

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos
COOPELESCA R.L.**

**“Procedimientos para la implementación y el mantenimiento de radioenlace
para la transmisión de datos”**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el Grado Académico de Licenciatura**

José Fernández Rodríguez

Cartago Agosto, 2003

RESUMEN

La búsqueda de la calidad de la información ha sido uno de los objetivos más importantes en lo que respecta a las empresas que utilizan medios de comunicación no guiados como lo es la atmósfera. La aplicación en radioenlaces radica en la distancia existente entre los equipos terminales y los equipos de control.

Para asegurar una calidad óptima de la información, el sistema debe cumplir ciertas características establecidas por organizaciones internacionales, como lo son un BER $< 1 \times 10^{-3}$, el cual es la cantidad de bit erróneos en una cantidad determinada de bits enviados, una indisponibilidad del radioenlace de cierta cantidad de horas al año y con relaciones como segundos con errores, segundos con muchos errores.

El propósito de este trabajo es implementar una serie de herramientas para la empresa a fin de alcanzar la mayor calidad de la información recibida y del sistema en general considerando que para las empresas que brindan un servicio a una comunidad, es muy importante satisfacer las necesidades de la mejor manera.

La primera parte consistió en determinar los parámetros que existen para evaluar la calidad de un sistema de comunicación, y cuales son los niveles admisibles de esos parámetros para concluir que un sistema es o no eficiente desde el punto de vista de la información recibida. Para tal fin se consultó las normas establecidas por la UIT que es el órgano más importante en lo que respecta a normalización de sistemas de comunicación.

En la segunda parte se implementaron los procedimientos para realizar un mantenimiento preventivo efectivo del sistema y una instalación adecuada de nuevos equipos, cumpliendo las especificaciones del fabricante y de las organizaciones que norman esta actividad.

Palabras claves: calidad, radioenlace, UIT, mantenimiento efectivo, sistema de comunicación, diseño de radioenlaces

ABSTRACT

The search of the information quality been one of the most important objectives to the companies that they use not guided media like the atmosphere. Its use in radio links depends on the distance between the terminal equipment and the control equipment.

To assure an optimal information quality, the used system must fulfill certain characteristics established by international organizations, for example a $BER < 1 \times 10^{-3}$, which is the amount of erroneous bits in a guaranteed amount of sent bit, a unavailability of the radio link of certain amount of hours per year and other relations like seconds with errors, seconds with many errors.

The goal of this work is to implement a series of tools to obtain the higher quality of the received information and the system in general. Taking into account that they company offers a service to a community, is very important to satisfy the necessities in the best way.

The first part consisted in determining the parameters that exist to evaluate the quality of a communication system, and which are the permissible levels of those parameters to conclude that a system is or not efficient from the point of view of the received information. For such aim, one has to consults the norms established by the ITU, which is the most important organization with regard to normalization of communication systems.

In the second part, it were implemented manual procedures to accomplish maintenance of the system and a suitable installation of equipment, fulfilling the specifications of the manufacturer and the international organizations.

Keywords: quality, radio-link implementation, ITU, effective maintenance, communication system

DEDICATORIA

Quiero dedicar los frutos de mi esfuerzo y perseverancia a:

mi padre por su sacrificio y paciencia para que esto fuera posible

mi madre por su amor y consejos de aliento en los momentos difíciles

mis hermanos por su ayuda y amistad brindada

mi tía Flor por siempre brindarme su ayuda

mi tía Yamileth, tía Leila y tía Ligia por creer en mí y en este proyecto

mis abuelitos por su cariño y consejos

AGRADECIMIENTO

Primero que todo agradecer a Dios y a la Virgencita María por darme la oportunidad de alcanzar una meta más en mi vida y ser mi guía en los momentos difíciles.

Agradecer al Ing. Arturo Alfaro por darme la oportunidad de realizar este trabajo en la empresa Coopelesca R.L.

Agradezco Ing. Alejandro Román por también brindarme la oportunidad de realizar este proyecto de graduación, su ayuda, paciencia y enseñanza.

Agradecer a mis compañeros de la Unidad SCADA y de la Cooperativa por su paciencia, consejos y amistad.

Agradezco Ing. Pedro Murillo, profesor asesor por su colaboración y orientación.

Gracias a todos mis compañeros y amigos, especialmente a mi primo Jonathan por permitirme compartir con todos ellos estos años universitarios, sus consejos y amistad.

A todos los profesores del Departamento de Ingeniería en Electrónica por la enseñanza brindada en estos años de estudio.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1 INTRODUCCION	1
1.1 Descripción de empresa	1
1.1.1 Descripción de la Unidad SCADA	3
1.2 Definición de problema y su importancia	5
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
CAPITULO 2 ANTECEDENTES	12
2.1 Estudio del problema a resolver	12
2.1.1 Sistema SCADA	12
2.1.1.1 Necesidad de un sistema SCADA.	14
2.1.1.2 Funciones.	15
2.1.2 Definición de un Radioenlace	16
2.1.3 Definición de Repetidor	17
2.2 Requerimientos de la empresa	18
2.3 Solución propuesta	19
CAPITULO 3 PROCEDIMIENTO METODOLOGICO	21
3.1 Objetivo Específico 1	21
3.2 Objetivo Específico 2 y 3	22
3.3 Objetivo Específico 4	22
3.4 Objetivo Específico 5	23
3.5 Objetivo Específico 6	24
3.6 Objetivo Específico 7	24
3.7 Objetivo Específico 8	24
CAPITULO 4 NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN	26
4.1 Normas de la UIT-R	26
4.2 Normas de la UIT-T	28
4.3 Topologías de comunicación	30
4.3.1 Sistema Punto-Multipunto	31
4.3.1.1 Aplicación del sistema	31
4.3.1.2 Descripción del sistema	31
4.3.1.3 Rendimiento y métodos de modulación	33

4.3.1.4	Resumen	34
4.3.1.5	Sistemas P-MP que utilizan técnicas de AMDT para la transmisión de datos en zonas urbanas	35
4.4	Evaluación de la Calidad de un Sistema de Comunicación	42
4.4.1	Disponibilidad y fiabilidad de los sistemas de relevadores radioeléctricos	42
4.4.1.1	Consideraciones sobre el sistema radioeléctrico	44
4.4.1.2	Causas de indisponibilidad	46
4.4.1.3	Conmutación de protección	48
4.4.2	Características de error del trayecto digital ficticio de referencia para sistemas de Radioenlaces.	49
4.4.2.1	Objetivos de características de error para periodos más cortos que un mes	50
4.4.3	Principios de protección – Calidad y disponibilidad	52
4.4.3.1	Medición de la calidad de funcionamiento	53
4.4.3.2	Detección de fallos	53
4.4.3.3	Protección del sistema	54
4.4.3.4	Información sobre fallos o calidad de funcionamiento	55
4.4.3.5	Localización de averías	57
4.4.3.6	Demora logística	58
4.4.3.7	Corrección de averías	58
4.4.3.8	Verificación	59
4.4.3.9	Restablecimiento del sistema	59
4.4.3.10	Métodos y características de protección	59
4.5	Sistemas de Protección del equipo	62
4.5.1	Campo de aplicación	63
4.5.2	Características de los dispositivos de protección	64
4.5.3	Origen de las sobretensiones y sobrecorrientes	66
4.5.4	Métodos de protección de los sistemas de telecomunicaciones	67
4.5.5	Características eléctricas deseables	69
4.5.5.1	Funcionamiento normal del sistema	69
4.5.5.2	Condiciones de funcionamiento de los SPD	70
4.5.5.3	Dispositivos de limitación de la corriente	76
4.5.5.4	Dispositivos aislantes	78
4.5.6	Modos de operación de los dispositivos de protección	79
4.5.6.1	Dispositivos de fijación	79
4.5.6.2	Dispositivos de limitación de la corriente	81
4.5.7	Ubicación y montaje de los SPD	81

4.5.8	Consideraciones de seguridad	82
4.5.9	Consideraciones generales sobre los costes de instalación y mantenimiento	83
4.6	Evaluación de Sistema SCADA respecto a normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones	84
4.6.1	Comparación Sistema P-MP según UIT y Sistema P-MP de la Unidad SCADA	84
CAPITULO 5 MEDICIONES EN EQUIPOS DE RADIOENLACES		87
5.1	Medición	88
5.1.1	Voltaje de alimentación	88
5.1.1.1	Equipo	88
5.1.1.2	Circuito	88
5.1.1.3	Medir	89
5.1.1.4	Resultados	89
5.1.2	Resistencia de tierra	89
5.1.2.1	Equipo	89
5.1.2.2	Circuito	90
5.1.2.3	Pasos	90
5.1.2.4	Resultados	90
5.1.3	Potencia de Transmisión	91
5.1.3.1	Equipo	91
5.1.3.2	Circuito de Medición	91
5.1.3.3	Pasos	92
5.1.3.4	Resultados	92
5.1.4	Potencia de Recepción	92
5.1.4.1	Equipo	92
5.1.4.2	Circuito	93
5.1.4.3	Pasos	93
5.1.4.4	Resultados	94
5.1.5	VSWR	95
5.1.5.1	Equipo	95
5.1.5.2	Pasos	95
5.1.5.3	Resultados	96
5.1.6	Estadísticas y Configuración del Radiomodem	98
5.1.6.1	Equipo	99
5.1.6.2	Circuito de Medición	99
5.1.6.3	Pasos	99
5.1.6.4	Resultados	101

5.2	Comentario sobre mediciones	106
5.2.1	Sistema DNP	106
5.2.1.1	Resistencia de tierra	106
5.2.1.2	Potencia de transmisión	107
5.2.1.3	Potencia y frecuencia de recepción	107
5.2.1.4	VSWR	108
5.2.1.5	Estadísticas de los Radiomodems	109
5.2.1.6	Frecuencia de recepción	110
5.2.2	SISTEMA MODBUS	111
5.2.2.1	Resistencia de tierra	111
5.2.2.2	Potencia de recepción	112
5.2.2.3	VSWR	112
5.2.2.4	Estadísticas del Radiodem	113
5.2.2.5	Espectro de Frecuencia	114
CAPITULO 6 IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIOENLACE		115
6.1	Estudio de campo	116
6.2	Análisis de la información del Reporte de Estudio de Campo.	117
6.2.1	Procedimiento para construir Diagrama de Perfil de Terreno	117
6.2.2	Fórmulas para realizar cálculos:	122
6.3	Instalación de Equipo	123
6.4	Aceptación del Radioenlace	123
CAPITULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		125
7.1	Conclusiones	125
7.2	Recomendaciones	128
7.2.1	Configuración de frecuencias de transmisión y recepción	128
7.2.2	Recomendaciones sobre el Equipo	131
7.2.2.1	Radiomodems	131
7.2.2.2	BER Tester	133
7.2.3	Recomendaciones sobre Software	136
7.2.4	Otras recomendaciones	137
BIBLIOGRAFIA		139
APENDICES		140
9.1	Glosario	140
9.2	Abreviaturas	142
9.3	Especificación de Equipo Requerido para Mediciones	144
ANEXOS		145

10.1	Manual de radiomodem Neulink	145
10.2	Manual Radiomodem Freewave	151
10.3	Especificaciones de Antena, Cable y Conectores	157
10.4	Características del Software ComSiteDesing	168

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Organigrama de empresa Coopelesca	3
Figura 1.2 Organigrama Unida SCADA	4
Figura 1.3 Sistema utilizado por la Unidad SCADA	5
Figura 1.4 Red datos MODBUS utilizada por la unidad SCADA	8
Figura 1.5 Red de datos DNP utilizada por la unidad SCADA	9
Figura 2.1 Sistema SCADA	13
Figura 4.1 Indisponibilidad del equipo	45
Figura 4.2 Equipo con dispositivo de protección inherente conectado al conductor de protección a tierra (PE) interno	83
Figura 5.1 Circuito de medición del voltaje de alimentación	88
Figura 5.2 Circuito de medición de la resistencia de tierra	90
Figura 5.3 Circuito de Medición de Potencia de Transmisión	91
Figura 5.4 Circuito de medición de la potencia y frecuencia de recepción	93
Figura 5.5 Espectro obtenido en RTU Río Cuarto-Pital	94
Figura 5.6 Relación de Onda Estacionaria en función de la frecuencia para RTU Río Cuarto-Pital	96
Figura 5.7 Resistencia vista por Radiomodem de RTU Rio Cuarto-Pital	97
Figura 5.8 Relación de Onda Estacionaria para la antena de SCADA sistema CHOCO	97
Figura 5.9 Resistencia de mejor acople para la antena en SCADA-sistema CHOCO1	98
Figura 5.10 Circuito para obtener estadísticas del radiomodem	99
Figura 5.11 Menú de modo de programación de Radiomodem Freewave	100
Figura 5.12 Ingreso a modo de programación	101
Figura 6.1 Formato del reporte para el estudio de campo	116
Figura 6.2 Protocolo de resultados de análisis de información del Estudio de Campo	119
Figura 6.3 Gráfica para elaborar Perfil de Terreno	120
Figura 6.4 Perfil de Terreno entre el repetidor 1 y repetidor 2 del sistema DNP	121
Figura 6.5 Protocolo de Aceptación de la Instalación del Radioenlace	124
Figura 7.1 Configuración de frecuencias de transmisión y recepción	129
Figura 7.2 Coincidencia en frecuencia para Sistema SCADA	130
Figura 7.3 Radiomodem para aplicaciones SCADA	132
Figura 7.4 Radiomodem TS4000	132
Figura 7.5 BERT LBT	134
Figura 7.6 BERT BT-1	135
Figura 7.7 BERT HCT-BERT 128K	135

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Algunas diferencias típicas entre sistemas SCADA y DCS	12
Tabla 4.1 Bandas de frecuencias utilizadas en Telecomunicaciones	29
Tabla 4.2 Capacidad del canal AMDP	33
Tabla 4.3 Ejemplos de sistemas radioeléctricos P-MP que utilizan técnicas de AMDT	36
Tabla 4.4 Ejemplos de sistemas radioeléctricos P-MP que utilizan técnicas de AMDT (Frecuencias superiores a 3 GHz)	37
Tabla 4.5 Características de los dispositivos de protección contra sobretensiones	65
Tabla 4.6 Características de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes	66
Tabla 4.7 Comparación de sistema P-MP del sistema SCADA con lo recomendado por la UIT	85
Tabla 4.8 Evaluación de otras recomendaciones	86
Tabla 5.1 Valor de voltaje de fuente cd de alimentación	89
Tabla 5.2 Valor de la resistencia de tierra	90
Tabla 5.3 Potencia de transmisión obtenido	92
Tabla 5.4 Potencia de señal recibida y Piso de Ruido	94
Tabla 5.5 Comparación SNR obtenido	94
Tabla 5.6 Capacidad de canal obtenida	95
Tabla 5.7 VSWR a frecuencia de Tx de RTU Río Cuarto-Pital	96
Tabla 5.8 Factores determinados por VSWR para radiomodem CHOCO1 en SCADA	98
Tabla 5.9 Estadísticas del estado del enlace de la RTU Río Cuarto-Pital	101
Tabla 5.10 Configuración del Radiomodem de la RTU Río Cuarto-Pital	102
Tabla 5.11 Comparación de estadísticas con las recomendadas por el fabricante del Radiomodem del sistema CHOCO1 ubicado en SCADA	102
Tabla 5.12 Configuración del Radiomodem del sistema CHOCHO1 ubicado en SCADA	103
Tabla 5.13 Resultados obtenidos en las mediciones a RTUs del sistema DNP	104
Tabla 5.14 Resultados obtenidos en las mediciones a el equipo de algunos Radioenlaces del sistema MODBUS	105

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Descripción de empresa

La Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos (Coopesca R.L.) se fundó el 24 de enero de 1965 con 365 asociados. Inicia la distribución de energía eléctrica en el año de 1969, con una extensión de líneas eléctricas de 259 kilómetros y 1.065 servicios en los siguientes lugares: Sucre, Buena Vista, Aguas Zarcas, Venecia, Río Cuarto de Grecia, Pital, Veracruz, La Palmera, Florencia, Muelle, La Tigra y Peñas Blancas de San Ramón (Costa Rica).

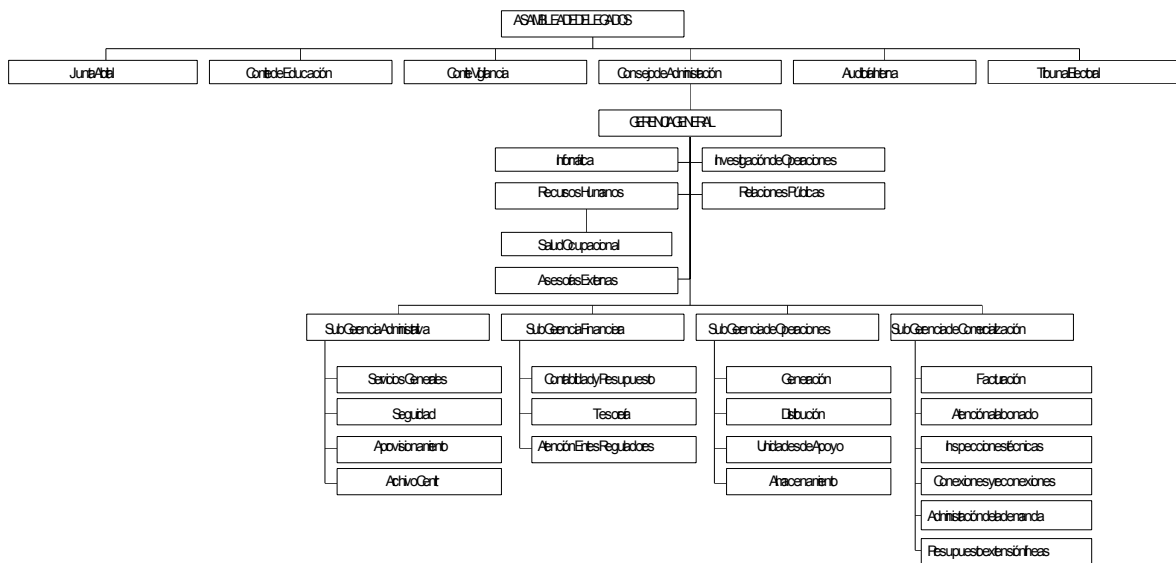
Nació y año con año se fue expandiendo, extendiendo sus líneas de distribución eléctrica a más y más comunidades. Coopesca posee en la actualidad un área servida de 4.956 Kilómetros cuadrados; electrificando el cantón de San Carlos, cantón de Sarapiquí de Heredia, la zona norte del cantón de San Ramón, Río Cuarto del cantón de Grecia, San Miguel de Sarapiquí de Alajuela y el distrito de San Jorge del cantón de Los Chiles.

La Red Eléctrica de Distribución está automatizada casi en su totalidad, con tecnología de avanzada y respaldada con sistemas de protecciones y control, amparados por un sistema SCADA, el cual puede ser operado desde un Centro de Control, brindando con ello un mayor respaldo en cuanto a calidad del servicio y tiempo de respuesta.

La empresa incursiona exitosamente en el área de generación eléctrica, primeramente a través del Consorcio de Cooperativas de Electrificación de Costa Rica (Coneléctricas), mediante el desarrollo de la Central Hidroeléctrica San Lorenzo, con un costo de US\$22.1 millones y una generación de 17 MW. De esta Central Hidroeléctrica, Coopelesca es copropietaria de un 45%. Posteriormente desarrolla y opera la Central Hidroeléctrica Chocosuela I, propiedad 100% de ésta Cooperativa, la cual tuvo un costo de US\$8.2 millones y una capacidad de generación de 8 MW la que se localiza en Buena Vista de San Carlos, a 6 kilómetros del parque de Ciudad Quesada. Para la producción de energía se toman las aguas del río la Vieja y la Quebrada San Cristóbal. En la actualidad la empresa desarrolla dos proyectos más de generación eléctrica llamados Chocosuela II y Chocosuela III.

Aprovechando que el área de influencia de Coopelesca R.L se encuentra dentro de una zona privilegiada por su precipitación lluviosa, la Cooperativa logra con la Central Hidroeléctrica Chocosuela I, entrar de lleno en la producción de energía eléctrica para su autoconsumo, es decir, alcanzar en parte su objetivo de producir su propia energía para la distribución entre sus asociados.

La Figura 1.1 muestra la estructura organizativa de Coopelesca, que como cooperativa que es, tiene como órgano superior a una Asamblea de Delegados, que es la que define el rumbo que debe seguir la Cooperativa. Con ese fin, la Asamblea delega en un Consejo de Administración la ejecución de los acuerdos y políticas que ella defina. A su vez, también nombra a un Comité de Vigilancia, para supervisar las operaciones de la Cooperativa; también nombra a un Comité de Educación, que tiene que ver con la capacitación de los asociados de Coopelesca. De la misma manera, se nombra una Junta Arbitral para dirimir eventuales conflictos entre asociados y la Cooperativa.



Microsoft PowerPoint

Figura 1.1 Organigrama de empresa Coopelesca

Cabe señalar que el Consejo de Administración, nombra una Gerencia General para ejecutar las directrices que emana la Asamblea. A su vez, con ese propósito la Gerencia General de Coopelesca ha creado una serie de direcciones y de unidades de apoyo. Concretamente, existe una Dirección de Redes, que tiene que ver con los procesos de operación y mantenimiento de Redes, donde se encuentra la Unidad SCADA.

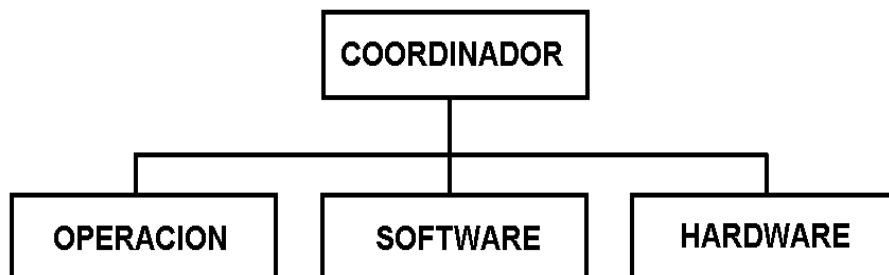
1.1.1 Descripción de la Unidad SCADA

Este proyecto académico se desarrolló en la Unidad de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA: Supervisory, Control And Data Adquisition) cuyo coordinador es el Ing. Alejandro Román Acuña. La función de dicha Unidad es supervisar, controlar y adquirir datos de la Red de Distribución de Energía Eléctrica y de las Centrales Hidroeléctricas propiedad de Coopelesca R. L., así como la generación y análisis de reportes.

Dentro de las actividades a supervisar se puede citar la máxima demanda de Coopelesca R.L., tensiones y corrientes en las principales líneas de transmisión de la energía eléctrica, la red de distribución y por último tiene a cargo la supervisión del centro de control de energía.

SCADA se encarga del control del manejo de carga de las Centrales Hidroeléctricas Chocosuela I,II y III, así como de las RTUs (Remote Transmission Unit: Unidades encargadas de enviar los datos de la red) que se encuentran a lo largo de toda la red. En la función de adquisición de datos, esta unidad toma datos para lo que es la facturación de la energía adquirida del ICE, para la generación y análisis de reportes.

La Unidad SCADA se organiza como se muestra en la Figura 1.2, se conforma de un coordinador el cual tiene a su cargo tres dependencias: operación, software y hardware.



Microsoft PowerPoint

Figura 1.2 Organigrama Unida SCADA

La Figura 1.3 muestra una síntesis del sistema que utiliza la Unidad SCADA para realizar sus funciones. Las RTUs se colocan en todos los sitios en donde Coopelesca obtiene la energía ya sea propia o comprada. La información es enviada a SCADA mediante radioenlaces utilizando radiorepetidores debido a las largas distancias o la ubicación geográfica.

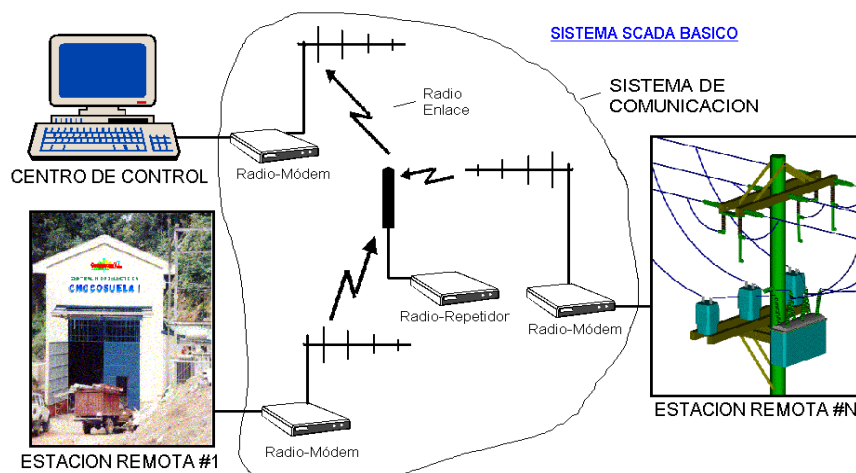


Figura 1.3 Sistema utilizado por la Unidad SCADA

1.2 Definición de problema y su importancia

Para la empresa Coopelesca R.L. es importante asegurar la calidad del servicio que está llegando a sus abonados. Realizando un monitoreo de la red de distribución se asegura cumplir con ese objetivo. Además, un adecuado monitoreo permite realizar estudios estadísticos sobre el consumo de sus abonados.

Uno de los problemas más comunes que se presenta en las empresas que se dedican a la distribución de energía eléctrica es la ruptura de cables o daños en transformadores que se traducen en corte del servicio. Un monitoreo adecuado permite realizar una serie de maniobras para solucionar lo más rápido posible los problemas que se presenten.

La unidad SCADA, en la actualidad presenta problemas en el monitoreo de la red, los cuales se manifiestan con la caída parcial o total del sistema, por causas desconocidas para los ingenieros.

Actualmente no se realiza una cuantificación de errores en los datos recibidos, se lleva un control de poleo exitoso y poleo fallido. Poleo exitoso es cuando se le pide información a la RTU y esta responde correctamente y poleo fallido cuando la RTU no responde, dicho en otras palabras se controla si se envía o no la información, no se controla su estado.

Además, no se cuenta con procedimientos adecuados para el diseño e implementación de radioenlaces entre el centro de control y las RTUs, al expandir el sistema de monitoreo. Tampoco se cuenta con manuales de instrucciones que sirvan de guía al considerar las variables presentes en los enlaces tales como ganancia de las antenas, potencia de transmisión y pérdidas por características de la zona. Tampoco se dispone de manuales de instrucciones para realizar mediciones de campo o análisis de interferencias presentes en el sistema. Lo anterior ayudaría a mejorar la eficiencia del enlace.

La empresa involucrada cuenta con tres redes para realizar su función, dos redes de datos y una de voz. Una es la Red de Datos MODBUS, que cuenta con tres radiorepetidores y cuya distribución se muestra en la Figura 1.4. Existen dos subredes MODBUS una es la Red Choco, la cual se encarga de enviar información, relacionada al Proyecto Hidroeléctrico de su propiedad, como caudal del río que alimenta el embalse, nivel del embalse y potencia generada. La otra subred es la Red Distribución, mediante la cual se envía información de varias RTUs que utilizan protocolo MODBUS, por ejemplo, Proyecto Hidroeléctrico (P.H.) Hidrovenecia, P.H. Caño Grande, la que se ubica en Los Chiles y cubre Agua Zarcas, Pital y Altamira; la que se encuentra en Florencia y cubre la zona de Santa Clara, etc.

La otra es la Red de Datos DNP cuenta con tres radiorepetidores y cuyo esquema se presenta en la Figura 1.5. Algunas RTUs que utilizan protocolo DNP son la ubicada en Ciudad Quesada (C.Q.) y cubre la zona de Cedral, la que se ubica en

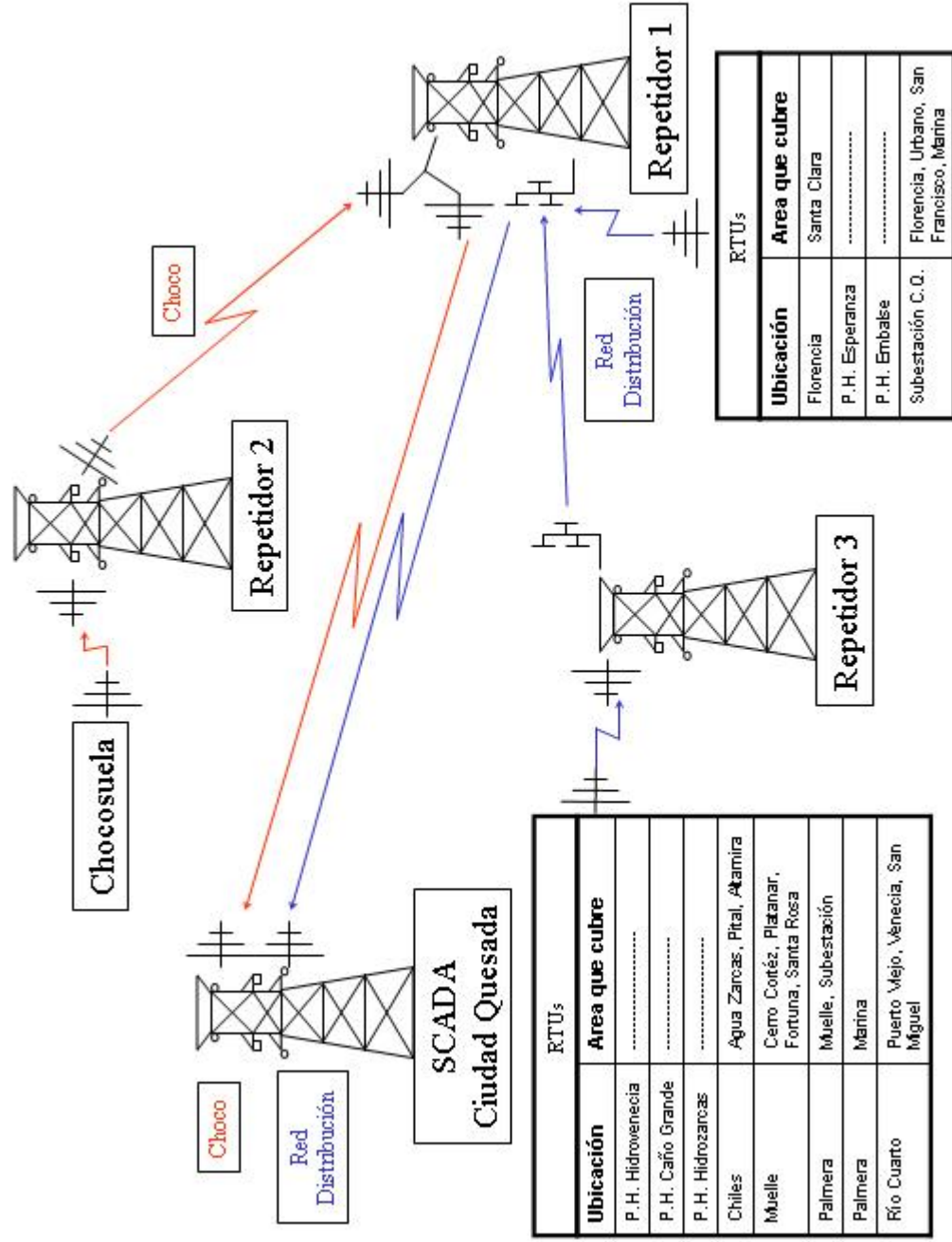
Agua Zarcas y cubre la zona de Venecia, la que se ubica en Puerto Viejo y cubre las zonas de las bananeras, etc.

El problema consiste en que la empresa Coopelesca R.L. en su unidad SCADA tiene problemas con la red de monitoreo, debido a la constante salida de operación de los enlaces que comunican las RTUs y el centro de control, sin tener conocimiento de la causa. Lo anterior se debe a que no se cuenta con herramientas de control como procedimientos formales al implementar los enlaces de radiofrecuencia utilizados al extender la red de monitoreo colocando más RTUs las cuales se encargan de enviar al centro de control el estado de la red. Tampoco cuentan con procedimientos para realizar pruebas de campo y análisis de interferencia

Para la unidad SCADA, contar con un sistema de alta confiabilidad es muy importante ya que de esto depende la calidad de los datos recolectados y la calidad del sistema en general. Esto se traduce en que los enlaces de radiofrecuencia entre las RTUs y el centro de mando deben ser confiables y eficientes. Logrando esta meta la empresa se aseguraría además la reducción de la probabilidad de: fallas en los enlaces, eventual caída de la red de monitoreo y errores en los datos recolectados.

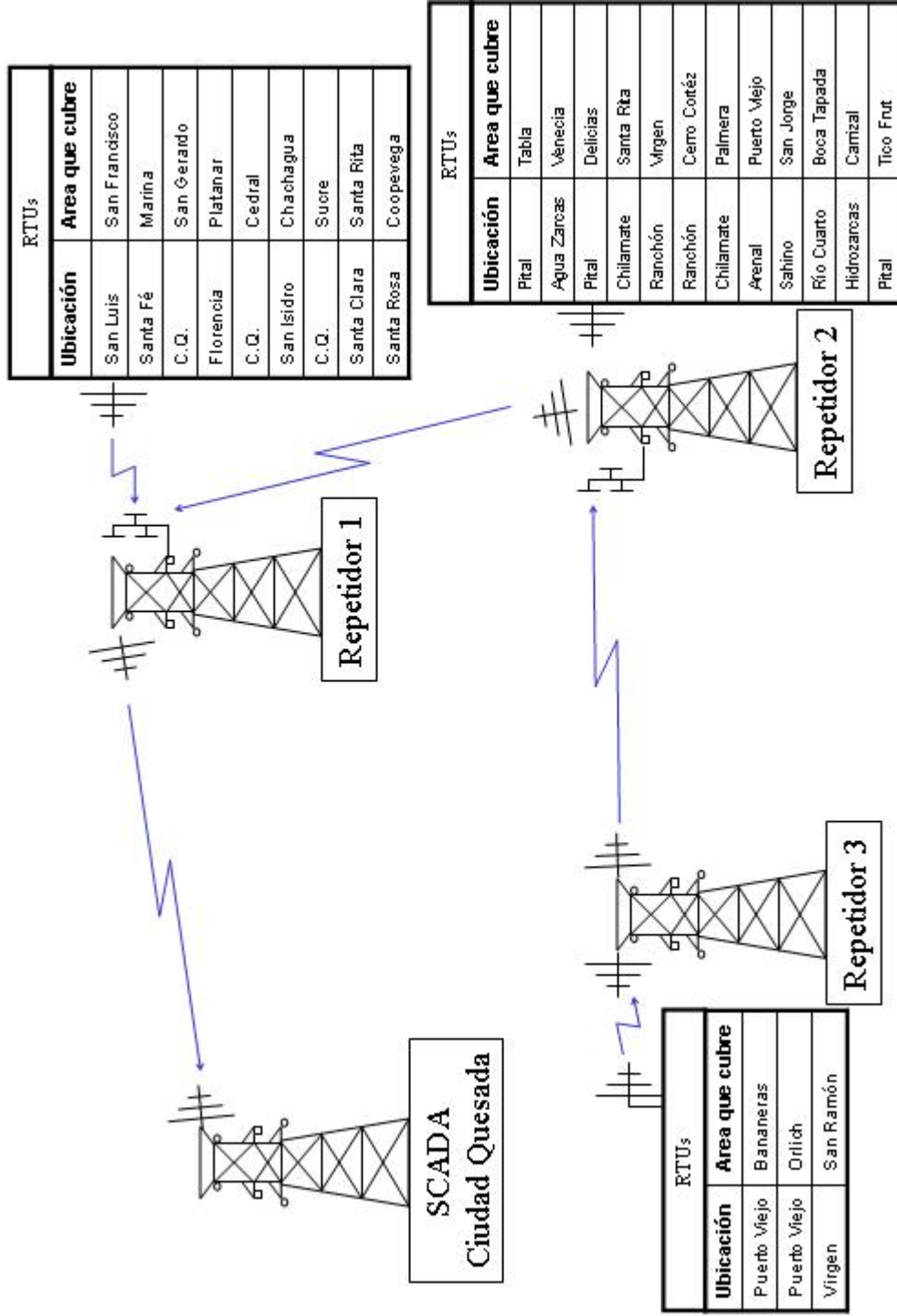
No contar con herramientas que controlen la calidad de los enlaces acarrea los siguientes efectos o problemas:

- Desconocimiento de la calidad de los datos.
- Desconocimiento de la eficiencia del sistema.
- No se cuenta con un control de posibles fallas.
- Obtener datos no confiables al realizar pruebas de campo.
- Interferencias que se puedan dar en el sistema.
- No contar con auditorias de funcionamiento del sistema.



Microsoft PowerPoint

Figura 1.4 Red de datos Modbus utilizada por la unidad SCADA



Microsoft PowerPoint

Figura 1.5 Red de datos DNP utilizado por la unidad SCADA

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar manuales de instrucciones para el establecimiento y mantenimiento de enlaces de radiofrecuencia requeridos para el funcionamiento de la unidad SCADA, que permitan un nivel de operación acorde a las normas internacionales.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar y establecer las partes principales del sistema SCADA de Coopelesca R.L.
2. Estudiar los parámetros que interviene en un sistema de comunicación basado en radioenlaces.
3. Realizar un estudio para determinar cuales dispositivos se consideran críticos para el buen funcionamiento de un radioenlace.
4. Estudiar las normas y recomendaciones de organismos internacionales y de los fabricantes del equipo, que rigen la operación de los radioenlaces.
5. Realizar una evaluación de la red de datos de la unidad SCADA, para determinar si cumple normas y recomendaciones establecidas por organismos internacionales.

