



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMBRE DEL PROGRAMA:

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS PARA EL
MONITOREO SÍSMICO

TESINA

que para obtener el título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA:

NOLASCO MEJÍA DAVID

ASESOR:

M.A. JESÚS ANTONIO PÉREZ SANTANA

Ciudad Universitaria, México D.F, 2013

Agradecimientos

A mi madre:

Por su entera dedicación, esfuerzo y apoyo incondicional, por el excelente ejemplo y la confianza que me ha brindado.

A la UNAM:

Por darme la oportunidad de estudiar en las aulas de la Facultad de Ingeniería y a sus profesores por los conocimientos que me transmitieron.

Al Ing. Jesús Pérez Santana:

Por el apoyo y el interés mostrado en mi aprendizaje durante mi estancia en el Servicio Sismológico Nacional (SSN), además de su apoyo para la elaboración de este trabajo.

Índice

OBJETIVO	5
MARCO TEÓRICO	6
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL	7
1.1 HISTORIA	7
1.2 LA IMPORTANCIA DEL MONITOREO DEL SSN	8
1.3 RED DE BANDA ANCHA DEL SSN	9
1.4 ¿CON QUÉ CLASE DE EQUIPOS SE MONITOREA?	9
CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES DEL SSN	13
CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE MONITOREO DE TRÁFICO DE LA RED DE DATOS DEL SSN	16
3.1 INTRODUCCIÓN	16
3.2 ¿PARA QUÉ EL MONITOREO?	17
3.3 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DEL TRÁFICO DE LA RED	17
3.4. TÉCNICAS DE MONITOREO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	18
3.5 HERRAMIENTAS PARA LA RECOLECCIÓN DEL TRÁFICO DE LA RED	19
3.5.1 SNMP	19
3.5.2 PRTG (PAESSLER ROUTER TRAFFIC GRAPHER)	19
3.5.2.1 MONITOREO MEDIANTE SNMP (SIMPLE NETWORK MANAGEMENT PROTOCOL)	20
3.5.2.2 MONITOREO MEDIANTE PACKET SNIFFING EN REDES LAN	21
3.5.2.3 MONITOREO MEDIANTE PROTOCOLO NETFLOW	22
3.5.3 MRTG (MULTI ROUTER TRAFFIC GRAPHER)	23
3.5.4 WIRESHARK	23
CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE DE RADIOFRECUENCIA	25
4.1 INTRODUCCIÓN	25
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ENLACES INALÁMBRICOS	26
4.3 OBJETIVO DEL ENLACE DE RADIOFRECUENCIA	27
4.4 REQUERIMIENTOS DEL ENLACE DE RADIOFRECUENCIA	28
RADIOS FREEWAVE FGR2-PE	28
CPE'S TP- LINK TL-WA5210	29
4.5 DISEÑO DEL ENLACE DE RADIOFRECUENCIA	31

<u>CAPÍTULO 5. DISEÑO E INSTALACIÓN DEL ENLACE DE TELECOMUNICACIONES PARA LA RED DE DATOS: MATÍAS ROMERO, OAXACA- SSN CU, INCLUYENDO SU INTEGRACIÓN A LA RED DEL CTBTO</u>	34
5.1 INTRODUCCIÓN	34
5.2 OBJETIVO DEL ENLACE DE TELECOMUNICACIONES	35
5.3 REQUERIMIENTOS DEL ENLACE DE TELECOMUNICACIONES	35
5.4 DISEÑO DEL ENLACE DE TELECOMUNICACIONES	40
TIPOS DE NAT	40
5.5 IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE DE TELECOMUNICACIONES	43
5.6 MONITOREO DEL ENLACE EN OPERACIÓN	50
<u>CAPÍTULO 6. LICITACIÓN PARA EL NUEVO PROVEEDOR DE TELECOMUNICACIONES DEL SSN</u>	51
6.1 INTRODUCCIÓN	51
6.2 OBJETIVO DE LA LICITACIÓN	52
6.3 SATÉLITES GEOESTACIONARIOS CON HUELLA EN MÉXICO	52
<u>RESULTADOS OBTENIDOS</u>	59
<u>CONCLUSIONES</u>	60
<u>ANEXO I. TÉRMINOS TÉCNICOS DE REFERENCIA</u>	62
<u>ANEXO II. PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS SÍSMICOS Y DE GPS A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN SATELITAL</u>	67
<u>ANEXO III. VOLUMEN DE TRÁFICO</u>	70
<u>REFERENCIAS</u>	72

Objetivo

Plasmear las actividades desarrolladas durante mi servicio social a fin de demostrar una clara aplicación de los conocimientos adquiridos durante el estudio de mi carrera profesional, además de resaltar la experiencia y el conocimiento obtenido en el Servicio Sismológico Nacional (SSN) incluyendo el impacto positivo de mis labores hacia esta institución y la sociedad en general.

Marco Teórico

El avance tecnológico en las últimas décadas en el campo de la instrumentación ha permitido el despliegue e implementación de nuevas herramientas y dispositivos para poder llevar a cabo el monitoreo de la operación de las redes de datos.

En relación al monitoreo sísmico, éste nos brinda la información para la correcta toma de decisiones frente a desastres naturales en cuanto a terremotos se refiere, a fin de lograr una respuesta interdisciplinaria, de trabajo coordinado y multi-institucional que garantice el mayor grado de integridad para nuestra sociedad, así como la implementación oportuna de mecanismos de ayuda para la población que pudiese verse afectada. A este respecto, cabe destacar que nuestro país debido a su localización geográfica se encuentra sujeto a la interacción de cinco placas tectónicas: Norteamericana, Pacífico, Rivera, Cocos y Caribe.

Las nuevas herramientas de software, para el monitoreo de las redes de telecomunicaciones, nos permiten obtener una amplia variedad de parámetros que representan las referencias en cuanto a lo permisible dentro de nuestra red. Entre los parámetros y funcionalidades encontramos los siguientes: supervisión del tiempo de funcionamiento y periodos de inactividad (uptime/downtime), uso del ancho de banda, monitoreo de LAN, WAN, VPN y sitios distribuidos, múltiples tipos de sensores, sniffers, protocolos como SNMP, entre otros.

El registro de la actividad sísmica puede lograrse gracias a los sismógrafos ubicados en cada estación a lo largo del país, la información recolectada por estos dispositivos es posible conocerla en tiempo real, debido al uso de equipo de telecomunicaciones que es empleado para su envío y recepción en las instalaciones del Servicio Sismológico Nacional (SSN). El equipo de telecomunicaciones utilizado para el envío de los datos desde cada nodo consta básicamente de un módem satelital y una antena parabólica, la cual se encuentra dirigida hacia el satélite que brinda el servicio de telecomunicación, este a su vez redirige la información hacia el telepuerto de la empresa con la cual el SSN celebra un contrato para el transporte de la información, y desde este punto se llevan los datos hacia el SSN mediante un enlace de última milla.

Los dos protocolos principales que se usan en el transporte de datos son: el protocolo TCP y el protocolo UDP. El primero se encarga del transporte de datos de una aplicación GPS y el segundo de los datos sísmicos; la designación anterior se realiza de acuerdo a la fiabilidad y necesidad en la recepción de información así como en el tamaño de los datagramas de cada protocolo.

Capítulo 1. Introducción al Servicio Sismológico Nacional

1.1 Historia

El primero de abril de 1904 se reunieron en Francia dieciocho países, entre ellos, México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sísmica a nivel mundial. Para cumplir con los compromisos adquiridos en esa reunión, el gobierno mexicano decretó la fundación del Servicio Sismológico Nacional (SSN) el 5 de septiembre de 1910. En ese momento el SSN quedó bajo el cargo del Instituto Geológico Nacional dependiente de la Secretaría de Minería y Fomento.

Entre 1910 y 1923 se instalaron 8 estaciones sismológicas mecánicas autónomas. La central fue instalada en Tacubaya, D.F. y las foráneas en las ciudades de Oaxaca, Mérida (figura 1.1), Chihuahua, Veracruz, Guadalajara, Monterrey (figura 1.2) y Zacatecas. Se eligieron sismógrafos “Wiechert” de fabricación alemana.



Figura 1.1. Estación Sismológica de Mérida, Yuc (1910)



Figura 1.2. Estación Sismológica de Monterrey, N.L (1913)

El SSN pasó a ser parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1929 y desde 1948 quedó adscrito al Instituto de Geofísica de la UNAM. En sus inicios, el SSN contó con los instrumentos más modernos de la época, sin embargo, es hasta los años sesenta que se comienza la instalación de sismógrafos electromagnéticos, llegando a tener aproximadamente 20 instrumentos autónomos, con grabación de las señales sísmicas en papel ahumado y fotográfico.

La instalación de la Red Sísmica de Apertura Continental (RESMARC) se inició en la UNAM a mediados de los años setenta, con el fin de contar con estaciones telemétricas digitales en todo el territorio nacional. En esta red, la transmisión de las señales se realizaba por

medio de enlaces de microondas proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (ahora TELECOMM). Para las operaciones de detección y captura de eventos sísmicos se utilizaba una computadora PDP11-40.

En agosto de 1986, RESMARC pasó a formar parte del SSN. Así se integraron las dos redes de cobertura nacional. Esto mejoró el monitoreo sísmico del país, y por primera vez, permitió al SSN contar con registros en tiempo real desde diferentes puntos de la República Mexicana. Sin embargo, la cobertura nacional aún era insuficiente.

En 1988 se amplió la Red Telemétrica del SSN, recibiendo apoyo de Petróleos Mexicanos (PEMEX), que facilitó canales de su red de microondas para la transmisión de los datos.

A inicios de los 90's el Departamento de Instrumentación del Instituto de Geofísica, comenzó a desarrollar un sistema de adquisición y procesamiento automático de datos y a instrumentar estaciones telemétricas digitales.

A partir de 1992, con apoyo presupuestal de la Secretaría de Gobernación y de la UNAM, se inició la modernización de la Red Sismológica Nacional con la instalación de equipos de nueva tecnología. Así nació la red de Observatorio Sismológico de Banda Ancha [1].

1.2 La importancia del monitoreo del SSN

Nuestro país se encuentra en una región del planeta que desde hace tiempo ha estado afectada por los sismos y lo seguirá estando. En otras palabras, México es una zona de alta sismicidad. Lo anterior obedece a que las placas de Cocos y de Rivera, que se encuentran al sur y sureste de México, en el océano Pacífico, se están metiendo bajo la placa Norteamericana, de la cual forma parte la placa continental del país. En el lenguaje de los sismólogos, las placas de Cocos y la Rivera subducen a la placa Norteamericana. La primera se mueve con una velocidad relativa de aproximadamente 5 cm/año, respecto a la placa continental, mientras que la segunda se desplaza 2.5 cm/año aproximadamente [2].

En la falla de esta zona costera del Pacífico se acumulan grandes cantidades de energía que al liberarse provocan los grandes sismos que afectan a nuestro país. De ello se desprende que el conocimiento de esta zona de subducción es fundamental para determinar la sismicidad en nuestro territorio. Para lograrlo, sismógrafos, acelerógrafos, el área de ruptura de la corteza terrestre y la frecuencia de los sismos en la región, son algunos de los elementos fundamentales con los que trabajan los sismólogos.

Hoy en día, el SSN opera una red de más de 54 estaciones de banda ancha, la mayoría de las cuales envía su información en forma telemétrica a una oficina central ubicada en el Instituto de Geofísica en Ciudad Universitaria, D.F. Allí se registran y procesan los datos

que son posteriormente publicados en los boletines. La información sismológica ya sea en forma de sismogramas o datos digitales, se suma al catálogo de datos históricos del país, que datan desde la fundación del Servicio en 1910.

El Servicio Sismológico ha jugado un papel importante en el desarrollo de la sismología en México, además de tener una función social y económica palpable. Afortunadamente en la última década, los estudios de sismología en México han progresado más allá de la simple observación sismológica y se han formado distintos grupos de investigación que afrontan los diferentes problemas de la sismología. Existen en la UNAM dos de estos grupos de trabajo, uno de ellos es el grupo del Instituto de Geofísica, concentrado en el Departamento de Sismología y Vulcanología, que además de realizar labores de investigación tiene a su cargo el Servicio Sismológico Nacional, que es el vocero oficial de la UNAM en la divulgación de los parámetros de los temblores. El segundo grupo, localizado en el Instituto de Ingeniería, enfoca su trabajo principalmente a problemas de riesgo sísmico y maneja una red de estaciones telemétricas (SISMEX). Existe otro grupo de trabajo en el Centro de Investigaciones y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE), que enfoca su estudio entre otros aspectos a la actividad sísmica asociada tanto al Golfo de California como a la falla de San Andrés, igualmente operan la Red Sismológica del Noroeste (RESNOR). Los diferentes grupos mantienen comunicación y frecuentemente se encuentran en congresos donde dan a conocer sus avances en el estudio de la Sismología [3].

1.3 Red de Banda Ancha del SSN

La Red Sismológica de Banda Ancha está configurada para monitorear la sismicidad en las regiones de mayor potencial sísmico dentro de la República Mexicana. Las estaciones se localizan, en su mayoría, a lo largo de las costas del Océano Pacífico y de Veracruz, así como en el eje neovolcánico (zona volcánica de la parte central de México). La red consiste actualmente de más de 54 estaciones en operación. La distribución de dichas estaciones se puede observar en la figura 1.3.



Figura 1.3. Distribución de la red del SSN

1.4 ¿Con qué clase de equipos se monitorea?

Las estaciones sísmicas constan de los siguientes instrumentos:

- Un sismómetro STS-2 (figura 1.4, lado izquierdo), constituido por sensores triaxiales que permiten registrar ondas sísmicas en una amplia banda de frecuencias, con respuesta plana a la velocidad del suelo entre 0.01 y 30 Hz, además cuenta con la capacidad de registrar sismos en una amplia gama de magnitudes, desde sismos locales pequeños hasta sismos lejanos, sin problemas de saturación.
- Un acelerómetro FBA-23 (figura 1.4, lado derecho), constituido por sensores triaxiales que permiten registrar las aceleraciones del suelo dentro de un amplio espectro de frecuencias sin saturación de la señal para sismos grandes locales y regionales. Estas características de los sensores, permiten estimar con gran precisión la magnitud de sismos grandes que pueden ocurrir en el territorio nacional.
- Un registrador Quanterra con digitalizador de 24 bits (figura 1.5).

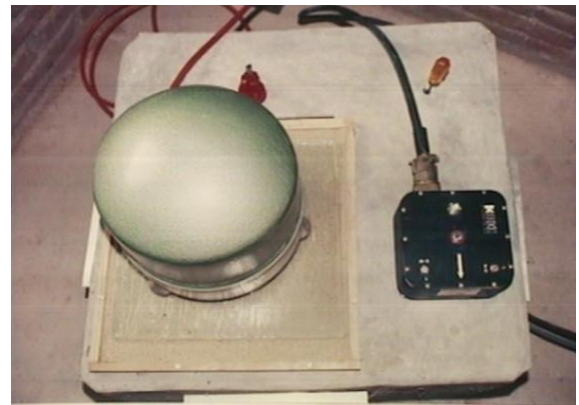


Figura 1.4. Sismómetro STS-2 y acelerómetro FBA-23



Figura 1.5. Registrador Quanterra

Las señales del sensor de velocidad son muestreadas en forma continua a 100 y 50 muestras por segundo (mps), posteriormente se convierten a un formato digital y se almacenan en el disco duro del registrador Quanterra. Los datos almacenados se transmiten en tiempo real a la estación central a través de Satélite, Internet o por teléfono.



Además los sensores se cubren con material aislante de temperatura y están forrados con papel aluminio para evitar inducciones electromagnéticas (figura 1.6). Para registrar con una buena relación señal a ruido y minimizar los efectos de sitio, en algunas casetas (figura 1.7) se construyó un pilar sobre la roca, independiente de la estructura de la caseta [4].

Figura 1.6. Recubrimiento de sensores



Figura 1.7. Caseta

- Un receptor GPS (figura 1.8) que permite obtener una referencia de tiempo y posición de alta precisión, la cual es transmitida junto con la información sísmica. Entre las características que ofrecen estos receptores encontramos un bajo consumo de energía, capacidad de rastreo, conectividad Ethernet y facilidad de operación.

Con el protocolo IP como mecanismo primario de comunicación, se puede acceder y controlar remotamente al receptor NetRS usando simplemente exploradores de Internet o software perteneciente a Trimble.

Los equipos (a excepción del receptor de GPS) se encuentran alojados en casetas especialmente construidas para minimizar el ruido. Las instalaciones cuentan con doble pared y aislamiento de aire para minimizar los cambios de temperatura en el interior.

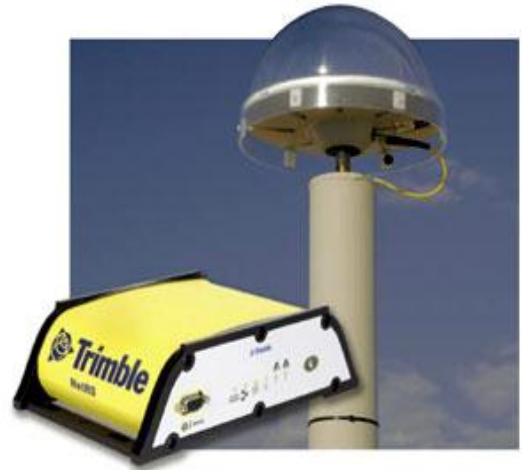


Figura 1.8. Receptor GPS

Con la consolidación de la red GPS en el estado de Guerrero y las estaciones sismológicas de banda ancha del SSN, se han estudiado las deformaciones corticales en esa zona, así como su relación con el ciclo sísmico. Estos estudios han permitido identificar los sismos tsunamigénicos, es decir, sismos que producen un tsunami extraordinariamente grande en relación con la magnitud del sismo, y han revelado la existencia de los llamados “Sismos Silenciosos”, los cuales liberan su energía en un periodo de tiempo tan largo que los instrumentos convencionales como los sismógrafos no los logran detectar.

Capítulo 2. Sistemas de Telecomunicaciones del SSN

El SSN cuenta con diversos medios para la transmisión de la información desde sus estaciones de monitoreo sísmico.

Para su sistema de transmisión satelital opera con una red compuesta por 49 estaciones VSAT's (Very Small Aperture Terminal) desplegada a lo largo de territorio nacional. En la figura 2.1 podemos observar una representación de este sistema. El servicio de transmisión satelital de datos es proporcionado por la empresa Enlaces Integra, en cuyas instalaciones se encuentra ubicado el telepuerto en donde se reciben los datos de cada estación sísmica. La información proveniente del telepuerto del proveedor de telecomunicaciones se entrega a través de un enlace de última milla híbrido (microondas-fibra óptica) de 2 Mbps el cual termina en un router en las instalaciones del SSN; en caso de fallar este enlace, existe una redundancia a través de una VPN (Virtual Private Network) mediante Internet. El fundamento para el desarrollo de un sistema de transmisión satelital tuvo su origen debido a que en la mayoría de las zonas rurales del país no se cuenta con otros medios de comunicación, y la instalación de los equipos de monitoreo sísmico en estos lugares es necesaria y conveniente, ya que en ellos existen bajos niveles de ruido cultural, generalmente causados por el movimiento de vehículos y de personas.

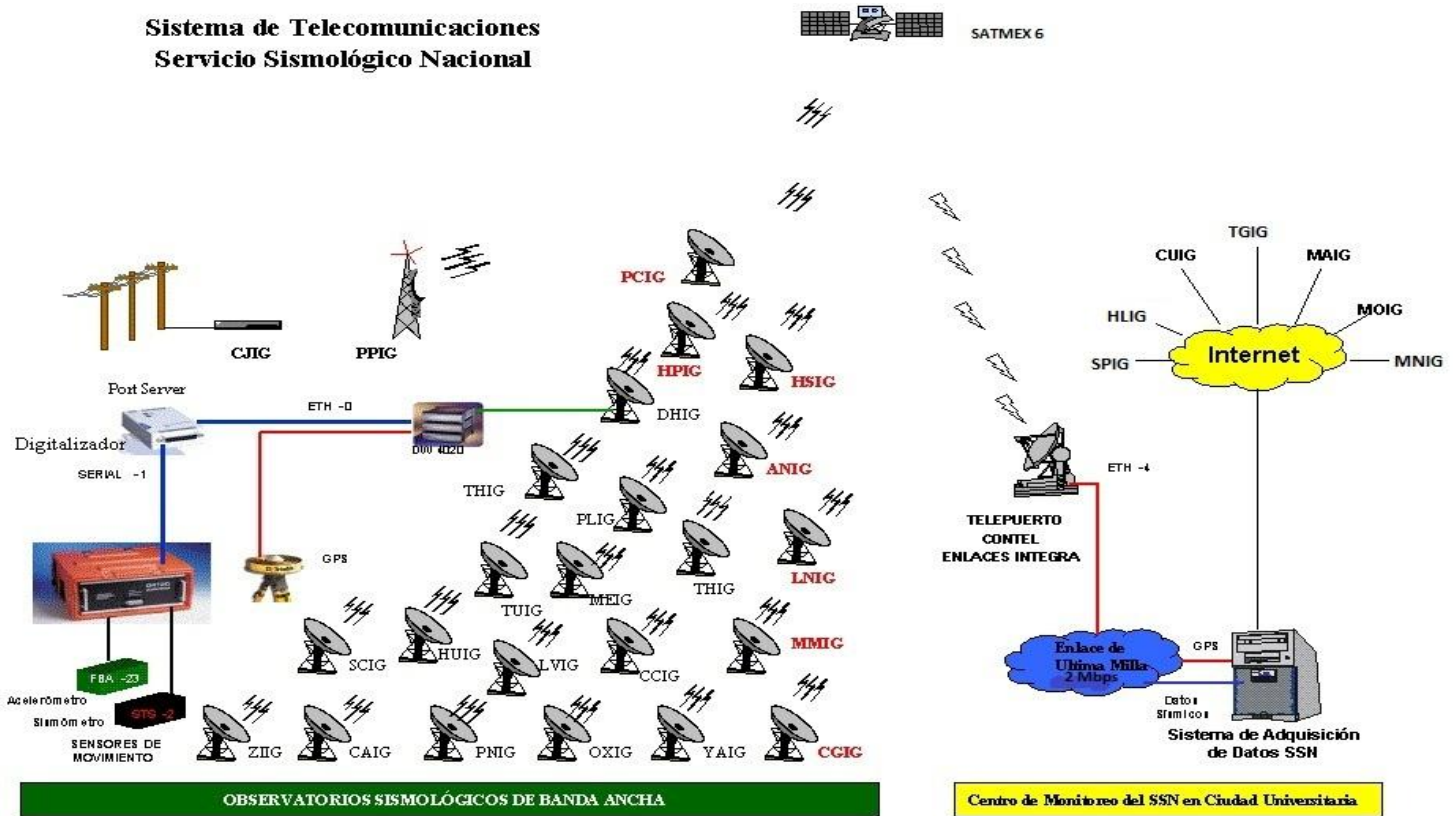


Figura 2.1. Representación de los sistemas de telecomunicaciones del SSN

En general, podríamos decir que son ambientes “ideales” para el registro de la actividad sísmica y altamente desfavorables desde el punto de vista de telecomunicaciones debido a la poca oferta de servicios existente.

