

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **DESARROLLO DE NORMA TÉCNICA PARA LOS ENLACES MICROONDAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL EXFILIAL CADAFE**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Dayana A., Goa H.  
para optar por el título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013.

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DESARROLLO DE NORMA TÉCNICA PARA LOS ENLACES MICROONDAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL**

Prof. Guía: Ing. Lorena Núñez.  
Tutor Industrial: Ing. Freddy Rodríguez.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Goa H., Dayana A.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2013

---

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 05 de junio de 2013

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller. Dayana A. Goa H., titulado:

**“DESARROLLO DE NORMA TECNICA PARA LOS ENLACES  
MICROONDAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE LA  
CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL – EXFILIAL CADAFE”**

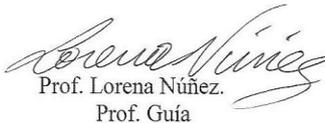
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Carlos Moreno  
Jurado



Prof. Gerlis Caropresse  
Jurado



Prof. Lorena Núñez.  
Prof. Guía

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, quien ha sido mi amiga, padre y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, Elba Hinojosa Ramos.....*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi madre, por su apoyo incondicional, por brindarme su sabiduría y ser la persona más especial en mi vida, por guiarme siempre por el camino correcto. A mi papa, al cual llevo en mi corazón y en mis pensamientos, y aunque no te encuentras físicamente conmigo, me acompañas día y noche....*

*A mis familiares, mi hermana del alma magda y mi bello diego por su gran cariño, a mi gran abuela Hinojosa con la cual tengo la dicha de compartir todos mis días y siempre me ha brindado su amor incondicional, a mi gran abuela Goa, que aunque no te encuentras presente te llevo en mi corazón y sé que deseaste en todo momento compartir esta etapa de mi vida conmigo. A Wilfredo el cual me ha brindado su amor y paciencia.... A mi bella tía Olga, gracias por siempre estar pendiente de mi a través de tus oraciones... Y a mi tío Héctor, por siempre brindarnos su ayuda incondicional a toda la familia Goa.....*

*A mí querida profe Lorena Núñez, por su gran apoyo, consejos, paciencia y guiarme por el camino correcto para la culminación de este trabajo de grado....*

*A Freddy Eduardo, por su excelente apoyo y colaboración como tutor industrial para el desarrollo de este trabajo....*

*A María Auxiliadora Rojas, por brindarnos su apoyo incondicional a todos por igual, por siempre tenernos presente y ser el alma no sólo de comunicaciones si no de la escuela....*

*También quiero expresar mi agradecimiento y cariño a una persona muy especial, Fer, por sentarte horas y horas a leer conmigo y por la ayuda incondicional que siempre me has brindado....*

*A mis bellas amigas Ana y Yela, por todos esos bellos momentos que he compartido con ustedes. ...*

*Quiero darles las gracias a un gran compañero de clase, Andrés y a su mamá, por la gran ayuda que me brindaron...*

*A los compañeros de clases y excelentes profesores que a lo largo de la carrera nos impartieron sus conocimientos y experiencias, a los nuevos compañeros profesionales, los cuales tuve la oportunidad de conocer en CORPOELEC, y sobre todo a Dios que me ha dado salud y ha hecho posible que pueda llevar a cabo este proyecto...*

*Quiero agradecer a todos con los que hoy en día tengo la dicha de poder compartir este logro... que me han dado su cariño y llevo en mi corazón...*

**Goa H., Dayana A.**

**DESARROLLO DE NORMA TÉCNICA PARA LOS ENLACES  
MICROONDAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES  
DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL.**

**Prof. Guía: Ing. Lorena Núñez. Tutor Industrial: Ing. Freddy Rodríguez.  
Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería  
Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. CORPORACIÓN  
ELÉCTRICA NACIONAL-CORPOELEC 110hs + anexos.**

**Palabras claves:** Norma Técnica para enlaces microondas, CORPOELEC, Enlaces Microondas con arquitectura Full Out-Door, Modulación Adaptativa, Diversidad de Espacio, Capacidad de transmisión Gigabit Ethernet, Sistema de Puesta a Tierra.

**Resumen.** En el presente trabajo se desarrolla una norma que provee una guía rápida y práctica para el diseño e implementación de los enlaces microondas que conectan el Sistema Eléctrico Nacional. La norma desarrollada abarca de forma general la ingeniería, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de todos los sistemas que conforman un enlace microondas, tales como: cableado, sistema de puesta a tierra, sistema de escalerilla portacables, torres de comunicaciones, alineamiento de las antenas y protocolos de prueba, ya que las características de todo el conjunto afectan el rendimiento total de la red. Adicionalmente se incluye en su desarrollo, elementos para la puesta en servicio del sistema, tales como: gabinetes, salas y casetas de comunicaciones, sistemas de alarma, etc. Todos estos parámetros mencionados anteriormente fueron basados en normas internacionales de los organismos reguladores de las Telecomunicaciones y del Sistema Eléctrico.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONSTANCIA DE APROBACIÓN</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xiii
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>CAPÍTULO I</b> .....	19
1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2 Justificación.....	21
1.3 Antecedentes del estudio.....	22
1.4 Alcance.....	25
1.5 Objetivos .....	25
1.5.1 Objetivo General .....	25
1.5.2 Objetivos específicos .....	25
<b>CAPÍTULO II</b> .....	27
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	27
2.1 Radioenlaces Microondas .....	27
2.2 Estructura General de un Radioenlace Microondas .....	27
2.2.1 Equipos.....	27
2.2.2 Protección: Elementos de Reserva .....	30
2.2.2.1 Modo no protegido.....	30
2.2.2.2 Modo Hot Stand By 1+1 .....	30
2.2.2.3 Diversidad .....	30
2.2.2.3.1 Diversidad de frecuencia.....	31
2.2.2.3.2 Diversidad de espacio .....	31
2.2.2.3.3 Diversidad cuádruple .....	32
2.3 Planes de frecuencia: Gama de operación de los enlaces microondas.....	33
2.4 Condiciones de diseño de un radioenlace microondas.....	35
2.4.1 Línea de vista y alcance del enlace .....	35

2.4.2	Potencia de Recepción .....	37
2.4.3	Sensibilidad del Receptor.....	38
2.4.4	Margen de Desvanecimiento.....	38
2.4.5	Pérdidas .....	39
2.4.5.1	Pérdidas por espacio libre .....	39
2.4.5.2	Atenuación debida a los gases atmosféricos .....	41
2.4.5.3	Pérdidas por desvanecimiento.....	41
2.4.5.4	Pérdidas por difracción .....	42
2.4.5.5	Cálculo de la altura mínima de las antenas .....	42
2.5	Calidad de un radioenlace .....	44
2.5.1	Disponibilidad .....	45
2.5.2	Indisponibilidad .....	45
2.5.3	Polarización cruzada .....	46
2.5.4	Modulación Dinámica Adaptativa .....	48
2.6	Requerimientos para la instalación de un enlace microondas.....	49
2.6.1	Cableado.....	49
2.6.1.1	Cableado de alimentación DC.....	49
2.6.1.2	Cableado de líneas de antena/transmisión.....	49
2.6.1.2.1	UTP .....	49
2.6.1.2.2	STP.....	50
2.6.1.2.3	Fibra óptica.....	51
2.6.1.2.3.1	Fibra óptica Multimodo.....	52
2.6.1.2.3.2	Fibra óptica Monomodo.....	52
2.6.1.3	Guía de Onda.....	52
2.6.1.4	Conductor de Puesta a tierra .....	53
2.6.2	Sistema de Escalerilla Portacables .....	53
2.6.3	Sistema de Puesta a Tierra .....	54
2.6.4	Estimación de la Resistividad del Suelo .....	55
2.6.4.1	Métodos de Medición.....	56
2.6.4.1.1	Método de Prueba de 4 puntas .....	56
2.6.4.1.2	Método de caída de voltaje .....	57
2.6.5	Torres de comunicaciones.....	59
2.5.4.1	Torres Auto-soportadas para microondas .....	60
2.6.7	Casetas y salas de comunicaciones .....	60
2.7	Alineamiento de las antenas, protocolos de prueba y puesta en marcha ....	61
2.7.1	Alineamiento de las antenas.....	61

2.7.2	Protocolos de prueba para redes ETHERNET .....	62
2.7.2.1	Rendimiento .....	64
2.7.2.2	Pérdidas de Tramas .....	64
2.7.2.3	Estado Latente (tiempo de ida y retorno del paquete).....	65
2.7.2.4	Jitter.....	65
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>66</b>
<b>3. DESARROLLO DE LA NORMA</b>	.....	<b>66</b>
3.1	Documentación, análisis y depuración del material documentado .....	66
3.2	Redacción de Manual de herramienta de simulación PATHLOSS 4.0. ....	67
3.3	Redacción de la norma técnica.....	67
3.3.1	Condiciones específicas .....	68
3.3.2	Condiciones de diseño.....	69
3.3.3	Calidad de los enlaces microondas .....	69
3.3.4	Confiabilidad y protección .....	71
3.3.5	Gama de frecuencias de operación de los enlaces de microondas .....	72
3.3.6	Arquitectura a utilizar para los enlaces microondas .....	72
3.3.6.1	Arquitectura Full In-Door .....	72
3.3.6.2	Arquitectura Split Mount .....	73
3.3.6.3	Arquitectura Full Out-Door .....	74
3.3.7	Ingeniería y supervisión .....	78
3.3.7.1	Permisos .....	78
3.3.7.2	Site Survey Sitio.....	79
3.3.7.3	Site Survey Enlace .....	83
3.3.7.4	Estudio de Espectrometría .....	84
3.3.7.5	Selección del Sitio.....	85
3.3.8	Instalación .....	86
3.3.8.1	Cableado.....	86
3.3.8.1.1	Cableado de Alimentación .....	86
3.3.8.1.2	Cableado de Antena/Transmisión .....	87
3.3.8.1.3	Guía de onda .....	88
3.3.8.1.4	Conductor de Aterramiento.....	88
3.3.8.2	Sistema de Escalerilla Portacables .....	89
3.3.8.3	Sistema de Aterramiento .....	90
3.3.8.4	Torre de Comunicaciones .....	91
3.3.8.5	Instalación de casetas y salas de comunicaciones.....	94
3.3.9	Alineamiento de antenas, protocolos de prueba y puesta en marcha... ..	95

3.3.9.1 Alineamiento de las antenas.....	95
3.3.9.2 Protocolos de prueba en redes ETHERNET .....	96
3.3.10 Mantenimiento General.....	97
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>98</b>
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>100</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO: NORMA TÉCNICA PARA LOS ENLACES MICROONDAS DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL EX FILIAL CADAFE.</b>	<b>110</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura General de un Radioenlace Microondas .....	28
Figura 2: Antenas para Microondas. ....	29
Figura 3: Antenas para Microondas .....	29
Figura 4: Banda de frecuencia 7,125 a 7,425 GHz de Conatel .....	34
Figura 5: Distancia óptica de un enlace microondas.....	36
Figura 6: Alcance de un radioenlace microondas .....	37
Figura 7: Primera zona de Fresnel .....	43
Figura 8: Polarización cruzada.....	47
Figura 9: Modulación Dinámica Adaptativa.....	48
Figura 10: Cable UTP .....	50
Figura 11: Cableado STP .....	51
Figura 12: Guía de ondas para microondas.....	53
Figura 13: Método de prueba de las 4 puntas .....	56
Figura 14: Prueba de caída de voltaje .....	57
Figura 15: Prueba de caída de potencial .....	58
Figura 16: Curva de perfil de la resistencia .....	59
Figura 17: Tipos de torres autosoportadas .....	60
Figura 18: Relación del Voltaje RSSI y voltaje RSL.....	61
Figura 19: Cable para alineamiento de antenas.....	62
Figura 20: RFC 2544 simétrico.....	63
Figura 21: RFC 2544 asimétrico .....	64
Figura 22: Pérdida de Tramas .....	65
Figura 23 Arquitectura Full In-Door.....	73
Figura 24: Arquitectura Split Mount.....	74
Figura 25: Arquitectura Full Out-Door .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información General .....	80
Tabla 2: Tabla Site Survey Enlace .....	84

## ACRÓNIMOS

<b>ADSS</b>	All Dielectrics Self Supporting. Cable óptico Auto-sustentado Dieléctrico.
<b>ANSI</b>	American Standards Institute. Instituto Nacional Estadunidense de Estándares.
<b>CADAFE</b>	Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico
<b>CEN</b>	Código Eléctrico Nacional
<b>CIR</b>	Committed Information Rate. Tasa de Error Comprometida
<b>CONATEL</b>	Comisión Nacional de Telecomunicaciones
<b>CORPOELEC</b>	Corporación Eléctrica Nacional
<b>CUNABAF</b>	Cuadro Nacional de Asignación de Bandas de Frecuencias
<b>dB</b>	Decibelio
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>dBd</b>	Decibelios referentes a un dipolo
<b>dB<sub>i</sub></b>	Decibelio Isótropo
<b>dB<sub>m</sub></b>	Decibelio con referencia a 1Mw
<b>EDC</b>	Electricidad de Caracas
<b>EDELCA</b>	Electrificación del Caroní

<b>ENAGER</b>	Empresa Nacional de Generación
<b>ENELBAR</b>	Energía Eléctrica de Barquisimeto
<b>ENELCO</b>	Energía Eléctrica de la Costa Oriental del Lago
<b>ENELVEN</b>	Energía Eléctrica de Venezuela
<b>FODU</b>	Unidad Full Outdoor
<b>Gbps</b>	Giga Bits por Segundo
<b>GHz</b>	Giga Hertz
<b>INU/IDU</b>	Unidad Interna
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos
<b>IP</b>	Protocolo de Internet
<b>LDV</b>	Línea de Vista
<b>MSNM</b>	Metros Sobre el Nivel del Mar
<b>OPGW</b>	Optical Ground Wire. Cable de Guarda con Fibra Óptica
<b>SENECA</b>	Sistema Eléctrico del Estado Nueva Esparta
<b>TIA</b>	Telecommunication Industries Association. Asociación de la Industria de Telecomunicaciones
<b>UIT</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>UIT-R P.310-9</b>	Definición de términos relativos a la propagación en medios no ionizados.

<b>UIT-R P.525-2</b>	Recomendación de La UIT para el cálculo de la atenuación por espacio libre
<b>UIT-R P.530-12</b>	Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa
<b>UIT-R P.676</b>	Atenuación debida a los gases atmosféricos

## INTRODUCCIÓN

EL 31 de julio de 2007 en el marco de la reorganización del sector eléctrico nacional y con la finalidad de mejorar la calidad del servicio en todo el país, maximizar la eficiencia en el uso de las fuentes primarias de producción de energía, la operación del sistema y redistribuir las cargas y funciones de las actuales operadoras del sector, se crea por el Ejecutivo Nacional, La Corporación Eléctrica Nacional-CORPOELEC.

CORPOELEC es una empresa operadora estatal adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía, encargada de la realización de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de potencia y energía eléctrica. Se encuentra conformada por las siguientes empresas: EDELCA, ENELVEN, ENAGER, CADAPE, ENELCO, ENELBAR, SENECA y La EDC.  
[1]

El área encargada del desarrollo de normas, ejecución de obras, inspecciones e implementación de los sistemas de comunicaciones, es la Unidad de Ingeniería en Telecomunicaciones, la cual ha detectado, que en el país han aumentado las fallas del Sistema Eléctrico. Una de las causas, es debido al vencimiento de la vida útil de los equipos de comunicaciones, ya que actualmente los equipos operativos han funcionado por más de 40 años y se encuentran presentando un bajo desempeño.

La Corporación Eléctrica Nacional, cuenta con nueve (9) Centros de Despachos Regionales ubicados en Porlamar, Barcelona, Ciudad Guayana, Valera, Caujarito, Barquisimeto y Caracas, los cuales coordinan las actividades a realizar en cada una de subestaciones de la Red Eléctrica Nacional, con el fin de evitar operaciones no deseadas que pongan en peligro la estabilidad del sistema y permitir la rápida normalización del mismo en casos de contingencias. De allí la importancia de comunicar a los despachos, los cuales se encargan de la medición

y tele-gestión de las subestaciones eléctricas de la red troncal de transmisión a través de los sistemas de comunicaciones. Estas operaciones actualmente se llevan a cabo a través de las líneas de alta tensión, con equipos de comunicaciones de alta frecuencia y fibra óptica con diferentes tecnologías de comunicaciones, usando los sistemas microondas y de onda portadora digital como sistema de respaldo a la fibra óptica instalada.

Para ofrecer un sistema de comunicaciones de calidad que permita el correcto funcionamiento de la Red Eléctrica en el país, es necesario que existan pasos estandarizados que cumplan con los organismos regulatorios internacionales. Este proyecto tiene como meta la creación de una norma técnica a ser implementada con el fin de llevar a cabo el diseño, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de los enlaces microondas que conectan el Sistema Eléctrico Nacional.

El documento a presentar a continuación está compuesto por 5 capítulos. En el capítulo 1 se establecen los objetivos y la problemática que motivó el desarrollo de este trabajo. En el capítulo 2 se desarrollan los conocimientos previos necesarios para la comprensión del proyecto. En el capítulo 3 se desarrolla el procedimiento metodológico que establece las premisas y pautas a tomar en cuenta en el diseño de la presente norma, la cual posteriormente se anexa al presente trabajo.

# CAPÍTULO I

## 1.1 Planteamiento del problema

La Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) cuenta con una red de fibra óptica a nivel nacional de aproximadamente 11.000 Kilómetros, logrando comunicar plantas generadoras, subestaciones de transmisión, subestaciones de distribución y oficinas administrativas para el intercambio de señales de tele-protección, voz y datos.

La fibra óptica de cable de guarda OPGW, se encuentra instalada en líneas de transmisión y fibra óptica auto-sustentada dieléctrica ADSS, se encuentra en las líneas de distribución.

Como suele suceder, la fibra óptica OPGW que va en las líneas de transmisión y el cable de fibra óptica ADSS que va en las líneas de distribución, sufren daños por diferentes causas, por ejemplo: vandalismo, accidentes, la quema del monte, entre otros, trayendo como consecuencia pérdida en el intercambio de las comunicaciones.

Es por esto, que la Unidad de Ingeniería de Telecomunicaciones de CORPOELEC, utiliza el sistema de microondas y de onda portadora digital como respaldo a la red de fibra óptica, a fin de brindar un servicio más eficiente y ofrecer así un sistema de transmisión de energía eléctrica de alta calidad y confiabilidad.

CORPOELEC cuenta a nivel nacional con una gran cantidad de estaciones repetidoras de comunicaciones, las cuales actúan como nodos de interconexión entre subestaciones, plantas generadoras y oficinas administrativas.

Está previsto que las estaciones repetidoras transmitan señales de:

- Supervisión y control del Sistema de la Red Eléctrica de CADAFE a nivel nacional.
- Comunicaciones internas entre las subestaciones, plantas generadoras, estaciones repetidoras y oficinas administrativas.
- Transmisión de señales de tele-protección y monitoreo en los procesos primordiales y en la distribución de energía a nivel de la Región Nacional.
- Interconexión con la Red de Fibra Óptica de CORPOELEC.
- Interconexión WAN de redes de datos Ethernet o Intranet de las diferentes dependencias de CORPOELEC para los sitios en consideración.
- Comunicación de voz entre las estaciones terminales y repetidoras en la coordinación de labores de control, operación y mantenimiento del Sistema Eléctrico de CORPOELEC en el territorio nacional.

La CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL se encuentra conformada por diferentes ex filiales, por lo que surge la importancia de que existan pasos estandarizados a fin de llevar a cabo la instalación de los sistemas de comunicaciones que conforman la Red Eléctrica Nacional de la misma forma y bajo las mismas especificaciones.

En base a lo antes expuesto, se pretende obtener la información necesaria para el despliegue satisfactorio en la implementación de los enlaces microondas que conforman los sistemas de comunicaciones en la Red Eléctrica Nacional

mediante el desarrollo de una Norma Técnica, la cual será una Norma de Telecomunicaciones a implementar por la Unidad de Ingeniería en Telecomunicaciones de CORPOELEC-Ex filial CADAFE y se espera sea desarrollada e igualmente implementada por todas las empresas que hoy en día conforma La Corporación Eléctrica Nacional, de manera de poder ofrecer un servicio eléctrico de vanguardia y eficacia a todo el País, contando además con el personal técnico adecuado para el desarrollo y aplicación de la norma. Se pretende, que la norma a diseñar, se convierta en modelo a seguir para el resto de los sistemas de comunicaciones de CORPOELEC, como los casos de fibra óptica, onda portadora, entre otros.

