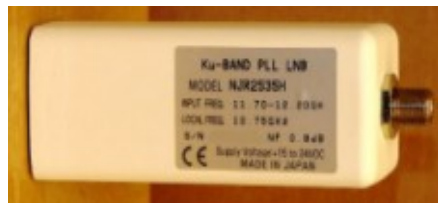
Ku band PLL LNB

Model No. NJR2535H

Model No. NJR2536H

Model No. NJR2537H

Specifications





ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

#	Item	Specification
2-1.	Input Frequency Band	11.70 to 12.20 GHz <Model No. NJR2535H> 12.25 to 12.75 GHz <Model No. NJR2536H> 10.95 to 11.70 GHz <Model No. NJR2537H>
2-2.	Input Waveguide Flange	WR 75
2-3.	Input V.S.W.R.	2.5 : 1 typ.
2-4.	Noise figure (Ta: +25 C)	0.8 dB typ. 1.2 dB max.
2-5.	Output Frequency	950 to 1,450 MHz <Model No. NJR2535H/36H> 950 to 1,700 MHz <Model No. NJR2537H>
2-6.	Conversion Gain (Ta: +25 C)	55 dB min. 60 dB typ.
2-7.	Conversion Gain Variation (Ta: +25 C)	2.0 dB max. in any 50 MHz segment over the frequency band.
2-8.	Output Power for 1 dB Gain Compression	0 dBm min.
2-9.	Intermodulation Products (3rd order Intermodulation rejection with two RF input carriers separated by 10 MHz, -10 dBm IF Output Power)	45 dBc min.
2-10.	Local Oscillator Leakage Levels	-25 dBm max. at the IF Output Connector. -60 dBm max. at the RF Input Flange.
2-11.	Local Oscillator Frequency Accuracy (Initial set and Temp.; -40 to +60 C)	10.75 GHz +/- 10 ppm <Model No. NJR2535H> 11.30 GHz +/- 10 ppm <Model No. NJR2536H> 10.00 GHz +/- 10 ppm <Model No. NJR2537H>
2-12.	Local Oscillator Frequency Accuracy (Aging ; 10 years and Temp.; -40 to +60 C) (Design condition)	10.75 GHz +/- 20 ppm <Model No. NJR2535H> 11.30 GHz +/- 20 ppm <Model No. NJR2536H> 10.00 GHz +/- 20 ppm <Model No. NJR2537H>
2-13.	Phase Noise (SSB)	-70 dBc/Hz at 100 Hz -80 dBc/Hz at 1 kHz
2-14.	Spurious	a) -140 dBm max. at input, fixed frequency spur, unrelated to test CW signal. (Measured at specified IF band ; 950 to 1,450 or 1,700 MHz) b) -50 dBc max. With test CW signal -10 dBm IF output (Measured at specified IF band ; 950 to 1,450 or 1,700 MHz)
2-15.	Image Rejection	45 dB min.
2-16.	Output V.S.W.R. (75 ohm)	2.3 : 1 max.
2-17.	Input Voltage	+15 to +24 VDC
2-18.	Current Drain	250 mA typ. 300 mA max.

ESPECIFICACIONES AMBIENTALES

#	Item	Specification
3-1.	Operating Temperature Range	-40 to +60 C
3-2.	Storage Temperature Range	-40 to +80 C
3-3.	Humidity	100 % Rh max.
3-4.	Vibration	5 G (f : 50 Hz, T : 5 min. Direction : X,Y,Z)
3-5.	Shock	15 G (Direction : X,Y,Z)

