



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**Tesis de Grado**

Previo a la obtención del título de

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**Mención en Gestión Empresarial**

**Tema**

**“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION PARA EL MEJORAMIENTO DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN UCSG- LIMONCITO, CON PROTECCIONES ELECTRICAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS A LA TORRE Y CUARTO DE EQUIPOS”**

Realizado por:

**Marco Michel Manzur Espinoza**

**Erika Soraya Medina Enriquez**

**Gina Mabel Burgos Acosta**

**Adrian Manuel Avilés Avilés**

**Marcelo Alejandro Luque Espinoza**

**Director de Tesis**

**Ing. Orlando Philco Asqui**

**Guayaquil – Ecuador**

**2010**



## **TESIS DE GRADO**

Título

### **“ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION PARA EL MEJORAMIENTO DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN UCSG- LIMONCITO, CON PROTECCIONES ELECTRICAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS A LA TORRE Y CUARTO DE EQUIPOS”**

Presentada a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Por:

**Marco Michel Manzur Espinoza**

**Erika Soraya Medina Enriquez**

**Gina Mabel Burgos Acosta**

**Adrian Manuel Avilés Avilés**

**Marcelo Alejandro Luque Espinoza**

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el Título de:

*INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES*

**Mención en Gestión Empresarial**

**Miembros del Tribunal**

---

**Ing. Héctor Cedeño A.**

**Decano de la Facultad**

---

Ing. Pedro Tutiven López

**Director de Carrera**

---

Ing. Orlando Philco Asqui

**Director de Tesis**

---

Dr. Kléber López Parrales

**Coordinador Administrativo**

---

Ing. Víctor del Valle Ramos

**Coordinador Académico**

## **AGRADECIMIENTO**

En la realización de este trabajo colaboraron muchas personas, quienes con sus ideas, tiempo y ayuda enriquecieron las diferentes fases de la investigación.

En primer lugar deseamos agradecer el apoyo del Ing. Orlando Philco por sus acertadas sugerencias al proyecto y al texto. Así mismo, queremos expresar nuestro más grande reconocimiento a las autoridades de la Facultad Técnica, en especial, al Decano Ing. Héctor Cedeño, al Director de la Carrera Ing. Pedro Tutiven, al Coordinador Académico Ing. Víctor del Valle y a todos los profesores por el acompañamiento y orientación constante.

Nuestra gratitud también a nuestros padres, madres, hermanos, y demás familiares que siempre estuvieron demostrando el aliento y apoyo necesario para luchar para conseguir nuestra meta, cual es la de ser profesionales en Ingeniería en Telecomunicaciones.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis esta dedicada a nuestros/as compañeros/as de la Facultad Técnica y a todos los estudiantes de otras facultades, que tengan como carrera las Telecomunicaciones; esta obra es el producto de un arduo trabajo de investigación y lo queremos dejar como evidencia para que sirva de consulta o apoyo pedagógico y referencia a los futuros profesionales y profesionales, de todo lo que se ha planteado, investigado e implementado.

A todos nuestros familiares, profesores y autoridades por su paciencia, apoyo incondicional y consejos, a todos ellos, esta dedicado esta tesis.

## **RESUMEN**

La presente tesis es el desarrollo y propuesta para el estudio y cuantificación de las pérdidas de paquetes transmitido en la señal de internet que va desde la Facultad Técnico hasta la finca Limoncito, además el diseño e implementación de protecciones contra rayos, luz de baliza y sistemas apropiados de tierra a la torre de telecomunicaciones y cuarto de equipo que están ubicados en la finca limoncito. En el capítulo 1, se presenta el diseño de la investigación, en el capítulo 2 se da el marco teórico del presupuesto de potencia para un enlace en la banda 802.11 a, en el capítulo 3, conociendo y aplicando métodos pasivos y activos de transporte de paquete extremo a extremo, se mide la pérdida de paquetes, finalmente por medio de un software libre se realiza la toma de muestras y se verifica resultados.

El capítulo 4 y 5 detallan los fundamentos para aterrizar torres de telecomunicaciones y cuarto de equipos, se implementa pararrayos, baliza, rack y un backup de energía en caso de suspensión eléctrica con el fin de que no se interrumpa el normal funcionamiento de los enlaces de voz y datos existente en el lugar. Se anexa un sencillo manual para mantenimiento de sistemas de tierra con 3 electrodos.

## INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
INTRODUCCION.....	1

### **CAPITULO I**

#### **ESTUDIO Y DISEÑO PARA MEJORAR EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE UCSG Y LIMONCITO**

1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Hipótesis.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3

### **CAPITULO II**

#### **MARCO TEORICO DE LA TRANSMISION Y RECEPCION DE PAQUETES EN ESTANDAR 802.11a**

2.1 Modulación en Banda de 5.8 GHZ.....	5
2.2 Desempeño de una Red.....	8
2.3 Velocidad de Transmisión en 5.8 GHZ.....	10
2.3.1 Presupuesto de Potencia en Enlaces a Distancias.....	10
2.3.2 Consideraciones en Espacio Libre.....	12
2.3.3 Consideraciones por Radiación Solar.....	13

2.4 Realización del Perfil Topográfico en Enlaces Inalámbricos.....	14
2.4.1 Cálculo de primera Zona de Fresnel.....	14
2.4.2 Cálculo de Potencia Recibida.....	15

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACION PARA CALCULAR PERDIDAS EN PAQUETES TRANSMITIDOS Y/O RECIBIDOS**

3.1 Antecedentes.....	20
3.1.1 Descripción Teórica de Métodos para Calcular pérdidas de Paquetes en el Enlace de Internet.....	21
3.2 Métodos de Cálculos con Medidas Activas y Medidas Pasivas.....	24
3.2.1 Medidas Activas.....	24
3.2.2 Medidas Pasivas.....	25
3.3 One-Way Delay, Round Trip Time Delay y Jitter.....	27
3.4 One-Way Delay (OWD).....	28
3.5 Round Trip Time Delay (RTT).....	30
3.6 Jitter.....	32
3.7 Herramientas y Métodos para Medir el Retardo.....	33
3.7.1 Ping.....	33
3.7.2 Traceroute.....	35
3.7.3 Netperf.....	38
3.7.4 SNMP.....	38
3.7.5 Netflow e IPFIX.....	41
3.7.6 IPMP.....	43
3.8 Determinar el Cálculo de Retardo en el Enlace.....	44

3.8.1 Herramientas Experimentales.....	45
3.9 Planificación de Experimentos con TCPDUMP.....	47
3.10 Resultados.....	48
3.10.1 Escenario Tramo 2: Cerro Azul y Limoncito.....	48
3.11 Validación de los Resultados Obtenidos en Muestras.....	51

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS Y SISTEMA DE TIERRA A TORRE DE LIMONCITO**

4.1 Inspección de la Torre en Limoncito.....	54
4.2 Clasificación de Pararrayos.....	56
4.3 Pararrayos Tipo Dipolo “Parres”.....	60
4.3.1 Principio de Funcionamiento.....	61
4.4 Armado de 2 Segmentos para dar mayor Altura a la Torre de Telecomunicaciones en Limoncito.....	64
4.5 Instalación de Pararrayo en la Torre.....	65
4.6 Resistividad del Terreno y Electrodo de Puesta a Tierra.....	68
4.6.1 Resistividad de los Suelos.....	70
4.6.2 Conexión exotérmica Cadweld.....	71
4.7 Medición de resistividad a tierra.....	72



## **CAPITULO V**

### **IMPLEMENTACIÓN DE ATERRIZAMIENTO, RACK Y PUESTA DE RESPALDO DE ENERGÍA AL CUARTO DE EQUIPOS DE LA FINCA LIMONCITO.....79**

5.1 Barra de aterrizamiento en cuarto de equipos.....80

5.2 Aterrizamiento del rack.....80

5.3 Aterrizamiento de equipos ubicados en racks.....80

5.4 Sistema de respaldo de energía a cuarto de equipos.....82

**CONCLUSIONES.....84**

**RECOMENDACIONES.....86**

**BIBLIOGRAFIA.....87**

**Anexo 1.....88**

Mantenimiento del Sistema de Puesta a Tierra a Torre de Telecomunicaciones en Finca Limoncito

**Anexo 2.....91**

Presupuesto de la implementación

**Anexo 3.....92**

Cálculo de la resistividad del terreno método de wenner 3 electrodos

### **INDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1.....7

Figura 2.2.....7

Figura 2.3.....8

Figura 2.4.....10

Figura 3.1.....22

Figura 3.2.....	23
Figura 3.3.....	27
Figura 3.4.....	28
Figura 3.5.....	34
Figura 3.6.....	36
Figura 3.7.....	37
Figura 3.8.....	41
Figura 3.9.....	49
Figura 3.10.....	50
Figura 3.11.....	52
Figura 4.1.....	54
Figura 4.2.....	55
Figura 4.3.....	56
Figura 4.4.....	60
Figura 4.5.....	61
Figura 4.6.....	62
Figura 4.7.....	63
Figura 4.8.....	64
Figura 4.9.....	65
Figura 4.10.....	66
Figura 4.11.....	67
Figura 4.12.....	69
Figura 4.13.....	70
Figura 4.14.....	71
Figura 4.15.....	72

Figura 4.16.....	73
Figura 4.17.....	74
Figura 4.18.....	75
Figura 4.19 y 4.20.....	76
Figura 4.21 y 4.22.....	77
Figura 4.23 y 4.24.....	78
Figura 5.1.....	79
Figura 5.2.....	81
Figura 5.3.....	82

## INTRODUCCION

El estudio es para mejorar el radioenlace que existe entre la Facultad Técnica para el desarrollo y la finca Limoncito, se puede decir que resultó exitoso el diseño e implementación del enlace antes mencionado hace año y medio atrás, con la utilización de 2 equipos repetidores que amplifican y repiten la señal fué posible realizar la conectividad entre la UCSG y la finca Limoncito. Realizar un estudio para mejorar y potencializar el radioenlace es un diseño de telecomunicaciones muy fundamental para la calidad del acceso a internet en la finca Limoncito.

El radio enlace se ve afectado por varios factores entre ellos, distancia entre el transmisor y/o repetidor y equipo receptor, también el clima siempre cambiante, el tramo mas importante del radio enlace es entre el repetidor de Cerro azul y la finca Limoncito. En la finca se procede a diseñar las mejoras para que la señal de internet pueda ser de mayor recepción, el estudio contempla hacer modelados en el estándar 802.11a/g realizar la implementación de dar mayor longitud a la torre que esta actualmente en la finca como de mejoras de protección a equipos que contiene el cuarto de equipos.

Se hará un diseño para dar mayor longitud a la torre existente, además de que se implementará un completo sistema de protecciones contra descargas atmosféricas, puesta a tierra basado en análisis del suelo en el sector.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Lenta conectividad del radioenlace entre la Facultad Técnica y la finca Limoncito que culminan en una conexión parsimoniosa a Internet. Daños irreversibles que ocurren en equipos electrónicos, estructuras y hasta en las mismas personas que son ocasionadas por descargas atmosféricas impredecibles. Reconocer que el sistema de tierra que existe hoy en la torre de Limoncito, debe ser mejorado.

## **1.2 JUSTIFICACION**

Monitorear la calidad de enlace, reporte y análisis cuantitativo del ancho de banda y optimizar la relación de cantidad de bits erróneos recibidos respecto del total transmitido o BER (Bit Error Rate) en el receptor ubicado en la finca Limoncito mejora y potencializa el radioenlace de internet. Dar mayor longitud a la torre ventada existente agregando sistema de pararrayo, luz baliza etc. es dar seguridad primeramente a estudiantes de la Facultad de Técnica, como también prevenir gastos económicos en equipos por la eventual caída de un rayo en el sector rural de Limoncito.

## **1.3 HIPOTESIS**

El estudio corresponde a mejorar los porcentajes de los intentos de conexión que culminan en una conexión exitosa a Internet durante un periodo de tiempo determinado. No habrá lentitud en la conexión y siempre será con un nivel de receptabilidad óptimo, la implementación de un adecuado y profesional sistema de tierra, como la puesta de para rayos y otros dispositivos más evitará siniestros por la aleatoria e impredecible aparición de descargas eléctricas en la torre y en el cuarto de equipos de Limoncito.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar el estudio para mejorar el sistema de comunicaciones entre la Facultad Técnica y la finca Limoncito así como el diseño e implementación de protecciones contra descargas atmosféricas en el sector.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Investigar en base a métodos activos y pasivos de cálculo las pérdidas del receptor de internet la finca Limoncito.
2. Realizar pruebas y análisis para la mejora de señal de internet para la rehabilitación total del radioenlace de internet hacia Limoncito.
3. Diseñar e implementar un sistema de protecciones contra descargas atmosféricas, señalizaciones con baliza, escaleras para la torre de Limoncito
4. Adecuación técnica del cuarto de equipos con rack, sistema backup, con paredes y piso de cerámica.

## CAPITULO 2

### MARCO TEORICO DE LA TRANSMISION Y RECEPCION DE PAQUETES EN ESTANDAR 802.11a

Esta especificación se diseñó para funcionar en la banda de 5 GHz de la Infraestructura sin Licencias para la Información Nacional (UNII)<sup>1</sup>. A diferencia de 802.11b, el estándar 802.11a surge de la tecnología tradicional de espectro ensanchado y en su lugar utiliza un esquema de multiplexación por división de frecuencia que se pretenda sea más amigable en los entornos de oficina.

La banda 5.8 GHz pertenece al conjunto de bandas denominadas ISM (Industrial, Científica y Médica), por lo que no se necesita de una licencia para su operación. Esto, podría representar una desventaja debido a la interferencia con señales internas o externas al sistema, por lo cual el desarrollo de una aplicación rápida, es con implementación de un sistema de modulación OFDM<sup>2</sup> (adaptiva) que consiste en escoger la modulación de más alto orden de acuerdo a la calidad del enlace, además posee un sistema de encriptación AES128<sup>3</sup>, lo que lo convierte en un sistema óptimo y confiable.

Bates (2003) [1] considera que el estándar 802.11a, que soporta velocidades de hasta 54 Mbps, es el Fast-Ethernet análogo para 802.11b, que soporta tasa de datos de hasta 11 Mbps. 802.11a y 802.11b usan un control de acceso al medio idéntico. Sin embargo, 802.11a utiliza un esquema de codificación en la capa física completamente diferente, se trata de la Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia (OFDM).

---

<sup>1</sup> Unlicensed National Information Infrastructure; A 5 GHz con 3 sub bandas, utilizada por 802.11a

<sup>2</sup> Conjunto de portadoras en diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

<sup>3</sup> Advanced Encryption Standard; Este algoritmo es capaz de utilizar claves de cifrado de 128, 192 y 256 bits

El estándar 802.11a se diseña para funcionar el rango de frecuencias de 5 GHz. La FCC adjudicó 300 MHz del espectro para operar sin licencia en el bloque de 5 GHz, asignando 200 MHz para la banda 5,15 a 5,35 GHz, y 300 MHz para la banda 5,725 a 5,825 GHz

## **2.1 MODULACION EN BANDA DE 5.8 GHZ**

La modulación de los equipos transceptores que operan en esta banda son mayormente en OFDM, y éste es un método de modulación digital en el cual cada señal se separa en varios canales de banda estrecha a diferentes frecuencias. En algunos aspectos, el OFDM es similar a la multiplexación por división de frecuencia tradicional (FDM), con la diferencia básica siendo la forma en que las señales se modulan y remodulan. La prioridad se le da a la minimización de interferencia o cruce entre los canales y símbolos en flujo de datos. Se le da menos importancia al perfeccionamiento de los canales individuales. La tecnología se presta para el envío de señales de televisión digital, y también se está considerando como una forma de obtener transmisión de datos a alta velocidad sobre las líneas convencionales de teléfono.

El éxito en la generación de las subportadoras se da en el cuidado que se tenga al controlar la ortogonalidad entre todas las subportadoras. El ancho de banda de la señal resultante es función de la velocidad de la señal de entrada y del esquema de modulación digital empleado, ya sea este BPSK<sup>4</sup>, QPSK<sup>5</sup> o QAM<sup>6</sup>. Esta operación puede ser realizada en forma eficiente y sencilla utilizando IFFT (Inverse Fast Fourier Transform).

---

<sup>4</sup> Binary Phase Shift Keying; Técnica de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos (2 fases)

<sup>5</sup> Quadrature Phase Shift Keying; La señal se envía en cuatro fases, 45, 135, 225, y 315 grados,

<sup>6</sup> Quadrature Amplitude Modulation: Modula por desplazamiento en Amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90°

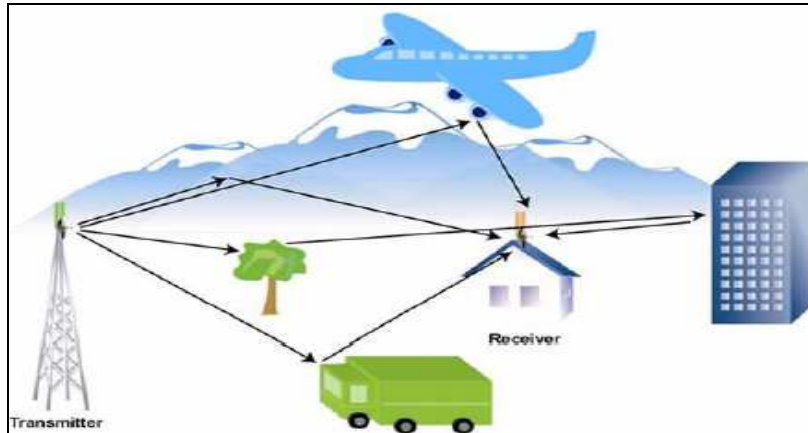


Es decir, es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia. Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina COFDM, del inglés Coded OFDM. Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equi-espaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT<sup>7</sup> y la DFT respectivamente. En OFDM, un único transmisor transmite en muchas frecuencias ortogonales (independientes) diferentes (típicamente docenas de cientos).

La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto. Ver figura 2.1 que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente al desvanecimiento debido a las condiciones meteorológicas y frente a las interferencias de radio frecuencia. Mejora el problema de interferencia multi camino, aumentando la eficiencia y optimizando el aprovechamiento del ancho de banda disponible. Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.

---

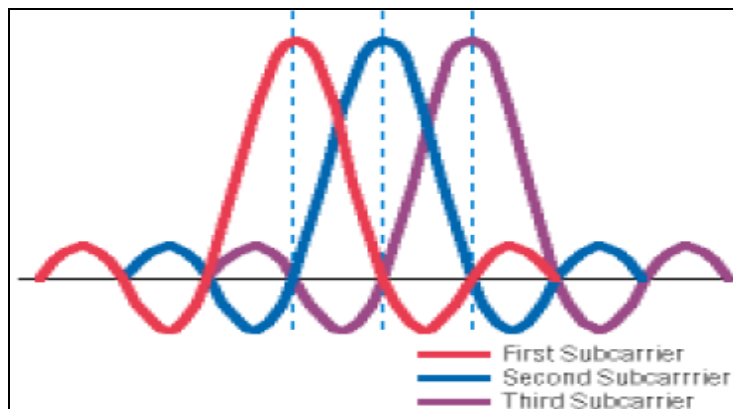
<sup>7</sup> Transformada discreta de Fourier inversa



**Figura 2.1 Robustez con OFDM**

**Fuente:** [www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream](http://www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream)

OFDM combina múltiples canales dentro de un solo canal con señales solapadas, esto permite obtener un mayor throughput<sup>8</sup> con menos requerimiento de ancho de banda.