## **1.2 Justificación**

La Corporación Eléctrica Nacional cuenta con diversos centros de despachos los cuales coordinan las actividades a realizar en cada una de las subestaciones de la Red Eléctrica Nacional, por ello la importancia de conectarlas con los despachos mediante los sistemas de comunicaciones. Estas operaciones actualmente se llevan a cabo a través de las líneas de alta tensión, con equipos de comunicaciones de alta frecuencia y fibra óptica, utilizando diferentes tecnologías de comunicaciones como sistemas de respaldo.

Los sistemas de comunicaciones implementados en la Red Eléctrica Nacional juegan un papel muy importante ya que a través de ellos se transmiten señales de tele-protección, de datos y de voz, las cuáles serán transmitidas desde las subestaciones, plantas generadoras y oficinas administrativas hacia los Despachos de Carga ubicados en el interior del país, encargándose de la medición y tele-gestión de las subestaciones eléctricas de la red troncal de transmisión

A pesar, de que la empresa aplica mayormente el sistema de onda portadora como sistema de respaldo, ésta también presenta desventajas, como por ejemplo: el rango de frecuencia en la cual trabaja (50kHz a 500kHz), presenta indisponibilidad de pares de frecuencia debido al colapso que existe actualmente

en el país del espectro radioeléctrico, además de las trampas de ondas que tienen más de 30 años en funcionamiento lo cual afecta a los sistemas de acoplamiento de la onda portadora, por ello la instalación de los sistemas microondas eficaces, que funcionen como sistema de respaldo se ha convertido en principal importancia para CORPOELEC debido a la importancia que representa el constante suministro de la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Por este motivo se consideró la importancia de crear una norma técnica para los enlaces microondas que conectan al Sistema Eléctrico Nacional, a fin de cumplir con los organismos regulatorios tanto nacionales como internacional, garantizando así que los Sistemas Microondas implementados por CORPOELEC brinden una solución a los problemas de comunicaciones que existen hoy en día en el sistema eléctrico del País.

### **1.3 Antecedentes del estudio**

La Unidad de Desarrollo de la Organización de Normas Administrativas y Normas Técnicas de CORPOELEC actualmente no cuenta con normas de telecomunicaciones de la Corporación Eléctrica Nacional, donde la Unidad de Ingeniería de Telecomunicaciones requiere del diseño de una norma técnica para los enlaces microondas de los sistemas de comunicaciones a implementar por la EX FILIAL CADAFE.

Hoy en día existe una gran diversidad de organismos internacionales encargados de desarrollar documentos técnicos, establecer normas y procedimientos para el correcto funcionamiento de los sistemas de comunicaciones y del sistema eléctrico, entre las cuales se pueden mencionar:

- Comité de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones. (CODELECTRA)

El 19 de Mayo de 1967, representantes de entidades oficiales y privadas pertenecientes al sector eléctrico del país, fundan CODELECTRA. Desde sus inicios su misión se ha enfocado en la coordinación, ejecución, actualización y publicación de los procesos de normalización y certificación de productos, proyectos, instalaciones y servicios en el área de electricidad, electrónica y telecomunicaciones del país.

Debido a la importancia de mejorar cada día la calidad de las instalaciones eléctricas, surge por parte de CODELECTRA, la elaboración de un código que establezca las reglas de observancia mínima para la instalación segura de conductores y equipos, lo cual se resume en la Norma Venezolana llamada Código Eléctrico Nacional (CEN), la cual es una de las publicaciones de mayor divulgación que se realiza en CODELECTRA.

- Código Eléctrico Nacional (CEN)

El Código Eléctrico Nacional (CEN), es una norma Venezolana la cual estandariza los requisitos que se deben de cumplir para la protección, funcionamiento y calidad de las instalaciones eléctrica del país, busca la protección y cuidado tanto de las personas como de obras civiles de los peligros que implica la electricidad.

- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones es el organismo especializado de Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. Está integrado por tres sectores o comités:

- UIT-T: Es el sector de Normalización de las Telecomunicaciones encargado de estudiar los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios, y publica normativas sobre los mismos, con vista a la normalización de las telecomunicaciones a nivel mundial.
  - UIT-R: Es el Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones encargado de la promulgación de los estándares de comunicaciones que utilizan el espectro electromagnético, como la radio, televisión UHF/VHF, microondas, comunicaciones por satélite, etc.
  - UIT-D: Es el Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT encargado de la organización, coordinación técnica y actividades de asistencia.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

El Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE), es una sociedad fundada en 1884 y establecida en los Estados Unidos que desarrolla estándares para las industrias eléctricas y electrónicas, particularmente en el área de redes de datos.

- International Organization for Standardization (ISO)

La Organización Internacional de Estándares (ISO), es una organización no gubernamental establecida en 1947, tiene representantes de organizaciones importantes de estándares alrededor del mundo y actualmente conglomerada a más de 100 países. La misión de la ISO es la de promover el desarrollo de la estandarización y actividades relacionadas con el propósito de facilitar el intercambio internacional de bienes y servicios para desarrollar la cooperación en la esfera de la actividad intelectual, científica, tecnológica y económica.

## 1.4 Alcance

El trabajo estará delimitado y se regirá según las especificaciones exigidas por la Gerencia de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Corporación Eléctrica nacional, específicamente la EX FILIAL CADAFE. La norma comprende los requisitos mínimos a seguir para el correcta estudio, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de los enlaces microondas de LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL, de manera de garantizar una alta calidad y estandarizar el funcionamiento de dicho sistema.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Desarrollar una norma técnica para los enlaces microondas de los sistemas de comunicaciones de la corporación eléctrica nacional – EX FILIAL CADAFE.

### 1.5.2 Objetivos específicos

- Describir según CORPOELEC las prioridades de los servicios de comunicaciones a transmitir.
- Definir los tipos de modulación, capacidades de transmisión, tipos de protección, arquitecturas e interfaces, de acuerdo a las características de los enlaces microondas a implementar.
- Identificar las características deseadas de los elementos a implementar en los enlaces microondas, entre ellos: rango de frecuencias de operación, tipo y modelo de antena, tipo y modelo de la torre de comunicación, cableado, dimensiones de los gabinetes o racks a instalar en las salas de comunicaciones y los requerimientos mínimos de aterramiento de las torres, casetas de comunicaciones en las repetidoras y salas de comunicaciones en las subestaciones y plantas.

- Generar un manual que permita al personal de CORPOELEC realizar los estudios de línea de vista directa, cálculos de propagación y comportamiento de los enlaces, a través de la herramienta de simulación PATHLOOS 4.0.
- Desarrollar pautas de mantenimiento a efectuar por el personal técnico de CORPOELEC, para el correcto funcionamiento de los equipos a implementar.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Radioenlaces Microondas**

Un radioenlace microondas es cualquier interconexión entre dos terminales de telecomunicaciones a través de ondas radioeléctricas. El nombre de microondas proviene del tamaño de la longitud de onda que se transmite, la cual es muy pequeña (milimétricas o micrométricas), como resultado de dividir la velocidad de la luz ( $3 \cdot 10^8$  m/seg) entre la frecuencia de operación de las microondas (3 GHz- 300GHz). La UIT define las ondas radioeléctricas como las ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial.

Cuando los terminales son fijos, se habla de radioenlaces del servicio fijo. Si algún terminal es móvil, se engloba al radioenlace dentro del amplio concepto de Sistemas Móviles. Si todos los terminales están en la Tierra, se califican los radioenlaces como radioenlaces terrenales, reservándose el término radioenlace espacial o por satélite cuando en el enlace intervienen uno o más repetidores situados a bordo de un satélite. [2]

Los sistemas de microondas actualmente representan una solución a los problemas de transmisión de datos, sin importar cuales sean sus aplicaciones.

#### **2.2 Estructura General de un Radioenlace Microondas**

##### **2.2.1 Equipos**

Un radioenlace está constituido por estaciones terminales y estaciones repetidoras intermedias en sus equipos transceptores (transmisores y receptores), antenas y elementos de supervisión y control. [2]

El transmisor es el encargado de adecuar la señal que contiene a la información a través de técnicas de modulación digital, de tal manera que pueda ser adecuada para su transmisión. El canal aéreo representa el camino abierto entre el transmisor y receptor. El receptor captura la señal y la convierte de nuevo a la señal original.

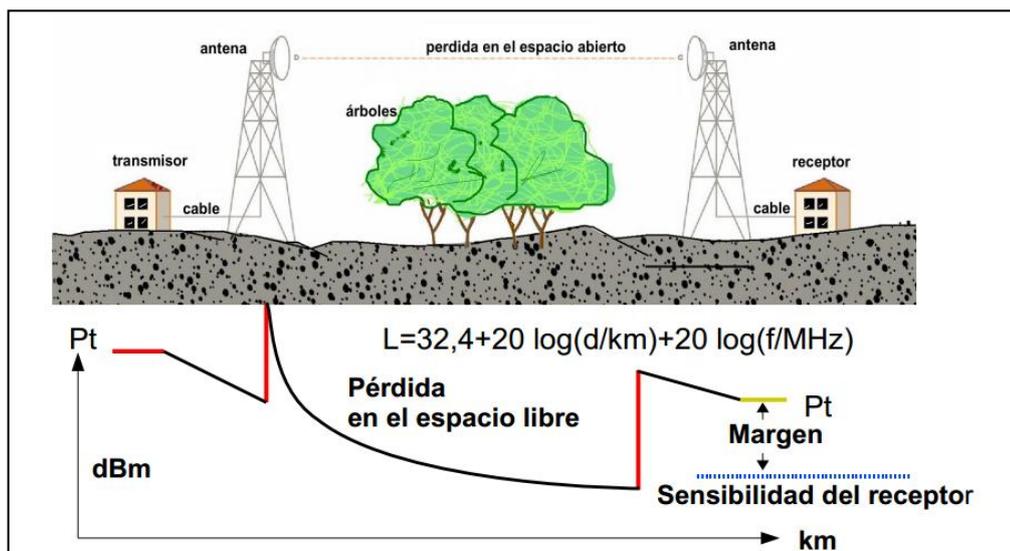


Figura 1: Estructura General de un Radioenlace Microondas

Fuente: [http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_presentacion\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_presentacion_v02.pdf)

En la *Figura 1: Estructura General de un Radioenlace Microondas*, la antena, es el medio que conecta al transmisor y receptor con el espacio libre, el espacio libre a las líneas de transmisión, o ambas cosas. La antena se encarga de transferir la máxima cantidad de energía desde el cable procedente del transmisor hacia la dirección donde se encontrará la estación receptora correspondiente. Para ello la impedancia característica de la antena debe acoplarse a la impedancia del cable o de guía de onda a la cual está conectada. En general, en los radio enlaces se emplean antenas muy directivas y de alta ganancia, con buena relación front to back, esta relación representa la diferencia en dB del nivel máximo de radiación y la radiación en el sentido opuesto, la cual aumenta con la frecuencia y el diámetro de la antena usada.

Un aspecto fundamental de las antenas es el principio de reciprocidad, porque las características, el desempeño de transmisión y de recepción son idénticas, como la ganancia, directividad, frecuencia de operación, ancho de banda, resistencia de radiación, eficiencia, etc. Esto permite enfocar atención hacia la transmisión o recepción, según sea más conveniente, para luego extender el concepto hacia el comportamiento recíproco. Así, una antena que transmita máxima señal en una dirección dada, también recibirá máxima señal en esa dirección. [3]

La ganancia de una antena es proporcional a su diámetro, por lo que mientras mayor sea éste mayor será la ganancia, y a su vez al aumentar la frecuencia de trabajo, disminuye el diámetro de la antena. La ganancia de una antena puede venir expresada en dBi (si la referencia es una antena isotrópica) o en dBd (si la referencia usada es un dipolo).

Para la comunicación de microondas punto a punto se deben usar antenas parabólicas direccionales como se observa en *Figura 2: Antenas para Microondas*, las cuales deben estar alineadas o tener visión directa entre ellas. Además son protegidas por una cubierta llamada Radome, el cual funciona como recubrimiento de la antena, con el fin de protegerla sin que afecte sus propiedades electromagnéticas, siendo transparentes a las ondas de radio.



*Figura 3: Antenas para Microondas*

*Fuente: propia*

### **2.2.2 Protección: Elementos de Reserva**

Un enlace microondas debe garantizar confiabilidad en el servicio ofrecido, por lo es necesario disponer de equipos o elementos de protección que entren en servicio en caso de que se originen fallas en el enlace. Los terminales pueden estar configurado de distintas maneras, de forma que cuando la señal de referencia se degrade por debajo del umbral de conmutación establecido, se realice la conmutación del radiocanal de trabajo al de reserva o secundario, garantizando así la transmisión de información. Existen diversas técnicas de protección, entre ellas: [2]

#### **2.2.2.1 Modo no protegido**

Se utiliza en aplicaciones en las cuales el enlace no está sometido a condiciones muy exigentes, es decir, distancias cortas entre los terminales o repetidores, que no existan obstáculos en la LDV o con condiciones atmosféricas poco cambiantes. En este tipo de configuración se utiliza únicamente una unidad de radio y una antena.

#### **2.2.2.2 Modo Hot Stand By 1+1**

Este tipo de configuración se emplea en enlaces microondas que exijan mayor disponibilidad, casos donde exista alta reflexión o condiciones atmosféricas severas. En este tipo de arquitectura se necesitan dos unidades de radio y una antena.

#### **2.2.2.3 Diversidad**

La diversidad también es una técnica empleada en los enlaces microondas para garantizar confiabilidad en la transmisión de la señal en casos

adversos de desvanecimiento multitrayecto, el cual debido a su intensidad y al hecho de ser selectivo en frecuencia en muchas ocasiones produce una importante atenuación y distorsión en la señal recibida, por lo que ejerce una marcada influencia en la calidad de los sistemas de radiocomunicaciones. El desvanecimiento multitrayecto es consecuencia de los componentes de la señal que se propagan por caminos diferentes. La existencia de dos o más trayectos de propagación, además del trayecto principal, se debe a reflexiones de la señal en el suelo o en capas atmosféricas como consecuencia de las discontinuidades en el índice de refracción de la tropósfera.

Las técnicas de diversidad consisten en la transmisión de la misma información por dos caminos radioeléctricos distintos, los cuales se verán afectados de forma independiente por el desvanecimiento. Las técnicas de diversidad pueden clasificarse en:

#### 2.2.2.3.1 Diversidad de frecuencia

En la diversidad de frecuencia el sistema consiste en una doble transmisión/polarización de la señal en frecuencias distintas, sin embargo, es una técnica que actualmente no se emplea, debido al colapso que existe del espectro radioeléctrico.

#### 2.2.2.3.2 Diversidad de espacio

La diversidad de espacio consiste en la habilitación de dos trayectos radioeléctricos, disponiendo de dos antenas separadas verticalmente, de forma que la señal se pueda recibir por dos caminos diferentes. En este tipo de protección se utilizan dos unidades de radio y dos antenas.

La diversidad de espacio tiene como ventaja que sólo usa una frecuencia y es una de las técnicas preventivas más eficaces contra el desvanecimiento

debido a la propagación por trayectos múltiples. Una separación vertical conveniente entre antenas viene dada por:

$$\Delta h = \frac{\lambda d}{4h_1} \geq 150\lambda \quad (1)$$

Donde:

$\Delta h$  = separación vertical entre las dos antenas de diversidad en metros

$\lambda$  = longitud de la onda que se transmite en metros

$d$  = distancia del enlace extremo a extremo en metros

$h_1$  = altura de la antena principal en metros

#### 2.2.2.3.3 Diversidad cuádruple

Este tipo de diversidad combina las dos anteriores y sólo se utiliza en vanos excepcionalmente difíciles, como por ejemplo grandes recorridos sobre el mar.

#### 2.2.2.3.4 Diversidad de trayecto

Este tipo de diversidad se aplica cuando los desvanecimientos son causados por precipitaciones, establece la posibilidad de realizar el enlace en paralelo, recorriendo dos caminos diferentes.

#### 2.2.2.3.5 Diversidad de ángulo

La diversidad de ángulo implica el empleo de antenas con dos o más haces separados por pequeños ángulos en el plano vertical, o bien antenas separadas apuntando con ángulos diferentes.

### **2.3 Planes de frecuencia: Gama de operación de los enlaces microondas**

Para la utilización de un enlace microondas surge la necesidad del uso de una frecuencia radioeléctrica, por lo que debido a la gran demanda que existe actualmente de servicios de este tipo y a los problemas de interferencia, se ve la necesidad de llevar a cabo un proceso completo para la asignación de frecuencias el cual está sujeto a una estricta planificación por medio del ente gubernamental CONATEL.

“El espectro radioeléctrico es un bien del dominio público de la Republica Bolivariana de Venezuela, para cuyo uso y explotación se debe contar con la respectiva concesión de uso del espectro radioeléctrico aprobado por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones. Dicha concesión es otorgada a una persona específica, siendo intransferible por un tiempo limitado, disponible para usar y explotar una porción determinada del espectro radioeléctrico.

Le corresponde a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones la administración, regulación, ordenación y control del espectro radioeléctrico, la cual se encarga de la planificación, determinación del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, asignación, cambios y verificación de frecuencias, comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas, el establecimiento de las normas técnicas para el uso del espectro, la detección de irregularidades y perturbaciones en el mismo, el control de su uso adecuado y la imposición de las sanciones a que haya lugar, de conformidad con la Ley.” [4]

El objetivo primordial de todo plan de frecuencia es el de optimizar la utilización del espectro radioeléctrico y minimizar las interferencias. En general, todo plan divide a la banda en dos mitades, cada semibanda se utiliza para transmisión y recepción, respectivamente. Los canales adyacentes van alternando la polarización.

Un plan de disposición de radiocanales o plan de canalización, como el que puede observarse en la *Figura 4: Banda de frecuencia 7,125 a 7,425 GHz de Conatel*, establece para una banda los siguientes parámetros: [2]

- Número de radiocanales que pueden utilizarse en la banda.
- Separaciones entre frecuencias adyacentes y entre las frecuencias extremas de la banda.
- Bandas de guarda.
- Valores de frecuencias portadoras.
- Polarizaciones.
- Frecuencia central de la banda.
- Anchura de la banda
- Anchura de RF de las diferentes portadoras

CANAL	F1 (MHz)	F2 (MHz)	AB (MHz)			
1	7.128,00	7.289,00	7			
2	7.135,00	7.296,00	7			
3	7.142,00	7.303,00	7			
4	7.149,00	7.310,00	7			
5	7.156,00	7.317,00	7			
6	7.163,00	7.324,00	7			
7	7.170,00	7.331,00	7			
8	7.177,00	7.338,00	7			
9	7.184,00	7.345,00	7			
10	7.191,00	7.352,00	7			
11	7.198,00	7.359,00	7			
12	7.205,00	7.366,00	7			
13	7.212,00	7.373,00	7			
14	7.219,00	7.380,00	7			
15	7.226,00	7.387,00	7			
16	7.233,00	7.394,00	7			
17	7.240,00	7.401,00	7			
18	7.247,00	7.408,00	7			
19	7.254,00	7.415,00	7			
20	7.261,00	7.422,00	7			

*Figura 4: Banda de frecuencia 7,125 a 7,425 GHz de Conatel*

Fuente: <http://www.conatel.gob.ve/#http://www.conatel.gob.ve/index.php/principal/planesdefrecuenciaespectroradioelectrico>

## 2.4 Condiciones de diseño de un radioenlace microondas

Un radioenlace microondas se diseña de manera de garantizar en cada uno de sus vanos una visibilidad directa, tomando en cuenta las condiciones de la curvatura de la tierra. Entre los conceptos más relevantes de la propagación de señales, se tiene:

### 2.4.1 Línea de vista y alcance del enlace

Para determinar la línea de vista de los enlaces microondas se debe de considerar que los radioenlaces no son visibles, debido a que las distancias entre los extremos son de kms.