VALORACIÓN MÁXIMA ABSOLUTA

#	Item	Specification
4-1.	RF Input Power	-10 dBm (@ CW)
4-2.	Supply Voltage	+28 Vdc



Ku band PLL LNB

Model No. NJR2535S

Model No. NJR2536S

Model No. NJR2537S

Model No. NJR2539S

Specifications





ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

#	Item	Specification
2-1.	Input Frequency Band	11.70 to 12.20 GHz <Model No. NJR2535S> 12.25 to 12.75 GHz <Model No. NJR2536S> 10.95 to 11.70 GHz <Model No. NJR2537S> 11.20 to 11.70 GHz <Model No. NJR2539S>
2-2.	Input Waveguide Flange	WR 75
2-3.	Input V.S.W.R.	2.5 : 1 typ.
2-4.	Noise figure (Ta: +25 C)	0.8 dB typ. 1.2 dB max.
2-5.	Output Frequency	950 to 1,450 MHz <Model No. NJR2535S/36S/39S> 950 to 1,700 MHz <Model No. NJR2537S>
2-6.	Conversion Gain (Ta: +25 C)	55 dB min. 60 dB typ.
2-7.	Conversion Gain Variation (Ta: +25 C)	2.0 dB max. in any 50 MHz segment over the frequency band.
2-8.	Output Power for 1 dB Gain Compression	0 dBm min.
2-9.	Intermodulation Products (3rd order Intermodulation rejection with two RF input carriers separated by 10 MHz, -10 dBm IF Output Power)	45 dBc min
2-10.	Local Oscillator Leakage Levels	-25 dBm max. at the IF Output Connector. -60 dBm max. at the RF Input Flange.
2-11.	Local Oscillator Frequency Accuracy	<Model No. NJR2535S> 10.75GHz +/- 2.5 ppm (Temp.; -30 to +60 C) 10.75GHz +/- 3.0 ppm (Temp.; -40 to +60 C) <Model No. NJR2536S> 11.30 GHz +/- 2.5 ppm (Temp.; -30 to +60 C) 11.30 GHz +/- 3.0 ppm (Temp.; -40 to +60 C) <Model No. NJR2537S> 10.00 GHz +/- 2.5 ppm (Temp.; -30 to +60 C) 10.00 GHz +/- 3.0 ppm (Temp.; -40 to +60 C) <Model No. NJR2539S> 10.25 GHz +/- 2.5 ppm (Temp.; -30 to +60 C) 10.25 GHz +/- 3.0 ppm (Temp.; -40 to +60 C)
2-12.	Phase Noise (SSB)	-70 dBc/Hz at 100 Hz -80 dBc/Hz at 1 kHz

#	Item	Specification
2-13.	Spurious	a) -140 dBm max. at input. Fixed frequency spur. unrelated to test CW signal. (Measured at specified IF band : 950 to 1,450 or 1,700 MHz) b) -50 dBc max. With test CW signal -10 dBm IF output (Measured at specified IF band : 950 to 1,450 or 1,700 MHz)
2-14.	Image Rejection	45 dB min.
2-15.	Output V.S.W.R. (75 ohm)	2.3 : 1 max. <Model No. NJR2535S/36S/39S> 3.0 : 1 max.. <Model No. NJR2537S>
2-16.	Input Voltage	+15 to +24 V DC
2-17.	Current Drain	250 mA typ. 300 mA max.



VALORACIÓN MÁXIMA ABSOLUTA

#	Item	Specification
3-1.	Operating Temperature Range	-40 to +60 C
3-2.	Storage Temperature Range	-40 to +80 C
3-3.	Humidity	100 % Rh max.
3-4.	Vibration	5 G (f : 50 Hz, T : 5 min. Direction : X,Y,Z)
3-5.	Shock	15 G (Direction : X,Y,Z)

ESPECIFICACIONES AMBIENTALES

#	Item	Specification
4-1	RF Input Power	-10 dBm (@ CW)
4-2.	Supply Voltage	+28 Vdc

LNA (AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO)



LK-12000 Series

Ku-Band Low Noise Amplifiers

Introduction

MAXTECH LK-12000 series Ku-Band Ultra Low Noise Amplifiers are specially designed for satellite earth station and other telecommunications applications. Utilizing state-of-the-art HEMT and GaAs FET technology, these amplifiers have been designed for both fixed and transportable applications. High performance models are available with noise temperatures from 110 °K to 65 °K. All noise temperature specifications are guaranteed over the full bandwidth of the LNA and are verified by cold load testing.

