

**ANÁLISIS TEÓRICO DE LA TECNOLOGÍA DE
TELECOMUNICACIONES ACTUALMENTE EMPLEADA POR LA RED
SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA**

PABLO EDUARDO MORENO OJEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

**ANÁLISIS TEÓRICO DE LA TECNOLOGÍA DE
TELECOMUNICACIONES ACTUALMENTE EMPLEADA POR LA RED
SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA**

PABLO EDUARDO MORENO OJEDA
Ingeniero Electrónico

Monografía elaborada
como requisito parcial
para optar al título
Especialista en Telecomunicaciones

Director: OSCAR MAURICIO REYES TORRES
Magíster en Ingeniería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 GENERALIDADES	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	4
1.3 ANTECEDENTES.....	5
2 DESCRIPCIÓN DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA ...	9
2.1 RESEÑA HISTÓRICA	9
2.2 CONFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS.....	11
2.2.1 Estaciones Remotas	12
2.2.2 Estación maestra.....	14
2.3 RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS.....	18
2.4 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES APLICADAS EN SISMOLOGÍA A NIVEL MUNDIAL.....	20
2.4.1 Transmisiones por cable	21
2.4.2 Enlaces de Radio	22
2.4.3 Enlaces Satelitales	28
3 ESTUDIO DE LA INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES ACTUAL DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA	33
3.1 ANÁLISIS CUALITATIVO	33
3.1.1 Topología.....	33
3.1.2 Red VSAT	35
3.2 COMPARACIÓN CON TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES MUNDIALES.....	40
3.3 TECNOLOGÍAS LOCALES DE TELECOMUNICACIONES COMPLEMENTARIAS.....	42
3.3.1 Observatorio Sismológico del Quindío.....	42
3.3.2 Estación Multiparámetro de Galeras.....	42
3.3.3 Estación Sismológica El Rosal	43

3.4	PROCEDIMIENTO PARA LA ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS	44
3.5	POSIBLES PUNTOS DE MEJORA EN LAS TELECOMUNICACIONES AL INTERIOR DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA	47
3.5.1	Topología.....	48
3.5.2	Red VSAT	49
3.5.3	Procedimientos	52
4	CONCLUSIONES	53
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de estaciones de la RSNC.....	11
Figura 2. Topología en Estrella.	12
Figura 3. Composición de las estaciones remotas.....	13
Figura 4. Sismómetro Teledyne Geotech S-13.	14
Figura 5. Sistema de Telecomunicaciones de la RSNC.	15
Figura 6. Composición de la estación maestra.	17
Figura 7. Distribución de la RNAC.	19
Figura 8. Acelerógrafo Kinematics - ETNA.	20
Figura 9. Fotografía de empalme del sistema GEO-TOC.	22
Figura 10. Componentes de una estación REDPR.	24
Figura 11. Red GPRS.....	28
Figura 12. Imagen InSAR mostrando el cambio de altura del suelo.....	30
Figura 13. Anomalías termales días antes de un terremoto.	31
Figura 14. Conexión en estrella para el registro central de los datos.....	34
Figura 15. Componentes de una red satelital VSAT.....	38
Figura 16. Nueva topología de interconexión propuesta.	49
Figura 17. Topología de conexión satelital a Internet.....	50
Figura 18. Cobertura de los satélites INTELSAT de la serie VI y VII.	51
Figura 19. Fotografía de la caseta de una estación remota de la RSNC.....	52

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS TEÓRICO DE LA TECNOLOGÍA DE TELECOMUNICACIONES ACTUALMENTE EMPLEADA POR LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA*

AUTOR: MORENO OJEDA, Pablo Eduardo.**

PALABRAS CLAVE: estaciones sismológicas, telecomunicaciones, topología, red VSAT, sismología.

DESCRIPCIÓN:

En este documento se presenta el estudio realizado acerca de la forma en que se aplican las telecomunicaciones al interior de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), partiendo de la descripción y operación del sistema empleado para la transmisión y recepción de datos y su relación con los demás elementos que componen su infraestructura tecnológica actual.