6. Realizar una evaluación de algunos radioenlaces para determinar si cumplen recomendaciones de fabricante y de organismos internacionales, mediante mediciones de campo.
7. Crear un manual de instrucciones de pruebas que se realizarán a los elementos físicos principales del sistema a fin de realizar un control de fallas.
8. Crear un manual de instrucciones para implementar un enlace eficiente.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Estudio del problema a resolver

2.1.1 Sistema SCADA

Un SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo como se muestra en la Figura 2.1. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática. Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador. En la Tabla 2.1 se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los sistemas SCADA y los sistemas de Control Distribuido (DCS) (Estas características no son limitantes para uno u otro tipo de sistemas, son típicas).

Tabla 2.1 Algunas diferencias típicas entre sistemas SCADA y DCS

ASPECTO	SCADA	DCS
TIPO DE ARQUITECTURA	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA
TIPO DE CONTROL PREDOMINANTE	SUPERVICION: Supervisión y monitoreo a lazo cerrado. No son aconsejables los lazos cerrados de control. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO: Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, batch, algoritmos avanzados, etc.
TIPOS DE VARIABLES	DESACOPLADAS	ACOPLADAS
ÁREA DE ACCIÓN	Áreas geográficamente distribuidas.	Área de la planta.
UNIDADES DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	Remotas, PLCs.	Controladores de lazo, PLCs.
MEDIOS DE COMUNICACIÓN	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN.	Redes de área local, conexión directa.
BASE DE DATOS	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA

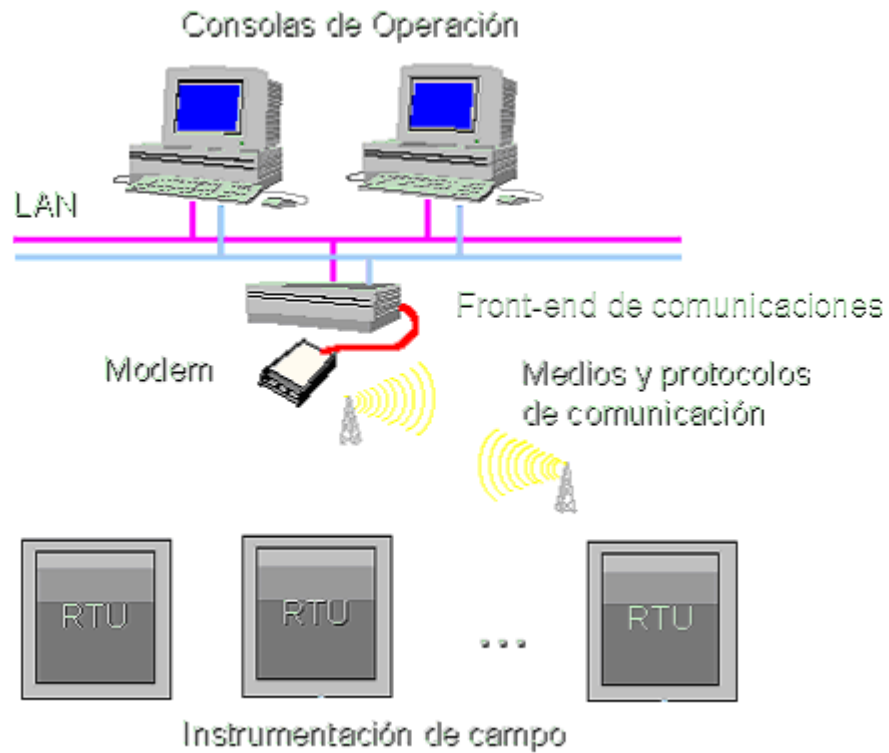


Figura 2.1 Sistema SCADA

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación: El fenómeno físico lo constituye la variable que se desea medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, ph, densidad, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los sensores o transductores. Los sensores o transductores convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia o capacitancia.

Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital. Para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, provee aislamiento eléctrico y filtraje de la señal con el objeto de proteger el sistema de transciendes y ruidos originados en el campo.

Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital. El computador almacena esta información, la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema, en tiempo real.

Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso. El operador comanda al computador a realizarla, y de nuevo debe convertirse la información digital a una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es procesada por una salida de control, el cual funciona como un acondicionador de señal, la cual la escala para manejar un actuador dado: bobina de un relé, setpoint de un controlador, etc.

2.1.1.1 Necesidad de un sistema SCADA.

Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- a. El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.

- b. El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- c. La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- d. La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- e. Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.
- f. La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLCs, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

2.1.1.2 Funciones.

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

- a. Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
- b. Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.

- c. Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

- d. Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

2.1.2 Definición de un Radioenlace

Medio de comunicación de características específicas entre dos puntos, que utiliza ondas radioeléctricas. Dicho vínculo provee conectividad de voz, video y/o datos de cualquier índole. Existen diferentes tipos de radioenlaces, y el ingeniero de diseño debe optar por el más conveniente para su proyecto.

Un radioenlace provee conectividad entre dos o más puntos sin utilizar excavaciones, tendidos de cables entre extremos ni servidumbre de tipo alguno. Sólo es necesario visión directa entre las antenas de las terminales y que la señal recibida sea la adecuada para establecer un canal de comunicaciones perfectamente estable y confiable, con muy pocos factores externos que puedan alterar sus características.

El radioenlace de microondas es la opción confiable y económica para proveer comunicación entre Ud. y el mundo.

2.1.3 Definición de Repetidor

El repetidor es un conjunto receptor-transmisor capaz de recibir y transmitir simultáneamente una señal de radio, para aumentar la zona de cobertura del sistema. Un repetidor simple consistiría, pues en un receptor que recibe los datos y los retransmite sin modificar los datos (repetidor pasivo). Naturalmente, se requiere de un circuito adicional para activar automáticamente el transmisor cuando en la entrada del receptor aparece una señal a repetir; de esta manera, por débil que sea la señal inicia su función el dispositivo.

Comercialmente se fabrican repetidores para los enlaces comerciales o estatales; las frecuencias de trabajo asignadas a éstos son generalmente más espaciadas que las de los radioaficionados, lo cual facilita su instalación.

Uno de los modos de comunicación que más popularidad ha adquirido en los últimos años es el que se efectúa en las bandas de VHF y UHF empleando estas estaciones relevadoras automáticas, popularmente conocidas como repetidores.

Este modo de efectuar comunicaciones presenta la ventaja del tamaño compacto de los equipos transceptores de baja potencia cuyo alcance o rango es ampliado por un equipo receptor-transmisor automático instalado en un edificio alto o en una montaña.

El equipo automático recibe la señal de un transmisor pequeño y la retransmite automáticamente logrando así ampliar el área geográfica de cobertura de comunicación confiable del equipo que se emplea para transmitir. La efectividad de la repetidora depende del lugar donde está instalada y su altura sobre el nivel promedio del terreno.

Para dar una idea de las relaciones de cobertura se puede considerar que un equipo portátil de uso manual con un watt de potencia tiene un radio de 2 a 5 Km, y si se opera a través de una repetidora el alcance será de 30 a 100 Km.

Una estación repetidora opera en lo que se denomina "operación dúplex", es decir recibe en una frecuencia y transmite en otra; generalmente dentro de la misma banda de aficionados.

La separación entre las frecuencias de recepción y transmisión de la estación repetidora se denomina "offset"; pudiendo ser negativo o positivo, ya sea que la frecuencia de recepción sea menor o mayor que la frecuencia de transmisión de la repetidora.

2.2 Requerimientos de la empresa

Al iniciarse el proyecto la Unidad SCADA se planteó la necesidad de normalizar los procedimientos de instalación y mantenimiento de los radioenlaces que conforman el sistema para obtener los datos de la red de distribución y realizar el control de la misma.

El objetivo es redactar los procedimientos antes descritos donde se especifiquen los pasos que se deben seguir, el equipo necesario así como las condiciones adecuadas para su realización.

2.3 Solución propuesta

La solución propuesta por parte de la unidad SCADA, se divide en tres niveles importantes:

1. Normas internacionales

Realizar una evaluación de la red de datos Punto a Multipunto con que cuenta la unidad SCADA, para determinar si se cumple con las normas establecidas por las organizaciones internacionales de telecomunicaciones y por parte de los fabricantes del equipo. Realizar evaluaciones a nivel de infraestructura (visual). Este esfuerzo es importante ya que si la empresa desea en el futuro optar por una certificación internacional uno de los aspectos que se evalúan es el cumplimiento de normas internacionales.

2. Mantenimiento

Establecer un manual de instrucciones de pruebas para un control preventivo del sistema, realizando pruebas periódicas para determinar cuando algún elemento (ya sea al nivel de cables, conectores, estado de las torres, orientación de antenas, etc.) empieza a presentar problemas y tratar de corregirlo antes de que afecte severamente el sistema, documentando dichas pruebas. Para lo anterior se debe analizar que pruebas se deben establecer, equipo necesario y a que elementos ejecutar las pruebas.

3. Instalación

Realizar un análisis de enlaces para determinar cuales procedimientos se deben seguir para establecer un enlace de gran eficiencia. Se debe llevar a cabo un estudio de sistemas de comunicación para crear un manual de procedimientos donde se establezcan los pasos a seguir al crear un enlace entre el centro de control y las unidades remotas, que considere parámetros tales como la zona y eléctricos como ganancia de las antenas, pérdidas

presentes y potencia necesaria. Todo esto a fin de contar con elementos apropiados que cumplan con su tarea y se ajusten al presupuesto. Lo que se pretende es evitar adquirir equipo muy caro en lugar de un equipo económico y que se garantiza que cumpla su función adecuadamente.

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTO METODOLOGICO

En el presente capítulo se describen las actividades realizadas para la consecución de los objetivos de proyecto.

3.1 Objetivo Específico 1

Para conocer el funcionamiento y el Hardware con que cuenta la Unidad SCADA se realizó un recorrido por algunas estaciones remotas para observar los componentes electrónicos utilizados como medidores, radios, antenas. Se desarrollaron visitas a procesos de instalación y reparación de equipos. En este proceso se visualizó cuestiones como tamaño del equipo que se utiliza así como las características del lugar de instalación.

Se realizaron entrevistas a las personas con la experiencia en el montaje, mantenimiento de enlaces y a los operadores del sistema en general. Estas entrevistas fueron de gran utilidad para adquirir más conocimiento del sistema, como operación y seguridad de los equipos. Se entrevistó al Ing. Alejandro Román, asesor del proyecto de graduación y quien transmitió toda su experiencia acumulada con relación al sistema.

También se entrevistó al Sr. Jorge Torres, él cuenta con todo el conocimiento del sistema, ya que fue quien se encargó de la instalación del Sistema SCADA, desde un inicio hace casi dos años, cuando la cooperativa planteó el desarrollo de un sistema de control y adquisición.

3.2 Objetivo Específico 2 y 3

Se realizó un estudio en general de los parámetros que intervienen en el funcionamiento de Radioenlaces mediante la consulta de material didáctico y la búsqueda en internet de información sobre sistemas de comunicación.

Se evaluaron parámetros como las diversas pérdidas que se dan en los sistemas de Radioenlaces, fenómenos que afectan el funcionamiento, aspectos técnicos de los elementos que se utilizan y principalmente las diferentes partes que forman un sistemas de comunicación.

Se entrevistaron ingenieros del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), quienes brindaron información de los sistemas instalados en las siguientes unidades:

- a. Centro de Control
- b. Gestión y administración del espectro
- c. Unidad SCADA

3.3 Objetivo Específico 4

Se llevó a cabo un proceso de búsqueda de información sobre las normas internacionales de sistemas de comunicación iniciando precisamente con la búsqueda de cuales organizaciones normalizan la comunicación por un medio no guiado, obteniendo como resultado lo siguiente:

- a. UIT: Unión Internacional de Telecomunicación
- b. IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
- c. TIA: Telecommunications Industry Association
- d. FCC: Federal Communications Commission

De las antes mencionadas la primera fue en la que se basó la investigación, ya que es la de mayor importancia en lo que respecta a normalización. Las normas se lograron obtener gracias a la ayuda de ingenieros del Instituto Costarricense de Electricidad, en el área de Telecomunicaciones. Se obtuvieron las normas de Telecomunicación y de Radiocomunicación.

Se realizó una búsqueda información de las tres compañías más importantes fabricantes del equipo que utiliza SCADA. Solamente en una Antenex se obtuvo información importante en su página web en lo que respecta a las antenas. En las otras, se recurrió a solicitarles directamente información más detallada. A continuación se enlistan las compañías:

- a. Neulink.
- b. Freewave

De las cuales sólo Freewave respondió, no obstante la información brindada (el manual del radio) ya la tenía la unidad SCADA.

3.4 Objetivo Específico 5

Con la información obtenida del objetivo 1 y del objetivo 5, se realizó la evaluación del sistema Punto a Multipunto, con que cuenta la unidad SCADA.

3.5 Objetivo Específico 6

Para la realización de la evaluación de algunos Radioenlaces, se realizaron giras a algunos unidades remotas y principalmente a todos los repetidores, que son parte importante del sistema. Para obtener los datos se utilizó equipo de medición como el Analizador de Espectros, el cual tiene la función para calcular las pérdidas en el sistema radiomodem-antena, Medidor de potencia, Tester y medidores de resistencia de tierra. Comparando los datos con los recomendados por el fabricante y algunos con datos normados por organismos internacionales como la relación señal-ruido y los sistemas de protección.

3.6 Objetivo Específico 7

Con los datos obtenidos de los objetivos 2, 3 y 4, se determinaron los parámetros que se deben evaluar al momento de realizar el mantenimiento de los radioenlaces, principalmente en el equipo. Se realizaron giras de campo con personal del ICE al momento de realizar el mantenimiento de los equipos, obteniendo información sobre los procesos que realizan ellos.

3.7 Objetivo Específico 8

Se consultó bibliografía sobre manuales de instalación de equipo de comunicación, en sus diferentes partes, por ejemplo, el equipo, el sistema eléctrico y el sistema de protección a tierra.

Se realizó una búsqueda de información de programas destinados al diseño y gestión de sistema de comunicación, para facilitar el análisis teórico de los radioenlaces.

CAPITULO 4

NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

En el presente capítulo se desarrollan un estudio de las normas internacionales de la UIT, en su dependencia de Radiocomunicación (UIT-R) y Telecomunicación (UIT-T).

4.1 Normas de la UIT-R

El UIT-R desempeña un papel fundamental en la gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas y de las órbitas de los satélites, recursos naturales limitados que suscitan una demanda creciente por parte de: el servicio fijo, móvil, de radiodifusión, de radioaficionados, de investigación espacial, de meteorología, de los sistemas mundiales de posicionamiento, de observación del medio ambiente y, por último, los servicios de comunicaciones que se encargan de la seguridad de la vida humana en el mar y en el aire.

Las normas establecidas por este sector se dividen en series las cuales representan el tipo de sistema o en fenómeno estudio dentro de los sistemas de radiocomunicación. Las series son:

- a. BO: Servicio de radiodifusión por satélite (sonora y de televisión).
- b. BR: Grabación sonora y de televisión.
- c. BS: Servicio de radiodifusión por satélite (sonora).
- d. BT: Servicio de radiodifusión por satélite (televisión).
- e. F: Servicio fijo.
- f. IS: Compartición y compatibilidad entre servicios.

- g. M: Servicios móviles, de radiodeterminación y de aficionados, incluidos los correspondientes servicios por satélite.
- h. P: Propagación de las ondas radioeléctricas.
- i. PI: Propagación en medios ionizados.
- j. RA: Radioastronomía.
- k. S: Servicio fijo por satélite.
- l. SA: Aplicaciones espaciales.
- m. SF: Compartición de frecuencias y coordinación entre el servicio fijo por satélite y el servicio fijo.
- n. SM: Técnicas de gestión del espectro.
- o. SNG: Periodismo electrónico por satélite.
- p. TF: Emisiones para las frecuencias patrón y señales horarias.
- q. V: Vocabulario y cuestiones afines.

Para el caso del proyecto a realizar las series en que se basó el estudio fueron la serie F (referido al servicio de comunicación fijo) y la serie P¹ (referido al fenómeno de propagación de ondas radioeléctricas). Se utilizó como ayuda para el estudio la serie V, donde se brinda el vocabulario utilizado en sistemas de comunicación. Es importante mencionar que las normas no se especifican en un sistema determinado, por lo que la información que se presenta es la que se considera útil para el buen cumplimiento del proyecto.

¹ La información extraída de las recomendaciones de la UIT-R en la serie P, se encuentra en el archivo adjunto llamado “*Normas Internacionales*”.

4.2 Normas de la UIT-T

La misión de ITU-T es asegurar una producción eficiente y del tiempo de funcionamiento de los estándares de la alta calidad (recomendaciones) que cubren todos los campos de telecomunicaciones. Las series de este sector son:

- a. A: Organización del trabajo del UIT-T.
- b. B: Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación.
- c. C: Estadísticas generales de telecomunicaciones.
- d. D: Principios generales de tarificación.
- e. E: Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos.
- f. F: Servicios de telecomunicación no telefónicos.
- g. G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales.
- h. H: Sistemas audiovisuales y multimedios.
- i. I: Red digital de servicios integrados.
- j. J: Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios.
- k. K: Protección contra las interferencias.
- l. L: Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior.
- m. M: RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales.
- n. N: Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión.
- o. O: Especificaciones de los aparatos de medida.
- p. P: Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales.
- q. Q: Conmutación y señalización.
- r. R: Transmisión telegráfica.

- s. S: Equipos terminales para servicios de telegrafía.
- t. T: Terminales para servicios de telemática.
- u. U: Conmutación telegráfica.
- v. V: Comunicación de datos por la red telefónica.
- w. X: Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos.
- x. Y: Infraestructura mundial de la información y aspectos protocolo internet.
- y. Z: Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación.

Para el caso del proyecto que se realizó se basó fundamentalmente en la serie G, la cual dicta las normas referidas a la calidad del sistema de comunicación.

El sistema de radiocomunicación utiliza como medio de transmisión la capa 1 de la atmósfera llamada Troposfera (0 – 20 Kms, desde la superficie de la tierra). Las bandas de frecuencia utilizadas (según UIT-R V.431) en telecomunicaciones son las siguientes:

Tabla 4.1 Bandas de frecuencias utilizadas en Telecomunicaciones

Número de banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
3	ULF	300-3 000 Hz	Ondas hectokilométricas	B.hkm
4	VLF	3-30 kHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30-300 kHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300-3 000 kHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3-30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30-300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300-3 000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3-30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30-300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300-3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	B.dmm
13		3-30 THz	Ondas centimilimétricas	B.cmm
14		30-300 THz	Ondas micrométricas	B.µm
15		300-3 000 THz	Ondas decimicrométricas	B.dµm

El sistema SCADA utiliza para sus radioenlaces la banda de UHF, más específicamente la frecuencia de XXX.XXX MHz para transmisión y recepción de datos, y la banda de AAA a BBB MHz utilizando la técnica de espectro ensanchado.

Para la elaboración de este documento se dividió el tema en tres aspectos importante a considerar para el diseño de un sistema de comunicación basado en radioenlaces, los cuales fueron: respecto a la *propagación*, tomando en cuenta todos los fenómenos que afecta a los sistemas más concretamente a las ondas radioeléctricas; respecto al *tipos de sistemas* o topologías establecidas y finalmente y el más importante el que respecta a la *calidad del sistema*.

4.3 Topologías de comunicación

En los sistemas de comunicación existen distintos tipos de topología o sistemas utilizados:

- a) punto-punto: Sistema que establece una conexión únicamente entre dos puntos extremos.
- b) punto-multipunto: Sistema que establece conexiones entre un único punto especificado y más de uno de otros puntos especificados.
- c) punto-zona: Sistemas que establecen conexiones en una zona determinada.

Para efectos del proyecto se centró el estudio en los sistemas punto-multipunto, evaluando sus características.

4.3.1 Sistema Punto-Multipunto

En el presente se describen la tecnología y los sistemas de radiocomunicación por paquetes. Varios países utilizan ya con éxito estas técnicas de radiocomunicación por paquetes.

4.3.1.1 Aplicación del sistema

Los sistemas de radiocomunicación por paquetes funcionan con eficacia máxima cuando el tráfico de datos que deben despachar se presenta en forma de ráfagas. Los sistemas que funcionan por debajo de 1 GHz transmiten normalmente velocidades binarias bajas hasta 9,6 kbit/s. Por encima de 1 GHz velocidades binarias mayores pueden ser utilizadas. Por ejemplo, una red de radiocomunicación por paquetes facilita los medios de interconexión para un sistema de teleinformática. Las comunicaciones pueden establecerse entre computadoras principales y terminales de usuario, así como entre terminales.

Además, estos sistemas se suelen instalar en zonas no urbanas, donde el coste que entrañaría la instalación de nuevos cables entre el abonado y la central local más próxima puede ser prohibitivo. En otros casos, la escasez crónica de pares de abonado hace atractivos estos sistemas para zonas urbanas.

4.3.1.2 Descripción del sistema

El principio fundamental de la radiocomunicación por paquetes es que los datos se transmiten en paquetes. Se han diseñado sistemas en los que se utiliza el acceso múltiple por división de tiempo (AMDT) y el acceso múltiple con detección de portadora (AMDP). Estos sistemas permiten el acceso simultáneo a un canal radioeléctrico por un protocolo AMDP o AMDT y ambos permiten que las estaciones

individuales funcionen como repetidores con almacenamiento y retransmisión para despachar el tráfico a puntos más alejados de la instalación central. También cabe utilizar un repetidor de regeneración dúplex de dos frecuencias para aumentar la flexibilidad en el diseño del sistema.

La conmutación de paquetes va acompañada de excelentes técnicas de control de errores, pudiéndose añadir a cada bloque de datos una suma de verificación CRC-16 (referencia Norma UIT-T X.25). A fin de conseguir una proporción de bits erróneos (BER) muy reducida (mejor que 1×10^{-11}) en la transmisión de grandes bloques de datos puede emplearse en un bloque más de una suma de verificación CRC-16. En los sistemas de transmisión de datos P-MP, se ha observado que las técnicas de retransmisión de bloques son superiores a la corrección de errores en recepción (FEC).

Como los sistemas de datos con conmutación de paquetes no pueden funcionar en tiempo real, debido a las demoras de empaquetado/desempaquetado, para reducir al mínimo el retardo global se pueden utilizar técnicas especiales tales como comenzar la transmisión antes de que se haya recibido el paquete completo y el empleo de altas velocidades de transmisión en la red, tales como 4,8 a 9,6 kbit/s. Desde luego el hecho de que el sistema no sea de tiempo real ofrece ventajas sustanciales en cuanto a la conservación del espectro, ya que los datos se envían por la red a la máxima velocidad posible aún cuando su destino sea un dispositivo de baja velocidad.

En una configuración de sistema AMDT, la gestión de la red se efectúa en una unidad denominada estación. El subsistema de esta estación posee un cierto número de equipos de radiocomunicación y determina la conectividad general de enlaces de la red. En un sistema compuesto de unidades fijas y posiblemente móviles, cada equipo de radiocomunicaciones recoge las posibles conexiones de enlace, las

almacena en su memoria y las transmite a la estación. Valiéndose de este dato, ésta establece la conexión final de la red. Puede modificarse la arquitectura de la red con miras a la inclusión de configuraciones sin estaciones o de una configuración de radiodifusión.

4.3.1.3 Rendimiento y métodos de modulación

Los sistemas AMDP tienen la ventaja de que permiten utilizar los transmisores-receptores de radiocomunicaciones móviles terrestres convencionales que emplean la modulación de frecuencia. Ello ofrece la posibilidad de transmitir hasta 9,6 kbit/s de datos con una BER de 1×10^{-6} para un nivel de portadora recibida de -107 dBm. Las mediciones han revelado que, en un sistema AMDP bien diseñado, se puede utilizar hasta el 40% de la capacidad del canal. La Tabla 4.2 contiene las capacidades típicas de los canales en un sistema AMDP que funciona entre 130 y 960 MHz.

Tabla 4.2 Capacidad del canal AMDP

Número medio de caracteres por mensaje	Mensajes/minuto/usuario	Número máximo de usuarios	Retardo medio por mensaje (s)
60	30	16	0,26
60	20	28	0,24
60	10	52	0,23
60	5	100	0,23
60	2,5	240	0,23
60	1	400	0,22

En un momento determinado, a medida que aumenta el número de mensajes/minuto/usuario (por ejemplo, para 30 mensajes/minuto/usuario), no cabe ya considerar que el tráfico tenga forma de ráfagas, pudiendo ser más adecuado otro tipo de sistemas.

Para un sistema AMDT en la banda de 2 GHz se ha propuesto la utilización de la modulación de espectro ensanchado por secuencia directa con manipulación por

desplazamiento mínimo (MDM) de la frecuencia de la portadora. Esta técnica puede minimizar la interferencia a otros sistemas que utilicen la misma frecuencia o las mismas bandas de frecuencias y permitir al mismo tiempo el rechazo de la interferencia en la radiocomunicación por paquetes y su funcionamiento satisfactorio con una relación señal/interferencia menor que en el caso de un receptor analógico. Sin embargo, el equipo de espectro ensanchado suele ser más complejo y costoso que los receptores analógicos.

4.3.1.4 Resumen

Se ha demostrado la aptitud de los sistemas de radiocomunicación por paquetes en los que se utilizan técnicas AMDP y AMDT para ofrecer un alto rendimiento y una transmisión eficaz del tráfico de datos.

4.3.1.5 Sistemas P-MP que utilizan técnicas de AMDT para la transmisión de datos en zonas urbanas

Los principios generales de los sistemas P-MP que utilizan AMDT se abordan en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R F.756.

En estos últimos años se ha progresado considerablemente en la utilización de esta técnica para el suministro de terminales digitales en zonas urbanas.

En este apartado se tratan los principios y aplicaciones de los sistemas P-MP que utilizan el AMDT para la provisión de servicios de datos en zonas urbanas y en la Tabla 4.3 y Tabla 4.4 se muestran detalles resumidos de una serie de sistemas.

Tabla 4.3 Ejemplos de sistemas radioeléctricos P-MP que utilizan técnicas de AMDT

Sistema	150, 450, 800 MHz 2 x 32 ó 4 x 16	880 a 960 MHz 64 x 1,2	1,5, 2,4 y 2,6 GHz 10 x 64	1,5 y 2,4 GHz 30 x 64	1,5 a 2,6 GHz 60 x 64	2 GHz 48 x 64
1. Capacidad de canales (típica) (kbit/s)	26 x 64	240	832	2 432	4 864	3 088
2. Velocidad binaria resultante (kbit/s)	MDPD-16	MDP-4 con desplazamiento	MDF-2	MDP-4	MDP-4 con desplazamiento	MDP-4
3. Método de modulación	Ornmidireccional: ganancia hasta 10 dBi o Yagi	Ornmidireccional o de haz ancho: ganancia 10 dBi	Ornmidireccional: ganancia 10 dBi Yagi: ganancia 16-21 dBi Bocina: ganancia 13 dBi	Ornmidireccional o de haz ancho: ganancia 10 dBi	Ornmidireccional o de haz ancho: ganancia 10 dBi	Haz ancho de 45° ganancia: véase la Fig. 4 del Informe 1057 (Düsseldorf, 1990)
4. Antena de la estación central (EC)	Yagi: ganancia 10 dBi	Bucle Yagi: ganancia 20 dBi	Yagi: ganancia 16-21 dBi Bocina: ganancia 13 dBi	Yagi: ganancia 17 dBi a 1,5 GHz Parabólica: ganancia 22 dBi a 1,5 GHz a 2,4 GHz	Cónica: ganancia 17 dBi	Parabólica ($\phi \geq 1,2$ m)
5. Antena de la estación terminal (ET)	Hasta 1,2	1,2-64	64	a) Hasta 9,6 dBi b) «Standard»: 64	2,4-64	64-1 544
6. Velocidades de datos de abonado (kbit/s)	Asignación fija o por demanda	Asignación fija	Asignación fija o por demanda	Asignación fija o por demanda	Asignación fija o por demanda	Asignación fija
7. Asignación de abonado	Hasta 60	Hasta 30	Hasta 70	Hasta 50	Hasta 72	Hasta 50
8. Alcance (km)	Hasta 60	Hasta 30	Hasta 70	Hasta 50	Hasta 72	Hasta 50

Tabla 4.4 Ejemplos de sistemas radioeléctricos P-MP que utilizan técnicas de AMDT
(Frecuencias superiores a 3 GHz)

Sistema	10,5 GHz	19 GHz	23 GHz	26 GHz	26 GHz
1. Capacidad de canales (típica) (kbit/s)	30 × 64	90 × 64 47 × 144 (2B + D)	10 × 64	192 × 64	96 × 64
2. Velocidad binaria resultante (kbit/s)	2 100	8 192	832	14 300	4 × 2 048
3. Método de modulación	MDP-4	MDF-2	MDA-2	MDF (EC-ET) MDFD (ET-EC)	MDF-2
4. Antena de la estación central (EC)	Anchura de haz de 90° ó 120°: ganancia 13 dBi	Anchura de haz de 90° ó 120°: ganancia 18 dBi	Anchura de haz de 90° ó 120°: ganancia 10 a 15 dBi	Anchura de haz de 90°: ganancia 20 dBi	Anchura de haz de 90°: ganancia 20 dBi
5. Antena de la estación terminal (ET)	Parabólica: ganancia 34 dBi	Parabólica: ganancia 35 dBi	Parabólica: ganancia 35 dBi	Cassegrain: ganancia 35 a 47 dBi	Parabólica: ganancia 30 dBi
6. Velocidades de datos de abonado (kbit/s)	64 Otras disponibles	12,8 y 64 inicialmente, ampliable para incluir velocidades RDSI de 80 ó 144	64	64 a 6 144	64
7. Asignación de abonado	Asignación fija o por demanda	Asignación fija o por demanda	Asignación fija o por demanda	Asignación fija	Asignación por demanda
8. Alcance (km)	Hasta 10	Hasta 10	Hasta 5	Hasta 7	Hasta 2

Principios de funcionamiento

Los principios de funcionamiento se examinan en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R F.756, especialmente por lo que se refiere a los sistemas de concentradores radioeléctricos. No obstante, todos los sistemas P-MP con AMDT utilizan el mismo criterio básico de transmisión. Las señales de datos o señales telefónicas con codificación digital se transmiten desde la estación central con un formato de multiplexación por distribución en el tiempo (MDT), utilizando un entrelazado de bits o bytes. La información para diversas estaciones terminales se transmiten de modo secuencial. En la dirección contraria, se atribuye a cada estación terminal un intervalo de tiempo en el que transmite su información. Debe procederse con sumo cuidado para garantizar la llegada secuencial de las ráfagas de datos a la estación central. Esto se obtiene generalmente mediante un diseño cuidadoso del sistema de control y mediante una igualación absoluta del retardo. En las aplicaciones urbanas,

las variaciones temporales de la propagación son pequeñas en relación con el periodo de baudios del sistema y la igualación preestablecida es, por lo general, adecuada.

En general, la conexión de los sistemas P-MP con la red se efectúa en la estación central y resulta preferible que el sistema P-MP sea transparente para la red con la provisión de interfaces jerárquicos normalizados. Además, la utilización de un interfaz convencional permite que la estación central esté ubicada a cierta distancia del punto de conexión con la red, puesto que el enlace con este punto puede realizarse por sistemas convencionales radioeléctricos o de cable.

Por lo común, la señal regenerada recibida en cada estación terminal se utiliza para proporcionar información de temporización a la estación terminal. La información de sincronización para las transmisiones en modo de ráfagas se obtiene de los bits de control recibidos procedentes de la estación central.

Así pues cada ráfaga contiene información de preámbulo y, en consecuencia, resulta deseable contar con ráfagas largas y, por ello, periodos de trama largos para la utilización eficaz del sistema. No obstante, este enfoque puede conducir a retardos globales que resultan inaceptables para una red pública conmutada y, por ello, debe examinarse con cuidado la relación entre la cantidad de información útil por ráfaga y el retardo admisible del sistema.

Atribución de frecuencias

Típicamente, los sistemas que proporcionan servicios telefónicos a las centrales urbanas utilizan las bandas de ondas centimétricas (Tabla 4.3). No obstante, muchos sistemas concebidos para telefonía rural o utilización no urbana de largo alcance

pueden cursar datos de la manera indicada en la Tabla 4.3 y pueden utilizarse también en zonas urbanas.

Para los sistemas que funcionan en frecuencias de ondas centimétricas es necesario disponer de un trayecto de propagación libre de obstáculos, dado que los edificios altos pueden dar lugar a zonas de sombra. La visibilidad del trayecto de propagación, definida en términos del porcentaje de abonados en visibilidad directa desde la estación central, puede aumentarse mediante una configuración de células superpuestas utilizando múltiples estaciones centrales. Para los sistemas de ondas métricas y decimétricas que funcionan en las zonas rurales, se admite generalmente una cierta atenuación por difracción.

Es necesario proseguir los estudios en los que se tenga en cuenta las características de la propagación urbana para poder definir el esquema de asignación óptimo.

Antenas

En la estación central se puede emplear una antena direccional o una antena omnidireccional, según las características del sistema y la zona de servicio requerida por las estaciones terminales. Normalmente, se utilizan antenas direccionales en las estaciones terminales mientras que las estaciones repetidoras emplean una mezcla de antenas direccionales y omnidireccionales según sea necesario.

A efectos de minimizar la interferencia, la estación central puede emplear antenas direccionales orientadas a grupos de estaciones terminales. Sin embargo, la anchura del haz debe ser suficiente para abarcar la zona de servicio requerida. Se requiere una relación entre ganancia anterior/posterior elevada para poder reutilizar las frecuencias con otros sistemas y obtener una ganancia de antena elevada que

permita utilizar transmisores de baja potencia y poder funcionar con instalaciones de energía de bajo costo.

Para mantener la relación requerida entre los niveles de señal deseada y no deseada, puede utilizarse un conmutador dinámico de antena en sincronismo con la trama temporal para desconectar la antena que recibe la señal no deseada.

Configuración del sistema

El Anexo 1 a la Recomendación UIT-R F.756 ofrece detalles sobre configuraciones típicas P-MP, un diagrama de bloques y una secuencia de intervalos de tiempo. Estas características son también aplicables a los sistemas de datos urbanos.

En los sistemas más sencillos P-MP, se asigna previamente un intervalo de tiempo para una estación terminal específica que tiene acceso en cualquier momento al intervalo de tiempo. Se utiliza este dispositivo para proporcionar un servicio continuo al cliente y la eficacia espectral es semejante a la de un sistema equivalente de relevador radioeléctrico digital punto a punto.

Para los sistemas telefónicos de abonado, y otros sistemas en que la estación terminal no requiere estar continuamente conectada a la estación central, puede obtenerse una utilización más eficaz del espectro asignando intervalos de tiempo a las estaciones terminales en función de la demanda.

Un sistema (mostrado en la Tabla 4.4) emplea asignación por demanda y un esquema AMDT selectivo en frecuencia; según el cual se asigna a los canales un número de frecuencias portadoras diferentes de potencia más baja (típicamente 4) en cada estación terminal. Este sistema funciona en 26 GHz y proporciona 96

radiocanales, cada uno de ellos a 64 kbit/s, para servir a unos 500 abonados con una probabilidad de pérdida de llamada de 0,01. La conmutación de frecuencia puede efectuarse llamada por llamada, trama por trama o ráfaga por ráfaga. Este es un método para reducir los problemas, tales como alta salida de potencia requerida para un sistema AMDT de una sola portadora o la alta estabilidad de frecuencia requerida para un sistema de un solo canal por portadora, que están asociados a la explotación en la banda 20-30 GHz.

Para cursar con eficacia tráfico de datos a velocidades binarias inferiores a 64 kbit/s, no hay que utilizar la totalidad del enlace a 64 kbit/s. Utilizando las técnicas de multitrama, cada enlace a 64 kbit/s puede subdividirse para aumentar el número de enlaces asignados por demanda a velocidad más baja disponibles para la transmisión de datos. En la Tabla 4.3 se muestra un ejemplo de un sistema de este tipo que funciona en la banda 1,5 a 2,6 GHz y en la tabla 4.3.10 la de 19 GHz, por ejemplo.

Un sistema diseñado específicamente para la transmisión de datos, descrito en la Tabla 4.3, proporciona comunicaciones bilaterales de datos de tipo continuo entre un nodo central y 64 puntos distantes como máximo, con cualquier mezcla de velocidades de bit normalizadas comprendidas entre 1,2 y 64 kbit/s y una velocidad global total de 76,8 kbit/s en ambos sentidos. Para simplificar el equipo radioeléctrico y las asignaciones de radiocanales, se utiliza un plan de frecuencia única para transmitir ambas señales desde el nodo central a los abonados y hacia el nodo central desde los abonados, mediante ráfagas de transmisión alternadas. La velocidad de transmisión real es de 240 kbit/s.