Features

- Noise temperatures to 65 °K
- High Reliability HEMT design
- Input/output isolators
- Reverse polarity protection
- Overvoltage protection
- Wide operating temperature range, -40 °C to +70 °C

Options

- Custom frequency bands
- Redundant configurations (1:1, 1:2)
- Transmit reject filter
- AC power supply
- Form 'A' or Form 'C' alarm

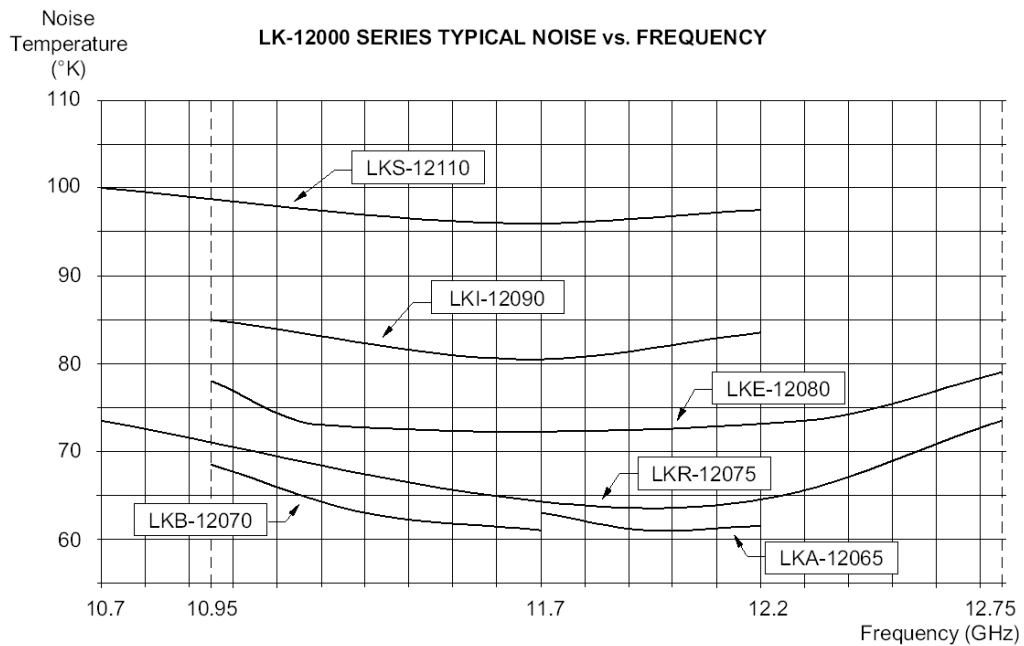


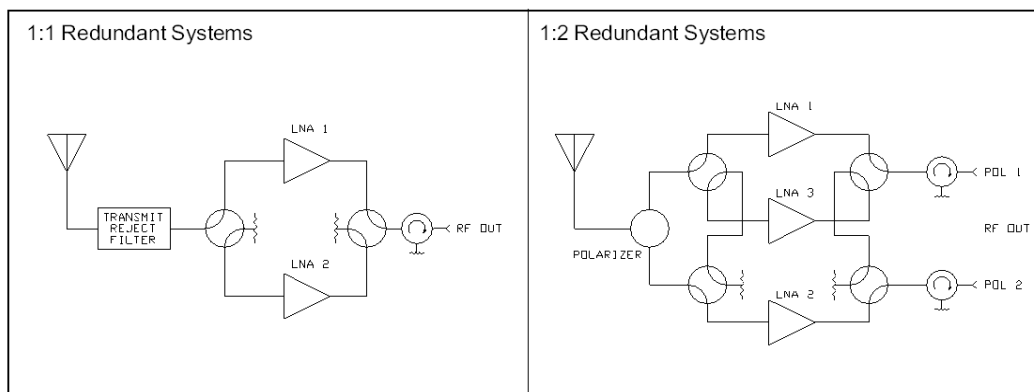
Table 1 — Part Number/Ordering Information

<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> LK -12 </div>										
<p>Frequency Range</p> <p>A = 11.70-12.20 GHz B = 10.95-11.70 GHz D = 12.20-12.75 GHz E = 10.95-12.75 GHz I = 10.95-12.20 GHz L = 11.70-12.75 GHz R = 10.70-12.75 GHz S = 10.70-12.20 GHz</p>	<p>Max. Noise Temperature</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">110 = 110 °K</td> <td style="width: 50%;">080 = 80 °K</td> </tr> <tr> <td>100 = 100 °K</td> <td>075 = 75 °K</td> </tr> <tr> <td>090 = 90 °K</td> <td>070 = 70 °K</td> </tr> <tr> <td>085 = 85 °K</td> <td>065 = 65 °K*</td> </tr> </table> <p><small>* Note: Consult factory for Band R.</small></p>	110 = 110 °K	080 = 80 °K	100 = 100 °K	075 = 75 °K	090 = 90 °K	070 = 70 °K	085 = 85 °K	065 = 65 °K*	<p>Options:</p> <p>/1 = 50 dB gain /2 = +20 dBm output /3 = 110 Vac, 47-63 Hz /4 = 220 Vac, 47-63 Hz /5 = Form 'A' alarm /6 = Form 'C' alarm /7 = Type N Female output connector /C = Custom Specifications</p>
110 = 110 °K	080 = 80 °K									
100 = 100 °K	075 = 75 °K									
090 = 90 °K	070 = 70 °K									
085 = 85 °K	065 = 65 °K*									