Considerando la geometría de la Tierra y la altura a la cual se encuentre la antena receptora, se puede determinar lo que se conoce como horizonte óptico:

$$r_o(km) = 3,57\sqrt{h_1(m)} \quad (2)$$

En la realidad la distancia máxima entre dos extremos de un enlace microondas va más allá del alcance óptico, debido a la refracción que se produce en la Tierra, la onda sufre una desviación cuando pasa de un medio a otro con densidades diferentes, por lo que se tienden a curvar las ondas hacia la Tierra. Este fenómeno hace posible que la onda alcance una distancia mayor a la del horizonte óptico, alcanzando el horizonte radioeléctrico, las cuales pueden observarse en la *Figura 5: Distancia óptica de un enlace microondas.* [5]

$$r_1 = 3,57 \cdot \sqrt{k \cdot h_1} (m) \quad (3)$$

Donde:

$r_1$  = distancia del transmisor al horizonte

$k$  = factor del radio de la tierra

$h_1$  = altura de la antena transmisora

La norma UIT-R P.310-9 que abarca las definiciones de los términos relativos a la propagación en medios no ionizados, define:

- **Horizonte radioeléctrico:** “Lugar geométrico de los puntos en que los rayos directos procedentes de una fuente puntual de ondas radioeléctricas son tangentes a la superficie de la tierra”.
- **Factor del radio de la Tierra  $k$ :** Relación entre el radio ficticio de la Tierra y el radio verdadero de la Tierra.

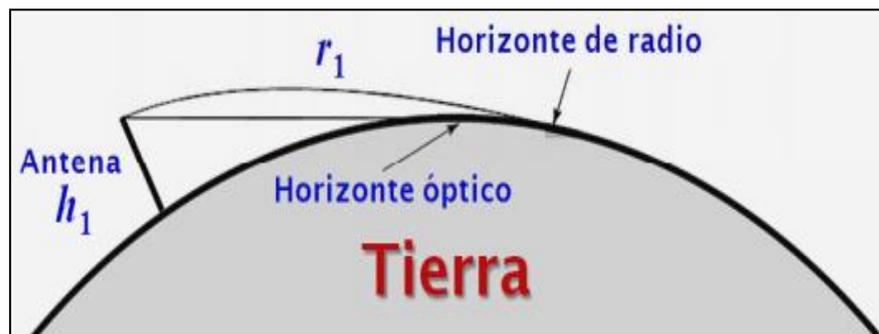


Figura 5: Distancia óptica de un enlace microondas

Fuente: [http://www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11\\_radioenlace.pdf](http://www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11_radioenlace.pdf)

La distancia máxima permitida por línea de vista está determinada por la curvatura de la Tierra y por la altura de las torres donde son colocadas las antenas con el fin de superar los obstáculos existentes en el trayecto. Tomando en cuenta estos parámetros, se tiene el alcance de un radioenlace microondas, que puede observarse en la *Figura 6: Alcance de un radioenlace microondas*, y viene dado por:

$$r(km) = r_1(km) + r_2(km) \quad (3)$$

$$r(\text{km}) = \sqrt{17 \cdot h_1(\text{m})} + \sqrt{17 \cdot h_2(\text{m})} \quad (4)$$

Donde:

$r$  = distancia total entre los dos extremos

$r_o$  = Horizonte óptico

$r_1$  = distancia del transmisor al horizonte

$r_2$  = distancia del horizonte al receptor

$h_1$  = altura de la antena transmisora

$h_2$  = altura de la antena receptora

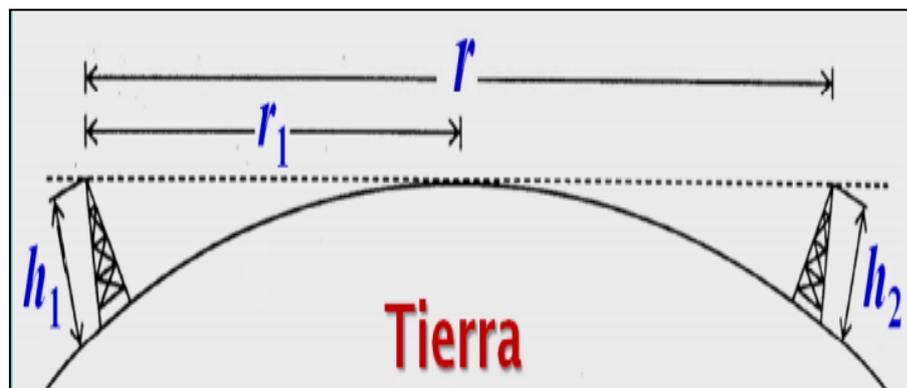


Figura 6: Alcance de un radioenlace microondas

Fuente: [http://www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11\\_radioenlace.pdf](http://www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11_radioenlace.pdf)

## 2.4.2 Potencia de Recepción

La potencia recibida en un extremo del enlace microondas depende de la potencia transmitida y de la atenuación del trayecto entre los dos extremos. La potencia de señal recibida  $P_{RX}$  (dBm) en un enlace no obstruido puede calcularse como: [2]

$$P_{TX}(\text{dbm}) - L_{cableTx}(\text{db}) + G_{TX}(\text{dbi}) - L_{bf}(\text{db}) + G_{RX}(\text{dbi}) - L_{cableRx}(\text{db}) = P_{RX}(\text{dbm}) \quad (5)$$

Donde:

$P_{TX}$  = Potencia de transmisión

$L_{cableTx}$  = pérdidas en el cable del transmisor

$G_{TX}$  = ganancia de la antena transmisora

$L_{bf}$  = pérdidas por espacio libre

$G_{RX}$  = ganancia de la antena receptora

$L_{cableRx}$  = pérdidas en el cable del receptor

### **2.4.3 Sensibilidad del Receptor**

La sensibilidad del receptor es el mínimo nivel de la señal de RF que se puede detectar a la entrada del receptor y producir una señal útil de información demodulada. [3]

El nivel de señal recibida siempre debe de estar por encima del nivel de sensibilidad del receptor, de lo contrario el receptor no será capaz de captar la señal. Este valor es un parámetro específico de los equipos de radio a usar y generalmente se ve especificado en las características técnicas del fabricante y se expresa en dBm.

Los fabricantes ofrecen una especificación de umbral de recepción de ruido que es la sensibilidad del receptor. Es considerada como el nivel de señal recibida más bajo que puede ser considerada como utilizable por el receptor.

### **2.4.4 Margen de Desvanecimiento**

En esencia el margen de desvanecimiento es un factor que se incluye en la ganancia del sistema para tener en cuenta toda disminución de la potencia recibida de la señal con relación a su valor nominal, tomando en cuenta las

características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio. Estas características son causa de condiciones atmosféricas temporales y anormales que alteran las pérdidas en la trayectoria en espacio libre y, por lo general son perjudiciales para la eficiencia general del sistema. El margen de desvanecimiento también toma en cuenta los objetivos de confiabilidad de un sistema, incluyéndose como una pérdida a la ganancia del sistema. [3]

La diferencia entre este nivel nominal y el nivel recibido en condiciones de desvanecimiento se conoce como margen de desvanecimiento, medido en dB. Y viene dado por la expresión:

$$Md = P_{RX} - S_{RX} \quad (6)$$

Donde:

$P_{RX}$  =Potencia recibida en dB

$S_{RX}$  =Sensibilidad del receptor en dB

## **2.4.5 Pérdidas**

### **2.4.5.1 Pérdidas por espacio libre**

Cuando se habla de espacio libre se refiere al caso ideal de la propagación no guiada. Es decir, existe un camino de características eléctricas idénticas a las del vacío ( $\epsilon_0, \mu_0$ ) por el que la onda puede propagarse sin obstáculos desde el emisor hasta el receptor. La propagación en el espacio libre se define como la propagación en un medio dieléctrico ideal homogéneo e isótropo que se puede considerar infinito en todas las direcciones, este es un modelo ideal, que no existe en la realidad, pero permite conocer las mínimas pérdidas que existen en la propagación.

La recomendación UIT-R P.525-2 establece que cuando se trata de un enlace punto a punto, es preferible calcular las pérdidas por espacio libre entre antenas isótropas de la siguiente manera:

$$L_{bf} = 20 \cdot \text{Log} \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot D}{\lambda} \right) \quad (7)$$

Donde:

$L_{bf}$  = pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

D = distancia en

$\lambda$ : longitud de onda

D y  $\lambda$  se expresan en las mismas unidades

La ecuación 1 puede también escribirse en función de la frecuencia en vez de la longitud de onda:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \cdot \text{Log } f + 20 \cdot \text{Log } D \quad (8)$$

Donde:

f: frecuencia (MHz)

D: distancia (km)

De acuerdo a la UIT-R P.530-12, la pérdida de propagación, para un trayecto terrenal con visibilidad directa, respecto a las pérdidas en el espacio libre es la suma de las siguientes contribuciones:

### 2.4.5.2 Atenuación debida a los gases atmosféricos

Los gases atmosféricos, principalmente el oxígeno y el vapor de agua, producen una absorción de la energía electromagnética, lo que se traduce en una atenuación adicional para las señales. Este efecto se manifiesta por encima de unos 10GHz. Lo mismo sucede con las precipitaciones, sobre todo la lluvia y en ciertos casos con las nubes y niebla, esta atenuación viene dada por:

$$A_a = \gamma_a \cdot D \quad (9)$$

Donde:

$A_a$  = Atenuación debida a los gases y vapores expresada en dB

$\gamma_a$  = Atenuación específica expresada en dB/km, la cual puede obtenerse a partir de la recomendación UIT-R P.676

$D$  = Distancia del trayecto en Km

### 2.4.5.3 Pérdidas por desvanecimiento

Son función del terreno, del tipo de clima y del objetivo de la confiabilidad. Viene dada por:

$$L_D(\text{db}) = 30 \cdot \log D(\text{Km}) + 10 \cdot \log(6 \cdot A \cdot B \cdot F) - 10 \cdot \log(1 - R) - 70 \quad (10)$$

Donde:

$30 \cdot \log D$  = pondera la diversidad modal

$A$  = factor de rigurosidad del terreno

$B$  = factor climático

$F$  = frecuencia en GHz

$10 \cdot \log(1 - R)$  = pondera el objetivo de confiabilidad

$R$  = confiabilidad expresada en número decimal

#### 2.4.5.4 Pérdidas por difracción

Las pérdidas por difracción pueden variar desde un valor mínimo (obstáculo de filo de cuchillo) hasta un valor máximo (tierra esférica lisa), las cuales pueden ser calculadas según la recomendación UIT-R P.526. Las pérdidas por difracción en un terreno medio se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$A_d = -\frac{20h}{F_1} + 10 \quad (11)$$

Donde:

$A_d$  = Pérdidas por difracción en un terreno medio expresado en dB

$h$  = altura del obstáculo más alto expresada en m.

$F_1$  = Radio de la primera zona de Fresnel

#### 2.4.5.5 Cálculo de la altura mínima de las antenas

Las variaciones de las condiciones de refracción de la atmósfera pueden modificar el radio  $k$  de la Tierra respecto a su valor medio el cual es considerado aproximadamente de  $4/3$  para una atmósfera normal, pero cuando este factor  $k$  disminuye, los rayos se curvan de forma que la Tierra obstruye el trayecto directo entre el transmisor y el receptor, lo que da lugar a un tipo de desvanecimiento llamado desvanecimiento por difracción. Este tipo de desvanecimiento es el factor que determina la altura de las antenas.

El trayecto de un enlace microondas debe estar libre de obstáculos y también se debe de evitar la difracción, la cual es causada por la obstrucción parcial de cualquier objeto fino que se encuentre en el trayecto. Cuando ocurre difracción, una segunda onda aparece en el receptor y dependiendo de las fases de estas ondas, podrán cancelarse produciendo el desvanecimiento de la onda. Los efectos de la difracción que sufre la señal se reducen si al menos se garantiza que

la onda directa evite obstáculos por lo menos en un 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos, que permiten analizar la interferencia por obstáculos en una trayectoria de una antena de radio. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro. Esta zona se debe de mantener libre de obstáculos. La obstrucción máxima para considerar no obstrucción de la primera zona es el 40% (es decir pasa el 60 % de la señal).

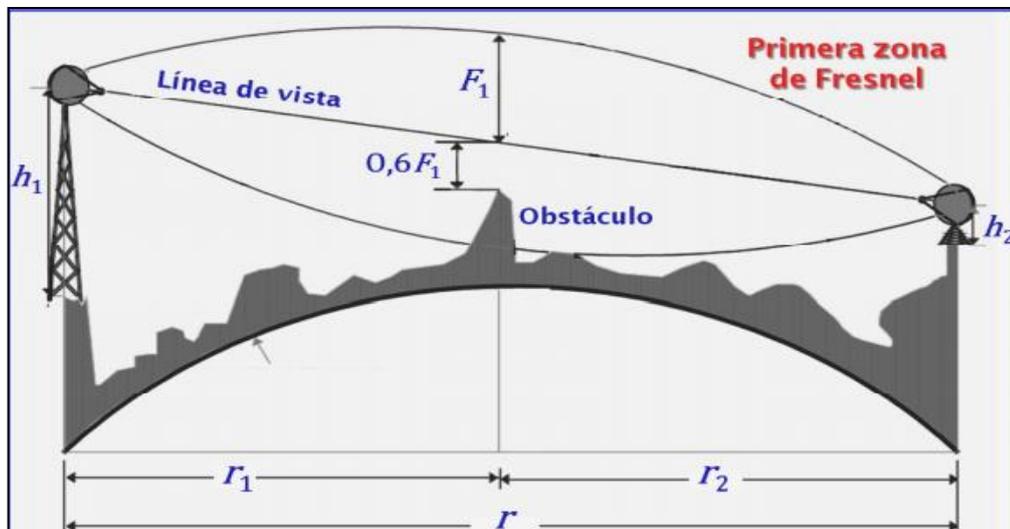


Figura 7: Primera zona de Fresnel

Fuente: [http://www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11\\_radioenlace.pdf](http://www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11_radioenlace.pdf)

Para enlaces de más de 10Km la curvatura de la tierra se representa como un obstáculo de altura  $h$ , donde:

$$h = \frac{r_1 \cdot r_2}{17} \quad (12)$$

Donde:

$r_1$ =Distancia del emisor al obstáculo.

$r_2$ =Distancia del obstáculo al receptor.

En la *Figura 7: Primera zona de Fresnel*, puede observarse el radio de la primera zona de Fresnel, que vendrá representado por la ecuación:

$$R_n = 548. n \times \sqrt{\frac{r_1.r_2}{f.r}} \quad (13)$$

Donde:

$R_n$ = radio en metros con  $n=1$   
 $r_1$ = distancia del emisor al obstáculo en Km  
 $r_2$ =distancia del obstáculo al receptor en Km  
 $r$ =distancia total del enlace en Km  
 $f$ =frecuencia de trabajo expresada en MHz

La condición que permitirá el cálculo de la altura mínima a la cual se deben de colocar las antenas para garantizar la ecuación de despeje (que pase el 60% de la señal) viene dado por:

$$H = F. C \quad (14)$$

Donde:

$H$ =altura mínima de las antenas en metros  
 $F$ = 60% del primer radio de fresnel en metros  
 $C$ =Altura para compensar la curvatura de la tierra en m

## **2.5 Calidad de un radioenlace**

La calidad de un radioenlace representa el grado en que el sistema de transmisión estará en condiciones de proporcionar el servicio para el que se ha

diseñado. Por eso se distinguen dos aspectos de calidad complementarios y relacionados entre sí. [2]

### 2.5.1 Disponibilidad

La disponibilidad representa el porcentaje de tiempo que un sistema es capaz de realizar las funciones para las cuales fue diseñado.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR_t} \quad (15)$$

Donde:

MTBF= tiempo medio entre fallas

MTTR<sub>t</sub>=tiempo medio para restaurar

### 2.5.2 Indisponibilidad

Se describe en términos de interrupciones o intervalos de tiempo en que:

- Se produce una pérdida completa o parcial de la señal.
- Se produce un ruido que genere una tasa de error excesiva.
- Aparece una fuerte discontinuidad o existe gran distorsión de la señal

La indisponibilidad viene dado por:

$$I = (100 - D). \% \quad (16)$$

Donde:

D=disponibilidad de un enlace

I=indisponibilidad de un enlace

La disponibilidad e indisponibilidad son referenciadas a un año. En otras palabras, si la indisponibilidad es 0.001%, se habla de una disponibilidad del 99,999%. La indisponibilidad también puede ser establecida como:  $365 \text{ (días/año)} * 24 \text{ (horas/día)} * 60 \text{ (minutos/hora)} = 5.26 \text{ minutos de indisponibilidad por año.}$

Una manera de calcular los segundos que permanece el sistema indisponible por año viene dada por la ecuación:

$$I = \sum \frac{\Delta t}{T_{muestra}} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde:

$\Delta t$ =segundo de indisponibilidad al año

$T_{muestra}=365(\text{días/año})*24(\text{horas/día})*60(\text{minutos/hora})*60(\text{segundos/minuto})$

### 2.5.3 Polarización cruzada

La polarización cruzada es una técnica aplicada en los enlaces microondas que permite mejorar la calidad del servicio. La polarización cruzada, como se observa en la *Figura 8: Polarización cruzada*, permite duplicar la capacidad de transmisión de cada enlace usando la misma frecuencia, ya que es posible transmitir una portadora con polarización vertical y otra portadora con polarización horizontal, a la misma frecuencia, por lo que es una respuesta a la demanda del mercado por el incremento de capacidad y una utilización más efectiva del espectro. [6]

Esta técnica funciona bien mientras que la discriminación por polarización cruzada sea suficiente para asegurar la operación sin interferencias.

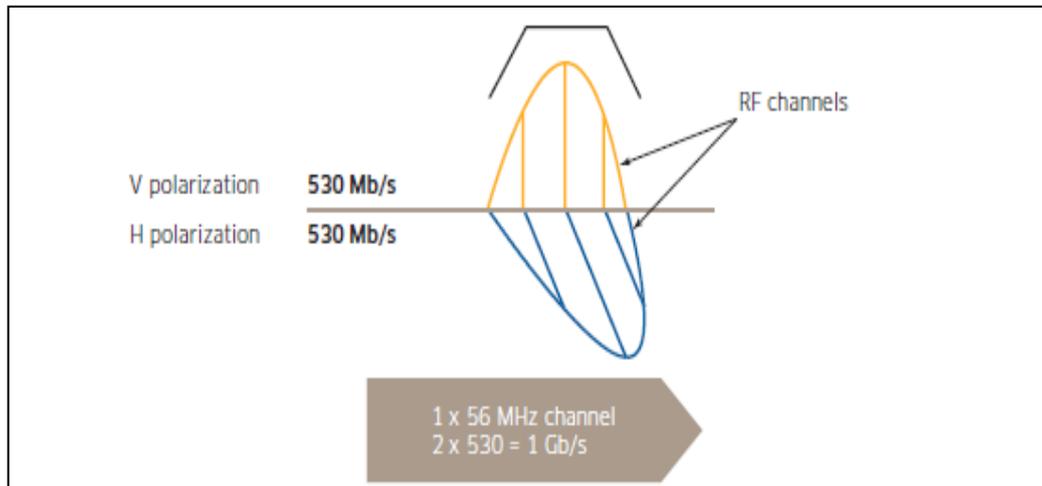


Figura 8: Polarización cruzada

Fuente: *PDF Packet microwave: An infrastructure for long term growth*

El discriminador de polarización cruzada es un parámetro físico de la antena, el cual depende en gran parte de la construcción de la misma. Existe un valor limitado de aislamiento entre ambas polarizaciones, pudiendo definirse una relación entre la potencia de la señal con una polarización y la interferencia con la polarización ortogonal o cruzada. La discriminación por polarización cruzada se define como la diferencia expresada en dB de la potencia de la señal y la potencia de la señal interferente detectada en la polarización ortogonal. [7]

Estos dispositivos son fáciles de conseguir en el mercado, atenúan el efecto del acoplamiento cruzado de polarización provocado por los enlaces o equipos de modo que los sistemas que utilizan doble polarización y un mismo canal pueden brindar el doble de capacidad dentro de un único canal de frecuencia.