~

4.4 Evaluación de la Calidad de un Sistema de Comunicación

4.4.1 Disponibilidad y fiabilidad de los sistemas de relevadores radioeléctricos

El concepto de indisponibilidad para un trayecto digital ficticio de referencia es el periodo de indisponibilidad que comienza con el inicio de diez acontecimientos consecutivos de segundos con muchos errores, en al menos un sentido de transmisión. Estos 10 s se consideran tiempo indisponible. Un nuevo periodo de disponibilidad comienza con el inicio de diez acontecimientos consecutivos que no tienen segundo con muchos errores en ambos sentidos de transmisión. Estos 10 s se consideran tiempo disponible. Para la definición de segundo con muchos errores, véanse las Recomendaciones UIT-T G.821 y UIT-T G.826 conexas.

La disponibilidad total A queda definida por la siguiente fórmula:

$$A = 100 [1 - \{(T_1 + T_2 - T_b)/T_e\}] \quad (4.1)$$

donde:

- A : porcentaje de disponibilidad
- T_1 : tiempo de indisponibilidad total para una dirección de transmisión
- T_2 : tiempo de indisponibilidad total para la otra dirección de transmisión
- T_b : tiempo de indisponibilidad bidireccional
- T_e : periodo de tiempo para la evaluación.

En los sistemas radioeléctricos de grado local, la indisponibilidad se determina por dos efectos principales: la falta de fiabilidad del equipo y las condiciones adversas de propagación (principalmente por la atenuación producida por la lluvia).

La indisponibilidad debida a la atenuación causada por la lluvia comprenderá normalmente cierto número de fenómenos que se producirán todos los años, por lo que es posible obtener una cifra de indisponibilidad anual para este efecto, que puede ser útil como parámetros de diseño para la concepción y realización de enlaces. La indisponibilidad debida a un fallo del equipo ocurre menos frecuentemente (por ejemplo, cada 3 años en promedio para valores de tiempo medio entre fallos (MTBF) típicos), pero da lugar a interrupciones más largas. En estos casos, la reanudación del servicio depende de la organización del mantenimiento. No obstante, cuando se consideren áreas geográficas donde las precipitaciones de lluvia resulten insignificantes, las variaciones anuales deberían ser consideradas. Por lo tanto, se debe adoptar un periodo de estimación mínimo similar de 3 años.

En lo que respecta a la indisponibilidad debida al equipo, debe tenerse en cuenta que el equipo radioeléctrico para aplicaciones en la red local es generalmente simple y totalmente de estado sólido, de media o baja potencia. Para un transceptor único se puede esperar un MTBF de al menos 50 000 h.

Las aplicaciones típicas comprenden un tramo bidireccional y dos transceptores, lo que arroja un MTBF del enlace de 25 000 h como mínimo. Por razones económicas, no se utiliza normalmente conmutación de protección en los sistemas radioeléctricos punto a punto de grado local.

La indisponibilidad debida a la falta de fiabilidad del equipo viene dada por la expresión:

$$\text{Indisponibilidad \%} = \left(1 - \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100\% \right) \quad (4.2)$$

donde:

MTBF: tiempo medio entre fallos del equipo (h)

MTTR: tiempo medio de reparación (en el servicio) (h).

En la Figura 4.1 se muestra la indisponibilidad resultante en función del MTTR.

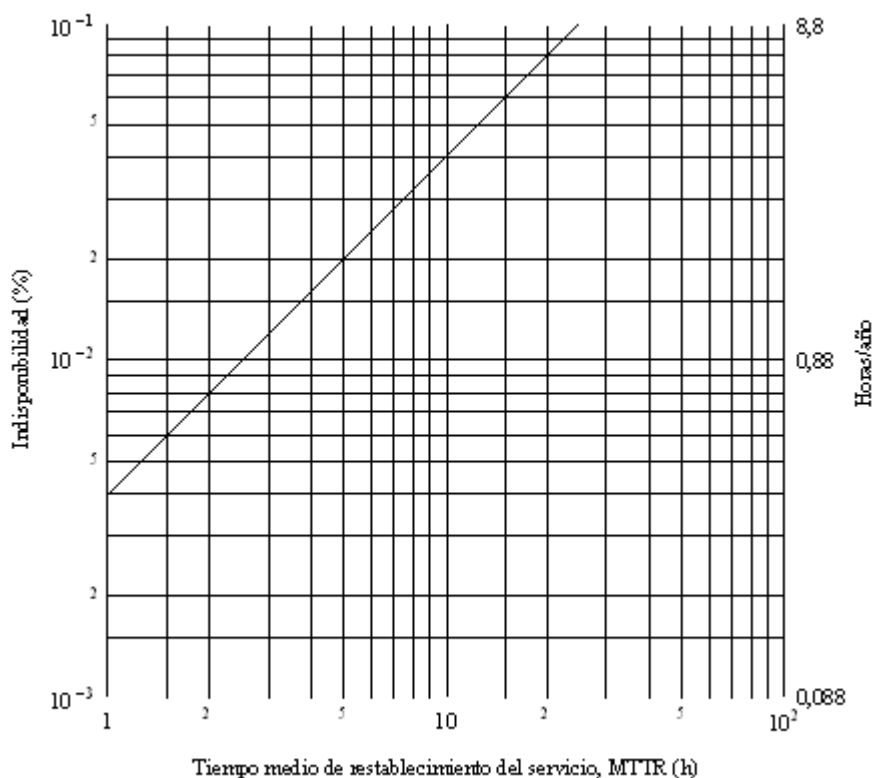
Debido a los diferentes entornos de explotación, el MTTR variará en una amplia gama. Se han sugerido valores de 6 a 48 h correspondientes a indisponibilidades comprendidas entre 0,01% y 0,200%. Sin embargo, con la transportabilidad del tipo de equipo utilizado en redes de grado local podrían las unidades averiadas, reemplazarse rápida y fácilmente de manera que el MTTR no sea excesivo en el entorno urbano. El MTTR puede diferir mucho cuando se trata de entornos rurales.

La indisponibilidad debida al fallo del suministro de energía primaria puede controlarse según las condiciones de las instalaciones de los usuarios. En algunos casos, para realizar un enlace muy fiable, puede reducirse la indisponibilidad debida al fallo de energía a una magnitud insignificante mediante el empleo de sistemas de baterías auxiliares en las instalaciones de los usuarios. De no ser así, la indisponibilidad depende en esencia de la fiabilidad del suministro comercial de energía primaria.

4.4.1.1 Consideraciones sobre el sistema radioeléctrico

Las bandas de frecuencia superiores a unos 17 GHz se adaptan bien a sistemas radioeléctricos que funcionan en los tramos de grado local, dado que las longitudes de los tramos necesarios son normalmente bastante cortas, aunque las bandas inferiores a unos 17 GHz también son usadas frecuentemente para estas aplicaciones. Dichas aplicaciones permiten a menudo la rápida prestación de

servicios especiales con equipos radioeléctricos instalados algunas veces en locales ajenos al servicio de correos y telecomunicaciones. Estas situaciones agravan las dificultades experimentadas al considerar los factores variables incluidos en los tiempos MTBF y MTTR y en las disposiciones de protección del equipo tratadas en el apartado 4.4.1. Por tanto, es prematuro formular Recomendaciones en firme sobre indisponibilidad, pero puede determinarse la contribución causada por las condiciones de propagación desfavorables, que corresponden en gran medida a la atenuación debida a la lluvia en frecuencias superiores a unos 17 GHz.



0697-01

Figura 4.1 Indisponibilidad del equipo

4.4.1.2 Causas de indisponibilidad

Los planificadores del sistema deben tener en cuenta todas las causas de interrupción o degradación de la calidad que afectan la indisponibilidad del sistema.

A continuación se describen las características de las principales causas de indisponibilidad en los sistemas de relevadores radioeléctricos.

a. Equipo

- a) Avería o degradación del equipo radioeléctrico, incluidos los moduladores y demoduladores,
- b) avería de equipos auxiliares tales como los equipos de conmutación,
- c) avería del equipo de suministro de energía del sistema radioeléctrico,
- d) avería de la antena o del alimentador.

Los sistemas de relevadores radioeléctricos más recientes están concebidos de modo que proporcionen una gran fiabilidad, y su MTBF (tiempo medio entre averías) es sumamente prolongado. La indisponibilidad depende asimismo del MTTR (tiempo medio de restablecimiento).

En una sección de conmutación característica, la indisponibilidad debida a averías del equipo puede ser del orden del 0,01% (véase la Recomendación UIT-R F.695). Ese porcentaje corresponde a un equipo normal con un MTBF de 10^4 h y un MTTR de varias horas. No obstante, un circuito ficticio de referencia o un trayecto digital ficticio de referencia constan de un gran número de secciones de conmutación. Naturalmente, la probabilidad de que se produzca una avería en cada sección de conmutación es escasa, y tal vez sólo ocurra una vez cada muchos años. Así pues,

es razonable fijar un periodo de integración prolongado para medir la indisponibilidad, por ejemplo, un año.

b. Propagación

Con frecuencia las interrupciones del sistema debidas a intensos desvanecimientos por trayectos múltiples se recuperan antes de los 10 s, pero a veces duran más de 10 s y causan indisponibilidad.

Una excesiva atenuación debida a la lluvia intensa o a la nieve se prolonga durante un tiempo bastante largo y causa la indisponibilidad de los sistemas que funcionan en bandas de frecuencias superiores a 10 GHz. Pueden obtenerse estadísticas de predicción sobre los efectos de la propagación aplicando las fórmulas o métodos dados en las Recomendaciones UIT-R de la Serie P. Además, como por lo general la probabilidad de que tengan lugar fuertes precipitaciones es baja, el tiempo de indisponibilidad que producen varía de un año a otro. Para evaluar el tiempo de indisponibilidad pueden tenerse en cuenta las mismas consideraciones descritas en el apartado 4.4.1.

c. Otras causas

Las ráfagas de ruido imprevisibles debidas a la interferencia que procede fundamentalmente de fuentes exteriores al sistema interferido, pueden provocar la indisponibilidad cuando la potencia de ruido excede un determinado umbral. Este tipo de interrupción incluye la interferencia, procedente de sistemas espaciales o sistemas de radar, asociada a una propagación anómala.

Los desastres, tales como los terremotos, pueden provocar el derrumbamiento de torres o edificios y causar la indisponibilidad de los sistemas de relevadores radioeléctricos.

La intervención del hombre durante las actividades de mantenimiento puede causar asimismo indisponibilidad. Por lo general, la contribución de estos factores es difícil de predecir a través de análisis matemáticos; no obstante, deben tenerse en cuenta al diseñar sistemas de relevadores radioeléctricos.

4.4.1.3 Conmutación de protección

La conmutación de protección suele servir para mejorar la disponibilidad del sistema. En los sistemas de relevadores radioeléctricos por lo general se utiliza el llamado método de conmutación multilíneas. De conformidad con este método, se preparan 1 ó $P(P > 1)$ canales radioeléctricos de protección por cada canal de trabajo N . Cuando uno de los canales de trabajo N se interrumpe, la señal en el canal interrumpido será inmediatamente recuperada por uno de los canales de protección a lo largo de m tramos radioeléctricos. En tal caso, la indisponibilidad U de cada canal radioeléctrico bidireccional causada únicamente por averías de equipo, suponiendo que la tasa de averías de los equipos de conmutación sea insignificante, puede expresarse por la siguiente fórmula:

$$U = \frac{2}{N} \left[\binom{N+P}{P+1} \right] (mq)^{P+1} \quad (4.3)$$

donde:

m : número de tramos radioeléctricos contenidos en una sección de conmutación

q : probabilidad de una interrupción de cada uno de ellos (en lo que respecta a las averías de equipo, $q = \text{MTTR}/\text{MTBF}$)

$$\binom{N+P}{P+1} = \frac{(N+P)!}{(P+1)!(N-1)!} \quad (4.4)$$

En muchos casos, el número de canales de protección $P = 1$ y la fórmula (4.3) pueden escribirse de la manera siguiente:

$$U = \frac{2}{N} \left[\binom{N+1}{2} \right] (mq)^2 \quad (4.5)$$

La conmutación de protección es eficaz no sólo para las averías de equipo sino también para el desvanecimiento por trayectos múltiples mediante el efecto de diversidad de frecuencias. En la Recomendación UIT-R F.752 se proporciona información sobre diversidad de frecuencias.

4.4.2 Características de error del trayecto digital ficticio de referencia para sistemas de Radioenlaces.

La característica de error se evalúa en función de los eventos, como se indica en la Recomendación UIT-T G.821:

- a) Bit error rate (BER): cantidad de bit errados en una cantidad de bits.
- b) segundo con error (ES): Periodo de 1 s en el que uno o más bits son erróneos.
- c) segundo con muchos errores (SES): Periodo de 1 s que tiene una proporción de bits erróneos de $\geq 1 \times 10^{-3}$.
- d) proporción de segundos con errores (ESR): Proporción de segundos con error respecto a la totalidad de los segundos en el tiempo disponible durante un intervalo de medición fijo.
- e) Proporción de segundos con muchos errores (SESR): Proporción de segundos con muchos errores respecto a la totalidad de segundos en el tiempo disponible durante un intervalo de medición fijo.

En los cuales los valores máximos son los siguientes:

- a) $BER < 1 \times 10^{-6}$ (potencia mínima -108 dBm)
- b) que la ESR no exceda de 0,0032 ningún mes;
- c) que la SESR no exceda de 0,00054 ningún mes;

La Recomendación UIT-T G.821 señala que:

- a) para una conexión ficticia de referencia de 27 500 km, la SESR no debe superar el valor 0,002 ningún mes;
- b) la SESR en el tramo de grado alto de 25 000 km de la conexión ficticia de referencia no debe superar el valor 0,0004 ningún mes. Además, se prevé un margen adicional de 0,0005 para el TDFR de 2 500 km en los sistemas de radioenlaces para tener en cuenta las condiciones adversas de propagación.

Por lo tanto, para un TDFR de 2 500 km, la SESR no debe superar el valor 0,00054 (esto es, $0,0005 + 0,00004$, donde 0,00004 se ha obtenido distribuyendo de forma lineal el objetivo de 0,0004 asignado al tramo de grado alto de 25 000 km de la conexión ficticia de referencia).

4.4.2.1 Objetivos de características de error para periodos más cortos que un mes

Los criterios de la Recomendación UIT-T G.821 (y en consecuencia de la Recomendación UIT-R F.594 y la presente Recomendación) suelen ser excesivamente largos para aplicarlos a los límites de mantenimiento o para pruebas de aceptación de circuitos. Pueden ser necesarias medidas realizadas sobre periodos de tiempo mucho más cortos (por ejemplo, un día) para determinar si un

circuito es adecuado para dar servicio o si se debe efectuar algún tipo de mantenimiento.

Los sistemas radioeléctricos difieren de los sistemas por cable en que las degradaciones de la calidad (es decir, las debidas a desvanecimientos) tienden a estar concentradas en unos pocos días mientras que los sistemas por cable tienden a tenerlas distribuidas aleatoriamente a lo largo del mes. Por esta razón, los modelos matemáticos examinados por el UIT-T para describir la distribución de las degradaciones de la calidad en un mes pueden no ser adecuadas para los sistemas radioeléctricos. Este tema requiere aún más estudio.

Las mediciones efectuadas en condiciones reales han demostrado que los sistemas radioeléctricos no pueden satisfacer los objetivos de calidad diarios que se encuentren subdivididos de forma lineal con la distancia y el tiempo a partir de un trayecto digital ficticio de referencia de 2 500 km. Las mediciones ponen de relieve que el objetivo de calidad de 24 h equivalente al 20% del objetivo de un mes puede satisfacerse para los criterios de segundos con muchos errores y segundos con error. Es preciso efectuar nuevas mediciones para confirmar la validez de esos límites. Sin embargo, los parámetros que figuran en la Recomendación UIT-T G.821 no son los más idóneos para verificar la calidad de funcionamiento de los sistemas radioeléctricos durante periodos cortos, en particular cuando el desvanecimiento provoca distribuciones de errores en forma de ráfagas. Cualquier evaluación de la calidad realizada sobre la base de un solo periodo de mediciones de 24 h estará afectada por un alto grado de incertidumbre. Por consiguiente se propone que se utilicen los límites correspondientes a periodos menores a un mes únicamente si van acompañados de otros datos complementarios sobre la calidad de funcionamiento del sistema; por ejemplo:

- a) otros parámetros del sistema (por ejemplo, los niveles de control automático de ganancia (CAG) y tendencias),
- b) datos meteorológicos locales,
- c) comportamiento de otros radioenlaces en la zona,
- d) comportamiento de los sistemas radioeléctricos desde el punto de vista histórico.

4.4.3 Principios de protección – Calidad y disponibilidad

Cuando la red se encuentra en condiciones normales de funcionamiento, se recopila, de manera continua o periódica, la información sobre la calidad de funcionamiento de los sistemas de relevadores radioeléctricos proporcionada por las entidades de mantenimiento. Estos datos pueden utilizarse para detectar condiciones agudas de avería como consecuencia de las cuales se generan avisos de alarma. Análisis ulteriores pueden revelar también pequeñas degradaciones como consecuencia de las cuales se producen notificaciones de información de mantenimiento.

Tras la aparición de un fallo en el sistema de relevadores radioeléctricos, se requiere cierto número de fases para corregir la avería y proteger, siempre que sea posible, el tráfico afectado por ésta, si ha habido interrupción.

Para más información sobre las filosofías de mantenimiento y sus definiciones, véase la Recomendación UIT-T M.20, y en particular la Figura 6 en la cual se enumeran las fases de mantenimiento que intervienen antes y después de producirse un fallo en una entidad de mantenimiento.

4.4.3.1 Medición de la calidad de funcionamiento

La elección de un mecanismo de medición depende de los requisitos de «calidad de servicio» desde el punto de vista de los abonados, de la calidad de funcionamiento de la red desde el punto de vista técnico y de la naturaleza del equipo. Para más información sobre la disponibilidad y la fiabilidad, véase también la Recomendación UIT-T G.106.

Es necesario que varios mecanismos puedan ser accionados en la misma unidad del equipo.

4.4.3.2 Detección de fallos

Los fallos deben ser descubiertos por la empresa de explotación, independientemente del abonado y preferiblemente antes de que éste lo haga, es decir, la mayoría de los fallos se detectan y corrigen sin que el abonado sea consciente de ellos.

Los fallos se clasifican según su naturaleza y se pueden clasificar en categorías en función de su gravedad. Sobre la base de esta clasificación se comunica a las entidades de control de supervisión apropiadas la correspondiente información de alarma de mantenimiento.

4.4.3.3 Protección del sistema

Cuando se ha producido un fallo o se ha degradado la calidad de funcionamiento, debe disponerse de una señal que contenga suficiente información para las funciones de conmutación, de protección y de mantenimiento.

Para los sistemas de transmisión de relevadores radioeléctricos en que se utiliza el restablecimiento manual o automático sobre una base de entidad de mantenimiento se recomienda un método de protección específico:

- a) Si se produce un fallo en entidades de mantenimiento sin capacidades de paso automático a equipo de reserva o dotadas de dichas capacidades pero sin equipo de reserva disponible, deben realizarse las operaciones siguientes:
 - Se iniciará una información de alarma de mantenimiento que identifique a la entidad de mantenimiento que contiene el equipo que ha fallado.
 - Se transmitirá una señal de indicación de alarma (SIA) hacia adelante y se dará una indicación de fallo atrás (IFA) hacia el equipo anterior.
 - Se iniciará una indicación de alarma de servicio en las entidades correspondientes.
- b) Si se produce un fallo en una entidad de mantenimiento con capacidades de paso automático a equipo de reserva, deberán realizarse automáticamente las operaciones siguientes:
 - Se pasará al equipo de reserva.
 - Se iniciará la información de alarma de mantenimiento que indique la entidad de mantenimiento que contiene el equipo que ha fallado.

4.4.3.4 Información sobre fallos o calidad de funcionamiento

La información sobre fallos y calidad de funcionamiento inaceptable o degradada se transmitirá normalmente al centro de control de supervisión y a otras partes de la red, según proceda.

La información para uso del personal de supervisión o mantenimiento está disponible o bien en la entidad, cuando el procesamiento de defectos o de averías confirmadas es interno, o mediante una unidad que suministra el procesamiento cuando éste se realiza fuera de la unidad.

a. Categorías de información de alarma

Las siguientes informaciones de alarma pueden asociarse a la información de fallos o calidad de funcionamiento inaceptable o degradada (véase la Recomendación UIT-T M.20):

a) *Alarma de mantenimiento inmediato (AMI)*

La alarma de mantenimiento inmediato se genera a fin de que se inicien las actividades pertinentes (en general inmediatamente) para retirar del servicio un equipo defectuoso, con la finalidad de restablecer adecuadamente el servicio y reparar el equipo que ha fallado.

b) *Alarma de mantenimiento diferido (AMD)*

La alarma de mantenimiento diferido se genera cuando no es necesario intervenir inmediatamente, por ejemplo cuando la calidad de funcionamiento cae por debajo de la norma pero el efecto no justifica que se retiren elementos del servicio o, generalmente, si se ha utilizado el paso automático a equipo de reserva para restablecer el servicio.

c) *Información de evento de mantenimiento (IEM)*

Esta información tiene que generarse como consecuencia de eventos ante los que no es necesario intervenir inmediatamente, por no estar en peligro la calidad de funcionamiento global. Las acciones de mantenimiento pueden realizarse con arreglo al mantenimiento previsto o después de acumular indicaciones de información de eventos de mantenimiento.

La Figura 7 de la Recomendación UIT-T M.20 representa el proceso de información de alarma de una entidad de mantenimiento. Las AMI, AMD e IEM reales pueden generarse o no en la entidad de mantenimiento. Cuando se generan fuera de ella, el proceso de información de alarma puede combinar información procedente de otras fuentes (por ejemplo, otras entidades de mantenimiento, hora del día, carga de tráfico, etc.), con el resultado del proceso de supervisión de funcionamiento incorrecto para decidir si se deberá generar una AMI, una AMD o una IEM. Cuando se recibe una SIA o una IFA (ver sección b) puede necesitarse que una entidad de mantenimiento genere una alarma de servicio (AS).

Tanto el proceso de supervisión de funcionamiento incorrecto como el de información de alarma, incluyendo el uso de AMI, AMD e IEM, pueden aplicarse a otros equipos que no sean de telecomunicación (por ejemplo, potencia, control de temperatura, etc.).

b. Otras indicaciones de avería y de servicio

Para evitar acciones de mantenimiento innecesarias y señalar la indisponibilidad del servicio, se emplean las siguientes indicaciones de avería descritas en la Recomendación UIT-T M.20:

a) Señal de indicación de alarma (SIA).

- b) Alarma de servicio (AS).
- c) Indicación de fallo atrás (IFA).

c. Transmisión y presentación de información de alarma

La información de fallo en el interfaz de alarmas se utiliza para determinar la entidad de mantenimiento (o parte de una entidad de mantenimiento) que falla. La información se puede presentar localmente o a distancia por mediación de un sistema de captación de alarmas.

Las alarmas pueden presentarse:

- a) como una indicación en un interfaz de alarmas (por ejemplo, función de contacto, señal en continua),
- b) como un mensaje de alarma en el interfaz hombre-máquina.

d. Información de alarma hacia el extremo distante

El equipo que es fuente de señales digitales múltiples (es decir, de múltiples equipos) puede, en caso de condición de avería, transmitir información de alarma en uno o varios bits específicos de la trama de impulsos. Esta información está destinada a ser evaluada en el terminal distante (en el extremo del trayecto digital). Ejemplos: véanse el apartado 2.3.2 de la Recomendación UIT-T G.704, el apartado 4.2.4 de la Recomendación UIT-T G.733, y la Recomendación UIT-T G.784.

4.4.3.5 Localización de averías

Cuando la información inicial de fallo es insuficiente para la localización de la avería dentro de una entidad de mantenimiento que falle, se tiene que completar mediante información obtenida con rutinas adicionales de localización de averías.

Las rutinas podrán emplear sistemas de prueba de entidades de mantenimiento internos o externos, iniciarse manual o automáticamente, y se aplicarán localmente y/o en el extremo distante.

4.4.3.6 Demora logística

La demora logística es el periodo de tiempo que transcurre entre la localización de una avería y la llegada del personal de mantenimiento al lugar, y dependerá del tipo de fallo y de la forma en que se haya señalado, por ejemplo, por medio de una AMI, AMD o IEM.

4.4.3.7 Corrección de averías

Para la corrección de una avería es preciso normalmente cambiar o reparar una entidad de mantenimiento, una entidad de supervisión de mantenimiento o parte de éstas. En el curso de una visita del personal de mantenimiento se pueden efectuar una o varias correcciones. Es conveniente que las estrategias que se establezcan para realizar las correcciones de averías cumplan los objetivos globales del sistema, con un número mínimo de visitas, aplicando el concepto de demora logística.

Los elementos intercambiables que fallen se enviarán a un centro de reparaciones especializado en el que se disponga de aparatos de pruebas apropiados (el propio sistema no debería actuar como máquina de pruebas).

4.4.3.8 Verificación

Una vez corregida la avería, deben efectuarse comprobaciones para cerciorarse de que la entidad de mantenimiento funciona correctamente. La verificación se puede efectuar localmente o a distancia.

4.4.3.9 Restablecimiento del sistema

La parte reparada de la entidad de mantenimiento o entidad de supervisión de mantenimiento se reincorpora al servicio. Se desbloquean las entidades de mantenimiento que se habían bloqueado y el cambio al equipo de reserva queda completado.

4.4.3.10 Métodos y características de protección

El equipo de conmutación de protección está caracterizado principalmente por:

- a) el servicio que debe proporcionar (incremento de la disponibilidad o de la calidad de funcionamiento, tiempo de conmutación, etc.);
- b) el punto en el que tiene lugar la conmutación;
- c) el (los) criterio(s) de conmutación que debe(n) tenerse en cuenta son, por ejemplo: peticiones no prioritarias ($TEB \geq 10^{-6}$), prioritarias ($TEB \geq 10^{-3}$), anticipadas (actividad de corrección de errores), etc.;
- d) el modo de transmisión de las instrucciones de conmutación.

a. Necesidad de una protección

La finalidad principal de la conmutación de protección es incrementar la disponibilidad del circuito mediante la conmutación a radiocanales de reserva cuando el equipo sufre un desperfecto o un fallo. El interés que reviste el hecho de contar con un cierto grado de protección, contra las interrupciones causadas por los desvanecimientos selectivos en frecuencia, puede traducirse en el empleo de conmutación de protección multicanal en los sistemas. Puede utilizarse también protección por diversidad de espacio para mejorar la calidad de funcionamiento del sistema mientras imperan mediocres condiciones de propagación.

La protección por diversidad de doble ruta facilita el empleo de tramos de mayor longitud en las bandas de frecuencias en que la atenuación debida a las precipitaciones es considerable.

b. Tipos de disposiciones de protección

Los sistemas de una sola ruta pueden protegerse de una de las tres formas siguientes:

- a) conmutación de uno o varios radiocanales con un radiocanal de reserva dedicado;
- b) conmutación de uno o varios radiocanales con un radiocanal de reserva no dedicado;
- c) utilización de la diversidad de espacio;
- d) polarización, ángulo y diagrama de funcionamiento en diversidad.

En teoría, la conmutación puede efectuarse en radiofrecuencia, frecuencia intermedia o banda de base, pero en la práctica se prefiere la conmutación en banda de base, pues permite proteger todo el radiocanal desde el acceso de entrada al de salida con redundancia mínima del equipo situado fuera del trayecto conmutado.

La protección mediante doble ruta entraña el empleo de conmutación en el receptor terminal. Puede ser necesario igualar la diferencia de tiempo de transmisión debido a las diferentes longitudes de cada ruta, a fin de poder sincronizar la señal en ambas rutas en el instante de la conmutación.

c. Factores que influyen en la elección de los criterios de conmutación

Los criterios de conmutación dependen de la función principal que debe realizar la conmutación de protección.

Si la conmutación tiene por objeto asegurar una protección contra las averías del equipo, puede admitirse que la identificación de los criterios de conmutación, la transmisión de las instrucciones de conmutación y la operación del conmutador sean relativamente lentas. Esto producirá pérdidas del sincronismo hacia adelante, y puede ser necesario adoptar disposiciones para reducir al mínimo el número de interrupciones del servicio por operaciones de conmutación.

Si se utiliza la conmutación para mejorar la calidad de funcionamiento durante los periodos de malas condiciones de propagación, se requiere una identificación rápida de los criterios de conmutación y es conveniente conmutar a un radiocanal de reserva sin pérdida del sincronismo. De ese modo se facilitan además las operaciones de mantenimiento preventivo. Cabe señalar, en efecto, que la adición o supresión de un bit debida, por ejemplo, a una conmutación sin una puesta en fase previa o a un impulso parásito en la temporización puede provocar una

desincronización total de la cadena de transmisión hacia adelante y no puede considerarse como un error aislado. Este fenómeno, que entra en consideración en la calidad de los sistemas, debería ser objeto de nuevos estudios. Para ello se debe considerar lo siguiente:

- a) Sincronización de los impulsos de bit y trama entre:
 - todos los radiocanales, o
 - el radiocanal de reserva y el radiocanal de trabajo en el que se observa una proporción de bits erróneos BER superior al umbral de conmutación, dependiendo del tiempo necesario para establecer la sincronización de trama y del tiempo transcurrido entre el momento en que se experimenta la BER superior al umbral y la BER de pérdida de trama.

- b) La igualación estática de la diferencia en el tiempo de transmisión uniforme entre el radiocanal de reserva y todos los radiocanales de trabajo.

- c) La igualación dinámica de las fluctuaciones del tiempo de transmisión entre el radiocanal de reserva y el radiocanal o los radiocanales de trabajo o durante el desvanecimiento por trayectos múltiples.

4.5 Sistemas de Protección del equipo

Según la recomendación UIT-T K.36, la creciente necesidad de proteger los equipos contra las sobrecorrientes y sobretensiones ha llevado a concebir diversos componentes y elementos protectores nuevos. Las Recomendaciones K.28 sobre descargadores con dispositivos de estado sólido (SSA, *solid state arrestors*) las unidades protectoras de semiconductores y UIT-T K.30 sobre los dispositivos de limitación de corriente con restablecimiento automático especifican las características

electromagnéticas y los métodos de prueba de dichos componentes. La Recomendación UIT-T K.12 trata de las características de los descargadores de gas (GDT, *gas discharge tubes*).

El objeto de la presente es proporcionar información sobre la aplicación de estas nuevas técnicas en las diferentes partes de la red de telecomunicaciones y orientar a los ingenieros que se ocupan de protección en la elección de los dispositivos de protección adecuados para un sistema de telecomunicación.

Cabe destacar que los dispositivos de protección en un sistema de comunicaciones constituyen sólo uno de los varios métodos empleados para mitigar las sobretensiones transitorias. Utilizando una técnica eficaz de apantallamiento y continuidad eléctrica se puede reducir considerablemente la necesidad de emplear componentes protectores.

4.5.1 Campo de aplicación

En la recomendación UIT-T K.36 se dan orientaciones sobre la elección de los componentes y unidades de protección que conviene utilizar en una red de telecomunicaciones. Se trata de la protección del equipo expuesto a sobretensiones y sobrecorrientes debidas a descargas de rayo o fallos de la alimentación de energía. También se consideran, en la medida en que pueden causar daños permanentes al equipo, las interferencias debidas a descargas electrostáticas (ESD, *electrostatic discharges*) y fenómenos transitorios eléctricos rápidos (EFT, *electrical fast transients*).

4.5.2 Características de los dispositivos de protección

Los dispositivos de protección suelen dividirse en elementos de protección contra sobretensiones y contra sobrecorrientes. Pueden ser componentes sencillos o dispositivos más complejos que integren varias funciones.

Hay dos tipos de dispositivos de protección contra sobretensiones, los de conmutación de tensión y los de limitación de tensión.

Un dispositivo de conmutación tiene una característica de corriente-tensión discontinua (por ejemplo, un descargador de gas). Un dispositivo de limitación de la tensión limita la misma a un nivel especificado y tiene una característica de corriente-tensión continua (por ejemplo, un diodo zener).

La finalidad de estos dispositivos es proteger los equipos contra descargas de breve duración limitando la tensión y desviando la corriente. Se conectan en paralelo con el equipo que se desea proteger.

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes se dividen en componentes con y sin restablecimiento automático. Su finalidad es proteger el equipo contra sobrecorrientes de larga duración y abren el circuito o atenúan la corriente pasando a un estado de resistencia elevada. Se conectan en serie con el equipo o los elementos que se desea proteger.

Los dispositivos de protección híbridos comprenden distintos componentes integrados en unidades que realizan funciones de protección más complejas. Según cual sea su diseño, se conectan en paralelo, en serie o en una combinación de los dos.

Los dispositivos aislantes se dividen en aisladores ópticos y aisladores eléctricos. Su finalidad es crear una separación galvánica total entre dos partes de un circuito para conseguir una inmunidad eléctrica total de los equipos muy expuestos.

En las Tabla 4.5 y Tabla 4.6 se resumen las características de los dispositivos tipo de protección contra sobretensiones y sobrecorrientes.

Tabla 4.5 Características de los dispositivos de protección contra sobretensiones

Dispositivos (modo de funcionamiento)	Tiempo de reacción	Precisión (% de la tensión)	Capacidad para impulsos de corriente	Estabilidad de la limitación de tensión	di/dt máxima	Capacitancia	Modo de reacción normal	Vida útil a la corriente de impulso determinada
Descargadores de gas (conmutación)	0,1 μ s	20%	Muy grande	Media	kA/ μ s	1 pF	Circuito abierto	Elevada
Diodo Tiristor (conmutación)	0,1 μ s	2%	Grande	Buena	30 A/ μ s	100 pF	Corto-circuito	Elevada
Varistor (limitación)	1 ns	20%	Grande	Media	kA/ μ s	500 pF	Corto-circuito	Baja
Zener (limitación)	100 ps	2%	Pequeña	Buena	30 A/ μ s	1 nF	Corto-circuito	Elevada

Tabla 4.6 Características de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes

Dispositivos (modo de funcionamiento)	Resistencia	Tiempo de respuesta a 1 A	Capacidad de resistencia a la tensión	Estabilidad de resistencia	Capacidad de corriente 1 segundo	Capacitancia	Modo de reacción normal	Vida útil
PTC cerámicos (con restablecimiento)	5-50 ohm	2 s	650 V	Media	3 A	500 pF	Circuito abierto	Elevada
PTC poliméricos (con restablecimiento)	2-20 ohm	2 s	650 V	Baja	10 A	1 pF	Circuito abierto	Elevada
Fusible (sin restablecimiento)	100 mohm	5 s (fusible de 350 mA)	No aplicable	Buena	Según la especificación	–	Circuito abierto	–
Bobina térmica (sin restablecimiento)	1-20 ohm	10 s	650 V	Buena	5 A	–	Cortocircuito	–

Para la definición de los diferentes componentes, véanse las Recomendaciones K.12, K.28 y K.30, etc.

4.5.3 Origen de las sobretensiones y sobrecorrientes

En la Recomendación K.11, las fuentes de sobrecargas eléctricas están clasificadas como sigue:

- a) descargas directas de rayos;
- b) descargas de rayos en la proximidades;
- c) inducción provocada por corrientes de fallo en líneas de transporte de energía, incluidas las líneas de tracción;
- d) contactos directos con líneas de transporte de energía;
- e) elevación del potencial de tierra.

Además de las mencionadas, existen otras fuentes, como:

- a) fenómenos transitorios con una pendiente de subida muy pronunciada, debidos a descargas electrostáticas y ráfagas asociadas con la conmutación de energía;
- b) descargas compuestas, que combinan una descarga de rayo con corrientes alternas residuales.

4.5.4 Métodos de protección de los sistemas de telecomunicaciones

Es importante que los fabricantes y operadores de sistemas de telecomunicaciones consideren el nivel de protección contra sobretensiones al principio de la fase de diseño. Ignorar la necesidad de los dispositivos de protección entrañará normalmente costes excesivos para medidas de protección adicionales una vez instalados los nuevos equipos.

Hay distintos métodos para seleccionar los dispositivos de protección, en función del entorno electromagnético previsto para la instalación, pero también por consideraciones prácticas. Los instaladores y usuarios de equipos pueden necesitar equipos de sobremesa móviles con sistemas de protección completos incorporados, que puedan resistir interferencias considerables causadas por descargas de rayo. De este modo los equipos no dependen de las medidas de protección que puedan existir o no en la interfaz del edificio o interfaz equipo-cable.

Las instalaciones permanentes de equipos de telecomunicaciones deben contar con elementos protectores en la entrada del cable al edificio o armario, o por lo menos poder estar equipados con los mismos. Los SPD (*Surge Protective Device*) primarios, instalados en el repartidor principal (MDF, *main distribution frame*) o en bloques terminales separados, desvían las descargas de corriente bruscas, las

sobrecargas y la energía específica. Pueden ser componentes sencillos o dispositivos híbridos o de dos puertos más complejos.

No hay que olvidar la protección contra fenómenos transitorios eléctricos rápidos (EFT) y descargas electrostáticas (ESD).