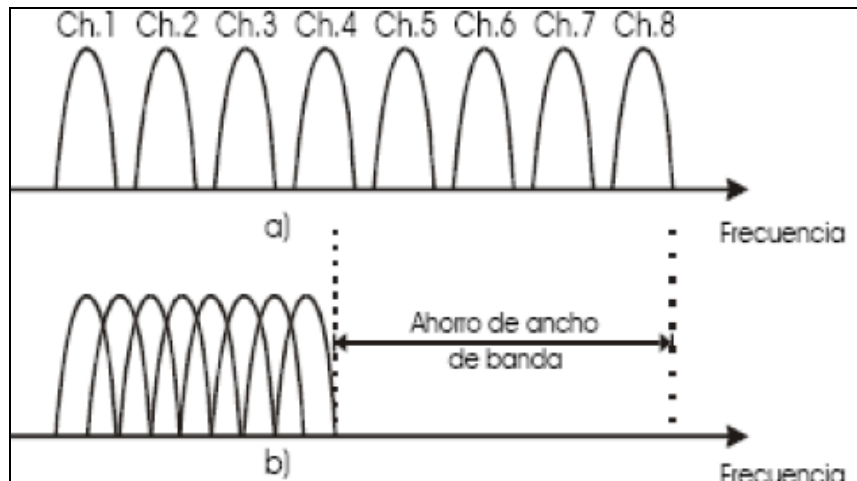


**Figura 2.2 Solapamiento de señales con OFDM**

**Fuente:** [www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream](http://www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream)

---

<sup>8</sup> Volumen de datos que fluye a través de un sistema o red.



**Figura 2.3 Técnica multi portadora convencional, b) Modulación OFDM**

**Fuente:** [www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream](http://www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream)

## 2.2 DESEMPEÑO DE UNA RED

El desempeño de una red se mide mediante tres parámetros:

1. El throughput,
2. La latencia (también llamada delay) y
3. El porcentaje de paquetes perdidos.

El throughput o rendimiento de una red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto periodo de tiempo.

El throughput es un término comúnmente utilizado en ámbitos de telecomunicaciones aunque recibe múltiples definiciones según el entorno o aplicación.

Típicamente se define como medida de la tasa de transferencia de datos a través de un sistema de comunicaciones. Por lo tanto, las unidades del throughput son bits por segundo o bytes por segundo.

En sistemas de comunicaciones donde el canal debe ser compartido por diversos usuarios, el throughput es uno de los parámetros más relevantes en la medida de la eficiencia de un sistema.

En un entorno WLAN<sup>9</sup> con, la eficiencia global del sistema en términos de throughput dependerá de la relación entre los intervalos destinados a la transmisión de datos (slot de datos) y los destinados a tráfico de control (principalmente, períodos de contención y paquete de downlink<sup>10</sup>). Por lo tanto, cuanto mayor sean los paquetes transmitidos en el slot de datos y menor sean los intervalos destinados a tráfico de control, mayor será el throughput.

La segunda métrica de desempeño, la latencia, corresponde al tiempo que le toma a un mensaje viajar de un extremo de la red al otro. La latencia es medida estrictamente en términos de tiempo.

Existen muchas situaciones donde es más importante saber cuánto tiempo se gasta enviando un mensaje desde un extremo de la red al otro y que regrese (tiempo del viaje de ida y vuelta), antes que sólo conocer la latencia de ida. Este tiempo se denomina RTT (Round-Trip Time) de la red.

Se define entonces la latencia, o el retardo de un mensaje, como el intervalo de tiempo transcurrido desde que un mensaje es generado por un nodo hasta que es recibido correctamente por el otro.

El porcentaje de paquetes perdidos o pérdida de paquetes, es la cantidad (porcentaje) de paquetes que se pierden en la transmisión de los mismos, desde una estación origen hasta la estación destino.

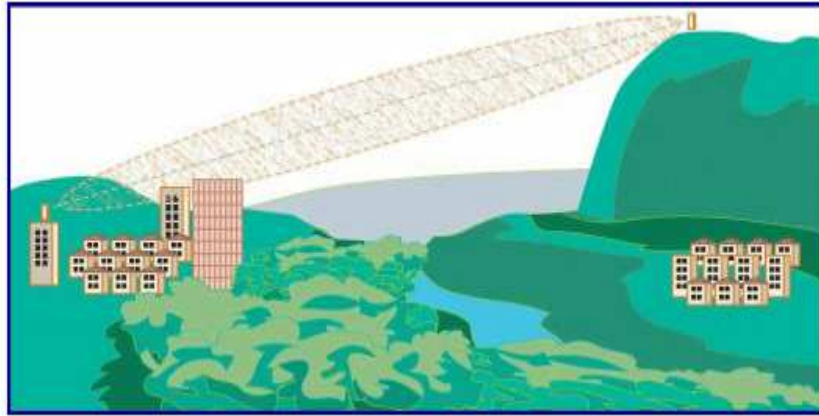
### **2.3 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN EN 5.8 GHZ**

En teoría la mayor velocidad de transmisión que alcanza el estándar 802.11a es de 54Mbps, aunque 802.11n supera hasta 3 veces más su velocidad. Aun así siempre es importante mantener la línea de vista entre los transceptores. Ver figura 2.4

---

<sup>9</sup> Wireless Local Area Network; es un sistema de comunicación de datos inalámbrico

<sup>10</sup>Enlace o conexión de bajada



**Figura 2.4 Enlace con Línea de Vista (LOS)**

**Fuente:** [www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream](http://www.bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream)

Cuando se trata de realizar mediciones, los parámetros tomados en consideración para la instalación de las estaciones de usuarios o repetidores serán: la relación señal a ruido y la intensidad de la señal recibida.

Con los resultados de estos parámetros se determina la posibilidad de un radio enlace, debido a que hay sectores donde los obstáculos, sean cerros, árboles, edificios etc. Un presupuesto de potencia puede ser deficiente o mejor dicho se vera afectada la operación del radio enlace.

### **2.3.1 PRESUPUESTO DE POTENCIA EN ENLACES A DISTANCIAS**

Son cinco las áreas que hay que modificar en los dispositivos 802.11a para aplicarlos a larga distancia: mejorar el presupuesto de potencia, aumentar la ganancia de las antenas, disminuir las pérdidas en los cables de antena, mejorar la sensibilidad del receptor y tomar en cuenta el efecto del tiempo de propagación de las señales de radio que es de 33, 3 microsegundos por kilometro. Si se observa la figura 2.5 donde se muestra la potencia versus la trayectoria en un radioenlace concluimos que para llegar al receptor con un margen adecuado podemos modificar cualquiera de los siguientes factores:

- 1) Aumentar la potencia de transmisión
- 2) Aumentar la ganancia de las antenas

3) Disminuir las pérdidas en los cables de antena

4) Mejorar la sensibilidad del receptor

Se debe hacer mención a las pérdidas por absorción debida a la lluvia.

Estas pérdidas son muy pequeñas en la banda de 2,4 GHz y se pueden considerar despreciables. Son un poco mayores a 5 GHz.

La atenuación en el trayecto se puede estimar dibujando un perfil de la trayectoria, considerando la curvatura de la tierra y determinando las alturas de las antenas lo suficiente para que la primera zona de Fresnel tenga un despeje de por lo menos un 60%. En casi todos los casos se puede tolerar algunas pérdidas por obstrucción, esto es, no siempre se necesita 60% de despeje si corresponde a una trayectoria rasante. Algunos radio enlaces pueden operar en trayectoria rasante si el margen de desvanecimiento es suficiente para recuperar la señal y soportar la atenuación debida a los cambios atmosféricos.

Aumentar la potencia de transmisión puede llevarnos a violar las normas vigentes en el país. Se recuerda que por operar en bandas sin licencia su nivel de potencia es menos de 1 vatio. Aumentar la ganancia de las antenas es, con mucho, la forma más efectiva para mejorar el alcance.

Para ello, el requisito más importante es que el radio a utilizar este dotado de conectores que permitan utilizar una antena externa. En la unidad de antenas y cables se detalla como seleccionar las antenas y cables adecuados para cumplir con los requisitos.

Disminuir las pérdidas en los cables de antena sigue siendo importante, y la manera más fácil de conseguirlo es colocar el radio en el exterior, pegado de la antena, para lo cual

se requiere una caja a prueba de intemperie y, posiblemente, suministrar la energía al radio mediante la técnica de PoE<sup>11</sup> (Power over Ethernet).

Mejorar la sensibilidad del receptor significa escoger un modelo que tenga mejores prestaciones o conformarse con trabajar a velocidades de transmisión más bajas, donde la sensibilidad es mejor.

### **2.3.2 CONSIDERACIONES EN ESPACIO LIBRE**

Los ejemplos mostrados son a la frecuencia de 2,4 GHz. Sin embargo los mismos conceptos se aplican a los enlaces en la banda de 5 GHz, donde la probabilidad de interferencia es menor.

Es factible y útil hacer simulaciones con el Radio Mobile para comparar los resultados en ambas bandas.

Los efectos a considerar son:

- 1) En el pasado era difícil conseguir dispositivos 802.11a con conectores para antena externa. Hoy en día ya se consiguen de varios fabricantes.
- 2) Las pérdidas en el espacio libre son unos 6 dB<sup>12</sup> mayores en la banda de 5 GHz respecto a la banda de 2,4 GHz. Sin embargo, para la misma dimensión, una antena a 5 GHz tendrá 6 dB más de ganancia que una a 2,4 GHz. Si sustituye la antena en ambos extremos obtendrá un incremento neto de 6 dB en el presupuesto del enlace.
- 3) El tamaño de la zona de Fresnel es menor a 5 GHz por lo que podrá usar mástiles más bajos sobre la misma trayectoria.
- 4) Las pérdidas en los cables de antena son mayores a 5 GHz. Se debe cuidar este aspecto lo más corto posible. La absorción en árboles y la debida a la lluvia también es mayor en esta banda.

### **2.3.3 CONSIDERACIONES POR RADIACIÓN SOLAR**

---

<sup>11</sup> Alimentación eléctrica a una infraestructura LAN estándar a través del cable de red

<sup>12</sup> Unidad de medida utilizada para el niveles de potencia y el niveles de intensidad del ruido

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol que alcanzan la superficie de la Tierra. Éstas van desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La unidad práctica que describe la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia<sup>13</sup>, o unidad de potencia por metro cuadrado [w/m<sup>2</sup>].

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones.

El instrumento que mide la radiación solar (radiación global) recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre, se llama Piranómetro<sup>14</sup>. El principio de funcionamiento de este instrumento es a través de termocuplas, las cuales al calentarse producto de la radiación del Sol, emiten una pequeña fuerza electromotriz (fem, tensión o mili voltaje) pudiendo ser medidas por algún otro instrumento (integrador o datalogger<sup>15</sup>). Para obtener la potencia en Watt/m<sup>2</sup>, se multiplica la tensión entregada por el piranómetro por una constante del instrumento.

---

<sup>13</sup> Magnitud utilizada para describir la Potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

<sup>14</sup> Mide de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra.

<sup>15</sup> Dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo



## 2.4 REALIZACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO EN ENLACES INALAMBRICOS

El perfil topográfico permite verificar la línea de vista que se tiene entre una antena y otra. Para obtener estos datos se realizará un levantamiento topográfico, mapas con curvas de nivel o mapas digitales.

En este caso se utilizará el software “Radio Mobile” que permite obtener un perfil topográfico de los puntos a enlazar y ayuda en el cálculo de la “zona de fresnel”<sup>16</sup>.

### 2.4.1 CÁLCULO DE PRIMERA ZONA DE FRESNEL

La primera zona de Fresnel permite establecer la condición de visibilidad entre las antenas, de forma que no existan obstáculos. Esto considera que la trayectoria no ha sido obstruida, por el contrario, de existir se tendría una pérdida en la potencia recibida.

La energía debe estar concentrada cerca del rayo directo, de existir una obstrucción menor al 40% de la zona de Fresnel, se consideraría que no contribuye significativamente a la atenuación por difracción.

La forma para calcular es la siguiente:

$$\begin{aligned} R1 &= \sqrt{\lambda \frac{d1 * d2}{d}} \\ \lambda &= \frac{c}{f} \\ R1 &= \sqrt{\frac{c * d1 * d2}{f * d}} \end{aligned}$$

Donde:

R1 = radio de la primera zona de Fresnel (m).

d1 = distancia a un extremo del trayecto y el obstáculo (m)

d2 = distancia entre el receptor y el obstáculo. (m)

---

<sup>16</sup> Volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

f = frecuencia (HZ).

El radio máximo se da cuando d1= d2, entonces la expresión se tiene como:

$$R1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c \cdot d}{f}}$$
$$R1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot 2700 \text{ m}}{5.740 \text{ GHZ}}}$$
$$R1 = 5.93 \text{ m}$$

La zona prohibida es  $0.6 \cdot 5.93 = 3.558 \text{ m}$ .

#### 2.4.2 CALCULO DE POTENCIA RECIBIDA.

Para calcular la potencia recibida se utiliza la siguiente ecuación:

Donde:

$$Pr = Pt + Gt + Gr - Lp - Lf - Lb$$

Pt = Potencia del transmisor.

Gt = Ganancia del transmisor.

Gr = Ganancia del Receptor.

Lp = Pérdida por trayectoria en el espacio libre

Lf = Pérdida del alimentador de guías de onda

Lb = Pérdida total de acoplamiento.

Cálculo de pérdida por trayectoria en el espacio libre

$$Lp = 92.4 + 20 \log (f) + 20 \log (d)$$

Donde:

f = frecuencia [GHZ]

d = distancia [Km.].

$Lp = 92.4 + 20 \log (5.740) + 20 \log (2700)$

$Lp = 116.21 \text{ dB}$

$$L_p = 92.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_p - L_f - L_b$$

Pérdida en el alimentador de guías de onda: Es la pérdida en los cables (pigtailes), según el fabricante indica que en un cable LM400 es 0.22 dB/m o si se utiliza RG-58 es 1 dB/m. En este caso se tomará el extremo que es 1 dB/m y la longitud del cable máximo 1 m.

La pérdida en los conectores y acopladores es de 0.1 a 0.5 dB, en total se tiene:

$$2 * 0.5 \text{ dB} = 1 \text{ dB}$$

Con los valores obtenidos se realiza el cálculo de la potencia en el receptor.

$$P_r = 15 \text{ dBm} + 20 \text{ dB} + 20 \text{ dB} - 116.21 \text{ dB} - 1 \text{ dB} - 1 \text{ dB}$$

$$P_r = -63.21 \text{ dBm.}$$

Cálculo de margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento permite relacionar con la confiabilidad del enlace, para obtener este dato se utiliza la fórmula de Bamett-Vigant:

$$FM = 30 \log d + 10 \log(6 * ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

FM= Margen de desvanecimiento. [dB]

1-R=0.00001\*d/400 Objetivo de confiabilidad

d=Longitud de del trayecto [Km]

A=Factor de rugosidad:

4, si es terreno plano o agua

1, para un terreno promedio.

0.25, para un terreno rugoso.

B= Factor climático:

0.5 zonas calientes y húmedas.

0.25, zonas intermedias.

0.125, para áreas montañosas o muy secas.

f=frecuencia [HZ].

El margen de desvanecimiento es un factor de amortiguamiento en la ecuación de ganancia del sistema ( $G_s = P_t - P_r$ ) que considera condiciones no ideales y que son difíciles de predecir, así como la propagación por múltiples trayectorias, sensibilidad a superficies rocosas, cambios climáticos, como son la temperatura y la humedad.

Para el cálculo se asumirá que  $A=0.25$  y  $B=0.25$  y se considerará un objetivo de confiabilidad del  $99.999\% = (1-R)$ .

$$FM = 30 \log(2.7) + 10 \log 6(0.25 * 0.25 * 5.740) - 10 \log \frac{0.00001 * 2.7}{400} - 70$$

FM=10.19dB.

Ahora se calculará la potencia recibida ( $P_r'$ ) pero se incluye el margen de confiabilidad:

$$P_r' = P_r - FM$$

$$P_r' = -63.21 \text{ dBm} - 10.19 \text{ dB.}$$

$$P_r' = -73.41 \text{ dBm.}$$

Si se toma en cuenta que la sensibilidad promedio de un equipo está en  $-80 \text{ dBm}$ , se tiene que la potencia recibida luego de incluir el margen de desvanecimiento está dentro de los parámetros aceptables.

Restaría realizar el cálculo de la confiabilidad:

$$T_f = (1 - 0.99999) * 365 \text{ días} * 24 \text{ horas}$$

$$T_f = 0.0876 \text{ horas/año.}$$

Los datos obtenidos permiten definir las características de los equipos que se debe adquirir y se detalla a continuación:

Potencia del transmisor =  $15 \text{ dBm}$

Sensibilidad = -73.21 dBm.

Ganancia de las antenas = 20 dBi

Frecuencia de trabajo = 5.740 GHz.

La capacidad del enlace, tomando en cuenta la sensibilidad de los equipos, indica que se encuentra en el rango de 6 Mbps a 54 Mbps cuando la sensibilidad está entre - 108 dBm y - 86 dBm respectivamente.

Tomando en cuenta los cálculos para enlazar con internet aproximadamente 49 Km desde la Facultad Técnica hacia Limoncito, se verifica los resultados de transmisión de paquetes en la Facultad Técnica y la pérdida en trayecto al receptor de parte del equipo ubicado en Limoncito. El siguiente capítulo aplica técnicas para calcular las pérdidas de paquetes del enlace a 5,8 GHz.

## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACION PARA CALCULAR PERDIDAS EN PAQUETES TRANSMITIDOS Y/O RECIBIDOS**

#### **3.1 ANTECEDENTES**

El Radioenlace de internet desde la Facultad Técnica a Limoncito tiene 2 tramos importantes en cada uno de ellos esta un equipo repetidor, este empieza conectando el cuarto de equipos en la Faculta técnica, allí en el rack esta un switch provisto por Centro de Computo, del cual se tiene un puerto y dirección de IP (Protocolo Internet), desde allí se hace un enlace hacia la Torre de Arquitectura, se recuerda que la UCSG esta rodeado de cerros y la forma de salir hasta el cerro azul es con la ayuda de 40 metro que esta en el cerro de Arquitectura.

El tramo 1 es desde la Universidad Católica, Facultad de Arquitectura (UCSG) hasta la torre donde esta el repetidor-2 (Cerro Azul).

El tramo 2 es desde la reptidora-2 hasta la antena de la fina Limoncito.

Para realizar los cálculos de la perdida de paquetes transmitidos y recibidos, se debe conocer concepto de latencia, de ancho de banda disponible (dado por Centro de Computo-UCSG), el jitter y la probabilidad de reordenación de paquetes como perfil de la prestación de red entre dos puntos finales, así como las características de la red, es posible hacer una experimentación empírica o predicción razonable en relación a la prestación del radioenlace.

Dados estos indicadores de prestaciones, el siguiente paso es determinar como esos indicadores pueden ser medidos y cómo las medidas resultantes pueden ser interpretadas.

### **3.1.1 DESCRIPCION TEORICA DE METODOS PARA CALCULAR PERDIDAS DE PAQUETES EN EL ENLACE DE INTERNET**

Hay dos tipos básicos de acercarse a esta tarea; una es recoger información de gestión desde elementos activos en la red usando un protocolo de gestión y con esta información realizar algunas inferencias o deducciones sobre las prestaciones de la red. Esto puede ser determinado mediante técnicas “pasivas”, que intentan medir las características de la red sin perturbar su operación. La segunda aproximación es usar métodos “activos” e introducir tráfico de prueba en la red y medir sus prestaciones de alguna manera.

Los principales parámetros que se suelen medir en relación al retardo son: One-Way Delay<sup>17</sup> (OWD), Round Trip Time Delay (RTTD)<sup>18</sup> y Jitter<sup>19</sup>.