En la primera parte se hace una reseña histórica de la RSNC, se describe la conformación técnica de las estaciones sismológicas en la actualidad, incluyendo los instrumentos, las aplicaciones empleadas y la topología de interconexión; posteriormente, se mencionan algunas de las tecnologías utilizadas a nivel mundial en el campo de la sismología.

Con base en una comparación cualitativa entre la descripción efectuada y las alternativas locales e internacionales que se utilizan en el campo de la sismología, se muestran los posibles puntos de mejora relacionados con el buen aprovechamiento de la infraestructura de telecomunicaciones de la RSNC.

En la parte final se hace un análisis breve de la relación existente entre el desempeño de los equipos de telecomunicaciones con la tarea de prevención y atención de emergencias, se explica el procedimiento que se sigue actualmente cuando éstas se detectan y por último se presentan las conclusiones respectivas del estudio realizado.

* Monografía.

** Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Especialización en Telecomunicaciones, Director: Ing. Oscar Mauricio Reyes Torres, Magíster en Ingeniería.

SUMMARY

TITLE: THEORETICAL ANALYSIS OF TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY CURRENTLY USED BY THE NATIONAL SEISMOLOGICAL NETWORK OF COLOMBIA *

AUTHOR: MORENO OJEDA, Pablo Eduardo.**

KEY WORDS: Seismological Stations, Telecommunications, Topology, VSAT Network, Seismology.

DESCRIPTION:

This document presents a study made about the form in which telecommunications are applied inside of the national seismological network of Colombia (RSNC), beginning by description and operation of the system used for data transmission and reception and its relation with the other elements that compose their present technological infrastructure.

On the first part it makes an historical review of the RSNC describing the technical conformation of the seismological stations at the moment; including instruments, implemented applications and the interconnection topology; later, some of the technologies used at world-wide level on the seismology field are mentioned.

Based on a qualitative comparison between the carried out description and local and international alternatives used on the seismology field, points of possible improvement related to the good utilization of the telecommunications infrastructure of the RSNC are showed.

On the last part, a brief analysis of the existing relation between the telecommunications equipments performance and prevention and emergencies attention tasks is done, the procedure to follow on emergency cases is explained and finally, the conclusions of this study are mentioned.

* Monograph

** Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering School, Specialization in Telecommunications, Directed by: Msc. Oscar Mauricio Reyes Torres.

INTRODUCCIÓN

La metodología mediante la cual se desarrollo el presente estudio fue la de recopilar información acerca de las opciones de implementación de las telecomunicaciones en el campo de la sismología para posteriormente compararla con los sistemas con los que cuenta la RSNC; por esta razón el documento consta de tres partes que son: descripción, estudio y conclusiones.

En la primera parte se hace la reseña histórica de la RSNC en donde se puede apreciar el proceso evolutivo que ha seguido desde su creación, se describe la conformación técnica de las estaciones sismológicas remotas y la estación central maestra con las que cuenta en la actualidad incluyendo los instrumentos, las aplicaciones empleadas y la topología de interconexión y también se realiza una breve descripción acerca de la RNAC; posteriormente se mencionan algunas de las tecnologías de telecomunicaciones utilizadas a nivel mundial en el campo de la sismología, las cuales incluyen transmisiones por cable, comunicaciones por radio y nuevas aplicaciones de las comunicaciones satelitales.

Posteriormente se analiza cualitativamente la infraestructura de telecomunicaciones actual de la RSNC previamente descrita, mediante la comparación con sistemas y tecnologías de telecomunicaciones locales como el observatorio sismológico del Quindío, la estación multiparámetro de Galeras y la estación sismológica de El Rosal y a nivel mundial se compara tanto con redes sismológicas extranjeras como con las diferentes tecnologías de telecomunicaciones descritas en la primera parte del presente estudio.

Adicionalmente se describe el procedimiento de atención y prevención de emergencias que se sigue al interior de la RSNC en donde se resalta la importancia de las telecomunicaciones con esta labor y adicionalmente se identifican los posibles puntos de

mejora en la implementación y uso de los recursos tecnológicos los cuales fueron divididos en tres grupos que son: topología, red VSAT y procedimientos.