Con respecto a las descargas en las líneas entrantes, en ciertos entornos la robustez de los centros de conmutación, lugares alejados, etc., puede depender de SPD primarios de alta calidad con niveles de protección bien especificados, sólo a condición de que el equipo de telecomunicaciones esté situado dentro de un volumen bien apantallado con respecto a los campos eléctricos exteriores y sin ninguna fuente interna de interferencia. Una ventaja de este concepto es la posibilidad de que las futuras generaciones de equipos, o las partes de los mismos que se incluyan en esos volúmenes, no requieran procedimientos de prueba adicionales.

En las Recomendaciones K.20, K.21 y K.22 sobre los equipos de los centros de conmutación y las instalaciones de usuario, se da por supuesto cierta robustez inherente del propio equipo. El nivel de robustez de los equipos se elige para que cumpla las exigencias definidas en las Recomendaciones K.20, K.21 y K.22. En esos casos no se necesitan SPD primarios, pero los circuitos electrónicos deben disponer de elementos de coordinación de protección en el lado de la línea. De este modo el usuario goza de más flexibilidad para utilizar el equipo en un entorno electromagnético más duro que requiere una protección primaria. Véase también la Recomendación K.11. En las Recomendaciones K.20 y K.21 figura una información detallada de la coordinación de componentes protectores.

4.5.5 Características eléctricas deseables

4.5.5.1 Funcionamiento normal del sistema

Cuando funcionan normalmente, los SPD tienen un efecto despreciable sobre las características de transmisión, señalización o conmutación del sistema.

Los SPD de tensión con capacitancia elevada, por ejemplo los varistores, deben ajustarse con cuidado para evitar desequilibrios.

Los SPD seleccionados deben ser transparentes a todas las señales importantes de transmisión, llamada y alarma y a la tensión de alimentación de la red de telecomunicaciones.

Debe haber un margen de trabajo del nivel de protección con respecto a las señales de transmisión y la tensión suministrada máximas, teniendo en cuenta el comportamiento de los SPD en la gama de temperatura completa del equipo que se ha de proteger.

A la tensión continua del sistema, normalmente -48 V , el SPD no representará una carga para el sistema en las condiciones máximas de señal y temperatura. Algunos de los nuevos servicios digitales especiales tienen tensiones continuas muy superiores a -48 V y se ha de tener en cuenta esta particularidad para adaptar el diseño de los protectores a todas las situaciones.

En los pares de cables metálicos la inmunidad contra la interferencia externa depende de la simetría con respecto a tierra del sistema. Esta simetría no debe perturbarse con unos valores de capacitancia elevados e inestables de los SPD. La

capacitancia de los varistores y zeners depende de la tensión continua aplicada al sistema. Una buena simetría del sistema también exige valores precisos y estables de los componentes de resistencia en serie utilizados como dispositivos de coordinación y de limitación de corriente.

Los SPD podrán restablecer su nivel de estado desactivado después de fenómenos transitorios o de sobretensiones de 50/60 Hz de duración limitada. Este parámetro se expresa mediante la tensión de mantenimiento de un SPD de estado sólido o la tensión de extinción de un descargador de gas. El nivel de la corriente de mantenimiento debe elegirse para la condición más desfavorable a la tensión continua máxima y cargas de circuito diferentes. También debe considerarse la corriente máxima que el equipo puede suministrar a la línea.

Los SPD estarán adaptados a las condiciones atmosféricas previstas de la instalación. Se prestará particular atención a los SPD situados en armarios de plantas exteriores, donde la temperatura y humedad pueden experimentar variaciones considerables. Un mal aislamiento de los SPD puede interrumpir o distorsionar las señales transmitidas.

4.5.5.2 Condiciones de funcionamiento de los SPD

Los SPD tendrán un tiempo de respuesta rápido. Todos los SPD responden muy rápidamente con un retardo despreciable. El retardo de los descargadores de gas es generalmente menos importante para la eficacia de la protección que su capacidad para soportar la corriente.

Los SPD utilizados como dispositivos de protección secundarios tendrán una tensión de fijación bien definida. El nivel de fijación se elegirá con respecto a la robustez de los circuitos que se ha de proteger y a la tensión de funcionamiento máxima del sistema. Generalmente no tendrá ninguna ventaja elegir la tensión de fijación más baja posible. Un margen de trabajo de la robustez del circuito eliminará el funcionamiento innecesario de los SPD, que interrumpiría reiteradamente la transmisión de los datos.

Los SPD podrán soportar sin daños las descargas puntuales previstas. Podrán proteger los circuitos contra fenómenos transitorios repetitivos causados por descargas de rayo y sobretensiones de 50/60 Hz inducidas durante los periodos de tiempo especificados en la Recomendación K.20.

La selección de características apropiadas también facilitará la coordinación con otros SPD en puntos anteriores o posteriores del sistema. Las impedancias de coordinación resistirán sin daños los esfuerzos de tensión y energía pertinentes.

a. Dispositivos de conmutación de tensión

Los SPD utilizados como protección primaria y para la protección de cables en plantas exteriores son los más expuestos a los rayos y a la inducción eléctrica debida a fallos de puesta a tierra de los sistemas de alimentación eléctrica. Los dispositivos de protección que contienen componentes con características de conmutación producen menos calor durante el proceso de descarga que los SPD de limitación de tensión, debido a una baja tensión residual.

Descargadores de gas

Los descargadores de gas son los componentes de conmutación más robustos y pueden sobrevivir a fenómenos transitorios de rayo de muchos kA durante centenares de μ s y varios amperios de corriente alterna durante un segundo o más en condiciones de fallo del sistema de alimentación eléctrica.

La tensión de ruptura de los descargadores de gas es sensible a la pendiente de subida de tensión y, en el caso de los impulsos inducidos por el rayo, puede alcanzar el doble del valor de las sobretensiones de 50/60 Hz. Los tubos de gas, como todos los descargadores de chispa, son SPD resistentes con grandes tolerancias de funcionamiento.

Los descargadores de gas pueden no ser adecuados para la protección de circuitos sensibles dentro de los equipos, debido a esa debilidad, pero también a su capacidad para crear durante la ruptura fenómenos transitorios muy rápidos que pueden causar interferencias a circuitos próximos mal apantallados. Es preferible utilizarlos como SPD primarios, especialmente en lugares muy expuestos como las instalaciones rurales de abonado u otros lugares alejados, donde es importante su capacidad para soportar grandes energías.

Los descargadores de gas expuestos a muchas sobrecorrientes tienden a aumentar su tensión de disparo de corriente continua, ya que la erosión de los electrodos aumenta la separación entre los mismos.

Algunos descargadores de gas contienen isótopos radioactivos que emiten radiaciones beta, a fin de reducir al mínimo el retardo estadístico. Esos componentes pueden ser conductores extremadamente rápidos también con frentes de onda muy

pronunciados. El efecto disminuye después de unos años en función de la media vida del material radioactivo.

Dispositivos de estado sólido (tiristores)

Los dispositivos de conmutación de estado sólido se utilizan principalmente como protección secundaria en placas de circuito impreso o como parte de una unidad de protección híbrida. Los SPD de la familia de los tiristores tienen una menor resistencia a la corriente de cresta que los tubos de gas, pero pueden soportar varios centenares de amperios durante el mismo tiempo. Esta capacidad es suficientemente elevada para aceptarlos como componentes de protección primarios en el repartidor principal o en otros emplazamientos relativamente expuestos. Los dispositivos de protección de tipo tiristor están evolucionando muy rápidamente y es posible que se comercialicen componentes para zonas muy expuestas como las instalaciones de abonado rural.

En comparación con los descargadores de gas, los dispositivos de estado sólido tienen una tensión de ruptura precisa que no depende de la pendiente de subida de la tensión, du/dt .

No obstante, los SPD semiconductores son sensibles a los rápidos aumentos de corriente. Las uniones p-n simples pueden llegar a formar «puntos calientes» que aumentan hasta que se quema el dispositivo.

Los dispositivos de conmutación de tiristores pueden ser dañados por corrientes anódicas con una pendiente de subida pronunciada. Los «puntos calientes» se forman cuando la zona de unión no tiene tiempo suficiente para conducir uniformemente.

Los tiristores se comportan en su estado inicial como dispositivos de limitación de la tensión antes de que se produzca la conmutación a una tensión limitadora inferior. Durante ese tiempo de transición la tensión de funcionamiento del tiristor depende de la relación di/dt de la descarga y puede alcanzar niveles notablemente superiores a la tensión de fijación nominal. Este comportamiento puede ocasionar muchos daños imprevistos a los circuitos de tarjeta de línea. Los usuarios de esos SPD necesitarán información detallada del fabricante sobre esta característica.

La conmutación de los tiristores puede iniciarse de distintas maneras. Los tiristores sin puerta se autodisparan, es decir que la conmutación se produce cuando la corriente anódica es superior a un valor umbral determinado o cuando la tensión aumenta rápidamente. La tensión limitadora máxima de los protectores de sobretensión del tiristor se establece durante la fabricación; en los dispositivos con un terminal de puerta el nivel de protección inherente puede reducirse mediante el control de puerta.

Los tiristores con puerta pueden activarse en marcha aplicando un impulso creado por una caída de tensión en una impedancia en serie, a menudo integrada en el SPD.

Los tiristores se desactivan cuando la corriente alcanza un valor inferior a su corriente de mantenimiento. Una corriente de mantenimiento demasiado baja mantiene al SPD activado y ocasiona problemas de bloqueo.

b. Dispositivos de limitación de la tensión

Estos dispositivos son, por ejemplo, los varistores, diodos zener y diodos directos. Este tipo de SPD no conmuta a tensiones inferiores en la fase conductora, sino que limita la sobretensión a un nivel prácticamente constante para todas las corrientes.

Varistores

Los varistores basados en material de óxido metálico (MOV, *metal oxide material*) se utilizan mucho en circuitos de suministro de energía en los cuales es importante su capacidad para absorber corrientes residuales. También se utilizan en aplicaciones de telecomunicaciones en las cuales son interesantes algunas de sus características. Por ejemplo, no producen cortocircuitos con un excesivo di/dt pero absorben una gran parte de la energía de descarga producida en el primer momento.

Los MOV tienen un tiempo de respuesta sumamente rápido, inferior a 1 ns, y una resistencia de aislamiento muy elevada en su estado no conductor, pero tienden a tener una capacitancia elevada en comparación con los descargadores de gas.

La tensión residual de los MOV aumenta notablemente con cargas de corriente excesivas, y esta particularidad ha de tenerse en cuenta al seleccionar el nivel de protección de tensión. No obstante, esta característica de los SPD también facilita la coordinación con otros SPD y puede llegar a suprimir la necesidad de elementos en serie en un circuito de protección. En combinación con otros componentes MOV, se supone que el MOV situado en el lado de línea de la protección secundaria desvía la mayor parte de una descarga y debe tener la tensión de fijación más baja, en contradicción con las prácticas actuales. Cuanto más baja sea la tensión de fijación más baja será la energía desarrollada en un componente. Este método permite la utilización de varistores de protección secundaria más pequeños y baratos.

Como los demás dispositivos de limitación de la tensión, los MOV deben utilizarse principalmente como componentes de protección inherentes secundarios. Si se utilizan como protección primaria, la elevada tensión residual transfiere una amplia parte no especificada de la energía de la descarga al dispositivo de protección secundario. Si están expuestos a corrientes excesivas o a un gran número de

descargas pequeñas, puede disminuir su nivel de protección nominal y este proceso de envejecimiento se ha de tener en cuenta.

Diodos zener

Los diodos zener se utilizan como SPD secundarios y en aplicaciones en tarjetas de circuitos impresos, donde su tamaño reducido y rapidez de respuesta sirven para proteger circuitos integrados sensibles. Los zener funcionan como elementos de protección anterior o posterior. También se combinan a menudo en una configuración adosada para crear un circuito bidireccional.

Los zener no experimentan degradaciones de sus características como los varistores y los descargadores de gas, pero tienen una capacidad muy inferior para soportar grandes descargas de corriente. Tienen un umbral de tensión mucho más preciso que los varistores.

4.5.5.3 Dispositivos de limitación de la corriente

Los dispositivos de limitación de la corriente reaccionan a sobrecorrientes de amplitud y duración determinadas. Tienen una respuesta lenta y no están destinados a funcionar con fenómenos transitorios como los causados por las descargas de rayo, ya que su tiempo de restablecimiento puede ser bastante largo o incluso, como en el caso de los fusibles, infinito. Su objeto es principalmente limitar los fallos en los circuitos electrónicos en caso de inducciones de energía de larga duración (varios segundos o más) y de contactos con la red eléctrica o un bus de suministro de corriente continua.

En los dispositivos con autorestablecimiento, el tiempo de restablecimiento al valor original de impedancia en serie de los componentes de coeficiente de

temperatura positivo (PTC, *positive temperature coefficient*) puede compensarse utilizando un dispositivo de baja resistencia en serie con una resistencia bobinada o de tipo similar para obtener la resistencia total en serie necesaria.

El tiempo de restablecimiento de un PTC depende de los parámetros siguientes:

- a) condiciones ambientales;
- b) proximidad de otros componentes de temperatura elevada;
- c) tiempo de aplicación de la sobrecorriente;
- d) dimensiones físicas del PTC;
- e) material de revestimiento del PTC.

Debido a su sensibilidad al calor, las resistencias PTC se pueden integrar con otro componente para formar un híbrido. En esos híbridos, el acoplamiento térmico de las resistencias PTC al otro componente es fuerte. Actualmente existen dos híbridos de ese tipo:

- a) Resistencia y PTC montados en serie que permiten:
 - tiempo de activación más rápido del elemento PTC;
 - mejor equilibrio longitudinal utilizando una resistencia ajustable;
 - tiempo más corto para la reiniciación.
- b) MOV (en paralelo) y PTC (en serie) que permiten:
 - tiempo de activación más rápido del elemento PTC;
 - eliminación del calor disipado en el MOV.

En su estado de alta resistencia el dispositivo tendrá que soportar las sobretensiones especificadas en el Cuadro 1/K.20.

Los PTC se montan en serie con la línea y, si están conectados antes de la protección secundaria, pueden servir de resistencias de coordinación durante las descargas. No obstante, cabe observar que algunos PTC tienen una capacitancia relativamente elevada, lo cual disminuye la impedancia para los fenómenos transitorios rápidos. Los PTC utilizados como resistencias de coordinación deben permanecer estables durante un impulso de corriente de rayo.

Con respecto a los fusibles de línea normales, los PTC tienen la ventaja de poderse restablecer después de una tensión excesiva. No obstante, es importante que los componentes se restablezcan a valores muy diferentes de los medidos antes de la carga. El desequilibrio del bucle depende de la diferencia $\Delta R = R_a - R_b$, siendo R_a y R_b los valores de las resistencias del PTC en las ramas a y b. Para limitar la pérdida de conversión longitudinal, los PTC seleccionados siempre deben estar adaptados unos a otros. Los equipos de conmutación modernos pueden compensar automáticamente el cambio de valor de los PTC, pero esta capacidad suele estar limitada a unos pocos ohmios.

En la Recomendación K.30 «Termistores de coeficiente de temperatura positivo» se indica detalladamente cómo calcular los requisitos de esos dispositivos.

4.5.5.4 Dispositivos aislantes

Los dispositivos aislantes se utilizan para proteger los equipos contra sobretensiones en modo común. No están definidos formalmente como SPD pero pueden impedir eficazmente los daños causados por las sobretensiones.

En las líneas de señal pueden utilizarse unos transformadores especialmente diseñados para aislar los equipos de comunicaciones con respecto a una red sometida a una elevación de potencial debida a fallos en plantas de alta tensión. Con una tensión de ruptura de aislamiento entre devanados de decenas de kV, esos

transformadores también resisten a la mayoría de los fenómenos transitorios inducidos por el rayo.

Estos dispositivos de aislamiento eléctrico pueden instalarse fácilmente en las instalaciones de abonado próximas a estaciones de suministro de energía o en zonas rurales con niveles keraúnicos elevados.

Los dispositivos de aislamiento óptico proporcionan un aislamiento de unos pocos kV. Los aisladores ópticos y algunos aisladores eléctricos pueden transferir señales de corriente continua. Pueden utilizarse dispositivos de aislamiento óptico y transformadores especialmente diseñados para mitigar interferencias de bajo nivel.

Algunos aisladores eléctricos tienen la ventaja de poderse telealimentar mientras que los aisladores ópticos tienen que conectarse a la red.

4.5.6 Modos de operación de los dispositivos de protección

4.5.6.1 Dispositivos de fijación

Cuando un SPD está cargado con ráfagas excesivas, siempre debe saltar de forma segura. Un SPD que salta en modo de transición, es decir, con alguna resistencia en serie, puede generar un calor tal que provoque un incendio en una placa de circuito impreso u otros materiales circundantes.

La mayoría de los componentes de estado sólido saltan en modo cortocircuito pero pueden cambiar al modo de circuito abierto con corrientes de larga duración. También es el caso de los MOV.

En el mercado hay descargadores de gas que saltan en modo abierto y otros que saltan en cortocircuito. Estos últimos son intencionalmente sensibles al calor y

contienen un metal especial o compuesto aislante que se funde y junta los electrodos.

La selección del modo en que saltan estos dispositivos depende de la aplicación. Los SPD primarios con baja capacidad de corriente de descarga saltan en cortocircuito para desviar las descargas subsiguientes y proteger al equipo o a sus componentes de protección inherentes. La mayoría de los tubos de gas utilizados en los repartidores principales resisten a casi todas las corrientes de corta duración pero pueden quedar sobrecargados por corrientes continuas si las líneas de señalización están en contacto directo con la red eléctrica. Una ventaja de los dispositivos que saltan en modo cortocircuito es que los daños se localizan fácilmente. Un inconveniente es la posible necesidad de elementos fusibles complementarios.

Algunos equipos de abonado, como los contestadores automáticos o las centralitas automáticas privadas más pequeñas, tienen tubos de gas o varistores de protección incorporados en los circuitos de señalización. Para limitar las sobretensiones en modo común con respecto a la red de baja tensión, los SPD están conectados equipotencialmente a la toma de tierra de protección de los equipos. Si los SPD están conectados equipotencialmente a los conductores activos de la red de alimentación eléctrica, deberá evitarse el modo cortocircuito, ya que se compromete la seguridad personal del usuario y del personal de telecomunicaciones que trabaja en planta exterior o en los centros de conmutación.

La tensión de fijación en corriente continua de esos SPD debe establecerse por encima del valor máximo de tensión de cresta de la red de alimentación eléctrica, por motivos de seguridad.

4.5.6.2 Dispositivos de limitación de la corriente

Los dispositivos de limitación de la corriente como los fusibles, PTC o resistencias conectados en serie con la línea, saltan preferentemente en modo de circuito abierto para garantizar una interrupción de la corriente. En algunos casos puede ser necesario integrar una indicación de alarma en los circuitos vitales o para avisar de posibles tensiones peligrosas en la línea.

4.5.7 Ubicación y montaje de los SPD

La eficacia de las medidas de protección depende mucho de la ubicación y la técnica de montaje de los SPD.

Generalmente, es muy importante que todos los SPD destinados a mitigar transitorios con pendiente de subida pronunciada tengan hilos conductores cortos. Las grandes caídas de tensión inductiva en las conexiones de los SPD pueden rebasar fácilmente la tensión de ruptura o residual del propio dispositivo de protección.

Los equipos de conmutación siempre deben poder soportar en la planta de cable del edificio interferencias inducidas por fuentes internas o externas como descargas de rayo próximas.

Los fenómenos transitorios creados internamente por descargas electrostáticas o GDT activados son muy rápidos. Para mitigar esas interferencias los SPD secundarios deben poseer un tiempo de respuesta rápido y estar bien conectados equipotencialmente a un apantallamiento eficaz en la interfaz del equipo. Si no se

pueden conectar equipotencialmente a un buen apantallamiento, los SPD tendrán un efecto muy limitado a frecuencias elevadas.

Las sobrecorrientes transitorias sustanciales originadas en la planta exterior deben ser desviadas a tierra vía el plano de referencia local por los SPD primarios, que deben instalarse en el límite exterior del volumen que se ha de proteger.

Los SPD en las entradas de cable sirven para impedir que sobretensiones y sobrecorrientes excesivas alcancen al equipo electrónico, pero también para limitar las sobretensiones en los cables entrantes. Por lo tanto, es importante que el apantallamiento de los cables esté conectado equipotencialmente a la toma de tierra común de los SPD con el hilo más corto posible.

4.5.8 Consideraciones de seguridad

Los SPD conectados a una red de baja tensión en la entrada de edificios de abonados y los SPD inherentes a los equipos de abonado cumplirán los requisitos eléctricos de la publicación 950 de la CEI o de reglamentaciones nacionales. El objeto de los requisitos es impedir lesiones causadas por contactos fortuitos entre la instalación de baja tensión de corriente alterna y los circuitos del equipo de telecomunicaciones. Se especificará una tensión mínima de ruptura en corriente continua/alterna de esos SPD para mantener el aislamiento a un nivel seguro.

Al elegir la tensión de ruptura nominal, se tendrán en cuenta las tolerancias de la tensión eléctrica así como las tolerancias de los SPD. Véase la Figura 4.2.

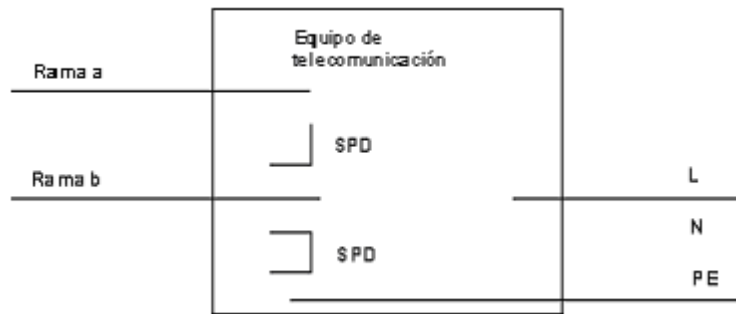


Figura 4.2 Equipo con dispositivo de protección inherente conectado al conductor de protección a tierra (PE) interno

4.5.9 Consideraciones generales sobre los costes de instalación y mantenimiento

La necesidad de medidas de protección se basa en una evaluación del riesgo, que consiste en analizar cuidadosamente las condiciones ambientales de la planta de telecomunicaciones de que se trate. Hay que recordar que la utilización de los SPD es sólo una parte de la protección y debe coordinarse de forma apropiada con medidas de filtrado, apantallamiento, puesta a tierra y conexión.

Los costes máximos aceptables de las medidas de protección total dependen en sumo grado de las pérdidas de servicio tolerables, y no tanto del valor del equipo destruido. No obstante, deben reducirse al mínimo los costes de instalación de los SPD y prever los costes de mantenimiento o sustitución.

Se supone que los SPD montados en repartidores principales o en bloques terminales de planta exterior están instalados para por lo menos diez años y sobrevivirán a menudo al equipo que han de proteger y que habrá que sustituir debido a la rápida evolución de las técnicas de transmisión. Los SPD de alta calidad siempre son rentables, ya que el mantenimiento y control de dispositivos baratos de

baja calidad puede resultar muy caro, especialmente en lugares alejados y en instalaciones de usuario.

4.6 Evaluación de Sistema SCADA respecto a normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), establece las recomendaciones para los sistemas de comunicación para logran un funcionamiento óptimo de los mismo. Estas recomendaciones son basadas en experimentos realizados para determinar de que forma se obtiene el mejor desempeño del sistema en general.

La unidad SCADA cuenta para la supervisión, control y adquisición de datos de la red eléctrica de la Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos, con un sistema Punto-Multipunto, con dos sistemas de radiocomunicación uno el sistema DNP y otro el sistema MODBUS. La UIT en su división de radiocomunicación establece mediante la recomendación F.755, en su anexos 2 los diferentes requerimientos de un sistema P-MP de tráfico de paquetes.

4.6.1 Comparación Sistema P-MP según UIT y Sistema P-MP de la Unidad SCADA

A continuación se detallan las diferentes recomendaciones que establece la UIT, y su respectiva comparación con el sistema con que cuenta la Unidad SCADA.

Tabla 4.7 Comparación de sistema P-MP del sistema SCADA con lo recomendado por la UIT

P-MP UIT	P-MP SCADA
Tráfico de datos que deben despachar se presenta en forma de ráfagas.	Tráfico de datos se despacha se presenta en forma de ráfagas
Los sistemas que funcionan por debajo de 1 GHz transmiten normalmente velocidades binarias bajas hasta 9,6 kbit/s.	Transmisión de datos a velocidad de 9,6 Kbit/s
Utilización de algún protocolo de comunicación de acceso múltiple: detección de portadora o división de tiempo.	No se utiliza ningún protocolo de acceso múltiple lo que produce choque por la transmisión de dos unidades al mismo tiempo.
Utilizar un repetidor de regeneración dúplex de dos frecuencias para aumentar la flexibilidad en el diseño del sistema.	Se utiliza un sistema unifrecuencia o Half duplex para la transmisión y recepción de la información.
Técnicas de control de errores como CRC-16 o CRC-32	Los radiomodems utilizados por la unidad realizan verificación de errores CRC-16 (Neulink) y CRC-32 (Freewave)
BER mejor que 1×10^{-11}	Este parámetro no se mide actualmente
Técnicas de retransmisión de bloques en caso de resultar con errores	Los radiomodems utilizados, cuando un paquete presenta errores al aplicarle la respectiva verificación CRC, piden la retransmisión del mismo, no realizan corrección de errores.
Comenzar la transmisión antes de que se haya recibido el paquete completo	En el caso de los radiomodems Neulink se sabe con certeza que esto no se cumple ya que el tamaño máximo del paquete del protocolo DNP es de 292 byte y los radiomodems están configurados para transmitir paquetes de 300 byte. En el caso de los radiomodems Freewave esto se cumple ya que están configurados para transmitir paquetes de 56 byte. Aunque se debe de hacer un mejor análisis documentado de la cantidad de información que envían las diferentes unidades remotas ya que no todos envían la misma cantidad de información, por lo que la configuración de los radiomodems en su máxima tamaño de paquete debe ser más flexible.
Si la información se maneja en tiempo real se debe emplear altas velocidades de transmisión en la red, tales como 4,8 a 9,6 kbit/s.	Se utiliza una velocidad de transmisión de 9,6 Kbit/s.

Tabla 4.8 Evaluación de otras recomendaciones

Recomendaciones UIT	Sistema SCADA
Técnica de diversidad de espacio	Sistema no cuenta con ningún tipo de diversidad para mejorar la eficiencia del sistema ante eventuales problemas que sufren los Radioenlaces
Técnica de diversidad de frecuencia	Sistema no cuenta con ningún tipo de diversidad para mejorar la eficiencia del sistema ante eventuales problemas que sufren los Radioenlaces
Técnica de diversidad de ángulo	Sistema no cuenta con ningún tipo de diversidad para mejorar la eficiencia del sistema ante eventuales problemas que sufren los Radioenlaces
Determinación de la calidad de la información midiendo parámetros como BER, Segundos con Errores, Segundos con muchos Errores	La unidad SCADA no realiza ninguna medición de la calidad de la información que circula por la red de datos.
Protecciones en los sistemas de alimentación	Los sistemas de alimentación de los equipos de comunicación cuentan con su respectiva protección
Protección en cable coaxial	Todos los cables coaxiales en las diferentes unidades remotas, repetidores y centro de control cuentan con su respectiva protección.
Sistema de puesta a tierra	Todas las unidades remotas, repetidores y centro de control cuentan con su sistema de protección de tierra.
Modulación utilizada en sistema MODBUS: Espectro Ensanchado	Modulación de espectro ensanchado con saltos de frecuencia en sus sistema MODBUS
Modulación utilizada en sistema DNP: En Frecuencia	Modulación de GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) en su sistema DNP

CAPITULO 5

MEDICIONES EN EQUIPOS DE RADIOENLACES

Los sistemas de comunicación que utilizan la atmósfera para la transferencia de información, son sistemas que se ven influenciados por parámetros que se deben tomar en cuenta para determinar la eficiencia del mismo, parámetros propios del sistema o generados externamente, debido a que se utiliza un sistema compartido por otros sistemas de comunicación. Las mediciones realizadas en este apartado se basan en las descritas en el archivo adjunto llamado “Manual de Mantenimiento”, donde se describe los diferentes pasos a seguir al realizar procedimientos de mantenimiento a los equipos de las unidades remotas.

Dentro de los parámetros internos, para aprovechar al máximo las características del sistema de transmisión, se deben de tomar en cuenta ciertos parámetros que ejercen una gran importancia como el VSWR, ya que determina que porcentaje de la potencia de transmisión es entregada a la antena, entre más cercano a 1 mayor potencia es transferida. Es importante evaluar en estado de algunos componentes como la propia antena, cable coaxial, sistema de alimentación, sistema de respaldo de suministro de energía y el grado de protección del equipo en general.

Algunos parámetros externos se deben considerar ya que pueden interferir en el comportamiento normal del sistema, como señales de otras fuentes que puedan interferir con el sistema, así como ruido en la banda de frecuencia que utiliza el sistema. Es importante mencionar que existen otros parámetros que determinan la eficiencia de un enlace como el BER (Bit Error Rate), que determina la calidad de los datos transmitidos, pero que por limitaciones de equipo no se pudo determinar en los demás enlaces, sólo se midió en el enlace CHOCO1 del sistema MODBUS.

Los resultados mostrados pertenecen a una unidad remota (Río Cuarto_Pital) del sistema DNP y del subsistema CHOCO1 en SCADA del MODBUS. Al final en la Tabla 5.13 y la Tabla 5.14 se presenta un resumen de los resultados más importantes obtenidos en todas la unidades remotas visitadas.

5.1 Medición

5.1.1 Voltaje de alimentación

El voltaje de alimentación es muy importante medir ya que de este depende el buen funcionamiento del radiomodem.

5.1.1.1 Equipo

Cantidad	Descripción
1	Tester TMC-460

5.1.1.2 Circuito

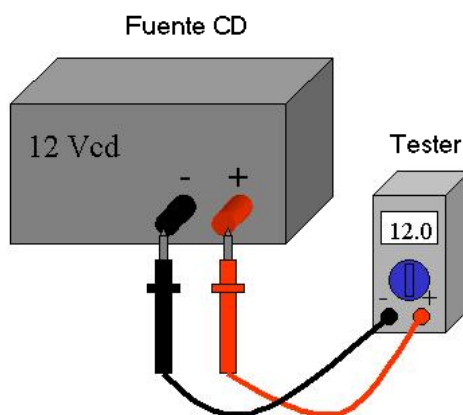


Figura 5.1 Circuito de medición del voltaje de alimentación

5.1.1.3 Medir

a) El voltaje cd de alimentación como se muestra en la Figura 5.1.

5.1.1.4 Resultados

Tabla 5.1 Valor de voltaje de fuente cd de alimentación

Sitio	Teórico (Vcd)	Experimental (Vcd)
RioIV_Pital	> 12	12
SCADA CHOCO1	> 9	13.3

5.1.2 Resistencia de tierra

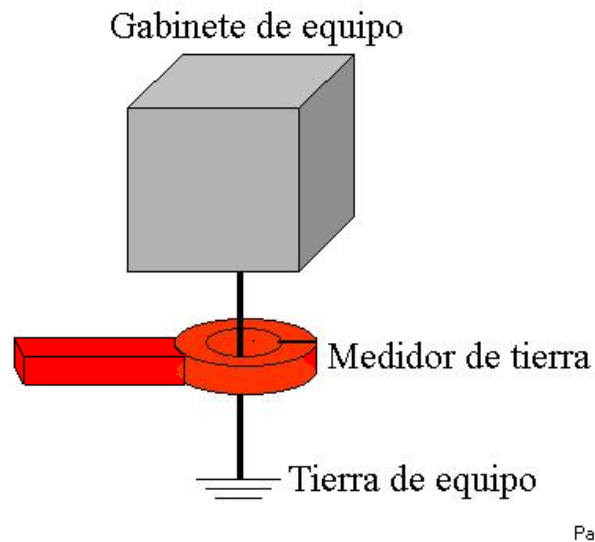
El sistema de protección de tierra debe cumplir ciertas normas dictadas para cumplir eficientemente su objetivo. Uno de esos es la resistencia de tierra del sistema, por lo que es importante medir este parámetro periódicamente.

5.1.2.1 Equipo

Cantidad	Descripción
----------	-------------

1	Medidor de resistencia de tierra AEMC 3711
---	--

5.1.2.2 Circuito



Paint

Figura 5.2 Circuito de medición de la resistencia de tierra

5.1.2.3 Pasos

- Se ubica el cable de tierra que va del gabinete donde se encuentre el equipo a la tierra del sistema.
- Se Utiliza el medidor de tierra y se obtiene la medición como se muestra en Figura 5.2.

5.1.2.4 Resultados

Tabla 5.2 Valor de la resistencia de tierra

Sitio	Teórico (Ω)	Experimental (Ω)
RioIV_Pital	< 2	0.42
SCADA CHOCO1	< 2	0.55

5.1.3 Potencia de Transmisión

Los equipos electrónicos no escapan al deterioro de sus componentes, por lo que es importante medir sus características para determinar cuando un equipo ha llegado a un nivel de deterioro tal que sea necesario su reemplazo. Del nivel de potencia de salida del radiomodem es uno de los parámetros más importantes para determinar el reemplazo.

5.1.3.1 Equipo

Cantidad	Descripción
1	Medidor de potencia Telewave Inc. 44A
1	PC portátil
1	Cable Serial Null modem

5.1.3.2 Circuito de Medición

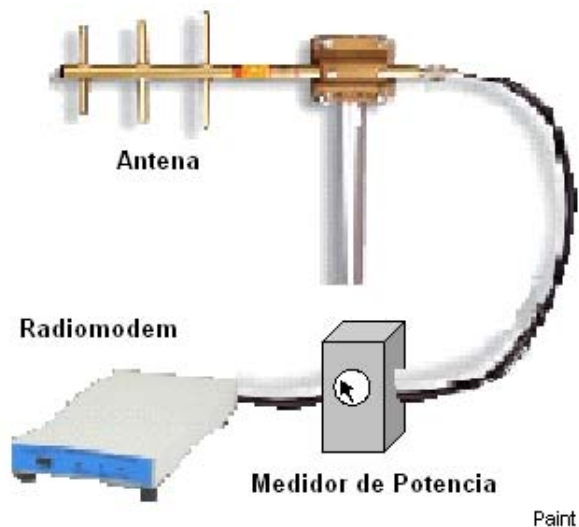


Figura 5.3 Circuito de Medición de Potencia de Transmisión

5.1.3.3 Pasos

- a) Se conecta el medidor de potencia entre el radiomodem y la antena como se muestra en la Figura 5.3.
- b) Se selecciona la escala máxima de medición y el interruptor (Reverse/Forward) en Forward.
- c) Se siguen los pasos descritos en el apartado 5.1.6 para ingresar al modo de programación. Se utiliza el comando TX DATA para iniciar una transmisión a máxima potencia.
- d) Se anota los resultados obtenidos.

5.1.3.4 Resultados

Tabla 5.3 Potencia de transmisión obtenido

Sitio	Teórico (W)	Experimental (W)
RioIV_Pital	2.5	2.1

5.1.4 Potencia de Recepción

Determinar la potencia y la frecuencia de la señal recibida para detectar problemas de nivel de la señal recibida y problemas con la estación repetidora.

5.1.4.1 Equipo

Cantidad	Descripción
1	Anritsu SiteMaster S114C

5.1.4.2 Circuito



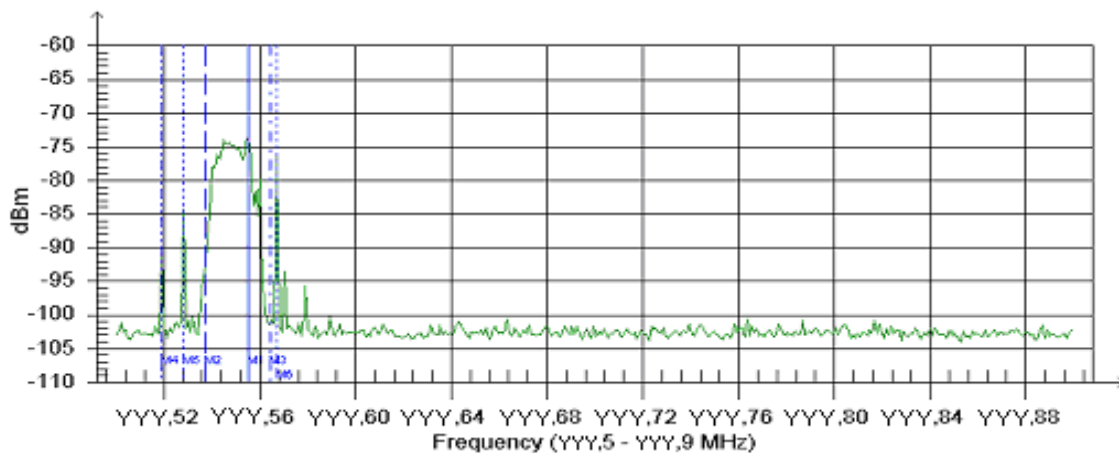
Figura 5.4 Circuito de medición de la potencia y frecuencia de recepción

5.1.4.3 Pasos

- Se conecta la antena utilizada en el Radioenlace al AE en la entrada llamada "Spectrum Analyzer" utilizando el mismo cable coaxial, como se observa en la Figura 5.4.
- En el AE se presiona la función Recall Setup seleccionando la opción 5 para Radio Neulink o la opción 6 para Freewave.
- Presionando la tecla Amplitude, seguidamente Niv. de Ref, se cambia el nivel de referencia al valor que mejor le convenga (valor recomendado -60 dBm).
- Presionando Aten se cambia la atenuación a 0 dB o la que mejor convenga.
- Se miden algunas señales obtenidas por la antena del lugar que se aplica el procedimiento.
- Con la función Marker se ubica un marcador en la señal obtenida midiendo la potencia y frecuencia de la Recepción. Anote los resultados.
- Se espera un tiempo de prudencial y mida la potencia de Ruido promedio utilizando el mismo marcador.

h) Se anota los resultados.