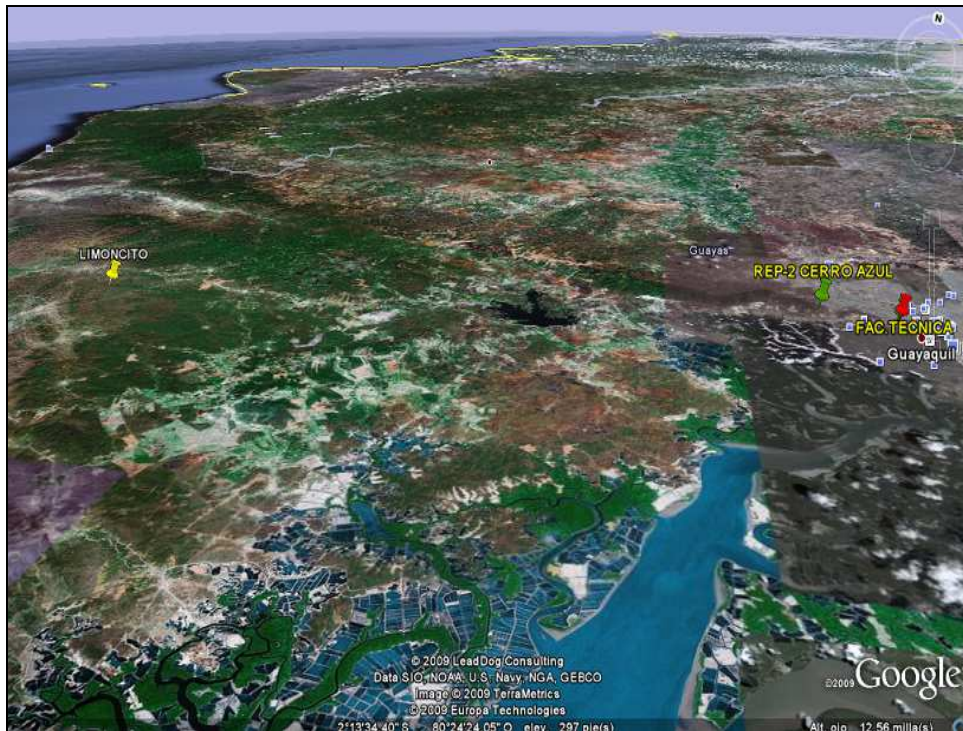
En la figura 3.1 mediante el software Google Earth se diferencia los puntos donde están los repetidores mencionados. Sus coordenadas son las siguientes:

---

<sup>17</sup> OWD; Retardo de una vía, Parámetro para medir el servicio de calidad de datos

<sup>18</sup> RTTD; Calcula tiempo que tarda un paquete enviado desde un transmisor en volver a este mismo emisor habiendo pasado por el receptor de destino.

<sup>19</sup> Variabilidad temporal durante el envío de señales digitales, es una ligera desviación de la exactitud de la señal de reloj



**Figura 3.1 Mapa topográfico del enlace desde la Facultad Técnica hasta Limoncito**

**Fuente:** Software google Earth

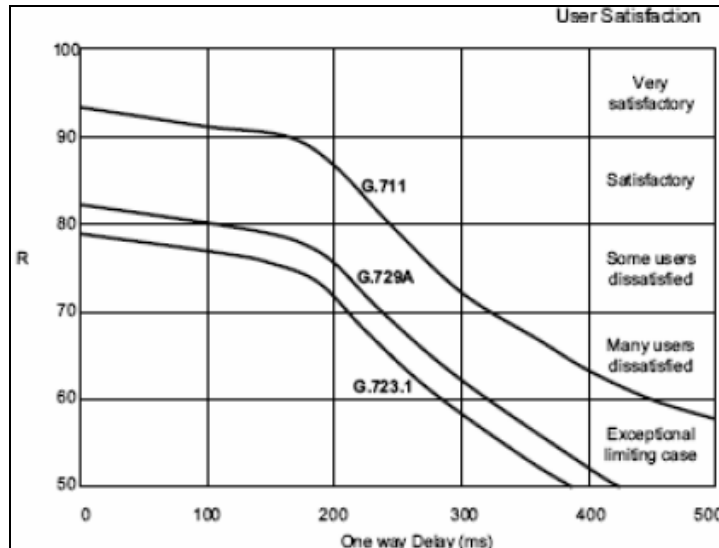
La norma ITU-T<sup>20</sup> G.114 hace una recomendación sobre el retardo one-way límite de 150 ms. También son usados otros modelos, como el modelo E<sup>21</sup>, para evaluar la calidad de la conversación en la transmisión extremo a extremo en las redes VoIP. La figura 3.2 muestra el modelo E, evaluando el parámetro R en categorías de calidad de transmisión en y satisfacción del usuario. R por debajo de 50 indica una calidad inaceptable. Todas las conexiones por debajo de R=70, sufrirán de una combinación entre distorsión y alto retardo. La región entre R=50 y R=70 abarca las categorías de “Muchos usuarios insatisfechos” y la de “Casi todos los usuarios insatisfechos”, obteniendo la calidad más baja.

<sup>20</sup> Unión Internacional de Telecomunicaciones.

<sup>21</sup> Recomendación de la ITU para determinación de índices de transmisión



Para una aceptable calidad, el límite inferior es  $R=70$ . La figura 3.2 ilustra el asunto comparando las curvas del mejor caso para tres populares códec IP (G.711, G.729A y G.723.1 son recomendaciones ITU-T).



**Figura 3.2 El modelo E**

**Fuente:** [www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP](http://www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP)

El retardo no afecta a la calidad de la conversación directamente, pero afecta al ritmo o carácter de la misma. Con valores por debajo de, la mayoría de los usuarios no aprecian el retardo, entre 100 ms y 300 ms, los usuarios notan una ligera duda en la respuesta de la otra persona. Por encima de 300 ms, el retardo es obvio entre los integrantes de una conversación y empiezan ceder el turno para hablar para prevenir interrupciones.

Podríamos seguir hablando de distintas aplicaciones que necesitan un retardo moderado para un correcto funcionamiento. Es por eso que, para los operadores de red, por ejemplo, es imprescindible tener un mecanismo de monitorización de la red para identificar problemas y ver cuál es el estado del servicio que se ofrece a los usuarios. Un usuario sin mucho conocimiento informático también puede utilizar herramientas sencillas para controlar el retardo de sus aplicaciones o de la red de acceso.

## **3.2 METODOS DE CALCULO CON MEDIDAS ACTIVAS Y MEDIDAS PASIVAS**

El tráfico que circula por Internet es generado por una amplia variedad de aplicaciones, las cuales tienen diferentes características y diferentes requerimientos de calidad. Entonces, las medidas de la calidad de servicio (QoS) y de las prestaciones son cruciales para controlar y gestionar el aprovisionamiento de las redes. Sin embargo, es difícil o caro medir estadísticas de QoS y prestaciones de cada flujo directamente. Recientemente, muchas herramientas de monitorización han sido desarrolladas para medir las prestaciones de la red y las medidas resultantes también han sido reportadas. En general, los esquemas convencionales de monitorización para medir la QoS y las prestaciones de la red, se clasifican en dos tipos: monitorización activa y monitorización pasiva.

### **3.2.1 MEDIDAS ACTIVAS**

La monitorización activa consiste en probar directamente las propiedades de la red generando el tráfico necesario para realizar la medida. Esto permite utilizar métodos de análisis mucho más directos, pero también presenta el problema de que el tráfico introducido puede tener un impacto negativo en las prestaciones recibidas por otros tipos de tráfico.

Hay varios métodos activos para medir prestaciones de red tales como el ancho de banda disponible, el retardo, las pérdidas y para estimar las características enlace por enlace. Monitorizan la QoS del flujo de paquetes prueba para determinar la QoS de los usuarios indirectamente. Esto implica que asumimos implícitamente que la QoS de un usuario es la misma que los valores medidos con los paquetes de prueba.

Analicemos un poco más las desventajas:

1. Si se utiliza un flujo de paquetes de prueba que simula el tráfico actual del usuario:
  - El flujo de paquetes de prueba produce una no despreciable cantidad de tráfico extra en la red y esto afecta a la QoS/prestaciones del tráfico de usuarios.
  - La QoS/prestaciones obtenidas de los paquetes de pruebas no es igual a la obtenida sin la influencia del flujo de paquetes de prueba.
2. Si se utiliza paquetes pequeños de prueba y los enviamos en ciertos intervalos, como ping:
  - El tráfico extra puede ser despreciable, pero la QoS/prestaciones obtenidas desde el paquete de prueba no es igual a las experimentadas por los usuarios, en general.
  - Puede ser catalogado como tráfico hostil o intento de ataque. Por ejemplo, algunos routers rechazan tráfico ICMP<sup>22</sup> o limitan su tasa, por si se trata de un intento de spoofing<sup>23</sup>, etc.

### 3.2.2 Medidas Pasivas

Las medidas pasivas dependen completamente de la presencia del tráfico apropiado en la red bajo estudio, y tiene la considerable ventaja de que pueden ser realizadas sin afectar al tráfico que lleva la red durante el período de medida. Sin embargo, puede ser mucho más difícil o imposible extraer alguna de la información deseada desde los datos disponibles.

La monitorización pasiva se puede clasificar en dos tipos: monitorización en dos puntos y monitorización en un punto.

**\*La monitorización en dos puntos** requiere dos dispositivos de medida desplegados en los puntos de acceso y salida de la red. Estos dispositivos, toman paquetes de datos de forma secuencial y los parámetros de prestaciones de la red como el retardo o las

---

<sup>22</sup> Protocolo de Mensajes de Control de Internet; Es el sub protocolo de control y notificación de errores del IP.

<sup>23</sup> Técnicas de suplantación de identidad generalmente con usos maliciosos o de investigación.

pérdidas pueden ser calculadas comparando los datos de los correspondientes paquetes tomados en cada punto. Si aplicamos la monitorización de dos puntos como medida de QoS/prestaciones:

- Todos los dispositivos deberían estar sincronizados en el tiempo.
- Requiere identificar cada paquete en los dos dispositivos por su cabecera y/o contenido. Este proceso de identificación puede ser tremendamente difícil cuando el volumen de paquetes es enorme, como en redes de gran escala, y este tipo de monitorización no es escalable.
- Para identificar los paquetes monitorizados, debemos recoger todos los paquetes de datos. Este proceso requiere un no despreciable ancho de banda.

\***La monitorización de un punto** usa el mecanismo de asentimiento de TCP<sup>24</sup>. Cuando se recibe un segmento TCP desde una fuente, se transmite un paquete de asentimiento para ese segmento. Entonces, monitorizando este par de paquetes en un punto de la red, podemos medir el retardo Round Trip Time entre ambos puntos. Los paquetes perdidos también pueden ser detectados de esta forma. Sin embargo, si se aplica este tipo de monitorización, las medidas están restringidas a flujos TCP.

Si conseguimos extraer la información de interés de las medidas realizadas, entonces esa información es “libre”, en el sentido de que no se ha necesitado introducir ningún tipo de tráfico para conseguirla, siendo además, más cercanas a las prestaciones que el usuario realmente recibe de la red, pues se trata de tráfico real.

### **3.3 ONE-WAY DELAY, ROUND TRIP TIME DELAY Y JITTER**

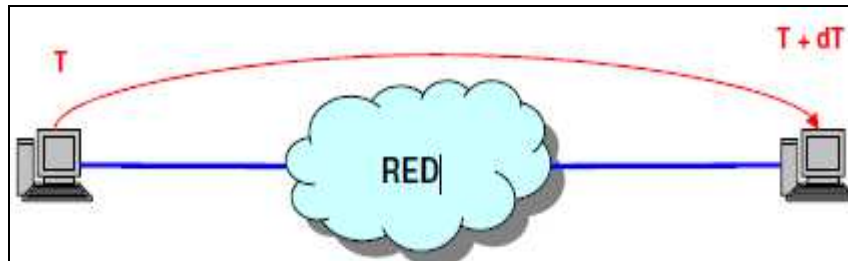
Antes de presentar herramientas para caracterizar el retardo, debemos dar algunas definiciones sobre los parámetros que normalmente se asocian a esta medida: One Way

---

<sup>24</sup> Transmission Control Protocol; Protocolos de la capa de transporte del modelo OSI

Delay, Round Trip Time Delay y la variación del retardo o jitter. Se da la definición general a cada parámetro.

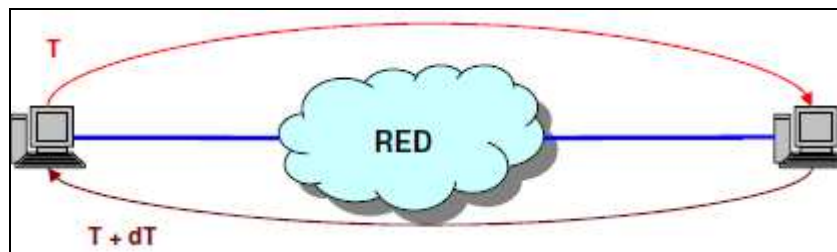
El **One-Way Delay** (figura 3.3) desde una fuente a un destino en el tiempo  $T$  es  $dT$  si la fuente envía el primer bit de un paquete al destino en el tiempo  $T$  y el destino recibe el último bit del paquete en el tiempo  $T + dT$



**Figura 3.3 One - Way Delay**

**Fuente:** [www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP](http://www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP)

El **Round Trip Time Delay** (figura 3.4) desde una fuente a un destino en el tiempo  $T$  es  $dT$  si la fuente envía el primer bit de un paquete en el tiempo  $T$ , el destino recibe el paquete e inmediatamente envía una respuesta hacia la fuente y el destino recibe el último bit del paquete respuesta en  $T + Dt$



**Figura 3.4 Round Trip Time Delay**

**Fuente:** [www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP](http://www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP)

Una definición de variación del retardo de paquetes IP (ipdv o jitter) puede ser dada para los paquetes dentro de un flujo. El jitter entre un par de paquetes dentro de un flujo desde un punto de medida origen a otro destino se define como la diferencia entre el one-way delay de los paquetes seleccionados.

### 3.4 ONE-WAY DELAY (OWD)

Según (Almes. 1999) el uso de del One-Way Delay en lugar del Round Trip Time Delay está motivado por los siguientes factores:

\*Actualmente en Internet el camino desde una fuente a un destino puede ser diferente que el camino desde el destino a la fuente “caminos asimétricos”, debido a diferentes secuencias de routers usados en sentidos. De hecho, la medida del Round Trip Time realmente mide las prestaciones de dos caminos distintos juntos. Midiendo cada camino independientemente se resalta la diferencia de prestaciones entre los dos caminos que pueden atravesar diferentes proveedores de Internet, y tener totalmente diferentes tipos de redes (por ejemplo, ATM<sup>25</sup> vs. paquetes sobre SONET<sup>26</sup>).

\*Aunque los dos caminos sean simétricos, pueden tener diferentes tipos de prestaciones debido al carácter asimétrico de las colas.

\*Las características de una aplicación puede depender en su mayor parte de las prestaciones en un sentido. Por ejemplo, una transferencia de archivos usando TCP puede depender más de las prestaciones del camino en el que fluyen los datos, más que en el sentido en que viajan los asentimientos.

\*En redes que proporcionan calidad de servicio (QoS), el aprovisionamiento en un sentido puede ser radicalmente distinto al del sentido inverso, y entonces la QoS es diferente. Midiendo ambos caminos independientemente permite verificar ambas garantías de calidad.

Como los valores de la latencia pueden ser a menudo tan pequeños como el rango desde 100 microsegundos hasta 10 milisegundos, es importante que la fuente y el destino

---

<sup>25</sup> Asynchronous Transfer Mode; Datos no es transmitido y conmutado a través de canales asignados sino que usa denominados canales virtuales y trayectos virtuales.

<sup>26</sup> Synchronous Optical Network; Estadar para el transporte de datos vía fibra óptica

estén muy bien sincronizados. Los sistemas GPS<sup>27</sup> ofrecen entre ambos extremos una sincronización desde decenas de segundos hasta microsegundos.

Una aplicación ordinaria de NTP<sup>28</sup> puede permitir una sincronización dentro de varios microsegundos, pero esto depende de la estabilidad y simetría de las propiedades de latencia entre los agentes NTP usados, y esta es la latencia que estamos intentando medir. Una combinación entre algunos servidores NTP basados en GPS y otro conjunto diseñados de forma conservadora de agentes NTP deberían dar buenos resultados.

Uno de los famosos problemas con el uso de GPS era que las computadoras están normalmente situadas dentro de habitaciones, y una señal GPS clara está normalmente disponible sólo en el tejado. Implementaciones posteriores han usado el reloj asociado con redes telefónicas móviles CDMA<sup>29</sup> como método para tener fuentes de reloj distribuidas, altamente precisas y sincronizadas, con la ventaja de que la señal de tiempo está normalmente disponible cerca del punto de medida.

La descripción de cualquier método específico de medida debería incluir un análisis de las fuentes de error e incertidumbre. Entre las más relevantes, en este caso cabe reseñar:

- Errores e incertidumbres debidas a los relojes de la fuente y el destino: Cualquier error en la sincronización entre los relojes de la fuente y el destino contribuirá al error de la medida de la latencia. Si conocemos el valor exacto de dicho error, deberíamos corregir la medida.
- La resolución de un reloj añade incertidumbre sobre cualquier medida realizada con él. Así, si el reloj de la fuente tiene una resolución de 10 ms, entonces añade 10 ms

---

<sup>27</sup> Global Positioning System; Sistema global de navegación por satélite

<sup>28</sup> Network Time Protocol (NTP); Protocolo para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos a través de ruteo de paquetes con latencia variable

<sup>29</sup> Code Division Multiple Access; Son métodos de multiplexación o control de acceso al medio basados en la tecnología de espectro expandido

de incertidumbre para cualquier valor medido. En las medidas One-Way Delay, tendremos en cuenta la resolución de la fuente y el destino.

### **3.5 ROUND TRIP TIME DELAY (RTT)**

Para este parámetro nuevamente (Almes, 1999) comenta que las ventajas del uso del One-Way Delay, pueden verse como las principales debilidades del uso del RTT. Por otra parte, medir el RTT tiene dos ventajas específicas:

\*Facilidad de despliegue: Es posible realizar las medidas de RTT sin instalar software específico para medir en el destino. Una variedad de aproximaciones son bien conocidas, incluyendo el uso de ICMP (Echo) o metodologías basadas en TCP. Sin embargo, algunos métodos pueden introducir un grado de incertidumbre en el tiempo en el que el destino produce la respuesta.

\*Facilidad de interpretación: en algunas circunstancias, el RTT es de hecho la magnitud de interés. Muchas aplicaciones han adoptado el RTT entre host como herramienta básica para aproximar distancia y estimar la localización de los host en Internet. Por ejemplo, Napster<sup>30</sup> es una aplicación para compartir archivos peer-to-peer. Cuando los usuarios de Napster buscan un archivo, Napster devuelve una lista con los enlaces que albergan dicho archivo y otra lista con los RTTs entre el usuario y cada destino. El usuario debería entonces intentar descargar primero desde el enlace con menor RTT.

El RTT en una conexión en la capa de transporte juega un papel central en el comportamiento de la conexión. Primero, un protocolo de transporte fiable como TCP necesita decidir cuánto tiempo esperar por un asentimiento de datos que han sido enviados antes de retransmitir los datos. Hay un compromiso entre esperar el tiempo suficiente para asegurar que el protocolo no retransmite innecesariamente, frente a no esperar demasiado cuando de hecho la retransmisión es necesaria.

---

<sup>30</sup> Servicio de distribución de archivos de música (en formato MP3)



La segunda forma en el que el RTT influye en el comportamiento de la conexión es la noción del producto ancho de banda – latencia (BDP)<sup>31</sup>. El BDP de una conexión es el producto del ancho de banda disponible, medido en bytes/segundo, con el RTT, medido en segundos. El resultado es un número de bytes que indica cuántos datos en la conexión han de estar circulando para utilizar completamente el ancho de banda disponible.

Debemos, sin embargo, hacer una distinción crucial entre esos dos diferentes roles del RTT dentro del comportamiento de una conexión. Para el primer rol, regular las retransmisiones, el RTT de interés es el máximo RTT. Para el segundo rol, es el mínimo RTT.

En cuanto a los errores e incertidumbres en la medida del RTT:

- Mientras que en OWD<sup>32</sup> la sincronización entre los relojes de la fuente y el destino es un problema, en las medidas de RTT es más sencillo, pues el reloj utilizado es el mismo, el de la fuente, estando pues “auto sincronizado”.
- El problema de la resolución, en cambio, si está presente.

### **3.6 JITTER**

La variación en el retardo de los paquetes se llama a menudo “jitter”. Este término, sin embargo, produce confusión porque es usado de diferentes formas por diferentes grupos de personas. Jitter, en este estudio tecnológico, tiene el significado de variación de una métrica (por ejemplo el retardo) con respecto a alguna métrica de referencia (por ejemplo el retardo medio o el mínimo).

Un importante uso de la variación del retardo es el dimensionado de buffers para aplicaciones que requieren de la entrega regular de paquetes (por ejemplo voz o video).

---

<sup>31</sup> Bandwidth Delay Product; Producto de la latencia y el ancho de banda.