En la parte final se mencionan las conclusiones respectivas del estudio realizado, las cuales se relacionan y se derivan directamente de los resultados del análisis efectuado en el capítulo anterior.

1 GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a su ubicación geográfica, a las características propias de su subsuelo y a factores sociales como el crecimiento poblacional elevado en zonas de inestabilidad geológica, Colombia es un país en riesgo permanente de sufrir catástrofes a causa de su actividad sísmica constante.

Con el transcurso del tiempo se han creado nuevas tecnologías a nivel mundial que buscan prevenir, anticipar, detectar, interpretar y transmitir información acerca de los fenómenos sísmicos; en donde Colombia, motivada principalmente por su historial en la atención de este tipo de emergencias, se ha interesado en desarrollar organizaciones, sistemas de prevención, sistemas de monitoreo y aplicaciones tecnológicas que ayuden a minimizar el impacto negativo que genera la actividad sísmica a nivel socio – económico en el momento de un cataclismo.

Una emergencia producida por fenómenos sísmicos resulta generalmente muy delicada debido a que la gran cantidad de energía liberada en ese momento posee la capacidad para afectar no solamente a las personas sino también a todo tipo de construcciones incluyendo las redes de servicios públicos generando confusión y caos. Con el paso de los años, nuestro país ha presenciado múltiples desastres naturales en diferentes regiones de su territorio; razón por la cual se creó la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) como ente gubernamental encargado de ocuparse de la observación de fenómenos de tipo geológico.

Para prevenir y controlar las situaciones apremiantes presentes en cada emergencia es necesario contar con información precisa en todo momento, así como con un mediador en la coordinación de los diferentes grupos encargados de brindar el soporte necesario para evitar que la magnitud de la tragedia ascienda hasta convertirse en una verdadera catástrofe; por lo cual resulta vital un óptimo funcionamiento de todos los sistemas que componen la base tecnológica de la RSNC.

Debido a la importancia de la RSNC, se hace fundamental desarrollar un análisis de la composición y funcionamiento de la tecnología que se emplea al interior de este organismo. El estudio planteado se centra en valorar el estado actual de su infraestructura técnica ya que ésta soporta su operación y la coordinación de las actividades de atención y prevención de desastres.

Para la RSNC, la mejor forma de optimizar la respuesta ante una emergencia es, en primera medida, sacar el máximo provecho de la tecnología con la que se cuenta así como de su recurso humano pero también se hace necesario soportarse continuamente en los adelantos y en la evolución de las Telecomunicaciones a nivel mundial para mantener sus sistemas actualizados y con el mejor desempeño posible para poder responder de la forma más eficiente en el momento que se requiera.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El estudio realizado durante el presente trabajo resulta de gran utilidad puesto que ayuda a tener una medida cualitativa del estado actual de las telecomunicaciones al interior de la RSNC y porque puede ser usado como instrumento para la revisión de sus necesidades a cubrir en el campo tecnológico.

El aporte que este documento realiza dentro de la formación profesional está concentrado básicamente en la interdisciplinariedad, ya que como *Especialista en Telecomunicaciones*

es posible utilizar criterios claros para describir y analizar una aplicación práctica de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones por medio de la formulación de soluciones tecnológicas adecuadas así como de la planeación, el desarrollo y la evaluación de las mismas.

Adicionalmente, este estudio ofrece la posibilidad de agregar, de manera teórica inicialmente, experiencia profesional en el campo de asesoría a equipos de trabajo multidisciplinarios en la adquisición de la tecnología necesaria para la mejora de infraestructuras de telecomunicaciones existentes; debido a que armoniza características de la monografía bibliográfica, descriptiva y analítica.

A nivel social se busca principalmente y de forma indirecta minimizar los daños que los eventos sísmicos futuros puedan provocar tanto en personas como en bienes y servicios cuando éstos sobrepasan la capacidad de respuesta de la comunidad afectada. También se pretende mostrar de forma implícita la importancia de mantener un equilibrio adecuado en la relación entre personas, tecnología y medio ambiente.