Table 2 — Noise Temperature vs. Ambient Temperature

<p>Noise temperature vs. ambient temperature can be found from the equation:</p>	$\frac{NT_2}{NT_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{1.8}$	<p>where NT_2 = Noise Temperature at T_2 NT_1 = Noise Temperature at T_1 T_2 = Temperature 2 in °K T_1 = Temperature 1 in °K (°K = °C + 273)</p>												
<p>For the case where $T_1 = 296$ °K (+23 °C), the ratio NT_2/NT_1 is shown in the table:</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Ambient Temperature T_2 (°C)</th> <th>Ratio NT_2/NT_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.86</td></tr> <tr><td>+23</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>+40</td><td>1.11</td></tr> <tr><td>+50</td><td>1.17</td></tr> <tr><td>+60</td><td>1.24</td></tr> </tbody> </table>	Ambient Temperature T_2 (°C)	Ratio NT_2/NT_1	0	0.86	+23	1.00	+40	1.11	+50	1.17	+60	1.24	<p>Example: For model LKE-12100, $NT_1 = 100$ °K at +23 °C; what is NT_2 at +50 °C?</p> <p>From the table, NT_2/NT_1 at 50 °C = 1.17: $NT_2 = 1.17 \times (100 \text{ °K}) = 117 \text{ °K}$ at 50 °C</p>
Ambient Temperature T_2 (°C)	Ratio NT_2/NT_1													
0	0.86													
+23	1.00													
+40	1.11													
+50	1.17													
+60	1.24													

Typical Applications



SPECIFICATIONS

LK-12000 Series

Parameter	Notes	Min	Nom./Typ. ^a	Max	Units
Frequency			See Table 1		
Gain	Standard	60	63	66	dB
	Option 1	50	53	56	dB
Gain Flatness	Full Band Per 40 MHz			±0.5	dB
				±0.2	dB
VSWR	Input		1.20	1.25	:1
	Output		1.20	1.50	:1
Noise Temperature ^b	At +23 °C Versus temperature		See Table 1 See Table 2		
Power Output at 1 dB compression	Standard	+12	+15		dBm
	Option 2	+20	+22		dBm
3rd Order Output Intercept Point	Standard	+22	+25		dBm
	Option 2	+30	+32		dBm
Group Delay per 40 MHz	Linear			0.01	ns/MHz
	Parabolic			0.001	ns/MHz ²
	Ripple			0.1	ns p-p
AM/PM Conversion	-5 dBm Output			0.05	°/dB
Gain Stability (Constant Temp)	Short Term (10 min)			±0.1	dB
	Medium Term (24 hrs)			±0.2	dB
	Long Term (1 week)			±0.5	dB
Gain Stability	Versus temperature		-0.04		dB per °C
Transmit Rejection	13.75-14.5 GHz	30			dB
Max. Input Power	Damage Threshold			0	dBm
	Desens. Threshold, 13.75-14.5 GHz			-20	dBm
Connectors	Input		WR75 Cover Flange		
	Output		SMA Female		
	Power, Standard ^c		MS3112E8-3P (mate supplied)		
Power Requirements	Voltage	11	15	24	V
	Current, Standard		140	180	mA
	Current, with Option 2		270	300	mA
	Current, with Opt. 5 or 6		Additional 30 mA		
Operating Temp.		-40		+70	°C
MTBF (MIL-HDBK-217F)	Ground fixed, +40 °C		130,000		hours

a When there is only one entry on a line, the Nom./Typ. column is a nominal value; otherwise it is a typical value. Typical values are intended to illustrate typical performance, but are not guaranteed.

b Maximum noise temperature at +23 °C at any frequency in the specified band.

c Power may be supplied either via the RF output connector (cable powered) or via the power connector, user choice.