5.1.4.4 Resultados



Marcador	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz)
M1	-73.58	YYY.AAA
M2	-92.59	YYY.BBB
M3	-101.45	YYY.CCC
M4	-90.46	YYY.DDD
M5	-84.19	YYY.EEE
M6	-76.44	YYY.FFF

Figura 5.5 Espectro obtenido en RTU Río Cuarto-Pital

Span = 440 KHz

Tabla 5.4 Potencia de señal recibida y Piso de Ruido

Dato Medido	Río Cuarto-Pital	SCADA CHOCO1
Potencia RX (dBm)	-73.58	-33.19
Potencia Ruido (dBm)	-102	-95

Relación Señal Ruido

$$\text{SNR} = \text{Potencia Señal} - \text{Potencia Piso Ruido}$$

$$\text{SNR} = -73.58 - (-102) = 28.42 \text{ dB}$$

Tabla 5.5 Comparación SNR obtenido

Sitio	Recomendado (dB)	Obtenido (dB)
Río Cuarto-Pital	> 15	28.42
SCADA CHOCO1	> 15	63.7

Capacidad de canal

$$CC = BW * \frac{\log(1 + 10^{SNR*0.1})}{\log(2)}$$

$$BW = 25 \text{ KHz}$$

Tabla 5.6 Capacidad de canal obtenida

Sitio	Capacidad Canal (Kb/s)
Río Cuarto-Pital	236.074
SCADA CHOCO1	529.017

5.1.5 VSWR

Un parámetro para medir la eficiencia en la instalación del equipo es el VSWR, que me relaciona las pérdidas por retorno y la resistencia de acople del sistema.

5.1.5.1 Equipo

Cantidad	Descripción
1	Anritsu SiteMaster S114C

5.1.5.2 Pasos

- Se conecta el cable coaxial que viene de la antena del sitio a la entrada "RF Out/Reflection" del AE SiteMaster S114C, como se muestra en la Figura 5.4.
- En el AE presionando la función Recall Setup se selecciona la opción 1 para antenas de sistema DNP o la opción 2 para antenas del sistema MODBUS.
- Con la función Marker se ubica dos marcadores en las frecuencias de Rx y Tx para medir el VSWR específico para esas frecuencias para el caso de Radiomodems Neulink.
- En el caso de Radiomodems Freewave hay que analizar toda la banda.

- e) Con la función SAVE DISPLAY, se guarda la gráfica obtenida para posterior análisis. Se sigue el siguiente formato de nombre: Nombre del sitio-Tipo de medición, por ejemplo para sitio Florencia_Sta_Clara, el nombre del archivo quedaría: FlorStCla-ROE, en el caso de estar midiendo el ROE o FlorStCla-DTF-PR, para medir distancia de falla en modo pérdidas de retorno.
- f) En caso de los Radiomodems Freewave se anota el mayor valor obtenido en toda la banda medida.
- g) Se anota los resultados obtenidos.

5.1.5.3 Resultados

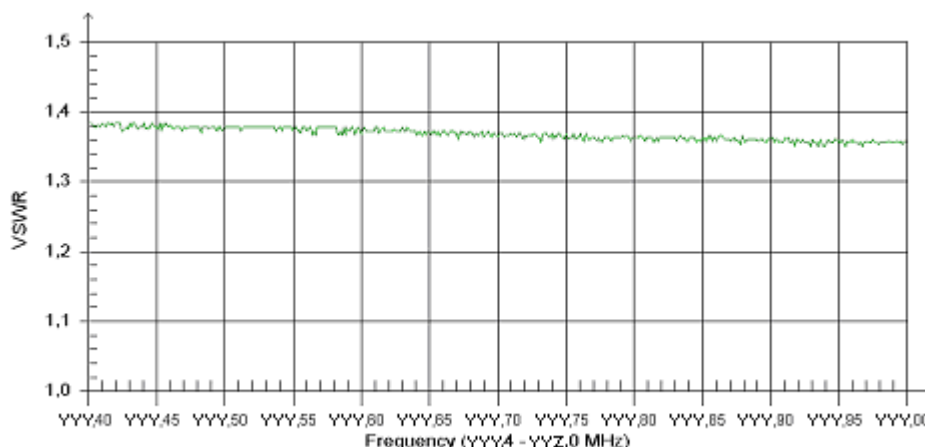
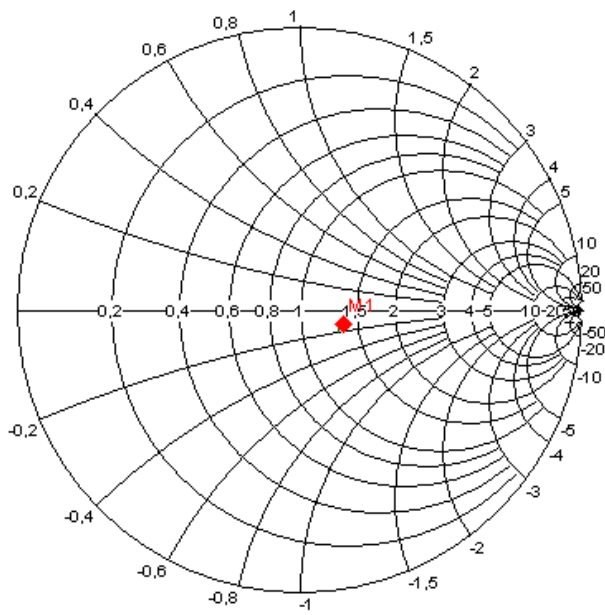


Figura 5.6 Relación de Onda Estacionaria en función de la frecuencia para RTU Río Cuarto-Pital
Span = 600 KHz

Tabla 5.7 VSWR a frecuencia de Tx de RTU Río Cuarto-Pital

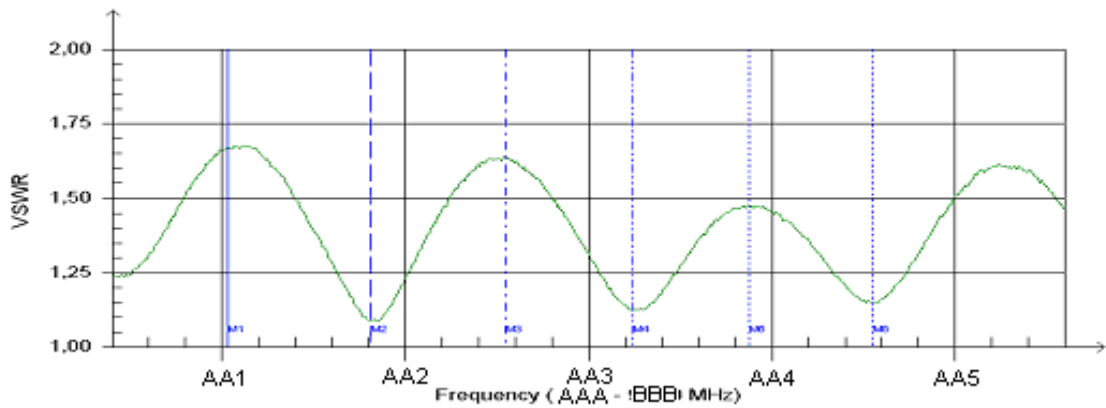
Frecuencia (MHz)	VSWR	Pérdidas de retorno (dB)	Factor de Reflexión	% P transmitida
YYY.YYY	1.378	-15.86	0.1611	97



M1: 67.5+j6 Ohm @ YYY.YY MHz

Handheld Software

Figura 5.7 Resistencia vista por Radiomodem de RTU Rio Cuarto-Pital



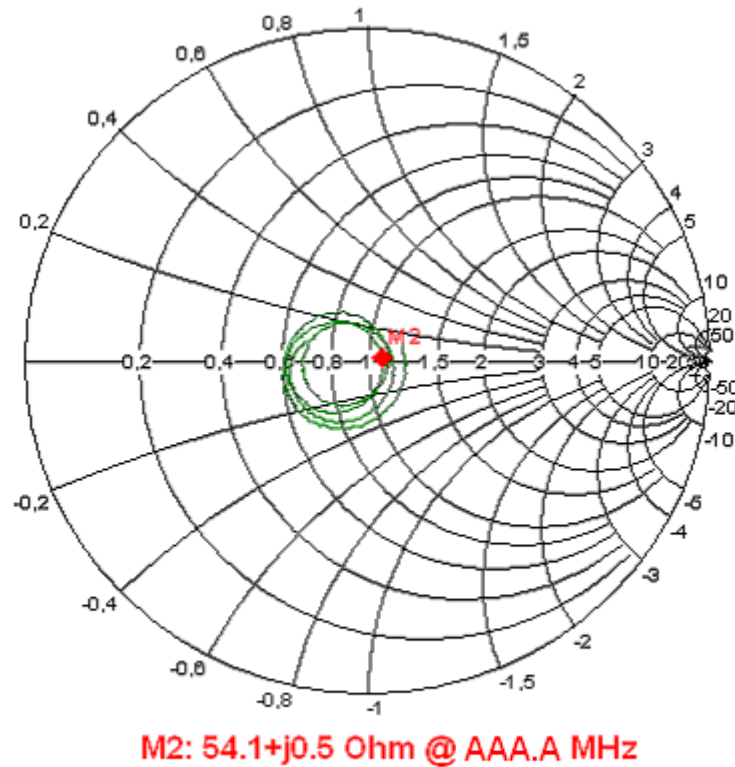
Marcador	VSWR	Frecuencia (MHz)
M1	1.677	AAA.17
M2	1.088	BBB.05
M3	1.642	CCC.73
M4	1.123	DDD.21
M5	1.478	EEE.38
M6	1.148	FFF.75

Figura 5.8 Relación de Onda Estacionaria para la antena de SCADA sistema CHOCO

Span = 26 MHz

Tabla 5.8 Factores determinados por VSWR para radiomodem CHOCO1 en SCADA

	Pérdidas de retorno (dB)	Factor de Reflexión	% P transmitida
VSWR inferior (M2)	-27.5	0.0421	99.82
VSWR superior (M1)	-11.94	0.2529	93.6



Handheld software

Figura 5.9 Resistencia de mejor acople para la antena en SCADA-sistema CHOCO1

5.1.6 Estadísticas y Configuración del Radiomodem

Los radiomodems acumulan una serie de estadísticas que representan el estado del radioenlace, respecto a eficiencia y calidad. Es importante recolectar esta información para su análisis posterior.

5.1.6.1 Equipo

Cantidad	Descripción
1	PC portátil
1	Cable Serial Null modem

5.1.6.2 Circuito de Medición

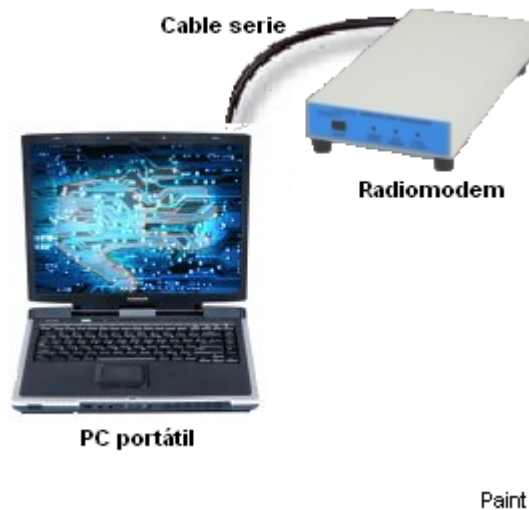


Figura 5.10 Circuito para obtener estadísticas del radiomodem

5.1.6.3 Pasos

a) Con la ayuda de programa HiperTerminal se realiza una conexión en la PC con las siguientes características:

Radio	Velocidad (Bps)	Bits de Datos	Paridad	Bits de parada	Control de flujo
Neulink	9600	8	N	1	Hardware
Freewave	19200	8	N	1	Hardware

b) Se Conecta la PC al Radiomodem mediante el cable serie en el COM de la máquina que se configuró en la conexión Hiperterminal.

- c) Para el Radiomodem Neulink, en la conexión se ingresa al modo de Programación presionando la siguiente secuencia de caracteres "...//", se verifica que aparezca lo siguiente: Ok>.
- d) Con el comando STATS se obtiene las estadísticas acumuladas por el Radiomodem y se anotan en el protocolo respectivo.
- e) Para el Radiomodem Freewave, en la conexión se ingresa al modo de Programación (ver Figura 5.11) presionando en botón Negro ubicado en el frente del Radiomodem (ver Figura 5.12). Se Selecciona la opción 4 y se obtienen dichas estadísticas.

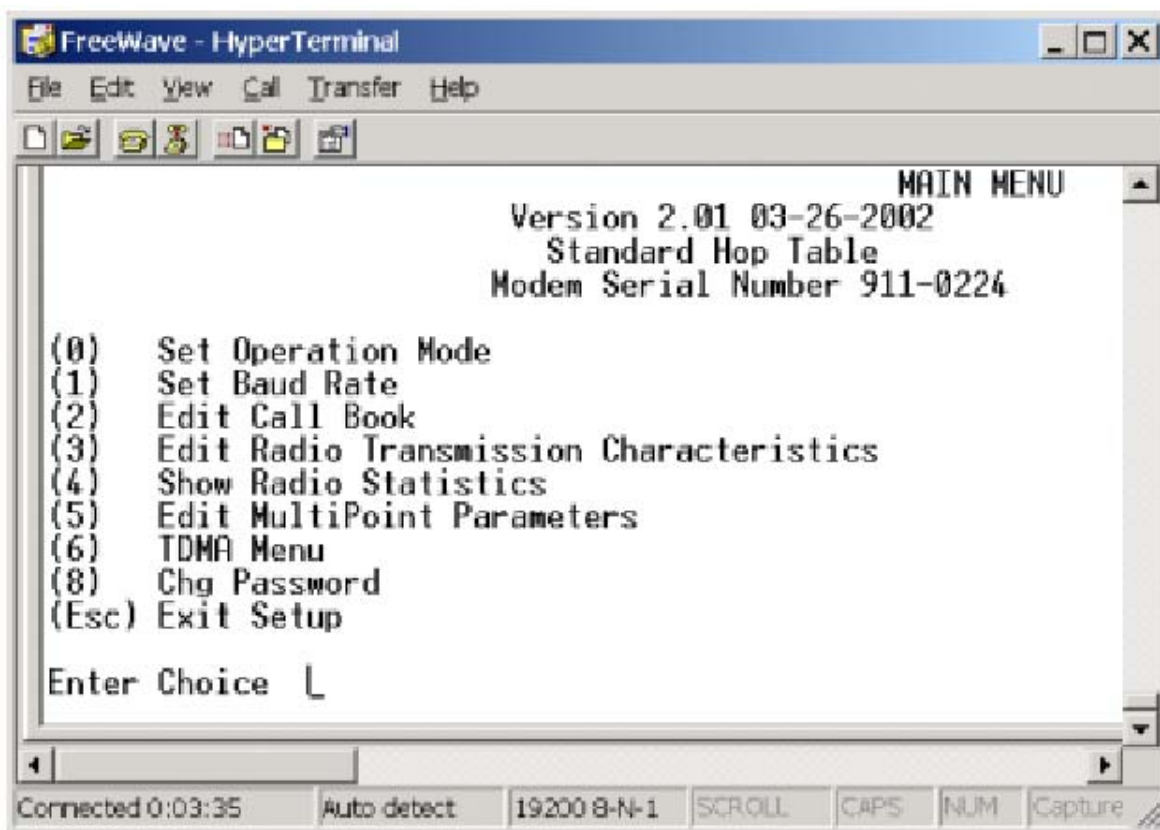


Figura 5.11 Menú de modo de programación de Radiomodem Freewave



Figura 5.12 Ingreso a modo de programación

- f) Una vez recopiladas las estadísticas del Radiodem, se procede a anotar la configuración establecida.
- g) Para Radiodem Neulink utilice la función MODES, y se anota la configuración.
- h) Para Radiodem Freewave se ingresa a cada uno de los submenús y se anota la configuración establecida.

5.1.6.4 Resultados

Tabla 5.9 Estadísticas del estado del enlace de la RTU Río Cuarto-Pital

Medición		Lectura
# Tx		10420
# Rx		46966
# Packets RDXP format		17338
# Bad Packets / CRC errors		21841 / 57331
# Serial COM errors		0
# Duplicate frames received		0
# TX frames missing AKCs		0
# Discarded TX packets		0
# RX fifo overruns		0
# ACKs sent/received		0 / 0
Total collisions		4283
The # of packets repeated is		0
# Bytes received		129636959
# Bytes transmitted		29145186
# RX bytes	In	47216
	Irq	10030
	Poll	37186

Tabla 5.10 Configuración del Radiomodem de la RTU Río Cuarto-Pital

Parámetro	Configuración
My ID	7777
To ID	8888
RF channel #	0
Radio type code	0
Max packet size	300
Packet buffer size	1024
Serial port FIFO size	1536
Highwater/flood level	1504 / 1488
Max # retries	7
Baud rate	9600
Config port	8 / 1 / N
XON disable	Si
Hardware flow control	Disable
Unit send Acks	No
Unit expect Acks	No

Tabla 5.11 Comparación de estadísticas con las recomendadas por el fabricante del Radiomodem del sistema CHOCO1 ubicado en SCADA

	Recomendado	Experimental
Average Noise Level (ANL)	< 30	33
Average Signal Level (ASL)	-----	92
ASL – ANL	> 15	59
Overall Rcv Rate (%)	> 75	No dato
# desconexiones	-----	0

Tabla 5.12 Configuración del Radiomodem del sistema CHOCHO1 ubicado en SCADA

Configuración	Valor			
My ID	910-0645			
Operation mode	Punto-Multipunto Maestro			
Baud rate	19200			
Call Book	#	Number	Repeater 1	Repeater 2
	0	000-0000		
	1	000-0000		
	2	000-0000		
Radio transmisión caract	FreqKey		8	
	Max packet size		3	
	Min packet size		0	
	Xmit rate		1	
	RF data Rate		3	
	RF Xmit power		9	
	Slave security		1	
	RTS to CTS		0	
	Retry timeout		255	
	Lowpower mode		0	
	MP parameters	# Repeaters		1
Master packet repeat		3		
Max slave retry		9		
Retry odds		9		
DTR connect		0		
Repeater frequency		0		
Network ID		30		
Multimaster sync		0		
1 PPS enable/delay		255		
Slave/Repeater		0		
Diagnostic		0		
Subnet ID		Disable		
Radio ID		0000		

Tabla 5.13 Resultados obtenidos en las mediciones a algunas RTUs del sistema DNP

Sitio	Alimentación (Vod)	Resistencia tierra (Ω)	Potencia transmisión (W)	Potencia de recepción (dBm)	SNR (dB)	Capacidad de canal Kb/s	VSWR	Pérdidas de retorno (dB)	Factor de reflexión	% Potencia transmitida	Impedancia acople (Ω)
SCADA	13.7	0.55	2.4	.....	.....	.....	1.121	-24.88	0.057	99.67	46.24±0.5
Angeles	12.3	0.03	3.1	-20.87	59.13	481.064	1.594	-12.8	0.229	94.76	33±8
Maestro	12.3	0.03	2.3	-49.27	30.73	265.237	1.639	-12.32	0.242	94.14	34.5±6.14
C.D. Cedral	12	0.04	2.75	-36.74	65.26	541.972	1.336	-16.84	0.143	97.93	62.5±10.5
Cerro Chiles	11.5	0.66	2.35	-67.44	34.56	287.027	1.463	-14.52	0.188	96.47	39±13
Subestación Toro	13.7	0.19	2.35	-80.72	11.28	96.269	1.331	-16.95	0.142	97.98	44±12
Hidrovenecia	13.8	0.3	2.35	-81.31	20.69	172.133	1.551	-18.78	0.115	98.68	77.5±3.5
San Miguel	14.5	200	2.75	-66.02	35.98	288.816	1.183	-21.53	0.083	99.30	42.5±0.5
Maestro	14.5	200	2.75	-64.68	37.32	309.942	1.250	-19.08	0.111	98.77	43.7±7.5
Río IV-Pital	12	0.42	2.1	-73.58	28.42	236.074	1.378	-15.86	0.161	97	67.5±6

Tabla 5.14 Resultados obtenidos en las mediciones a algunos RTUs del sistema MODBUS

Sitio	Alimentación (Vod)	Resistencia tierra (Ω)	Potencia de recepción (dBm)	SNR (dB)	Capacidad de canal Kb/s	VSWR máximo	Pérdidas de retorno (dB)	Factor de reflexión	% Potencia transmitida	Impedancia acople (Ω)
SCADA	Choco1	0.55	.....	63.70	529.017	1.677	-11.94	0.263	93.60	5440.5
	Distribución	0.55	-72.77	21.93	182.355	1.903	-10.14	0.311	90.32	58.5-2
Aguales	Choco1	0.10	.....	21.51	178.890	3.619	-4.93	0.567	67.85	61.5-49.5
	Distribución	0.10	-73.49	21.51	178.890	2.125	-8.87	0.360	87.04	50-11.5
Culebra	Subestación	0.33	-74.76	20.84	173.368	2.170	-8.66	0.389	86.38	48.5-14.5
	Subestación	0.80	-74.74	21.51	178.890	4.063	-4.34	0.605	63.4	63-10
Florencia_S Clara	Subestación	0.10	-74.97	20.03	166.701	1.954	-9.8	0.323	89.57	47-16
	Subestación	0.19	-86.50	8.50	75.356	2.929	-6.18	0.491	75.9	48.5-15.5

5.2 Comentario sobre mediciones

5.2.1 Sistema DNP

Es importante analizar primero los datos obtenidos del todo el equipo de comunicación de datos (Radiomodem, cable coaxial y antena) que se tiene en las diferentes estaciones remotas, ya que un desperfecto en alguno de estos elementos ocasionaría una avería grave a todo el sistema. En el caso del sistema DNP se utilizó un Span de 600 KHz para evaluar los datos obtenidos en las frecuencias que tiene adjudicadas Coopelesca para la unidad SCADA. En el caso del sistema MODBUS, se utilizó un Span de 26 MHz que corresponde al ancho de banda de los radiomodems, es importante recordar que estos utilizan espectro ensanchado con saltos de frecuencia.

5.2.1.1 Resistencia de tierra

Teóricamente se establece que la resistencia del sistema de puesta a tierra para equipo electrónico debe ser menor de 2Ω , en general todos los sistemas medidos tiene una muy buena resistencia de tierra, sólo se presentó un problema en el repetidor 3 debido a una corriente de fuga existente en el sistema de tierra que producía un error en la medición de la resistencia cuyo valor fue de 200Ω .

Es importante mencionar que el método utilizado para medir la resistencia no fue el recomendado por la mayoría de fabricantes de equipo. Se utilizó un medidor que se basa en el principio del sensor de Hall o medidor de Gancho, el cual se ve afectado por corrientes de fuga por el sistema de tierra que perturban la medición y además no se sabe con certeza el circuito que sigue la corriente. Es por esto que los fabricantes recomiendan que se utilice un medidor de 2 tierras referencias el cual se

ubican a una distancia de 10 mts de la resistencia del sistema. Con este circuito se calcula directamente la resistencia de tierra del sistema.

5.2.1.2 Potencia de transmisión

Respecto a la medición de la potencia de Transmisión de los radiomodems, se sabe teóricamente que este tipo de equipo tiene un potencia de salida de 2.5 watts. Un porcentaje de error negativo determina que se tiene una potencia mayor a la planteada por el fabricante, en este caso no es relevante este comportamiento, se puede utilizar esta interpretación para determinar cuales radiomodems transmiten a una mayor potencia y talvez ser utilizados en repetidor para cubrir mayor distancia. Es importante poner atención cuando el equipo transmite a una potencia menor que la establecida, ya que esto denota que se puede estar presentando una degradación del equipo por uso.

5.2.1.3 Potencia y frecuencia de recepción

También se debe de analizar las características del enlace en el punto de medición para determinar si se cumplen con ciertas características que se establecen para los enlaces. Está establecido que para lo que es transmisión de datos se debe tener en el equipo receptor una relación señal-ruido mayor de 15 dB, respecto a este parámetro el equipo que presentó problemas fue la unidad remota ubicada en la subestación de Toro, en este sitio se obtuvo una SNR de 11.28, por lo que se debe prestar atención a este enlace, y tratar de ubicar en otro sector para obtener una señal con una mayor potencia de recepción.

5.2.1.4 VSWR

En equipo de comunicación la Relación de Onda Estacionaria o Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) determina la efectividad del equipo en la que respecta a acople Radiomodem-Antena, que determina la transferencia de potencia a la antena. Entre mayor es el acople menor son las pérdidas en el sistema. Hay que recordar que un valor de VSWR igual a 1 representa acople perfecto, por lo que el VSWR debe ser lo más semejante a 1, un valor alto de este parámetro se deriva en grandes pérdidas de potencia real transmitida a la antena lo que ocasiona un debilitamiento del enlace.

Es por esto que medir este parámetro es indispensable para aprovechar al máximo las características del equipo. Un valor alto de VSWR es ocasionado por pérdidas en los conectores, deformaciones en el cable coaxial, instalación de protectores. El sitio que presentó mayor problema fue el Repetidor 1, con un porcentaje de potencia transmitida a la antena de un 94.14 % en la antena omnidireccional, que es un punto importante en el sistema SCADA, ya que es el punto central de toda la comunicación. El sitio que presentó mejor transferencia de potencia fue el equipo ubicado en SCADA, con un porcentaje de 99.67% de la potencia total del radio.

Para que el sistema se encuentre en acople, la resistencia vista por el radiomodem debe de ser de $50+j0 \Omega$, pero es difícil obtener este valor, por lo que se recomienda que la parte real sea lo más cercana a 50Ω y la parte imaginaria lo más cercana a 0Ω . La presencia de reactancia se deriva de la presencia de capacitancias o inductancias parásitas en la línea que producen pérdidas al sistema, por lo que se debe lograr que la línea tenga un valor muy cercano a 1 de VSWR, para minimizar al máximo las pérdidas del sistema. Esto se logra tratando de minimizar al máximo las pérdidas en los conectores y la protección de las

conexiones, para evitar la aparición de corrosión y otras sustancias que pueden degradar la conexión.

5.2.1.5 Estadísticas de los Radiomodems

Los radiomodems con que cuenta la unidad SCADA, ofrecen la recopilación de estadísticas de la comunicación, aunque al momento de este análisis no se tiene certeza de la información que brindan estas estadísticas en algunas de sus parámetros.

Algo que se puede evaluar, es la información de # de Rx y Bad Packet, con esto se puede tener una idea de si existe algún radiomodem cercano que puede estar causando interferencia; esto se presenta cuando se tiene que el dato de Bad Packet es mayor al # Rx, ya que este registra como Bad Packet la transmisión de un radiomodem que no corresponde con su ID. Esto se puede observar en las estadísticas del Repetidor 3, en el radiomodem que enlaza el repetidor 2 con el mismo, el cual tiene 14146 recepciones y 62265 Bad Packet, también se presenta en la RTU ubicada en la subestación Toro con 16089 Rx y 45337 Bad Packet.

Otro parámetro a utilizar es el número de colisiones presentes en el radiomodem. Una colisión se da cuando dos equipos transmiten al mismo tiempo, y se produce una colisión. Los equipos que presentan mayores problemas de colisión son la RTU CQ_Cedral con 1195 colisiones y RIV_Pital con 4283 colisiones, en el caso de Cedral esto se manifiesta por estar tan cerca de la estación central o SCADA (aproximadamente a 4 Km) y del repetidor 1 (a unos 1 Km), la señal de las dos estaciones llega al mismo tiempo y se produce un choque, y la misma situación se presenta en RIV_Pital.

Este problema se presenta por la utilización de una misma frecuencia para transmisión y recepción, y además la presencia cercana de dos equipos de transmisión o repetidores, que provoque que la señal de cada uno de ellos llegue al mismo tiempo a la unidad remota.

5.2.1.6 Frecuencia de recepción

Para el análisis del espectro radioeléctrico es importante mencionar primero que estos radiomodems no mantienen una portadora fija, sino que, se levanta al momento de la transmisión, por lo que resulta un poco difícil determinar si la señal proviene de una fuente extraña o es propia del sistema. Además que el analizador utilizado para la medición es de procesamiento digital y lento, por lo que se hace difícil determinar si la señal de ruido varía en frecuencia y en amplitud.

Como es sabido el sistema SCADA trabaja en una sola frecuencia a YYY.YYY MHz, y además los radiomodems cuentan con un ancho de banda de 25 KHz, por lo que el espectro va de YYY.OOO MHz a YYY.PPP MHz, cualquier señal fuera de este rango se considera como ruido.

En este caso se obtuvieron las mismas señales en diferentes sitios, por ejemplo se detectó una señal en YYY.QQQ MHz en el repetidor 1 con la señal más fuerte (-49.55 dBm), repetidor 2, Hidrovenecia y Subestación Toro con la señal más débil (-98.04 dBm), otra señal en YYY.RRR MHz en el repetidor 1 y Repetidor 2 y por último una señal en YYY.SSS MHz en repetidor 1, repetidor 2, subestación Toro, repetidor 3 y en la RTU de RIV_Pital.

Respecto a esas señales es difícil determinar si son producidas por el mismo equipo o por fuentes externas, ya que se dan muy cerca del rango de trabajo de SCADA. Un detalle importante es que el espectro donde se detectó mayor cantidad de ruido fue en el repetidor 1 y repetidor 2 y en los otros es un ruido muy cercano al rango de SCADA.

5.2.2 SISTEMA MODBUS

Por efecto de que la medición del BER toma por lo general de una a dos horas y la red no se puede desconectar ese lapso de tiempo, se aprovechó que no se estaba utilizando el enlace Choco1 para medir este parámetro al enlace. Se colocó un conector Loopback DB9 en el radiomodem de la planta Choco1, y desde SCADA, se utilizó una aplicación para medir este parámetro. Para datos se establece que un radioenlace no debe tener un $BER < 1 \times 10^{-11}$ y en este caso se obtuvo un BER de 2.48×10^{-7} , por lo que se concluye que este enlace tiene problemas en la calidad de los datos que circulan por el mismo.

5.2.2.1 Resistencia de tierra

Respecto al sistema de tierra, anteriormente se comentó, la importancia de medir correctamente la resistencia del sistema de tierra. La mayoría de las mediciones arrojaron un valor de resistencia adecuado, obteniendo como promedio un valor de 0.34Ω .

5.2.2.2 Potencia de recepción

Respecto a la relación señal-ruido, en donde se detecto problemas fue en el repetidor 3 con una SNR = 8.5 dB, los demás presentan una buena relación señal-ruido, respecto al límite de 15 dB.

5.2.2.3 VSWR

Como se mencionó anteriormente los sistema de mayor frecuencia se ven afectados en un grado mayor por pérdidas en los cables y acoples, es por esto que se le debe prestar mucha atención a la medición del VSWR, ya que como se comprobó mediante la medición de este parámetro que presenta un rango de variación muy grande lo que provoca que la potencia de la señal varíe conforme salta en el rango de frecuencia de trabajo de los radiomodems del sistema MODBUS. El ejemplo más critico se da en la medición que se da en la RTU Subestación en donde se tiene que la mínima transferencia de potencia a la antena es de 63.4 % de la potencia de salida del radio.

Se debe corregir este parámetro revisando la instalación de conectores adecuadamente siguiendo las recomendaciones del fabricante. La fluctuaciones obtenidas del VSWR en la unidades remotas del sistema MODBUS, se debe principalmente a la utilización de un Span más grande que en las mediciones en el sistema DNP. Otro parámetro que influye en la diferencia en la distancia del cable entre las diferentes RTUs, ya que depende de la distancia de la línea de transmisión.

5.2.2.4 Estadísticas del Radiomodem

Los radiomodems que operan en el sistema MODBUS también manejan estadísticas sobre el comportamiento del enlace, y de las cuales se tiene información de que tipo de dato representa cada una. Las estadísticas son Average Noise Level (ANL) o Nivel promedio de ruido, Average Signal Level (ASL) o Nivel promedio de señal, Overall Rcv Rate (%) (ORR) el cual representa el porcentaje de paquetes transmitidos que no tuvieron que ser retransmitidas por problemas del enlace.

El fabricante establece cuales son los valores adecuados para cada uno de esos parámetros para determinar si el enlace está bien o debe ser estudiado su comportamiento. Primero establece que el ANL debe ser menor a 30, de lo contrario existe la presencia de interferencia en el sistema o presencia de ruido. De los equipos visitados los que presentan problemas son SCADA para el enlace Choco y RTU Subestación, por lo que se puede concluir que la interferencia puede estar cercana a estos sitios o específicamente en Ciudad Quesada o alrededores. Respecto al ASL no establece un valor adecuado pero establece que la diferencia entre ASL y ANL debe ser mayor de 15 ($ASL-ANL > 15$), en este caso ningún sitio de los visitados presentó problemas. Si se observara algún problema probablemente se deberá mejorar el nivel de potencia de la señal receptionada por el equipo.

El ORR establece el porcentaje de efectividad del enlace ya que proporciona el porcentaje de paquetes transmitidos sin problemas, el fabricante define que si este parámetro es mayor a 75 %, se cuenta con un enlace fuerte y si es menor de 25 %, se cuenta con un enlace débil y se debe mejorar o realizar un estudio del mismo.

Con estos datos del fabricante y los obtenidos de los sitios, se puede concluir que el radiomodem ubicado en los repetidor 1, perteneciente al enlace Choco1 se debe catalogar como enlace débil, al igual que el ubicado en el repetidor 2, que son precisamente los repetidores que comunican a la Unidad SCADA con la planta CHOCO 1, es importante mencionar que los radiomodems de este enlace están mal programados ya que están en modo de operación de P-MP, cuando en realidad es un enlace P-P. Cuando el radiomodem está configurado como maestro no registra este parámetro.

Los radiomodems ubicados en los dos repetidores del sistema MODBUS del subsistema de distribución, presentan un ORR mayor de 90% (Repetidor 1 96% y Repetidor 2 93%), es muy importante que estos presenten un valor alto ya que son los centros de comunicación con las diferentes RTUs. El enlace de la RTU Florencia_SClara, presenta un valor muy cercano a 25 % (29%) por lo que se debe poner atención sobre su comportamiento.

5.2.2.5 Espectro de Frecuencia

Respecto al espectro del sistema MODBUS, como estos radiomodems utilizan la técnica de espectro ensanchado en salto de frecuencia, resulta difícil determinar si las señales obtenidas representan ruido o son originadas por el propio sistema.

CAPITULO 6

IMPLEMENTACIÓN DE UN RADIOENLACE

La implementación de un radioenlace se basa en los siguientes puntos:

- a. Estudio de campo: Se realiza una visita al lugar donde se pretende instalar el equipo y se obtiene una serie de datos para determinar si el enlace se puede implementar o no en el sitio seleccionado. El encargado de realizar la visita deberá llenar debidamente el protocolo mostrado en el punto 6.1, con los datos recolectados para realizar los análisis por parte del personal encargado.
- b. Análisis de la información de Estudio de campo: con los datos obtenidos del estudio de campo se realiza un análisis para determinar si el enlace es viable o no.
- c. Instalación del equipo: Una vez que el sitio seleccionado tiene la aprobación respectiva, se debe instalar el equipo siguiendo una serie de recomendaciones dictadas por el fabricante y otras organizaciones.
- d. Aceptación de la instalación: Una vez concluida la instalación del equipo y la puesta en marcha del mismo, se deben realizar una serie de pruebas para aceptar o rechazar el radioenlace. Al igual que en el punto (a) el personal encargado de la revisión final deberá recolectar los datos obtenidos en el protocolo mostrado en el punto 6.4 para que la empresa lleve un control e historial del equipo instalado.

6.1 Estudio de campo¹

A continuación se presenta el formato del reporte de “*Estudio de Campo*”.

Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos	
Unidad SCADA	
Estudio de Campo	
Ejecutor: _____	Fecha de Visita: _____
Ubicación: _____	
Plano: _____	Poste: _____
Repetidor: _____	Sistema: _____ MHz
Elevación mapa: _____ m	
Coordenadas:	
Latitud: ____ ° ____ ' ____ ”	
Longitud: ____ ° ____ ' ____ ”	
Línea Vista: __ Si / __ No	
Nivel de señal Recibida: _____ dBm, con antena: _____	
Altura máxima de antena: _____ m	
Distancia Antena-Cajón: _____ m	
Suministro de energía: _____	
Sistema de tierra: __ Si / __ No, valor medido: _____ Ω	
Otro tipo de obstrucciones: _____	
Otros: _____	

Figura 6.1 Formato del reporte para el estudio de campo

¹ Los materiales y equipo necesarios para realiza el estudio de campo se detalla en el archivo adjunto “*Manual de Instalación*” apéndice 1.