## 2.5.4 Modulación Dinámica Adaptativa

La modulación dinámica Adaptativa es una técnica que permite mejorar la calidad de un enlace, ya que garantiza la transmisión de la señal en situaciones de climas adversos, permitiendo aprovechar en su totalidad el ancho de banda de operación, cambiando el esquema de modulación de acuerdo a la disponibilidad de propagación. Se utiliza para aumentar el rendimiento del enlace mediante el ajuste del esquema de modulación de acuerdo a las condiciones que experimente el canal. [6]

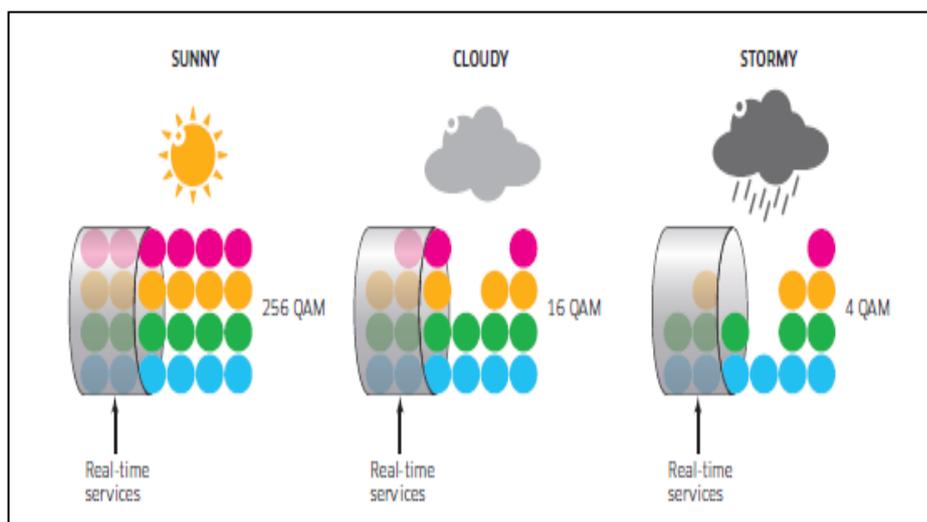


Figura 9: Modulación Dinámica Adaptativa

Fuente: PDF Packet microwave: An infrastructure for long term growth

En la *Figura 9: Modulación Dinámica Adaptativa*, se muestra cómo la tecnología de modulación adaptativa dinámica puede ajustar automáticamente los modos de modulación, permitiendo el transporte de servicios de acuerdo a la evolución de los canales de la interfaz de aire que pudieran estar afectados por causas meteorológicas adversas.

Los equipos de radio capaces de soportar técnicas de modulación adaptativa se configuran priorizando los servicios, de manera de garantizar que los servicios de alta prioridad, que se muestran en color azul, estén por delante de otros tipos de tráfico, que se muestran en verde, naranja y rojo, mientras se mueve de abajo hacia arriba. El modo de modulación se puede cambiar de acuerdo a las características del equipo de radio a usar, por ejemplo, de 256 QAM a 64 QAM o QPSK.

## **2.6 Requerimientos para la instalación de un enlace microondas**

Además de los equipos de radio y antenas, en la instalación de un enlace microondas también se debe de considerar:

### **2.6.1 Cableado**

El cableado de un sistema de comunicaciones proporciona: la interconexión de equipos, conexión de equipos con antenas, el aterramiento de todo el sistema y la capacidad de transmisión del sistema. Existen diferentes tipos de cableado dentro de un sistema de comunicaciones, entre ellos tenemos:

#### **2.6.1.1 Cableado de alimentación DC**

Estos cables tienen la finalidad de interconectar fuentes de alimentación con los dispositivos eléctricos entre sí.

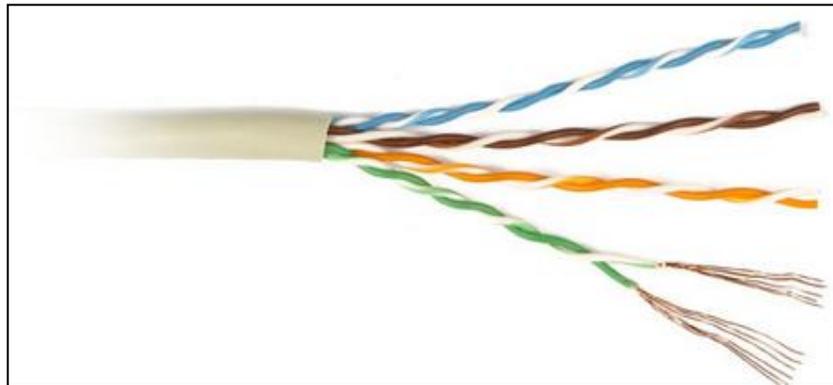
#### **2.6.1.2 Cableado de líneas de antena/transmisión**

##### **2.6.1.2.1 UTP**

Este tipo de cable es de par trenzado, como se observa en la *Figura 10: Cable UTP*, no posee recubrimiento metálico, por lo que no es necesario su

aterramiento, lo que lo hace sensible a interferencias. Al estar trenzado compensa las inducciones electromagnéticas producidas por las líneas del mismo cable.

Existen diferentes categorías y clases para este tipo de cable, que en sí, van a depender de la capacidad de transmisión del mismo. La interfaz física usada para interconectar este tipo de cables es el conector RJ45, el cual posee ocho pines eléctricos usados como extremos de los pares trenzados. [8]

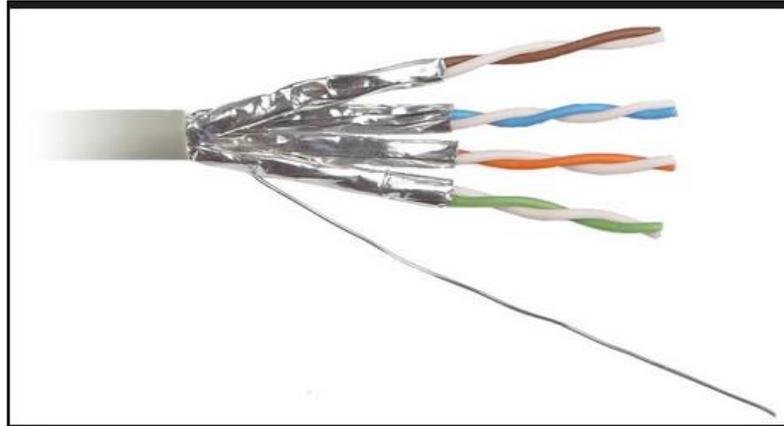


*Figura 10: Cable UTP*

*Fuente: <http://esp.hyperlinesystems.com/catalog/cable/utp-c6-patch-gy.shtml>*

#### 2.6.1.2.2 STP

El STP es un tipo de cable semejante al UTP, como se observa en la *Figura 11: Cableado STP*, dispone de un recubrimiento metálico que evita las interferencias externas, lo que hace necesario su aterramiento. Aunque presenta menos flexibilidad que el cable UTP, presenta mayores ventajas eléctricas y es de gran utilidad su instalación en ambientes eléctricamente hostiles, además el recubrimiento metálico le genera protección contra la intemperie y animales, los cuales pueden presenciarse en estaciones repetidoras y también subestaciones. Al igual que el cable UTP, la clase y categoría del cable que se decida usar dependerá de la capacidad de transmisión que se necesite y su conexión será a través de conectores RJ45. [8]



*Figura 11: Cableado STP*

*Fuente: [http://esp.hyperlinesystems.com/catalog/cable/stp4\\_c6\\_solid\\_indoor.shtml](http://esp.hyperlinesystems.com/catalog/cable/stp4_c6_solid_indoor.shtml)*

### 2.6.1.2.3 Fibra óptica

Un sistema de transmisión óptico es un sistema electrónico de comunicaciones que usa la luz como portador de información. El medio de transmisión es una fibra ultra delgada de vidrio o de plástico para contener las ondas luminosas y guiarlas en una forma similar a como las ondas electromagnéticas son guiadas en una guía de ondas. [3]

En un sistema de transmisión óptico tiene tres componentes: la fuente de luz la cual puede ser un diodo emisor de luz (LED) o un diodo láser y cualquiera de los dos emite pulsos de luz cuando se le aplica una corriente eléctrica, el detector el cual es un fotodiodo que genera un pulso eléctrico en el momento en el que recibe un rayo de luz y el medio de transmisión. Al colocar un LED o un diodo láser en el extremo de una fibra óptica y un fotodiodo en el otro, se tiene una transmisión de datos unidireccional que acepta una señal eléctrica, la convierte y la transmite por medio de pulsos de luz y después reconvierte la salida en una señal eléctrica en el extremo receptor. [8]

La luz se puede propagar por un cable de fibra óptica por reflexión o por refracción. La forma en que se propague depende del modo de propagación y del perfil de índice de la fibra. El modo de propagación simplemente significa el

camino que toma luz en el cable, si sólo existe una trayectoria que pueda tomar la luz en el cable, se llama unimodal, si existen diferentes caminos los cuales toma la luz en el cable se denomina multimodal. [3]

#### 2.6.1.2.3.1 Fibra óptica Multimodo

En este tipo de fibra los haces de luz puede tomar diversos caminos o modos. El hecho de que los haces de luz se propaguen en más de un modo es una desventaja ya que no llegan todos a la vez al final de la fibra, por lo que se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia. Sin embargo las fibras multimodo son más baratas y los transmisores más sencillos de diseñar, empleando LED como fuente de luz.

Existen diferentes tipos de fibras multimodo, estas varían según el diámetro del núcleo y del revestimiento y según el tipo de índice refractivo.

#### 2.6.1.2.3.2 Fibra óptica Monomodo

Este tipo de fibra sólo permite un camino de propagación de los haces de luz, esto gracias a que se reduce el diámetro del núcleo hasta una centésima de milímetro, empleando un láser como fuente de luz. Este tipo de fibra presenta ventajas en cuando a que se pueden alcanzar grandes distancias y altas velocidades de transmisión. Aunque este tipo de fibra ofrece menos pérdidas su instalación es mucho más costosa.

#### 2.6.1.3 Guía de Onda

Una guía de onda, la cual puede apreciarse en la *Figura 12: Guía de ondas para microondas*, es un tubo conductor hueco, que puede tener corte transversal rectangular, cilíndrico o elíptico. Las dimensiones de la sección transversal se

establecen de tal manera que se puedan propagar las ondas electromagnéticas por el interior de la guía.

Una guía de onda no conduce la corriente en el sentido estricto, sino más bien sirve como una frontera para confinar la energía electromagnética. [3]



**Figura 12: Guía de ondas para microondas**

*Fuente:*

[http://www.google.co.ve/imgres?imgurl=&imgrefurl=http%3A%2F%2Fpurogeek.wordpress.com%2F2009%2F09%2F17%2Fguia-de-onda-y-fibra-optica%2F&h=0&w=0&sz=1&tbnid=sq57aYP5Mzd4CM&tbnh=137&tbnw=321&zoom=1&docid=Fz5uGKJgOyvhbM&hl=es&ei=eay3UfbpOI\\_29gShy4CwDg&ved=0CAEQsCU](http://www.google.co.ve/imgres?imgurl=&imgrefurl=http%3A%2F%2Fpurogeek.wordpress.com%2F2009%2F09%2F17%2Fguia-de-onda-y-fibra-optica%2F&h=0&w=0&sz=1&tbnid=sq57aYP5Mzd4CM&tbnh=137&tbnw=321&zoom=1&docid=Fz5uGKJgOyvhbM&hl=es&ei=eay3UfbpOI_29gShy4CwDg&ved=0CAEQsCU)

#### **2.6.1.4 Conductor de Puesta a tierra**

Un conductor de puesta a tierra es aquel que se usa para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de cableado a uno o varios electrodos de puesta a tierra. [9]

#### **2.6.2 Sistema de Escalerilla Portacables**

El Código Eléctrico Nacional define un sistema de escalerillas portacables como: “una unidad o conjunto de unidades, secciones y accesorios asociados, que forman un sistema estructural rígido, utilizado para sostener cables y conductores eléctricos, suministrando así un soporte a todos los cables y

conductores eléctricos ubicados dentro o en la parte superior de la escalerilla portacable”.

### **2.6.3 Sistema de Puesta a Tierra**

Cuando se habla de un sistema de puesta a tierra se refiere a que todo el sistema se conecta intencionalmente a tierra, a través de una impedancia lo suficientemente baja, de manera de proteger y brindar seguridad al personal y equipos electrónicos de los fenómenos naturales como rayos, sobrecargas eléctricas, siendo esto un factor de suma importancia en todo sistema de comunicaciones.

Hoy en día los equipos de comunicaciones operan a voltajes relativamente bajos, por ello la importancia de que todo el sistema se mantenga conectado a un mismo potencial durante condiciones adversas.

La conexión a tierra de un solo punto es el mejor método a aplicar, ya que permite que todos los equipos mantengan un punto común de conexión a tierra que seguirá el potencial (elevación y caída) de todo el sistema a tierra durante sobrecargas de corrientes. Este punto donde terminan todas las conexiones a tierra es conocido como ventana de tierra, la cual generalmente es una barra de cobre con orificios donde terminan todas las conexiones a tierras provenientes de todo el sistema y es ubicada en el nivel más bajo de la edificación. [10]

Aunque no es posible evitar que una parte de la descarga entre al sistema, mediante la instalación de un buen sistema de puesta a tierra es posible que la mayor parte de la misma sea drenada a tierra.

Los elementos principales que determinan un efectivo sistema de puesta a tierra son los electrodos, el terreno donde se instalan y la calidad del contacto eléctrico entre ambos. En un sistema de tierra el electrodo de tierra provee la

conexión física para disipar la corriente a tierra y debe de garantizar tanto la puesta a tierra propiamente dicha, como la protección contra descargas atmosféricas. Existen 2 tipos básicos de electrodos: el natural, que está intrínsecamente dentro de la instalación que incluye todo el metal enterrado como tuberías de agua, la estructura del edificio (si está efectivamente conectada a tierra) y el metal de refuerzo de la cimentación y los electrodos fabricados, los cuales son instalados específicamente para mejorar el desempeño de los sistemas de tierra que incluyen mallas de alambre, platos metálicos, conductor de cobre desnudo y varillas directamente enterradas en el terreno.

#### **2.6.4 Estimación de la Resistividad del Suelo**

La resistividad del suelo define la capacidad que tiene el suelo de conducir corriente ante un campo eléctrico aplicado. La resistividad del suelo no es uniforme y varía de acuerdo a las capas heterogéneas que lo conforman, es influenciada principalmente por el tipo de tierra (arcilla, pizarra, etc.), contenido de agua, la cantidad de electrolitos (los minerales y sales disueltas) y finalmente, la temperatura.

Los datos de la resistencia del suelo son el factor clave en el diseño de un sistema de aterramiento. Es importante que la resistividad pueda verificarse en forma tan precisa como sea posible, ya que el valor de resistencia a tierra del electrodo es directamente proporcional a la resistividad del suelo. Los métodos utilizados para las mediciones de la resistencia de puesta a tierra y de la resistividad del suelo son los siguientes: [11]

## 2.6.4.1 Métodos de Medición

### 2.6.4.1.1 Método de Prueba de 4 puntas

Es el mejor método para determinar la lectura de resistividad más baja posible del suelo en un sitio. Utiliza 4 puntas de prueba colocados en la zona de prueba como se muestra en la *Figura 13: Método de prueba de las 4 puntas*.

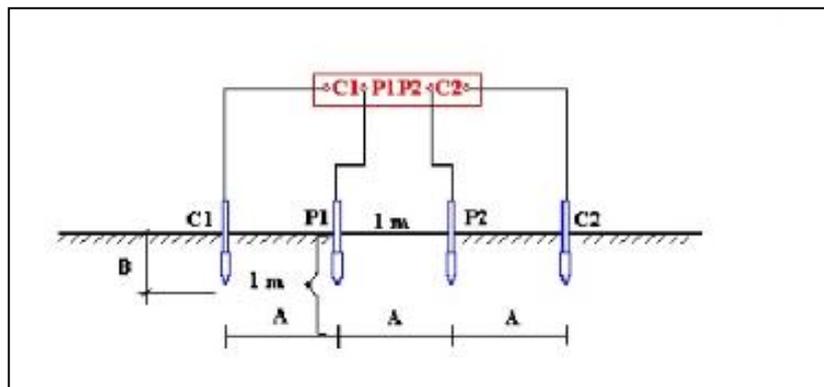


Figura 13: Método de prueba de las 4 puntas

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/27238468/Normas-de-puesta-a-tierra-de-CANTV>

Las puntas de prueba establecen un contacto eléctrico con la tierra, posteriormente el medidor de prueba hace circular una pequeña corriente DC (I) a través de tierra entre los electrodos C1 y C2, para luego medir el potencial V entre los electrodos P1 y P2.

Una vez tomadas estas medidas se obtiene la relación V/I conocida como resistencia aparente (R) medida en ohm y se calcula el promedio de resistividad del suelo a una profundidad A medidos en Ohm-metro, mediante la fórmula:

$$\rho = \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}}} \quad (15)$$

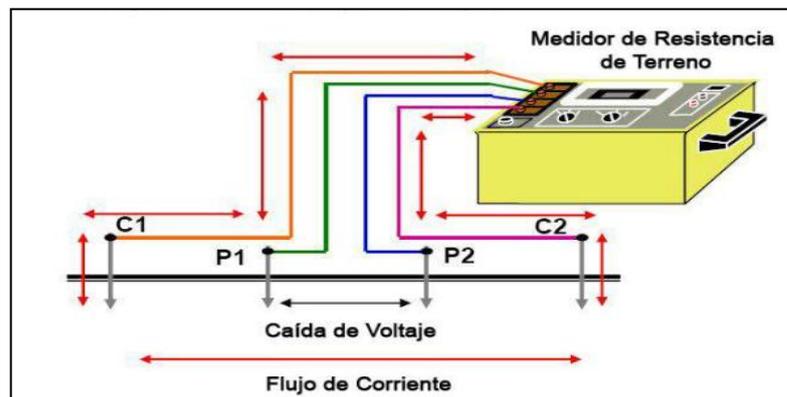
“Ohm-metro es la resistencia de un volumen de tierra que es un metro por un metro por un metro o un metro cúbico”. [12]

Se debe de repetir el procedimiento para diferentes medidas de A y B, de manera de poder obtener la medición de R más baja.

Para obtener una conexión a tierra segura, se debe realizar la prueba de toda el área donde se va a abarcar el sistema de aterramiento.

#### 2.6.4.1.2 Método de caída de voltaje

El método de Caída de Potencial es el método más reconocido para medir la resistencia a tierra del sistema de aterramiento, o del funcionamiento del sistema a tierra, está basado en un estándar IEEE y cuando es realizada apropiadamente, es una prueba muy certera. Este método también es conocido como método de las tres puntas o método del 62%. Este método se realiza con tres puntas de prueba o electrodos separados las cuales se conectan a los tres terminales del instrumento para medición de la resistencia como se muestra en la *Figura 14: Prueba de caída de voltaje*.



*Figura 14: Prueba de caída de voltaje*

*Fuente:*

<http://www.lyncolatam.com/Documentos/Metodos%20de%20Prueba%20de%20Resistencia%20del%20Suelo.pdf>

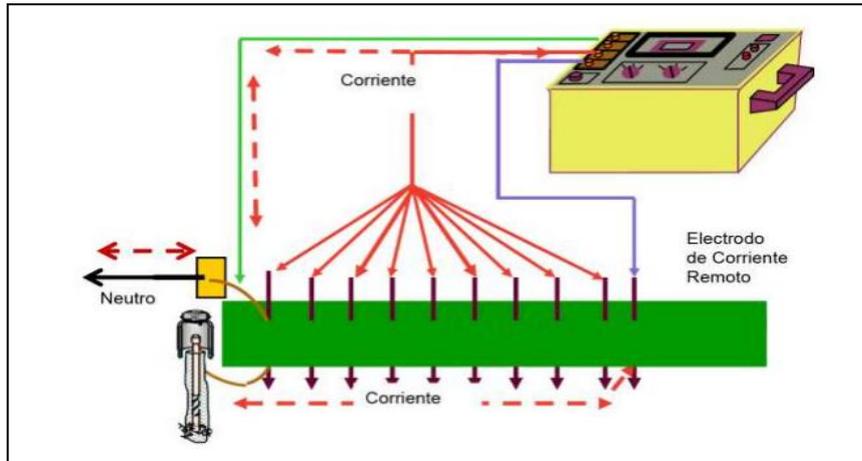


Figura 15: Prueba de caída de potencial

Fuente: <http://www.lyncol-latam.com/Documentos/Metodos%20de%20Prueba%20de%20Resistencia%20del%20Suelo.pdf>

Utilizando un probador de cuatro terminales, se puentean los terminales P1 Y C1. Se utiliza el electrodo auxiliar C2 para generar una corriente auxiliar al suelo. La corriente al salir de C2 entra a los electrodos C1/P1. Al pasar la corriente por tierra se genera una caída de voltaje ente los terminales C1/ P1 y el electrodo auxiliar P2, como se muestra en la **Figura 15: Prueba de caída de potencial**.