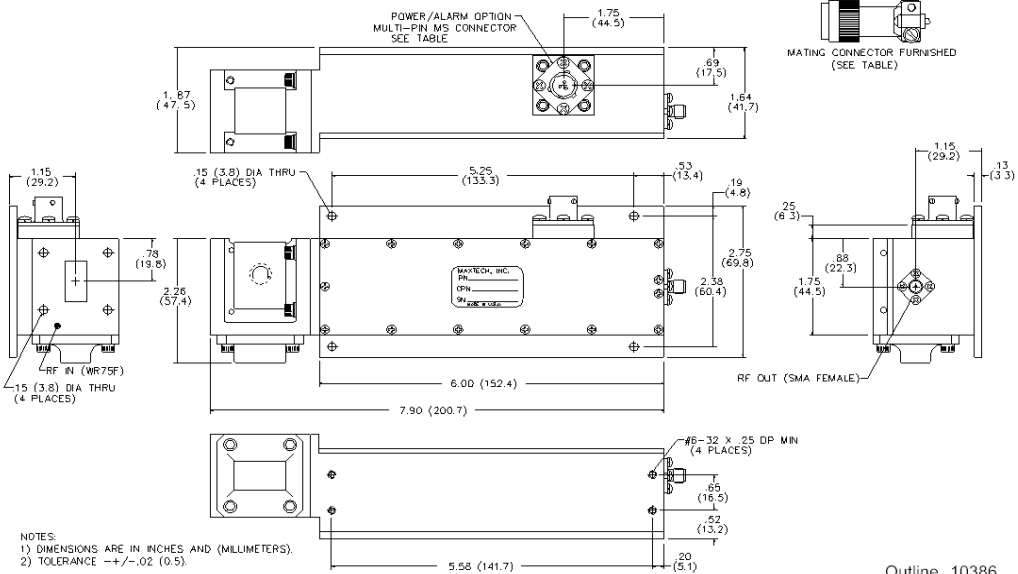
Specifications are subject to change at MAXTECH's discretion.

Outline Drawings

Standard Ku-Band LNA

POWER CONNECTOR OPTIONS

PIN	STANDARD LNA (3-PIN) MS3112E8-3P	FORM "A" ALARM (4-PIN) MS3112E8-4P	FORM "C" ALARM (6-PIN) MS3112E10-6P
A	+11 TO +24 Vdc	+11 TO +24 Vdc	+11 TO +24 Vdc
B	GROUND	GROUND	GROUND
C	GROUND	OPEN ON FAULT	OPEN ON FAULT
D	-	COMMON	COMMON
E	-	-	OPEN ON FAULT
F	-	-	CLOSED ON FAULT
MATING CONNECTOR (SUPPLIED)	MS3116F8-3S	MS3116F8-4S	MS3116F10-6S



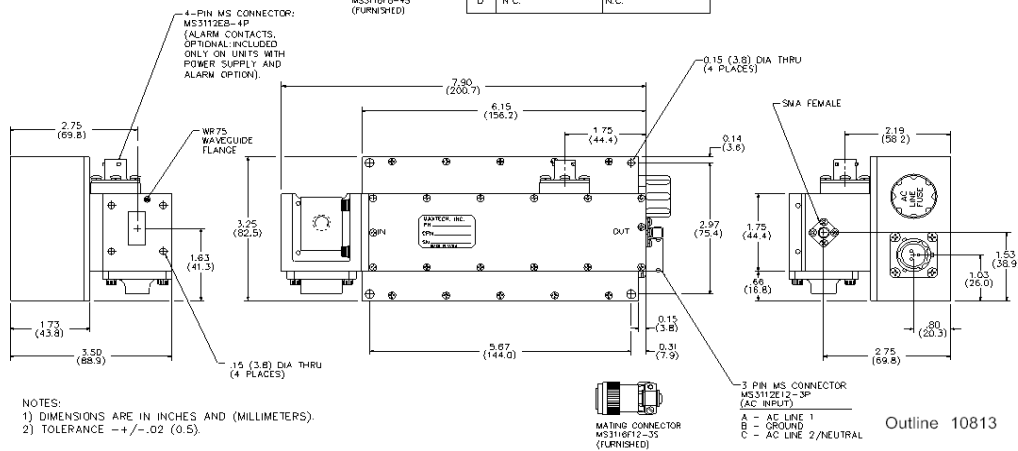
NOTES:
1) DIMENSIONS ARE IN INCHES AND (MILLIMETERS).
2) TOLERANCE \pm / - .02 (0.5).