6.2 Análisis de la información del Reporte de Estudio de Campo.

El primer parámetro que se debe calcular es la claridad del enlace por medio del perfil del enlace entre los dos puntos donde se ubica el repetidor y la estación remota.

El diagrama del Perfil de Terreno es una herramienta muy útil para determinar si en el enlace que se construye se puede presentar el fenómeno de Difracción, el cual se origina cuando la onda es obstaculizada por algún objeto, ya sea montaña, edificio, etc. La gráfica para construir el perfil se muestra en la Figura 6.3.

En esta gráfica la escala horizontal representa la distancia en Km entre los puntos y la vertical la elevación del sitio sobre el nivel del mar. Para construir la gráfica se necesita contar con:

- a) Mapa escala 1:50000, donde se muestre las curvas de elevación de terreno.
- b) Coordenadas Geográficas de los Sitios en cuestión.
- c) Una regla.

6.2.1 Procedimiento para construir Diagrama de Perfil de Terreno

- a) Si se observa la Figura 6.3, se tienen divisiones para tomar el dato de la altura cada kilómetro. Al utilizar un mapa en escala 1:500000, cada 2 cm equivalen a 1 Km, por lo que se deben hacer marcas cada 2 cm en la línea que se trazará en el mapa entre las estaciones. Tomando el dato de la altura en las respectivas marcas.
- b) Ubique en el mapa mediante las coordenadas, los sitios a evaluar.
- c) Trace una línea recta entre los dos puntos y realice divisiones cada 2 cm.
- d) La gráfica se inicia en el extremo izquierdo de la gráfica.

- e) Ubique en los 0 m de la escala inferior el sitio desde donde se inicia el análisis.
- f) Ubique el primer punto a la altura sobre el nivel del mar donde se ubica el sitio.
- g) Sobre ese punto dibuje una pequeña torre con una elevación igual a la elevación de la antena sobre la superficie.
- h) Ubique la altura de cada marca en la gráfica obteniendo del mapa la elevación a la distancia que se encuentra.
- i) Una los puntos con líneas para obtener el perfil de terreno.
- j) Una con una línea recta los dos extremos de las torres para obtener la línea recta entre las dos antenas.
- k) Si al trazar la línea esta es tocada por algún pico del perfil el enlace se debe descartar inmediatamente.
- l) Si existe algún pico que se considere que puede afectar el enlace se debe medir la claridad del enlace (C_L) en ese punto midiendo la distancia en línea vertical entre el punto más alto del obstáculo y la línea vista entre las antenas.
- m) Seguidamente se calcula el radio de la 1^{er} zona de Fresnel utilizando la siguiente fórmula:

$$r_1 = \sqrt{\lambda * \frac{D_1(D - D_1)}{D}} \quad (6.1)$$

D = distancia entre antenas A y B

D_1 = Distancia entre antena A y el obstáculo

λ = longitud de onda de la señal

- n) Para que el enlace pueda ser aprobado la distancia medida en el punto l) debe ser mayor o igual a un 60 % del valor del radio calculado en el punto anterior. Sino el enlace debe ser descartado y se debe buscar otro punto para ubicar la antena. Por ejemplo en el perfil de la Figura 6.4, se tiene un pico que puede afectar el enlace a una distancia de 10 Km; a esa distancia el radio de la 1^{er}

zona de Fresnel tiene un valor de 48.86 m y la claridad de enlace C_L es de 60 m, el 60 % de 48.86 m es 28.32 m que es menor a 60 m.

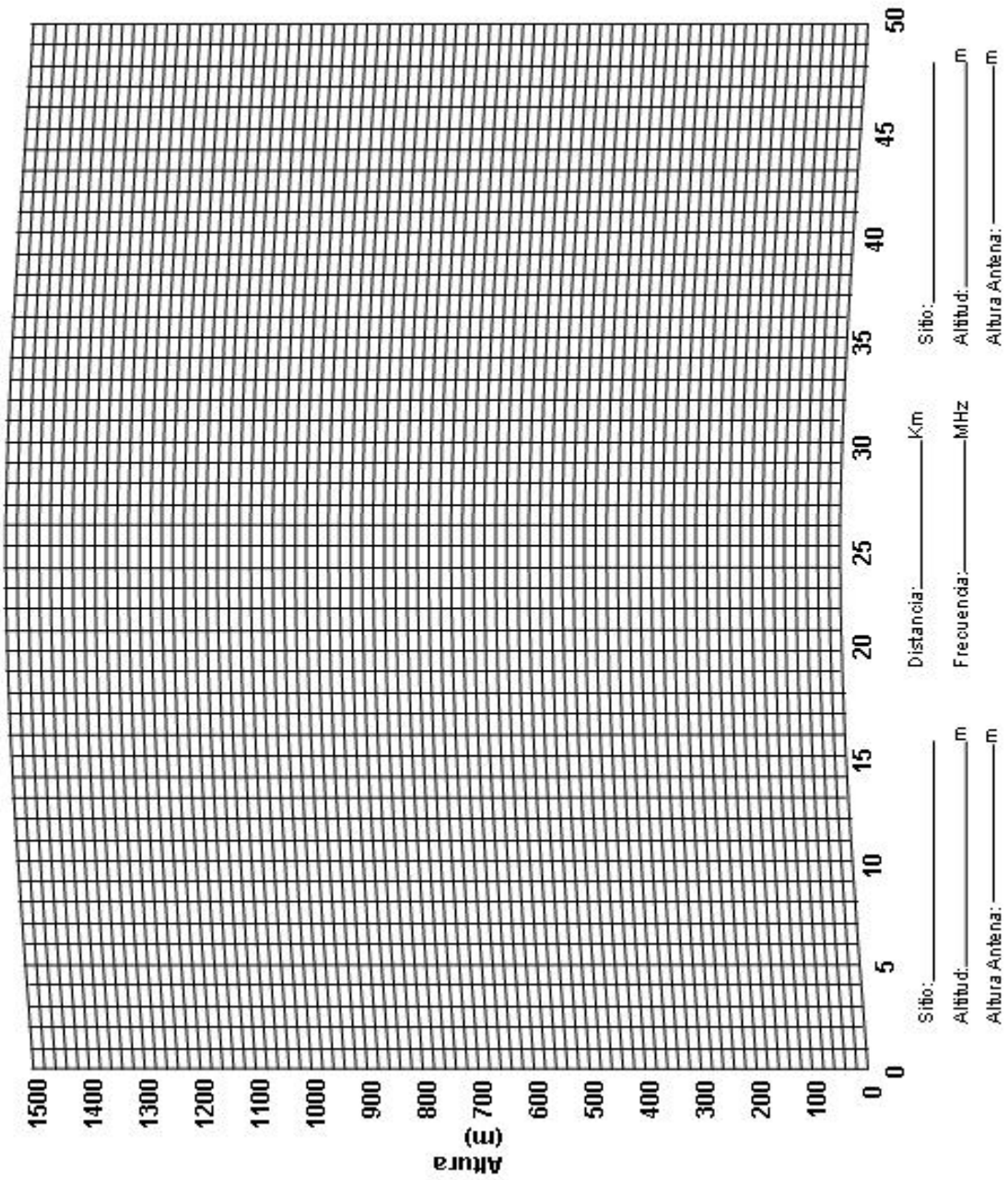
En la Figura 6.4 se muestra un ejemplo de Diagrama de Perfil de Terreno entre los repetidores 1 y el repetidor 2.

Con los datos obtenidos del estudio de campo se debe de estimar el comportamiento del enlace, así como otros datos. Para lo cual se debe realizar los cálculos que se indican en el protocolo mostrado en la Figura 6.2.

Cálculos para Radioenlaces Punto-Multipunto			
Equipo: _____		Fecha: _____	
Banda: _____ MHz		Encargado: _____	
La columna A corresponde a los datos de la repetidora. La columna 1 indica los datos de la remota.			
Dato de Sitio	Unidades	2	1
Identificación		Repetidor	Remota
Azimut para A	Grados		-----
Azimut a A	Grados	-----	
Datos de trayecto			
Distancia	Km	-----	
Pérdidas espacio libre	dB	-----	
Sistema Antena			
Pérdidas por unidad de distancia	dB/100 m		
Distancia de cable	m		
Pérdidas de Protección	dB		
Pérdidas de Conectores	dB		
Pérdida total sistema	dB		
Tipo de antena			
Ganancia isotrópica de antena	dBi		
Cálculo señal recibida			
Potencia de transmisión	dBm		-----
Potencia de recepción	dBm	-----	

Figura 6.2 Protocolo de resultados de análisis de información del Estudio de Campo

Perfil de Terreno (k=4/3)



Microsoft PowerPoint

Figura 6.3 Gráfica para elaborar el Perfil de Terreno

Perfil de Terreno (k=4/3)

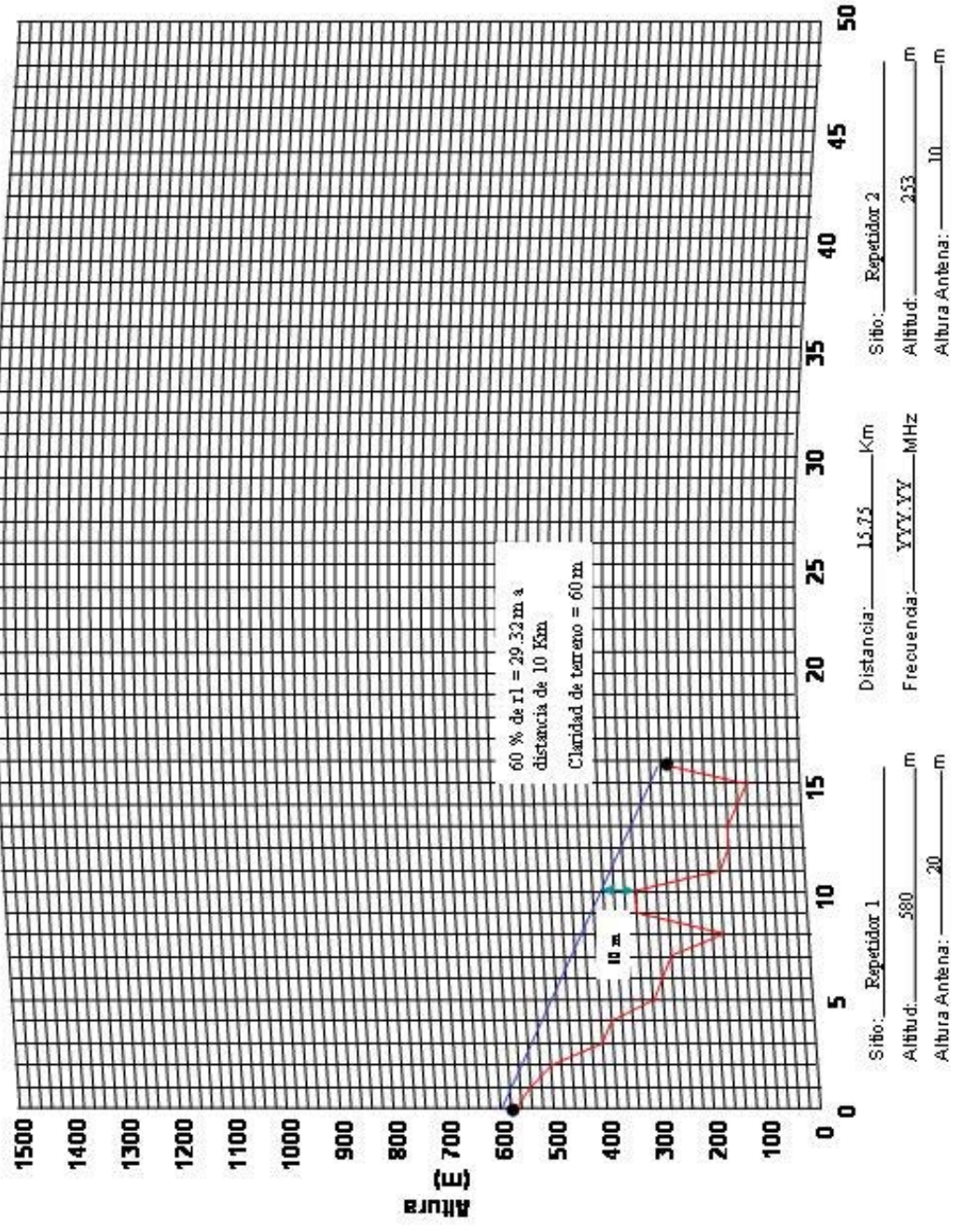


Figura 6.4 Perfil de terreno entre el repetidor 1 y repetidor 2 del sistema DNP.

6.2.2 Fórmulas para realizar cálculos:

Las siguientes formulas se utilizan para calcular los parámetros del informe anterior:

Azimut a 2:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{sen}(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos \phi_1 \tan \phi_2 - \text{sen} \phi_1 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) (\text{°}) \quad (6.2)$$

ϕ_1, ϕ_2 : latitudes de 1 y A respectivamente

λ_1, λ_2 : longitudes de 1 y A respectivamente

Es importante mencionar que se debe transformar las unidades de tiempo de las coordenadas geográficas (grados, minutos, segundos) a unidades de grados, realizando la regla de 3¹.

Azimut para 2:

$$\beta + 180^\circ \quad (6.3)$$

Distancia:

$$D = 12740 * \sqrt{\text{sen}^2 \left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2} \right) + \cos(\phi_1) * \cos(\phi_2) * \text{sen} \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right)} \quad (\text{Km})$$

Ángulo de elevación para 1:

$$\alpha_1 = \frac{H_2 - H_1}{D * 1000} - \frac{D}{2 * \frac{4}{3} * 6370} \quad \text{radianes} \quad (6.4)$$

H_1, H_2 = altura antenas (m)

D = distancia entre antenas (Km)

¹ Ver documento adjunto "Manual de Instalación" apéndice 3

Pérdidas espacio libre:

$$L_{bf} = 32.4 + 20 * (\log f + \log d) \quad (6.5)$$

f en MHz

d en Km

Pérdida total sistema:

$$P_P = L_{bf} + P_f^1 \quad (\text{dB}) \quad (6.6)$$

Potencia señal recibida:

$$P_R = P_T + G_T + G_R - P_P \quad (\text{dBm}) \quad (6.7)$$

G_T, G_R : ganancias de las antenas de transmisión y recepción

P_T : potencia de transmisión

6.3 Instalación de Equipo

La información sobre las recomendaciones de la instalación del equipo se encuentran en el archivo adjunto con el nombre “*Manual de instalación*”.

6.4 Aceptación del Radioenlace

Se debe usar el Protocolo de Aceptación del Radioenlace que se muestra en la Figura 6.5, para realizar la verificación del control.

¹ P_f representa las pérdidas por feeder, y es la suma de las pérdidas del cable, conectores y protecciones.

Protocolo para Aceptación de Enlace

Ejecutor: _____ Fecha de Visita: _____
 Ubicación: _____
 Plano: _____ Poste: _____
 Repetidor: _____ Sistema: _____ MHz

Frecuencia Transmisión (TX)	MHz TX
Frecuencia Recepción (RX)	MHz RX
Separación frecuencia Tx/Rx	MHz T/R

Prueba de Voltajes de alimentación:

	Medición	Polarización Conector	Pasó
Fuente CD:	Vca		
Radio A	Vcd		
Convertidor RS232-RS485	Vcd		

Revisión Preliminares

Revisión del aterrizamiento y cableado:

Punto:	Bien	Mal
Tierra Torre		
Tierra Coraza exterior del cable coaxial		
Tierra Protector contra rayos – línea coaxial de entrada		
Tierra Tablero de distribución		
Tierra Bastidores		
Tierra Radiomodem		
Instalación firme de los equipos en el bastidor		

Medición de Potencia de salida:

	Potencia definida	Potencia Salida Transmisor	Pasó
Radio A	W	W	

Prueba de BER del enlace:

➤ Cantidad de Errores medidos en _____ horas: BER = _____ x 10⁻

Figura 6.5 Protocolo de Aceptación de la Instalación del Radioenlace

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- 7.1.1. El sistema SCADA de Coopesca R.L. no cuenta con las herramientas y procedimientos más adecuados para determinar el origen de los problemas de comunicación.
- 7.1.2. Los factores fundamentales que controlan la transmisión de información son el Ancho de Banda y la Potencia de Recepción.
- 7.1.3. Para que un radioenlace funcione de la mejor forma se debe realizar un estudio de campo con el fin de evaluar variables externas como obstáculos cercanos, línea vista entre las terminales y pérdidas de trayectoria.
- 7.1.4. La eficiencia del equipo se debe evaluar en función de las pérdidas que sufre el sistema.
- 7.1.5. Un sistema de comunicación debe estar basado en recomendaciones y normas de organismos internacionales como UIT, para alcanzar su máxima eficiencia.
- 7.1.6. La propagación de ondas radioeléctricas se ve afectada por fenómenos causados por la naturaleza.

- 7.1.7. La aceptación de un radioenlace viene determinado por la calidad de la información que circula por él, midiendo parámetros como BER, segundos con errores y segundos con muchos errores.
- 7.1.8. La Unidad SCADA no realiza ningún control sistemático de la calidad de la información que circula por la red de datos.
- 7.1.9. El sistema SCADA no dispone de técnicas recomendadas para disminuir problemas causados por la naturaleza y que provocan la indisponibilidad de la red, tales como diversidad de frecuencia y diversidad de espacio.
- 7.1.10. Una interferencia que incide en el sistema de la Unidad SCADA son en parte generadas por el mismo sistema.
- 7.1.11. La transmisión en una misma frecuencia para transmisión y recepción, además de ser lenta provoca mucha interferencia, ruido y choques en recepción a equipo muy cercano, que si se usa una frecuencia para transmisión y otra para recepción.
- 7.1.12. La técnica de coincidencia de frecuencia unida con la de diversidad en frecuencia resultan muy bien para la disminución de la interferencia ocasionada por el mismo sistema.
- 7.1.13. El valor de VSWR se debe medir para determinar la eficiencia en transmisión de potencia a la antena por parte del radiomodem, además de estar relacionado con la resistencia de acople entre el radiomodem y el cable-antena.
- 7.1.14. La potencia de recepción afecta no sólo la calidad de la información, sino también, la capacidad de canal del enlace.

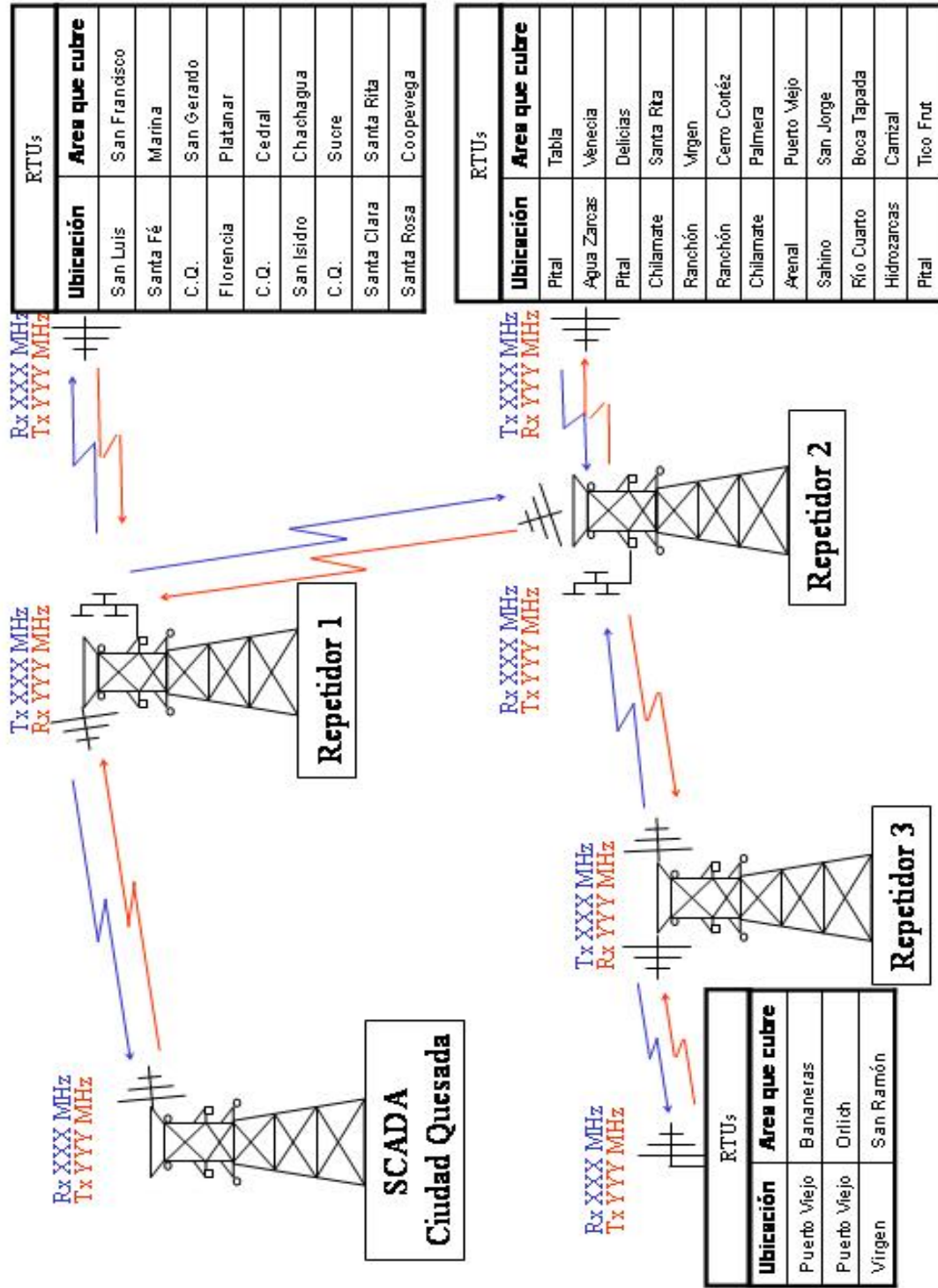
- 7.1.15. Para un adecuado control y supervisión de la instalación del equipo de comunicación se debe contar con procedimientos y registros a fin de llevar un historial sobre la instalación de los equipos.
- 7.1.16. Los procedimientos de mantenimiento de radioenlaces tiene el objetivo de tomar medidas preventivas antes que correctivas.
- 7.1.17. Los procedimientos no solo resultan una ayuda para el personal de la empresa, sino que, representan un requisito para certificaciones por parte organismos internacionales, por ejemplo certificaciones ISO.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Configuración de frecuencias de transmisión y recepción

En un principio los funcionarios de la Unidad SCADA, tenían la idea que el sistema de comunicación utilizaba la técnica de diversidad en frecuencia (una frecuencia para Transmisión y otra para Recepción) en su sistema DNP que utiliza radiomodems marca Neulink, ya que se le había pedido al proveedor del equipo que lo configurara de esa manera, pero al realizar pruebas al la red se determinó que se utilizaba la misma frecuencia para transmisión y recepción. La oficina de Radio le adjudicó a la unidad la utilización de las frecuencias de YYY.YYY MHz y XXX.XXX MHz.

Partiendo de la información obtenida y del análisis del mismo se establece la configuración que se muestra en la Figura 7.1, modificando tanto repetidores como unidades remotas.

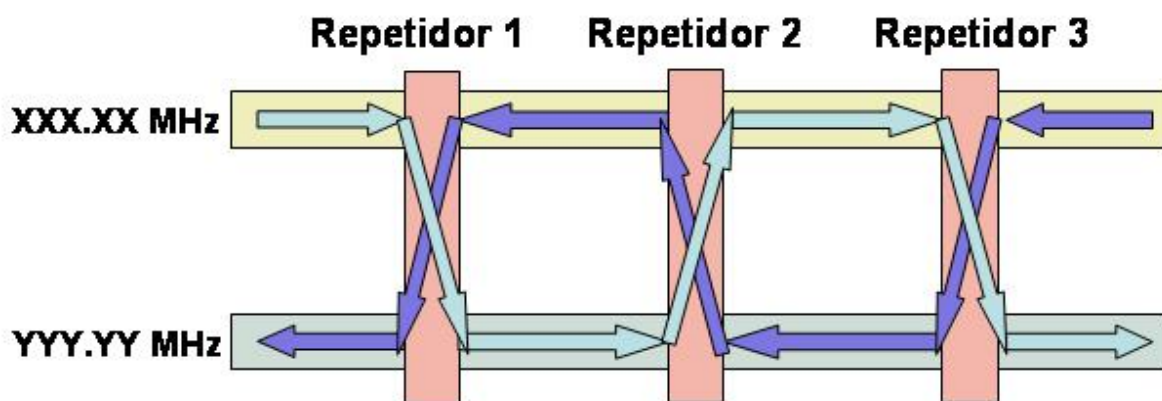


Microsoft PowerPoint

Figura 7.1 Configuración de frecuencias de transmisión y recepción

Se pretende aprovechar las ventajas de programación que ofrecen los radiomodems Neulink al permitir configurar en un canal diferentes frecuencia para transmisión y recepción, e implementar la técnica de diversidad de frecuencia, combinándola con la técnica de confianza en frecuencia para eliminar interferencia ocasionadas por el mismo sistema a otros radio y la eliminación de choques en la RTUs.

La propuesta consiste en programar una frecuencia para transmisión y otra para recepción, y en cada repetidor intercambiar la frecuencias como se muestra en la Figura 7.2, con esto se logra que cada RTU sea un elemento perteneciente de cada repetidor, por ejemplo las RTUs transmiten al repetidor 1 transmiten en XXX.XXX MHz y reciben en YYY.YYY MHz, lo que no provoca interferencia al radiomodem de SCADA y el de SCADA no provoca interferencia a las RTUs, también evitando choques con la utilización de diferentes frecuencias. Otra de las ventajas de la utilización de esta configuración se obtiene al realizar estudios en la red, ya que se puede determinar de cual repetidor se obtiene la señal más fuerte y así direccional la antena correctamente.



Microsoft PowerPoint

Figura 7.2 Coincidencia en frecuencia para Sistema SCADA

7.2.2 Recomendaciones sobre el Equipo

Uno de los principales problemas respecto al equipo con que cuenta la Unidad, es que no se adapta a las necesidades o características de los restantes equipos, por ejemplo, los medidores utilizan protocolo de comunicación RS 485 y los radiomodems RS 232, obligando a la utilización de convertidores de protocolo que aumentan la probabilidad de falla de la estación remota, además de hacer más difícil la instalación del equipo, ya que es un elemento más que puede llegar a dar problemas.

7.2.2.1 Radiomodems

Es importante utilizar el equipo que mejor se adapte a las necesidades y aplicaciones de SCADA, utilizar radiomodems propios para aplicaciones SCADA, como el que se muestra en la Figura 7.3 y Figura 7.4 y cuyas especificaciones se muestran a continuación.

a. OS2400

- a. Interfase serial RS-485, RS-232 y RS-422
- b. Protocolo MODBUS y DNP30
- c. Velocidad 1200 bps a 115.2 bps
- d. Alimentación 6 a 28 Vdc
- e. Frecuencia 2.4 GHz
- f. Diversidad de antena automática (puerto para dos antenas para corta/larga distancia)
- g. Saltos de Frecuencia y diversidad de antena para reducir interferencia.
- h. Programable en modo P-P, Broadcast o P-MP
- i. Con una ganancia de enlace de 35 dB se logra un alcance de 24 Km.

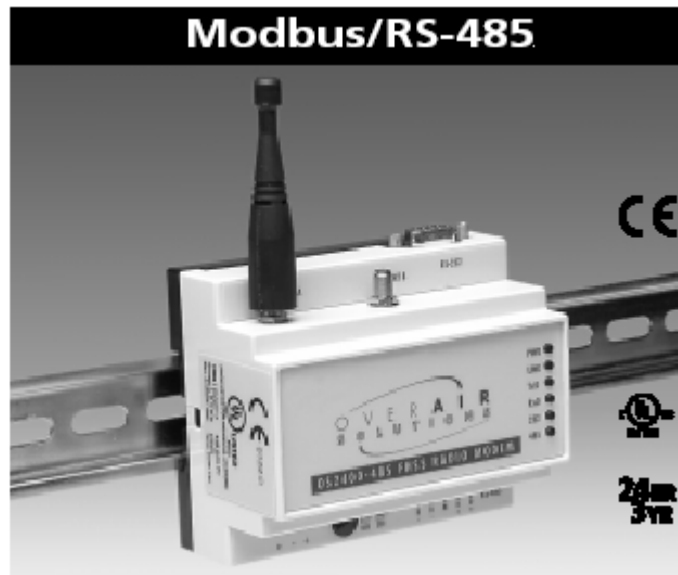


Figura 7.3 Radiomodem para aplicaciones SCADA

b. TS4000

- a. Velocidad hasta 38400 bps
- b. Dos puertos configurables individualmente
- c. Monitoreo de BER
- d. RS-232, RS-485 y RS-422
- e. Potencia de transmisión programable
- f. Configurable en punto-punto, punto-multipunto y broadcast
- g. Algoritmo de CSMA/CA (Carrie Sense Multiples Access) para minimizar colisiones según se recomienda en UIT-R F.755



Figura 7.4 Radiomodem TS4000

7.2.2.2 BER Tester

En lo que respecta a equipo de medición para facilitar el estudio del estado de la red y de la información que circula por la misma, la unidad no cuenta actualmente con el suficiente para lograr determinar estos parámetros. Dentro de los equipos se debe citar un dispositivo para monitorear la calidad de la información o BER Tester (BERT). La medición del BER, se debe realizar al instalar un nuevo enlace como parámetro para aceptar o rechazar el enlace y además se debe de realizar una medición por enlace de por lo menos una vez al año para determinar el estado del mismo. Conforme a las necesidades de la unidad se hizo una búsqueda de equipo compacto y pequeño debido a que estas unidades remotas se encuentran en lugares alejados y por lo general son gabinetes pequeños que no permiten la utilización de equipo grande. A esto se le agrega el clima en la zona no se presta para portar equipo delicado. A continuación se muestra unos ejemplos de equipo para medir el BER.

a. LBT

- a. Formato asincrónico y sincrónico
- b. Velocidad de 75 a 38.4 bps
- c. Opciones de paridad y cantidad bit de datos
- d. Interfase RS-232
- e. 115 o 230 Vac
- f. Medición de parámetros de calidad establecidos por normas internacionales como BER, bloques de errores y segundos con errores.



Figura 7.5 BERT LBT

b. BT-1

- a. Operación asincrónica y sincrónica
- b. Test a bit o bloques
- c. Test continuo o temporizado
- d. Test de retardo de respuesta
- e. RS-232/V.24
- f. Velocidad hasta 38.4 Kbps en asincrónico y 64 Kbps en sincrónico



Figura 7.6 BERT BT-1

c. HCT-BERT 128k

- a. RS-232, V.35, X.21, RS-449 y RS-530
- b. Modo asincrónico hasta 115.2 Kbps y modo sincrónico hasta 128 Kbps
- c. Duración de prueba $10e^3$ a $10e^8$, 1 a 60 minutos y continuo
- d. Medición de Bit enviados y recibidos, bloques enviados y recibidos, bit recibidos con errores, BER y segundos con errores



Figura 7.7 BERT HCT-BERT 128K

7.2.3 Recomendaciones sobre Software

Una herramienta muy útil son los programas de planificación y administración de redes inalámbricas, que facilitan el análisis de radioenlaces y de la red en general. Dentro de las funciones que realizan se puede citar:

- a. Análisis de pérdidas de radioenlaces según normas y recomendaciones internacionales.
- b. Utilización de bases de datos de la topografía del terreno de la zona, teniendo acceso a datos reales de la zona.
- c. Planificación de la red.
- d. Administración de la red.
- e. Simplificación de análisis previo a la instalación de un nuevo radioenlace.

Dentro del software investigado para tal fin se mencionan los que mejor se adaptan a las necesidades de la Unidad SCADA.

- a. ComSiteDesing, diseñado por RCC Consultants
- b. Herald, diseñado por Radio Engineering
- c. Radio Planning Software, diseñado por ATDI

7.2.4 Otras recomendaciones

Se pueden citar otras recomendaciones para maximizar la eficiencia del sistema y apearse a las recomendaciones de organismos internacionales.

- a. Establecer un periodo adecuado para la inspección y mantenimiento del equipo para detectar problemas existentes, por ejemplo dos revisiones anuales.
- b. Utilizar las líneas de control de flujo del puerto serial (CTS y RTS) para evitar que se pierda información al llenarse el buffer del puerto serie.
- c. Realizar una investigación sobre tráfico de datos en la red, evaluando la cantidad de información que transmite cada RTU y así configurar en una forma más dinámica, el tamaño del paquete que transmita el radiomodem, para cumplir con la recomendación UIT-R F.755.
- d. No utilizar un analizador de procesamiento digital para realizar un análisis de interferencia, por no mostrar la información en tiempo real.
- e. No establecer al repetidor 1 como un nodo central de la red, sino, que funcione como su real función de repetidor para las RTUs que no se encuentran dentro de la zona de cobertura de la antena de SCADA, ya que si este falla se pierde por completo la red.
- f. Utilizar equipo de extracción de aire en todas las unidades remotas para evitar calor excesivo en el equipo.
- g. Utilizar una tierra independiente de la tierra del equipo eléctrico pues cuando se le aplica el manteniendo se podrá medir la resistencia de tierra con el equipo recomendado.
- h. Utilizar un mejor sistema de aseguramiento de la antena al poste ya que el actual presenta problemas por permitir movimiento de la antena.
- i. Instalar un sistema de aterrizamiento directo de la antena como lo recomienda el fabricante del equipo de radiocomunicación.

- j. Instalar en una forma más firme el radiomodem para evitar desperfecto por contacto con los demás equipos.
- k. Conectar todos los radiomodem a tierra.
- l. Medir la resistencia de tierra utilizando un medidor Megger.
- m. Elaborar una base de datos para almacenar los resultados obtenidos de las diferentes mediciones al realizar el mantenimiento de la red, para su posterior análisis.
- n. Establecer una base de datos sobre información meteorológica de la zona norte.

BIBLIOGRAFIA

1. Morales, Marlon; *Procedimiento de Instalación de una Red Microonda*.
Proyecto de Graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Biblioteca José Figueres Ferrer, 2000. Código TF 3293.

2. Tessco
(www.Tessco.com)

3. Freewave Technologies
(www.freewave.com)

4. Neulink Inc. Wireless Data Solutions
(www.rfneulink.com)

5. Polyphaser Corporation
(www.polyphaser.com)

6. Antenex Signal Propagation System
(www.antenex.com)

7. Belden Inc.
(www.belden.com)

8. Unión Internacional de Telecomunicaciones
(www.ITU.ch)

APENDICES

9.1 Glosario

Acceso Múltiple por División de Frecuencia: Técnica de acceso múltiple que utiliza la técnica de división de frecuencia la cual emplea bandas de frecuencia distintas para constituir canales de transmisión separados.

Acceso Múltiple por Detección de Portadora: Técnica de acceso múltiple que utiliza la técnica de detección de portadora para acceder el canal de transmisión.

Acceso Múltiple por División de Tiempo: Técnica de acceso múltiple que utiliza la técnica de división en el tiempo la cual emplea distintos intervalos de tiempo recurrentes para constituir canales de transmisión separados.

Coopesca: Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos.

DNP: Distributed Network Protocol.

EGB: (Equipment Ground Bar) Barra de tierra del equipo de comunicación. Esta se deberá unir al sistema perimetral de tierras para conformar el sistema de aterrizamiento de punto único.

Espectro ensanchado: La técnica de espectro ensanchado (*spread-spectrum*) consiste en la transformación reversible de una señal de forma que su energía se disperse entre una banda de frecuencias mayor que la que ocupaba originalmente.

MODBUS: Protocolo Industrial.

Polarización cruzada: Aparición, durante la propagación, de una componente de polarización ortogonal a la polarización prevista.

Radioenlace: Medio de telecomunicación de características específicas entre dos puntos, que utiliza ondas radioeléctricas.

Radiomodem: Dispositivo utilizado para comunicación de 2 dispositivos utilizando ondas radioeléctricas. Consta de dos procesos MODEM, que modula y demodula la señal y Radio que transmite y recibe la señal.

Rebar: Sistema de aterrizamiento de las estructuras de concreto bajo tierra las cuales soportan o fijan la torre y los anclajes de retención.

Repetidor: Estación utilizada para ampliar las posibilidades de extensión o cobertura geográfica incorporando funciones de recepción y transmisión, entre las que puede figurar la traslación de frecuencias.

RTU: (Remote Transmission Unit) Equipo localizado en un lugar determinado que transmite los datos a una centro de control.

SCADA: (Supervisory, Control And Data Adquisition) Sistema utilizado para la supervisión, control y adquisición de datos, de procesos industriales.

Sistema Punto-Multipunto: Comunicación por múltiples enlaces entre una estación situada en un punto fijo determinado y un número de estaciones situadas en unos puntos fijos dentro de la zona de cobertura de las estación central

Winch: Pequeño motor situado en la parte delantera de la carrocería, junto al paragolpes, que funciona mediante el motor del coche.

9.2 Abreviaturas

AE: Analizador de Espectros.