El equipo de terminales calcula la resistencia a través de la ley de ohm:

$$R = \frac{V}{I} \quad (16)$$

Donde:

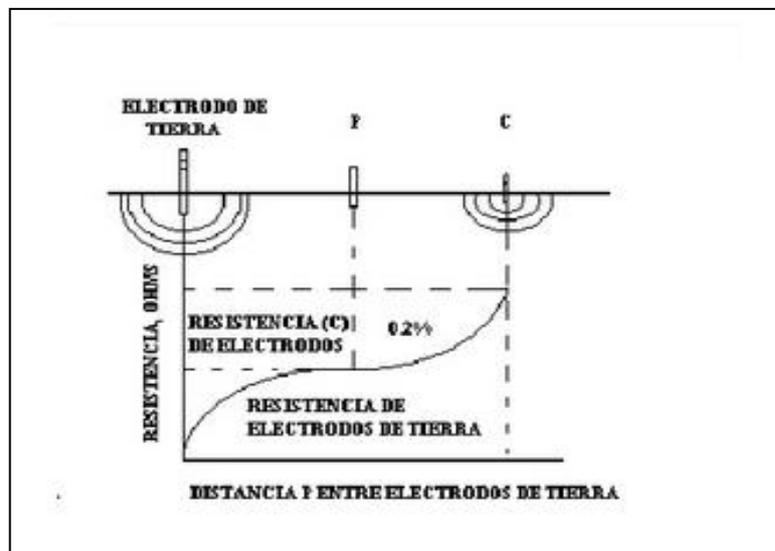
$R$  = Resistencia a tierra

$V$  = Voltaje leído entre el electrodo C1/P1 y el terminal P2.

$I$  = Corriente de prueba inyectada por el instrumento (C2).

Cabe destacar que también puede emplearse un terminal de 3 puntas, en este caso sólo será necesario conectar la punta X al electrodo de tierra y a los otros dos terminales los electrodos P2 y C2. Sí el electrodo P2 está muy cerca al electrodo de tierra en la prueba, solo parte de la caída de voltaje entre el electrodo de prueba y el suelo será registrado. EL terminal C2 se coloca en la tierra remota a cinco veces la profundidad del electrodo y el terminal P2 a 62% de la distancia de C2, tal como se observa en la *Figura 16: Curva de perfil de la resistencia*.

:



*Figura 16: Curva de perfil de la resistencia*

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/27238468/Normas-de-puesta-a-tierra-de-CANTV>

A continuación se debe de mover el terminal P2 cerca del electrodo a prueba, para hacer otra medida de resistencia y comparar con el valor de resistencia.

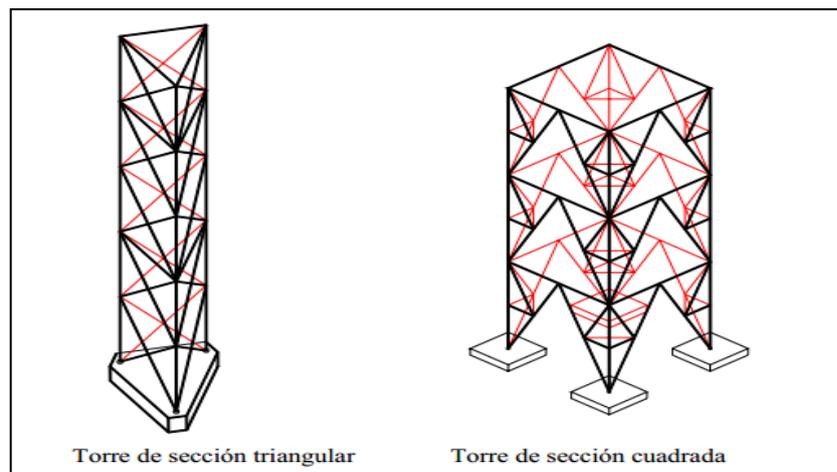
### 2.6.5 Torres de comunicaciones

Debido a que en los enlaces microondas debe existir LDV entre el transmisor y el receptor, es necesario que exista una altura mínima sobre los obstáculos existentes en la vía, por lo que se utilizan torres para compensar dicha altura. Existen desde torres Arriostradas, torres auto soportadas, monopolos, mástiles, entre

otras, las cuales suelen estar compuestas por perfiles y ángulos de acero unidos por tornillos, pernos o remaches o por medio de soldadura. Estas estructuras podrán ser de diversas alturas, dependiendo de la altura requerida para poder suministrar un correcto funcionamiento.

#### 2.5.4.1 Torres Auto-soportadas para microondas

Las torres auto-soportadas, como puede observarse en la *Figura 17: Tipos de torres auto-soportadas*, son torres más rígidas y menos sensibles a la torsión. Como su nombre lo indica, se soportan a ellas mismas, sin necesitar tirantes para asegurar que la torre no caiga, ya que sus patas están ancladas en bases fundadas varios metros bajo el nivel del suelo. Una torre auto-soportada puede ser de sección principal tipo triangular ó rectangular, la elección del tipo de sección a utilizar y altura de la torre principalmente depende de los requerimientos que se tengan para el proyecto.



*Figura 17: Tipos de torres auto-soportadas*

De: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2432\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2432_C.pdf)

#### 2.6.7 Casetas y salas de comunicaciones

Las casetas y salas de comunicaciones albergan los equipos de comunicaciones, señalización, etc., que necesiten unas condiciones ambientales óptimas para su correcto funcionamiento.

## 2.7 Alineamiento de las antenas, protocolos de prueba y puesta en marcha

### 2.7.1 Alineamiento de las antenas

La alineación de las antenas implica el ajuste de dirección de cada antena hasta que la intensidad de la señal recibida alcance su máximo nivel en cada extremo del enlace. El alineamiento de las antenas es muy importante en el comportamiento de un enlace. El nivel de señal recibida RSL medido en dBm debe de tener un valor muy cercano a aquel obtenido en los cálculos teóricos del enlace. (Véase ecuación 5)

Las antenas se deben de mantener en un estado horizontal y el haz de la antena apuntando hacia el sitio remoto del enlace. El correcto ajuste del azimut (ángulo horizontal) y elevación (ángulo vertical) está integrado a cada soporte y ajuste que proporciona la antena. [13]

En la *Figura 18: Relación del Voltaje RSSI y voltaje RSL*, se observa la relación directa que existe entre el voltaje RSSI (voltaje medido a través de un multímetro en el puerto RSSI de la unidad de radio) y el voltaje RSL (nivel de señal recibida).

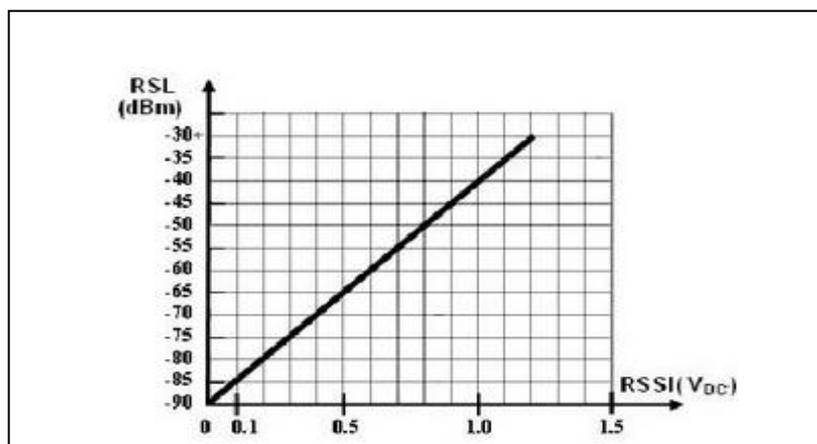


Figura 18: Relación del Voltaje RSSI y voltaje RSL

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/65822517/Challenger-Manual-ESP>



Figura 19: *Cable para alineamiento de antenas*

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/65822517/Challenger-Manual-ESP>

### **2.7.2 Protocolos de prueba para redes ETHERNET**

Las comunicaciones de nueva generación a través de ETHERNET son ampliamente aceptadas como un cambio rentable, flexible y de escalabilidad en el tiempo, las cuales ofrecen gran disponibilidad de ancho de banda y una comunicación altamente segura.

Las mediciones en todo sistema de comunicaciones facilitan la detección de fallas, acelerando la localización de la misma, su solución y un adecuado reporte de errores. Las mediciones también pueden realizarse con fines de monitoreo para verificar la calidad de la red y su funcionamiento.

Para las técnicas de transmisión de generaciones anteriores tales como SONET SDH, los elementos de red se monitorean con pruebas extremo a extremo para verificar la transmisión libre de errores y localizar fallas, para este tipo de pruebas se requiere dos instrumentos de medida, uno para cada extremo. A menudo se utiliza un proceso sencillo para verificar el funcionamiento del circuito y la viabilidad del servicio, realizando pruebas en el nivel de la señal eléctrica. Se envía una trama llena de información agrupadas en times slots cada una de bits de información y luego se mide la tasa de bit errados en la señal que se recibe. Se

verifica si los resultados están dentro de parámetros aceptados y de ser así el sistema se pone en libertad para brindar el servicio.

Los enlaces basados en protocolos ETHERNET introducen nuevas variables, las cuales deben ser evaluadas requiriendo de nuevos equipos y procedimientos de prueba a realizar para verificar la conectividad y viabilidad, a fin de garantizar la calidad del servicio (QoS), sin importar cuál sea la capacidad de transmisión del enlace, lo que se desea es un vínculo fiable a un precio asequible y sin interrupciones en el servicio, por ello la finalidad de los protocolos de prueba es la de garantizar que los sistemas enlazan. Esta metodología de evaluación comparativa abarca diferentes pruebas, basándose en el estudio de cuatro parámetros claves, estas pruebas ofrecen métricas del rendimiento de la red. Estos parámetros son: rendimiento (throughput), pérdidas de tramas o de información (frame loss), estado latente (latency) y jitter. [14]

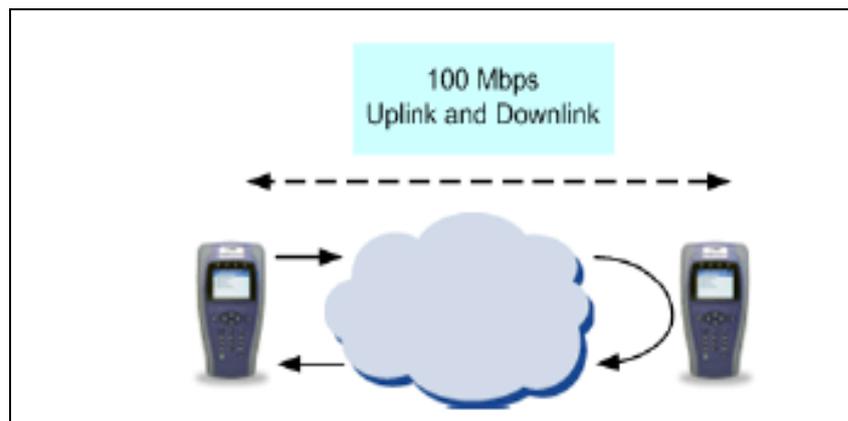


Figura 20: RFC 2544 simétrico

Fuente: PDF: Smart class ETHERNET users guide JDSU

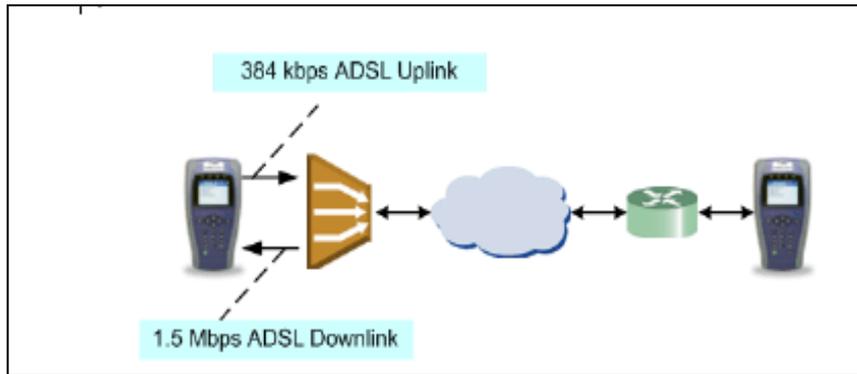


Figura 21: RFC 2544 asimétrico

Fuente: PDF: Smart class ETHERNET users guide JDSU

### 2.7.2.1 Rendimiento

Este parámetro tiene la finalidad de comprobar si el enlace es capaz de soportar toda la tasa de información para la cual está diseñado, es decir que sea capaz de ofrecer el ancho de banda asignado. Si el sistema no es capaz de soportar toda la información que desea si no una parte de ella, se obtiene una tasa de información comprometida (CIR), lo que origina un problema en el enlace.

### 2.7.2.2 Pérdidas de Tramas

Como puede observarse en la *Figura 22: Pérdida de Tramas*, la pérdida de tramas se produce, cuando paquetes enviados desde un extremo no se reciben en el otro extremo. La pérdida de tramas va dado en valores de porcentajes durante un tiempo determinado y se define de la siguiente manera:

$$\left[ 1 - \frac{\text{nro. tramas recibidas (destino)}}{\text{nro. tramas enviadas}} \right] \times 100$$

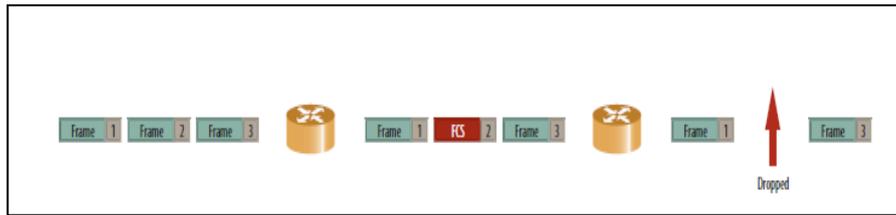


Figura 22: Pérdida de Tramas

Fuente: PDF Making the Case for Tasting ETHERNET Liks JDSU

### 2.7.2.3 Estado Latente (tiempo de ida y retorno del paquete)

Este parámetro se refiere al tiempo que tarda un paquete en llegar a su destino y retornar. Este tipo de pruebas ha sido popularizado por la prueba de ping (ping tests). Si existen las largas demoras en el tiempo que tarda en viajar un paquete afectará negativamente a la experiencia del usuario final (aunque a veces puede ser inevitable, el caso de los enlaces por satélite).

### 2.7.2.4 Jitter

Es la variación de los retardos de las tramas. Es un parámetro crítico en las aplicaciones de tiempo real, como la telefonía IP y la transmisión de video.

Dado el entorno competitivo y la demanda que existe hoy en día en los servicios de comunicaciones, es imperativo que el sistema que se diseñe cumpla con los requisitos de calidad de servicio para cumplir con las demandas exigidas. Esta opción puede significar la diferencia entre la satisfacción de los objetivos y lograr un servicio de calidad de servicio.

## **CAPÍTULO III**

### **3. DESARROLLO DE LA NORMA**

#### **3.1 Documentación, análisis y depuración del material documentado**

Para el desarrollo de la presente norma se recopiló la información necesaria de normativas internacionales vigentes del ámbito de las telecomunicaciones y del Código Eléctrico Nacional. Se tomó además información de normativas de: sistemas de aterramiento, cableado, instalación de las torres de comunicaciones, casetas y salas de comunicaciones, sistemas de escalerillas portacables, instalación de equipos, alineamiento de las antenas, protocolos de puesta en marcha y todo lo referente al mantenimiento de los sistemas.

Además se recopiló información de antiguos proyectos llevados a cabo por CORPOELEC, diferentes visitas y reuniones con Contratistas, tales como: EPROTEL, PLC, PRINCIVI, EPROSERCA, que junto a CORPOELEC son los encargados en llevar a cabo la instalación y mantenimiento de los sistemas microondas de La Corporación Eléctrica Nacional

Se realizó también la revisión de las normativas exigidas por el ente gubernamental CONATEL y de los convenios establecidos con CORPOELEC, así como también, información seleccionada de la herramienta de simulación PATHLOSS 4.0, evaluaciones y visitas a los sitios de interés como estaciones repetidoras, subestaciones, plantas generadoras y oficinas comerciales, de manera de sintetizar e integrar toda la información recopilada con el fin de generar un documento que estandarice los procedimientos a seguir por los diversos entes encargados de mantener la red de comunicaciones de CORPOELEC.

### **3.2 Redacción de Manual de herramienta de simulación PATHLOSS 4.0.**

El desarrollo del manual de simulación PATHLOSS 4.0 fue realizado bajo la experiencia personal en el uso del programa, teniendo como finalidad la de permitir al personal técnico el uso de la herramienta de simulación PATHLOSS 4.0 para realizar los estudios de Línea de Vista Directa, cálculos de propagación y comportamiento de los enlaces microondas, para enlaces punto a punto o punto-multipunto, que operan en la gama de frecuencia de 30 MHz a 100 GHz (VHF-SHF-UHF). Dicho manual se anexa a la norma desarrollada a lo largo de este trabajo.

### **3.3 Redacción de la norma técnica**

Como compañía dedicada a la transmisión de energía eléctrica CORPOELEC prioriza el tipo de información que se transmite por los medios de comunicación. Las siguientes descripciones de los servicios de comunicación están colocadas en orden de mayor prioridad a menor prioridad:

- **Tele-protección:** son los sistemas encargados de despejar o aislar las fallas en el sistema de distribución con el fin de evitar fallas a gran escala y proteger el sistema.
- **Datos:** constantemente se necesita tener mediciones en tiempo real para verificar la operación normal del sistema.
- **Voz:** los servicios de voz brindan la ventaja de comunicación directa entre los operadores de subestaciones y el Despacho de Carga.

Para la elaboración de la presente norma se tomaron en cuenta únicamente la necesidad de la transmisión de las señales de voz y datos, ya que el sistema de tele-protección depende fuertemente del sistema de protecciones que se utiliza y de las características del sistema eléctrico, lo cual abarca un área muy

extensa a desarrollar en la presente norma. Por otro lado, actualmente CADAFE-CORPOELEC, emplea el sistema de tele-protecciones, por medio de los sistemas de onda portadora analógica, onda portadora digital y fibra óptica.

Para CORPOELEC toda instalación de un sistema microondas debe estar regida por un conjunto de especificaciones técnicas las cuales deben ser cumplidas por La Contratista destinada a llevar a cabo la realización del proyecto. Una vez obtenida toda la información necesaria para elaborar los pasos considerados óptimos para el pleno desempeño de los enlaces microondas, se procedió a elaborar una norma estándar para CORPOELEC basada en enlaces microondas de alta capacidad con velocidades Gigabit Ethernet fundamentados en el estándar ETHERNET/IEEE 802.3, aplicando la tecnología de paquetes en la transmisión de la información para lograr una mejor calidad y aprovechar optimizar el ancho de banda y maximizar la capacidad de transmisión de los radioenlaces.

La norma desarrollada abarcó en general la ingeniería, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de todos los sistemas que en conjunto forman un enlace microondas, los cuales se desglosaron en los siguientes puntos:

### **3.3.1 Condiciones específicas**

En este punto de la norma se establecieron las especificaciones de los sistema microondas a implementar por CORPOELEC, basado en los requerimientos técnicos especificados por la empresa, así como también las diversas tecnologías que actualmente existen en el mercado, tales como:

- Se tomó la decisión de establecer enlaces microondas de alta capacidad de transmisión Gigabit ETHERNET, de manera de ofrecer enlaces microondas escalables en el tiempo y debido también a que la tecnología cada día migra con mayor velocidad a redes basadas en paquetes de alta velocidad, ya que permiten maximizar la capacidad de los enlaces y establecer un sistema con la mejor calidad.

- Se estableció la necesidad de que el sistema se capaz de disponer de un control de gestión de la red por software, ya que se consideró importante en la implementación de los enlaces con la finalidad de ofrecer una fácil supervisión del rendimiento del sistema, la supervisión de alarmas y fallas con el fin de ofrecer un rendimiento correcto del sistema durante su vida útil.