En Isla Socorro el SSN mantiene 3 estaciones VSAT cuyo telepuerto se encuentra ubicado en el Instituto de Geofísica, dicho telepuerto fue financiado por el CTBTO (Comprehensive Test Ban Treaty Organization), que es el organismo encargado de vigilar el cumplimiento del Tratado para la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares.

Existen lugares en donde es posible tener acceso a Internet, como en Morelia (MOIG), Mazatlán (MAIG), Monterrey (MNIG), Tuxtla (TGIG), San Pedro Mártir (SPIG), Huajuapán de León (HLIG) y Ciudad Universitaria (CUIG) ó algún otro canal de transmisión disponible, estos medios son considerados de acuerdo a su confiabilidad y economía. Por ejemplo, en la estación sísmica del Popocatepetl (PPIG) se utilizan radios de espectro disperso para el transporte de la información recolectada, para otros casos se utilizan líneas telefónicas como en la estación de Chamela (CJIG). Cabe mencionar que en algunos casos se utilizan dos o más medios diferentes de telecomunicaciones para el transporte de la información, en el caso de la estación de Tacubaya se hace uso de radios de espectro disperso, radios wi-fi y una conexión a Internet.

El centro de monitoreo que opera el SSN (figura 2.2) se utiliza para recibir información de todas las estaciones desplegadas en nuestro país con independencia del canal de

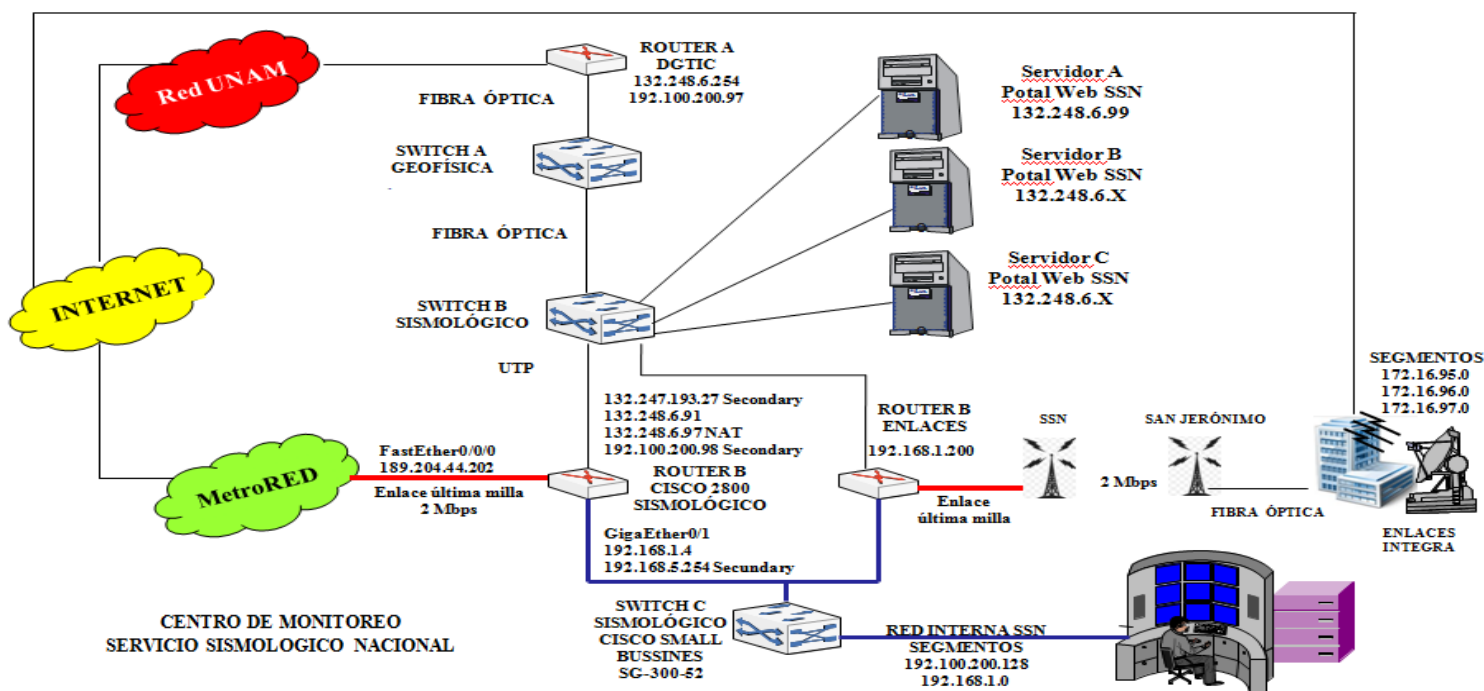


Figura 2.2. Centro de monitoreo del SSN

comunicación utilizado, además de realizar el intercambio de información con otras instituciones nacionales y extranjeras.

El SSN cuenta con un enlace redundante para el acceso al servicio de Internet; el enlace de respaldo es entregado por Metrored, y llega directamente al router principal del centro de monitoreo a través de un enlace última milla de 2 Mbps, el enlace principal lo entrega red UNAM y proviene de un router administrado por la DGTIC (Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de la Información y Comunicación) el cual se encuentra ubicado en el Instituto de Astronomía, donde se interconecta a un switch principal perteneciente al Instituto de Geofísica. Desde este punto se lleva la conexión al switch que da servicio a todos los equipos de la red pública del SSN. Además se cuenta con tres servidores en donde se alojan los portales web y catálogos de información.

Capítulo 3. Sistemas de Monitoreo de tráfico de la red de datos del SSN

3.1 Introducción

En nuestro país el desarrollo instrumental empezó a principios del siglo pasado; afortunadamente la historia de los grandes sismos del país ha sido registrada en un gran número de documentos.

En 1910 se inauguró la red sismológica mexicana. Desde esa fecha hasta nuestros días se ha mantenido una observación continua de los temblores, cuyos registros se conservan en la Estación Sismológica de Tacubaya y otras instalaciones del Instituto de Geofísica de la UNAM, institución encargada de operar el Servicio Sismológico Nacional (SSN) y su red de estaciones sismológicas. Desde 1992 el SSN inició un proyecto de modernización que pretende establecer estaciones con una cobertura más amplia y una localización más estratégica. Las estaciones estarán dotadas de sismógrafos modernos de banda ancha con señales enviadas por telemetría a las instalaciones del SSN en el Instituto de Geofísica.

Con la red existente, ha sido posible conocer la sismicidad global del país. La figura 3.1 muestra los sismos ocurridos en México durante el periodo señalado.

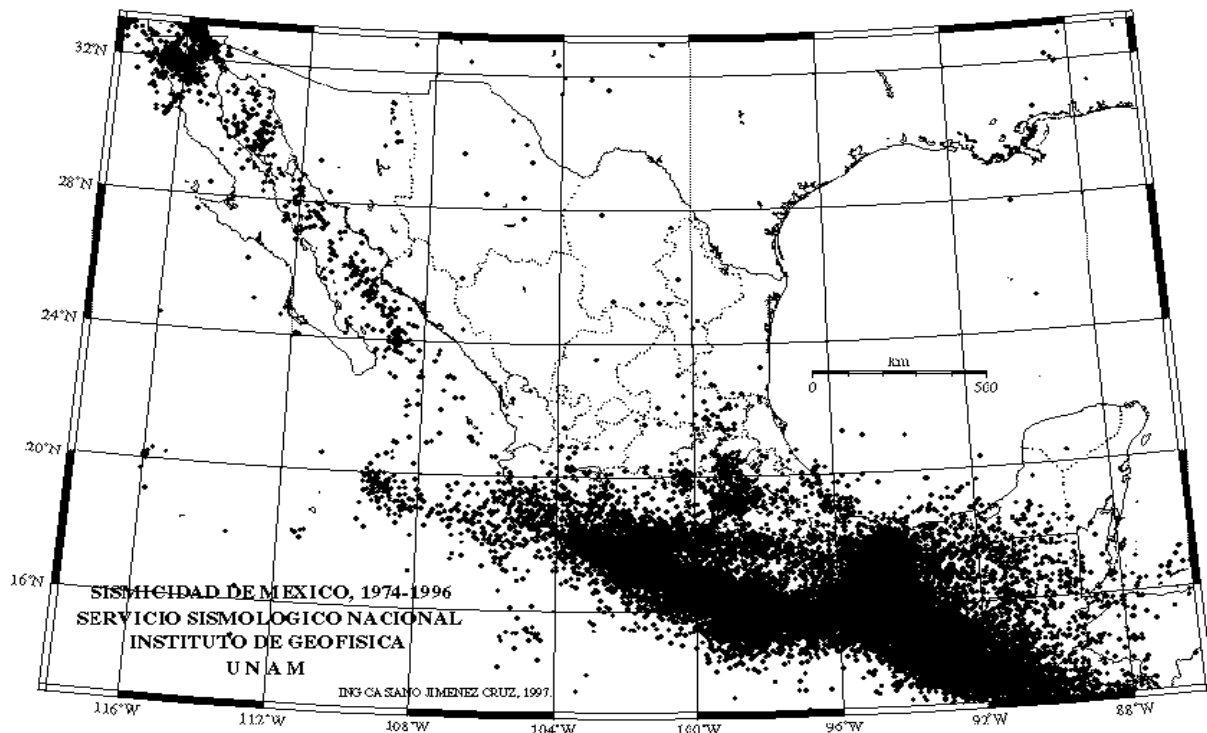


Figura 3.1. Sismos ocurridos en México entre 1974 y 1996

Nótese que las zonas de mayor sismicidad se concentran en la costa occidental del país a lo largo del borde de varias placas cuyo contacto tiene expresión en un bajo topográfico conocido como trinchera. Aunque la Ciudad de México no se localiza sobre la costa, se encuentra lo suficientemente cerca para experimentar los efectos de los sismos; la causa de que estos sean más dañinos en esta zona que en otros lugares radica, entre otras cosas, en la naturaleza de su terreno [5].

3.2 ¿Para qué el monitoreo?

La creciente necesidad que existe actualmente por parte de los administradores de redes de poseer software de monitoreo más efectivo, y con una mayor capacidad de detección de irregularidades, es una de las razones que impulsaron al desarrollo de esta labor, pero ante todo, está la necesidad de proporcionar una herramienta que permita la detección de anomalías en las redes LAN y WAN de una forma más sencilla, basándose para esto en algún método estadístico que cumpla con los requisitos necesarios para lograr dicho objetivo, lo cual permitirá detectar de una manera más fácil los problemas que se presentan en las redes de área local; por mencionar alguno, podemos hacer referencia a los fallos que se pueden presentar en los dispositivos involucrados en la transmisión de datos y la detección de intrusos [6].

Para el caso del SSN, el monitoreo referente a cada una de las estaciones de su red nos permite conocer el estado de las mismas, en las que es posible detectar problemas tales como:

- Estaciones sin transmisión de datos
- Transmisión de datos no uniforme (con intermitencias)
- Saturación del canal de transmisión
- Uso ineficiente del canal de transmisión

3.3 Métodos para el análisis del tráfico de la red

En la actualidad, uno de los campos de investigación vigente y con mayor fuerza es el que se centra en la comprensión de comportamiento del tráfico de las redes de computadoras, con la ayuda de distintas herramientas estadísticas. Otro punto importante, es el proceso de identificación y aislamiento de los elementos que lo componen, ya que en un determinado momento permitirá la identificación de factores que nos señalen la presencia de alguna situación anómala.

Lo primordial de los resultados que se pueden obtener, se manifiesta en el diseño de sistemas que permitan la detección de situaciones anormales en el tráfico de paquetes que circulan por la red, ya que podrían ser detectadas a partir de la caracterización anómala del comportamiento y uso que se hace de los recursos de una red [6].

En la figura 3.2 se muestran los puntos en que se puede dividir el análisis de tráfico en las redes [7]:

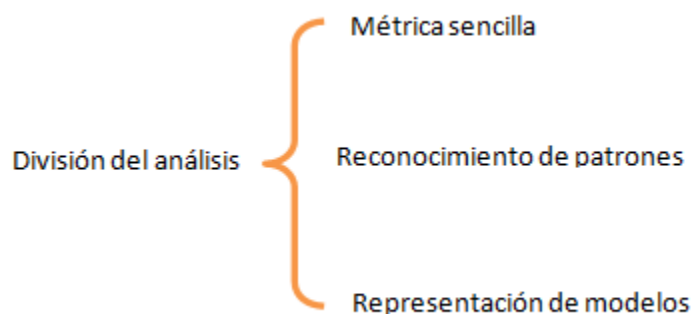


Figura 3.2. Métodos para la realización del análisis del tráfico de redes

- **Métrica sencilla:** Este tipo de herramientas nos permite conocer el estado de las redes mediante el empleo de gráficas y el uso de umbrales con valores establecidos, considerados como valores óptimos, que muy difícilmente permiten reconocer características particulares del comportamiento de una red mediante la comparación de las gráficas.
- **Reconocimiento de patrones:** En este punto podemos agrupar aquellas herramientas que permiten identificar irregularidades en algunos de los atributos obtenidos de los datos. Aquellos programas pertenecientes a esta categoría permiten agrupar elementos que se comportan de manera parecida, de tal forma que aquellos elementos que pertenezcan a grupos diferentes posean características distintas. Estos datos al poder ser analizados gráficamente darán lugar a la creación de patrones de los cuales se podrán obtener datos referentes al comportamiento de una red
- **Representación de modelos:** Estas herramientas se basan en una descripción precisa del comportamiento observado en las variables involucradas en el fenómeno de estudio. Este tipo de software permitiría predecir el comportamiento de las redes lo cual es algo muy complejo de realizarse.

3.4. Técnicas de monitoreo para la recolección de datos

El componente considerado como indispensable en la ejecución del análisis del tráfico de una red de computadoras, es el monitoreo, que puede ser activo o pasivo y el cual es empleado para la recolección de paquetes de una determinada red.

El monitoreo pasivo consiste en colocar sensores en algunos nodos pertenecientes a la red para obtener de ellos las medidas necesarias [8].

El enfoque de monitoreo activo recae en la capacidad de inyectar pruebas desde un nodo hacia otro en una red. Las medidas obtenidas aportan información distinta y complementaria al monitoreo pasivo, porque en este monitoreo se interviene explícitamente en la red [7].

Dentro del SSN se trabaja con ambas técnicas, el monitoreo activo se lleva a cabo toda vez que se requiere la instalación de una nueva estación (nodo), para ello se hace uso de un protocolo de pruebas en las que se procede a verificar la correcta transmisión de los datos. Una vez que se cumple con dicha condición, y se establece que el enlace opera de manera correcta y estable dentro de los parámetros esperados, se concluye con su validación.

El monitoreo pasivo se realiza después de la validación de algún enlace, por lo que se definen sensores dentro del programa de monitoreo cuya finalidad es mostrar mediante parámetros y gráficos la correcta operación del enlace en cuestión.

3.5 Herramientas para la recolección del tráfico de la red

Para poder analizar el tráfico que circula en una red es necesaria la recolección de datos de la red. Para este fin, existen una serie de programas llamados “sniffers” los cuales han sido creados para capturar copias de los paquetes directamente de la tarjeta de red.

Para el caso del SSN se hizo uso de las siguientes herramientas: SNMP, PRTG, MRTG y Wireshark.

3.5.1 SNMP

El núcleo de SNMP (Simple Network Management Protocol) es un conjunto simple de operaciones y de información, que brinda al administrador la habilidad de cambiar el estado de algunos dispositivos basados en SNMP.

Fue introducido en el año de 1988 debido a la creciente necesidad de estandarizar la administración de los dispositivos IP (Internet Protocol). SNMP provee a sus usuarios con operaciones que permiten administrar y monitorear dispositivos de manera remota.

3.5.2 PRTG (Paessler Router Traffic Grapher)

Es un software destinado al monitoreo de redes y a la detección de los recursos implicados en el uso del ancho de banda. Hace uso de diversos protocolos como SNMP, HTTP, FTP, SMTP/POP3 entre otros y se desempeña como un “packet sniffer” cuya función es la de interceptar y registrar los paquetes que cruzan una red. Si el monitoreo lo requiere, es posible decodificar la información contenida en los paquetes capturados a fin de revisar los diferentes campos contenidos en el cuerpo del paquete.

Dependiendo de la infraestructura en cada organización se puede realizar el monitoreo de la red mediante tres protocolos diferentes que son soportados por PRTG: SNMP, Packet Sniffing y Netflow.

3.5.2.1 Monitoreo mediante SNMP (Simple Network Management Protocol)

Es el método más utilizado para la recolección de datos en relación al ancho de banda y al uso de la red. Puede ser utilizado para monitorear el ancho de banda utilizado por routers y switches (puerto por puerto), así como dispositivos de lectura, memorias, CPU, etc.

Adquisición de datos usando SNMP (figura 3.3)

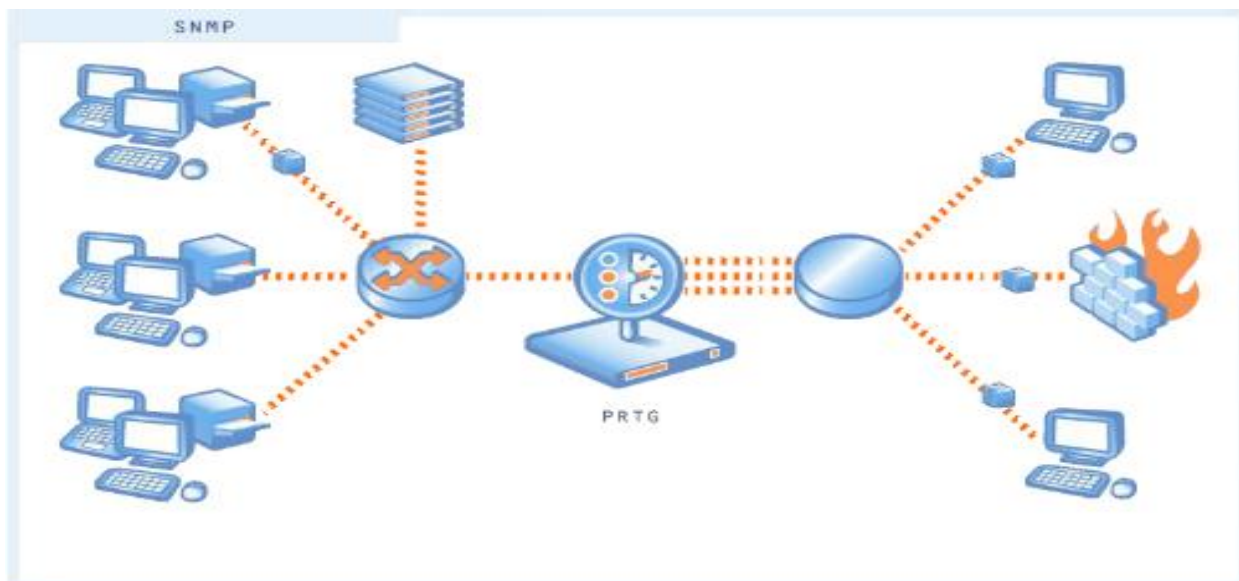


Figura 3.3. Adquisición de datos mediante SNMP

Cuando esta tecnología es usada, PRTG consulta los contadores de tráfico de cada puerto de los dispositivos routers, switches y servidores. Esta opción genera la menor carga de CPU y de red.

La administración de una red mediante SNMP se constituye de tres componentes:

Sistema administrador de red (NMS por sus siglas en inglés): Es aquel que ejecuta las aplicaciones encargadas de supervisar y controlar los dispositivos administrados. Proporciona el volumen de los recursos de procesamiento así como los requerimientos de memoria para una óptima administración de la red. En cualquier red administrada debe existir por lo menos uno o más NMS's.