1.3 ANTECEDENTES

En el campo internacional se vienen desarrollando constantemente equipos para el monitoreo de actividades sismológicas que cuentan con niveles de sensibilidad para la detección, con capacidad y con exactitud cada vez mayores ante cualquier evento.

Más recientemente, aunque se han hecho estudios que buscan predecir terremotos por medio de todas las ayudas tecnológicas que se dispongan, se debe resaltar que no es suficiente contar con una detección adecuada sino que también es crítico soportarse en una infraestructura de telecomunicaciones capaz de transmitir rápidamente los datos para posteriormente interpretarlos, hacer las comparaciones necesarias, almacenarlos y enviar avisos oportunos hacia el lugar o los lugares en donde se requiera, máxime en el caso de

una emergencia en donde es determinante enviar señales y mensajes de alerta lo más pronto posible.

Dentro de los documentos que han sido referente de consulta importante para la RSNC, se encuentra el libro *Instrumentation in Earthquake Seismology*, escrito por Jens Havskov de la universidad de Bergen en Noruega y Gerardo Alguacil del Instituto Andaluz de Geofísica; el cual contiene un estudio de los instrumentos y herramientas que se emplean en sismología, abarcando conceptos relacionados con: sensores, ruido sísmico, conversores análogo a digital, elementos de almacenamiento, correcciones a la respuesta de los instrumentos, criterios para el diseño de estaciones, redes y arreglos sísmicos y métodos de calibración y prueba de los sensores.

A nivel nacional, y como producto de la unión de diferentes entidades de orden público y privado, se han diseñado documentos como es el caso de la *Estrategia de Fortalecimiento de la Ciencia, la Tecnología y la Educación para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres*, el cual contiene iniciativas regionales y nacionales alrededor de temas como la educación e investigación en reducción de riesgos y atención de desastres, describe las componentes investigativas, educativas y de apropiación y diseminación del conocimiento y a su vez propone la metodología de seguimiento y evaluación de dicha estrategia.

Debido a que la RSNC surgió de la necesidad de contar con una entidad como medio moderno y confiable para suministrar información precisa relacionada con la sismicidad en nuestro país, al interior de Ingeominas se han desarrollado proyectos como *Operación del Sistema Nacional para el Monitoreo e Investigación de la Actividad Sísmica y Volcánica*, el cual incluye formas de actualización e innovación de la red y el *Plan de Contingencia para el manejo de crisis ante un evento sísmico registrado por la Red Sismológica Nacional de Colombia*, que describe el procedimiento a seguir en caso de emergencias; sin embargo, la mayoría de los documentos que consignan los estudios realizados a nivel tecnológico se centran en nuevos instrumentos para investigación y monitoreo de la actividad sísmica, actualización de las herramientas de software para la detección de

eventos y la actualización de la presentación del portal de Internet, sin hacer mucho énfasis en las Telecomunicaciones.

Dentro de los trabajos anteriores que se relacionan con el estudio realizado en esta monografía, sobresale un compendio llevado a cabo en el año 2002, que como se lee a continuación, reunió a diferentes organizaciones educativas, científicas y gubernamentales para socializar los diferentes trabajos y avances de cada uno de ellos en el área de la sismología en nuestro país.

“El Grupo de Geofísica (Maestría de Geofísica, Departamento de Geociencias) de la Universidad Nacional de Colombia en colaboración con el Observatorio Sismológico del Quindío y el INGEOMINAS abrieron sus puertas para realizar el Simposio Colombiano de Sismología en cuya primera edición se buscó recoger las experiencias y desarrollos científicos y tecnológicos acumulados en Colombia durante los últimos 20 años como punto de partida para agremiar a los científicos que trabajan en esta área y definir frentes comunes de trabajo en el futuro, así como optimizar esfuerzos para el avance de la sismología local con proyección internacional.”¹

Las memorias del simposio mencionado están consignadas en 57 artículos clasificados en 8 áreas de acuerdo con su contenido, que son: amenaza, educación, instrumentación, métodos, microzonificación, sismología e industria petrolera, sismología volcánica y sismotectónica.