<sup>32</sup> One-Way Delay

Lo que normalmente es importante en este caso es el jitter máximo, que es usado para calcular el tamaño del buffer de tales aplicaciones.

Otros usos de esta métrica son, por ejemplo, determinar la dinámica de las colas dentro de una red (o router) donde los cambios en el jitter pueden estar debidos a cambios en la longitud de la cola en el enlace dado o en una combinación de enlaces.

Además, este tipo de métrica es particularmente robusta con respecto a diferencias y a variaciones de los relojes de los dos hosts. Esto permite el uso del jitter aún cuando los dos puntos de medida no están sincronizados.

Además, dado un flujo de medidas de latencia, el jitter es bastante fácil de obtener.

### **3.7 HERRAMIENTAS Y MÉTODOS PARA MEDIR EL RETARDO**

El número de herramientas es grande, algunos métodos o aplicaciones son:

#### **3.7.1 PING**

El ping es la más sencilla de todas las aplicaciones TCP/IP. Envía uno o más datagramas (método activo, por lo tanto) a un host de destino determinado solicitando una respuesta y mide el tiempo que tarda en retornarla. La palabra ping, que puede usarse como nombre o como verbo (en inglés), procede de la operación de sonar empleada para localizar un objeto submarino. También es un acrónimo de "Packet InterNet Groper".

Tradicionalmente, si puede hacer un ping a un host, otras aplicaciones como Telnet<sup>33</sup> o FTP<sup>34</sup> podían comunicarse con ese host. Con el advenimiento de las medidas de seguridad en Internet, particularmente los cortafuegos ("firewalls"), que controlan el acceso a redes a través del protocolo de aplicación y/o el número de puerto, esto ha

---

<sup>33</sup> TELEcommunication NETwork; Protocolo de red que sirve para acceder mediante una red a otra máquina para manejarla remotamente

<sup>34</sup> File Transfer Protocol; Es protocolo para intercambiar archivos en internet.

dejado de ser estrictamente cierto. Aún así, el primer test para comprobar si es posible alcanzar un host sigue siendo intentar hacerle un ping.

Ping usa los mensajes Eco y Respuesta al Eco ("Echo Request", "Echo Reply") de ICMP. Ya que se requiere ICMP en cada implementación de TCP/IP, a los hosts no les hace falta un servidor separado para responder a los pings.

El RTT es calculado como la diferencia entre el tiempo en el que el "echo request" es enviado y el tiempo de la correspondiente respuesta es recibida por la aplicación ping.

Una variación de este método es construir un paquete request ICMP con la marca de tiempo.

Este paquete contiene tres marcas de tiempo: origen, recibida y transmitida. Si los hosts implicados tienen en el intercambio de marcas de tiempo tienen los relojes sincronizados, el retardo del camino directo puede ser calculado usando las marcas de tiempo origen y recibida. El retardo del camino de retorno puede ser calculado usando la marca de tiempo transmitida contenida en el paquete respuesta y el tiempo en el que el paquete respuesta llega al transmisor. En la figura 3.5 podemos observar como también se proporcionan los RTT mínimos, medios y máximos.

```
pythagoras:~> ping -s betz.ericsson.se 100 5
PING betz.ericsson.se: 100 data bytes
108 bytes from betz.ericsson.se (147.214.173.118): icmp_seq=0. time=96. ms
108 bytes from betz.ericsson.se (147.214.173.118): icmp_seq=1. time=91. ms
108 bytes from betz.ericsson.se (147.214.173.118): icmp_seq=2. time=79. ms
108 bytes from betz.ericsson.se (147.214.173.118): icmp_seq=3. time=147. ms
108 bytes from betz.ericsson.se (147.214.173.118): icmp_seq=4. time=81. ms

----betz.ericsson.se PING Statistics----
5 packets transmitted, 5 packets received, 0% packet loss
round-trip (ms)  min/avg/max = 79/98/147
```

**Figura 3.5 Ejemplo con ping**

**Fuente:** [www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP](http://www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP)

Cabe destacar, que pueden producirse algunos resultados extraños debidos a bloqueos para acceder al servidor o tener limitada la tasa de acceso, para evitar problemas de

seguridad (podríamos ver la tasa de paquetes perdidos para comprobar esto). Así que no estaría de más comprobar las medidas del RTT con otras basadas en TCP.

Una herramienta equivalente a ping en la capa de transporte es echoping, utilidad que prueba los host remotos conectándose al servicio echo. Es capaz de probar conexiones UDP<sup>35</sup>(servicio no orientado a la conexión) y TCP y además puede emitir una petición HTTP<sup>36</sup> para probar la disponibilidad de un servidor Web. Al ser una implementación del nivel de aplicación el servicio echo, algunos retardos extra se introducen en los tiempos de respuesta.

### **3.7.2 TRACEROUTE**

Traceroute es una herramienta que combina muy inteligentemente, dos características de los protocolos que hacen posible Internet: TTL o expiración de los paquetes e ICMP.

Para proteger a Internet del efecto de paquetes atrapados en ciclos de enrutamiento, los diseñadores de TCP/IP dotaron a cada datagrama IP de un contador al que llamaron TTL por las siglas de “Time To Live”. Esto es un número que limita cuántos saltos puede dar un datagrama, antes de ser descartado por la red. Cuando se introduce un datagrama IP a la red, el campo TTL es poblado con el número máximo de saltos que define la vida de ese datagrama. Cada enrutador por el que ese datagrama transita, resta uno a ese número. Cuando éste llega a cero, el datagrama es descartado.

Los paquetes ICMP sirven para muchas cosas: avisar que un enlace o que un dispositivo están congestionados, que se escogió un camino sub-óptimo para enviar un paquete, que no se puede acceder a un sitio en particular, etc. Uno de esos avisos es particularmente útil para traceroute: el aviso de que se excedió la vida útil del paquete.

---

<sup>35</sup> User Datagram Protocol; Es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas

<sup>36</sup> Hypertext Transfer Protocol; Define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de software de la arquitectura web (clientes, servidores, proxies) para comunicarse.

Combinando estas dos herramientas, traceroute permite construir un mapa de la red de acuerdo como es vista desde un nodo en particular.

```
Selected device eth0, address 213.190.0.6, port 4329 for outgoing packets
Tracing the path to www.uc3m.es [163.117.136.249] on TCP port 80, 30 hops max
 1 fa0-0-100-madico01.iber-x.net (213.190.0.1)  0.379 ms  0.296 ms  0.225 ms
 2 ae0-97-madieg02.iber-x.net (213.190.1.17)  0.455 ms  0.455 ms  1.070 ms
 3 62.42.239.9 (62.42.239.9)  201.060 ms  221.809 ms  140.279 ms
 4 rediris-1.espanix.net (193.149.1.26)  2.146 ms  3.446 ms  1.860 ms
 5 ESP.501-1-0.EB-IRIS2.red.rediris.es (130.206.240.125)  1.823 ms  1.614 ms  2.195 ms
 6 NAC2.S04-0-0.EB-Madrid0.red.rediris.es (130.206.240.134)  2.811 ms  2.956 ms  3.426 ms
 7 cam-router.red.rediris.es (130.206.206.62)  0.953 ms  0.964 ms  1.357 ms
 8 uc3m-router.redimadrid.madrinaed.org (193.145.14.21)  1.979 ms  1.399 ms  1.664 ms
 9 turan.uc3m.es [163.117.136.249] [open]  5.020 ms  4.362 ms  4.519 ms
```

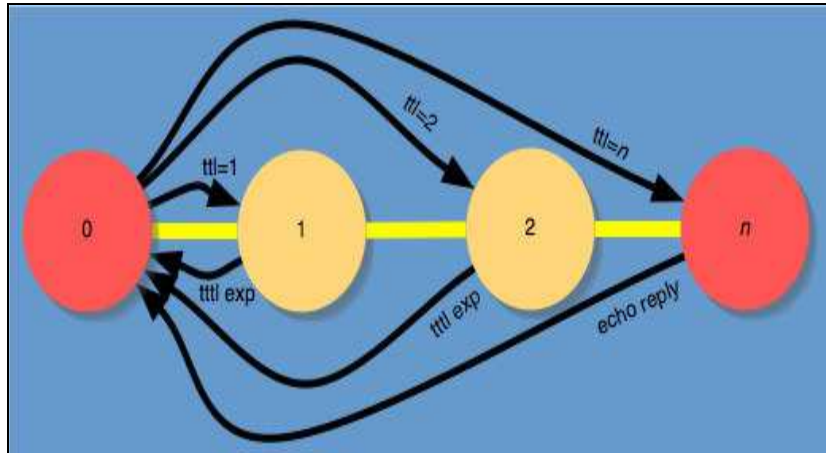
**Figura 3.6 Ejemplo de salida mostrada por traceroute**

**Fuente:** [www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP](http://www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP)

En la figura 3.7 se muestra cada uno de los saltos que tiene que dar un paquete al recorrer un camino desde la dirección de host (por ejemplo: 213.190.0.6 hasta www.uc3m.es). La dirección del recorrido es muy importante, porque en Internet no necesariamente el camino de ida es igual al de regreso. La cantidad de saltos puede dar una idea de la complejidad de la red. Para cada salto, que traceroute numera en la primera columna, se envían tres paquetes (UDP) con un TTL<sup>37</sup> que se va incrementando progresivamente. El nombre del nodo que responde, bien sea indicando que se llegó al destino o que el paquete expiró en tránsito, se muestra junto a los tiempos transcurridos entre el envío del paquete y la recepción de la respuesta. Eso nos da una idea de cómo es la condición de la red en ese salto o en alguno de los anteriores.

---

<sup>37</sup> Time to Live



**Figura 3.7. Mecanismo utilizado por traceroute**

**Fuente:** [www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP](http://www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP)

La figura 3.7, permite ver mejor cómo funciona la herramienta. En el primer salto, hacia el nodo 1, traceroute pone el valor TTL en 1 y envía el paquete hacia el nodo de destino. Cuando el nodo 1 decrementa el valor del TTL y obtiene un cero, devuelve al nodo de origen un mensaje de error que dice que el TTL expiró mientras el paquete iba en tránsito. Este proceso se repite varias veces y los tiempos se registran. Para el siguiente salto, traceroute aumenta en uno el valor del TTL y lo envía de nuevo hacia su destino. El nodo 1 decrementa el valor del TTL a uno y pasa el paquete hacia el nodo 2. El nodo 2 recibe el paquete con TTL uno y al decrementarlo, obtiene un TTL cero, enviando el correspondiente mensaje de error hacia el nodo de origen. Este proceso se va repitiendo con valores progresivamente más grandes de TTL, para ir encontrando los saltos cada vez más lejanos o hasta que se llega a un TTL muy grande. Típicamente este valor máximo es 30, aunque puede ser de hasta 255.

Una herramienta que usa el mismo mecanismo que traceroute es pathchar<sup>38</sup>, sin embargo fue diseñada para un propósito diferente. Estima las prestaciones de cada host a lo largo de un camino desde una fuente a un destino. Envía una serie de paquetes UDP

---

<sup>38</sup> Técnica para recolección de datos, muestra el camino entre una fuente y un destino y parámetros del estado de cada enlace en el camino: rtt y ancho de banda.

de varios tamaños a cada router (incrementando el TTL) y recoge información de cada salto de forma incremental. Usando el conocimiento de los anteriores saltos y la distribución del RTT en este salto, pathchar estima el ancho de banda, la latencia, pérdidas y las características de la cola en este salto.

Sin embargo, como pathchar hace mucho esfuerzo para caracterizar el camino de forma muy precisa, tiene una serie de desventajas, por lo que no es muy mucho el estado de la red al introducir muchos paquetes de prueba.

### **3.7.3 NETPERF**

Netperf es una herramienta que puede ser usada para medir varios aspectos de las prestaciones de las redes. Realiza tests para obtener el throughput unidireccional y la latencia extremo a extremo.

Usa tanto TCP como UDP sobre el ampliamente aceptado interfaz socket de Berkeley<sup>39</sup>. Netperf consiste en dos partes ejecutables: netserver es la parte servidora que puede actuar manualmente o vía inetd, y netperf es la parte cliente. Ejecutando netperf, una conexión TCP de control es establecida entre los dos host para negociar los parámetros de configuración del test. Durante el test, el canal de control está activo, pero no se usa. La medida de prestaciones del flujo suele ser determinar la máxima tasa de transferencia de un flujo TCP o

UDP dados. Esta medida puede ser fácilmente calculada dividiendo los bytes transmitidos con el tiempo transcurrido. La prestación de la transacción está de cierta manera relacionada con la medida de la latencia.

Durante este test, los paquetes de usuario con carga útil (1 byte por defecto) son transmitidos dentro de la red y una respuesta es generada por el receptor. La tasa de

---

<sup>39</sup> Es una base de datos incrustada.

transacción se expresa entonces como el cociente entre el número de transacciones entre el tiempo transcurrido.

### **3.7.4 SNMP**

SNMP (Simple Network Management Protocol) es el protocolo definido por los comités técnicos de Internet para ser utilizado como una herramienta de gestión de los distintos dispositivos en cualquier red. El funcionamiento de SNMP es sencillo, como dice el protocolo, aunque su implementación es tremendamente compleja. SNMP utiliza la capa de transporte de TCP/IP mediante el envío de datagramas UDP, sin embargo, el hecho de usar UDP hace que el protocolo no sea fiable (en UDP no se garantiza la recepción de los paquetes enviados, como en TCP).

SNMP se basa en un conglomerado de agentes. Cada agente es un elemento de la red que ofrece unas determinadas variables al exterior, para ser leídas o modificadas. Asimismo, un agente puede enviar "alertas" a otros agentes para avisar de eventos que tengan lugar. Generalmente se llama "gestor" al agente encargado de recibir estos eventos.

El esquema es sencillo, sin embargo su complejidad se incrementa a la hora de definir las variables (y su formato). Las variables ofrecidas para consulta por los agentes SNMP se definen a través de una MIB (Management Information Base, Base de Información de Gestión). La MIB (hay sólo una aunque existen múltiples extensiones a ésta) es una forma de determinar la información que ofrece un dispositivo SNMP y la forma en que se representa.

La MIB actual es MIB-II y está definida en el RFC 1213<sup>40</sup>, aunque hay múltiples extensiones definidas en otros RFC's.

---

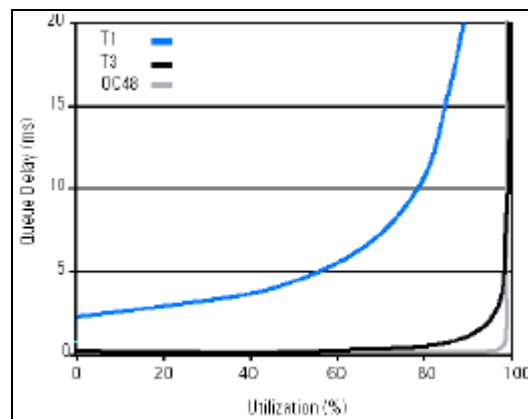
<sup>40</sup> Request for Comments; Cada protocolo de los que hoy existen en Internet tiene asociado un RFC que lo define, y posiblemente otros RFC adicionales que lo amplían.



Cada agente SNMP ofrece información dentro de una MIB, tanto de la general (definida en los distintos RFC's) como de aquellas extensiones que desee proveer cada uno de los fabricantes. Así, los fabricantes de routers han extendido las MIBs estándar incluyendo información específica de sus equipos.

Con SNMP se puede monitorizar el estado de un enlace punto a punto para detectar cuando está congestionado y tomar así medidas oportunas, se puede hacer que una impresora alerte al administrador cuando se ha quedado sin papel, o que un servidor envíe una alerta cuando la carga de su sistema incrementa significativamente.

SNMP también permite la modificación remota de la configuración de dispositivos, de forma que se podría modificar las direcciones IP de un ordenador a través de su agente SNMP, u obligar a la ejecución de comandos (si el agente ofrece las funcionalidades necesarias).



**Figura 3.8 Simulación del retardo en colas**

**Fuente:** [www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP](http://www.vf.utwente.nl/~castroh/Medida%20del%20Retardo%20en%20Redes%20IP)

El retardo en las colas (figura 3.8) es un desafío en cuanto a su medida basada en polling<sup>41</sup> con SNMP elemento a elemento. En teoría, el sistema de polling podría usar una rápida secuencia para interrogar a la cola de salida y estimar el retardo de la cola basándose en el tamaño medio del paquete, junto con el conocimiento de la capacidad

---

<sup>41</sup>Es una consulta constante, generalmente hacia un dispositivo de hardware, para crear una actividad sincrónica sin el uso de interrupciones.

disponible de salida. Por supuesto, dicha metodología de medida asume una simple cola FIFO<sup>42</sup>. Dichas afirmaciones se cumplen poco hoy en día en las redes IP. Al aumentar la velocidad del enlace, el tamaño de la cola puede oscilar con relativa alta frecuencia en función del número y capacidad de los sistemas de entrada y la capacidad de los sistemas de salida. En general, el retardo de las colas no se puede medir fácilmente usando elementos que hacen uso del polling.

### **3.7.5 NETFLOW E IPFIX**

Netflow, tecnología desarrollada por CISCO Systems en 1996, permite mejorar la capacidad de encaminamiento de sus routers. Siguiendo la filosofía “encaminar una vez, conmutar muchas veces”, identifica los flujos establecidos entre máquinas con el fin de agilizar el encaminamiento de futuros paquetes IP.

Para un router, un flujo de datos está constituido por un conjunto de paquetes IP con una misma combinación de atributos (direcciones y puertos origen y destino, tipo de protocolo de transporte, tipo de servicio e interfaz de entrada) en un intervalo de tiempo. Cuando se detecta un nuevo flujo, Netflow guarda en la memoria interna la correspondencia entre el flujo y su interfaz de salida, de forma que para posteriores paquetes a consultas en sus tablas de encaminamiento, ahorrando de este modo, valiosos ciclos de CPU.

Precisamente, esta capacidad de los dispositivos de encaminamiento de obtener información referente a los flujos cursados puede ser aprovechada para medir y caracterizar el tráfico que atraviesa el router prácticamente en tiempo real, y ello de una manera convenientemente agregada facilita el análisis de la calidad de servicio.

Mediante el empleo de técnicas pasivas de análisis como IPFIX se puede de una arquitectura no intrusiva e interoperable para calcular métricas de calidad de servicio. El

---

<sup>42</sup> First In, First Out (primero en entrar, primero en salir) método utilizado en estructuras de datos.

hecho de ser un método pasivo permite disponer de numerosos puntos de medida sin que el tráfico de datos se vea afectado, mientras que el hecho de ser interoperable contribuye a que diversos operadores puedan colaborar entre sí para recabar información relacionada con sus enlaces y el tráfico intercambiado entre ellas.

Otra propiedad inherente a las técnicas de análisis basadas en flujos (IPFIX) es la de caracterizar el tipo de tráfico cursado por los usuarios finales, lo cual facilita el desarrollo de metodologías de estimación de QoS orientadas a la percepción del usuario de los servicios de red.

Un posible método de estimación del OWD consiste en disponer de dos o más dispositivos IPFIX<sup>43</sup>, normalmente routers, con la misma base de tiempos ya sea mediante sistemas GPS o mediante protocolos como NTP, siendo el primero capaz de asegurar precisiones del orden de nanosegundos y del orden de milisegundos el último. De este modo es posible inferir el tiempo transcurrido entre el primer punto de medida y el último, definiendo de este modo un estimador directo del retardo unidireccional. Mediante técnicas de análisis de flujos también es factible definir estimadores aproximados que permitan cuantificar la variación en el retardo unidireccional (o jitter).

### **3.7.6 IPMP**

Actualmente, no hay un camino apropiado para realizar medidas en Internet que dividan el retardo en las componentes referidas a las diferentes partes de la red y sus usuarios. Se ha propuesto un nuevo protocolo (“IP Measurement Protocol”, IPMP) que permite a los dispositivos de Internet insertar marcas de tiempo en los datos según pasan por la red, creando una “auditoria” para los datos de Internet. Este seguimiento es medido en milésimas de segundo y debe ser creado a una velocidad que permita a los cientos de millones de paquetes que circulan por la red ser procesados cada segundo.

---

<sup>43</sup> Internet Protocol Flow Information Export: Norma común y universal de exportación para el flujo de información en Internet.