Dispositivo administrado: Es el dispositivo que reside en una red administrada y que contiene un agente SNMP. Estos dispositivos captan y almacenan información de

administración, que es puesta a disposición de los NMS's usando SNMP. Ejemplos de estos dispositivos son: routers, servidores, switches, bridges, hubs, computadoras o impresoras.

Agente: Es un módulo de software de administración de red que reside en un dispositivo administrado. Posee conocimiento local de información de administración (memoria libre, número de paquetes IP recibidos, rutas, etc), la cual es traducida a un formato compatible con SNMP.

3.5.2.2 Monitoreo mediante Packet Sniffing en redes LAN

Si se requiere saber qué aplicaciones o direcciones IP están causando tráfico en la red, puede ser usado un sniffer de paquetes el cual inspeccionará cada paquete de datos que viaja en la red, lo anterior con fines de contabilidad. PRTG puede analizar los paquetes que cruzan la tarjeta de red de una PC o puede ser conectado a un puerto de monitoreo de un switch.

Adquisición de datos usando Packet Sniffing (LAN) (figura 3.4)

Para el uso del ancho de banda, PRTG inspecciona todos los paquetes de datos de la red, los que pasan a través de la tarjeta de red de una PC (mostrado en el lado izquierdo) o los paquetes de datos enviados por un puerto de monitoreo de un switch (lado derecho). De las tres tecnologías mencionadas ésta es la que genera la mayor carga de red y de CPU. Para redes más grandes, PRTG ofrece sondas remotas que distribuyen la carga y aseguran el máximo rendimiento.

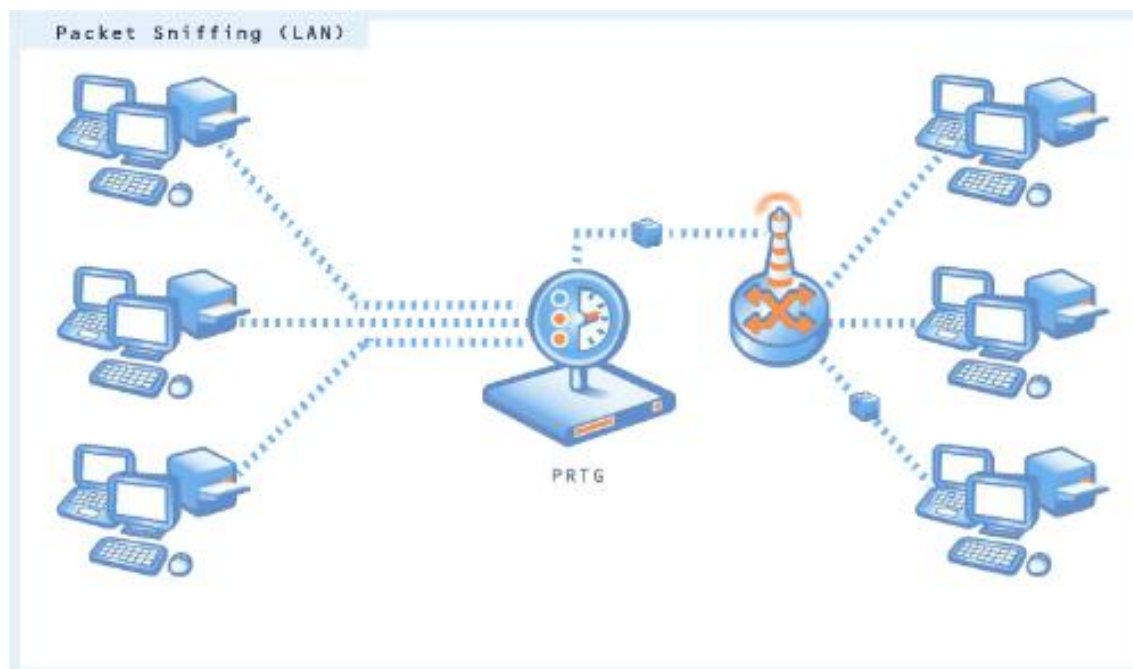


Figura 3.4. Adquisición de datos mediante Packet Sniffing

3.5.2.3 Monitoreo mediante Protocolo NetFlow

Para el caso de los routers y switches profesionales de proveedores como Cisco, HP, Juniper entre otros encontramos que soportan NetFlow para el monitoreo del uso del ancho de banda. Es el método de monitoreo más poderoso, adecuado para redes con alto tráfico.

Adquisición de datos mediante el protocolo NetFlow de Cisco (figura 3.5)

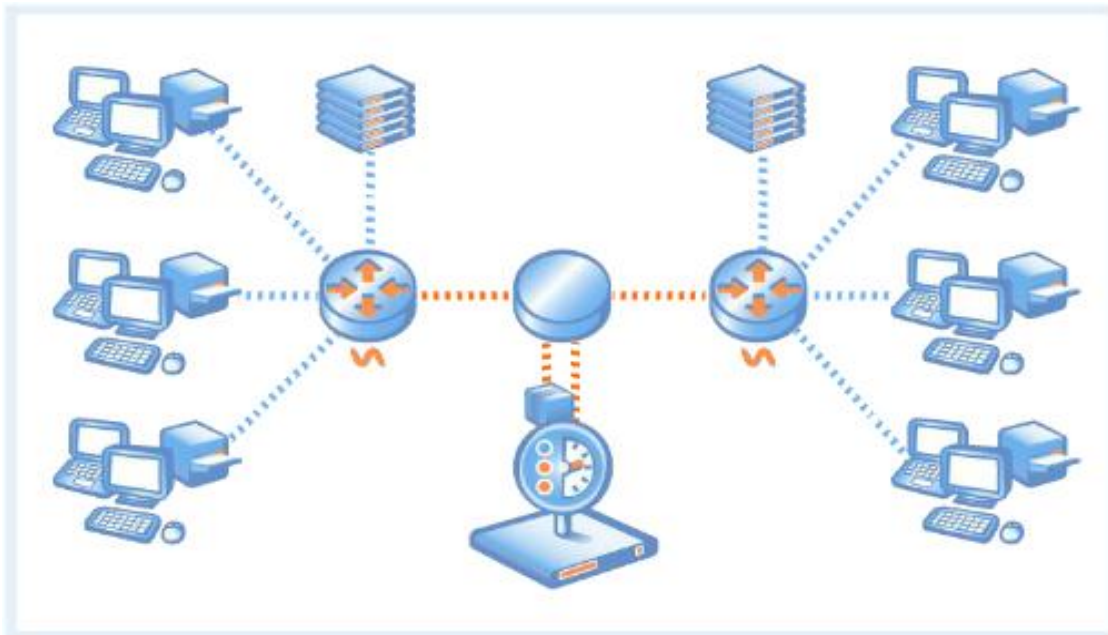


Figura 3.5. Adquisición de datos mediante NetFlow

Los dispositivos Cisco con soporte para NetFlow rastrean el uso del ancho de banda de la red internamente y solo envían datos pre-agregados al sistema PRTG para propósitos contables. De esta manera la carga de cómputo para PRTG es mucho menor.

Para el caso de la red perteneciente al SSN se utilizan las primeras dos tecnologías descritas anteriormente. El uso de SNMP combinado con el Packet Sniffing permite un monitoreo uniforme de los diferentes nodos distribuidos a lo largo del país.

El protocolo SNMP ofrece diversas operaciones que fueron implementadas en la red del SSN dependiendo de cada situación que acontecía, por ejemplo, permitió desactivar interfaces en los routers, conocer la velocidad de operación en cada interfaz Ethernet, monitoreo de la temperatura en diversos dispositivos, entre otros. También puede ser usado para la administración de sistemas Unix, sistemas Windows, impresoras, módems, UPS's (uninterruptible power supply), que son de suma importancia en cada estación y que gracias a SNMP mediante una notificación vía e-mail fue posible saber el momento en

el cual se interrumpía la energía eléctrica en cada nodo y las horas de respaldo con las que se contaba en cada UPS.

Otra herramienta utilizada pero no menos importante es MRTG.

3.5.3 MRTG (Multi Router Traffic Grapher)

Es una herramienta de análisis de uso libre y altamente configurable para que su uso pueda ser sencillo. Es una paquetería sorprendentemente liviana debido a que no implementa una interfaz compleja y pesada, en lugar de eso genera gráficas en formato GIF o PNG, que son incrustadas en páginas con el estándar HTML. Lo anterior permite que las gráficas generadas por MRTG puedan ser vistas en cualquier explorador además de que los reportes pueden ser consultados a través de la red utilizando un servidor web.

Aunque una de las principales fortalezas de MRTG es graficar el uso de las interfaces de los routers, puede ser configurado para mostrar gráficas en relación al uso de memoria, promedio de la carga de CPU y utilización de discos en equipos servidores. MRTG es particularmente útil para determinar en qué momento se presentan “picos” para un periodo de tiempo extenso, lo que indicaría problemas de capacidad. Por ejemplo, sería posible determinar que cierta interfaz o enlace llega a su capacidad máxima en determinadas horas, siendo necesaria una corrección o la posibilidad de hacer uso de escalabilidad en la red. Igualmente MRTG permite saber si las conexiones de red podrían estar operando a una fracción de la disponibilidad del ancho de banda por lo que sería posible disminuir la demanda de este recurso ante el proveedor y reducir los costos de telecomunicaciones.

3.5.4 Wireshark

Es un analizador de red. Lee los paquetes de la red, los decodifica y los presenta en un formato fácil de entender. Uno de los aspectos más importantes de Wireshark se debe a que es de código abierto, con un desarrollo activo y además es gratis. A continuación se presentan algunas de las características más importantes de Wireshark [15]:

- Trabaja en modo promiscuo (una tarjeta de red acepta todos los paquetes, sin importar el destinatario) y no promiscuo
- Puede capturar datos de la red o leerlos desde un archivo previamente capturado
- Contiene una interfaz de fácil uso y configuración
- Contiene una gran capacidad para realizar filtros
- Soporta más de 750 protocolos y debido a que es de código abierto, nuevos protocolos son adheridos frecuentemente
- Puede capturar información proveniente de una gran variedad de medios (Ethernet, 802.11 wireless, Token-Ring, etc)

En la figura 3.6 se observa la manera en que los paquetes capturados son presentados en Wireshark:

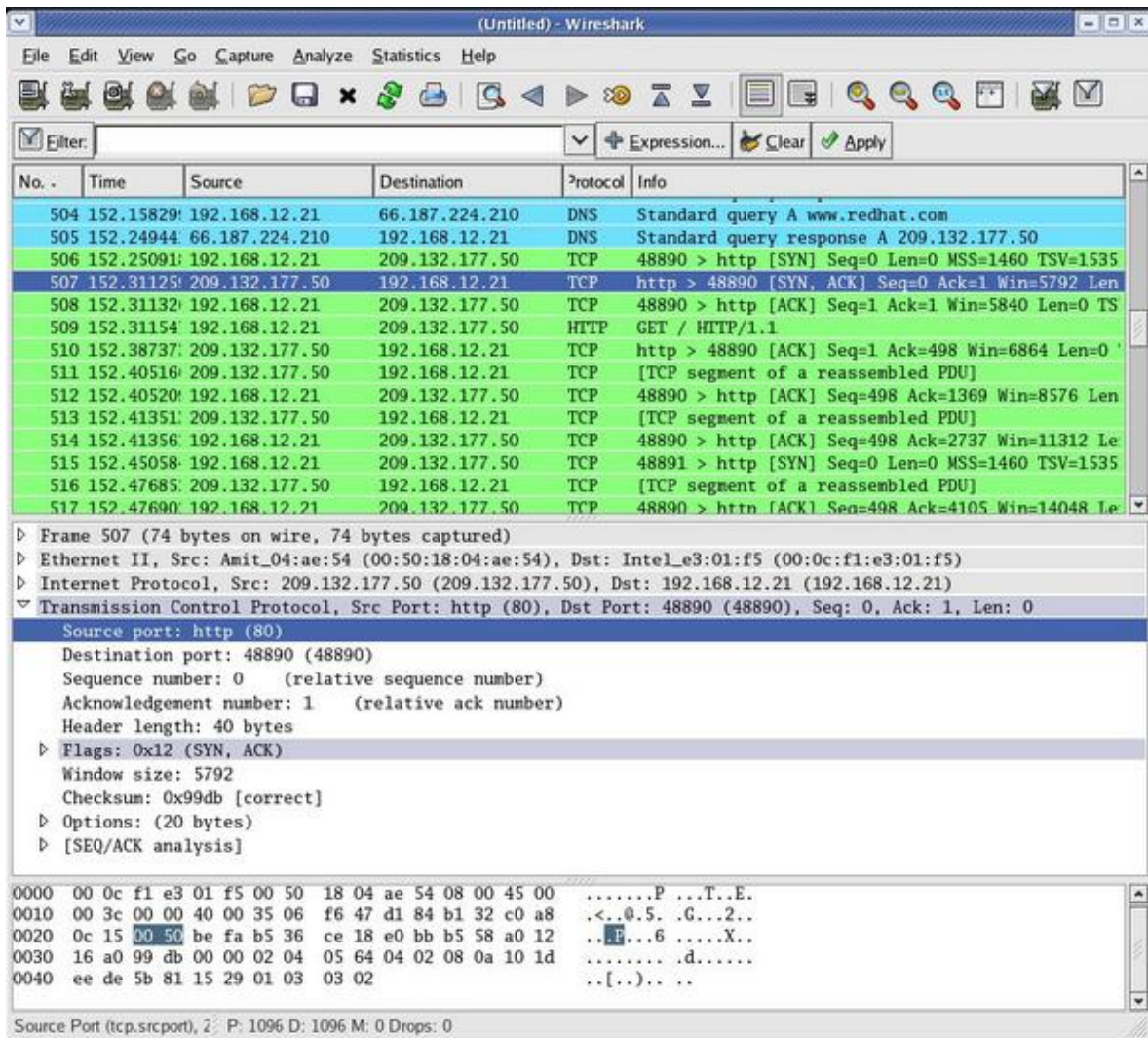


Figura 3.6. Captura de paquetes con wireshark

Capítulo 4. Implementación de un enlace de radiofrecuencia

4.1 Introducción

Por *radio* se entiende la transmisión de señales a través del espacio, mediante ondas electromagnéticas, sin que haya conexión física entre transmisor y receptor. El medio de propagación de las ondas electromagnéticas es, en este caso, el aire o el vacío. En el trabajo con sistemas radioeléctricos es frecuente emplear el término radiofrecuencia (RF), y por tal, se entiende la frecuencia a la que la radiación de energía electromagnética es útil para propósitos de comunicación. Así, las radiofrecuencias abarcan desde unos pocos KHz hasta más de 100 GHz. Sin embargo, el contexto en el que se emplea a veces el término radiofrecuencia se presta a algunas confusiones. Por ejemplo, se puede hablar de una señal de radiofrecuencia de 70 MHz o de una señal de FI (frecuencia intermedia) también de 70 MHz; en el primer caso se trata de una señal radioeléctrica, que se propaga en el espacio e incide sobre una antena, o bien que es radiada por una antena al espacio. Si se habla de FI, se trata de una señal generada internamente en un equipo y que no es radiada en forma de onda electromagnética.

Los sistemas de telecomunicación utilizan el espectro radioeléctrico, que comprende las bandas de frecuencias útiles para los servicios de radiocomunicación y abarca, desde frecuencias inferiores a 1 KHz hasta alrededor de 300 GHz. Los sistemas de comunicaciones ópticas funcionan a frecuencias superiores, correspondientes al espectro visible y en el infrarrojo. Las principales banda del espectro radioeléctrico suelen definirse en términos de las longitudes de onda, según la designación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, de la forma que se indica en la figura 4.1.

Abreviatura	Significado	Frecuencias	Longitud de onda	Designación
ELF	Extra-low freq.	0.3 a 3 KHz.	1000 a 100 Km	Megamétricas
VLF	Very-low freq.	3 a 30 KHz	100 Km a 10 Km	Miriamétricas
LF	Low frequency	30 a 300 KHz	10 Km a 1 Km	Kilométricas
MF	Medium freq.	300 a 3000 KHz	1000 m a 100m	Hectométricas
HF	High frequency	3 a 30 MHz	100 m a 10 m	Decamétricas
VHF	Very-high freq.	30 a 300 MHz	10 m a 1 m	Métricas
UHF	Ultra-high freq.	300 a 3000 MHz	1 m a 10 cm	Decimétricas
SHF	Super-high freq.	3 a 30 GHz	10 cm a 1 cm	Centimétricas
EHF	Extra-high freq.	30 a 300 GHz	10 mm a 1 mm	Milimétricas

Figura 4.1. Nomenclatura de las bandas de frecuencia

La designación anterior es sumamente general, ya que cada una de las bandas se subdivide, a su vez, en numerosas bandas, o subbandas asignadas a diferentes tipos de servicios [9].

4.2 Características de los enlaces inalámbricos (figura 4.2)

Cuando los electrones se mueven crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre (aún en el vacío). La cantidad de oscilaciones por segundo de una onda electromagnética es su *frecuencia*. La distancia entre dos puntos máximos (o mínimos) consecutivos se llama *longitud de onda*.

Al conectarse una antena del tamaño apropiado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas pueden ser difundidas de manera eficiente y ser captadas por un receptor a distancia. Toda la comunicación inalámbrica se basa en este principio.

Básicamente un enlace inalámbrico está compuesto fundamentalmente por tres aspectos:

- Transmisor
- Receptor
- Canal aéreo

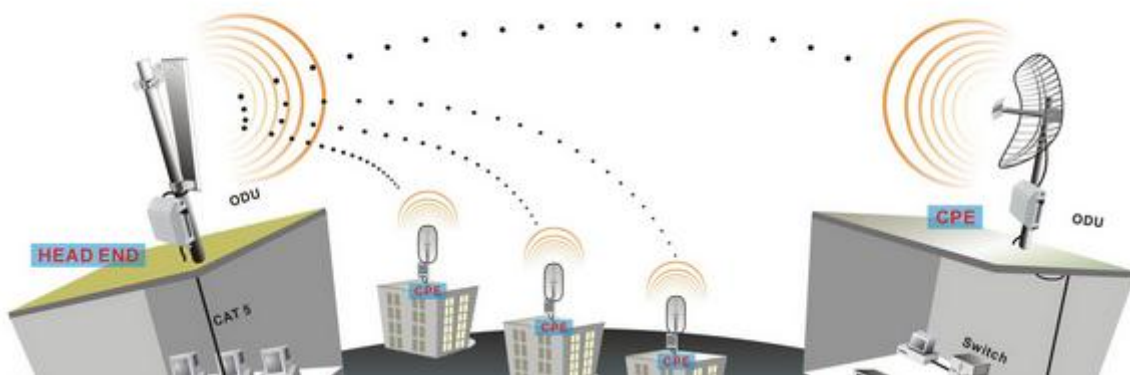


Figura 4.2. Ejemplo de transmisión inalámbrica

Las características generales de este tipo de enlaces son:

- Utilizan intervalos de frecuencia del orden de los MHz a los GHz
- Cada enlace puede tener separaciones desde 300 metros hasta 50 Km
- Es necesario que se tenga una línea de vista sin obstáculos entre los dos puntos de comunicación
- Sus señales pueden ser analógicas o digitales

Las señales digitales permiten la regeneración de los pulsos que son transmitidos por el sistema de comunicación con lo cual la señal tolera el ruido y las interferencias del medio.

Las antenas usadas en la transmisión de señales de microondas están compuestas por dos partes principalmente: el reflector y el alimentador; y pueden ser clasificadas en omnidireccionales (irradian la señal en todas direcciones con igual intensidad) y direccionales (irradian la señal de forma concentrada en forma de un haz dirigido, aumentando la potencia hacia el receptor).

Los enlaces inalámbricos ofrecen la posibilidad de conectar lugares de difícil acceso o como medio redundante de comunicaciones alternativo al enlace físico, como por ejemplo fibra óptica. A través de los enlaces inalámbricos se puede transportar datos y voz con una calidad y velocidad adecuadas.

De acuerdo al rango de frecuencia utilizado para la transmisión de ondas de radio o microondas se determinan sus características particulares:

- Ondas de radio: las ondas electromagnéticas son omnidireccionales, lo que les permite transmitir sobre un área amplia. La transmisión no es sensible a las atenuaciones producidas por la lluvia ya que se opera en frecuencias no demasiado elevadas (50 kHz a 2 MHz). Las antenas de radio transmisión generalmente cuentan con transmisores de alta potencia. La alta potencia permite que los receptores sean relativamente sencillos y, por lo tanto, económicos
- Microondas terrestres: se utilizan antenas parabólicas con un diámetro aproximado de unos tres metros. Tienen una cobertura de kilómetros, pero con el inconveniente de que el emisor y el receptor deben estar perfectamente alineados. Por eso, acostumbran usarse en enlaces punto a punto en distancias cortas. En este caso la atenuación producida por la lluvia es más importante ya que se opera a frecuencias más elevadas. Las microondas comprenden las frecuencias desde 1 hasta 300 GHz

4.3 Objetivo del enlace de radiofrecuencia

La Red Sísmica del Valle de México (RSVM) cuenta a la fecha con más de 31 estaciones digitales. Una parte de ellas está equipada con sensores marca Guralp modelo CMG-6TD con un digitalizador de 3 canales y antena GPS; mientras que la otra parte está equipada con sensores marca Reftek modelo 151-60 de 6 canales y antena GPS. La transmisión se realiza vía Internet y/o radiofrecuencia, y cuentan también con equipo de alimentación eléctrica.

Una de las estaciones pertenecientes a la RSVM se encuentra ubicada en el Panteón Civil de Dolores, en la Delegación Miguel Hidalgo. Los datos generados en esta estación requerían ser enviados a las instalaciones del SSN para su análisis, y por ello surgió la necesidad de la instalación de este enlace.