AMD: Alarma Mantenimiento Diferido

AMDF: Acceso Múltiple por División de Frecuencia

AMDP: Acceso Múltiple por Detección de Portadora

AMDT: Acceso Múltiple por División de T tiempo

AMI: Alarma Mantenimiento Inmediato

AS: Alarma de Servicio

AWG: American Wire Gauge

BER: Bit Error Rate

CRC: Cyclic Redundancy Check

EFT: Electrical Fast Transients

EGB: Equipment Ground Bar

ES: Errored Second

ESD: Electrostatic Discharge

ESR: Errored Second Ratio

GDT: Gas Discharge Tubes

IFA: Indicación de Fallo Atrás

IEM: Información de Evento de Mantenimiento

MDF: Main Distribution Frame

MDM: Manipulación por Desplazamiento Mínimo

MDT: Multiplexaje por Distribución en el T tiempo

MOV: Metal Oxide Material

MTBF: Media Time Between Fail

MTTR: Media Time Total Repair

PC: Personal Computer

P-MP: Punto-Multipunto

PTC: Positive Temperature Coefficient

RTU: Remote Transmission Unit

Rx: Recepción

SCADA: Supervisory, Control And Data Adquisition

SES: Severely Errored Second

SESR: Severely Errored Second Radio

SIA: Señal de Indicación de Alarma

SPD: Surge Protective Device

SSA: Solid State Arrestor

TDFR: Trayecto Digital Ficticio de Referencia

Tx: Transmisión

UPS: Uninterruptible Power Supply

VSWR: Voltage Standing Wave Radio

9.3 Especificación de Equipo Requerido para Mediciones

Estudio de Campo

Cantidad	Descripción
1	PC Portátil
1	Analizador de Espectros Anritsu SiteMaster S114C y sus accesorios
1	Medidor de Resistencia de Tierra Megger
1	Tester
1	Brújula
1	Antena de sistema del sistema DNP ó MODBUS
1	Cable coaxial conector N
1	Cinta Métrica
1	GPS
1	Binóculos
1	BER Tester o BERT
1	Medidor de Potencia
1	Cable serie Macho-Hembra Null modem
1	Convertidor BNC (hembra) – N (macho)
1	Convertidor SMA (hembra) – N (macho)
1	Atenuador 20 dB conectores N
1	Carga fantasma 50 Ω conector N
1	Carga en Cortocircuito conector N
1	Nivel
1	Transportador
1	Conector puerto serie Loopback

ANEXOS

10.1 Manual de radiomodem Neulink

Section 3 Programming

3.1 GENERAL

Programming of the RF9600 can be done by connecting a computer, running any common terminal program (such as Procom) to the RS232 port on the RF9600. (Verify proper comm-port parameters) The programming mode is then entered by sending the following sequence to the RF9600 within five seconds of applying power.

. . . / /

Upon successfully entering the program mode, the screen will show:

OK>

In an RF9600B (Base Station) the ...// sequence used to enter the programming mode must be sent to the base in one burst. Use a macro or a batch file to send the burst if you want to enter the programming mode.

NMI push button: If the serial interface baud rate has been changed and/or the unit will not enter the programming mode, the user could press the NMI push button on the RF9600's circuit board. This will reset the factory defaults, the serial baud rate to 9600, and enter the Programming Mode.

Note: Removal of the cover is required. See Figure 2.3b previous page.

When the RF9600 is in the programming mode, it will not transmit or receive data over the radio link.

In the programming mode, the RF9600 is ready to accept a command to modify its internal parameters. When programming is completed, one of the following commands will exit programming and return to normal operation:

EXIT_ The exit command saves the new parameters and then exits the programming mode. The EEPROM memory does not lose its contents if the DC power to the RF9600 is removed.

RESTART_ Restarts the RF9600 WITHOUT SAVING THE NEWLY ENTERED PARAMETERS.

CONTINUE_ Exits programming mode and uses the new parameters. It does not save the changes into permanent EEPROM memory, and thus any changes made will be lost once DC power is removed from the unit. This is the same as EXIT, but it does not reset some of the internal counters and timers used for diagnostics within RF9600.

3.2 PROGRAMMING

The following list describes the valid RF9600 commands that can be entered in the Programming Mode. All commands must be terminated with a carriage return (␣)[ASCII 0D(h)]. If a command is accepted, RF9600 will always output the string :

OK>

followed by a carriage return [0D(h)] and a line feed [0A(h)]. It may also output a text string indicating that the command was successful. For example when the serial baud rate is changed to 19.2 Kbaud, RF9600 will respond with

Baud rate sent to 19200

OK>

If the RF9600 does not recognize the command, it will respond with

??>

If the RF9600 recognizes the command, but there is an error in it such as an invalid parameter, the RF9600 will respond with

ER>

3.3 RF9600 COMMANDS LIST

ACK OFF_ When ACKs are off, the RF9600 will not transmit acknowledgments for each reception, nor will it expect an ACK back when it transmits a packet. **(Factory Default)**

ACK ON_ Causes RF9600 to transmit an acknowledgment packet whenever it receives a clean packet with the TOID of the packet equal to its own MYID. The originating RF9600 will also expect an ACK packet back for each non-broadcast packet it sends.

CTS OFF_ Disable RS-232 CTS (Clear to Send) signal. RF9600 will then have CTS always asserted. This command disables hardware hand shaking. **(Factory Default)**

CTS ON_ Enables hardware handshaking. RF9600 will negate CTS when its internal buffers get full.

CONTINUE_ Exits programming mode and does temporary "save" of changed parameters. Parameters return to original settings if power is cycled off then on. **(Factory Default)**

DCD ON_ When ON, the RS-232 DCD line will follow the RF carrier detect. In this mode, DCD is asserted when a signal is on the channel, and negated when the channel is clear.

DCD OFF. When OFF, the RS-232 DCD line will be asserted when the unit is operating, and negated when it is in the programming mode. **(Factory Default)**

DCD 232: See Section 4.7

DIAG OFF. Enables the 5 second power on window for entering the programming mode. **(Factory Default)**

DIAG ON. The programming mode may be entered at any time.

EXIT. Saves new parameters, exits program mode.

.FRQ Program a channel with the specified frequency. The format of the command is: **.FRQccRnnn.nnnnTnnn.nnnn.** where cc is the decimal channel number from 00-63 and nnn.nnnn is the radio frequency for transmit and receive.

Example:

.FRQ00R464.5500T464.5500 (UHF Model)

.FRQ00R154.6000T154.6000 (VHF Model)

Programs 464.55 MHz (UHF) or 154.6 MHz (VHF) as the transmit and receive frequency for channel 1. Trailing zeros must be entered. See Section on radio alignment if retuning is needed.

HELP. Lists all valid commands.

MODES. Display the current configuration of the modem.

MYID nnnn. Set the ID of this *RF9600*. The ID is a hexadecimal number from 0001(h) to FFFE(h).

PROG aa b. Used to program flag bits. Flags are either 1 or 0, and are used to enable or disable various functions within the *RF9600*. See Section 3.4 for a list of the Flags.

RDBYTE aaaa. Read, a byte of data from the EEPROM. The address is in hex, and must be four digits long. WRBYTE and RDBYTE are provided for low-level customization of *RF9600*, and should not be used unless directed by the factory. Improper use of these commands may cause the *RF9600* to cease functioning or be unreliable.

RFCH nn. Set the radio channel to use. nn is a decimal number from 00 to 63 and must be two digits.

REPEAT n hhhh. Programs the repeater ID registers. There are four. N=1,2,3,or 4. hhhh

is the TOID of the packets/units this unit should repeat to. Must be used with RPTNUM n command below.

RESTART. Exits program mode without saving parameters.

RPTNUM n. Programs the repeater number for this unit, if it is used as a repeater. Valid numbers are 1-8 **(Factory Default is 1)**

SB nnnn. Set baud rate of the serial port. nnnn can be 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, or 57600. **NOTE:** This should be the last parameter programmed. Programming is generally done @ 9600 baud. (To set over the air bit rate lower, contact the factory).

SHOW REPEATER. Displays the configuration of the repeater option.

SS 1. Set the serial port stop bits to 1 stop bit. **(Factory Default)**

SS 2. Set the serial port stop bits to 2 stop bits.

SD 7. Set the serial port to expect and send 7 data bits.

SD 8. Set the serial port to expect and send 8 data bits. **(Factory Default)**

Note: *RF9600* is set for No Parity. Devices communicating with the *RF9600* must be formatted with no parity

SPACKET nnnn. Sets the packet size to send over the air. Valid numbers are 000F(h) through 0400(h) (packet size can be set from 15 bytes to 1023 bytes). When data in the input buffer reaches this number of bytes the Tx enables and a packet is sent. The numbers are in hex, and alpha characters must be in upper case. The (h) is not typed. **(Default is 300 bytes)**

Example: **SPACKET 0060.**

Sets the packet size to 60(h) (96 bytes)

SPACKET set to 0000 will cause *RF9600* to cease operation and require factory servicing.

STATS. Outputs via the serial port the internal *RF9600* system statistics. Used for diagnostic purposes.

TOID nnnn. Set the TOID. This is the ID of the station to which this *RF9600* will be sending data. nnnn is a hexadecimal number from 0000(h) to FFFF(h). **(Default is FFFF)**

TX DATA. Key the transmitter and send a continuous stream of random data out. Use this command only for alignment when the

unit under test is connected to a service monitor or dummy load. After some time, an internal time-out-timer will cause the unit to unkey and cold-start. Sending any character into the *RF9600* during the test period will cause the transmitter to unkey.

WRBYTE aaaadd. Write a byte of data to the EEPROM, address aaaa (hex) and the data is dd (hex also). WRBYTE and RDBYTE are provided for low-level customization of *RF9600*. These commands should not be used unless directed by the factory. Improper use of these commands may cause the *RF9600* to cease functioning or be unreliable.

XON OFF. Disable XON/XOFF software flow control. **(Factory Default)**

XON ON. Enable XON/XOFF software flow control. When enabled, the *RF9600* will send XOFF characters to stop the flow of data, and XON characters to start the flow of data.

3.4 Flags

Flags are bits within the *RF9600*'s configuration EEPROM that enable or disable various features and configuration options. Flags 02, 03, 05 and 0E automatically change via their associated programming command. The remaining flags affect functions which can be changed to help improve the *RF9600* operation under special circumstances or applications. The flags shown below all have a factory default of 0 (zero).

The **PROG aa b** command is used to change flag bits. For most applications, all flags set at their default value of "0", will result in proper operation. Changing flags should only be done by an experienced data communications technician.

NOTE

Improper configuration of the Flags may result in the *RF9600* ceasing to operate as desired! If this occurs refer to Section 3.1 NMI Button.

Flag Number	Status	Function
01	0	Normal operation
	1	Disable address filtering
02	0	Power-on-window for entering program mode (...//) is about 5 seconds.
	1	Enable diagnostics mode (power-on window for entering ...// is infinite).
03	0	ACKs are not transmitted
	1	ACKs will be sent every time a good packet is received for this station.
05	0	Unit does not expect an ACK to be sent back when it transmits a data packet.
	1	Unit expects an ACK back when it transmits a data packet, and it will retransmit the packet if it does not receive an ACK back.
07	0	Duplicate packets are discarded.
	1	This station will receive packets that appear to be duplicates.
09	0	Carrier must be present to receive a data packet.
	1	Carrier detect is not used to qualify receptions. Setting this flag to 1 will increase the sensitivity of the <i>RF9600</i> , and thus the effective range of the system, at the expense of a greater chance of a missed packet.
0C	0	Normal mode (always on)
	1	Sleep mode enable. (Saves some power when not busy, but there will be a few milliseconds extra delay when sending data).
0E	0	Normal mode of operation
	1	Enable store and forward repeater function.
0F	0	Unit will hold transmissions on a busy channel. Data will be held until the channel is clear or a preset random timer expires.
	1	Unit will not defer on a busy channel and will transmit even if the channel is busy.

Table 3.4 Flag Bit Definitions

Non bold face flags are automatically changed by an associated programming command.

NOTE

The **MODES** Command can be used to verify all internal *RF9600* settings.

Section 4 ADVANCED PROGRAMMING

4.1 Addressing

Each *RF9600* is programmed with a TOID and a MYID "hex" address. The MYID is the address assigned to each unit. The TOID is the destination address to which data will be sent, therefore the TOID of any transmitting unit must match the MYID of the unit for which the data is intended. Factory default is MYID:1234 TOID:FFFF

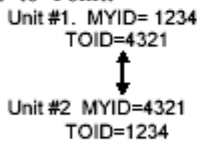
The TOID and the MYID may be any hex number from 0000 to FFFF(h). The FF character is a wildcard, and is used for sub group or group broadcasting.

The MYID generally should not be FFFF(h), FFxx(h), or xxFF(h), where xx is any number from 00-FF(h). Refer to Section 3 for address programming commands.

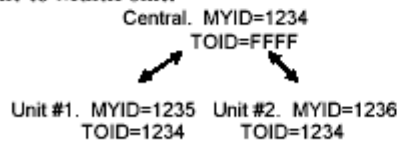
The FF(Hex) characters being "wildcards" can be used to address a "subgroup," as follows. If a packet is sent with FF somewhere in the address, the receiving station will see a "match" in this part of the address when comparing the received packet ID, to its own ID. For example FF56 will be accepted by unit with MYID of 1256.

The following examples demonstrate how addressing can be used in various network configurations.

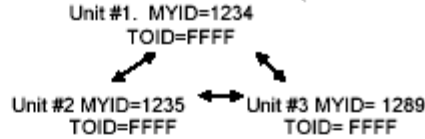
Point-to-Point:



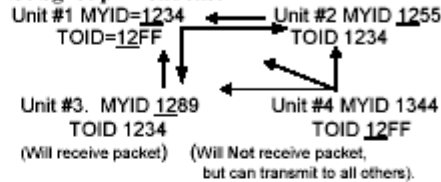
Point-to-MultiPoint:



MultiPoint-to-MultiPoint (BROADCAST)



Subgroup Broadcast



4.2 Store and Forward Repeating

Aside from performing its normal functions, the *RF9600* can also be configured to automatically repeat certain data packets. This feature is typically used to fill in areas of coverage where a base station cannot transmit far enough to talk to a particular unit. Each unit may be programmed to repeat up to four different addresses. This is not intended as a wide-area networking feature where substantial amounts of traffic will be repeated to many different units.

When repeating is enabled, the unit will watch the air for packets with a TOID matching any of the four programmable REPEAT registers in addition to its own MYID. If it sees an ID match between the TOID of a packet, and one of the REPEAT registers, it will automatically capture and retransmit the received packet. Note that normal operation of the repeating *RF9600* will continue. The packet repeated does not have to match the MYID of the station repeating it as repeat ID's are separately programmed.

Units that are going to be repeaters should not generate large amounts of traffic themselves. The automatic ACK feature will not work in the repeat mode nor will ACKs work properly on a system with repeaters. If ACKs are required, then the repeat function should not be used.

The repeater function is enabled by setting flag 0E to a 1 with the **PROG OE 1** command.

The repeat registers are programmed using the **REPEAT n (n=1 to 4) hhhh** command. Each unit may be programmed with up to four different repeat TOID's.

The repeater number is set by the **RPTNUM n** command. All repeaters in a system must have a different repeater number. The repeater number is a

single digit, 1-8. The factory default is 1. If a second repeater is added to the system, it must be assigned a different repeater number.

SHOW REPEATER command will then show the configuration. See Programming Section 3.2.

An RF9600 may be programmed to repeat individual IDs, group ID's, or all IDs. The wildcard character may be used, allowing the unit to repeat groups of IDs. For example, REPEAT register 1 may be set to 1234, and REPEAT register 2 may be set to 7AFF. This means that this unit will repeat all data packet TOIDs of 1234 and it will also repeat all data packets that have TOIDs starting with 7A.

4.3 Frequency Programming

The RF9600 uses a channelized frequency plan. This allows channel changing by pre-loading all of the transmit and receive frequencies for up to 64 channels (numbered 00-63). The frequencies of the channels are programmed into the unit when it is in the programming mode, and they are stored in EEPROM, so that they are not lost when the power is turned off. Channel change can take place by putting unit in program mode (...//), issuing a RFCH nn command followed by Exit.

The frequencies are programmed with the .FRQ command and must be sent to the RF9600 in exactly the format shown below:

.FRQccRnnn.nnnnTnnn.nnnn_

where cc is the decimal channel number from 00-63 and nnn.nnnn is the radio frequency for transmit and receive. The letters FRQ, R and T are in uppercase, and in exactly the position of the command as shown above. Trailing zeros must always be included.

Any common terminal program can be used to send these commands to the RF9600 serial port.

The user should not issue a new command until the OK> prompt is returned.

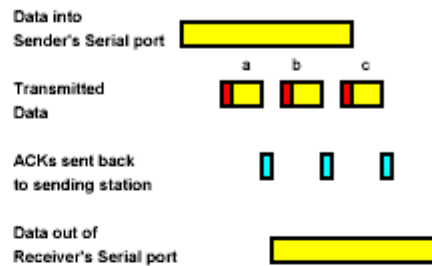
Programming the frequency of a channel does not affect the channel that the RF9600 is currently using for transmit. After issuing a .FRQ command, the user can also issue an RFCH command if a channel change is required.

The radio may need realignment if the frequency is programmed more than 5MHz above or below the previous or default frequency.

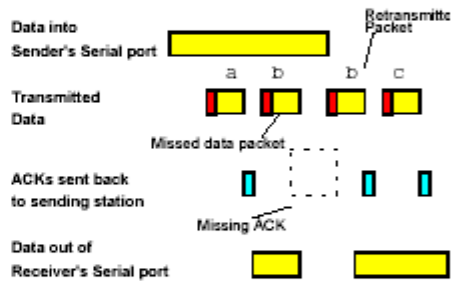
4.4 ACK's

With the ACK mode enabled, the RF9600's transmit an acknowledgment packet—an ACK packet—for each correctly received packet of data. The user never sees this happen, but over-the-air, the RF9600

uses the transmission and reception of ACKs to ensure that the receiving station received a correctly transmitted packet. When ACK mode is enabled at both ends, the sending station automatically waits to receive an ACK each time it sends a new packet of data.



If the receiving station for some reason does not receive an accurate packet, it will not send the ACK, and thus the sending station will resend the packet.



The ACK OFF and ACK ON commands are used to enable and disable the transmission and reception of ACK packets. Note: Packets with broadcast addresses(FFFF) and group call addresses (FFnn or nnFF) are never ACKed by the receiving station. The sending station will not expect an ACK for these types of packets either.

4.5 Data Flow Control

Hardware - CTS ON: With this mode enabled, the RF9600 monitors the RTS signal from the data terminal. If RTS is asserted, data will be sent out of the RF9600 serial port. If RTS is negated, the RF9600 will try to immediately send out over the air any remaining bytes in its input buffer. This mechanism may be used to speed up the transmission of blocks of data. If RTS remains

negated, the unit will assert CTS once all of the data bytes that it had in its input buffer have been transmitted over-the-air. This is also a way to ensure all data has been transmitted out of the buffers before programming or powering down.

Software - XON/XOFF: If hardware flow control cannot be used, the user may wish to consider software XON/XOFF data flow control. This generally works OK, but hardware control is the preferred method. If this method is used it is recommended that the packet size be set very small by using the SPACKET command see Section 3.1

4.6 A Note About Data Throughput

A pair of *RF9600s* will send data over the air at close to 9600 kbps. The *RF9600s* must send the user's data along with synchronization characters, error-check bytes, ID codes, and some control bits. Typically, the overhead of the radio and the protocol use about 15% of the bit rate. This means the actual delivered data throughput as measured at the user port will be somewhat less than 9600 Kbps. The effective throughput may be reduced for the following reasons:

- The channel is very noisy.
- There are other interfering signals.
- There are a number of other *RF9600s* using the radio frequency.
- ACK's are on.
- The signal strength is weak.

If more than two *RF9600s* are on the same radio channel, then they must all share the single channel. Since the data rate over the air is close to 9600 Kbps, this must be divided between the number of stations.

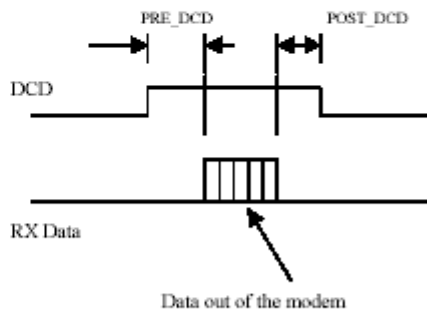
If the *RF9600* will be operating under adverse throughput conditions, some options exist which will help maximize system performance. The first is to make certain that hardware flow control is being used. This will insure that while the channel throughput is reduced, no data will be lost due to overflowing buffers. Another option is to lower the serial data rate by reducing the baud rate of the serial port using the **SB nnnn** command.

4.7 DCD Operation

The DCD signal may operate in one of three modes. In **DCD OFF** mode (the default), the DCD signal is asserted when the modem is operating, and it is negated in the programming mode. In the carrier detect mode, (**DCD ON**), DCD will be asserted when there is an RF carrier on the channel. In the **DCD 232** mode, DCD will be asserted before and after data is coming out of the RS-232 serial port.

The **DCD 232** mode allows the DCD signal to automatically turn on another piece of equipment when data is received at the radio modem.

There are two time periods associated with the **DCD 232** feature, the **PRE_DCD** period and the **POST_DCD**. Both of these time periods are programmable in the modem, using the **WRBYTE** command.



The **PRE_DCD** time is stored in the EEPROM at location 0008. The **POST_DCD** time is stored in EEPROM at location 000A. The number is in 2 millisecond steps (for example, storing 10h into location 008 will cause DCD to assert 32ms before data comes out.)

To change these, while in the programming mode, use the **WRBYTE 008nn** and **WRBYTE 00Ann** to program the **PRE** and **POST** DCD times (nn=00-FFh which is 0-512ms). Note that there is about a ± 2 ms and ± 1 byte period of variation on the actual DCD assertion edges relative to the bits coming out the serial port. For example, if the **PRE_DCD** time is programmed to be 10h, it will actually assert 30-34ms before the data comes out.

10.2 Manual Radiomodem Freewave

Quick Start on a Multipoint System

0) Set Operation Mode

Program one of the units to be a multipoint Master (Operation Mode 2)

Program the Multipoint Slaves (Operation Mode 3)

1) Set Baud Rate

Set the Baud Rate to match the baud rate of the device to which the transceiver will be connected.

3) Edit Radio Transmission Characteristics

Set FreqKey, Max Packet Size, Min Packet Size, and RF Data Rate to identical settings on every radio to be used in the network. It is always a good idea to set the FreqKey, Max Packet Size, Min Packet Size to values other than the factory defaults.

4) Edit Multipoint Parameters

Will there be a repeater in the network or do you intend to be able to run diagnostics on the network? If so set that value to 1.

Set the NetworkID to a value between 1 and 4095, other than 255 (enables call book).

The rest is just fine tuning . . .

Tuning Transceiver Performance

FreeWave allows you to tune several parameters to optimize its performance for your particular application. All adjustments are done through the FreeWave setup program, a user interface which eliminates the need for setup diskettes, DIP switch settings, or custom software.

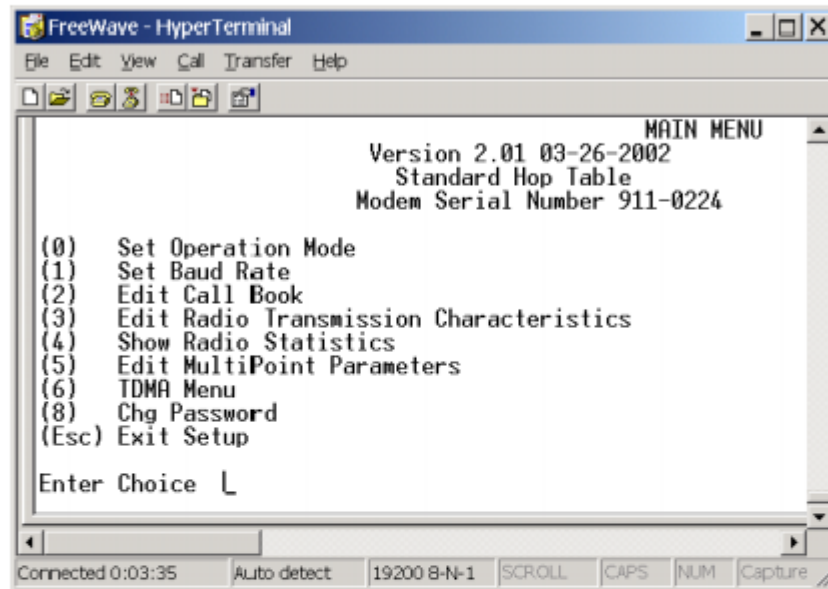
The setup program is invoked by connecting FreeWave to any computer running a terminal program, setting the baud rate for that terminal to 19200 baud, and putting the transceiver into setup mode (on most models this is done by pressing the Setup button). While any terminal which can be set to 19200 baud will work, examples for this manual were generated using Microsoft Windows' Terminal or Hyperterminal applications. You may connect to either the Data Port or the Diagnostics port (using a special cable that you may obtain from FreeWave).

Table 1: Setup Menu
Terminal Settings

Parameter	Setting
Baud Rate	19200
Data Bits	8
Parity	None
Stop Bits	1
Parity Check	None / Off
Carrier Detect	None / Off
Flow control	Xon/Xoff

When the setup program is invoked all three LEDs on the FreeWave front panel will turn green and will remain green for the entire time the Transceiver is in setup mode. The main menu screen for the setup program is shown in Figure 1:

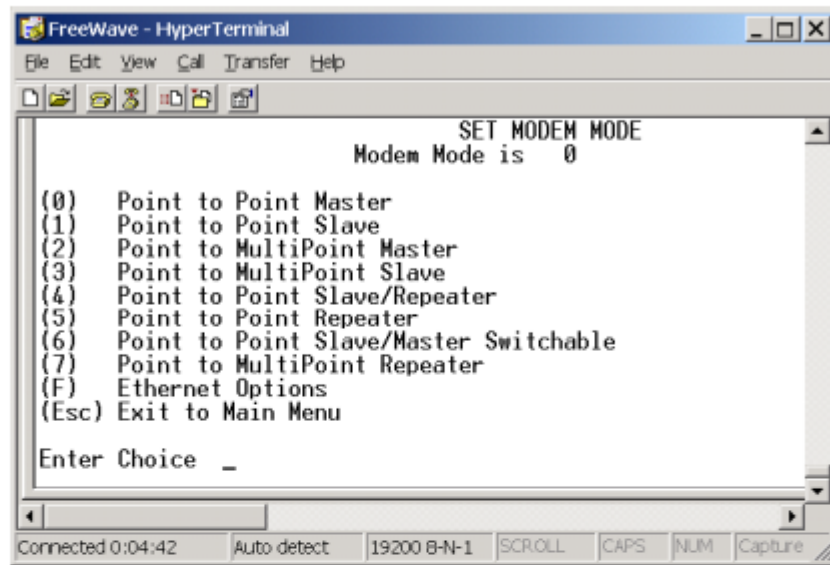
Figure 1: Initial Menu



The initial menu provides the Transceiver's unique serial number, firmware version, and the set of choices for editing the operational parameters and viewing the performance data.

(0) Set Operation Mode

When item (0) is selected the Operation Mode Menu appears as shown in figure 2. The Operation Mode option is used to designate the method in which the particular FreeWave Transceiver will be used. FreeWave operates in a Master to Slave configuration; therefore, any Transceivers which are intended to operate together must be set up as such. In a point-to-point setup, either the master or slave may be used on either end of the communications link without any performance degradation. One consideration when setting up the Transceivers is that a number of parameters are controlled by the settings in the master; therefore, you may wish to deploy the master on the communications end where you will have easier access to the transceiver.

Figure 2: FreeWave Operation
Mode Menu

Operation Mode Selections

(0) Point-to-Point Master

As mentioned previously, FreeWave operates in a Master/Slave configuration. When designated as a master in point-to-point mode the Transceiver will call any or all slaves it is instructed to call in the Call Book. In Point to Point mode the master determines the settings used for most of the Radio Transmission Characteristics, regardless of the settings in the slaves and/or repeaters. The settings for the slave and repeater(s) not determined by the master are RF Xmit Power, Slave Security, and Retry Time Out.

A quick method of identifying a master is to power up the Transceiver. Prior to establishing a communication link with a slave or repeater all three of the master's LEDs will be solid red.

(1) Point-to-Point Slave

When set up as a point to point slave a FreeWave Transceiver will communicate with any master in its call book, either directly or through up to four repeaters. When functioning as a slave, the Entry to Call feature in the Transceiver's call book (Figure 7) is not operational. The slave will communicate with any master listed in its Call Book that calls it.

(2) Point-to-Multipoint Master

The FreeWave Transceiver may be set to run in Multipoint mode, which allows one master to simultaneously be in communication with numerous slaves. A Point-to-Multipoint Master will communicate only with other transceivers designated as Point-to-Multipoint Slaves or Point-to-Multipoint Repeaters.

Please refer to the next chapter 'Multipoint Operation', for more information on running a Multipoint network.

(3) Point-to-Multipoint Slave

Setting (3) allows the transceiver to operate as a slave in a Multipoint network.

Please refer to the next chapter - 'Multipoint Operation' for more information on running a Multipoint network.

(4) Point-to-Point Slave/Repeater

Option 4 allows you to designate the transceiver to act as either a slave or a repeater, depending upon the instructions received from the master for the specific communications session. When a transceiver is placed in an ideal location, this setting offers the flexibility of using that transceiver as an end point in the communication link (slave) or to extend the link to a point further (repeater). These functions are not, however, available simultaneously (the transceiver cannot act as both a slave and a repeater at the same time). This option is available in point to multipoint operation.

A word of caution: A transceiver designated as a repeater has no security features, as explained below. When a transceiver is designated as a Point-to-Point Slave/Repeater, it will allow any master to use it as a repeater.

(5) Point-to-Point Repeater

FreeWave allows the use of up to four repeaters in a point to point communications link, significantly extending the operating range. When designated as a repeater a Transceiver behaves as a pass-through link. All settings for the call book, baud rate, and radio transmission characteristics are disabled. A repeater will connect with any master which calls it (the repeater must still be set up in the master's call book).

The use of one repeater in a communications link will reduce the top data throughput available when compared to a direct master to slave link (generally on the order of 50%). This impact is generally noticed only when using the Transceivers at 115.2 KBaud. The throughput does not decrease further if two or more repeaters are used.

For more information of programming point to point links using one or more repeaters please refer to *Entering or Modifying numbers in the Call Book*.

(6) Point-to-Point Slave/Master Switchable

Mode 6 is a versatile option which allows the transceiver to be controlled entirely through software commands. When in mode 6, a number of key parameters in FreeWave's user interface may be changed either directly (as if using the Windows Terminal program) or through the use of script files. In addition, when the transceiver is in mode 6 and not calling a slave it will be a slave itself and accept any appropriate calls from other transceivers.

In mode 6:

- The transceiver remains in slave mode until called by another Transceiver in its Call Book or instructed to call another transceiver through an AT command. The master will disconnect when DTR goes low.
- The user may change settings in the user interface without using the setup button (this may be of particular value if the transceiver is not in an easily accessible location).
- Predetermined script files may be used which allow any of the Transceiver's settings to be changed upon execution of that file. This, in turn, allows the user to establish push button command sets which will instruct the Transceiver to call a predetermined slave.

Note: All AT commands issued to the transceiver in Mode 6 must be in ALL CAPS.

10.3 Especificaciones de Antena, Cable y Conectores

Features & Benefits

- Collinear Designs - High Performance
- High Density Fiberglass - Very Durable
- Special UV Treated - Stands Up to the Sun
- 100% Tested on a Network Analyzer
- Durable Gold Anodized Sleeve and Cap
- N Female Industry Standard Connector
- FedEx/UPS Shippable

Custom Tuning Available Only \$25.00



FG8066 & FG8063
w/FM2 Mounting Option



N Female Base Connector



FM2 Mounting Bracket

Technical Data - Product Features & Information

- **VSWR:** VHF — 3 dB - 2:1, All other models — 1.5:1
 - **Maximum Power:** 100 watts - UHF and 800 models
150 watts - VHF models
 - **Impedance:** 50 ohms, Models with DC continuity
 - **Mounting Sleeve:** Heavy wall, gold anodized 1 1/4" aluminum.
 - **Radiator:** Precision copper clad elements sealed in white ultraviolet-inhibiting fiberglass radome.
 - **Mounts to:** See optional mounting kits listed above.
- | Antenna Length: | Gain | VHF | UHF | 800/900 | 1.2 GHz |
|-----------------|------|------|-----|---------|---------|
| Unity | 68" | 26" | 15" | 25" | 25" |
| 3 dBd | 107" | 44" | 25" | 25" | 25" |
| 5 dBd | NA | 76" | N/A | NA | NA |
| 6 dBd | NA | N/A | 65" | 65" | NA |
| 7 dBd | NA | 107" | N/A | NA | NA |
-
- | Vertical Beam Width: | Unity | 3 dBd | 5 dBd | 6 dBd | 7 dBd |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 75 | 33 | 20 | 17 | 14 |
- **Antenna Weight:** VHF 3 dBd & UHF 7 dBd = 8 lbs. All others = 6 lbs. (or less)
 - **Termination:** Recessed type "N" female connector.
 - **Wind Survival:** 125 M.P.H.
 - **Polarization:** Vertical Polarization

Ordering Guide - Clear, Easy & Sensible!

FG1523 = Omnidirectional Fiberglass 152-156 MHz, 3 dB.

FG	Mount Style	FG = Fiberglass - Gold Sleeve			
152	Frequency	Frequency component of part number in bold below:			
		140-144	144-148	148-152	152-156
		156-162	162-168	168-174	220-225
		360-380	390-390	406-416	470-420
		420-430	470-440	440-450	450-460
		460-470	470-480	490-500	500-512
		806-806	834-806	851-806	869-802
		896-940	902-929	928-970	976-970
		2400-2500			
3	Gain	0 = Unity	3 = 3 dB	5 = 5 dB	
		6 = 6 dB	7 = 7 dB		

Model	Frequency Range	Tuned Frequency	Length	MSRP
VHF UNITY GAIN MODELS				
FG1400	140-144 MHz	142 MHz	68"	156.00
FG1440	144-148 MHz	146 MHz	68"	156.00
FG1480	148-152 MHz	150 MHz	68"	156.00
FG1520	152-156 MHz	154 MHz	68"	156.00
FG1550	156-162 MHz	159 MHz	68"	156.00
FG1620	162-168 MHz	165 MHz	68"	156.00
FG2200	220-225 MHz	222.5 MHz	68"	156.00
VHF 3 dB GAIN MODELS				
FG1403	140-144 MHz	142 MHz	107"	240.72
FG1443	144-148 MHz	146 MHz	107"	240.72
FG1483	148-152 MHz	150 MHz	107"	240.72
FG1523	152-156 MHz	154 MHz	107"	240.72
FG1553	156-162 MHz	159 MHz	107"	240.72
FG1623	162-168 MHz	165 MHz	107"	240.72
FG1683	168-174 MHz	171 MHz	107"	240.72
FG2203	220-225 MHz	222.5 MHz	107"	240.72
UHF UNITY GAIN MODELS				
FG4060	406-416 MHz	411 MHz	26"	119.60
FG4100	410-420 MHz	420 MHz	26"	119.60
FG4300	430-450 MHz	440 MHz	26"	119.60
FG4500	450-470 MHz	460 MHz	26"	119.60
FG4900	490-512 MHz	501 MHz	26"	119.60
UHF 3 dB GAIN MODELS				
FG3603	360-380 MHz	370 MHz	44"	179.92
FG3803	380-390 MHz	385 MHz	44"	179.92
FG4063	406-416 MHz	411 MHz	44"	179.92
FG4103	410-420 MHz	415 MHz	44"	179.92
FG4203	420-430 MHz	425 MHz	44"	179.92
FG4303	430-440 MHz	435 MHz	44"	179.92
FG4403	440-450 MHz	445 MHz	44"	179.92
FG4503	450-460 MHz	455 MHz	44"	179.92
FG4603	460-470 MHz	465 MHz	44"	179.92
FG5003	500-512 MHz	506 MHz	44"	179.92
UHF 5 dB GAIN MODELS				
FG4065	406-416 MHz	411 MHz	76"	239.20
FG4205	420-430 MHz	425 MHz	76"	239.20
FG4305	430-440 MHz	435 MHz	76"	239.20
FG4405	440-450 MHz	445 MHz	76"	239.20
FG4505	450-460 MHz	455 MHz	76"	239.20
FG4505W	450-470 MHz	460 MHz	76"	239.20
FG4605	460-470 MHz	465 MHz	76"	239.20
FG4705	470-480 MHz	475 MHz	76"	239.20
UHF 7 dB GAIN MODELS				
FG4407	440-450 MHz	445 MHz	107"	352.76
FG4507	450-460 MHz	455 MHz	107"	352.76
FG4607	460-470 MHz	465 MHz	107"	352.76
FG4907	490-500 MHz	495 MHz	107"	352.76
FG5007	500-512 MHz	506 MHz	107"	352.76

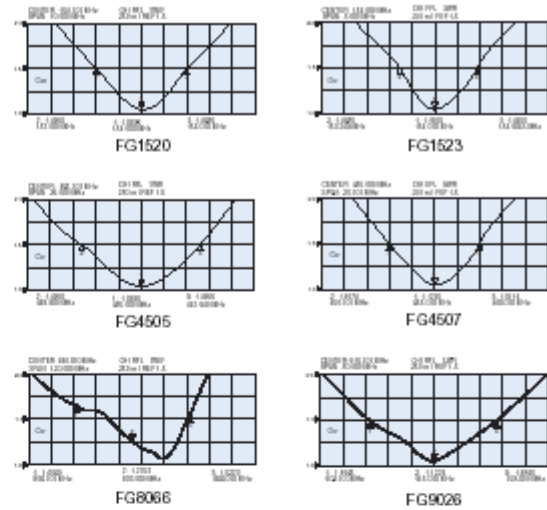
ANTENEX® Gold Fiberglass Base Station antennas are collinear designs enclosed in a high density fiberglass, which is covered with a protective ultraviolet inhibiting coating.