Se espera que este protocolo les de a los usuarios, operadores de red y proveedores de servicio Internet un lenguaje común con el que comunicar los asuntos referidos a las prestaciones, validar las reclamaciones y competir entre ellos.

El protocolo IPMP está basado en el intercambio de paquetes “echo request” y “echo reply” para medir el retardo de los paquetes y las métricas asociadas, siendo similar a las técnicas que ping usa con las propiedades de ICMP. El paquete “echo reply” ha sido diseñado para que un host remoto pueda construir dicho paquete con muy pocas modificaciones respecto al “echo request”.

### **3.8 DETERMINAR EL CALCULO DE RETARDO EN EL ENLACE**

Determinar el retardo que sufre un paquete en una red de comunicaciones es un problema que puede parecer sencillo, pero no es así.

En primer lugar es necesario definir el concepto de retardo, que consideraremos como tiempo de ida y vuelta (round trip) de un paquete entre dos equipos (direcciones IP) de una red de comunicaciones.

Este tiempo de ida y vuelta es variable debido a diversos factores, entre los que destacan la velocidad de transmisión en cada segmento, el tamaño del paquete y el retardo que sufre el paquete en cada cambio de segmento (encaminamiento).

Sea  $t_{ti}$  el tiempo de transmisión de un paquete en el segmento  $i$ , y  $t_{ci}$  el tiempo de conmutación en el router  $i$ , el retardo de un paquete  $p$  ( $T_p$ ) en una red podemos expresarlo como:

$$T_p = 2 \cdot \left( \sum_{i=1}^{n-1} (t_{ti} + t_{ci}) + t_{tn} \right)$$

El valor de  $t_{ti}$  es conocido a partir de la velocidad de transmisión en cada segmento y el tamaño del paquete  $p$ . Sin embargo, el valor de  $t_{ci}$  no es posible determinarlo a priori, pues depende del nivel de congestión del router.

El estudio analítico precisa del conocimiento exacto del nivel de congestión del router, algo totalmente impredecible pues depende del tráfico que esté gestionando el router en cada momento, y en pocas ocasiones se tiene acceso a esta información.

De esta forma, el estudio experimental es fundamental para determinar cuál es el retardo real que presenta la comunicación. Este estudio debe ser lo suficientemente amplio en el tiempo para poder determinar datos que sean medianamente fiables.

### **3.8.1 HERRAMIENTAS EXPERIMENTALES**

La herramienta experimental que se empleará en el estudio de los retardos es el mecanismo de paquete sonda - respuesta. El retardo entre dos equipos de una red se calculará enviando un paquete de información pequeño de un origen IP a un destino IP. El destino contestará con otro paquete (respuesta), lo que permitirá determinar el tiempo transcurrido desde el envío de la sonda hasta la recepción de la respuesta.

Frecuentemente se emplean los mensajes ICMP (aplicación ping) como herramienta para determinar retardos en una red de comunicaciones. Sin embargo, esta herramienta no es la más adecuada por dos razones:

- a) Algunos operadores de redes IP bloquean el tráfico ICMP con el objetivo de evitar determinados problemas de seguridad.
- b) Cuando un equipo recibe un mensaje ICMP, éste es gestionado a nivel de aplicación en el sistema operativo del equipo receptor, por lo que el tiempo de retardo se verá condicionado por la capacidad computacional del equipo.

Es necesario un mecanismo de sonda - respuesta que se vea afectado lo menos posible por la capacidad computacional del receptor. Además, este mecanismo no debe ser propietario sino estándar, pues debe ser válido para cualquier equipo en una red de comunicaciones. Esto nos lleva a buscar una herramienta implementada en las capas inferiores de la arquitectura de red y que permita el mecanismo petición - respuesta.

Se ha seleccionado el protocolo TCP, y en concreto el mecanismo de petición de conexión – rechazo presente en cualquier equipo de Internet. Si un equipo A envía un paquete TCP SYN<sup>44</sup> dirigido al puerto X del equipo B, éste contestará con un paquete TCP RST si el puerto X no está siendo atendido por B.

Es de notar que la gestión de las conexiones TCP en un equipo se realiza a nivel de núcleo del sistema operativo, por lo que la carga computacional del equipo destinatario afectará en menor medida al retardo de la respuesta.

De esta forma, nuestro mecanismo sonda – respuesta para determinar el retardo en una red consistirá en el envío de un paquete SYN a un número de puerto no atendido de equipos en Internet. El número de puerto seleccionado es el tcp/150, que no se emplea en los equipos utilizados para este estudio.

Como herramienta para generar paquetes TCP SYN dirigidos al puerto tcp/150 de una dirección IP emplearemos netcat. Netcat es una herramienta de red que permite generar paquetes TCP y UDP conformados a medida del usuario.

Para obtener medidas fiables de retardos (diferencia entre el instante en el que se envía el paquete TCP SYN y el instante en el que se recibe el paquete TCP RST) emplearemos el monitor de red Tcpcat. Tcpcat es un software de libre distribución que realiza la función de monitor de red. Un monitor de red captura los paquetes que son recibidos o enviados en un interfaz de red y permite visualizarlos como una cadena de texto. La elección de esta herramienta como monitor de red ha sido por dos razones fundamentales:

- a) Software fácilmente integrable en el entorno de programación shell de Linux.
- b) Precisión de 1 microsegundo para la medida del instante de envío y recepción de paquetes en un interfaz de red.

---

<sup>44</sup> TCP síncrono

### **3.9 PLANIFICACIÓN DE EXPERIMENTOS CON TCPDUMP**

El objetivo de este trabajo es determinar experimentalmente la variabilidad del retardo de los paquetes entre equipos de una red WAN TCP/IP en el entorno del estado español. Los resultados permitirían determinar que nivel de QoS existe en la red y su aplicabilidad al control remoto de sistemas.

Es necesario, por tanto, tener medidas durante un largo periodo de tiempo y así determinar qué tipo de naturaleza presenta la variabilidad del retardo.

Se ha decidido desarrollar una herramienta software que genere paquetes TCP SYN y reciba paquetes TCP RST a diferentes destinos en Internet. Para cada par de paquetes SYN/RST se determina el retardo y se almacena. Los paquetes SYN serán enviados en grupos de 15 paquetes con un intervalo de dos segundos entre cada uno de ellos. Se enviará un grupo de 15 paquetes cada 5 minutos.

Los paquetes TCP SYN tienen un tamaño de 28 bytes, siendo significativo por tanto el retardo en la red y no el tiempo de transmisión en el enlace.

El software se ha desarrollado empleando los recursos del sistema operativo Linux para planificación de tareas (sistema crontab) y la programación Shell para integrar netcat y tcpdump.

### **3.10 RESULTADOS**

A continuación se describirán detalladamente los resultados obtenidos en los diferentes escenarios seleccionados para el estudio.

#### **3.10.1 ESCENARIO TRAMO 2: CERRO AZUL Y LIMONCITO**

El estudio del escenario Tramo 1 es entre un equipo de la UCSG y otro en Cerro Azul. El tramo 2 es entre un equipo en el repetidor de cerro azul y el equipo cliente en Limoncito

Retardos entre Cerro Azul y Limoncito; En el contexto de este software el término experimento, se aplica al proceso de medición completo, el cual consta de varias pruebas. Esto resulta aparente en el propio contenido y distribución de la página, por lo que el manejo debiera ser totalmente intuitivo.

En el servidor de Centro de Computo, se buscan registros históricos para ese usuario y localización, si existen se evalúa su utilidad, diseñando el patrón de pruebas en consecuencia. El servidor emite paquetes de sondeo o paquetes de video, el cliente los devuelve, se miden tiempos, se contabilizan pérdidas, elaborando todos estos datos y guardándolos en una base de datos.

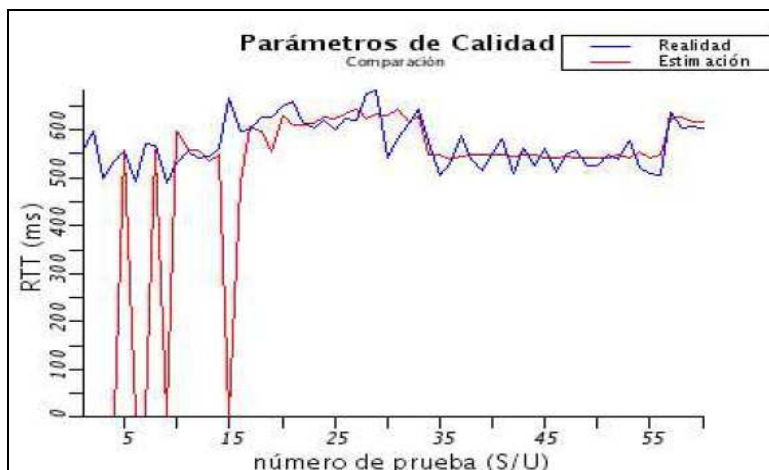
Si el usuario pidió una muestra del medio, se le envía para su audición y visualización en el propio navegador. Se presenta finalmente una página de resultados con la evaluación realizada.

El usuario puede repetir el experimento, en cuyo caso vuelve a la página de parámetros, donde encuentra los últimos fijados, o terminar la aplicación. Pasado un cierto tiempo, el servidor cierra la sesión.

Para verificar el funcionamiento del software y los algoritmos implementados se realizaron diversos ensayos. Se exponen dos casos, ambos realizados desde una máquina de usuario con conexión de 10 Mbps. El parámetro de calidad estimado fue, en ambos casos, tiempo de retorno. Las gráficas siguientes muestran la comparación entre lo teórico y la realidad

Se han realizado un total de 550 medidas de retardo entre dos equipos de la. El periodo de tiempo equivalente es aproximadamente de 7 días.



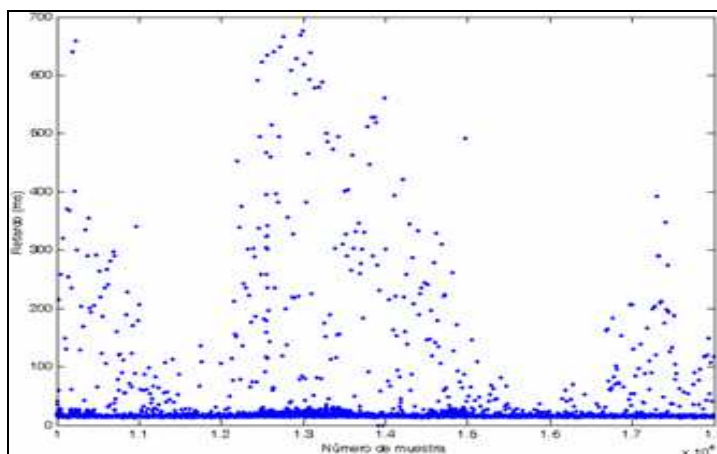


**Figura 3.9 Retardos presentes entre Cerro Azul y Limoncito**

**Fuente:** Software TCPDUMP

De la figura 3.1 puede concluirse que el comportamiento de la variabilidad del retardo es ciertamente singular.

Desde el punto de vista estadístico, el valor medio del retardo experimentado entre la Cerro Azul y Limoncito es de 24,996 milisegundos (ms), con una tasa de pérdida de paquetes del 0,383 %. Sin embargo, hay que notar el valor máximo del retardo que afectaría notablemente a un sistema de control en red y alcanza hasta un valor de 769.214 ms.



**Figura 3.10 Detalles de un intervalo de 550 muestras**

**Fuente:** Software TCPDUMP

En la figura 3.2 puede comprobarse que en periodos del orden de 550 muestras (aprox. 22 horas) hay un reducido tiempo, del orden de 500 muestras (aprox. 2 horas), en que la dispersión es muy reducida. Este comportamiento es debido al horario nocturno de uso de la red, y la diferente amplitud en la dispersión a lo largo de varios días coincide con días de descanso (menor retardo máximo) y laborables (mayor retardo máximo). Como es de conocimiento es centro de cómputo el que provee de internet a toda la UCSG y por ello en días laborable y horas pico, por ejemplo 4 a 6 de la tarde el sistema es muy lento tarda minutos en cargar una pagina, esto se da en todas las facultades en cualquier punto o terminal de internet.

Dentro del aspecto de infraestructura técnica los radios en tramo cerro azul y limoncito esta operando con el mínimo nivel de sensibilidad del lado del receptor, por tal motivo es necesario aumentar la altura de la torre para que de este forma el nivel de recepción sea mas fuerte y no se pierda paquetes en su trayecto.

### **3.11 VALIDACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN MUESTRAS**

El ancho de banda de red inalámbrica no sólo afecta el volumen de tráfico de servicio. Cuando la distancia entre el Tx o repetidor y el equipo receptor es mayor que cierto valor umbral o de la señal aparece debilitado por un obstáculo, entonces el dispositivo de transferencia del Tx da menor velocidad para reducir el número de errores. Sin embargo, es necesario comprender que, si la velocidad se reduce en un sólo dispositivo del receptor pues de hecho en Limoncito se espera que exista al menos 3 computadoras para las aulas que están construidas, el trabajo de toda la red al mismo tiempo es y será siempre lento.

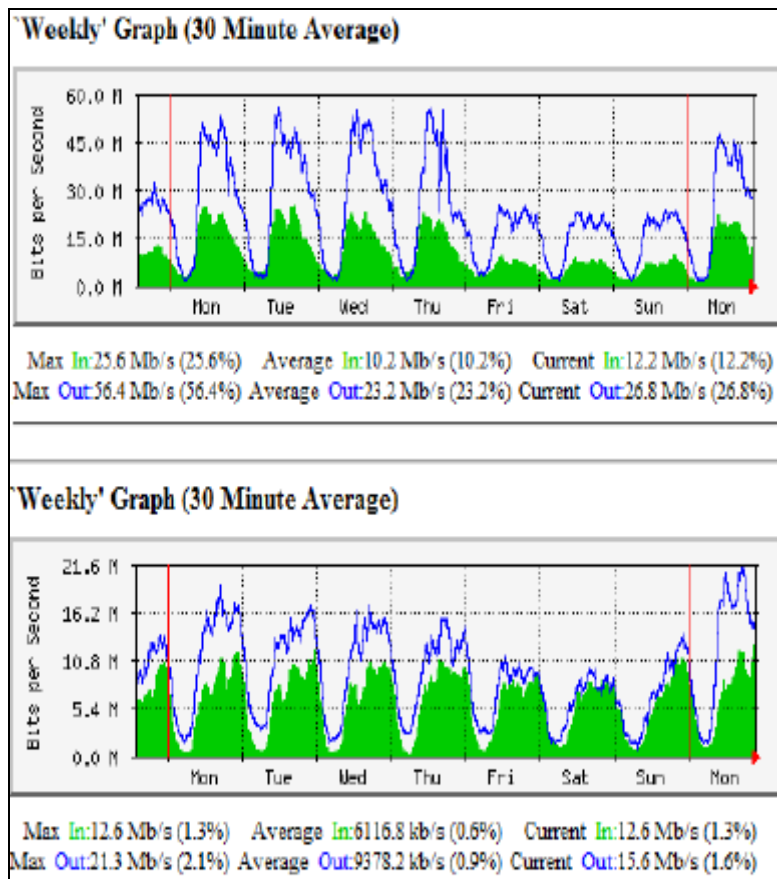
Este estudio analiza los parámetros para incrementar o bajar la sensibilidad del receptor, dependiendo de la distancia y condiciones de interferencia, en el caso nuestro es para incrementar pues se conoce que el receptor esta operando el mínimo nivel de sensibilidad.

La parte del diseño del tema de este anteproyecto se basa en proteger las personas y equipos del sector finca limoncito, la protección contra rayos es fundamental en el sector, puede impredeciblemente caer tarde o temprano. La afectación y alteración del clima es a nivel mundial, hoy en día se debe tomar las prevenciones adecuadas para evitar siniestros de todo tipo.

Los efectos cuando no hay protecciones adecuadas son siniestros que cuestan ciento y hasta miles de dólares. En función de la energía radiada, los efectos electromagnéticos del rayo y su energía, pueden afectar eléctricamente a distancias superiores a 1.000

metros, creando estos fenómenos eléctricos del rayo un alto riesgo de electrocución, incendio o explosión a personas.

Los resultados se muestran en la siguiente grafica, se muestra el tráfico en limoncito que proviene desde Cerro azul. El tráfico entrante corresponde a la línea de color verde y el tráfico saliente se encuentra de color azul.



**Figura 3.11 Tcpcdump (software de libre) calculo de retardo de paquetes Ip**

**Fuente:** Software TCPDUMP

**Nota:** El retardo experimentado entre la Cerro Azul y Limoncito es de 24,996 milisegundos (ms), con una tasa de pérdida de paquetes del 0,383 %. Debe considerarse mejoras en nivel de sensibilidad del receptor (equipo cliente-Limoncito)

## CAPITULO 4

### DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PROTECCIONES CONTRA RAYOS Y SISTEMA DE TIERRA A TORRE DE LIMONCITO

En la finca Limoncito existe una torre en la cual están instaladas antenas para comunicaciones de voz y datos, el sistema de voz es el enlace de radio de dos vías entre la USCG y Limoncito, así también esta el enlace de internet, esta antena por los estudios y cálculos efectuados en el anterior capítulo debe tener mas altura, para no perder mas paquetes ya que el mal de este problema es la pésima velocidad que brinda el proveedor de inter a Centro de computo y este a su vez da servicio lento a todas las computadores conectadas en la red de la UCSG.

Aparte la por la curvatura de la tierra, y por la distancia de los equipos de transmisión y recepción también se ve afectada la velocidad de internet, como antecedente, se debe decir que la torre no ha tenido mantenimiento, es decir el estado de su pintura es pésimo, los templadores y anclajes están oxidados y a esto se suma que no cumple las normas de seguridad dadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones (Supertel), entre ellas tener luz de baliza y un sistema de para rayo.

Se realizó la inspección del lugar y se verificó que la torre de telecomunicaciones no posee sistema de tierra, es por tal motivo que dentro de uno de los objetivos fue la de realizar el estudio y diseño de un sistema de tierra, el adecuado para estos caso resulta, el método de los 3 electrodos, dado por la ecuación de Wenner<sup>45</sup> en él, debemos seguir un procedimiento para obtener un sistema que nos de menos de 8 ohmios, esta

---

<sup>45</sup> Dr. Frank Wenner del U.S. Bureau of Standards, desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre.

resistividad es recomendada por la norma americana contra descargas atmosféricas NFPA<sup>46</sup>

#### **4.1 INSPECCION DE LA TORRE EN LIMONCITO**

La torre es del tipo venteada, tiene 18 metros de altura y se aspira a llegar a 23 metros, se pondrá un pararrayo marca Parres, luz de baliza y el adecuado sistema a tierra. En la figura 4.1 se observa la torre de limoncito.



**Figura 4.1 Torre de Telecomunicaciones de Limoncito**

Se observó que los “vientos” alambres, anclajes y templadores deben ser cambiados, están oxidados, esto es el resultado de la falta de mantenimiento en la torre. Siendo los

---

<sup>46</sup> American National Standards Institute - Instituto Nacional Americano de Estándares/ National Fire Protection Association-Asociación Nacional de Protección contra el Fuego "**Código de protección contra rayos**" que tiene similitudes con el International Standard. IEC 61024-1. 1990-03

vientos o tirantes los que proporcionan estabilidad y la resistencia al viento, éstos no son los adecuados, en la figura 4.2 se observa el estado de la estructura de la torre.



**Figura 4.2 Estado de la estructura de la Torre de Limoncito**

Se debe una vez que instale 2 tramos de 3 metros cada uno, pintar la estructura en su totalidad, vale destacar que este aspecto no estaba dentro del presupuesto presentado en el anteproyecto. Para la elección del pararrayos, se baso en aspectos de normas internacionales:

<b>ANSI:</b>	American National Standard Institute.
<b>NEMA:</b>	National Electric Manufactures Association.
<b>ASTM:</b>	American Society of Testing Materials.
<b>NFPA:</b>	National Fire Protection Association.
<b>NEC:</b>	National Electrical Code.
<b>IEEE:</b>	Institute of Electrical and Electronic Engineers.

## 4.2 CLASIFICACION DE PARARRAYOS

Existen varios tipos de pararrayo, y se pueden clasificar de la siguiente manera.