4.4 Requerimientos del enlace de radiofrecuencia

Para hacer llegar la información sísmica generada en la estación del Panteón Dolores hacia el SSN, primero se requería transportar la información al Museo de Geofísica, para después ser enviada desde este punto a las instalaciones del SSN mediante una conexión a Internet tipo prodigy.

Debido a que el Museo de Geofísica se encuentra a espaldas de la Preparatoria No. 4, y dado que la altura de los edificios que la constituyen son superiores al Museo, no permiten la existencia de línea de vista entre el Museo de Geofísica y el Panteón Dolores; por lo que fue necesario establecer un enlace primario mediante radios de espectro disperso entre el Panteón Dolores y la Preparatoria No.4, en donde sí existe línea de vista. El enlace secundario se realizó entre la Preparatoria No.4 y el Museo de Geofísica mediante un CPE (Customer Premises Equipment) inalámbrico de alta potencia de 2.4 GHz para exteriores, después del enlace secundario la información se envía a través de Internet al SSN.

El par de radios de espectro disperso utilizados en el enlace primario son de la marca FreeWave modelo FGR2-PE. Para el segundo enlace se utilizaron CPE's inalámbricos de la marca TP- Link modelo TL-WA5210.

A continuación se presentan las características de cada equipo:

Radio FreeWave FGR2-PE (figura 4.3)

Visión General

- Ofrece conectividad wireless Serial y Ethernet usando licencia libre de espectro disperso para comunicaciones de datos sobre largas distancias
- La combinación de dos puertos seriales con dos puertos Ethernet ofrece la posibilidad de una transición para las comunicaciones de datos de Serial a Ethernet, sin tener que reemplazar la infraestructura de comunicaciones wireless
- La flexibilidad de este producto reduce la necesidad de hardware adicional
- Ofrece un alto grado de seguridad wireless y comunicaciones encriptadas

Características

- Amplio rango de voltaje de entrada, de 6 a 30 V DC
- Alto rendimiento de señal: mantiene alta sensibilidad, aún en condiciones adversas para RF
- Versatilidad: Un único radio puede operar simultáneamente como esclavo y como repetidor

- Alta inmunidad al ruido: Rendimiento superior en ambientes congestionados con ruido
- La tecnología de espectro disperso patentada ayuda a prevenir ataques de Denegación de Servicio (DoS) y acceso no autorizado
- Alta velocidad: Hasta 154 Kbps a través del aire
- Rango amplio: Punto a Punto, hasta 60 millas (96.5 km) con línea de vista

Especificaciones

- Rango de frecuencias: 902-928 MHz (FHSS)
- Rango de temperatura de operación: -40°C a 75°C
- Dimensiones: 173 L x 105 A x 35 Alt (mm)
- Peso: 608 g



Figura 4.3. Radio Freewave FGR2-PE

Radio CPE's TP- Link TL-WA5210 (figura 4.4)

Visión General

- Brinda soluciones inalámbricas de larga distancia
- Integra funciones como son: cliente WISP, punto de acceso inalámbrico, carcasa resistente a la intemperie y antena de alta ganancia
- Antena de 12 dBi
- Es capaz de ser alimentado mediante un cable Ethernet (PoE)

Características

- Compatible con IEEE 802.11 b/g, velocidad inalámbrica de hasta 54 Mbps
- Ajuste de transmisión a larga distancia, hasta 50 km
- Compatible con administración SNMP
- Proporciona WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK para la seguridad de los datos
- Soporte de protección contra rayos 4000V

Especificaciones

- Interface: 1 puerto RJ45 10/100
- Suministro de energía: 12 V DC
- Dimensiones: 265 L x 120 A x 83 Alt (mm)
- Rango de frecuencias: 2.4-2.4835 GHz



Figura 4.4. CPE TP-Link

Espectro Disperso: Es una técnica de modulación empleada en telecomunicaciones para la transmisión de datos digitales y por radiofrecuencia (figura 4.5).

La técnica del espectro disperso (ensanchado) consiste en distribuir una señal de banda estrecha que contiene la información, sobre un ancho de banda mucho mayor habiendo sido previamente modulada con ruido pseudoaleatorio. De esta forma se puede compartir la misma región del espectro electromagnético con otros usuarios simultáneamente sin interferirse, combatir las interferencias, ser inmune al *jamming*, y asegurar las comunicaciones, ya que la decodificación del mensaje sólo es posible si se dispone de la

misma forma de onda con la cual la señal se moduló en su origen. Para aplicaciones de posicionamiento, las técnicas de espectro ensanchado también permiten medidas de distancia más precisas [10].

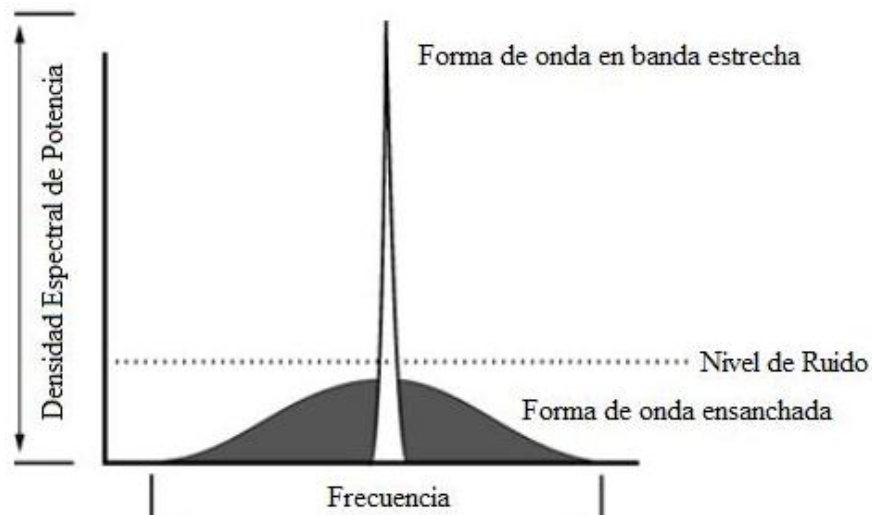


Figura 4.5. Espectro disperso

CPE (Customer Premises Equipment): Los CPE's son unidades terminales asociadas a equipamientos de telecomunicaciones, localizadas en el lado del suscriptor, y que se encuentran conectadas con el canal de comunicaciones del proveedor o portador de información en el punto de demarcación. El punto de demarcación es un sitio en un edificio o complejo, que separa al equipo del cliente del equipo de la compañía proveedora del servicio [11].

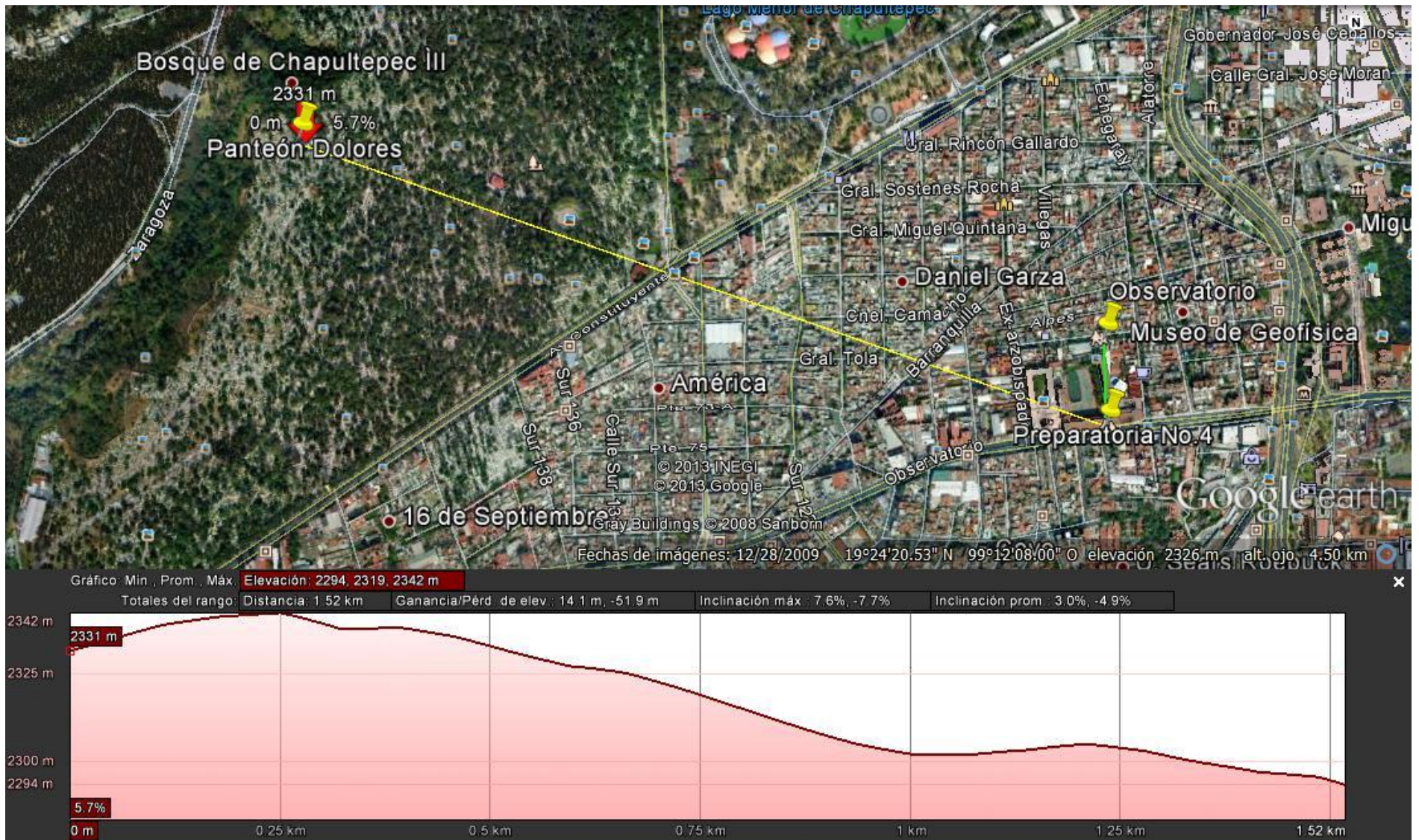
Históricamente, este término se refería al equipamiento situado en el extremo de la línea telefónica del usuario, y normalmente era propiedad de la compañía de teléfonos. Hoy en día, sin embargo, prácticamente cualquier equipo de usuario final se puede denominar CPE, y puede ser propiedad tanto del usuario como del proveedor.

4.5 Diseño del enlace de radiofrecuencia

En la figura 4.6 se puede observar la manera en que se instalaron los equipos y la trayectoria que requería la información para llegar al SSN. En la figura 4.7 se muestra, a través de Google Earth, el enlace primario en donde se hizo uso de radios de espectro disperso, y el enlace secundario donde se utilizaron CPE's wifi. Como puede apreciarse en la imagen, el alcance del enlace es de 1.52 km en línea de vista.



Figura 4.6. Diagrama de la instalación de los equipos para la entrega de datos de la estación Panteón Dolores-SSN



- Enlace primario: Panteón Dolores-Preparatoria No. 4
- Enlace secundario: Preparatoria No. 4- Museo de Geofísica

Figura 4.7. Vista del enlace primario y secundario a través de Google Earth, incluyendo perfil de elevación correspondiente al enlace primario

Capítulo 5. Diseño e instalación del enlace de telecomunicaciones para la red de datos: Matías Romero, Oaxaca- SSN CU, incluyendo su integración a la red del CTBTO

5.1 Introducción

México firmó el Tratado para la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (TPCEN) el 24 de septiembre de 1996, y fue el país número 51 en ratificar el Tratado el 5 de octubre de 1999. Con esta ratificación México adquirió el compromiso de instalar y operar una estación hidroacústica (de fase T), la cual forma parte de la red de estaciones primarias del Sistema Internacional de Monitoreo (IMS, en inglés) y se localiza en Isla Socorro. Adicionalmente mantiene y opera otras **tres estaciones sísmicas que pertenecen a la Red Auxiliar del IMS**, las cuales se localizan en los estados de **Oaxaca ("A064")** (figura 5.1), Baja California Sur ("AS065") y Quintana Roo ("AS063").



Figura 5.1. Estación Matías Romero, Oaxaca

Con la adición de México al TPCEN, se estableció una relación entre el Servicio Sismológico Nacional y el CTBTO (Comprehensive Test Ban Treaty Organization) que es el organismo encargado de vigilar el cumplimiento del Tratado para la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares. Esta organización fue creada el 19 de noviembre de 1996 y tiene su sede en el Centro Internacional de Viena, Austria.

Dentro de las estaciones sísmicas de la Red Auxiliar del IMS encontramos la de Matías Romero, Oaxaca. En la cual se requirió integrar dos redes satelitales con diferente direccionamiento, con el objetivo de que el acceso a la información sísmica fuera transparente para el CTBTO, además de lograr que el SSN recibiera dicha información en tiempo real, lo anterior debido a que previamente la información obtenida en esta estación se dirigía a Viena por Satélite y llegaba al SSN mediante Internet, lo que ocasionaba latencia en la transmisión de los datos.

Además del diseño, la solución a dicha tarea se logró mediante la implementación de un mecanismo denominado Network Address Translation (NAT) que consiste en realizar un mapeo en tiempo real entre direcciones IP de diferentes segmentos, y que sólo es posible lograr si se tiene presente la manera en la que operan los routers dentro de la capa de red correspondiente al modelo OSI. Esta actividad ha contribuido a adquirir conocimientos más concretos en redes, mediante el aprendizaje en la configuración de equipos físicos reales, router y switches. Antes de poner en marcha el enlace de telecomunicaciones, se

realizaron pruebas de laboratorio para corroborar que todo funcionara correctamente y después, en conjunto con el proveedor de telecomunicaciones, se realizó la instalación de los módem satelitales, del equipo sísmico, del equipo de respaldo de energía y de la antena transmisora, haciendo que ésta contara con el ángulo de elevación correcto para apuntar al Amazonas II, culminando con la realización de todas las pruebas necesarias de conectividad hasta lograr la validación del enlace.

5.2 Objetivo del enlace de telecomunicaciones

Debido a la relación descrita en la sección anterior entre el CTBTO y el SSN, el objetivo de este proyecto fue la instalación e integración de dos redes satelitales para la estación sísmica auxiliar ubicada en nuestro país, específicamente en Matías Romero, Oaxaca.

Las tareas claves a lograr con este enlace fueron las siguientes:

- Acceso transparente a la información sísmica por parte del CTBTO
- Recibir en las instalaciones del SSN los datos generados en tiempo real

Con lo anterior, se logró que el SSN y en general México, cumpliera con lo establecido en la ratificación del TPCEN firmado el 24 de septiembre de 1996.

5.3 Requerimientos del enlace de telecomunicaciones

La recepción de los datos sísmicos y de GPS en las instalaciones del SSN es posible gracias a los equipos que son instalados en cada una de las estaciones. En el caso de la estación de Matías Romero, se instalaron los siguientes equipos:

UPS (Uninterruptible Power Supply) (figura 5.2): Es un aparato eléctrico que provee energía de emergencia a una carga, cuando la fuente de energía principal, generalmente la red eléctrica, presenta fallas. Un UPS difiere de un Sistema de Alimentación de Emergencia debido a que provee protección instantánea frente a las interrupciones de energía, el UPS suministra la energía mediante su almacenamiento en baterías. Las baterías con las que cuentan la mayoría de los UPS solo pueden brindar un suministro de energía durante un tiempo relativamente corto aunque suficiente para respaldar información y apagar apropiadamente los equipos.



Figura 5.2. UPS

El uso común de los UPS es para la protección de computadoras, centros de datos, equipo de telecomunicaciones o cualquier equipo eléctrico en donde la interrupción en el

suministro de energía puede causar daños o pérdida de información. Además los UPS son capaces de corregir diversos problemas, como los picos de voltaje, ruido, inestabilidad, distorsión armónica, entre otros.

Antena GPS (figura 5.3): El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de satélites usado en navegación que permite determinar la posición las 24 horas del día, en cualquier lugar del globo y en cualquier condición climatológica. El GPS consiste en un conjunto de 24 satélites que circundan la tierra y envían señales de radio a su superficie. Un receptor GPS es un aparato electrónico pequeño, utilizado por aquéllos que viajan por tierra, mar o aire, que permite recibir las señales de los satélites. Este receptor utiliza las señales de radio para calcular su posición, que es facilitada como un grupo de números y letras que corresponden a un punto sobre un mapa [14]. En las estaciones sísmicas, la antena de GPS opera como un reloj de GPS que permite obtener una referencia de tiempo de alta precisión, la cual es almacenada junto con la información sísmica.



Figura 5.3. Antena GPS

Quanterra Q330 (figura 5.4): Este equipo proporciona un alto grado de flexibilidad en el uso de interfaces de comunicación. Existen diversas maneras de conectar un equipo Q330 para lograr la adquisición y grabación de los datos sísmicos además de permitir acceso remoto al flujo de datos en tiempo real. El Q330 también soporta múltiples conexiones simultáneas de diferentes tipos, algunos de los dispositivos que le pueden ser conectados son: conexiones Ethernet, teléfonos celulares, radios de espectro disperso, módems, entre otros. La información puede ser enviada hasta a cuatro diferentes receptores, incluyendo cualquier combinación de interfaces físicas de comunicación.



Figura 5.4. Quanterra Q330

Baler: Es un sistema de alta capacidad de grabación para el Quanterra Q330. Usando una gran sofisticación en la administración de la energía y una avanzada telemetría para la entrega confiable de datos, este equipo puede almacenar hasta 20 Gb de información lista para usarse. En otras palabras es el disco duro del equipo Quanterra Q330.

Sismómetro (figura 5.5): Estos sensores triaxiales permiten registrar ondas sísmicas en una amplia banda de frecuencias, con respuesta plana a la velocidad del suelo entre 0.01 y 30 Hz, además cuenta con la capacidad de registrar sismos en una amplia gama de magnitudes, desde sismos locales pequeños hasta sismos lejanos, sin problemas de saturación.



Figura 5.5. Sismómetro

Acelerómetro (figura 5.6): Estos sensores triaxiales permiten registrar las aceleraciones del suelo, dentro de un amplio espectro de frecuencias sin saturación de la señal para sismos grandes locales y regionales. Estas características de los sensores, permiten estimar con gran precisión la magnitud de sismos grandes que pueden ocurrir en el territorio nacional.



Figura 5.6. Acelerómetro

Switch (figura 5.7): Un switch o conmutador es un dispositivo de interconexión de redes de computadoras que opera en las capas 2 o 3 del modelo OSI. En general un switch se puede definir como un dispositivo de red que recibe paquetes o celdas por un puerto y los reenvía por otro de sus puertos. Sus principales características son: capaces de dividir los dominios de broadcast y mantener el ancho de banda en cada uno de sus puertos.



Figura 5.7. Switch

Los conmutadores poseen la capacidad de aprender y almacenar las direcciones de red de la capa 2 (direcciones MAC) de los dispositivos alcanzables a través de cada uno de sus puertos.

En el caso de conectar dos conmutadores, o un conmutador y un concentrador, cada conmutador aprenderá las direcciones MAC de los dispositivos accesibles por sus puertos, por lo tanto en el puerto de interconexión se almacenan las MAC de los dispositivos del otro conmutador.

Switch Industrial (figura 5.8): Su función es básicamente la misma al de un switch comercial; aunque con la diferencia de que este tipo de switch está diseñado para operar en condiciones ambientales adversas. Presentan



Figura 5.8. Switch industrial

características de seguridad amplias, permitiendo que sólo los usuarios y el tráfico autorizado puedan circular por la red.

Módem satelital (figura 5.9): Es un dispositivo que sirve para enviar una señal llamada moduladora mediante otra señal llamada portadora. Las señales llegan al satélite desde la estación en tierra por el “haz ascendente”, y se envían a la tierra desde el satélite por el “haz descendente”. Para evitar interferencias entre los dos haces, las frecuencias de ambos son distintas. Las frecuencias de haz ascendente son mayores que las del haz descendente, debido a que cuanto mayor sea la frecuencia, se produce mayor atenuación en el recorrido de la señal, y por tanto es preferible transmitir con más potencia desde la tierra, donde la disponibilidad energética es mayor.



Figura 5.9. Módem satelital

Para evitar que los canales próximos del haz descendente interfieran entre sí, se utilizan polarizaciones distintas. En el interior del satélite existen unos bloques denominados transpondedores; que tienen como misión, recibir, cambiar y transmitir las frecuencias del satélite, a fin de que la información que se envía desde la base llegue a las antenas receptoras.

Antena (figura 5.10): La operación más delicada del montaje de una instalación de recepción o transmisión por satélite es la orientación de su antena, ya que de ello depende que las señales recibidas o transmitidas lleguen al destino en las mejores condiciones posibles. Para las estaciones sísmicas se utilizan antenas tipo offset, en este tipo de antenas el foco se encuentra ligeramente desplazado hacia abajo. La unidad exterior (LNB y alimentador) se apoya en un solo soporte que sale de la parte inferior del disco. Esto evita que se produzcan zonas de sombra en la recepción de las señales, haciendo que este tipo de antenas tenga un rendimiento más alto que las de foco primario y un tamaño menor del disco (entre 40 y 150 cm).



Figura 5.10. Antena parabólica

Dos de los componentes más importantes de este tipo de antenas son el LNB y el BUC.