### **3.3.2 Condiciones de diseño**

Las condiciones de diseño establecidas en la norma se desarrollaron abarcando los siguientes puntos:

- Existencia de línea de vista entre los dos extremos del enlace a través de las condiciones de alcance óptico y alcance horizontal.
- Nivel de potencia de recepción aceptable considerando que el enlace no tenga obstrucción y tomando en cuenta las diferentes pérdidas que puede sufrir la señal cuando se propaga de un extremo a otro por un medio no guiado como el aire. Estas pérdidas se basaron en los diferentes estándares especificados por la UIT-R.
- El cálculo de las alturas mínimas a las cuales se deben colocar las antenas, basándose en las condiciones de despeje del radio de la primera zona de Fresnel en un 60%.

### **3.3.3 Calidad de los enlaces microondas**

Para la elaboración de la norma se consideraron los conceptos básicos que definen la calidad de un enlace microondas: el tiempo para el cual el enlace ofrece el servicio para el que fue diseñado (disponibilidad) e indisponibilidad.

Además se establecieron diversas técnicas con el fin de lograr una mayor disponibilidad de los sistemas, entre ellas:

- Se estableció una modulación de tipo adaptativa dinámica con el fin de ofrecer un servicio capaz de explotar plenamente el ancho de banda mediante el cambio de esquema de modulación y permitir el servicio aún cuando el desempeño de los canales pudiera estar afectado por el mal tiempo. Cabe destacar que para la implementación de la norma deberá hacerse uso de equipos de radio capaces de soportar el tipo de modulación dinámica adaptativa, ofreciendo distintas modulaciones y anchos de banda de acuerdo a las características del fabricante del equipo a utilizar.
- Se recomienda aplicar para todos los enlaces microondas la polarización cruzada, con el fin de duplicar la capacidad de transmisión del sistema. Es una técnica totalmente factible de aplicar, ya que para CONATEL no existe problema en implementar este tipo de tecnología debido a que se utiliza un solo canal del CUNABAF, permitiendo así la reutilización de la frecuencia, con lo que se puede optimizar recursos, utilizando una antena para transmitir dos señales (una con polarización vertical y otra con polarización horizontal) al mismo tiempo. Para la implementación de la norma, deberá hacerse uso de antenas del tipo parabólico, con las dimensiones adecuadas para lograr la ganancia necesaria que permita el logro de los objetivos de cada uno de los enlaces, adicionalmente las antenas deberán ser capaces de soportar la doble polarización en todo el rango de frecuencias. Aunque existe una gran diversidad de marcas y modelos de antenas posibles a usar, en la norma se recomendó el uso de antenas marca ANDREW, de nomenclatura Shielded Dual Polarized (VHPX), debido a que cumplen con el requerimiento de polarización Dual y operan dentro del rango de frecuencia establecido en la norma.

### **3.3.4 Confiabilidad y protección**

La confiabilidad y protección de un enlace microondas son parámetros fundamentales en la calidad del servicio. Entre las diversas técnicas de protección posibles a aplicar no se consideró factible la de establecer un enlace no protegido, ya que la comunicación que permite el funcionamiento de la Red Eléctrica del País no representa un enlace de pequeñas exigencias. Establecer el funcionamiento en modo Hot Stand By no garantiza la no interrupción del sistema en caso de producirse desvanecimientos de la señal o desalineamiento de las antenas, ya que en este caso sólo se tiene una antena, sin disponer de una de reserva para la conmutación en caso de falla, este tipo de protección es factible cuando la falla se presenta en la unidad de radio, por disponer de un radio de reserva.

Por lo anteriormente mencionado se consideró establecer técnicas de diversidad de espacio para la protección de los enlaces, ya que la información se envía por dos caminos diferentes al emplear dos antenas, lo que hace menos probable que ocurra un desalineamiento de las dos antenas simultáneamente y que el desvanecimiento que sufra cada señal por separado genere una interrupción del servicio.

Se tomó la decisión de tomar diversidad de espacio como técnica a emplear para garantizar protección al sistema, ya que la posibilidad de aplicar diversidad en frecuencia no es recomendable debido al colapso que existe hoy en día del espectro radioeléctrico. Por otra parte la diversidad cuádruple no se consideró efectiva, ya que como se mencionó es la combinación de la diversidad de espacio y de la diversidad en frecuencia. La diversidad de trayecto se consideró muy costosa ya que exige más repetidoras y emplazamientos (debido a que el enlace se realiza en paralelo) y es justificado principalmente cuando los desvanecimientos son originados por precipitaciones. Por último la diversidad de ángulo generaría un incremento en los costos, debido al aumento de las alturas de

las torres y debido a que en algunos casos las torres existentes necesitarían ser modificadas para que puedan soportar las cargas de viento adicionales, ya que este tipo de diversidad requiere de la instalación de múltiples antenas.

### **3.3.5 Gama de frecuencias de operación de los enlaces de microondas**

La gama de frecuencias de trabajo en la presente norma se estableció en las sub-bandas de 6,425 a 7,125 GHz, de 7.125 GHz a 7.425 GHz y 7.425 GHz a 7725 GHz, ya que por diversas reuniones entre el ente gubernamental CONATEL y la empresa CORPOELEC con el jefe de planificación del espectro radioeléctrico se definieron estas bandas para uso de CORPOELEC.

Una de las ventajas que se consideró en establecer una homogeneidad en la banda de frecuencia, es la de que al momento de adquirir los equipos, se solicitarían todos en una misma banda de operación, pudiendo así la empresa disponer de equipos de respaldo, para que en el caso de una falla poder realizar el cambio de equipos, sin la necesidad de tener que solicitar cambios de frecuencia de trabajo, debiendo realizar estudios de espectrometría debido a que los equipos no operen en la misma gama.

### **3.3.6 Arquitectura a utilizar para los enlaces microondas**

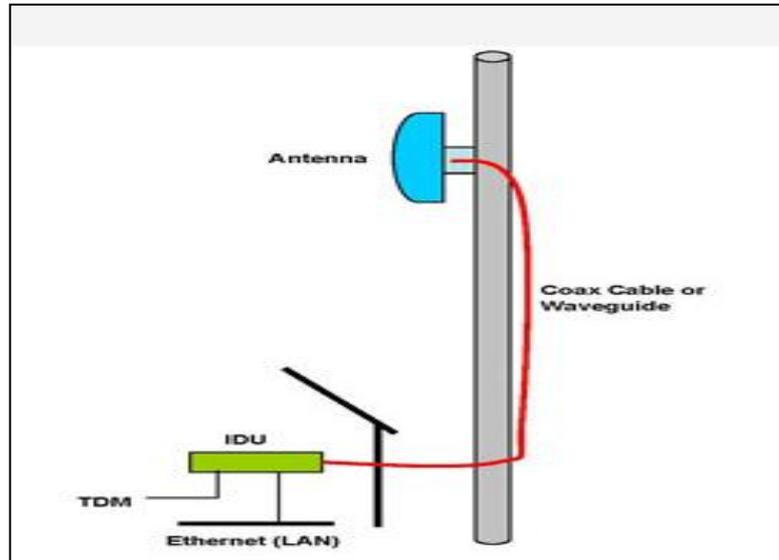
Una de las grandes ventajas que existe hoy en día en el mercado de equipos de radio microondas es la diversidad de productos disponibles para los operadores de red. Esto a su vez tiende a dificultar la toma de decisión correcta debido al exceso de opciones.

Hoy en día existen tres diferentes tipos de arquitectura capaces de emplearse en un enlace microondas: Full In-Door, Split Mount y Full Out-Door.

#### **3.3.6.1 Arquitectura Full In-Door**

Los sistemas microondas de arquitectura Full In-Door incorporan las interfaces y el equipo de radio en una caja cerrada, la cual se instala en las salas o

casetas de comunicaciones, dentro de gabinetes o racks y como se observa en la *Figura 23 Arquitectura Full In-Door*, generalmente a través de una guía de onda, se conecta a la antena instalada en la torre de comunicaciones.



*Figura 23 Arquitectura Full In-Door*

Fuente: <http://www.wirelessweek.com/articles/2010/06/all-outdoor-microwave-greener-choice-backhaul>

### 3.3.6.2 Arquitectura Split Mount

Este tipo de arquitectura elimina la necesidad de utilizar guía de onda. El montaje, como se observa en la *Figura 24: Arquitectura Split Mount*, se divide en una unidad interna llamada INU/IDU, la cual contiene el módem e interfaces que se encuentran instalados en interiores y una unidad externa llamada ODU, representada por la unidad RF.

En este tipo de arquitectura el personal de campo y mantenimiento puede reemplazar rápidamente las unidades internas y los costos de instalación son más bajos que en la arquitectura Full In-Door ya que se emplea cable coaxial para conectar la unidad INU/IDU con la ODU.

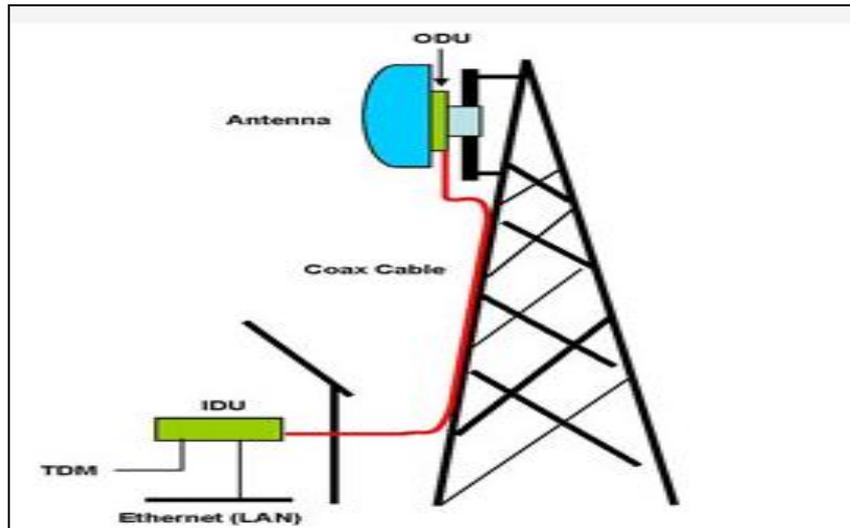


Figura 24: Arquitectura Split Mount

Fuente: <http://www.wirelessweek.com/articles/2010/06/all-outdoor-microwave-greener-choice-backhaul>

### 3.3.6.3 Arquitectura Full Out-Door

La arquitectura Full Out-Door está representada por equipos de radio que incorporan las interfaces de tráfico, conmutación, elementos de multiplexación, radio módem y el transceptor de radio, todos empaquetados en una caja impermeable, la cual, como se observa en la *Figura 25: Arquitectura Full Out-Door*, se instala al aire libre en las torres de comunicaciones, mástiles, etc., y a través de Fibra óptica, cable UTP o STP, se conecta a los diferentes equipos de comunicaciones de acuerdo a las necesidades.

La unidad Full Out-Door, se diferencia de la unidad exterior ODU, en que ésta última, sólo contiene el transceptor de radio que se conecta a un radio módem integrado en una unidad interior INU/IDU.

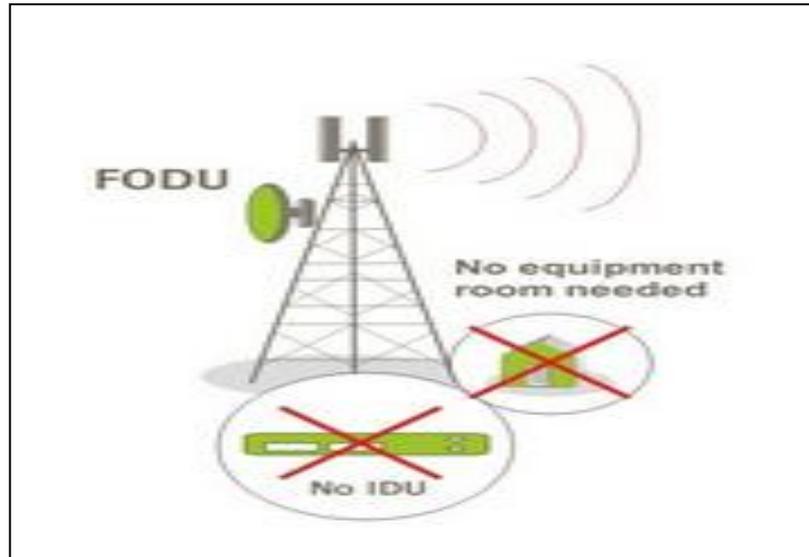


Figura 25: Arquitectura Full Out-Door

Fuente: <http://www.wirelessweek.com/articles/2010/06/all-outdoor-microwave-greener-choice-backhaul>

Actualmente CADAFE-CORPOELEC emplea en sus enlaces microondas una arquitectura SPLIT-MOUNT, en la que a pesar de que los equipos de radio de esta tecnología son capaces de soportar varios enlaces al mismo tiempo y presentan facilidad en la manipulación de los equipos por encontrarse instalados dentro de las casetas o salas de comunicaciones, presenta ciertas desventajas. La principal desventaja es que este tipo de arquitectura está quedando en el pasado y debido a esto actualmente no hay disponibilidad inmediata en el mercado de los equipos de radio, causando así, retrasos en la instalación y aumento de los costos, tanto de instalación como de mano de obra.

Por otro lado, la arquitectura FULL IN-DOOR ha sido la opción preferida en muchos proyectos. La razón principal es que ofrecen una alternativa de fácil acceso a todos los componentes electrónicos del sistema, sin necesidad de tener que subir a las torres de comunicaciones, por lo que no es necesario la contratación de personal especializado para que ascienda a las torres en caso de fallas, lo que reduce el tiempo de reparación, ya que los técnicos y personal especializado pueden reparar o reemplazar el equipo en el lugar sin importar las

condiciones del clima. Sin embargo hay que tomar en cuenta que el equipo In-Door se conecta a la antena típicamente mediante una guía de onda, lo que genera una instalación lenta y costosa debido a lo difícil que resulta la instalación de una guía de onda, además de la necesidad de utilizar conectores, acopladores, amplificadores, etc., a causa de las pérdidas en la guía de onda debido a la frecuencia de operación en la que trabaja y a la longitud de guía necesaria para conectar la unidad In-Door con la antena, caso contrario sucede en la arquitectura Full Out-Door, la cual minimiza y elimina virtualmente la pérdida de RF entre el radio y la antena por la pequeña distancia entre ambos.

La instalación de un sistema Full Out-Door comparado con los otros tipos de arquitectura resulta mucho más económica. El diseño de estos radios garantizan durabilidad, son probados para ser extremadamente fiables y de hecho tienden a durar mucho más tiempo que todos los sistemas de montaje en interiores o tipo Split Mount.

Por otra parte el mundo de las telecomunicaciones está cambiando a redes IP/ETHERNET, dejando en el pasado arquitecturas como IN-DOOR y SPLIT MOUNT, lo que va a ir generando a medida que pase el tiempo que la implementación de estas arquitecturas sea cada día más costosas.

Además la arquitectura Full Out-Door en los enlaces microondas se ha venido haciendo muy popular debido a la existencia inmediata de equipos que hay actualmente en el mercado, lo rápido de su instalación y gracias a que es un sistema totalmente al aire libre no requiere espacio en los gabinetes o refrigeración dentro de las salas o casetas de comunicaciones, que en el caso de estaciones repetidoras representa una ventaja, ya que estos sitios generalmente se encuentran ubicados en zonas aisladas, sin vigilancia, corriendo riesgo de vandalismo. Por otro lado, debido a la falta de recursos económicos que existe hoy en día en CORPOELEC, muchas de las estaciones repetidoras presentan problemas de alta humedad, altas temperaturas (debido a las condiciones de los aires acondicionados) y animales que entran y dañan los equipos, también

actualmente, para el caso de algunas subestaciones y plantas generadoras existe un problema de espacio en las salas de comunicaciones, debido a que se encuentran instalados equipos en desuso de todas las ex filiales, que hoy en día conforman a CORPOELEC y debido a problemas de logística no se realiza la evacuación de los mismos, dejando un espacio escaso o algunas veces inexistente para la instalación de nuevos equipos.

La instalación de enlaces microondas con arquitectura Full Out-Door también ofrece:

- Sistemas más pequeños y compactos ofreciendo facilidad al momento de implementar.
- Sistemas más ecológicos ya que minimizan la necesidad de espacio, de energía y de recursos de refrigeración. Los diseños integrados ofrecen un mayor rendimiento con menor consumo de energía y reducen al mínimo las pérdidas de RF entre la radio y la antena.
- La proximidad a la antena minimiza el tamaño de la antena, la carga del viento y la contaminación visual, por lo que es más fácil de obtener los permisos de zonificación necesarios.
- Las unidades exteriores son más fáciles de mantener, ya que por no ser modulares, no disponen de tarjetas de línea que requieran mantenimiento o cuidado.

Por otra parte los equipos Full Out-Door ofrecen la ventaja de poder ser alimentados por medio de un voltaje DC o a través de Power Over ETHERNET mediante un simple cable de tipo UTP o STP.

Aunque estos sistemas requieren que el personal de instalación y mantenimiento deba escalar torres de comunicaciones o techos, lo cual representa una desventaja en condiciones meteorológicas adversas, las características de estos equipos de radio externos es de ser altamente confiables, capaces de resistir variaciones extremas de temperatura y ambientes severos del clima y tener largos años de vida útil.

Por estas razones se escogió la modalidad Full Out-Door como tipo de arquitectura a exigir en la norma.

### **3.3.7 Ingeniería y supervisión**

#### **3.3.7.1 Permisos**

Una vez establecidos los requerimientos para el estudio, diseño y comportamiento de los enlaces microondas, se consideró que la solicitud de todos los permisos de accesos a las distintas instalaciones donde se lleven a cabo los proyectos debería ser el siguiente paso a realizar, de manera de poder llevarse a cabo el levantamiento del proyecto. Los permisos son solicitados a diferentes departamentos de acuerdo al tipo de acceso. Con ayuda de información recopilada del personal de CORPOELEC se conocieron los diferentes tipos de permisos que se deben solicitar para acceder a las instalaciones de la compañía, los cuales fueron establecidos en la norma definidos de la siguiente manera:

- En el caso de una planta generadora o subestación se requiere un permiso de consignación aprobado por el despacho de carga de su jurisdicción. Para una oficina comercial se requiere el permiso de acceso de Seguridad y Gestión.
- Para una estación repetidora de propiedad de CORPOELEC no se requieren permisos de acceso.

- Para casos donde el sitio de instalación se encuentre en un Parque Nacional se requerirá el permiso aprobado por In-parques o DICOFAB y para casos donde el sitio de instalación pertenezca a una propiedad privada, se requerirá del permiso exigido por el propietario de la misma.

### **3.3.7.2 Site Survey Sitio**

La necesidad de realizar el Site Survey del sitio es la de poder definir los parámetros necesarios para la instalación o adecuación del lugar donde se va a definir el proyecto, de manera de validar si los sitios escogidos son adecuados para cumplir con los objetivos propuestos de calidad y continuidad del servicio exigidos por CORPOELEC.

Existen diferentes parámetros que conforman un estudio de campo, entre estos: el de conocer si la topología del sitio presenta irregularidades en el terreno, de ser así, se debe buscar otro sitio que permita mejorar los niveles de la señal, ya que se recomienda que el sitio para la instalación de las estaciones sea lo más plano posible. También es importante conocer mediante la elaboración del Site Survey las coordenadas exactas del sitio donde se tiene previsto llevar a cabo el proyecto, las condiciones generales de las torres existentes, casetas y salas de comunicaciones, así como también, conocer la ubicación de los equipos existentes o por instalar en las casetas y salas de comunicaciones y dónde se llevará a cabo la instalación de las antenas y equipos out-door en las torres de comunicaciones.

A través de información recopilada de diferentes informes de Site Survey de sitio elaborados por las ex contratistas que hoy en día conforman CORPOELEC, se elaboró un formato breve y general el cual se anexa a la norma, donde se toman en cuenta los parámetros considerados más importantes de cada uno de los criterios que anteriormente cada contratista tomaba individualmente, con el fin de tener la información previa del sitio el cual es necesario antes de llevar a cabo cualquiera que fuese el proyecto y que sea llenado en su totalidad por el personal de campo destinado a elaborar la visita de campo.

El Site Survey de sitio se elaboró con la información suministrada en la **Tabla 1: Información General**, la cual se anexa a la norma.