Outline 10386

Ku-Band LNA with Power Supply



PIN	w/ FORM "A" ALARM	w/ FORM "C" ALARM
A	OPEN ON FAULT	OPEN ON FAULT
B	COMMON	COMMON
C	N.C.	CLOSED ON FAULT
D	N.C.	N.C.



NOTES:
1) DIMENSIONS ARE IN INCHES AND (MILLIMETERS).
2) TOLERANCE \pm / - .02 (0.5).

Outline 10813

MAXTECH, Inc.

A subsidiary of Vertex Communications Corporation

5908 Rev. G 1/4/99
Specifications are subject to change at Maxtech's discretion.

ANEXO 4
DATOS DE ENLACES

NOMBRE ESTACIÓN A	AZIMUT (°)	ANTENA				AZIMUT (°)	ANTENA				DISTANCIA DEL ENLACE (Km)	POTENCIA (W)	POLARIZACIÓN	FRECUENCIAS DE LOS ENLACES AUTORIZADOS	
		MARCA	MODELO	TIPO	DIÁMETRO (m)		MARCA	MODELO	TIPO	DIÁMETRO (m)				PRINCIPALES	
														TX (MHz)	RX (MHz)
CERRO AZUL	351,89	Andrew	Parabólica	HP	1,8	171,89	Andrew	Parabólica	HP	1,8	18,32	0,25	VERTICAL	,922,250	7.743,000
CERRO AZUL	216,13	Andrew	Parabólica	HP	2,0	36,13	Andrew	Parabólica	HP	2,0	45,48	0,25	VERTICAL	7.477,000	7.722,000
SABANA GRANDE	237,62	Andrew	Parabólica	HP	2,0	57,63	Andrew	Parabólica	HP	2,0	27,11	0,25	VERTICAL	7.694,000	7.449,000
BALLENITA	271,56	Andrew	Parabólica	HP	0,6	91,56	Andrew	Parabólica	HP	0,6	10,98	0,1	VERTICAL	7.418,500	7.257,500
ANIMAS	159,56	Andrew	Parabólica	HP	1,2	339,56	Andrew	Parabólica	HP	1,2	18,33	0,25	VERTICAL	7.715,000	7.470,000
CERRO DE HOJAS	296,55	Andrew	Parabólica	HP	1,2	116,55	Andrew	Parabólica	HP	1,2	15,21	0,25	VERTICAL	7.799,000	7.554,000
LOMA DE VIENTO	353,61	Andrew	Parabólica	HP	1,2	173,61	Andrew	Parabólica	HP	1,2	54,35	0,25	VERTICAL	7.480,500	7.725,500
MANTA	16,32	Andrew	Parabólica	HP	0,6	196,32	Andrew	Parabólica	HP	0,6	1,32	0,1	HORIZONTAL	14.753,000	15.243,000
MANTA 4	97,49	Andrew	Parabólica	HP	0,6	277,49	Andrew	Parabólica	HP	0,6	3,32	0,1	VERTICAL	15.271,000	14.851,000
MANTA	277,01	Andrew	Parabólica	HP	0,6	97,01	Andrew	Parabólica	HP	0,6	1,78	0,1	VERTICAL	14.907,000	15.327,000
CERRO DE HOJAS	98,04	Andrew	Parabólica	HP	1,2	81,96	Andrew	Parabólica	HP	1,2	10,58	0,25	VERTICAL	7.526,000	7.771,000
COROSO	119,21	Andrew	Parabólica	HP	1,2	-60,79	Andrew	Parabólica	HP	1,2	34,23	0,25	HORIZONTAL	7.317,000	7.156,000
COROSO	119,21	Andrew	Parabólica	HP	1,2	-60,79	Andrew	Parabólica	HP	1,2	34,23	0,25	HORIZONTAL	7.708,000	7.547,000
CAÑAR	318,1	Andrew	Parabólica	HP	1,2	289,98	Andrew	Parabólica	HP	1,2	10,82	0,2	HORIZONTAL	7.156,000	7.317,000