BUC (block up-converter): Es un dispositivo utilizado en la transmisión (uplink) de señales de comunicación vía satélite. Convierte una banda de frecuencias, desde frecuencias bajas a frecuencias altas (típicamente desde la banda L hasta la banda Ka).

LNB (low noise block): Este dispositivo es utilizado en la recepción de señales procedentes de satélites. Debido a que las frecuencias de transmisión del enlace descendente del satélite (downlink) son imposibles de distribuir por los cables coaxiales, se hace necesario un dispositivo, situado en el foco de la antena parabólica, que convierta la señal de microondas, en una señal de menor frecuencia, para que sea posible su distribución a través del cableado coaxial.

Router (figura 5.11): El ruteador o encaminador es el dispositivo encargado de encaminar y reenviar la información en forma de paquetes ya sean de voz, video y/o datos. Su tarea primordial es la de decidir la ruta que tomarán los datos de acuerdo a una tabla de encaminamiento, con lo cual puede



Figura 5.11. Router

interconectar distintas redes IP (Internet Protocol), que están compuestas por subredes IP. Estos equipos son usados en redes de área amplia (WAN) que a su vez comunican a otras redes WAN remotas que interconectan finalmente con redes de área local (LAN).

Los equipos antes mencionados son los que conforman el nodo perteneciente al SSN; para la red que pertenece al CTBTO los equipos que ya se encontraban instalados son UPS, routers, un módem satelital además de un PCQT (Personal Computer Quality Technology). La división de las redes puede observarse claramente en la figura 5.12.

Cabe mencionar que para esta estación, así como para las demás, el requerimiento promedio de ancho de banda es de 14 Kbps, sobre los cuales son soportadas la transmisión de datos sísmicos así como los de GPS.

La entrega de los datos de cada una de las estaciones al centro de monitoreo del SSN es posible gracias a un enlace última milla que proporciona el proveedor de telecomunicaciones.

Enlace última milla: Es un tramo de red de una longitud variable tradicionalmente llamado “última milla” o “bucle de abonado”. Este tramo de red es de vital importancia para que un operador pueda prestar servicios, tanto de voz como de datos, directamente al usuario final. Por otra parte, dependiendo de la capacidad de transmisión de este

tramo, el usuario podrá acceder a servicios avanzados de transmisión de datos, multimedia, VoIP, TV por Internet, video bajo demanda y otros. El control de este tramo de red permite a otros operadores ofrecer servicios de voz, datos y otros servicios como los mencionados; pudiendo realizar ofertas variadas incluyendo distintos planes de servicios y precios [12].

5.4 Diseño del enlace de telecomunicaciones

En la figura 5.12 se observa la manera en que los equipos de ambas redes fueron interconectados e instalados. En la parte derecha se tienen los equipos pertenecientes al SSN, encontramos el sismómetro, el acelerómetro, Q330, Baler, antena de GPS, UPS, un switch comercial y un switch industrial, el módem satelital, antena y el router que hace posible el encaminamiento de paquetes hacia la red del CTBTO. Por el lado de la red perteneciente al CTBTO tenemos un PCQT, UPS, un router y su respectivo módem satelital, así como su antena.

La integración de ambas redes fue posible mediante la implementación de un mecanismo denominado Network Address Translation (NAT) que consiste en realizar un mapeo en tiempo real entre direcciones IP de diferentes segmentos.

Tipos de NAT

NAT estático

Consiste básicamente en el mapeo de una dirección IP privada con una dirección IP pública de forma estática. De esta manera, cada equipo en la red privada debe de tener su correspondiente IP pública, asignada para poder acceder a Internet. La principal desventaja de este esquema es que por cada equipo que se desee tenga acceso a Internet se debe contratar una IP pública. Además, es posible que haya direcciones IP públicas sin usar (porque los equipos que las tienen asignadas están apagados, por ejemplo), mientras que hay equipos que no puede tener acceso a Internet (porque no tienen ninguna IP pública mapeada).

NAT dinámico

Este tipo de NAT pretende mejorar varios aspectos del NAT estático dado que utiliza un pool de IP's públicas para un pool de IP's privadas que serán mapeadas de forma dinámica y a demanda. La ventaja de este esquema es que si se tienen por ejemplo 5 IP's públicas y 10 máquinas en la red privada, las primeras 5 máquinas en conectarse tendrán acceso a Internet. Si suponemos que no más de 5 máquinas estarán encendidas de forma simultánea nos garantiza que todas las máquinas de nuestra red privada tendrán salida a Internet eventualmente.

NAT con sobrecarga

El caso de NAT con sobrecarga o PAT (Port Address Translation) es el más común de todos y el más usado en los hogares. Consiste en utilizar una única dirección IP pública para mapear múltiples direcciones IP's privadas. Las ventajas que brinda tienen dos enfoques: por un lado, el cliente necesita contratar una sola dirección IP pública para que las máquinas de su red tengan acceso a Internet, lo que supone un importante ahorro económico; por otro lado, se ahorra un número importante de IP's públicas, lo que demora el agotamiento de las mismas.

La pregunta obvia es cómo puede ser que con una única dirección IP pública se mapeen múltiples IP's privadas. Como su nombre lo indica, PAT hace uso de múltiples puertos para manejar las conexiones de cada host interno.

El tipo de NAT que se utilizó para la integración de ambas redes satelitales fue el NAT estático, debido a que así lo requería el CTBTO. Solicitó contar con una IP fija para cada uno de los equipos, además de que no presentaba problemas la disponibilidad de IP's ya que el mapeo se realizó entre segmentos de redes privadas [13].

OPTION 2

**Diagrama de la red propuesta para CMIG
Dos redes independientes
Estación Auxiliar A064**

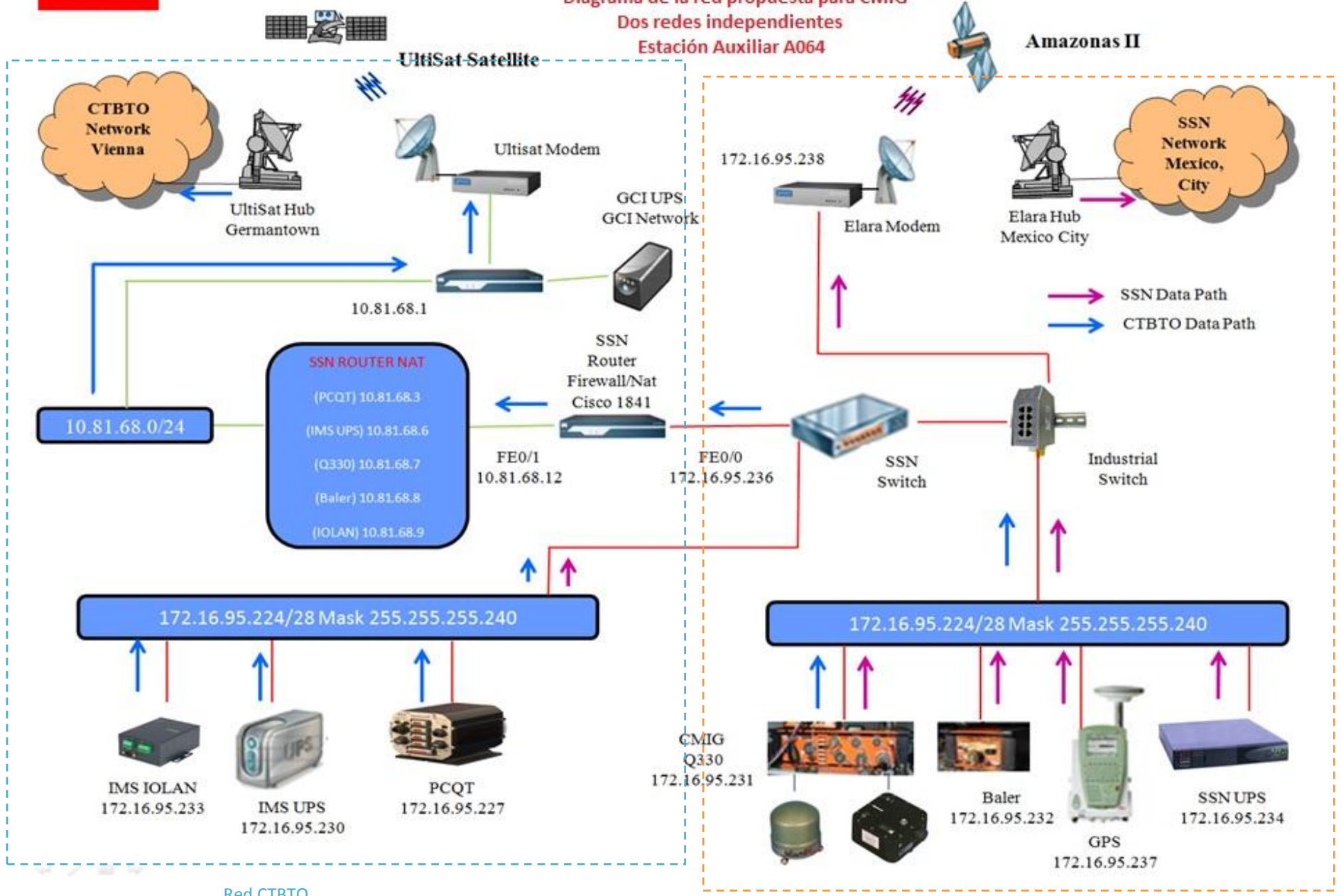


Figura 5.12. Dos redes independientes para la estación CMIG

Red SSN

5.5 Implementación del enlace de telecomunicaciones (figura 5.13- figura 5.26)

A continuación se presentan una serie de imágenes en las que se muestran los equipos ya instalados en la caseta de Matías Romero, Oaxaca.