Tabla 1: *Información General*

Fecha de visita	Se especificará la fecha para la cual se llevó a cabo el site survey.
Nombre de la estación	Se señalará de forma precisa el nombre de la estación donde se realizará la instalación.
Dirección	Se deberá redactar de forma clara y precisa la ubicación de la estación, región, Estado y localidad.
Coordenadas Datum Sur-América	Las coordenadas de ubicación de la estación deberán ser aquellas que cumplan con los requisitos exigidos por parte del ente regulador CONATEL.
ASNМ	Se indicará la altura sobre el nivel del mar (en metros) de la estación a realizar la instalación.
Persona contacto	Nombre y número telefónico de la persona que llevó a cabo el Site Survey.
Propiedad	Se deberá indicar si la estación es propiedad de CORPOELEC.
Vialidad	Se indicará el tipo de vialidad para ingresar a la estación (asfaltada, tierra, etc.) y el tipo de vehículo necesario para acceder a la estación..
Seguridad y acceso	Se indicará si la ubicación de la estación es cercada y sí posee vigilancia. Se especificarán las

	condiciones de todas las escalerillas existentes en la instalación, siendo éstas: escalerillas de acceso, escalerillas verticales y horizontales (porta cables) y disponibilidad de espacio en las ya existentes.
Descripción de la estación	Descripción breve de la estación, indicando: ubicación de la sala de comunicaciones, torres, mástiles, si existe o no problemas para el acarreo de equipos y materiales hasta el sitio de la instalación, etc.
Torres de Comunicaciones	Se deberán de anexar toda la información solicitada en el anexo, tales como: datos de la placa de identificación, si es una torre existente : altura y tipo de torre y disponibilidad de espacio (indicar si se requiere de la instalación de una nueva torre), condiciones de la torre y sus anclases, tipo de fundaciones, condiciones de la escalerilla, etc.
Caseta de comunicaciones	Se indica el tipo de material de la construcción, altura, tipo de paredes, características del techo (si es impermeabilizado o no), condiciones de la pintura (externa e interna), existencia de barra MGB, tipos de luces, lámparas disponibles en la estación, condiciones de los tableros de control y alarmas y canalizaciones, existencia en la sala de comunicaciones

	<p>de A/A, ventana de acceso y tipos de racks o gabinetes. En caso de no existir se verificará si se dispone espacio para la instalación de los mismos. Se indicará el tipo de energía de la cual se dispone, consumo, así como nombre del equipo el cual la supe (equipo rectificadores, banco de baterías, convertidores, transformadores o algún otro equipo de energía). Es importante señalar que se deberá cumplir con una alimentación de -48Vdc, como exigencia y requisitos técnicos de la empresa CORPOELEC. Se indicará si se dispone de tablero y tipo, cantidad y tipo de tomacorrientes, fusibles, protectores de voltaje, características del A/A, tipo, capacidad de refrigeración, cantidad, condiciones del drenaje, etc.</p>
Sistema de puesta a tierra	<p>Se indicará si existen barras de conexión a equipos y condiciones del cableado siguiendo las especificaciones exigidas por CORPOELEC. Tipo y condiciones de malla de la torre y caseta, voltaje neutro a tierra, corriente de fuga a tierra, tipo de anillos y condiciones y cualquier observación adicional que se pueda requerir.</p>
Protección contra descargas atmosféricas	<p>Verificar la existencia, tipo y condiciones de: pararrayos, cable conductor, aisladores, soportes,</p>

	conexión a las malla de puesta a tierra, contador de descargas y cualquier observación adicional que se pueda requerir.
Sistema de Alarmas	Se especificarán las cantidades y condiciones de: detectores, extintores, lámparas de emergencia disponibles en la instalación.

### 3.3.7.3 Site Survey Enlace

La realización de este tipo de Site Survey permite conocer toda la información de cada uno de los puntos que va a conformar el enlace microondas. Permite comprobar la existencia de LDV por medio de visitas a los emplazamientos donde se tenga previsto la instalación de las antenas.

Para la elaboración de este formato se consideraron diferentes parámetros, tales como: la ubicación exacta de cada uno de los sitios teniendo la información de las coordenadas exactas (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar), visitas a los emplazamientos de manera de hacer una memoria fotográfica de los sitios donde se garantice LDV entre los extremos del enlace microondas.

Se consideró importante para la elaboración de este tipo de site survey que la persona destinada a realizarlo se ayude de un programa de simulación para diseños de radioenlaces microondas. En la presente norma se estudió y recomendó el programa de simulación PATHLOOSS 4.0, de manera que ayude a la realización de un informe general, el cual deberá ser entregado junto la información suministrada en la **Tabla 2: Tabla Site Survey Enlace.**

**Tabla 2: Tabla Site Survey Enlace**

Línea de vista (LDV)	Se indicará si existe línea franca y libre de obstáculos y la altura a la que se deberá colocar la antena para que exista LDV.
Cálculo de enlace	Con ayuda de un programa de simulación, se anexarán los reportes y perfiles de los enlaces. Se recomendó para la presente norma el uso del programa de simulación PATHLOOS 4.0.
Diagramas y Planos	Se especificarán detalles de la instalación, tales como: ubicación relativa de los equipos en los racks y antenas en las torres, escalerillas, diagramas de cableado y planos que incluyan: ubicación, estación, y paredes que conformen la edificación.

### **3.3.7.4 Estudio de Espectrometría**

La realización de los estudios de espectrometría es de gran importancia ya que permite observar el espectro radioeléctrico, con el fin de conocer la disponibilidad de las bandas de frecuencia y de los canales en los que se pretenda trabajar para luego ser solicitados a CONATEL.

Los equipos de telecomunicaciones como: radios, antenas, etc., vienen diseñados para operar en un rango determinado de frecuencia y para realizar la instalación de un enlace microondas el proyectista deberá tener definido la banda de frecuencia y canales de operación, a fin de poder solicitar los equipos correctos y así proteger al enlace de interferencias. En el país el ente gubernamental CONATEL es el encargado de la asignación de frecuencia a través de

CUNABAF, por ello se tomaron las especificaciones exigidas del ente gubernamental y de antiguas espectrometrías realizadas por CORPOELEC con el fin de poder establecer los pasos básicos para la elaboración del estudio de espectrometría.

### **3.3.7.5 Selección del Sitio**

Para el desarrollo de la presente norma se consideraron dos exigencias fundamentales en cuanto a la selección del sitio. Como primera exigencia se consideró importante que las personas destinadas a llevar a cabo el proyecto deben disponer de los mapas de banda o croquis del sitio pensado para llevar a cabo el proyecto.

Otra exigencia que se tomó para la correcta selección del sitio fue la medición del valor de la resistencia del suelo. Es importante que la resistividad del suelo pueda verificarse en forma tan precisa como sea posible, ya que el valor de resistencia a tierra del electrodo es directamente proporcional a la resistividad del suelo. Se tomó como norma una medida de resistencia igual o menor a 5 Ohm, esta medida se logra obtener con la aplicación de los diferentes métodos tomados de la norma de diseño e instalación de los sistemas de puesta a tierra en centrales telefónicas y estaciones de transmisión de CANTV: Método de Prueba de 4 puntas y el Método de caída de Voltaje. Cabe señalar que si no se obtiene la medida correcta de resistencia del suelo, o en un sitio ya existente es necesario llevar a cabo mejoras en la resistividad del suelo, se deben seguir pasos para mejorar dicho valor, los cuales igualmente se tomaron de los descritos por la norma mencionada anteriormente. Se tomó la decisión de tomar esta norma como base ya que en antiguos proyectos de CORPOELEC (CADAFE) ha sido implementada y además cumple con las exigencias del CEN, por otra parte se consideró importante que el diseño del electrodo de puesta a tierra esté basado en el conocimiento del valor de la resistividad del terreno, mediante mediciones hechas directamente, para evitar así, el uso de tabulaciones de carácter general

como son las tablas de resistividades que son publicadas para distintos tipos de suelo.

### **3.3.8 Instalación**

#### **3.3.8.1 Cableado**

##### **3.3.8.1.1 Cableado de Alimentación**

La instalación del cableado existente en todo proyecto depende de criterios internacionalmente ya normados, tales como: el nivel de corriente máxima que es capaz de soportar el cable de acuerdo a su diámetro, radio de curvatura máxima permitida, temperatura máxima soportada por el cable, si es o no resistente a las llamas, el tipo de color que se usa para identificar el cable, etc. Para la elaboración de la presente norma se tomaron los criterios utilizados por la Norma de Calidad para la Instalación de Equipos de Red Fija Motorola R56 por considerarse una norma que cumple con todos los requisitos exigidos en el CEN.

La presente Norma contiene los criterios mínimos mencionados anteriormente de los diferentes tipos de cables considerados a usarse en la presente norma, entre ellos: cableado de alimentación, cableado de línea antena/transmisión y conductores de aterramiento, cualquiera que sea alguna información adicional necesaria por el lector podrá documentarse con ayuda de las diferentes normas que hicieron capaz la elaboración de la presente.

Para el caso de subestaciones, repetidoras y plantas generadoras por normativas de la empresa se exige una alimentación de -48 Vdc, por lo que en la norma se recomienda el uso de cable de cobre resistente a las llamas y altas temperaturas para contrarrestar los riesgos eléctricos que se presentan en dichos sitios. El diámetro del cable a escoger dependerá del consumo de corriente del equipo de radio que se vaya a instalar.

En el caso de oficinas comerciales se estudió la posibilidad de aplicar otro tipo de alimentación ya que actualmente existen inconvenientes por parte de los sindicatos en instalar bancos de baterías cerca del personal que labora en dichas instalaciones. Las baterías aumentan el número de problemas de seguridad que se deben de tener en cuenta. Existen varios tipos de baterías, generalmente: pilas húmedas a gas y baterías con pilas selladas. Las pilas húmedas a gas afrontan riesgos mayores que las baterías selladas, aunque las baterías selladas a menudo expelen gases en ciertas condiciones, requiriéndose salones separados para las baterías. Por estas razones en oficinas comerciales se estableció la alimentación de los equipos a través de Power Over Ethernet.

#### 3.3.8.1.2 Cableado de Antena/Transmisión

Como se explicó anteriormente en los enlaces Full Out-door es posible conectar la unidad externa a los diferentes equipos instalados dentro de las casetas o salas de comunicaciones a través de distintos tipos de cableado, entre ellos: UTP, STP o Fibra Óptica.

En la presente norma se consideró el tipo de cable a usar de acuerdo a los siguientes factores:

El uso de cable UTP se recomendó para instalaciones en oficinas comerciales ya que no requieren protección contra la intemperie y no son ambientes eléctricamente hostiles.

La instalación de cable STP se recomendó en subestaciones, plantas generadoras y repetidoras ya que presenta mayores ventajas eléctricas y es de gran utilidad su instalación en ambientes eléctricamente hostiles, además el recubrimiento metálico le genera protección contra la intemperie, animales o roedores los cuales pueden presenciarse en estaciones repetidoras y también subestaciones.

La instalación de Fibra Óptica se recomendó en subestaciones y plantas generadoras, ya que aunque puede generar aumento en los costos de instalación, ayudan a incrementar la capacidad de transmisión, ya que permiten enviar una gran cantidad de información a altas velocidades. Además presentan un alto nivel de inmunidad eléctrica, más que el cable STP, ya que no conducen señales eléctricas, por tanto puede usarse en condiciones peligrosas de alta tensión y tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y sin acarrear problemas por cortos circuitos. Además, gracias a sus pequeñas dimensiones y peso son mucho más fáciles de instalar que otros tipos de cableado.

#### 3.3.8.1.3 Guía de onda

En los sistemas microondas Full Out-door existen una diversa gama de equipos disponibles en el mercado, cada uno con características diferentes de acuerdo al fabricante. Existen equipos los cuales ofrecen la característica de venir interconectados a la antena, cuando el equipo de radio a usar no viene directamente conectado a la antena, la conexión se realiza mediante guía de onda. La guía de onda a utilizar dependerá de las características del fabricante del equipo Out-Door, por esta razón en la presente norma no se establecieron características limitativas con respecto al cable coaxial, siempre que brinde las capacidades de transmisión y calidad del sistema.

#### 3.3.8.1.4 Conductor de Aterramiento

Es indispensable que en un sistema de comunicaciones todos los equipos electrónicos estén eficazmente conectados al sistema de aterramiento. Para el desarrollo de la norma se tomaron las características, recomendaciones y especificaciones del cableado de aterramiento de la Norma Motorola R56, la cual garantiza el cumplimiento del CEN.

### **3.3.8.2 Sistema de Escalerilla Portacables**

La selección de los diferentes tipos de sistemas de escalerillas portacables usados en la presente norma se basó en los mencionados en la Norma Motorola R56 que cumple de igual manera con las condiciones que exige el CEN, éste proporciona diferentes tipos de sistemas de escalerillas portacables de acuerdo a diferentes factores como: el tamaño del sistema y expansión proyectada, número y tipo de conductores a ser ubicados dentro de la escalerilla portacables y la función de los conductores, permitiendo así la selección de diferentes tipos de escalerilla de acuerdo al sitio donde vaya a realizarse la instalación, entre ellos:

- Bandeja tipo escalera

Una bandeja de tipo escalera o escalerilla es la más usada, basado en los tipos y usos de los cables que van a ser instalados y los métodos disponibles para su soporte. Este tipo de escalerilla permite el flujo de aire a través de los cables, permitiendo una efectiva disipación de calor en los conductores. De acuerdo a estos criterios se estableció como norma el uso de este tipo de sistema de escalerillas portacables en subestaciones, plantas generadoras y sistemas de escalerillas internos, ya que estos sitios están provistos de vigilancia.

- Bandeja de base sólida

Está provista de una tapa con bisagras de manera que brinda un encerramiento total de los cables, este tipo de bandeja se tomó para estaciones repetidoras y como sistema exterior de escalerillas portacables ya que ofrece protección para sitios donde no se disponga de vigilancia, además minimiza el daño potencial de roedores y vandalismo.

### 3.3.8.3 Sistema de Aterramiento

Actualmente el desarrollo tecnológico obliga a tener un eficiente desempeño del sistema de aterramiento a fin de garantizar la seguridad del personal que labora en cualquiera de las instalaciones y de todos los equipos instalados.

Establecer cual tipo de sistema de puesta a tierra es conveniente para una determinada instalación eléctrica presenta una gran variedad de matices en lo referente a su configuración y forma, pues depende directamente de las instalaciones que se quieren proteger. Más aún, para un mismo sistema pueden existir diferentes alternativas válidas, pero la finalidad es llegar a una propuesta debidamente argumentada en normas, prácticas y recomendaciones que permitan cumplir con un sistema de aterramiento efectivo.

El sistema de aterramiento propuesto en la presente norma se basó en la construcción de dos anillos:

- Un anillo de aterramiento exterior formado por barras de cobre COPPERWELD distribuidas a lo largo de la instalación, las cuales estarán unidas por medio de cable de cobre desnudo enterrado en la tierra, para formar así un anillo alrededor de la instalación.
- Un anillo de aterramiento interior de cable de cobre desnudo instalado dentro de la caseta y sala de comunicaciones, el cual deberá unirse al anillo exterior.

Este procedimiento anteriormente descrito se basó en los estándares definidos en la Norma de Calidad para la instalación de equipo de Red Fija MOTOROLA R56 y la Norma de diseño e instalación de los sistemas de puesta a tierra en centrales telefónicas y estaciones de transmisión de CANTV, las cuales

cumplen con los requisitos definidos en el Código Eléctrico Nacional y en todos los códigos locales de construcción e instalación de conexiones a tierra.

#### **3.3.8.4 Torre de Comunicaciones**

Para la elaboración e instalación de las torres de comunicaciones y soportes para antenas existe una norma que se ha venido desarrollando a nivel internacional, la cual es la ANSI/TIA 222, la cual se subdivide en las categorías a-g. En el país se implementó por varios años la ANSI/TIA 222-C, por medio de la cual surgió la norma CANTV utilizada hasta 1990. Posteriormente diferentes empresas de telecomunicaciones venían implementando la ANSI/TIA-F y luego surge la norma CANTV 2007 compatible con la ANSI/TIA-G y COVENIN. Actualmente la CANTV 2007 es utilizada por las principales empresas de telecomunicaciones del país, motivo por el cual se tomó como base para el desarrollo de la instalación y mantenimiento de torres en el desarrollo de la presente norma, además por tomar en cuenta diferentes factores que para CORPOELEC son considerados esenciales, tales como:

- A diferencia de la ANSI/TIA-F, la Norma CANTV 2007 toma en cuenta de las acciones de las fuerzas básicas del viento y de la topología del terreno donde se instalan las torres (lomas, costas, edificaciones, etc.). Se definieron tres tipos de categorías para torres, detallando los estados pertenecientes a cada una de las diferentes categorías, basándose en la información recopilada de los mapas de viento de la Norma CANTV 2007, de las características topográficas generales que presentan cada estado del país y de las diversas informaciones recopiladas de informes de antiguos proyectos.
- La Norma CANTV 2007 establece el factor de importancia de riesgo de cada torre en caso de colapso (A, B, C). Se consideró vital el poder diferenciar la importancia de cada torre de acuerdo a su sitio de

instalación. Basada en la información tomada por la Norma CANTV 2007 se definieron tres grupos de torres:

- Grupo A: Se consideró que deberían formar parte de este grupo toda torre que funcione como repetidora, ya que las misma actúan como ramales de interconexión entre diferentes puntos, entre ellos Subestaciones, Plantas Generadoras y Oficinas comerciales, lo que su colapso llevaría a la interrupción del servicio en diferentes puntos y su falla alteraría la red nacional.
- Grupo B: Se tomaron en cuenta para este grupo de torres todas aquellas ubicadas en subestaciones y plantas generadoras, ya que si existiese colapso de la torre se generaría la caída del sistema en ese punto, lo que pudiese verse solventado por otro sistema principal o de respaldo.
- Grupo C: En el caso de oficinas comerciales se recomendó la instalación de mástiles, ya que el problema de instalar torres autoportadas es la necesidad de perforar los techos y el peso de las mismas.

Por ende se decidió trabajar con torres autoportadas ya que requieren menor espacio de instalación que las torres venteadas debido a que estas últimas poseen vientos igualmente tensados que deben estar distribuidos simétricamente alrededor de la torre, lo que hace que se necesite un espacio mucho mayor que el necesario por una torre autoportada, además el largo de cada viento dependerá de lo alto de la torre, por lo que a mayor altura de la torre más espacio se requerirá para su instalación. Adicional a esto otra razón se debe a la falta de mantenimiento que sufren actualmente los anclajes y guayas de los vientos de las torres venteadas existentes debido a la falta de recursos, etc.

La ventaja de este tipo de torre es que por ser más rígidas, se utilizan cuando se trata de soportar varias antenas de gran superficie (ideal en caso de aplicar diversidad de espacio). Así mismo, tienen la ventaja de poder instalarse en áreas limitadas, ya que muchas veces el área disponible del suelo no permite el tendido de las fijaciones de las riostras como el caso de las torres de tipo venteadas (terreno accidentado, zona urbana con terreno exiguo).

En cuanto al tipo de torre autoportada a usar se vio la necesidad de emplear en la norma el uso de torres autoportadas de sección triangular, debido a que son más económicas que las de sección cuadrada y requieren menos espacio para su instalación, el problema de las torres de sección triangular es que a medida que aumenta la altura de la torre el área de la base triangular aumenta para poder soportar el peso de la misma, por lo que además de acuerdo a estudios de torres ya instaladas por parte de CORPOELEC, se recomendó para el desarrollo de norma el uso de torres autoportadas de sección triangular hasta una altura máxima de 60m y para alturas mayores usar de sección cuadrada

- La Norma CANTV 2007, a diferencia de la ANSI/TIA-F, dispone del mapa de viento de todas las zona del país, por lo que no es necesario realizar la siguiente conversión:

$$\frac{V_{cantv}}{1.2} = V_F$$

Donde:

$V_{cantv}$ = velocidad del viento usada en la NORMA CANTV 2007

$V_F$ = velocidad del viento de la ANSI/TIA-F la cual se basa en los mapas de viento de Estado Unidos.

### **3.3.8.5 Instalación de casetas y salas de comunicaciones**

Las casetas y salas de comunicaciones representan el resguardo de todos los equipos instalados In-Door de un sistema, y en muchas ocasiones las fallas del sistema son debidas construcciones deficientes y falta de mantenimientos de estas edificaciones, al no brindarles protección a los equipos. Los argumentos establecidos en la presente norma fueron basados en las recomendaciones tomadas por la Norma de Calidad para la Instalación de Equipo de Red Fija MOTOROLA R56 y también de observaciones realizadas en visitas a algunas de las casetas y salas de comunicaciones de CORPOELEC.