The radiating elements are made from high efficiency copper and are carefully phased to provide maximum gain in the horizontal plane. The mounting sleeves are tuned to eliminate RF currents from the transmission line resulting in a "cold" sleeve allowing great freedom in mounting. This high quality and well-focused beam provides the highest gain and best efficiency.

Every FG fiberglass base antenna is tested on a network analyzer before shipping to assure the best VSWR performance.

Model	Frequency Range	Tuned Frequency	Length	MSRP
800/900 MHz UNITY GAIN MODELS				
FG8060	806-896 MHz	813.5 MHz	15"	96.81
FG8240	824-896 MHz	835 MHz	15"	96.81
FG8960	896-940 MHz	868 MHz	15"	96.81
FG9360	936-970 MHz	953 MHz	15"	96.81
800/900 MHz 3 dB GAIN MODELS				
FG8063	806-896 MHz	813.5 MHz	25"	144.70
FG8243	824-896 MHz	835 MHz	25"	144.70
FG8963	896-940 MHz	868 MHz	25"	144.70
FG8963	896-940 MHz	868 MHz	25"	144.70
FG9023	902-928 MHz	915 MHz	25"	144.70
FG9283	928-936 MHz	930 MHz	25"	144.70
800/900 MHz 6 dB GAIN MODELS				
FG8066	806-896 MHz	813.5 MHz	65"	187.45
FG8246	824-896 MHz	835 MHz	65"	187.45
FG8966	896-940 MHz	868 MHz	65"	187.45
FG9026	902-928 MHz	915 MHz	65"	187.45
FG9286	928-936 MHz	930 MHz	65"	187.45
FG9366	936-970 MHz	947 MHz	65"	187.45
2.4 GHz 3 dB MODELS				
FG24003	2400-2500 MHz	2450 MHz	14"	161.29
2.4 GHz 6 dB MODELS				
FG24006	2400-2500 MHz	2450 MHz	24"	197.88
Model	Description	MSRP		
Fiberglass Base Antennas Mounting Options				
FM1	Stainless Steel U-Bolt Mount (2)	10.00		
FM2	Fiberglass Mounting Bracket (2)	38.00		
FMS9	9 inch Standoff (2)	87.28		
FMW4	4 inch Wall Mount	21.60		
MOBILE TO BASE CONVERTER				
MBC	Mobile-to-base Converter for VHF and UHF, SO239 Terminated	30.00		
MBCN	Mobile-to-base Converter for VHF and UHF, N Terminated	30.00		
MBC800	Mobile-to-base Converter for 800 and 900 MHz, N Terminated	30.00		
FIBERGLASS BASE ANTENNA ACCESSORIES				
LAL350NN	Bulk Head Lightning Arrestor N to N	79.16		
LABH350NN	In-Line Lightning Arrestor N to N	79.16		
CCT213	Heavy Duty Crimp Tool	71.95		
CN400	Type N Male	8.00		
RA00100	100' Speed High Performance LMR400	140.00		
RA00500	500' Speed High Performance LMR400	650.00		
PT40025NN	Pigtail 25 ft. LMR400 N to N	57.00		
PT40050NN	Pigtail 50 ft. LMR400 N to N	92.00		
PT40075NN	Pigtail 75 ft. LMR400 N to N	127.00		
PT400100NN	Pigtail 100 ft. LMR400 N to N	156.00		

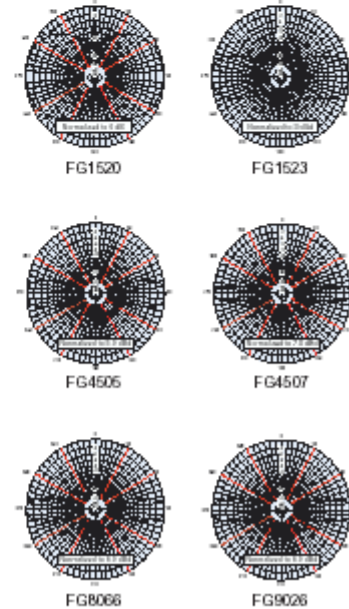
VSWR



Vertical Field Patterns

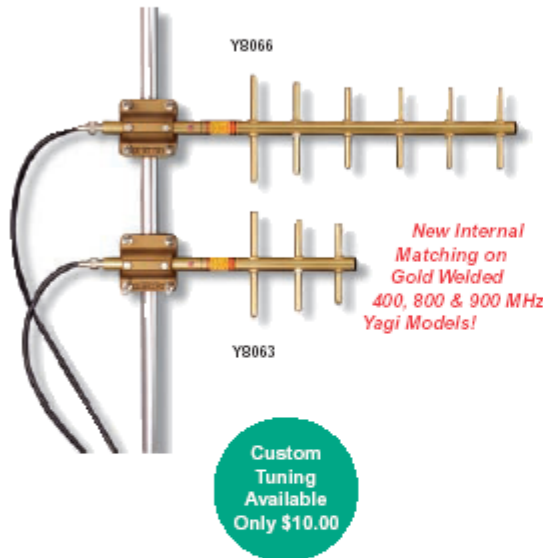


MBC800 Shown With Optional B8063 Antenna



LAL350NN - In-line Lightning Arrestor N to N

This is undoubtedly the most fully featured internally matched Yagi available. This design features an end-of-boom N connector feed with an internal transmission line feeding the driven element. Internal matching achieves broad bandwidth and is highly weather resistant. There is no gamma match to ice up, corrode or detune. The fully welded **ANTENEX**® Yagi antenna features 360-degree welds around each element and is fully gold anodized for corrosion resistance. Our engineering staff has optimized this product design for forward gain by computer analysis and then field-tested each for conformance.



Technical Data - Product Features & Information

• VSWR:	<1.5:1		
• Maximum Power:	500 watts - VHF 300 watts - UHF & 800/900 MHz		
• Impedance:	50 ohms		
• Mounting:	VHF up to 2" mast. UHF and 800/900 MHz up to 1-5/8" mast.		
• Tuning:	All Yagi's are pre-tuned on a Network Analyzer to the lowest frequency for that model.		
• Elements Material:	3/8" diameter solid 6061-T6 aluminum.		
• Boom Material:	Heat treated 6061-T6 aluminum tube.		
• Boom Diameter:	UHF, 800/900 MHz - 7/8" VHF - 3 dB 7/8", 5 dB 1 1/4"		
• Finish:	Protective gold or black anodized finish. Allow longer lead time for black finish models. Silver Series feature a bright finish.		
• Shipping:	All models are FedEx/UPS shippable. Welded VHF may require truck freight.		
• Assembly:	VHF models require light assembly. All other models come fully assembled.		
• Mounting:	Stainless steel brackets included.		
• Termination Type:	N Female, SO239 (UHF female available upon request).		
• Lighting Protection:	DC ground		
• Boom Length:	Y8066	3 Element - 41-1/2" 5 Element - 72"	5 Element - 72" 12 Element - 49"
	Y8063	3 Element - 20-3/16" 6 Element - 44" 12 Element - 72"	5 Element - 37" 12 Element - 72" 6 Element - 44" 12 Element - 27-3/4"

Ordering Guide - Clear, Easy & Sensible!

Y4505 = Fully Welded Yagi In gold, 450-470 MHz, 5 Elements.

Y	Antenna Style	Y = Welded and Gold Anodized Yagi YB = Welded and Black Anodized Yagi YS = Silver Series Yagi Black finish is not available on the Silver Series.		
450	Frequency	Frequency component of part number in bold below: 136-150 150-174 220-250 406-430 470-490 450-470 470-490 490-512 806-896 896-970		
5	Elements	3 = 3 Elements 6 = 6 Elements	5 = 5 Elements 12 = 12 Elements	

Mounting brackets included at no extra charge.

Model	Frequency	Elements	Gain	Front-Back Ratio	MSRP
-------	-----------	----------	------	------------------	------

FULLY WELDED NON-ANODIZED VHF MODELS

Y00X3W	User Defined	3	7.1 dBd	17 dB	246.10
Y00X5W	User Defined	5	9.2 dBd	20 dB	288.90

GOLD ANODIZED VHF MODELS

Y1363	136-150 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	154.03
Y1365	136-150 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	210.52
Y1503	150-174 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	155.07
Y1505	150-174 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	209.73
Y2203	220-250 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	155.21
Y2205	220-250 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	209.73

GOLD ANODIZED FULLY WELDED UHF MODELS

Y4065	406-430 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	160.65
Y4066	406-430 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	171.52
Y4303	430-450 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	133.91
Y4305	430-450 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	160.73
Y4306	430-450 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	171.52
Y43012	430-450 MHz	12	11 dBd	20 dB	240.98
Y4503	450-470 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	133.91
Y4505	450-470 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	160.73
Y4506	450-470 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	171.52
Y45012	450-470 MHz	12	11 dBd	20 dB	240.98
Y4705	470-490 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	160.73
Y4706	470-490 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	171.52

GOLD ANODIZED FULLY WELDED 800/900 MHz MODELS

Y8063	806-896 MHz	3	6 dBd	15 dB	133.95
Y8066	806-896 MHz	6	9 dBd	16 dB	160.73
Y80612	806-896 MHz	12	11 dBd	20 dB	214.32
Y8963	896-970 MHz	3	6 dBd	15 dB	133.95
Y8966	896-970 MHz	6	9 dBd	16 dB	160.73
Y89612	896-970 MHz	12	11 dBd	20 dB	214.32

REPLACEMENT MOUNTING KITS

YM78	Yagi Mounting Kit for 7/8" Boom	13.50
YM100	HD Yagi Mounting Kit for 7/8" to 4 1/2"	43.20
YM78HD	HD Yagi Mounting Kit for 7/8" Boom	47.50
YM100HD	HD Yagi Mounting Kit for 1" Boom	47.50
YM125HD	HD Yagi Mounting Kit for 7/8" to 4 1/2"	47.50



Mounting Kits
YM78HD, YM100HD, YM125HD

LAIL350HN - In-line
Lighting Arrester N to N

Don't forget, each Yagi is hand tuned on a network analyzer for best power match and lowest VSWR. This is your assurance of the best possible performance every time. Each yagi also ships complete with a high quality cast aluminum cast mounting kit that includes stainless steel hardware and allows vertical or horizontal orientation during install. Whether your installation calls for the super high durability of a fully welded Yagi or the lower cost, yet very high durability of a silver series Yagi, **ANTENEX** promises to be the correct choice for your demanding application.

Model	Frequency	Elements	Gain	Front-Back Ratio	MSRP
SILVER SERIES VHF MODELS					
YS1353	136-150 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	104.00
YS1503	150-174 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	104.00
YS1505	150-174 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	156.00
YS2165	216-225 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	156.00
YS2203	220-250 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	104.00
YS2205	220-250 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	156.00

Model	Frequency	Elements	Gain	Front-Back Ratio	MSRP
SILVER SERIES UHF MODELS					
YS3406	340-360 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	114.40
YS4083	406-430 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	72.80
YS4085	406-430 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	98.80
YS4303	430-450 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	72.80
YS4305	430-450 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	98.80
YS4306	430-450 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	114.40
YS4312	430-450 MHz	12	11 dBd	20 dB	177.65
YS4503	450-470 MHz	3	7.1 dBd	17 dB	72.80
YS4505	450-470 MHz	5	9.2 dBd	20 dB	98.80
YS4506	450-470 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	114.40
YS4512	450-470 MHz	12	11 dBd	20 dB	177.65
YS47012	470-490 MHz	12	11 dBd	20 dB	177.65
YS4906	490-512 MHz	6	10.2 dBd	20 dB	114.40

Model	Frequency	Elements	Gain	Front-Back Ratio	MSRP
SILVER SERIES 800/900 MHz MODELS					
YS8083	806-896 MHz	3	6 dBd	15 dB	73.50
YS8086	806-896 MHz	6	9 dBd	16 dB	94.50
YS80812	806-896 MHz	12	11 dBd	20 dB	162.00
YS8963	896-970 MHz	3	6 dBd	15 dB	73.50
YS8966	896-970 MHz	6	9 dBd	16 dB	94.50
YS89612	896-970 MHz	12	11 dBd	20 dB	162.00

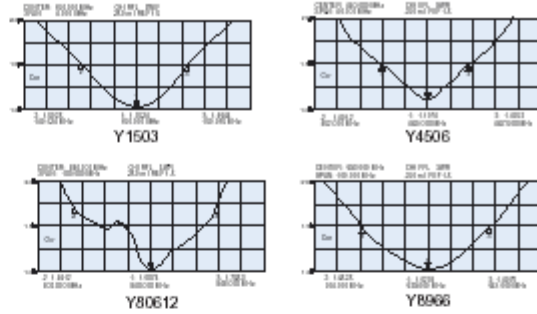
Model	Description	MSRP
ENCLOSED 2.4 GHz MODEL		
YE240015	2.4-2.5 GHz	12.5 dBd 20 dB 245.00

Model	Description	MSRP
ANTENNA MASTS		
YMST4	4"x1-1/4" OD x .065" wall alum. mast	30.15
YMST8	8"x1-1/4" OD x .065" wall alum. mast	90.00
YMST18	18"x1-1/4" OD x .065" wall alum. mast (2p)	187.50

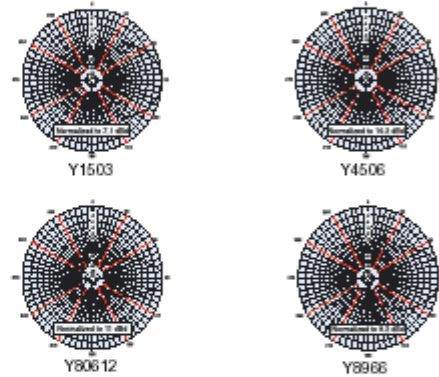
Model	Description	MSRP
YAGI ACCESSORIES		
LAL350NN	In-line Lightning Arrestor N to N	79.16
LABH35NN	Bulk Head Lightning Arrestor N to N	79.16
CCT213	Crimp Tool For LMR400	71.05
CN400	N Connector For LMR400	8.00
R400100	100 ft. Roll of LMR400	140.00
R400500	500 ft. Roll of LMR400	650.00



VSWR



Vertical Field Patterns



Close up of Traditional Gamma Match Silver Series Yagi

VHF Yagi antennas have bolted elements and require light assembly to maintain FedEx/UPS shippability. Welded, black anodized Yagi antennas are the same price as gold models. Allow extra delivery time for black models. The Silver Series Yagi antennas have the same great optimized designs and plated brass connectors as our welded gold anodized models. (Only welded 800, 900 and 900 models have internal front feed matching)

Type N Connector

Named after Paul Neill of Bell Labs after being developed in the 1940's, the Type N offered the first true microwave performance. The Type N connector was developed to satisfy the need for a durable, weatherproof, medium-size RF connector with consistent performance through 11 GHz.

There are two families of Type N connectors: Standard N (coaxial cable) and Corrugated N (helical and annular cable). Their primary applications are the termination of medium to miniature size coaxial cable, including RG-8, RG-58, RG-141, and RG-225. RF coaxial connectors are the most important element in the cable system. Corrugated copper coaxial cables have the potential to deliver all the performance your system requires, but they are often limited by the performance of the connectors.

Intermodulation distortion, a major concern in today's communications systems, is consistently low with corrugated cable connectors. Typical performance is -125 dBm (-168 dBdc). In-house IMD measurement capability gives Amphenol the unique ability to understand the effects of connector design elements on IMD generation and to design the best performing connectors in the industry. Self-flaring designs are easily attached with standard hand tools in the field, and are highly resistant to pull off and twist off. All corrugated cable connectors are optimally matched to their cables for low VSWR and insertion loss.

Features & Benefits

- Accommodates a wide range of medium to miniature-sized RG coaxial cables in a rugged medium-sized design
- Broad line of Military (M39012), Industrial (UG) and Commercial (RFX) grade products available, giving customers choices in weighing cost versus performance benefits
- Meets many customer application demands with plug styles available in straight and right angle and jack styles available in panel mount, bulkhead mount, and receptacle

Applications

Antennas

Cable assemblies

Instrumentation

PCS

Satcom

Base stations

Cellular

Microwave Radio

Radar

Surge Protection

Broadcast

Components

Mil-Aero

Radios

WLAN

Type N Standard Specifications

Electrical	
Impedance	50 Ω
Frequency Range	0 - 11 GHz
Voltage Rating	1,500 volts peak
VSWR	MIL-C-39012 straight connectors: 1.3 max 0-11 GHz MIL-C-39012 right angle connectors: 1.35 max 0-11 GHz
Dielectric Withstanding Voltage	2,500 volts rms
Insulation Resistance	5,000 M Ω minimum
Center Contact Resistance	1.0 m Ω
Outer Contact Resistance	0.2 m Ω
RF Leakage	-90 dB minimum at 3 GHz
Insertion Loss	.15 dB maximum at 10 GHz
Mechanical	
Mating	5/8-24 threaded coupling
Braid or Jacket Cable Affixment	All crimps: hex braid crimp Clamps: screw-thread nut and braid clamp
Center Conductor Cable Affixment	Crimp: crimp or solder All others: solder only
Captivated Contact	All crimps unless specified otherwise
Cable Retention	Crimps: 60-120 lbs Clamps: 30-70 lbs
Material	
Male Contacts	Brass, silver or gold plated
Female Contacts	Phosphorous bronze or beryllium copper, silver or gold plated
Other Metal Parts	Brass with ASTROplate® finish; M39012 has silver finish
Insulators	TFE, copolymer of styrene or glass-TFE (hermetic seal)
Weatherproof Gaskets	Silicone rubber or synthetic rubber
Crimp Ferrule	Copper
Environmental	
Temperature Range	TFE: -65°C to +165°C
Weatherproof	All series N with gaskets are weatherproof
Hermetic Seals	Pass helium leak test of 2x10 ⁻⁸ cc/sec
Pressurized Shock	Compression seal MIL-STD-202, method 213
Vibration	MIL-STD-202, method 204, test condition B
Moisture Resistance	MIL-STD-202, method 106
Corrosion	MIL-STD-202, method 101, test condition B
Temperature Cycling	MIL-STD-202, method 102, test condition C
Altitude	MIL-STD-202, method 105, test condition C
Military	
MIL-C-39012 MIL-A-55339	Where applicable

Note: These characteristics are typical but may not apply to all connectors.

Type BNC Connector

Developed in the late 1940's as a miniature version of the Type C connector, BNC stands for Bayonet Neill Concelman and is named after Amphenol engineer Carl Concelman. The BNC product line is a miniature quick connect/disconnect RF connector. It features two bayonet lugs on the female connector; mating is achieved with only a quarter turn of the coupling nut. BNC's are ideally suited for cable termination for miniature to subminiature coaxial cable (RG-58, 59, to RG-179, RG-316, etc.)

Amphenol 50 Ω BNC connectors are miniature, lightweight units designed to operate up to 11 GHz and typically yield low reflection through 4 GHz. Designed to accommodate a large variety of RG and industry standard cables, BNC connectors are available in crimp/crimp, clamp/solder, SURETWIST®, and field serviceable termination styles. A full line of printed circuit board receptacles, bulkhead receptacles, resistor terminations, and other accessories complement the product offering.

A variety of our 50 Ω BNC connectors are recognized under the Component program of Underwriter's Laboratories, Inc. These connectors are ideal for use with medical equipment and test instrumentation where safety cannot be compromised. Amphenol also offers a full line of 75 Ω BNC connectors to meet the needs for higher performance impedance-matched cable interconnections. These connectors can be used in a variety of applications where true 75 Ω performance is needed to insure low signal distortion. Designed for the most popular 75 Ω cables used in broadcast and CATV applications as well as for plenum and other cables, these connectors feature crimp-crimp cable affixment for quick and reliable installation. Two distinct types of 75 Ω BNCs are available, and both mate with each other and with 50 Ω BNCs. Type 1 is designated 75 Ω BNC-T1 and provides constant 75 Ω performance with low VSWR DC – 4 GHz. Type 2 is designated 75 Ω BNC-T2 and is usable with low reflection DC - 1 GHz. For applications above 1 GHz, Type 1 is recommended.

Part numbers that are listed with the appropriate M39012 number are military grade connectors produced in accordance with and actively qualified to the military specification MIL-C-39012. Connectors not listed with the M39012 number constitute the industrial grade product offering. These connectors provide comparable performance and generally feature nickel-plated brass bodies, Teflon insulators, and either gold or silver-plated center contacts. Amphenol's commercial grade connector offering carries the part number designation "RFX" for easy recognition. These low-cost connectors typically utilize die cast and molded components. While performance will not be equal to the industrial or military grade products, these connectors are ideal for use on a variety of commercial applications.

Reverse Polarity BNCs are also available. Reverse polarity is a keying system accomplished with a reverse interface, and ensures that reverse polarity interface connectors do not mate with standard interface connectors. Amphenol accomplishes

this by inserting female contacts into plugs and male contacts into jacks. Other manufacturers may use reverse threading to accomplish reverse polarity keying.

Applications

- | | | |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Antennas | <input type="checkbox"/> Automotive | <input type="checkbox"/> Base Stations |
| <input type="checkbox"/> Broadcast (75 Ω) | <input type="checkbox"/> Cable Assemblies | <input type="checkbox"/> Cable Modems |
| <input type="checkbox"/> Components | <input type="checkbox"/> Computers/LANs | <input type="checkbox"/> Instrumentation |
| <input type="checkbox"/> Oscilloscopes | <input type="checkbox"/> Medical Equipment | <input type="checkbox"/> Mil-Aero |
| <input type="checkbox"/> Radios | <input type="checkbox"/> Satcom | <input type="checkbox"/> Surge Protection |
| <input type="checkbox"/> Telecom | | |

50 Ω BNC Specifications

Electrical	
Impedance	50 Ω nominal
Frequency Range	0-4 GHz with low reflection
Voltage Rating	500 volts peak
Dielectric Withstanding Voltage	1,500 volts rms
VSWR	M39012 straight connectors: 1.3 max 0-4 GHz M39012 right angle connectors: 1.35 max 0-4 GHz
MIL-C-39012 Contact Resistance	Center contact: 1.5 mΩ; Outer contact: 0.2 mΩ
MIL-C-39012 Insulation Resistance	5,000 MΩ
MIL-C 39012 Braid to Body	0.1 milliohm
MIL-C-39012 RF Leakage	-55 dB min at 3 GHz
MIL-C-39012 Insertion Loss	0.2 dB min at 3 GHz
Mechanical	
Mating	2-stud bayonet coupling per M39012
Braid/Jacket Cable Affixment	All crimps are hex braid; clamps are screw-thread nut and braid clamp
Center Conductor Cable Affixment	Crimps are crimp or solder; all other are solder only
Captivated Contacts	All crimps unless specified otherwise
Cable Retention	Crimps: 20-100 lbs; All others: 30-70 lbs
Material	
Male Contact	Brass
Female Contact	Beryllium copper or phosphorous bronze, silver or gold-plated
Other Metal Parts	Brass, nickel finish; M39012 is silver finish
Insulator	TFE, copolymer of styrene, glass-TFE (hermetically sealed)
Crimp Ferrule	Copper/brass
Environmental	
Temperature Range	TFE insulators: - 65°C to + 165 °C Copolymer of Styrene: - 55°C to + 85°C
Weatherproof	Clamps with clamp gaskets; crimps with heat-shrink tubing
Hermetic Seals	Pass helium leak test of 2×10^{-8} cc/second
Shock	MIL-STD-202 method 202
Vibration	MIL-STD-202 method 202, test condition D
Moisture Resistance	MIL-STD-202 method 106
Corrosion	MIL-STD-202 method 101, test condition B
Temperature Cycling	MIL-STD-202 method 102, test condition D
Altitude	MIL-STD-202 method 105, test condition C
Military	
MIL-C-39012	Where applicable

Note: These characteristics are typical but may not apply to all connectors.

Cable Coaxial Belden 9913

I. DESCRIPTION:

RG-8 TYPE COAX CABLE, PLENUM VERSION OF 9913.

II. ELECTRICAL CHARACTERISTICS:

IMPEDANCE: 50 +/- 3 OHMS

NOM. CAPACITANCE

CONDUCTOR TO SHIELD: 25.0 PF/FT.

NOM. VELOCITY OF PROPATION: 83 %

NOM. DELAY: 1.2 NS/FT.

ATTENUATION

NOMINAL

MHZ	DB/100 FT.
-----	------------

1	.14
---	-----

10	.4
----	----

50	1.0
----	-----

100	1.6
-----	-----

200	2.3
-----	-----

400	3.4
-----	-----

700	5.0
-----	-----

900	6.0
-----	-----

1000	6.9
------	-----

4000	17.0
------	------

NOM. SHIELD DC RESISTANCE

@ 20 DEG. C: 3.3 OHMS/1000 FT.

NOM. CONDUCTOR DC RESISTANCE

@ 20 DEG C: .9 OHMS/1000 FT.

MAX. OPERATING VOLTAGE 600 V RMS

III. PHYSICAL CHARACTERISTICS:

TEMPERATURE RATING: -20 TO +150 DEG. C

MIN. BENDING RADIUS: 6"

MAX. PULLING TENSION: 174 LBS.

NOM. WEIGHT/1000 FT.: 115 LBS.

CONDUCTOR MATERIAL & DIA: 10 AWG SOLID COPPER

.108" NOM.

INSULATION MATERIAL & DIA: SEMI-SOLID FEP TEFLON
.295" NOM.
SHIELD TYPE & % COVERAGE: DUOBOND TAPE; 100%
TINNED COPPER BRAID; 90%
JACKET MATERIAL & DIA: FLUOROCOPOLYMER JACKET
(BLACK), .364"
APPLICABLE SPECIFICATIONS: NEC TYPE CMP
CEC TYPE CMP
FLAME RESISTANCE: UL 910 STEINER TUNNEL
CSA FT4 & FT6

10.4 Características del Software ComSiteDesing

INGENIERIA Y PLANIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS CON COMSITEDESIGN™

ComSite Design, ComSite Pro, ComSite Ultra, ComSite Manager son marcas registradas de RCC Consultants, Inc.

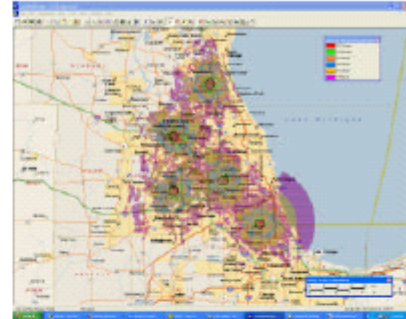
DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DEL SISTEMA

ComSiteDesign (CSD) es una herramienta de ingeniería de redes inalámbricas que es tecnológicamente versátil y completa. Es fácil de utilizar y a la misma vez es detallada en la forma que permite el diseño y análisis de sistemas. CSD esta diseñado para maximizar compatibilidad con aplicaciones de Microsoft Office, tales como MS Word, MS Excel, MS Access y MS MapPoint, ofreciendo una de las más viables soluciones para los sectores de Seguridad Publica, Utilidades, Celular/PCS, Proveedores de Internet Inalámbricos (ISP), y Empresas de Administración de Sitios..

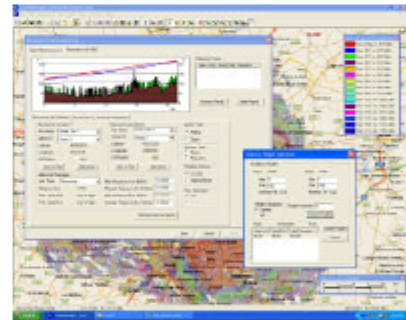
CSD fue desarrollado por ingenieros de sitio, de campo, y diseñadores de redes inalámbricas, en conjunto con planificadores y personal de mercadeo estratégico, lo cual le permite a CSD tomar en consideración los procesos de cada una de los sectores mencionados arriba. Con este fin, CSD es capaz de:

- Importación de base de datos de sitio,
- Funcionalidad de importación de plan de frecuencia,
- Conectividad a archivos de licencia de la FCC,
- Mapas de alta calidad,
- Reportes compatibles con Microsoft Word,
- Resultados en formato Adobe Acrobat (.pdf),
- Compatibilidad con ESRI ArcView,
- Importación y visualización de mediciones de campo,
- Calibración de modelos de propagación (afinamiento),
- Importación de frecuencias/sitios de agencias reguladoras,
- Visualización de perfil de terreno y utilización de terreno,
- Modulo de enlace microonda punto-a-punto,
- Optimizador de alturas de antena,
- Base de datos de radio-bases, móviles, y portatiles,
- Localizador de torres/sitios,
- Localizador de aeropuertos,
- Localizador de torres AM,
- Herramineto de asignación automatica de frecuencia (minimización de interferencia),
- Interfaz a herramienta de intermodulacion,
- Interfaz a desensibilización de receptor / ruido de transmisor,
- Numero ilimitado de sitios y sectores de antena,
- Planes de canal/frecuencia de agencia reguladora incluidos,
- Planeamiento de múltiples sectores , multiples tecnologías,
- Modelos de propagación por sectores,

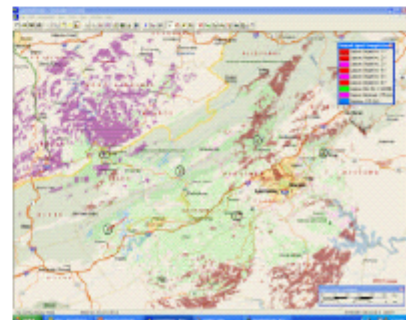
RCC CSD_6.7.8_Feb2003_Español



Mejor Servidor de Subida/Bajada



Ingeniería de Enlace Punto-a-Punto



Simulcast – Interferencia por Retraso de Tiempo

TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN CSD

CSD es capaz de analizar y planificar sistemas en un rango de frecuencias de 40 MHz a 40 GHz. Cada uno de estos sistemas puede co-existir en la misma estructura, pero analizado independientemente, sin necesidad de crear proyectos individuales. El usuario decide que tecnología desea evaluar por medio de una simple selección de la unidad móvil/portátil con la cual la radio base se comunicará. Ejemplos de algunas tecnologías inalámbricas incluidas en ComSiteDesign:

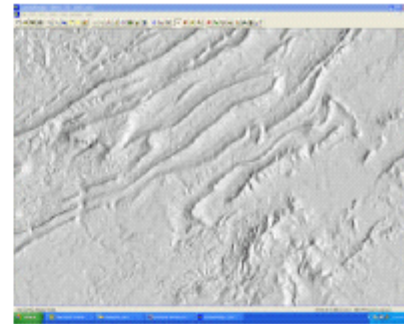
Trunking:	OpenSky, EDACS, ASTRO, MPT1327, MultiNet, SmartZone, TETRA
Microonda:	Sistemas Análogos y Digitales
IP Inalámbrico:	OpenSky, Ricochet, iDEN
WiFi/Inalámbrico Fijo:	IEEE802.11, Canopy de Motorola
Wireless Data:	Mobitex, GPRS, RDLAP, CDPD, GPRS, EDGE
Adquisición Datos:	SCADA/MAS
Wireless Local Loop:	Airloop, Airreach, Proximity, DECT, Celular Fijo
Acceso de Banda Ancha:	Servicios de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS), Servicios de Distribución Local Multipunto (LMDS)
Celular/PCS:	GSM, DCS1800, PCS1900, IS136 TDMA, iDEN

RADIO PROPAGATION MODEL OPTIONS

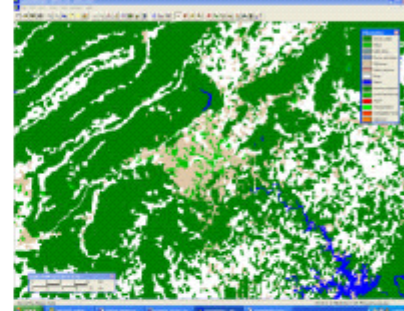
CSD ofrece la flexibilidad de asignar modelos de propagación y características individualmente a cada sistema de antenas/sectores en un sitio. Cada modelo puede ser afinado independientemente con mediciones de campo por medio del módulo de calibración. Los modelos de propagación disponibles son:

- Okumura-Hata-Davidson
- COST231 Okumura-Hata
- Longley-Rice
- Walfishe-Ikegami
- Lee

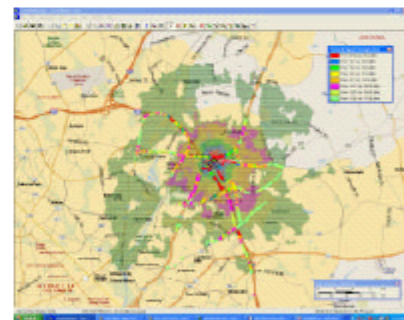
RCC CSD_6.7.8_Feb2003_Español



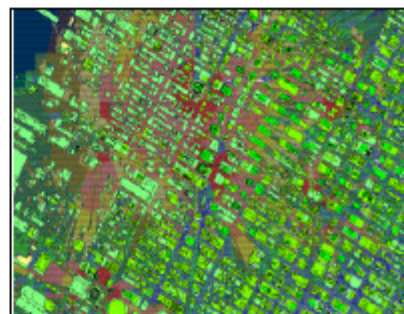
Despliegue de Terreno



Despliegue de Utilización de Terreno



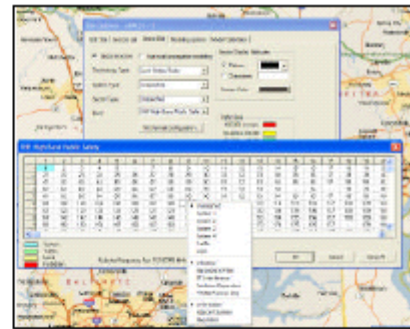
Mapa Detallado con Mediciones



Cobertura Detallada con Edificios

- Bullington
- Durkin
- FCC R-6406 (Carey)
- FCC R-6602
- Epstein-Peterson
- Deygout
- Giovaneli
- Lucent Airloop

CSD ofrece la habilidad de escoger entre 14 diferentes modelos de propagación, 6 diferentes modelos de difracción y 4 métodos de calcular la altura efectiva de la antena.

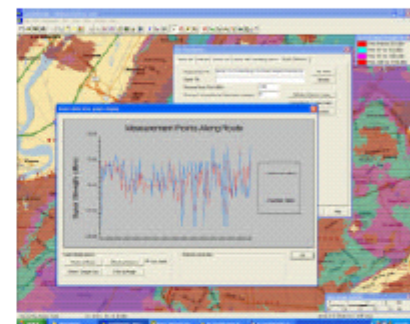


Herramienta de Asignación de Canales y Exclusión

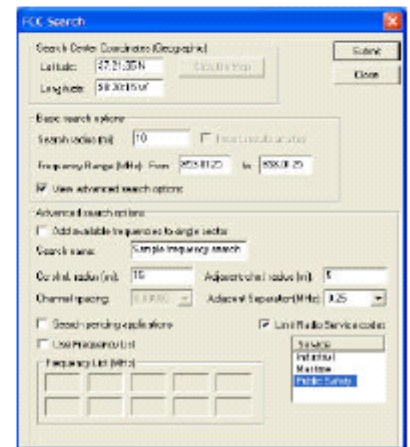
BASES DE DATOS SOPORTADAS EN CSD

Para realizar análisis de redes e ingeniería de tráfico, CSD hace disponible una amplia variedad de bases de datos y opciones de despliegue de mapas que incluye:

- Mapas de relieve con sombreados,
- Mapas de elevación,
- Fronteras regionales de planeamiento,
- Mapas de interconexión de enlaces microonda,
- Base de datos de antenas microonda,
- Base de datos de terreno digital (resolución < 1m),
- Base de datos de utilización de terreno,
- Mapas digitales topográficos GeoTIFF,
- Fotos digitales aéreas GeoTIFF,
- Bases de datos de calles, caminos, y ferrocarriles,
- Bases de datos de lagos y ríos,
- Fronteras administrativas / políticas,
- Base de datos de estados, condados, ciudades y códigos postales,
- Fronteras comerciales (MTA, BTA, MSA, RSA, EA's),
- Densidad de población por código postal,
- Densidad de población por condado,
- Contornos de alturas de edificios,
- Parámetros y tipos de radio bases,
- Tuberías de gas y petróleo
- Base de datos de tasa de caída de lluvia y atenuación,
- Parámetros y tipos de móviles/portátiles,
- Tablas de frecuencia del FCC Part 90,
- Tablas de frecuencia definidas por ETSI para TETRA,
- Soporte a archivos ESRI en formato SHP



Análisis Estadístico entre Mediciones y Análisis Teórico



Búsqueda de Frecuencias para Sistemas LMR