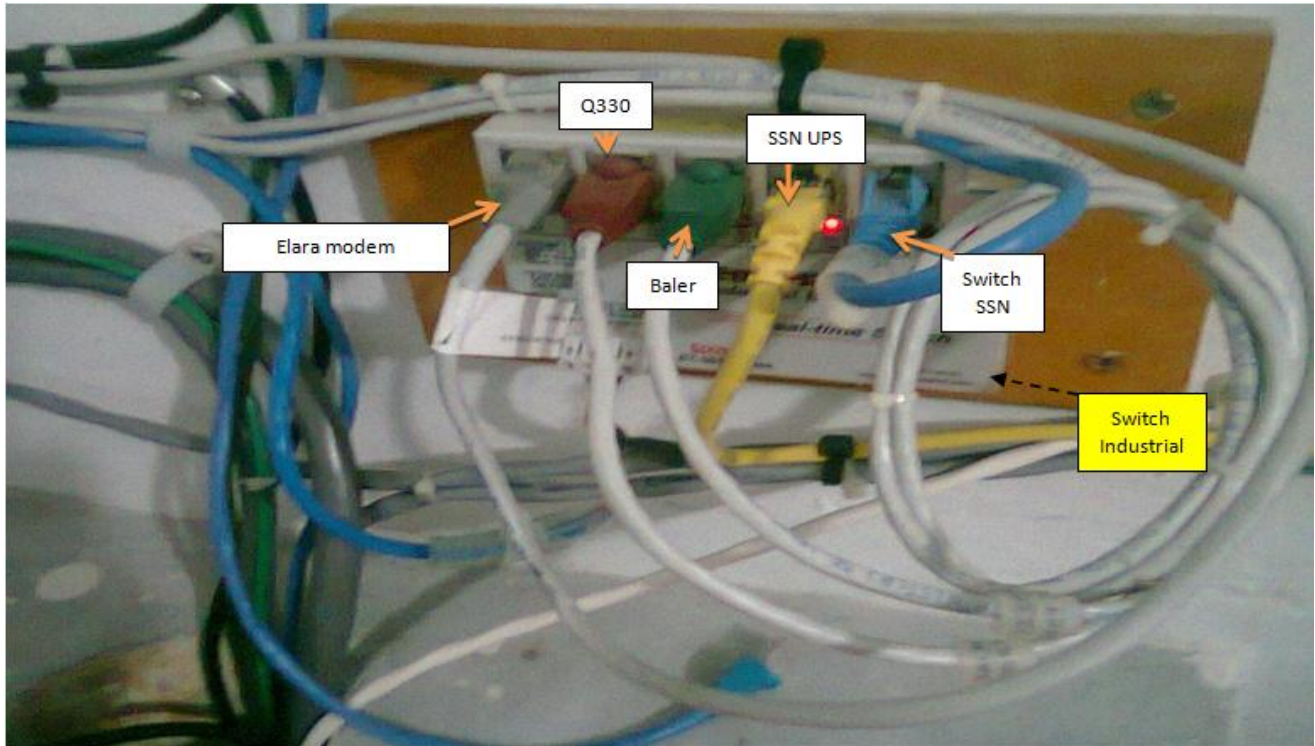


Figura 5.13. Conexiones en el switch industrial

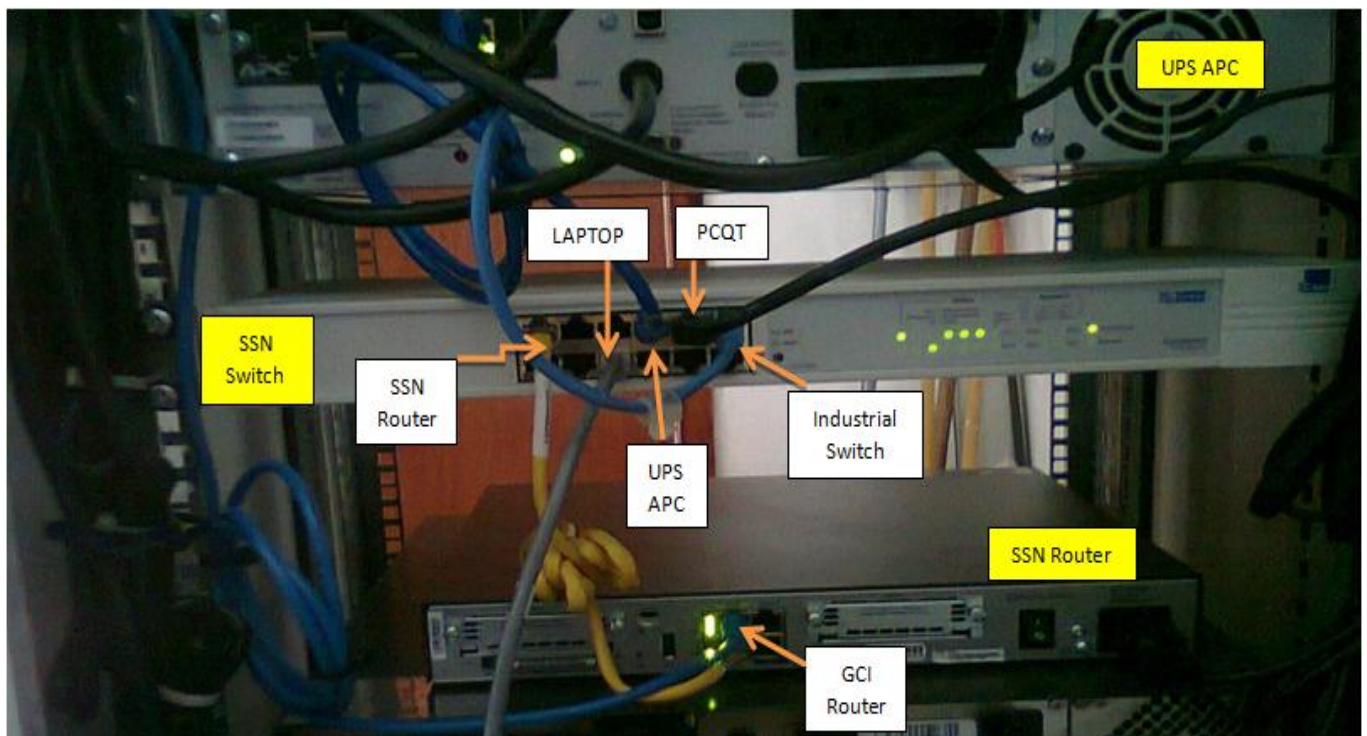


Figura 5.14. Conexiones switch y router SSN

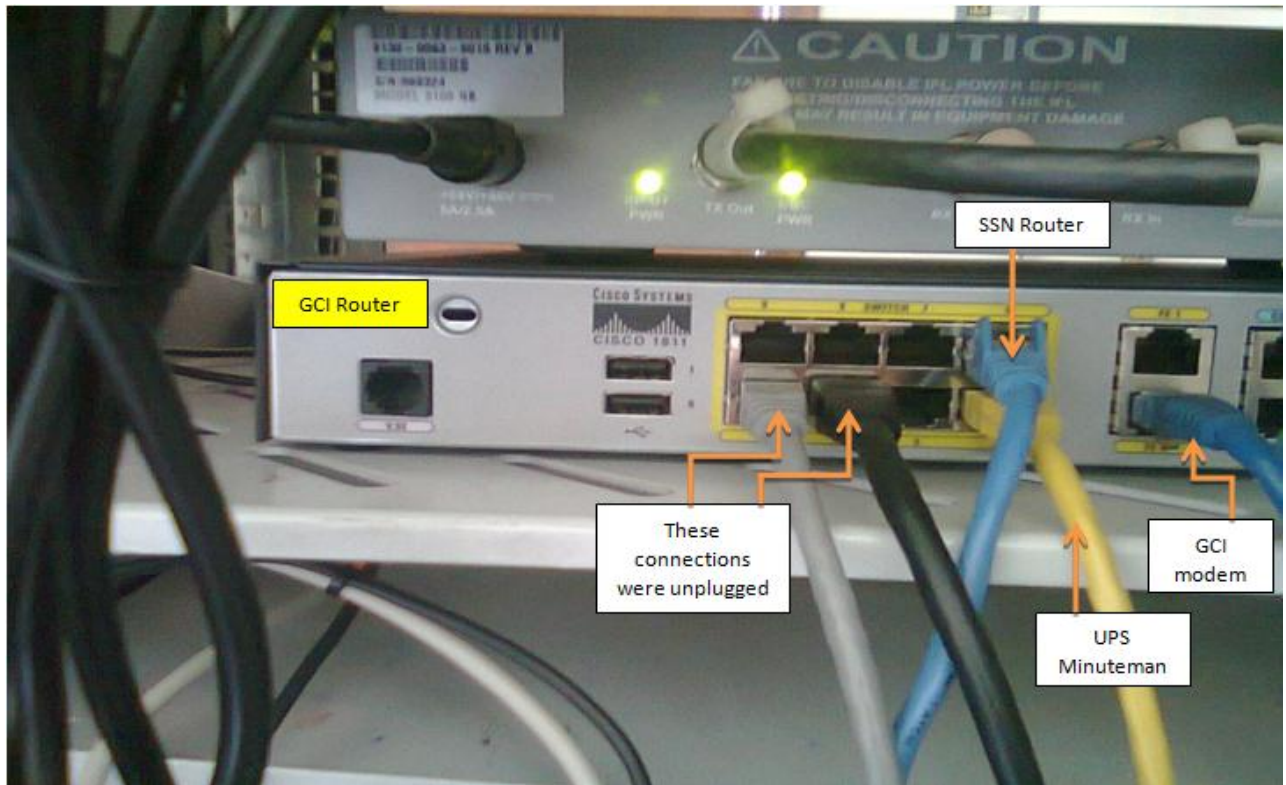


Figura 5.15. Conexiones router GCI

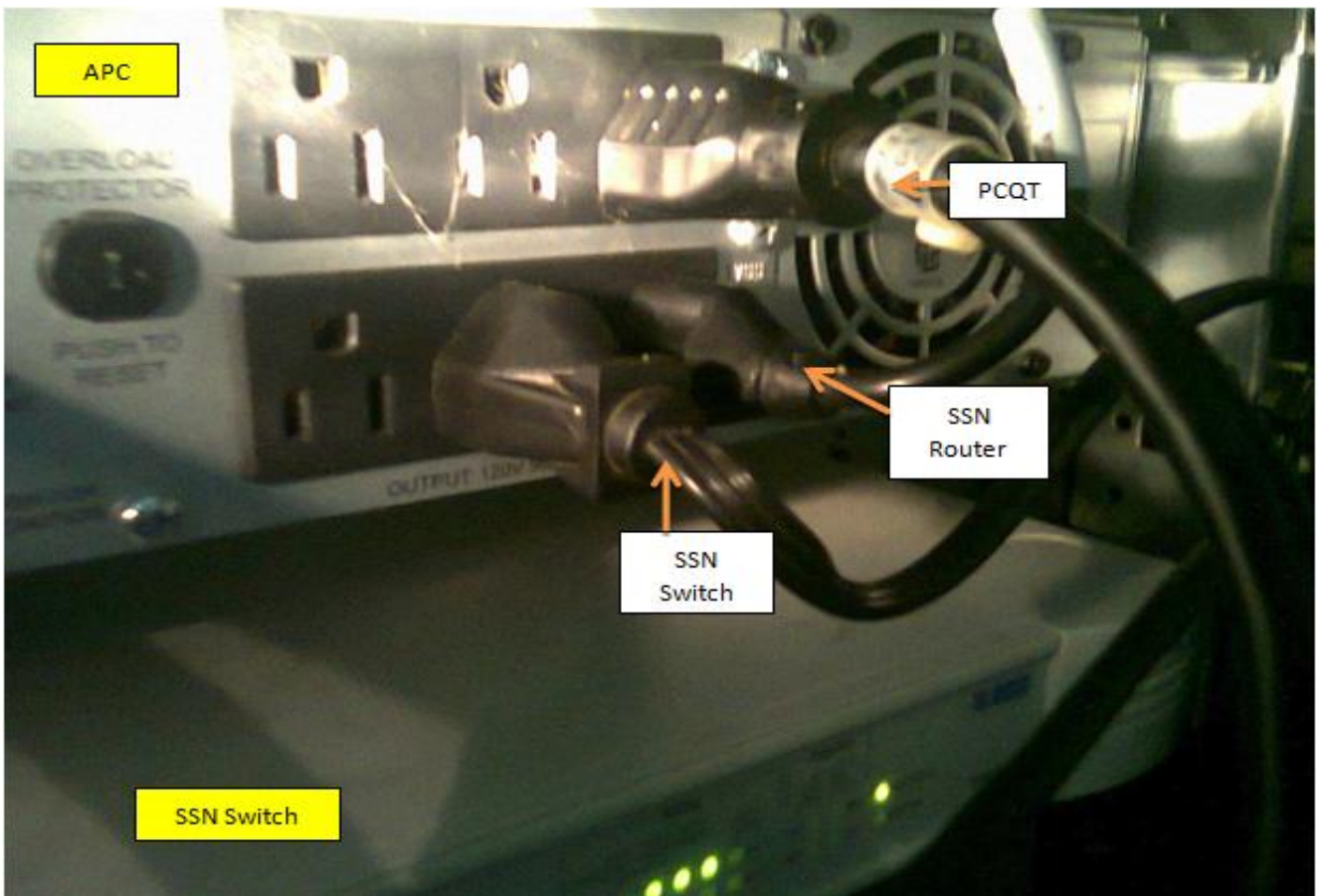


Figura 5.16. Conexiones al UPS-APC

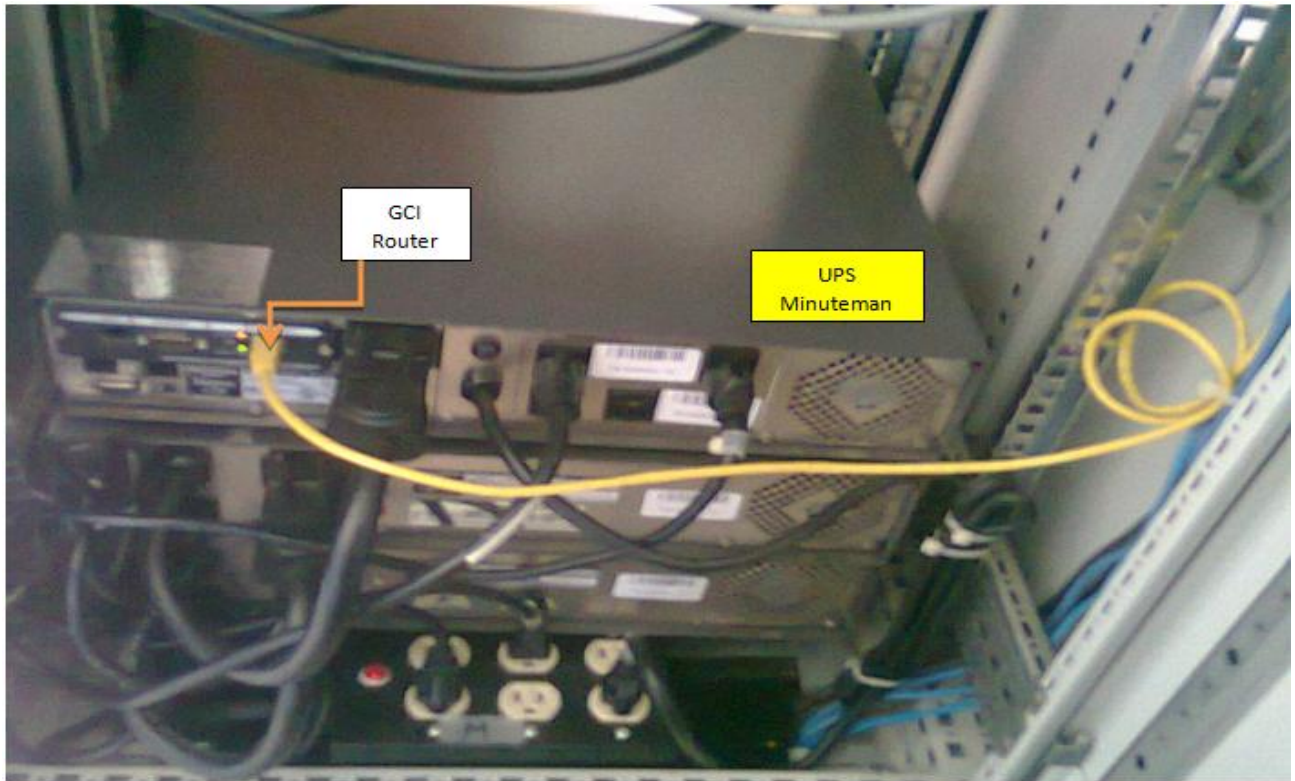


Figura 5.17. Conexiones al UPS-Minuteman



Figura 5.18. Antena CTBTO



Figura 5.19. Antena CTBTO vista posterior



Figura 5.20. Tornillo de elevación de antena CTBTO

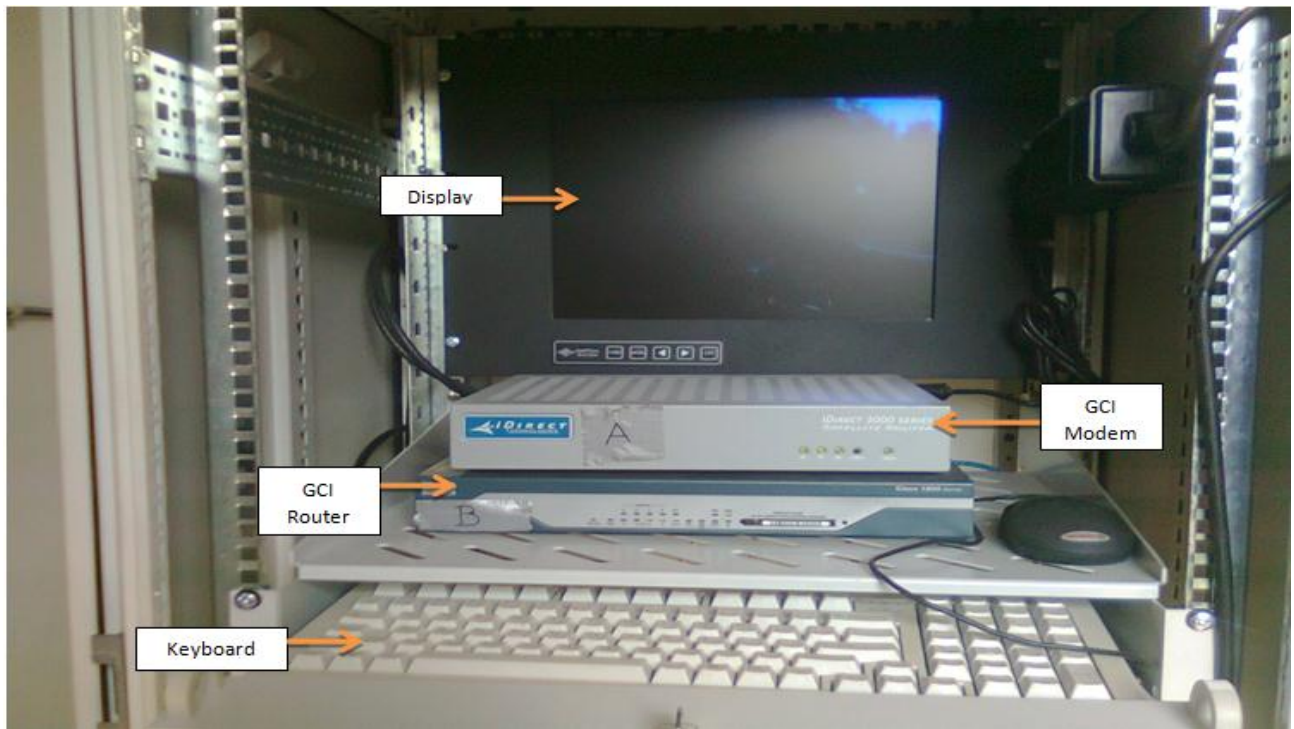


Figura 5.21. Computadora



Figura 5.22. PCQT



Figura 5.23. Vista frontal de equipos



Figura 5.24. Continuación de la vista frontal de equipos



Figura 5.25.Módem Elara



Figura 5.26.Estante en donde se colocó el equipo

5.6 Monitoreo del enlace en operación

Después de la instalación de los equipos se procedió a validar el enlace y a monitorear el tráfico generado (figura 5.27), obteniéndose lo siguiente:

Sensor CMIG

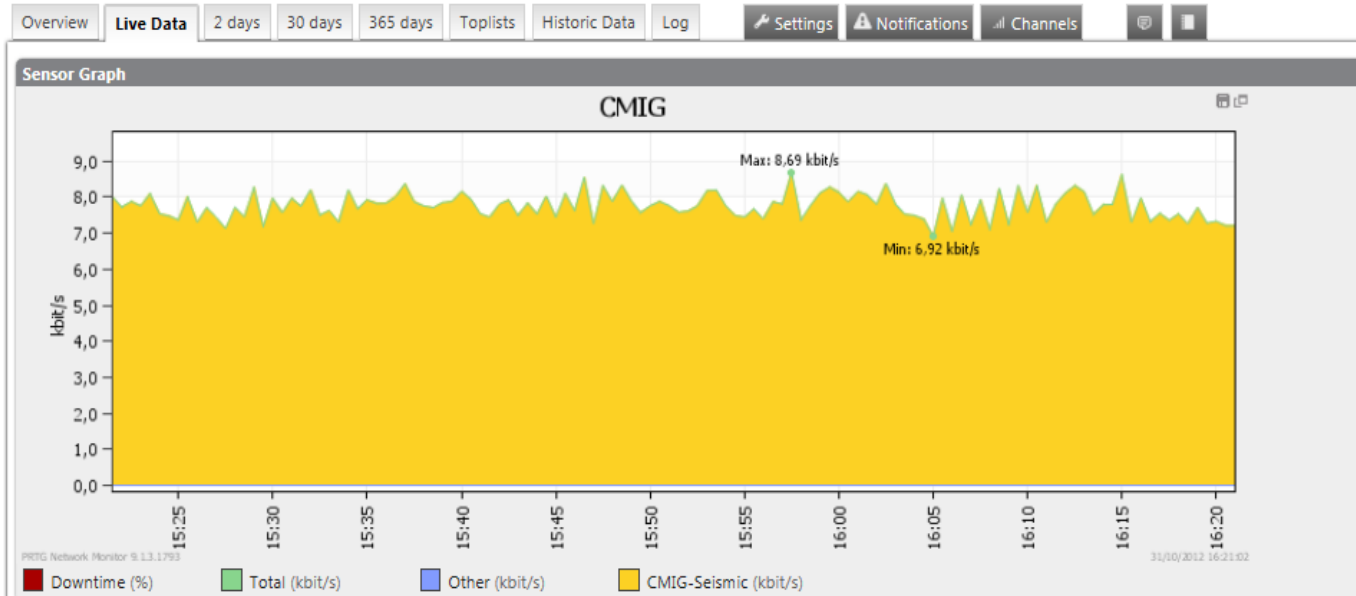


Figura 5.27. Comportamiento del enlace en operación

En la figura 5.27 se puede observar el tráfico generado por los datos sísmicos que están siendo recibidos en las instalaciones del SSN, se aprecia un tráfico de aproximadamente 8 kbps, que es el ancho de banda promedio que se utiliza para este tipo de transmisión. Con este monitoreo es posible saber si se presentan intermitencias en la recepción, o si se utiliza un ancho de banda mayor al necesario, lo anterior, a fin de tomar medidas preventivas y/o correctivas.

Capítulo 6. Licitación para el nuevo proveedor de telecomunicaciones del SSN

6.1 Introducción

En el pasado mes de Marzo del 2013, se terminó el contrato que celebraba el SSN con el proveedor de servicios de telecomunicaciones, razón por la cual hubo que preparar una licitación para todas aquellas compañías que estuvieran interesadas en proporcionar el servicio de transmisión satelital de datos para dicha institución.

En esta licitación se participó en la elaboración de los términos técnicos de referencia (Anexo I), así como en su revisión y corrección final, abarcando los siguientes rubros:

- Dimensionamiento del enlace de última milla
- Redundancia para el enlace de última milla
- Niveles de Sobresuscripción
- Dimensionamiento en el ancho de banda para cada nodo.
- Latencia

Además se realizó un estudio de los satélites geoestacionarios con huella en México, capaces de brindar el servicio requerido por el SSN, para determinar con que ángulo de elevación apuntarían las antenas a cada satélite. Debido a que dichas antenas se encuentran en cada una de las estaciones sísmicas ubicadas a lo largo del país, presentarán diversos ángulos de elevación al apuntar al satélite que brinde el servicio. Los ángulos antes mencionados juegan un papel importante, ya que a mayor ángulo de elevación se presenta menor resistencia al viento, por lo anterior el SSN buscó que se cumpliera con dicha condición considerándolo dentro de los términos técnicos de referencia.

Durante el desarrollo de la licitación, el que suscribe, estuvo presente en la Junta de Aclaraciones, en la cual los proveedores de servicios de telecomunicaciones expusieron sus dudas acerca de los términos técnicos de referencia.

Se participó en las pruebas de operación de las propuestas técnicas que los proveedores de servicios de telecomunicaciones debían cumplir, a fin de permanecer en el proceso de licitación y comprobar así su capacidad para establecer un enlace piloto.

Como resultado de la evaluación de las propuestas técnicas se descalificaron a dos de los tres participantes, debido al incumplimiento de uno de los puntos mencionados en los términos de referencia, el cual establecía que deberían indicar en su propuesta, el ángulo alfa de inclinación que tendrían las antenas en cada estación. Con esta licitación se logró un beneficio notable para la UNAM, ya que con el nuevo proveedor esta institución se ahorrará un aproximado de \$40,000 pesos mensuales.

6.2 Objetivo de la licitación

Encontrar al nuevo proveedor de servicios de telecomunicaciones del SSN.

6.3 Satélites geoestacionarios con huella en México

Se realizó un estudio de los satélites con huella en México (figura 6.1- figura 6.21) para identificar aquellos con los cuales los proveedores de telecomunicaciones podrían ofrecer sus servicios.

Americom-8

- Posición orbital: 139° W
- Banda de operación: C



Figura 6.1. Huella del satélite Americom-8

Americom-7

- Posición orbital: 137° W
- Banda de operación: C



Figura 6.2. Huella del satélite Americom-7

Americom-10

- Posición orbital: 135° W
- Banda de operación: C



Figura 6.3. Huella del satélite Americom-10

Galaxy-15

- Posición orbital: 133° W
- Banda de operación: C



Figura 6.4. Huella del satélite Galaxy-15

Americom-11

- Posición orbital: 131° W
- Banda de operación: C

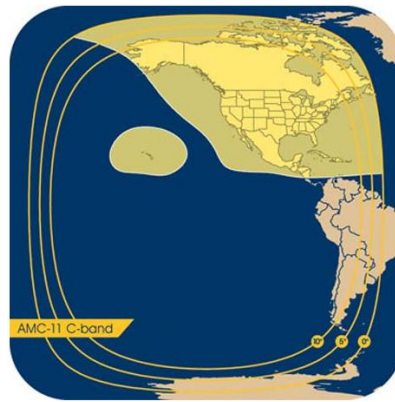


Figura 6.5. Huella del satélite Americom-11

Galaxy-27

- Posición orbital: 129° W
(En Mayo de 2011 fue cambiado de posición orbital 45.1° E)
- Banda de operación: C



Figura 6.6. Huella del satélite Galaxy-27

Galaxy-13

- Posición orbital: 127° W
- Banda de operación: C

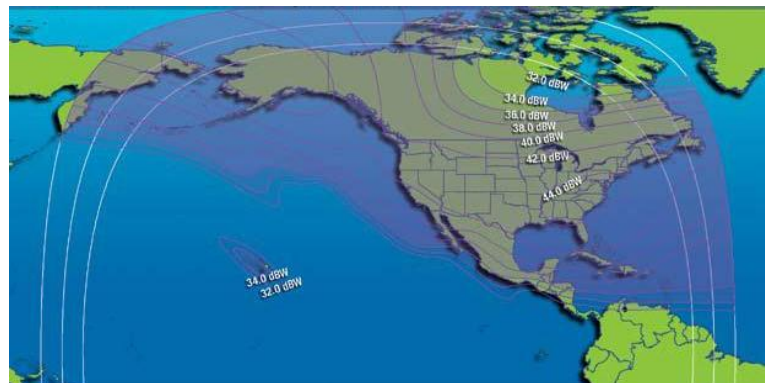


Figura 6.7. Huella del satélite Galaxy-13

Horizons-1

- Posición orbital: 127° W
- Banda de operación: C



Figura 6.8. Huella del satélite Horizons-1

Galaxy-14

- Posición orbital: 125° W
- Banda de operación: C



Figura 6.9. Huella del satélite Galaxy-14

Americom-21

- Posición orbital: 125° W
- Banda de operación: C



Figura 6.10. Huella del satélite Americom-21

Galaxy-18

- Posición orbital: 123° W
- Banda de operación: C

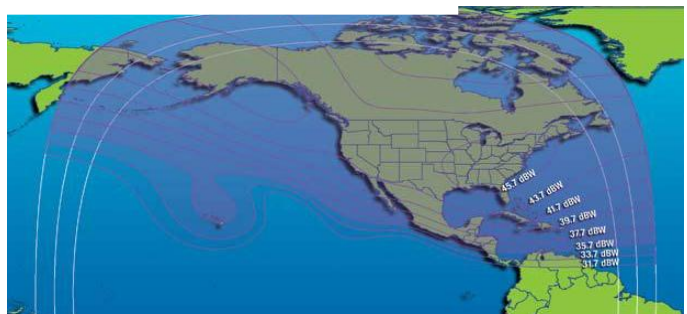


Figura 6.11. Huella del satélite Galaxy-18

Galaxy-23

- Posición orbital: 121° W
- Banda de operación: C



Figura 6.12. Huella del satélite Galaxy-23

SatMex-5

- Posición orbital: 116.8° W
- Banda de operación: C y Ku



Figura 6.13. Huella del satélite SatMex-5 (Banda Ku)

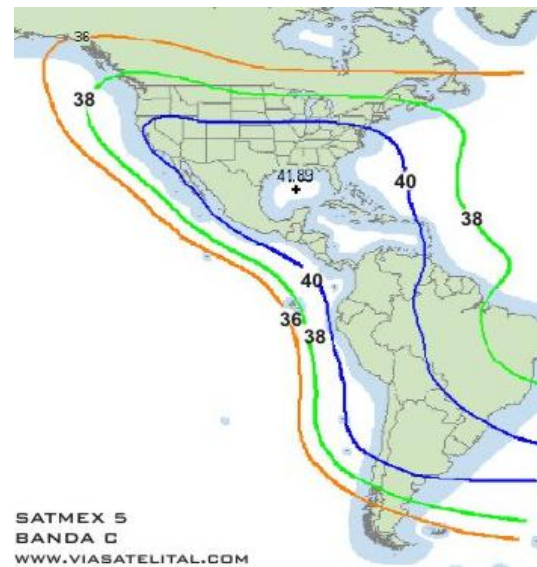


Figura 6.14. Huella del satélite SatMex-5 (Banda C)

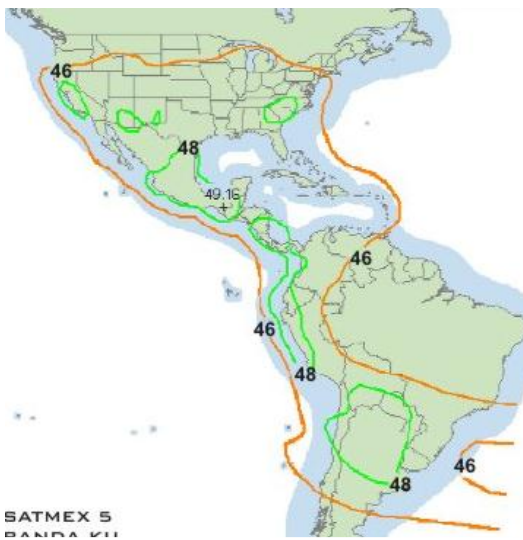


Figura 6.15. Huella del satélite SatMex-5 (Banda Ku)

SatMex-6

- Posición orbital: 113° W
- Banda de operación: C y Ku



Figura 6.17. Huella del satélite SatMex-6 (Banda C)



Figura 6.16. Huella del satélite SatMex-6 (Banda C)



Figura 6.18. Huella del satélite SatMex-6 (Banda Ku)

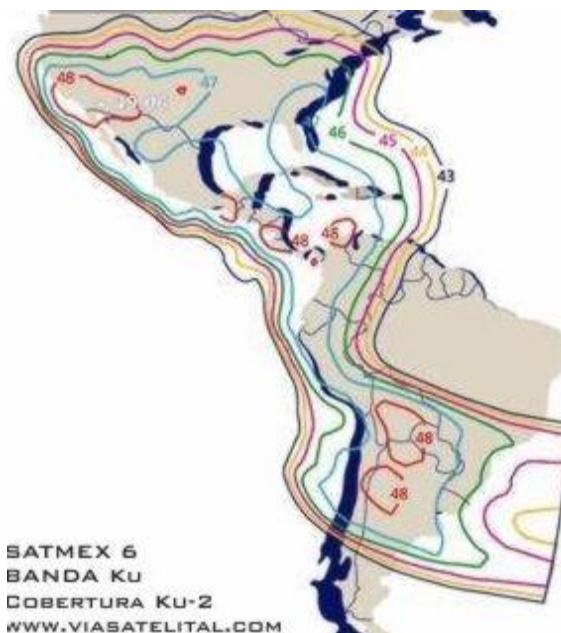


Figura 6.19. Huella del satélite SatMex-6 (Banda Ku)