Como primer paso, se determinaron dos tipos de construcción:

- Casetas de comunicaciones: se refiere a todas aquellas instalaciones ubicadas fuera de edificaciones, generalmente no poseen vigilancia y son de acceso complicado, como el caso de estaciones repetidoras.
- Salas de comunicaciones: se refiere a todas aquellas instaladas dentro de edificaciones. Poseen vigilancia y pueden encontrarse a nivel del piso, sótanos o en techos, como el caso de subestaciones, plantas generadoras y oficinas comerciales.

La construcción o adecuación de las casetas y salas de comunicaciones, brindan seguridad y protección a los equipos, garantizando la vida operacional del sistema. Para la elaboración de la norma se consideraron las condiciones básicas de una construcción, tales como: la determinación del tamaño de la construcción, espacio requerido, condiciones de los sistemas de energía, alarmas, iluminación.

Para la instalación de los equipos dentro de las casetas o salas de comunicaciones se estableció como exigencia el uso de gabinetes auto-soportantes por brindar mayor seguridad y protección que el uso de racks. No se establecieron dimensiones específicas, ya que las mismas dependerán de la cantidad de equipos

a instalar en el proyecto. Se consideró importante revisar el marco de la puerta de acceso del sitio donde se lleve a cabo la instalación de los gabinetes, a fin de comprobar la posibilidad de acceder el gabinete a través de la puerta y evitar demoliciones o ampliación de puertas.

El sistema de iluminación se estableció de manera tal que cumpliera con las exigencias de Iluminancias en Tareas y Áreas de Trabajo de la Norma COVENIN 2249-93, por ello se tomó la decisión de que para toda sala o caseta de comunicaciones existiera una iluminación de 350 o más lúmenes.

Especificar las condiciones del sistema de aire acondicionado fue una gran limitante, ya que en gran parte depende de las condiciones del sitio, sin embargo se recomendó un rango de temperatura considerado adecuado para la operación de los equipos.

Adicional a estos puntos anteriormente mencionados, se establecieron recomendaciones de instalación verificación y mantenimiento considerados importantes para este tipo de construcción.

### **3.3.9 Alineamiento de antenas, protocolos de prueba y puesta en marcha**

La puesta en marcha definida en la presente norma se basó en dos parámetros: el alineamiento de las antenas para garantizar el nivel de recepción para cual el enlace fue diseñado y los protocolos de prueba que deberán ser aprobados para garantizar que enlace cumpla con las condiciones de diseño.

#### **3.3.9.1 Alineamiento de las antenas**

En la instalación de un enlace microondas uno de los factores primordiales para la puesta en marcha del servicio es la alineación de las antenas en cada uno de los extremos, esto con el fin de transferir la máxima potencia entre

una antena transmisora y una receptora. Si las antenas no están alineadas o no tienen la misma polarización, habrá una disminución de la potencia que se transmite entre ambas antenas, reduciendo así la eficiencia del enlace.

En la alineación de antenas no influye el tipo de arquitectura que se implemente en el enlace. En la mayoría de los casos se realiza localizando el ángulo azimut de la antena que permita obtener el nivel de señal recibida para el cual fue diseñado el sistema. Existe una relación directa entre el nivel de señal recibida de un enlace y el voltaje RSSI que se obtiene en el conector BNC de la unidad Out-Door, por ello se tomó para el desarrollo de la norma los pasos descritos en la guía y manual de antenas ECLIPSE donde se especifica este método.

### **3.3.9.2 Protocolos de prueba en redes ETHERNET**

En los sistemas de comunicaciones basados en tecnología ETHERNET surgen nuevos parámetros que deben ser evaluados con el fin de determinar si el enlace cumple con las condiciones para el cual fue diseñado. En este tipo de redes no es posible determinar la cantidad de bits errados que son transmitidos ya que la información se envía en paquetes, por lo que se evalúan la cantidad de tramas que se pierden durante la transmisión de información, si el canal es capaz de soportar el ancho de banda para el cual fue diseñado y el retraso en el envío de la información. Estos parámetros son: rendimiento (Throughput), pérdida de tramas, estado latente (tiempo de ida y retorno del paquete) y espaciado entre paquetes (jitter). Para la medición de estos parámetros existen diversidades de equipos disponibles en el mercado, muchos de los cuales basan sus mediciones en la recomendación RFC 2544, la cual evalúa los cuatro parámetros fundamentales del desempeño de este tipo de redes. Por este motivo para el desarrollo de la presente norma, se tomaron los parámetros exigidos en la recomendación RFC 2544, además de la ayuda del manual de uso del equipo JDSU, el cual es un probador de redes ETHERNET que describe la metodología para realizar este protocolo de prueba.

### **3.3.10 Mantenimiento General**

El mantenimiento de toda instalación de comunicaciones es esencial para que el sistema tenga la vida útil para el cual fue diseñado y evitar fallas o caídas del sistema. Para la elaboración de la norma se consultó con La Contratista EPROSERCA, la cual actualmente lleva proyectos con CORPOELEC encargándose de todo lo relacionado con el mantenimiento y operación de las instalaciones. Junto con la información suministrada por parte de La Contratista, información adquirida en el CEN sobre los sistemas de aterramiento, información recopilada de la Norma de Calidad para la Instalación de Equipo de Red Fija MOTOROLA R56 y de la norma de instalación de torres CANTV 2007 y consideraciones personales, se determinaron ciertas pautas de mantenimiento general y recomendaciones, para ser implementadas por el personal capacitado, con el fin de garantizar la confiabilidad y durabilidad de los enlaces microondas que se lleven a cabo.

El resultado de este trabajo se plasmó en un documento que debido a su extensión se colocó como un anexo, además en dicho anexo se agrega el manual de uso de la herramienta de simulación PATHLOOS 4.0 para los estudios de línea de vista directa, cálculos de propagación y comportamiento de los enlaces.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANALÍISIS DE RESULTADOS

Lo más importante de esta norma, es que abarca de forma rápida y sencilla parámetros a tomar en cuenta para el estudio, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de los enlaces microondas, entre ellos:

- Enlaces microondas con capacidad de transmisión Gigabit Ethernet, de manera de poder disfrutar al máximo el ancho de banda establecido y ofrecer enlaces microondas con una mejor calidad y escalables en el tiempo.
- Enlaces microondas con una arquitectura Full Out-Door, lo cual representa sistemas de vanguardia, de fácil instalación y de gran eficacia.
- El tipo de modulación a implementar, la cual se basó en una modulación dinámica adaptativa, de manera de garantizar la transmisión de la señal aún en condiciones climatológicas adversas.
- La capacidad de ofrecer una polarización de tipo cruzada, al fin de aumentar la calidad de los enlaces microondas, ya que se puede duplicar la capacidad de un canal utilizando una frecuencia de trabajo.
- La alineación de las antenas y protocolo de prueba basado en la recomendación RFC 2544, para la correcta puesta en marcha del servicio.
- Se estableció una homogeneidad en la banda de frecuencia de trabajo a usar, comprendida en las sub-bandas de 6 y 7 GHz.
- Todos los pasos para la puesta en marcha y mantenimiento de los componentes necesarios para la instalación de un enlace microondas

entre ellos: cableado, sistema de escalerilla portacable, sistema de aterramiento, torres de comunicaciones e instalación de las casetas y salas de comunicaciones, fueron basados en normativas internacionales, las cuales cumplen con los entes regulatorios del ámbito de las telecomunicaciones y del sistema eléctrico.

## CONCLUSIONES

El Servicio Eléctrico Nacional constituye uno de los factores claves en el desarrollo de toda sociedad organizada, por lo que surge la necesidad de interconectar la red eléctrica a través de las señales de los sistemas de control y sistemas de comunicaciones. La Corporación Eléctrica Nacional cuenta con diversos centros de despacho, los cuales coordinan estas actividades que se desarrollan en cada una de las subestaciones, por lo que la elaboración de la presente norma representa un medio para garantizar el desempeño y eficacia de los enlaces microondas instalados por CORPOELEC.

Las pérdidas que provocan las interrupciones de servicio eléctrico provocadas por las fallas de los sistemas microondas pueden ser evitadas o disminuidas mediante el desarrollo de normas que estandaricen el diseño, instalación y mantenimiento de los mismos.

Mediante el presente trabajo se logró crear una norma la cual funcionará como guía técnica a ser implementada para la instalación de los enlaces microondas de CORPOELEC con el fin de minimizar errores, permitir mejorar la calidad del servicio eléctrico del país y garantizar que el trabajo a realizar por las contratistas destinadas a llevar a cabo los proyectos sea realizado bajo las especificaciones exigidas y de la misma forma en todas las instalaciones pertenecientes a La Corporación Eléctrica Nacional, entre ellas estaciones repetidoras, subestaciones, plantas generadoras y oficinas comerciales.

Los puntos detallados en la norma, fueron resultado de una documentación técnica, donde se tomaron en cuenta las fuentes consideradas importantes, entre ellas: normativas internacionales de telecomunicaciones, El Código Eléctrico Nacional, visitas y reuniones con diferentes Contratista, antiguos proyectos, manuales, etc., a fin de llevar a cabo los pasos necesarios para la implementación de los enlaces microondas de La Corporación Eléctrica Nacional.

Debido a que La Corporación Eléctrica Nacional es una compañía dedicada a la transmisión de energía eléctrica, la misma prioriza el tipo de información que se transmite por los medios de comunicación, por lo que para la elaboración de la norma, se tomó la necesidad de transmitir únicamente las señales de voz y datos del Sistema Eléctrico del país.

Adicionalmente el desarrollo del manual del programa de simulación PATHLOSS 4.0, el cual se anexa a la norma, servirá como documento de apoyo para el diseño de los enlaces microondas a implementar, en el cual se consideraron las condiciones de garantizar línea de vista y de las pérdidas que sufre la señal al propagarse.

## RECOMENDACIONES

Una vez terminado los puntos desarrollados en la presente norma se presentan las siguientes recomendaciones:

- Aunque exista un convenio por parte del ente gubernamental CONATEL y CORPOELEC en cuando a la asignación de las bandas de 6 y 7 GHz para la operación de los enlaces microondas, se recomienda que para el momento de llevar a cabo un proyecto se realicen los estudios de espectrometría con el fin de verificar la disponibilidad de los canales que van a ser escogidos dentro de la banda de trabajo, así como también el llenado del cuadro de pre asignación de frecuencia el cual es aprobado por CONATEL.
- Se recomienda que la empresa destinada a llevar a cabo un proyecto en particular, realice una amplia documentación técnica de toda la gama de equipos y tecnologías disponibles en el mercado, con el fin de disponer de diversidad en la gama de equipos, para constituir las estaciones terminales y estaciones repetidoras, ya que una mayor cantidad de opciones hace que CORPOELEC pueda evaluar las bondades o debilidades de las opciones presentadas. Una correcta documentación técnica también ayuda a buscar soluciones a los problemas que se puedan presentar en el diseño del enlace.
- Se recomienda además que esta primera versión de la norma desarrollada para enlaces microondas sea ampliada en un futuro, para abarcar puntos que no fueron especificados en la presente, tales como:
  - Cercado de los sitios de comunicación: Se recomienda establecer pautas de todos los sitios de comunicación para que sean cercados por razones de seguridad. Los sitios que pudieran no requerir cerca

serías las salas de comunicaciones localizadas dentro de instalaciones ya cercadas con seguridad.

- Estudio de las reglamentaciones y normativas a cumplir de acuerdo a las prevenciones de incendios que puedan presentarse en las casetas y salas de comunicaciones, estableciendo normativas de la instalación de extintores, como estar bien ubicados, instalados, en disposición de operación y que los extintores sean de las clases adecuadas para los tipos de incendios que puedan ocurrir y que se revisen mensualmente.
- Recomendaciones acerca de la instalación de generadores de seguridad para suministrar corriente confiable durante los tiempos de corte de energía, los cuales pudiesen ser generadores que operen con diesel o gas natural, además que cumplan con las condiciones exigidas en el CEN.
- Agregar información de capacitación al personal de mantenimiento y operación sobre el uso adecuado de extintores y planes de propuesta contra incendios y primeros auxilios.
- Buscar homogeneidad en la adquisición de los equipos de radio y antenas en cuanto a la frecuencia de trabajo, por ello se establece una gama de operación la cual es asignada para CORPOELEC, esto con el fin de que en caso donde los equipos sufran daños irreparables, exista la facilidad de cambio con equipos de repuesto que posea CORPOELEC, sin la necesidad de solicitar nuevos equipos o requerir a equipos que operen en bandas de frecuencia diferente, ya que se verá la necesidad de establecer los estudios de espectrometría nuevamente.
- Brindar una mayor información a las compañías destinadas a llevar los proyectos junto con CORPOELEC, de las características, ventajas y

grandes beneficios que ofrece implementar una arquitectura de tipo Full Out-Door, ya que hoy en día, gran parte de la negación que existe por parte de empresas en emplear este tipo de tecnología se debe a la falta de información y de no conocer que brinda muchas más ventajas que otras arquitecturas y mientras la tecnología mejora también lo hace la calidad y el rendimiento del enlace a instalar.

- Se recomienda llevar a cabo el desarrollo de futuras versiones de la presente norma, donde se incorpore información adicional no considerada en la presente, a fin de servir como guía de proceso para desarrollar proyectos destinados a elaborar futuras normas de los todos sistemas de comunicaciones que hoy en día implementa La Corporación Eléctrica Nacional, entre ellos el sistema de Fibra óptica y el sistema de Onda Portadora Digital.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. d. P. P. p. l. E. Eléctrica, «CORPOELEC. Empresa Eléctrica Socialista,» [En línea]. Available: <http://www.corpoelec.gob.ve/qui%C3%A9nes-somos>. [Último acceso: 6 Noviembre 2012].
- [2] R. J. M. Hernando, Transmisión por Radio, Catalina Suárez: Centro de Estudios Ramón Areces, S.A, 1995.
- [3] W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Mexico: Pearson Educación, 2003.
- [4] G. B. d. Venezuela, «CONATEL,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.conatel.gob.ve/>. [Último acceso: 31 Enero 2013].
- [5] E. C. G, «Tema 11: Antenas y Propagación de Ondas,» 1 Julio 2010. [En línea]. Available: [www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11\\_radioenlace.pdf](http://www.coimbraweb.com/documentos/antenas/6.11_radioenlace.pdf). [Último acceso: 13 Marzo 2013].
- [6] ALCATEL-LUCENT, «Packet Microwave: An Infrastructure for Long-Term Growth,» Enero 2012. [En línea]. Available: [www.alcatel-lucent.com](http://www.alcatel-lucent.com). [Último acceso: 11 Abril 2013].
- [7] J. A. H. Rueda, Antenas: Principios Básicos, análisis y diseño, Universidad Autónoma de Baja California, 1998.
- [8] J. Ramirez, «Normas cables UTP y STP,» [En línea]. Available: <http://www.slideshare.net/Jannerreto/cable-utp-y-stp-7938039>. [Último acceso: 21 Marzo 2013].
- [9] A. S. Tanenbaum, Redes de Computadoras, México: Pearson Prentice Hall, 2003.
- [10] FONDONORMA-CODELECTRA, Código Eléctrico Nacional, Caracas: CODELECTRA, 2004.
- [11] Motorola, Normas de Calidad. Instalación de Equipo de Red Fija, Estados Unidos, 1994.
- [12] CANTV, «Normas de Diseño e Instalación de los Sistemas de Puesta a Tierra en Centrales Telefónicas y Estaciones de Transmisión,» 2000. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/27238468/Normas-de-puesta-a-tierra-de->

CANTV. [Último acceso: 26 Noviembre 2012].

[13] L. X. Aterramiento, «Prueba de Resistencias del Suelo,» 24 Junio 2010. [En línea]. Available: <http://www.lyncol-latam.com/Documentos/Metodos%20de%20Prueba%20de%20Resistencia%20del%20Suelo.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2013].

[14] E.-. S. NETWORKS, ECLIPSE User Manual, San Jose, 2014.

[15] J. U. Corporation, Making the Case for Testing Ethernet Links, 2009.

## BIBLIOGRAFÍA

AVIAT Networks: Official Transmission Blog Wireless (2012). All Out-Door Microwave Radios: Site Considerations. [Documento en Línea]. Disponible: <http://blog.aviatnetworks.com/2012/11/16/all-outdoor-microwave-radios-site-considerations/1> [Consulta: 2013, Marzo 4].

AVIAT Networks: Official Transmission Blog Wireless (2012). All Out-Door Microwave Radios Parts II: Three ways to choose the right ODR. [Documento en Línea]. Disponible: <http://blog.aviatnetworks.com/2013/02/15/all-outdoor-radios-part-ii-three-ways-to-choose-the-right-odr/> [Consulta: 2013, Marzo 4].

CADAFE.(Mayo 2000) Proyecto de adecuación del sistema de puesta a tierra estación repetidora Cerro Mitisus. Venezuela.

CADAFE. (Junio 2000). *Sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas estación repetidora Agua Fría*. Venezuela.

CADAFE. (Noviembre 2000). *Proyecto Caseta de Telecomunicaciones. Memoria Descriptiva. Instalaciones Civiles*.

CADAFE. (Agosto 2001). *Adecuación de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de los Sistemas de Telecomunicaciones en la Subestación S/E El Indio*. Maturín, Venezuela.

CADAFE.(2002) *Adecuación del sistema de puesta a tierra para equipos de comunicaciones en la Subestación La Arenosa*. Venezuela.

CADAFE. (Febrero 2005). *Comisión de Licitaciones PIEGO DE LICITACIÓN GENERAL NRO. 2005-DT “Enlace Microondas Planta Centro-GT II-Despacho de Carga Central*. Caracas, Venezuela.

CADAFE-EPROTEL.(Mayo 2005). *Estudio de espectrometría. Construcción del enlace microondas digital Planta Centro- GT II (Despacho de Carga)*. Venezuela.

CADAFE-EPROTEL. (Julio 2006). *Informes Sites Survey de Construcción del enlace microondas digital Planta Centro- GT II (Despacho de Carga)*.Venezuela

CADAFE. *Proyecto de adecuación del sistema de puesta a tierra de la Subestación Yaracuy*. Venezuela.

CADAFE. *Proyecto Construcción del Sistema de Puesta a Tierra de la Estación Repetidora Cerro Curimagua*.

Escudero, A. P. (2007). Normas y Recomendaciones para Instalaciones en Exteriores. Unidad 10: Instalaciones en Exteriores. [Artículo en Línea]. TRICALCAR. Disponible: <http://es.scribd.com/doc/12786171/Normas-y-Recomendaciones-para-Instalacion-de-Microondas-para-exteriores> [Consulta: 2013, Noviembre 15].

Escudero, A. P. (2007). Normas y Recomendaciones para Instalaciones en Exteriores. Unidad 8: Antenas y Cables. [Artículo en Línea]. TRICALCAR. Disponible: [http://www.it46.se/courses/wireless/materials/es/08\\_Antenas-Cables/08\\_es\\_antenas\\_y\\_cables\\_guia\\_v01.pdf](http://www.it46.se/courses/wireless/materials/es/08_Antenas-Cables/08_es_antenas_y_cables_guia_v01.pdf) [Consulta: 2013, Noviembre 1].

EPROTEL.CADAFE. *Proyecto Construcción del Enlace de Microondas Digital Planta Centro-GII*.

Juan J. (2010). ESTÁNDAR IEEE 802.3 Y ETHERNET. Instituto Tecnológico de Morelia. Departamento de Sistemas e Informática. [Artículo en línea] Disponible: <http://members.multimania.co.uk/baloosoftware/php/docredes/docredes5.pdf>. [Consulta: 2012, Diciembre 4].

PRINCIVI. (Febrero 2008). *Proyecto Torre Autosoportada Subestación Santa Teresa*. Venezuela.

RED DE TRANSMISORES DE VENEZUELA, C.A. (Abril 2008). *Proyecto Torre Autosoportada AC-70*. Venezuela.

ZOUFONOUN, A. (2010). All Out-Door Microwave. The Greener Choice in Backhaul. Wireless Week [Revista en Línea]. Disponible: <http://www.wirelessweek.com/articles/2010/06/all-outdoor-microwave-greener-choice-backhaul> [Consulta: 2013, Enero 16].

**ANEXO: NORMA TÉCNICA PARA LOS ENLACES  
MICROONDAS DE LA CORPORACIÓN ELÉCTRICA  
NACIONAL EX FILIAL CADAFE**