### 1.- Por su forma:

#### a) Pararrayos de puntas.-

Los pararrayos de puntas se emplearán en aquellos edificios donde predomina la altura frente a la superficie. Dentro de los pararrayos de puntas podemos considerar los siguientes:

- Tipo Franklin.
- Radiactivo.
- Piezoeléctrico
- Ión - Corona solar.

#### b) Pararrayos de Jaula de Faraday

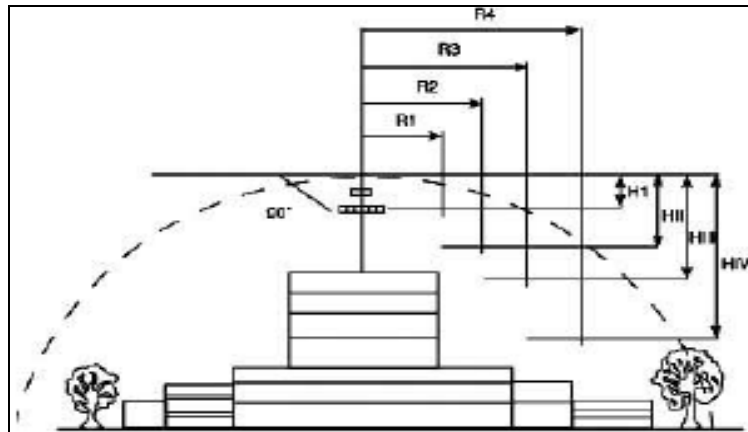
Los pararrayos de Jaula se emplearán en aquellos edificios donde predomina la superficie frente a la altura.

### 2.- Por su principio de operación:



**a) Pararrayos reactivos.**

Basan su principio de operación en la ionización del aire circundante a la punta. Los iones que producen favorecen el canal que ha de seguir el rayo lo que hace que su campo de protección sea una semiesfera de unos 200 metros de diámetro que cae hasta el suelo en forma de cilindro. Ver figura 4.3



**Figura 4.3 Área protegida por un pararrayos reactivo**

**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

En esta clasificación de principio de operación Reactiva, están los siguientes tipos de pararrayos:

**(A).- Tipo radiactivo.**

Hace la ionización suplementaria por medio de una caja con una pequeña cantidad del isótopo radiactivo americio 241 los cuales están prohibidos desde hace tiempo atrás. Se recomienda evitar su uso.

**(B).- Tipo piezoeléctrico.**

Se basan en el fenómeno que presenta el cuarzo que al ser presionado produce una descarga eléctrica entre dos electrodos. En este caso, la fuerza la produce el viento al actuar sobre el vástago del pararrayos, por lo que funciona mejor en caso de temporal.

**(C).- Tipo Ión-corona solar.**

Incorporan un dispositivo eléctrico productor de iones de forma permanente. Es más eficaz que el radiactivo y no es peligroso.

Dispone de dos electrodos entre los que se producen efluvios eléctricos y una pequeña luminosidad (efecto corona). El dispositivo necesita energía eléctrica para el ionizador y ésta se consigue generalmente con un panel solar.

Algunos modelos existentes en el mercado, consisten de un pararrayo tipo dipolo (Ejemplo de la marca Parres, el que se utilizará en la torre de Limoncito) que ha sido diseñado con una barra magnetizada de fierro sólido cuya superficie está totalmente niquelada y cuyo extremo superior termina en punta. Por debajo de esta punta se encuentra un disco de fierro magnetizado cubierto con material plástico y en el extremo inferior de la barra se encuentra un mango de hule vulcanizado que tiene por objeto aislar la barra del mástil que lo soporta en punta. Por debajo de este mango se encuentra un dispositivo de conexión para conectar el cable que une el pararrayos con los electrodos de conexión a tierra.

Todos los elementos que integran el pararrayos están altamente magnetizados. Esta magnetización produce un campo magnético de gran densidad, el cual amortigua la descarga atmosférica y la conduce a tierra mediante el cable y electrodos anteriormente mencionados, evitando la dispersión iónica que pudiera causar daños personales o materiales.

La otra variante de la clasificación por principio de operación es la Pasiva

#### **b) Pararrayos Pasivos**

Basan su principio de funcionamiento en los experimentos de Benjamín Franklin que encontró que una esfera cargada, se podía descargar al aproximarla a una aguja de hierro puntiaguda, lo que le llevó a pensar que una nube cargada electrostáticamente

podría descargarse con una varilla a cierta altura o ser capaz de interceptar el rayo y conducirlo a tierra.

Este tipo de pararrayos efectúan la ionización del aire en forma natural por lo que si bien es cierto que atraen los rayos (lo cual es requerido) no aceleran la descarga del mismo por lo que se piensa que en áreas con un nivel cerámico alto el uso de este tipo de pararrayos ayudaría a una menor incidencia.

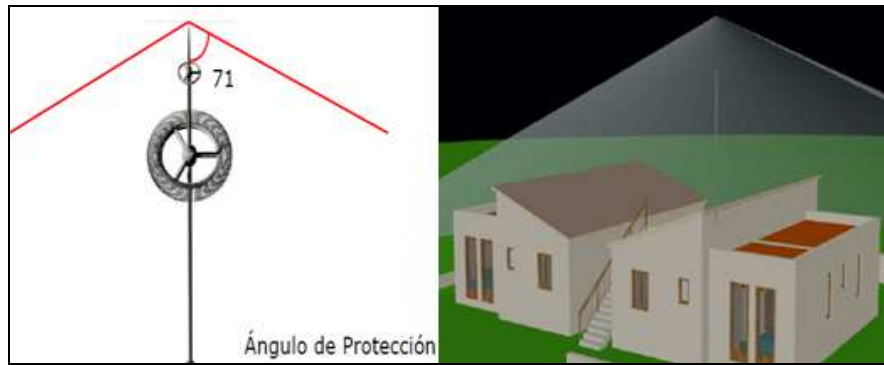
Por otro lado en esta clasificación también se encuentran los basados en el principio de blindaje mediante una Jaula de Faraday. En esta clasificación encontramos los siguientes tipos de pararrayos.

#### **(A).- Puntas Franklin.**

Se basa en la teoría del poder de las puntas que consiste en que las descargas eléctricas se dirigen al punto más alto, es decir, hacia la punta del pararrayos. El sistema está formado por una varilla de unos 2 metros de acero galvanizado de 50 mm. de diámetro cuya punta está recubierta de wolframio, con el fin de soportar las altas temperaturas que produce el rayo al caer. La zona de cobertura es un cono. (Ver figura 4.4). Este tipo de pararrayos tiene las siguientes características:

Proporciona un cono de protección de 36° omnidireccionales a partir de la vertical en su parte superior, siendo la punta el vértice. Es económico. Fácil instalación y mantenimiento.

Debe instalarse a una altura mayor que las instalaciones a proteger y éstas últimas deberán estar comprendidas dentro del cono de protección.



**Figura 4.4** Ángulo de protección o zona de cobertura del cono

**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

### **4.3 PARARRAYOS TIPO DIPOLO “PARRES”**

Este tipo de Pararrayos es del tipo Desionizador de Carga Electroestática (PDCE), incorporan un sistema de transferencia de carga, no incorporan ninguna fuente radioactiva. El cuerpo del pararrayos está construido por dos discos de aluminio separados por un aislante dieléctrico todo ello soportado por un pequeño mástil también de Aluminio. Su forma es circular y el sistema está conectado en serie con la propia toma de tierra para transferir la carga electroestática a tierra evitando la excitación e impacto directo del rayo.



**Figura 4.5 Pararrayo Reactivo-Ion; PARRES Tipo Dipolo para Torre de Telecomunicaciones de Limoncito**

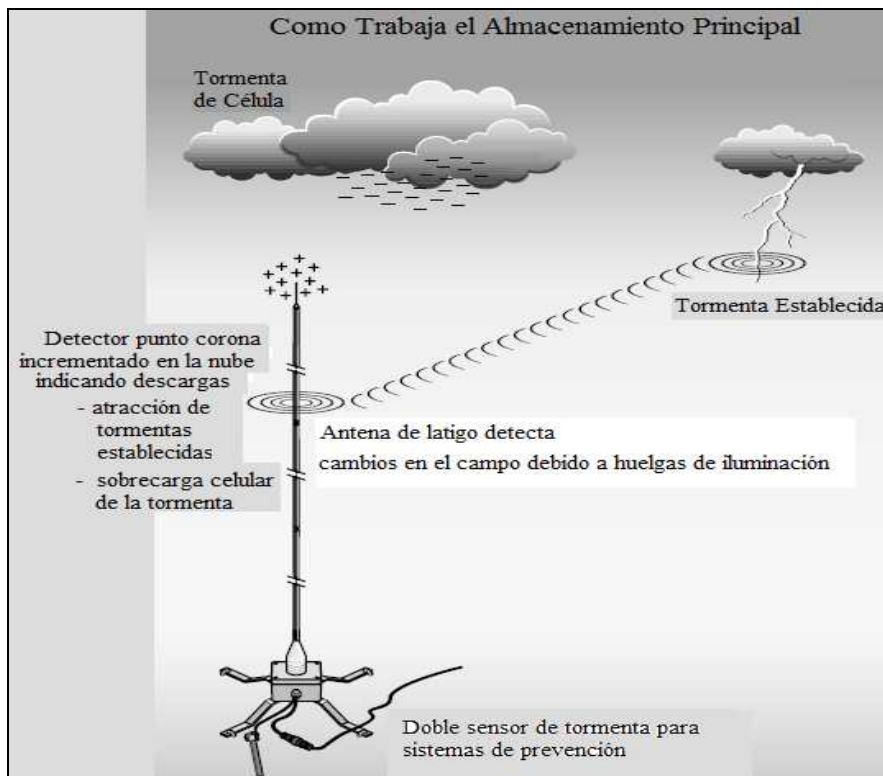
**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

#### **4.3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

Concentra el gradiente de potencial existente en condiciones de tormenta en la atmósfera a través de su corona helicoidal que esta se carga constantemente al potencial circundante y define de esta forma la incidencia del rayo sobre la punta de la barra conductora que está conectada constantemente a un sistema de tierras.

La característica principal es la de canalizar por el cable de tierra la diferencia de potencial entre la nube y la parte superior del pararrayos, el sistema conduce primero en sentido hacia arriba, por el cable de tierra física; la tensión eléctrica creada por la tormenta eléctrica al punto más alto del sistema, durante el desarrollo de la tormenta se generan campos de alta tensión que se concentran en el electrodo inferior (cátodo -), a partir de una magnitud del campo eléctrico.

El electrodo superior (ánodo +) atrae cargas opuestas para compensar la diferencia de potencial interna de la parte superior, durante el proceso de transferencia, en el interior del pararrayos se produce un flujo de corriente entre el ánodo y el cátodo, este proceso natural anula el efecto corona en el exterior del pararrayos.



**Figura 4.6 Acción del Pararrayos durante la formación del Rayo**

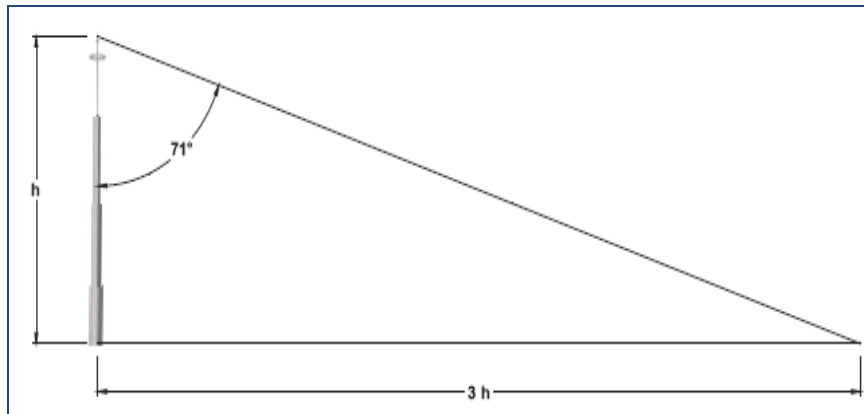
**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

Durante el proceso, se genera una fuga de corriente a tierra por el cable del sistema, los máximos valores que se generan en el tiempo de la tormenta eléctrica, son cercanos a los 350 miliamperios. En este instante el campo eléctrico en el ambiente no es superior la tensión de ruptura al no tener la carga suficiente para romper su resistencia eléctrica.

De esta manera, protege de los impactos directos el área de cobertura para evitar daños a las personas y estructuras, el sistema está calculado para conducir la energía durante la formación del rayo desde la parte superior hasta la tierra física.

Las normas que rigen las instalaciones de sistemas de pararrayos, tierra física y bajada de cables cumplen las recomendaciones de las normas en baja tensión. Los sistemas de

pararrayos con características de sistema de transferencia de carga (CTS) proporcionan mayor protección que los pararrayos simplemente terminados en punta. En la figura 4.7 se observa el ángulo de protección de un pararrayo dipolo Parres, dependiendo la altura,  $h$  este es capaz de multiplicar por 3 veces  $h$ , y de esta forma dar cobertura de protección contra rayos en teoría.



**Figura 4.7 Ángulo de Protección del Pararrayos Tipo Dipolo**

**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

#### **4.4 ARMADO DE 2 SEGMENTOS PARA DAR MAYOR ALTURA A LA TORRE DE TELECOMUNICACIONES EN LIMONCITO**

Por cálculos en capítulo anterior se concluyó que se puede mejorar la pérdida de paquetes, aumentando 2 segmentos a la torre, es decir aumentar la altura de la torre.



**Figura 4.8 Aumento a 23 metros la altura de torre de telecomunicaciones**

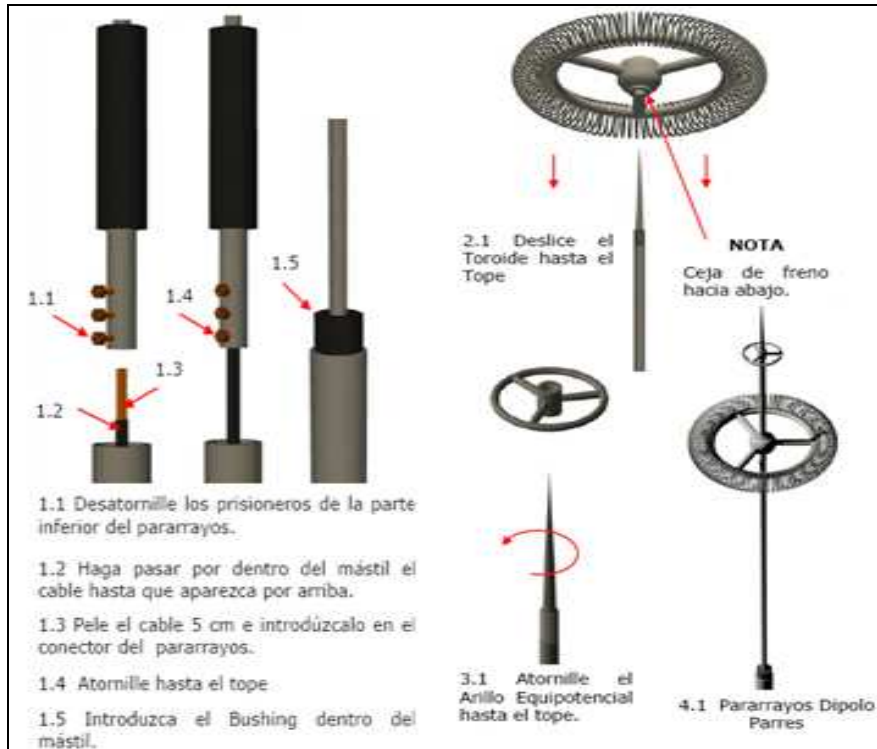
#### **4.5 INSTALACION DEL PARARRAYO EN LA TORRE**

En base a los manuales del pararrayo se procede a realizar el armado del pararrayo;

- a) El equipo debe ser instalado en el punto más alto de la torre, integrado con mástil, mismo que deberá ser empotrado lateralmente sobre el perfil estructural encontrado, a base de abrazaderas tipo “U” inoxidable reforzadas.



b) Ensamblar equipo, integrado por: Barra de descarga (1pza.), Anillo equipotencial (1pza.), Toroide Excitador (1pza.), Bushing<sup>47</sup> de aislamiento y Conector mecánico, donde estos dos últimos ya vienen integrados en la barra de descarga.



**Figura 4.9 Partes que conforman la estructura del Pararrayos**

**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

c) El equipo deberá ser preparado para introducción dentro del mástil de 3 de longitud y diámetro de 1 ½”, de material acero galvanizado.

d) Hacer pasar el cable de bajante de pararrayos calibre #2/0 AWG<sup>48</sup> THW<sup>49</sup> dentro de mástil y conectar a pararrayos en su conector mecánico correspondiente.

<sup>47</sup> Es un aislador hueco, lo que permite un conductor para pasar a lo largo de su centro y conectar en ambos extremos para otros equipos

<sup>48</sup> American Wire Gauge (Calibre de Cables Americano)

<sup>49</sup> Thermoplastic, Heat and Water Resistant (Cable con aislamiento termoplástico resistente al calor y al agua).



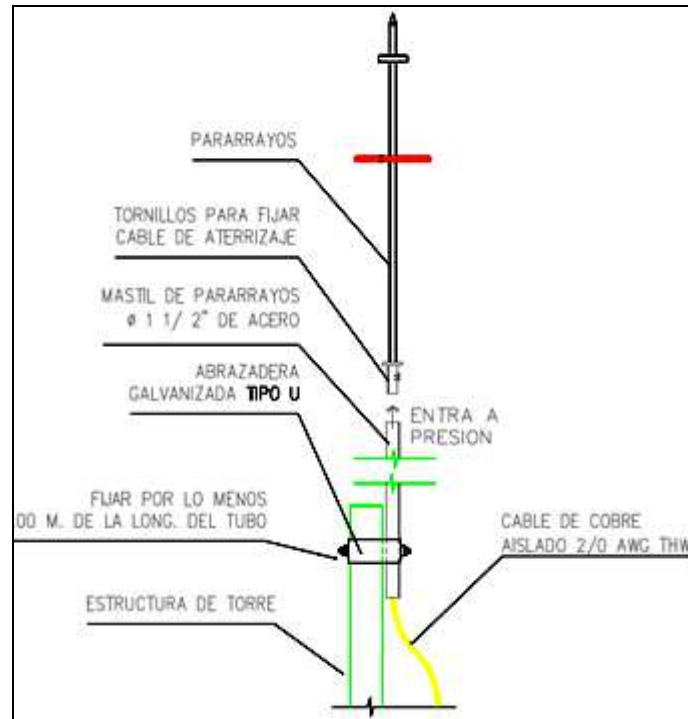
**Figura 4.10 Armado del Pararrayo**

**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

- e) Verificar el correcto apriete entre el conector mecánico del equipo y el cable de bajante Calibre #2/0 AWG THW.
- f) Introducir Bushing de aislamiento dentro de mástil y verificar su correcta fijación.
- g) El pararrayos deberá ser fijado en el perfil estructural de la torre por lo menos 1 m.
- h) El cable de bajante Calibre 2/0 AWG THW, deberá ser fijado lateralmente sobre el perfil estructural encontrado en la torre, por medio de fleje y hebillas de acero inoxidable a cada 1.00 m. en toda su longitud.
- i) El cable de bajante Calibre 2/0 AWG THW, deberá ser fijado sobre la pata de la torre opuesta a la bajada de cables Feeders (guías de onda).
- j) La bajante del pararrayo debe ser toda continua y de una sola pieza, hasta su conexión con el sistema de tierras correspondiente.

k) Realizar la medición funcional de continuidad entre el pararrayos y el sistema de tierras correspondiente.

Ver figura 4.10 que muestra el esquema de conexión e instalación de pararrayos:



**Figura 4.11 Como se debe conectar a tierra el pararrayo**

**Fuente:** [www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad\\_Dos/Curso\\_Tierras\\_Fisicas](http://www.ec.digaden.edu.mx/cesnav/moodledata/51/Unidad_Dos/Curso_Tierras_Fisicas)

#### **4.6 RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA**

Los elementos que garantizan una buena puesta a tierra son las conexiones metálicas directas entre determinadas partes de una instalación, electrodo o grupo de electrodos en contacto permanente con el terreno y una buena resistividad del terreno. La resistividad del terreno depende de su naturaleza, estratigrafía (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura. La resistividad de un terreno se ve afectada por las variaciones estacionales.