Americom-9

- Posición orbital: 83° W
- Banda de operación: C y Ku

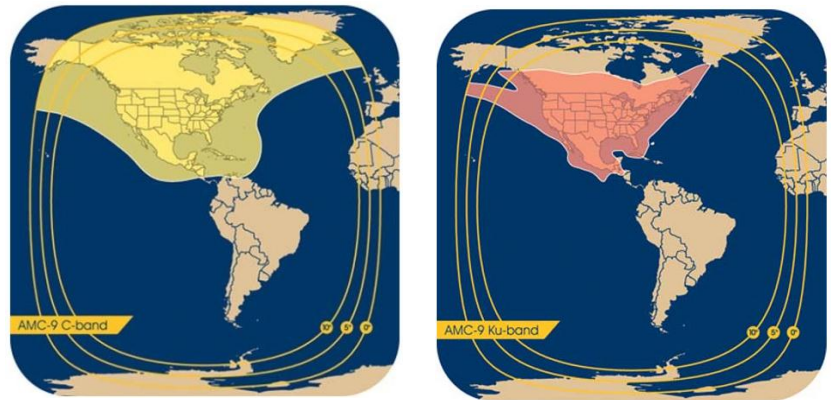


Figura 6.20. Huella del satélite Americom-9 (Banda C y Ku)

Amazonas-2

- Posición orbital: 61° W
- Banda de operación: C y Ku

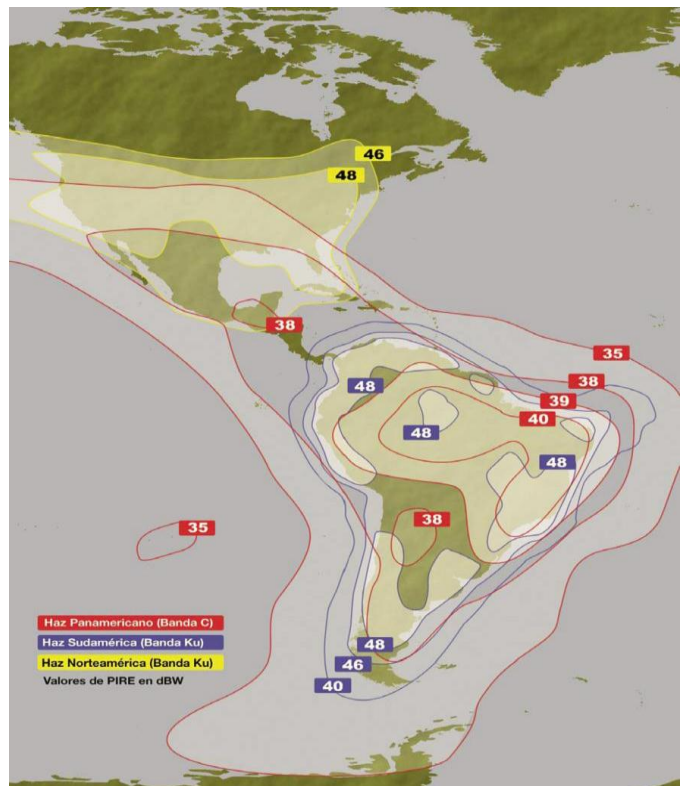


Figura 6.21. Huella del satélite Amazonas-2

Ángulo alfa de elevación (°)			
Satelite	Mexicali	Ciudad de México	Mérida
Americom-8	134.42	129.74	120.05
Americom-7	135.57	131.68	121.86
Americom-10	136.65	133.6	123.79
Galaxy-15	137.55	135.31	125.52
Americom-11	138.56	137.39	127.62
Galaxy-13	140.11	141.08	131.41
Horizons-1	140.11	141.08	131.41
Galaxy-14	140.73	142.87	133.28
Americom-21	140.73	142.87	133.28
Galaxy-18	141.24	144.61	135.13
Galaxy-23	141.64	146.31	136.96
SatMex-5	142.08	149.64	140.69
SatMex-6	142.01	152.31	143.9
Americom-9	128.52	150.74	154.34
Amazonas-2	111.23	131.39	139.44

Figura 6.22. Ángulo de elevación alfa desde tres ciudades de México

En la figura 6.22 se muestran los diferentes ángulos que tomarían las antenas estando instaladas en las ciudades de Mexicali, Ciudad de México y Mérida. Se eligieron estas ciudades con el objetivo de tomar como referencia los extremos de nuestro país, así como su centro, a fin de que los datos encontrados nos permitieran reconocer el rango de posibles ángulos para cada ciudad.

La información encontrada coincide con lo que se esperaba, ya que todos los satélites que se estudiaron tienen huella en todo el territorio Mexicano, por lo que los ángulos de elevación a dichos satélites cumplirían con el ángulo alfa requerido de por lo menos 120°.

La compañía ganadora que resultó del proceso de la licitación, entrega su servicio a través del satélite SatMex-6, con el que se cumple en todo el territorio nacional ángulos mayores a 120°.

Los puntos que determinaron a la compañía ganadora fueron los siguientes:

- Cumplimiento de cada punto contenido en los términos técnicos de referencia
- Aprobación de las pruebas de transmisión correspondientes a las dos aplicaciones (aplicaciones: sísmica y GPS)
- Evaluación de la propuesta económica

Resultados Obtenidos

- A través del monitoreo de la red sísmica, fue posible identificar las fallas y anomalías que se hicieron presentes en los nodos, se procedió a buscar las soluciones pertinentes para cada caso, en primera instancia de manera individual y cuando el caso lo ameritaba, en apoyo con el proveedor del servicio de telecomunicación. La respuesta oportuna ante las diversas eventualidades, permitió que cada estación se mantuviera operando de manera ininterrumpida la mayor parte del tiempo, ofreciendo así la información necesaria para determinar el epicentro de los sismos y su respectiva magnitud.
- Se realizó la instalación y puesta en operación de un enlace híbrido de radiofrecuencia para hacer llegar los datos sísmicos recolectados en la estación del Panteón Dolores al centro de monitoreo del SSN. A tal efecto, se requirió de un enlace primario el cual se basa en radios de espectro disperso (Panteón Dolores-Preparatoria No.4) mientras que el enlace secundario se hizo con radios wi-fi (Preparatoria No.4- Museo de Geofísica). Una vez que la información ha llegado al Museo de Geofísica, se envía al SSN por medio de una conexión a Internet tipo prodigy.
- Se trabajó en el diseño, instalación e integración de la red del SSN a la del CTBTO para hacer llegar la información sísmica desde la estación ubicada en Matías Romero, Oaxaca, a CU. La integración del enlace satelital alterno tiene como objetivo que las dos redes convivan sin alterar lo instalado para el CTBTO. Lo anterior debido al compromiso adquirido por nuestro país al firmar el TPCEN que busca prevenir y alertar acerca de ensayos nucleares en las aguas oceánicas cercanas a nuestro territorio.
- Se redactaron los términos técnicos de referencia para la invitación a por lo menos tres compañías que estuvieran interesadas en participar en la licitación, con el objetivo de ofrecer el servicio de telecomunicación al SSN. Además se diseñó un protocolo de pruebas, a fin de que las compañías demostraran su competencia para la transmisión de los datos sísmicos y de una aplicación de GPS a través de un enlace piloto, dichas pruebas debieron ser aprobadas por personal del SSN para ser válidas. Cuando se recibieron las propuestas de cada participante se procedió a realizar su evaluación, donde dos de los tres participantes quedaron fuera del proceso debido al incumplimiento del punto XXX) contenido en los términos técnicos de referencia, relacionado con el ángulo de elevación mínimo especificado en los términos técnicos de referencia. La propuesta ganadora generará a la UNAM ahorros mayores a los \$40,000 pesos mensuales respecto al contrato anterior.

Conclusiones

No hubiese sido posible concebir nuestro mundo actual sin el desarrollo que se ha dado en el campo de las telecomunicaciones, la mayoría de las actividades que realizamos en nuestra vida diaria se relacionan en algún punto con el uso de tecnologías que permiten la transferencia de información a distancia, además, la capacidad de disponibilidad que nos ofrece el uso de las telecomunicaciones nos ha permitido incrementar el grado de respuesta ante cualquier situación.

En el caso del SSN la capacidad de respuesta es fundamental ante cualquier evento sísmico de importancia, el poder determinar el epicentro y la magnitud de la manera más rápida y precisa, permitirá que se tomen las mejores medidas de seguridad y apoyo para la sociedad.

La experiencia y los conocimientos adquiridos durante mi estancia como prestador de servicio social en esta institución han marcado de manera trascendente mi formación profesional, prueba de ello, es este documento que he redactado con todas aquellas actividades que han sido relevantes tanto para el SSN y la sociedad en general, y con el cual pretendo obtener el título de ingeniero en telecomunicaciones. La responsabilidad que conlleva formar parte de una institución de tanta importancia (aún como prestador de servicio social), me permitió madurar en el ámbito profesional; logré enriquecer mi percepción en relación a la trascendencia que tienen las actividades que cada persona desarrolla, a fin de lograr el funcionamiento integral de un sistema, la relación que establecí con personal tanto del SSN como de la empresa proveedora del servicio de telecomunicación, me brindó un amplio panorama acerca de las diversas formas de pensamiento y maneras de trabajar, además de conocimiento. La inducción que me fue brindada por diferentes ingenieros que laboran en el Sismológico y en especial la de mi asesor, fue sumamente importante para entender la operación y el proceso que se lleva a cabo en la ejecución de las labores encomendadas a esta entidad. Las actividades que desarrollé me demandaron investigar y profundizar en los temas referentes a cada cuestión, para lograr un mejor entendimiento y poder abordar las tareas que me fueron asignadas.

Afortunadamente, tuve la oportunidad de trabajar en actividades directamente relacionadas con mi carrera:

- Me familiaricé con el sistema de telecomunicaciones, la arquitectura de red y el sistema de monitoreo con el que opera el SSN; identifiqué el enlace redundante a través del cual los paquetes pueden llegar a las instalaciones en caso de que el canal principal de comunicación falle

- Configuré el rango de tráfico aceptable para todas las estaciones, de manera que si se presentaba una caída conjunta de nodos, o el ancho de banda utilizado superaba lo adecuado, se enviaba una señal para reportar dichas situaciones
- Evalué sistemas GPS a través de un estudio de mercado para su instalación en los vehículos de la institución, con el propósito de conocer la ubicación de los tripulantes cuando se encuentren en zonas apartadas, a fin de preservar su seguridad
- Supervisé la estabilidad de la red satelital, con el objetivo de solucionar problemas existentes, tales como: caídas, intermitencias, no uniformidad en la transmisión y uso ineficiente del ancho de banda
- Aprendí a identificar las diversas anomalías que pueden presentarse durante la transmisión de datos de un punto a otro
- Configuré los equipos UPS de las estaciones sismológicas ubicadas en Oaxaca para que reportaran los cortes de energía eléctrica vía e-mail
- Participé en la implementación de un enlace híbrido de radiofrecuencia, el primer enlace se realizó con radios de espectro disperso en tanto que el segundo se implementó con radio Wi-Fi
- Tomé parte en el diseño e integración de dos redes satelitales con el objetivo de hacer llegar los datos sísmicos al centro de monitoreo del SSN, desde la estación de Matías Romero ubicada en el estado de Oaxaca; lo anterior sin alterar lo ya instalado previamente por el CTBTO
- Realicé un estudio de los satélites con huella en nuestro país para reconocer aquellos que pudieran ofrecer servicios en territorio nacional y que además se pudiera contar con un ángulo adecuado para las antenas al momento de apuntar a ellos
- Configuré el servidor de tiempo que proporciona servicio a diversas estaciones sismológicas del valle de México
- Aprendí acerca del proceso de una licitación, participé en la redacción de los términos técnicos de referencia, estuve presente en las juntas de aclaraciones y en las evaluaciones de cada compañía interesada en ofrecer su servicio, culminando esta actividad con un cambio de proveedor y un ahorro palpable para la UNAM (esta actividad fue realizada en conjunto con otros prestadores de servicio social)

El haber concluido con éxito las actividades plasmadas y en general mi servicio social, no hubiese sido posible si no hubiera contado con los extensos y diversos fundamentos que aprendí en el área de redes, radiofrecuencia, microondas, análisis de señales, óptica, entre otras asignaturas del Plan de Estudios de mi carrera en la Facultad de Ingeniería.

Anexo I. Términos técnicos de referencia

Invitación a Cuando Menos Tres Compañías Términos técnicos de Referencia

El Servicio Sismológico Nacional (SSN), dependiente del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) hace una atenta invitación a las compañías especializadas en la implementación de redes de telecomunicaciones, a presentar una propuesta técnica y económica para proporcionar el servicio de transmisión satelital de datos para 49 nodos ubicados en diferentes puntos de la república, por un periodo de 24 meses atendiendo a las siguientes condiciones:

I).- El servicio de transmisión satelital deberá ser capaz de realizar el transporte de datos en tiempo real de dos diferentes aplicaciones que el SSN requiere para cumplir su misión. La primera aplicación (A) transmite datos sísmicos utilizando protocolo UDP. La segunda aplicación (B) es utilizada para la transmisión de datos GPS utilizando protocolo TCP.

II).- El telepuerto, estación central o hub deberá estar ubicado en México. No se aceptarán posturas de empresas cuyo telepuerto esté ubicado en otro país.

III).- El proveedor deberá contar con la concesión otorgada por el Gobierno Federal para brindar el servicio de transmisión satelital de datos.

IV).- A fin de demostrar su experiencia y capacidad operativa, el proveedor deberá comprobar que proporciona el servicio a una base instalada que tenga al menos 400 enlaces satelitales en operación.

V).- Cada estación remota deberá contar con el ancho de banda necesario para garantizar la transmisión constante hacia las instalaciones del SSN de un volumen de tráfico efectivo de datos de 14 Kbps como mínimo (Anexo III), con capacidad para absorber variaciones en el volumen en la transmisión de datos hasta de 32 Kbps durante 30 minutos por día.

VI).- Los niveles de sobreescripción aceptables para proporcionar el servicio pueden ser los que se refieren en la siguiente tabla, o su equivalente para asegurar el volumen de tráfico solicitado de 14 Kbps por estación.

Velocidad	Sobresuscripción
14 Kbps	1:1
28 Kbps	2:1
32 Kbps	2:1
64 Kbps	4:1
128 Kbps	9:1
256 Kbps	18:1

VII).- El proveedor deberá informar en su propuesta la velocidad y el nivel de sobresuscripción con la que dará el servicio en cada uno de los enlaces remotos o nodos. La omisión de esta información será causa de descalificación.

VIII).- La respuesta al comando ping enviado desde las instalaciones del SSN hacia el modem satelital ubicado en el sitio remoto no deberá ser mayor a 1 segundo. Así mismo, los paquetes de datos de las dos aplicaciones (A) y (B) no deberán presentar una latencia para su recepción mayor a 7 segundos. De no cumplirse cualquiera de estas condiciones, se considerará que el enlace no está disponible y aplicarán los descuentos expresados en el inciso XXVIII).

IX).- El enlace de última milla principal que interconectará el telepuerto del proveedor con las instalaciones del SSN, deberá ser entregado a través de un enlace dedicado terrestre de al menos 1.024 Mbps (de fibra, cobre, microondas o su combinación), para lo cual el proveedor deberá integrar en su propuesta el costo de la renta mensual asociada a ese servicio y su costo de instalación. No serán aceptadas las posturas donde el enlace de última milla se ofrezca a través de un enlace satelital. La omisión del valor ancho de banda que se utilizará para proporcionar el servicio de última milla será causa de descalificación.

X).- El proveedor deberá proporcionar un enlace de última milla de respaldo entre su telepuerto y las instalaciones del SSN. El enlace de respaldo deberá de entrar en operación de manera automática en el caso de que el enlace de última milla principal presente alguna falla. El enlace de última milla de respaldo podrá ser suministrado a través de una VPN que utilice la red pública de Internet. El proveedor será responsable de la configuración de todos los equipos. A tal efecto, el SSN pone a disposición del proveedor 2 equipos SonicWall, uno modelo TZ 200 y otro modelo TZ 210 para la implementación del sistema de transferencia automática entre el enlace de última milla principal y el secundario, o viceversa. El proveedor tendrá la libertad de utilizar para este fin cualquier otro equipo de su preferencia cuyo costo deberá ser integrado en su propuesta.

XI).- El equipo que sea suministrado por el proveedor para proporcionar el servicio de última milla deberá ser integrado al costo del proyecto en calidad de arrendamiento y continuará siendo propiedad del proveedor.

XII).- La administración, operación, supervisión, configuración y mantenimiento del enlace de última milla principal, así como del enlace de última milla de respaldo y equipos asociados serán responsabilidad exclusiva del proveedor durante la vigencia del contrato.

XIII).- El SSN cuenta con 40 estaciones VSATs marca Hughes, de las cuales 37 operaron hasta febrero de 2012. Los 3 equipos restantes están en las instalaciones del SSN en ciudad de México en buenas condiciones de conservación. El proveedor podrá hacer uso de ese equipamiento durante el tiempo que dure la vigencia del contrato, sin responsabilidad de parte del SSN con respecto a sus condiciones de funcionamiento presentes o futuras. El equipamiento de las 37 estaciones VSATs se encuentra ubicado en los sitios de instalación. En algunos casos el equipo está montado y en otros casos la electrónica se encuentra al interior de las casetas. El proveedor deberá tomar las previsiones necesarias para poder realizar la instalación y puesta en marcha de cada enlace, aún en el caso de que exista algún faltante o la estación VSAT propiedad del SSN presente alguna falla, en cuyo caso el proveedor estará obligado a instalar su propio equipo de comunicación para establecer el enlace. Durante el tiempo que dure la vigencia del contrato, el proveedor será responsable exclusivo por la operación y mantenimiento de todas las estaciones VSAT que utilice para brindar el servicio de transmisión satelital de datos y será su obligación el sustituir las con equipo propio, o repararlas en caso de que se presente cualquier falla. Dado que el SSN sólo cuenta con 40 estaciones marca Hughes, el proveedor deberá colocar al menos 9 equipos de su propiedad para brindar el servicio en las estaciones que faltan. De igual manera, dado que el contrato permitirá la expansión de la red hasta en un 20% cada año desde el inicio de la vigencia del contrato, el proveedor deberá considerar el suministro de las estaciones VSATs adicionales para brindar el servicio, en cuyo caso deberá considerar que todo el equipo que suministre será en calidad de arrendamiento, mismo que deberá ser integrado en el costo de la renta mensual.

XIV).- El proveedor podrá utilizar a discreción equipo VSAT de su propiedad para brindar el servicio de transmisión satelital de datos. En tal caso, el proveedor deberá presentar una propuesta integral que incluya el costo de arrendamiento del equipo satelital que se utilizará en cada nodo, el costo de instalación y activación junto el costo del servicio de conducción de datos.

XV).- La administración, supervisión, configuración y mantenimiento de todas las estaciones VSATs serán responsabilidad exclusiva del proveedor durante la vigencia del contrato.

XVI).- Cada VSAT deberá contar con al menos 14 direcciones IP's privadas para uso del SSN y un puerto de red Ethernet. El proveedor será responsable de la integración de la red satelital a la red de datos del SSN.

XVII).- El proveedor deberá incluir en la propuesta sus políticas de mantenimiento al equipo VSAT.

XVIII).- El proveedor deberá contar con un call center con servicio 24x7.

XIX).- El proveedor deberá entregar un plan de instalación que incluya la totalidad de los nodos satelitales, así como la instalación de los enlaces de última milla principal y de respaldo. El plan de instalación deberá comenzar con el día 1. Posteriormente el personal del SSN en conjunto con el proveedor ganador acordarán la fecha de inicio de los trabajos que deberá realizarse conforme al plan de instalación entregado.

XX).- El proveedor deberá entregar un documento con la matriz de escalamiento para el reporte y atención de incidentes, con los nombres del personal responsable y los números telefónicos correspondientes.

XXI).- El proveedor deberá presentar una relación de sus centros de servicio ubicados en el país.

XXII).- El proveedor tendrá hasta 48 horas naturales a partir del reporte de un incidente, para realizar una visita de mantenimiento a cualquier estación en caso de que así se requiera.

XXIII).- A fin de garantizar la correcta operación de las dos aplicaciones (A) y (B) que cursarán datos a través del enlace satelital, el SSN realizará en sus instalaciones ubicadas en Ciudad Universitaria las pruebas de transmisión correspondientes con cada proveedor que así lo solicite. Cada proveedor tendrá un día como máximo para la realización de las pruebas. En caso de que los resultados de las mismas sean favorables, el SSN entregará un certificado de aprobación, mismo que deberá ser presentado junto con la propuesta técnica y económica. No se aceptará ninguna propuesta sin el certificado de aprobación correspondiente.

XXIV).- La dirección de las instalaciones del SSN donde el proveedor deberá enviar los datos de los 49 nodos es: Instituto de Geofísica, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, México, D.F. CP 04510.

XXV).- Las propuestas económicas serán evaluadas para un periodo de 24 meses, donde se considerará el costo total de la propuesta. Para efectos de pago, el costo total será dividido en 24 pagos iguales que se realizarán al término de cada mes del servicio durante la vigencia del contrato, por lo que será responsabilidad del proveedor integrar todos los gastos y costos asociados a la misma. En caso de cancelación del servicio en uno o varios de los nodos, el monto total de pago mensual será ajustado proporcionalmente, de acuerdo al costo de la renta mensual de cada nodo indicada en el inciso XXVI).

XXVI).- Considerando que la red podrá tener un crecimiento de hasta 20% anual en el número de nodos a partir de la fecha de firma del contrato, el proveedor deberá indicar el costo de la renta mensual por cada servicio o nodo adicional, así como el costo de instalación y activación cada nodo adicional en caso de que aplique.

XXVII).- A partir del segundo año el SSN podrá solicitar la baja de hasta 5 enlaces, sin que exista mayor requerimiento que informar al proveedor sobre este particular con 20 días hábiles de anticipación. Para el cálculo del descuento asociado por la cancelación del servicio en cada estación se tomará el precio de la renta mensual expresado en el inciso XXVI).

XXVIII).- El proveedor deberá considerar en su propuesta la disponibilidad de los servicios de red para cada nodo, misma que será de al menos un 99.5% mensual. De no alcanzarse nivel mínimo de disponibilidad, se descontará del pago de la renta mensual conforme la siguiente tabla.

Valor mensual en minutos (min) fuera de operación por cada enlace	Porcentaje mínimo de disponibilidad mensual por nodo	Porcentaje máximo de disponibilidad mensual por nodo	Porcentaje de descuento de la renta mensual por cada enlace que presente fallas
Hasta 2160 min	99.5	100	0%
Hasta 4320 min	90.0	99.4	20%
Hasta 8640 min	80	89.9	50%
Desde 8641 min	0	79.9	100%

XXIX).- A fin de reducir las vibraciones causadas por la resistencia al viento que ofrece la antena, se requiere que el ángulo α que forma la misma respecto a la horizontal sea al menos de 120 grados, como se ilustra en la siguiente figura.

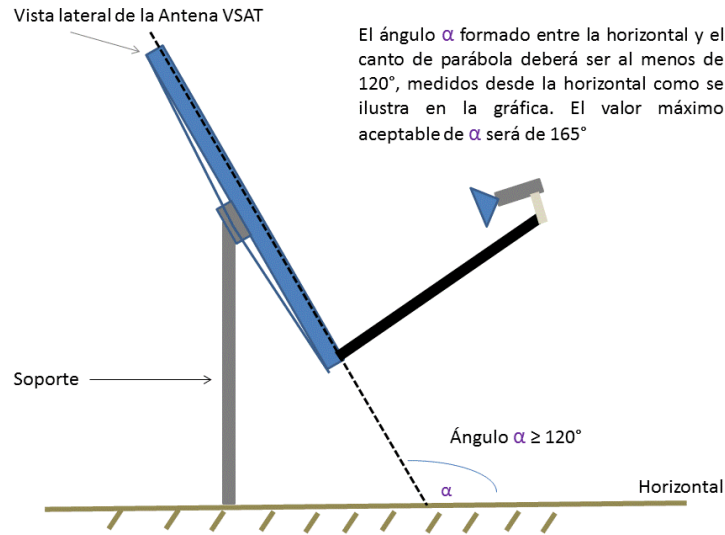


Figura A.I. Ángulo mínimo para las antenas

XXX). El proveedor deberá entregar en su propuesta técnica el nombre del satélite que utilizará y el valor del ángulo α para cada enlace. La omisión de esta información será causa de descalificación.

Anexo II. Protocolo de pruebas para la transmisión de datos sísmicos y de GPS a través de un sistema de transmisión satelital

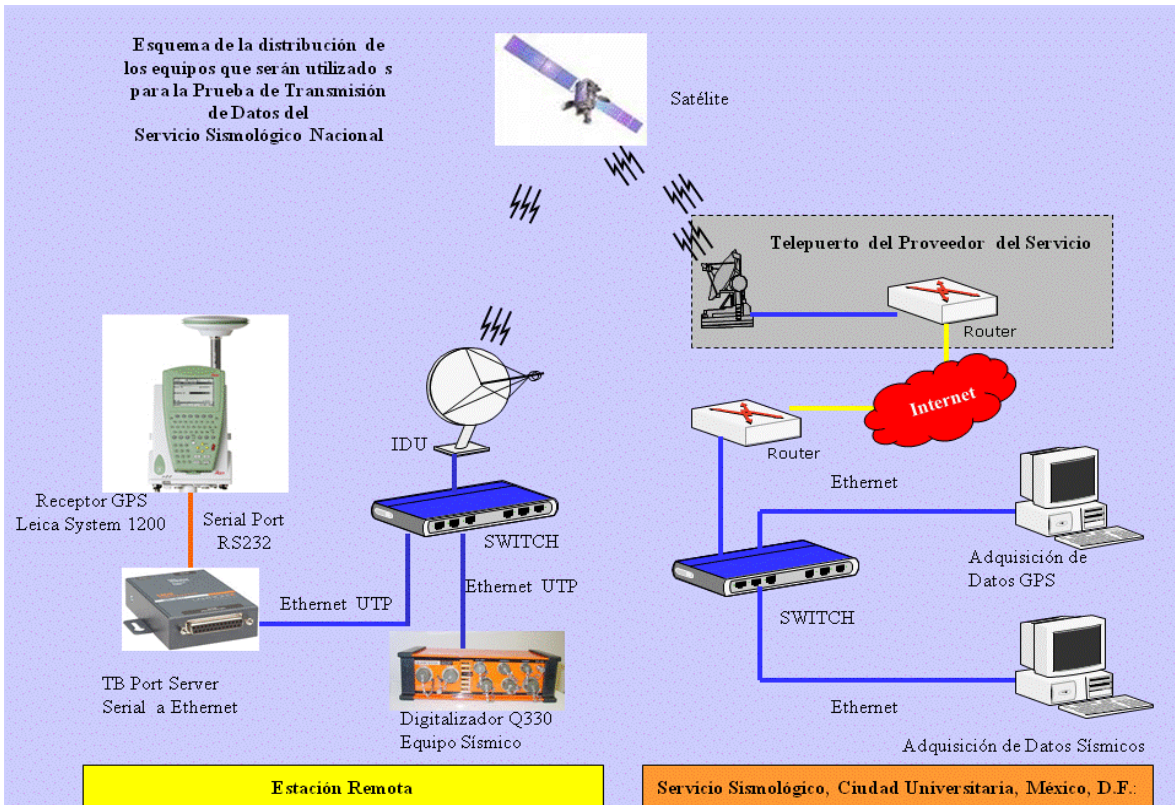


Figura A.II. Distribución de los equipos que serán utilizados durante las pruebas de transmisión satelital para validar el sistema de transmisión de datos del proveedor

El objetivo del protocolo es determinar si el sistema de transmisión satelital ofrecido por el proveedor del servicio de conducción de datos es compatible con dos aplicaciones: Sísmica (A) y GPS (B), que utiliza el Servicio Sismológico Nacional para el monitoreo de la actividad sísmica del país.

Desarrollo de la Prueba.

Las pruebas se realizarán invariablemente en las instalaciones del SSN, para lo cual cada proveedor deberá concertar una cita para llevar su estación VSAT e instalarla en la azotea del edificio.

1.- Se correrá una primera prueba de transmisión de datos para validar que existe conexión a nivel de red local entre los equipos que serán utilizados para las pruebas.

En este caso, los sistemas de adquisición de datos de las aplicaciones Sísmica y de GPS deberán recibir correctamente los datos que se generen.

2.- Una vez validada la comunicación en el punto anterior, se procederá a conectar a la estación remota del proveedor el equipo sísmico Q330 y el equipo GPS para lo cual se requieren dos puertos Ethernet 10/100 baseT más un tercer puerto con iguales características para la laptop del personal del SSN.

El proveedor asignará un segmento de direcciones para los equipos que se conecten en su estación remota.

En el lado del telepuerto, el proveedor realizará un procedimiento de Network Address Translation (NAT) para mapear las direcciones privadas asignadas al equipo Q330 y GPS con una dirección pública para cada equipo, de tal forma que los equipos que estén conectados al punto remoto puedan ser accedidos desde Internet.

Los datos serán enviados desde el telepuerto del proveedor a dos diferentes computadoras con IPs públicas ubicadas en el SSN, donde se realizará la recepción de los datos generados desde la estación remota. En una computadora correrá el sistema de adquisición de datos sísmicos, mientras que en la segunda computadora correrá el sistema de adquisición de datos GPS.

3.- Se procederá a evaluar en primer término la adquisición de datos sísmicos.

El sistema de adquisición deberá recibir sin un retraso mayor a 7 segundos los paquetes enviados desde la estación remota. El sistema de transmisión satelital deberá tener la capacidad para transportar en tiempo real todos los datos que se generen desde el equipo remoto. A tal efecto el personal del SSN utilizará del lado remoto una computadora desde

donde visualizará si el buffer del equipo Q330 permanece vacío, lo que será una indicación de que el sistema de transmisión se está comportando correctamente. Si el buffer del equipo Q330 se comienza a llenar, esta será una indicación de que el sistema de transmisión tiene una restricción en el ancho de banda asignado, mismo que será considerado insuficiente para cubrir las necesidades de transporte de datos. Una vez definido el perfil del equipo satelital, se mantendrá la transmisión de datos sísmicos por un periodo de 15 minutos donde no se deberán observar errores de transmisión ni retrasos evidentes en la llegada de los paquetes a la máquina de adquisición.

4.- La transmisión de datos sísmicos se suspenderá para iniciar las pruebas de transmisión de datos GPS.

5.- El personal del SSN iniciará la transmisión de datos GPS. Si el sistema satelital funciona correctamente, el buffer del PortServer deberá permanecer vacío. En el supuesto de que el buffer del PortServer comience a llenarse, esto constituirá una indicación de que el sistema satelital es insuficiente para funcionar adecuadamente con la aplicación GPS. Una vez ajustado el perfil, se correrá durante 15 minutos una prueba de transmisión donde se espera que no existan errores ni retraso evidente en la transmisión de datos.

6.- De existir cambios en el perfil durante las pruebas de transmisión del equipo GPS se realizará una prueba adicional de transmisión con el sistema de datos sísmicos.

7.- Se realizará a continuación una prueba de transmisión de las dos aplicaciones (GPS y Sísmica) funcionando simultáneamente durante un tiempo de 15 minutos. El tráfico en ambas aplicaciones deberá mantenerse estable. De existir grandes variaciones en el nivel de tráfico, se considerará que el sistema no cuenta con la capacidad necesaria para proveer el servicio solicitado por lo que no se podrá otorgar el certificado de compatibilidad.

8.- El personal del SSN desconectará del switch de la estación remota bien sea el equipo Q330 y/o el equipo GPS para simular una interrupción en el sistema de transmisión. Esta operación se realizará a discreción las veces y el tiempo que el personal del SSN determine, hasta que esté satisfecho de que el sistema de transmisión satelital tiene la capacidad para absorber picos en el tráfico sin que las aplicaciones de recepción de datos presenten inestabilidad. Los picos en el tráfico se presentan después de una interrupción debido a que los datos que no se pueden transmitir son almacenados en los buffers del Q330 y del GPS. Cuando la conectividad se reanuda ambos sistemas intentan enviar por el canal de comunicación todos los datos almacenados en sus buffers respectivos.

9.- Cada proveedor tendrá un día como máximo para cumplir con las pruebas antes enumeradas. En caso de que por cualquier causa imputable al proveedor no se puedan completar todas las pruebas, el SSN no otorgará el certificado de aprobación correspondiente. El horario para realización de las pruebas será de 7 a 19 horas.

Anexo III. Volumen de tráfico

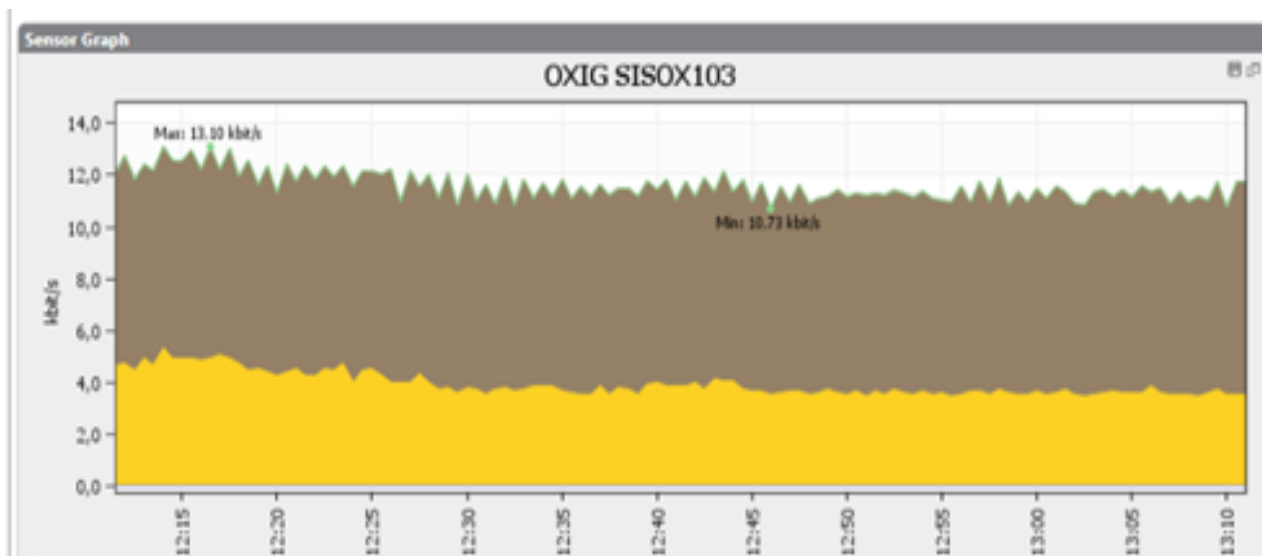


Figura A.III. Comportamiento de tráfico de dos aplicaciones

En la gráfica anterior se presentan 1 hora de tráfico de un enlace de datos donde coexisten dos aplicaciones que ejemplifican las necesidades de transmisión para cada uno de los 49 enlaces satelitales solicitados por el Servicio Sismológico Nacional:

Una primera aplicación (A) transmitirá datos sísmicos, misma que en la gráfica se representa mediante el color café. Nivel de tráfico promedio alrededor de los 8 Kbps.

Una segunda aplicación (B) transmitirá datos GPS y está representada en la gráfica mediante el color amarillo. Nivel de tráfico promedio alrededor de 4 Kbps.

La suma del tráfico promedio generado por las dos aplicaciones es alrededor de 12 Kbps.

Es importante reiterar que el proveedor deberá garantizar la posibilidad de que cualquier estación pueda transmitir datos hasta 32 Kbps por hasta 30 minutos diarios. Estos picos en el volumen de tráfico pueden presentarse después de una interrupción en el suministro de energía eléctrica del equipo de comunicaciones. El pico en el tráfico es causado por la transmisión de datos que se almacenan durante la interrupción en el buffer de los equipos

del SSN. La siguiente figura ilustra cómo puede presentarse esta condición. En este caso el enlace se salió por una interrupción de energía eléctrica alrededor de las 3 AM y regresó a las 8 AM con un pico para después estabilizarse.

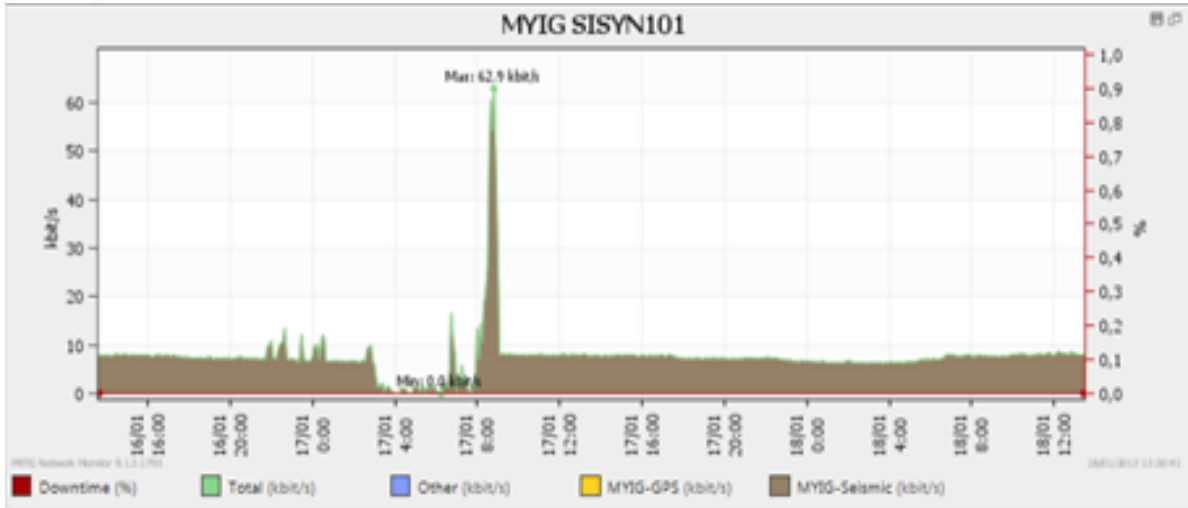


Figura A.IV. Interrupción en la transmisión

En esta figura se observan dos variaciones en el tráfico UDP (en café). La primera alrededor de las 12:23 donde sube hasta 15.73 kbps, y una segunda alrededor de las 13:15 horas. Después de ello el tráfico se vuelve a estabilizar en alrededor de 12 Kbps. El sistema de transmisión de datos debe estar configurado para permitir esta clase de variaciones en cada enlace, al menos durante 30 minutos por día. Es importante señalar que esta clase de variaciones ocurren con poca frecuencia.

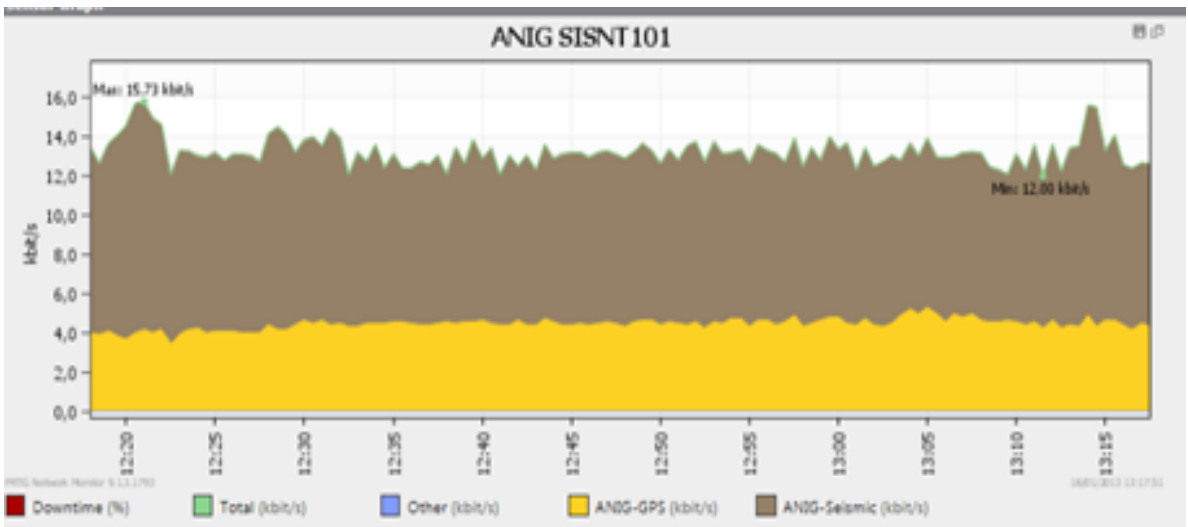


Figura A.V. Variación en el tráfico de las dos aplicaciones

Referencias

- [1] <http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/historia.jsp> (26/06/2013)
- [2] <http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/ICyT/8612/singh.htm> (26/06/2013)
- [3] <http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/Cuaderno1/ch5.html#A> (27/06/2013)
- [4] http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/red_sismologica.jsp (27/06/2013)
- [5] <http://secre.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Cuaderno1/ch4.html> (27/06/2013)
- [6] Carlos Román de la Cruz Dorantes, Detección de anomalías en las redes LAN mediante la implementación de un PCA, Ciudad del Carmen, Campeche, México, 2004.
- [7] Flores Granados David Israel, Análisis de Tráfico Aplicado a la red del CIMAT, Gto. 2002.
- [8] David J. Marchete. Computer Intrusion. Detection and Network Monitoring, A Statistical Viewpoint. Springer Verlag N.Y.2000.
- [9] Rodrigo Constantino Pérez Vega, José María Zamanillo Sáinz de la Maza, Alicia Casanueva López, Sistemas de Telecomunicaciones, Universidad de Cantabria, España 2007.
- [10] Joan Carles Olmedillas, Introducción a los sistemas de navegación por satélite, Barcelona 2012.
- [11] Federal Standard 1037C, Glossary of Telecommunication Terms, Government Institutes, 1997.
- [12] Xavier Muñoz Bellvehí, Ignacio Herreros Margarit, Josep Maria Nolla Puertas. Manual Práctico. Derecho de las Telecomunicaciones. 2da edición, 2006.
- [13] <http://www.netstorming.com.ar/2010/06/06/tipos-de-nat-y-configuracion-en-cisco/> (17/07/2013)
- [14] Lawrence Letham. GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global. Editorial Paidotribo. Barcelona 2001.
- [15] Angela Orebaugh, Wireshark & Ethereal Network Protocol Analyzer Toolkit, Jay Beale's Open Source Security Series,2007, Canadá.