Por otro lado a medida que aumenta el tamaño de las partículas aumenta el valor de la resistividad, es por eso que la grava tiene mayor resistividad que la arena y ésta mayor resistividad que la arcilla. La resistividad se ve así mismo por el grado de compactación del terreno, disminuyendo al aumentar ésta. Cuando determinamos la resistividad en un punto del terreno, lo que determinamos es la resistividad media de las capas comprendidas entre la superficie y una cierta profundidad, que a veces se denomina resistividad aparente **ra**.

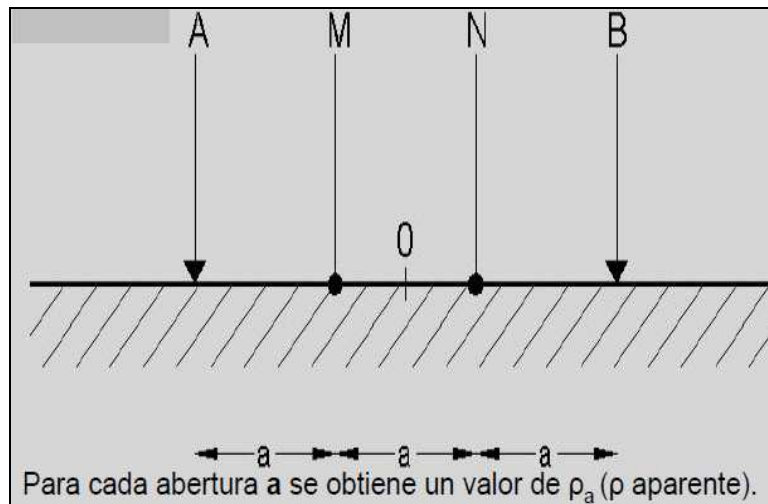
La resistividad de los suelos o rocas puede medirse directamente por diversos métodos. Tales determinaciones experimentales pueden efectuarse de tres modos diferentes:

- Por medio de mediciones Geoeléctricas realizadas en la superficie del terreno. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), sondeos magneto telúricos, etc. La medición estudia un volumen grande de suelo en su estado natural.
- Por mediciones efectuadas en el interior de sondeos mecánicos. El suelo se estudia en su estado natural, con mejor detalle pero mas local (menos volumen de suelo).
- Por laboratorio en muestras extraídas de afloramientos, sondeos mecánicos, etc. Abarca un volumen pequeño de suelo el cual es alterado y puede no ser representativo.

Mediciones Geoeléctricas. Sondeos Eléctricos Verticales. Particularidades de método. Los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), son dispositivos de cuatro electrodos AMNB en línea recta y simétricos respecto a un centro O. Los electrodos A y B son electrodos de corriente y M y N de potencial. Los métodos más utilizados son el Schlumberger<sup>50</sup> y el Wenner. La diferencia entre ambos radica en la configuración geométrica de los electrodos AMNB. Ver figura

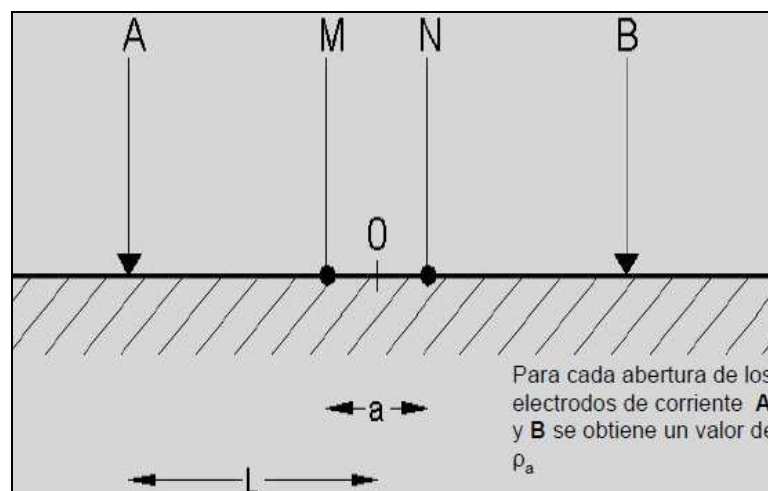
---

<sup>50</sup> Es una modificación del método de Wenner



**Figura 4.12 Método Wenner**

**Fuente:** [http://www.cec.cubaindustria.cu/contenido/jornadaVII/1\\_2Cont.pdf](http://www.cec.cubaindustria.cu/contenido/jornadaVII/1_2Cont.pdf)



**Figura 4.13 Metodo Schlumberger**

**Fuente:** [http://www.cec.cubaindustria.cu/contenido/jornadaVII/1\\_2Cont.pdf](http://www.cec.cubaindustria.cu/contenido/jornadaVII/1_2Cont.pdf)

#### 4.6.1 RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

Los datos obtenidos de estas mediciones son procesados obteniendo gráficos que posteriormente son interpretados mediante nomogramas (Álbum de curvas teóricas) o programas de computación. Los resultados obtenidos difieren según la distribución geoelectrica del suelo. Al implementar el sistema de tierra para aterrizar la torre se empleo el método de 3 electrodos o varillas de cobre también llamadas copperweld de

5/8"x 6 pies, separadas de dos a tres metros entre si y unidas mediante conductor 2/0AWG, y se instaló en cada uno de los extremos de las plataformas.

La unión varilla-cable y cualquier prolongación del conductor se la hizo con soldadura exotérmica del tipo Cadweld o equivalente. Como la resistencia a tierra marcó un valor menor a 2.5 ohmios, no se debió colocar varillas de copperweld adicionales. Pero se realizó un tratamiento del suelo con elementos químicos para obtener un valor adecuado.



**Figura 4.14 Método 3 electrodos**

#### **4.6.2 CONEXIÓN EXOTÉRMICA CADWELD**

Es un proceso de soldadura que elimina la conexión al formar una unión molecular. Las conexiones son el punto débil de todos los circuitos eléctricos, en particular los de puesta a tierra, sujetos al envejecimiento y corrosión. La capacidad de un circuito de puesta a tierra de proteger la seguridad de las personas dependerá de la calidad de las conexiones realizadas. El principio consiste en combinar material de soldadura con un

agente de ignición en un molde de grafito adecuado. La reducción del óxido de cobre mediante aluminio genera una escoria de cobre y óxido de aluminio fundido a temperaturas extremadamente altas.

La forma del molde, sus dimensiones y el tamaño del metal fundido dependerán de los componentes que vayan a soldarse y de su tamaño.

La unidad de ignición CADWELD inicia la reacción del crisol de metal. La unidad estándar incluye un cable de 1,8 metros (6 pies). Este cable se conecta a la tira de ignición mediante un clip cuyo conector ha sido específicamente diseñado.

Una vez instalado el clip de conexión en la tira de ignición, el instalador pulsa durante unos instantes el botón de ignición para iniciar la secuencia de carga y descarga. En unos instantes, la unidad de encendido enviará una tensión predeterminada a la tira de ignición, iniciando la reacción.

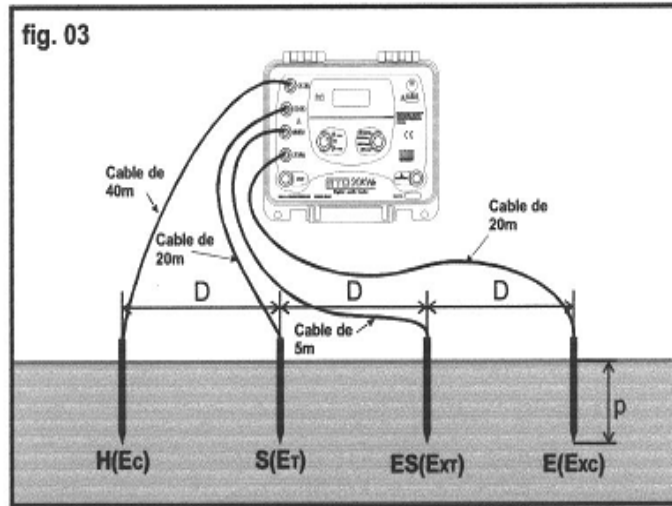


**Figura 4.15 Soldadura exotérmica en conductores y electrodos**

#### **4.7 MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DE TIERRA**

De acuerdo con procedimientos físicos establecidos, es posible determinar la

resistencia del terreno por medio al método de Wenner (Método Tetra electródico,) con toma de series de datos de acuerdo con formato preestablecido, dando como resultado la resistividad aparente del suelo.



**Fig. 4.16 Diagrama esquemático del método Wenner**

Consiste en introducir cuatro electrodos de prueba en línea recta y separados a distancias iguales (a), enterrados a una profundidad (b) que es igual a la vigésima parte de la separación de los electrodos de prueba ( $b = a/20$ ) y van conectados al equipo de medición, el cual introduce una intensidad de corriente entre los electrodos C1 y C2. Generando una diferencia de potencial entre los electrodos P1 y P2 (VP1, P2), que será medida por el equipo, a su vez en la pantalla tendremos el resultado de la relación (V/I) que por ley de Ohm es R.

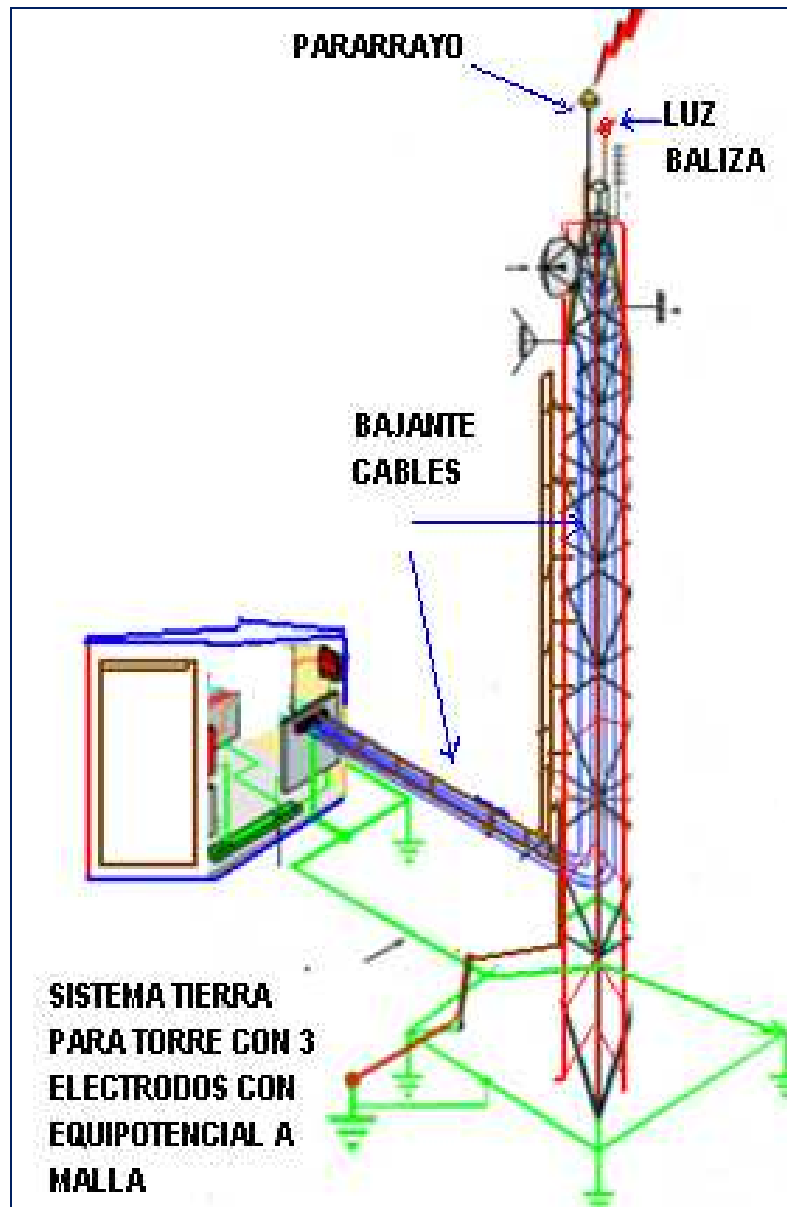
Realizando una medición de campo, mediante el método de las 4 picas equidistantes a una distancia “a” se encontraron los siguientes valores de resistencia del terreno:

Distancia	Resistividad
1	20.5087
2	25.7463
3	1.8931

**Tabla 4.1 Valores calculados por métodos de Wenner**







**Figura 4.18 Esquema de Torre de Telecomunicaciones en la finca Limoncito**

Cuando se aumento la altura a 23 metros, se tomo precaución con las antenas de voz y datos instaladas, esos son tesis anteriores, que ahora tendrán mejor recepción los receptores pues la altura ayuda mucho al nivel de sensibilidad en cuanto a señal de paquetes IP.



**Figura 4.19** Ensamblando segmentos a torre de Telecomunicaciones



**Figura 4.20** Vientos nuevos, anclajes y templadores para torre



**Figura 4.21 torre pintada por integrantes de la Tesis**



**Figura 4.22 Reordenamiento seguro de anclajes para vientos**



**Figura 4.23 Revisando conexión a sistema tierra de la torre**



**Figura 4.24 Tapa de caja de sistema de conexión a la torre**

## CAPITULO 5

### IMPLEMENTACIÓN DE ATERRIZAMIENTO, RACK Y PUESTA DE RESPALDO DE ENERGÍA AL CUARTO DE EQUIPOS DE LA FINCA LIMONCITO

Todos los equipos ubicados en una torre o soporte deben estar correctamente conectados al sistema de tierra, esta conexión debe realizarse a la barra de tierra que se encuentre más cerca por debajo del equipo. No están permitidas las conexiones al sistema de tierra que tengan recorridos verticales ascendentes. En caso que las barras no existiesen en la instalación, las mismas deberían ser colocadas y conectadas al sistema de aterrizamiento como se describió en el capítulo anterior.



**Figura 5.1** Cuarto de equipos de Limoncito, paredes con cerámica

#### 5.1 BARRA DE ATERRIZAMIENTO EN CUARTO DE EQUIPOS

La barra de aterramiento es el área donde terminan todas las conexiones a tierra provenientes de los equipos, guías, etc. Físicamente es una barra de cobre con huecos que tengan una configuración que permita soportar conexiones del tipo “doble ojo”.

En interiores, esta barra debe estar ubicada en un lugar de fácil acceso para los conductores y desde donde pueda conectarse a un punto del anillo externo con conductor  $N \pm 2$  AWG o mayor.

## **5.2 ATERRIZAMIENTO DEL RACK**

Todos los racks o bastidores que se encuentren en una instalación deben estar aislados del suelo y tendrán una barra de cobre la cual servirá de referencia a todos los equipos que se encuentren en ese rack. Esta barra deberá estar aislada por materiales no conductores del rack que la soporta, y estarán conectadas a la barra principal de aterrizamiento mediante cualquiera de los siguientes sistemas:

El rack que fue parte de la implementación de esta tesis, es un bastidor para dos bandejas y fue instalado con aterrizamiento a la barra de cobre dentro del cuarto.

## **5.3 ATERRIZAMIENTO DE EQUIPOS UBICADOS EN RACKS**

Las partes metálicas descubiertas de equipos fijos, no destinadas a transportar corriente y que tengan probabilidades de entrar en contacto con partes activas bajo tensión en condiciones anormales, serán puestas a tierra cuando exista cualquiera de las condiciones especificadas a continuación:

- Cuando estén dentro de una distancia de 2,40 metros verticalmente o de 1,50 metros horizontalmente de la tierra o de objetos metálicos puestos a tierra y expuestos a contacto de personas.
- Cuando estén instalados en lugares mojados o húmedos y no estén aislados, como por ejemplo en torres.
- Cuando estén en contacto eléctrico con metales.

- Cuando los equipos estén alimentados por cables colocados en canalizaciones metálicas u otro método de cableado que proveen puesta a tierra de equipos.



**Figura 5.2 Rack del cuarto de Equipos en Limoncito**

- Cuando se cumpla alguna de las condiciones anteriores, los equipos deberán conectarse a tierra. Esta conexión debe hacerse a la barra de tierra del rack que soporta al equipo mediante un conductor de un calibre sugerido por el fabricante del equipo, en caso de que este no sea especificado debe escogerse uno de acuerdo a la capacidad de corriente del equipo.
- Para aterrizar los equipos no se permite utilizar barras de tierras de racks adyacentes.
- Si el rack donde está ubicado el equipo no contiene una barra de tierra debe colocarse una la cual esté conectada al sistema de aterrizamiento.





**Figura 5.3 Conexión del cuarto con sistema de tierra (caja)**

#### **5.4 SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGIA A CUARTO DE EQUIPOS**

El sistema de backup es otra implementación que se diseñó para que sistemas como de voz y datos (internet) no tengan inconvenientes en su operación, y cuando la empresa eléctrica de Santa Elena suspende el servicio eléctrico, el inversor conmuta al banco de batería, es decir una vez que haya un corte el equipo el inversor da automáticamente el paso de energía que proviene de 2 baterías de 12VDC cada una, esto en total recibe 48 VDC y por medio de un transistor interno que se enciende y se apaga, hace un efecto como si fuese de alternancia, y esto hace que los equipos o repetidores en el cuarto no dejen de operar, por el tiempo de par de horas aproximadamente. Cuando vuelve la energía eléctrica este inversor conmuta al servicio dado por la empresa comercializadora de electricidad.

De esta forma se concluye todos los objetivos planteados en la tesis.

## CONCLUSIONES

La señal de microondas (2GHz en adelante) transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de poder dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas.

Los retardos experimentados en el envío de paquetes a través de Internet nos permiten verificar que no existe ningún tipo de continuidad marcada en la variabilidad del retardo (dispersión).

Los valores medios de retardos son los suficientemente reducidos para poder diseñar algoritmos de control remotos basados en las restricciones impuestas en [3]. Sin embargo, los valores máximos del retardo impiden aplicar el diseño de [3], por lo que una propuesta sería aplicar los diseños de sistemas de control con pérdida de paquetes de, considerando pérdidas aquellas.

La banda 2.4 GHz es muy ruidosa, es decir es susceptible a todo tipo de interferencias debido a un uso muy popular ejemplos: teléfonos inalámbricos, dispositivos bluetooth, wlan's etc., no así la banda 5 GHz que implica menos interferencia pero tiene considerables pérdidas de propagación (pérdidas geométricas y absorción por lluvias, edificios, humanos etc.)

Generalmente la instalación de este tipo de torres se realiza a través de la colocación de poleas que facilitan el ascenso de nuevos tramos para ampliar las secciones de las torres. El mástil se asegura a la sección más baja colocada, mientras que las dos secciones de la torre se acoplan con una unión articulada. Una vez alcanzados y dispuestos todos los tramos, se proceden a ajustar los cables de vientos de forma tal de lograr en todos la misma tensión. En el caso de los puntos de anclajes, los ángulos vistos desde el centro

de la torre se ubican bien espaciados para lograr una alta estabilidad. Presiones de viento de acuerdo a norma TIA/EIA 222-F, velocidad básica de viento de 120 Mph.

Los sistemas digitales requieren calidad en sus mediciones tanto en dominio análogo como digital. La forma de onda RF modulada es una señal análoga caracterizada por la razón de señal a ruido (S/N). Una vez recibida, la señal es demodulada y se convierte de análoga a digital. De ahí la señal pasa directamente a un detector de umbral. La señal digital se caracteriza por un valor Eb/No.

La sensibilidad de un receptor (mínimo nivel de señal que un receptor puede recuperar y operar aceptablemente), es una cantidad basada en la energía por bit a razón de ruido (Eb/No; medida de relación señal/ruido), figura de ruido (NF), razón de datos (R) y densidad de ruido térmico.

## **RECOMENDACIONES**

Que se monitoree la señal de internet desde Centro de Cómputo, desde los últimos tiempos no cumple con la calidad del servicio, la conectividad dentro de la UCSG y fuera de ella es lenta y pésima.

Se les recomienda a las autoridades máximas de la UCSG, cambiar de proveedor de internet, que se tenga banda ancha para satisfacer las necesidades de comunicación, a estudiantes, investigadores y profesores esto es sinónimo de calidad en acceso a la información.

Se recomienda que se de adecuado mantenimiento por lo menos cada año y medio a los conductores del sistema a tierra a la torre y cuarto de equipos de limoncito.

Que la antena sea pintada cada 2 años, se revise anclajes y demás elementos de la estructura de los vientos (alambres) se conoce en zonas despejadas donde no existe arboles el viento es muy fuerte.

Que se tome conciencia acerca de las descargas atmosféricas hay que cuidar la vida luego la vida de los equipos y dispositivos electrónicos.

Que el cuarto de equipos tenga solo acceso personal autorizado por la Facultad Técnica y Departamento de mantenimiento de la UCSG.

Que a los sistemas de comunicación voz y datos también se les de mantenimiento, se recomienda crear un departamento técnico para tener en buen funcionamiento los enlaces antes dicho.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A One-way Delay Metric for IPPM (RFC 2679) (*G. Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas; September 1999*).
- [2] A Round-trip Delay Metric for IPPM (RFC 2681) (*G. Almes, S. Kalidindi, M. Zekauskas; September 1999*).
- [3] Framework for IP Performance Metrics (RFC 2330) (*V. Paxson, G. Almes, J. Mahdavi, M. Mathis; May 1998*).
- [4] Sistemas Multimedia Distribuidos (*Aguirre Gutierrez Angel Ramón; 2002*).
- [5] Allowable Propagation Delay for VoIP Calls of Acceptable Quality (*Songun Na and Seungwha Yoo*).
- [6] A Scalable and Lightweight QoS Monitoring Technique Combining Passive and Active Approaches (*Masaki Aida, Naoto Miyoshi and Keisuke Ishibashi*).
- [7] Hinojoza A. *Medida del Retardo en Redes IP* 25 de 26
- [8] Cisco Sytems “NetFlow Services and Applications”, White Paper, julio de 2002.

## Referencia de internet

- ✓ [www.newwebstar.com/programas/89683-wifi-toolkit-2-2010.html](http://www.newwebstar.com/programas/89683-wifi-toolkit-2-2010.html)
- ✓ [www.sistemasdetierra.es](http://www.sistemasdetierra.es)
- ✓ Echoping Home page; <http://echoping.sourceforge.net/>
- ✓ Netperf; <http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>
- ✓ IP Performance Metrics; <http://www.ietf.org/html.charters/ippm-charter.html>
- ✓ IETF, Remote Network Monitoring (rmonmib) Charter;  
<http://www.ietf.org/html.charters/rmonmib-charter.html>

## **ANEXO 1**

### **MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA A TORRE DE TELECOMUNICACIONES EN FINCA LIMONCITO**

#### **Objetivo del Mantenimiento del sistema de puesta a tierra**

El objetivo de las inspecciones es determinar qué:

- Todos los componentes del Sistema de Puesta a Tierra estén en buena condición, aptos para realizar las funciones para las cuales fueron diseñados y evitar la corrosión.
- Estén incorporados dentro del sistema de Puesta a Tierra de la edificación las construcciones o servicios adicionados recientemente.

#### **Inspección del Mantenimiento del sistema de puesta a tierra**

- Durante la construcción de la estructura, con el fin de verificar los electrodos embebidos.
- Después de la instalación del sistema de Puesta a Tierra.
- Periódicamente a intervalos determinados con respecto a la naturaleza de la estructura a ser protegida (dependiendo de los problemas de corrosión del Sistema de Puesta a Tierra).
- Después de alteración o reparaciones, o cuando se tiene conocimiento que la estructura ha sido impactada por el rayo.

Durante la inspección periódica es importante verificar lo siguiente:

- Deterioro y corrosión de elementos de terminales de captación aéreos, conductores y conexiones.
- Corrosión de los electrodos de puesta a tierra.

- Valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra.
- Condiciones de conexión, unión equipotencial y fijación.

Las inspecciones regulares están entre las condiciones fundamentales para el mantenimiento confiable del Sistema de Puesta a Tierra. La frecuencia del mantenimiento y la práctica recomendada en la instalación depende de su tipo y tamaño, su función y su nivel de voltaje. Se recomienda que la instalación se verifique cada dos a tres años.

El sistema de instalación debe ser objeto de dos tipos de mantenimiento:

- Inspección a intervalos frecuentes de aquellas componentes que son accesibles o que pueden fácilmente hacerse accesibles.
- Examen, incluyendo una inspección rigurosa y, posiblemente prueba.
- La inspección del sistema de tierra en la instalación normalmente ocurre asociada con la visita para otra labor de mantenimiento. Consiste de una inspección visual sólo de aquellas partes del sistema que pueden verse directamente, particularmente observando evidencia de desgaste, corrosión, vandalismo o robo.

El procedimiento en diferentes instalaciones es el siguiente:

- ✓ La inspección normalmente toma lugar asociada con otro trabajo en el lugar, por ejemplo, mejoramiento del servicio, extensiones, etc. Se asegura que la conexión entre los terminales de tierra sean de dimensión suficiente para cumplir la reglamentación.

El examen del sistema de tierra radica en una muy rigurosa y detallada inspección, debe satisfacer las normas de puesta a tierra vigentes.

Como parte del examen se requieren dos tipos de pruebas independientes:

- ✓ Prueba de la resistencia de tierra. Se dispone de instrumentos de prueba comerciales para este propósito como el telurómetro.



**ANEXO 2**

**PRESUPUESTO DE LA IMPLEMENTACION TOTAL**

<b>Cant.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio U.</b>	<b>Precio Total</b>
1	<b>INSTALACION DE PARARRAYO PARRES</b> Con su respectiva malla y accesorios	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
3	<b>ELECTRODOS DE COBRE</b> Con su respectiva malla y accesorios, con soldadura exotérmica	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
1	<b>INSTALACION DE CERAMICA</b> 3 X 3 m	\$ 150,00	\$ 150,00
1	<b>BALIZA</b> Con sus respectivos cables y fotocélula	\$ 120,00	\$ 120,00
1	<b>AUMENTO DE LA TORRE</b> 6 m de largo con sus respectivos soportes	\$ 600,00	\$ 600,00
1	<b>RACK PISO ABIERTO 7FT</b> NEGRO ENCAPSULADA BEAUCOUP 44UR	\$ 280,00	\$ 280,00
2	<b>BACKUP; INVERSOR</b> 48VDC-110VCA BEAUCOUP	\$ 650,00	\$ 650,00
1	<b>VARIOS</b> mano de obra civil y pruebas externas	\$ 300,00	\$ 300,00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.800,00</b>

### ANEXO 3

#### CÁLCULO Y ANALISIS DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Para determinar el valor del diseño de puesta a tierra, como premisa se estableció el terreno. Esta dentro de un terreno normal y esto permitió conocer un valor único que refleja el comportamiento global del terreno, para ello aplicamos la formula siguiente

#### Fórmula Aplicada:

$$\rho = \frac{4\pi RD}{1 + \frac{2D}{\sqrt{D^2 + 4p^2}} - \frac{D}{\sqrt{D^2 + p^2}}}$$

donde:

$\rho$  = Resistividad específica del terreno  
 $D$  = Distancia entre jabalinas (separación)  
 $p$  = Profundidad de penetración de las jabalinas auxiliares  
 $R$  = Valor indicado en el display

#### Resultado de Resistividad por Estratos

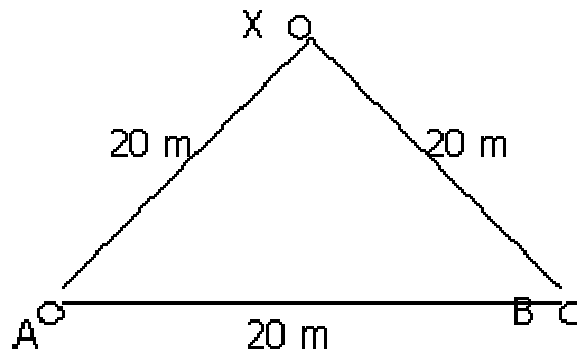
$\rho(1m)$ =	20,5087	$\Omega/m$
$\rho(2m)$ =	25,7463	$\Omega/m$
$\rho(3m)$ =	1,89311	$\Omega/m$

#### Datos:

- F** = Valor estadístico para la resistividad del terreno
- $\rho_{eq}$**  = Resistividad equivalente para 3 estratos de terreno
- r** = Radio equivalente de la malla en mtrs
- S** = Superficie de la malla en mtrs<sup>2</sup>
- $h^2$**  = Componente de profundidad de los estratos
- E** = Estratos en mtrs
- b** = Profundidad de enterramiento de la malla
- n** = # de Estratos tomados
- R<sub>o</sub>** = Resistencia Aparente

#### Método de los Tres puntos o Triangulación

Consiste en enterrar tres electrodos (A, B, X), se disponen en forma de triángulo, tal como se muestra en la figura 2, y medir la resistencia combinada de cada par: X+A, X+B, A+B, siendo X la resistencia de puesta a tierra buscada y A y B las resistencias de los otros dos electrodos conocidas.



#### **Ubicación de electrodos, según Método de las tres puntas.**

Las resistencias en serie de cada par de puntos de la puesta a tierra en el triángulo será determinada por la medida de voltaje y corriente a través de la resistencia. Así quedan determinadas las siguientes ecuaciones:

$$R_1 = X + A$$

$$R_2 = X + B$$

$$R_3 = A + B$$

**De donde**

$$X = (R_1 + R_2 - R_3) / 2$$

El método de medición con el puente de Nippold requiere el emplazamiento de dos tomas de tierras auxiliares, cuyas resistencias de dispersión a tierra designaremos como R2 y R3, mientras que la resistencia de la toma bajo ensayo se denominará R1. En estas condiciones, se miden las resistencias R1-2, R2-3 y R1-3 comprendidas entre cada par de tomas, utilizando preferentemente un puente de corriente alterna. Como  $R_{1-2} = R_1 + R_2$ ,  $R_{2-3} = R_2 + R_3$  y  $R_{1-3} = R_1 + R_3$ ; resulta:

$$R1 = (R1-2 + R1-3 - R2-3) / 2$$

Las resistencias de cada uno de los electrodos auxiliares deben ser del mismo orden que la resistencia que se espera medir. Si las dos tomas auxiliares son de mayor resistencia que la toma de tierra bajo ensayo, los errores en las mediciones individuales serán significativamente magnificados en el resultado final obtenido con la ecuación anterior. Para tal caso se recomienda colocar los electrodos a una gran distancia entre sí. Para la toma de tierra de áreas extensas, las que presumiblemente tienen bajos valores de resistencia, se recomienda que las distancias entre electrodos sean del orden de la mayor diagonal del área a medir. Este método resulta dificultoso para instalaciones de puesta a tierra de grandes subestaciones y centrales generadoras, donde resulta preferible el método de la caída de tensión.

Valores de resistencia de puesta a tierra: Un buen diseño de puesta a tierra debe reflejarse en el control de las tensiones de paso, de contacto; sin embargo, la limitación de las tensiones transferidas principalmente en subestaciones de media y alta tensión es igualmente importante. En razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial y controla las tensiones transferidas, pueden tomarse los siguientes valores máximos de resistencia de puesta a tierra adoptados de las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050, NTC 4552:

Realizando los cálculos tenemos los valores siguientes:

$q^2 = 18,73644$ $R_0^2 = 7,70775$ $h_1^2 = 1 \text{ mtrs}$ $h_2^2 = 9 \text{ mtrs}$ $h_3^2 = 36 \text{ mtrs}$	<b>E1= 1 mtrs</b> <b>E2= 2 mtrs</b> <b>E3= 3 mtrs</b> <b>Fn= 3</b> <b>S= 25 mtrs<sup>2</sup></b> <b>r= 2.82095 mtrs</b> <b>b= 0,50 mtrs</b>	$F_1 = 0,28129$ $F_2 = 0,62501$ $F_3 = 0,82941$	$V_1^2 = 7,097887308 < R_0^2$ $V_2^2 = 4,69685454$ $V_3^2 = 2,405373197$
--	---	---	--

$\rho 1 =$	20,50870	$\Omega / \text{mtrs}$
$\rho 2 =$	25,74630	$\Omega / \text{mtrs}$
$\rho 3 =$	1,89311	$\Omega / \text{mtrs}$

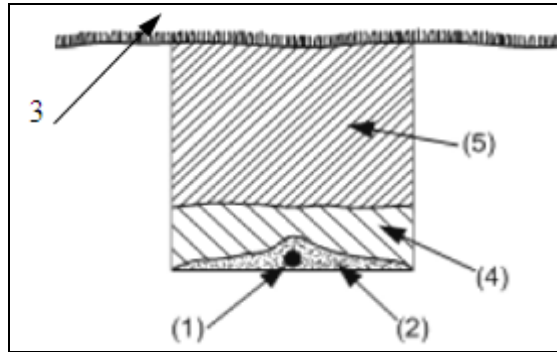
El valor de 1,89  $\Omega$  guarda aproximación a la medida realizada con el telurómetro.

Con el análisis de suelo en la finca Limoncito se estableció la siguiente tabla 1:

MINERALIZACION PARA TERRENO		TIPO DE TERRENO	
Composición al 100% de la Zanja de la; Malla	% Capa de Concreto	Arcilla plástica	
	50 % Relleno Natural	Margas y arcillas compactas	X
	40 % Tierra Vegetal	Arena arcillosa	
	10% Acopladores Químicos	Piedras calizas blancas	
Composición de Acopladores Químicos	Bentonita	Turba húmeda	
	Carbón Mineral	Humus & Limos	X
	Thor Gem	Granitos y areniscas muy alterados	
	Cemento Conductivo San Earth	Piedras calizas agrietadas	
		Subsuelo pedregoso	
		Arena silicea	
		Suelo pedregoso desnudo	
		Aluviones con agua dulce	
		Subcapa húmeda	Si

Tabla 1 Tipo de Terreno existente en el área de campo

**Cama de Electrodo Horizontal:** 0.60 x 0.40 metros:



**Vista en corte transversal de ubicación del cable conductor en el Sistema de Puesta a Tierra (SPT).**

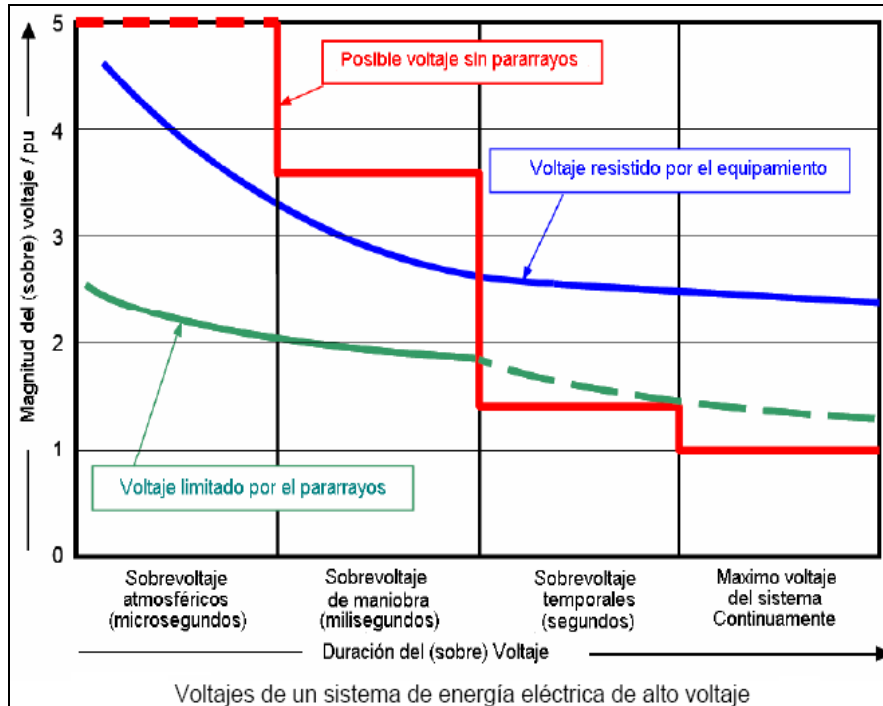
1	Cable Cu #2/0 ( 67,4 mm <sup>2</sup> )
2	Solución química no toxica
3	Capa de concreto
4	Tierra orgánica vegetal + Acopladores
5	Tierra de relleno en compactación

**Tabla 2. Datos generales de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT)**

**Nota:** El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor eléctrico. Los compuestos químicos utilizados para el mejoramiento del terreno, no deben tener una resistividad mayor a 1,0 ohm-m.

## ANEXO 4

### ESTUDIO DEL USO DEL PARARRAYO DIPOLO PARRES



En la Gráfica 1 se muestra los voltajes que pueden aparecer en un sistema de energía eléctrica de alto voltaje expresados en por unidad el valor de cresta del máximo voltaje permanente entre fases y tierra, dependiendo de su duración.

Se divide en forma aproximada el eje del tiempo en la gama de los sobre voltajes atmosféricos (microsegundos), sobre voltajes de maniobra (milisegundos), sobre voltajes temporales (segundos), y por último el máximo voltaje permanente de operación del sistema, ilimitada por el tiempo. El voltaje o sobre voltaje que puede alcanzar sin el uso de pararrayos es de una magnitud de varios p.u.

La característica distintiva de un pararrayos es su característica de voltaje – corriente (V – I) extremadamente alineal. Las corrientes que atraviesan el pararrayos dentro de la gama de posibles voltajes de frecuencia industria aplicados, son tan pequeñas que el pararrayos prácticamente se comporta como aislador.

Si se inyectan en el pararrayos corrientes de impulso en el orden de los kiloamperios, tales como las que aparecen con sobre voltajes atmosféricos o de maniobra, el voltaje resultante en sus terminales debe permanecer lo suficientemente baja, como para proteger el aislamiento del aparato asociado, de los efectos del sobre voltaje.

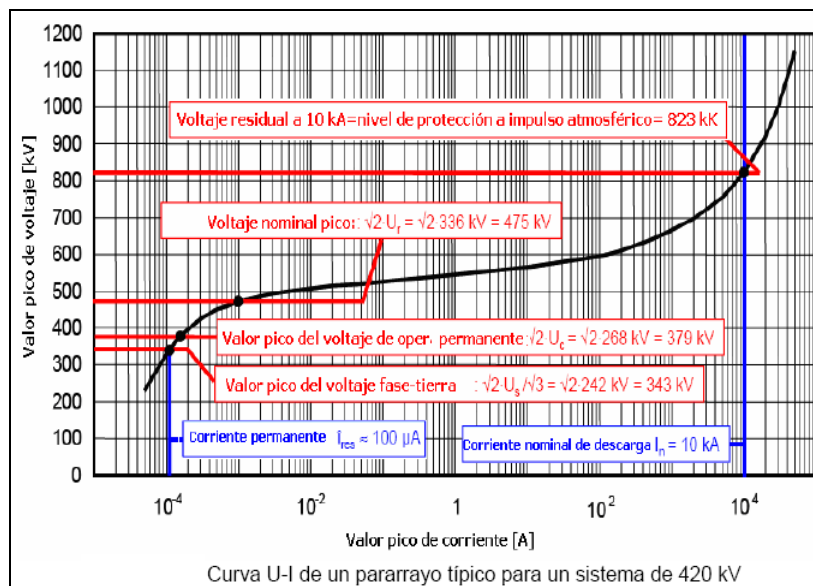
En la Grafica 2 se da un ejemplo de la característica V – I de un pararrayos típico conectado entre fase y tierra de un sistema de 420 KV con neutro rígido a tierra.

Sobre el eje de ordenadas se representan linealmente los valores de cresta de los voltajes, mientras que sobre el de abscisas los valores de cresta de las corrientes, se representan en una escala logarítmica desde 50 uA (micro amperios) hasta 50 KA.

El voltaje de frecuencia industrial que se aplica permanentemente al pararrayos es el máximo voltaje de fase – tierra del sistema. En este caso el valor de cresta es:

$$\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_e / \sqrt{3}$$

### Fórmula Para calcular el Valor de Cresta de un Sistema Contra Descargas Atmosféricas



Gráfica 2. Característica Voltaje-Corriente de un Pararrayos conectado entre Fase y Tierra