En tan solo 3 de los 57 artículos, todos pertenecientes al área de instrumentación, se hace una breve mención de la forma como se aplican las comunicaciones en las diferentes estaciones sismológicas y vulcanológicas, por lo que se constituyen en referentes para el

¹ PRIMER SIMPOSIO COLOMBIANO DE SISMOLOGIA. Avances de la Sismología Colombiana en los últimos 20 años.

<http://fing.javeriana.edu.co/geofisico/simposio2002/Principal.htm>

desarrollo del presente estudio; el cual difiere de los documentos previos en su enfoque descriptivo y comparativo centrado principalmente en la aplicación de las Telecomunicaciones al interior de la RSNC.

2 DESCRIPCIÓN DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA

2.1 RESEÑA HISTÓRICA

El Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), debido a su responsabilidad nacional en el estudio y prevención de riesgos causados por fenómenos sísmicos, inició desde 1987 el proyecto de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC).

La RSNC surgió de la necesidad de contar con una herramienta de prevención confiable para poder suministrar información precisa acerca de la sismicidad en nuestro país y los desastres asociados al terremoto de Popayán en 1982 y a la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985 fueron los principales motivadores.

Dentro de la evolución histórica de la RSNC se pueden mencionar algunos hechos sobresalientes que se relacionan a continuación:

- 1987: Se inician las actividades preliminares del Proyecto Red Sismológica Nacional; selección de sitios para las estaciones remotas, formatos de transmisión de datos y forma de procesamiento, tipo de sistema a utilizarse en la instrumentación, sistemas de análisis de datos y sistema para el almacenamiento de la información.
- 1988: Se inicia la capacitación del personal Colombiano en Canadá.
- 1989: Se establece la vinculación de TELECOM para posibilitar enlaces vía satélite.
- 1990: Se inician las obras civiles de infraestructura para la recepción de datos y análisis en Bogotá.

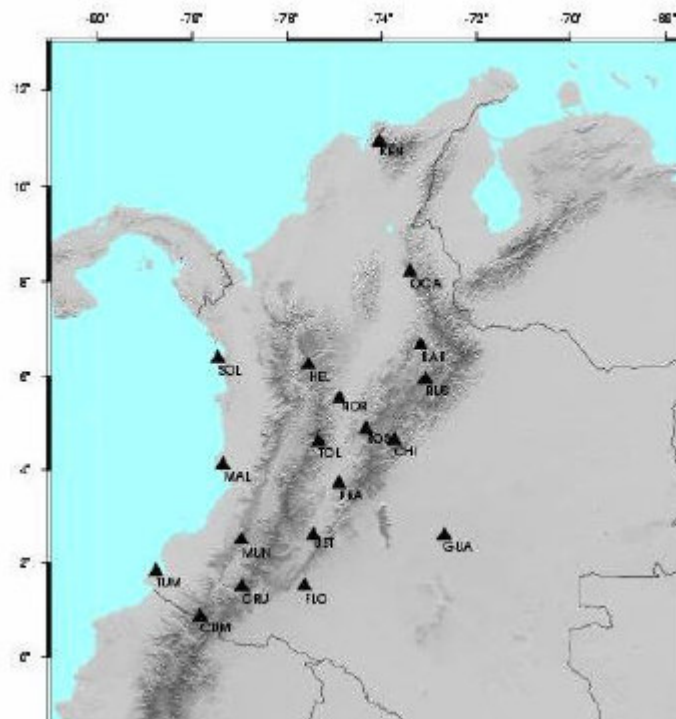
- 1991: Se inician las obras civiles de las estaciones remotas y se instala el sistema de recepción de datos satelital en la sede de INGEOMINAS en Bogotá, así como los sistemas de adquisición y procesamiento provisional.
- 1992: Se inicia el proceso de instalación del equipo.
- 1993: En diciembre de este año ya se encuentran instaladas 13 de las catorce estaciones previstas, donadas por el Gobierno Canadiense a través de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI) y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), TELECOM e INGEOMINAS.
- 1994: El 22 de abril se inaugura oficialmente la RSNC con 15 estaciones en funcionamiento.
- 1995: El Gobierno Central aportó US\$1.000.000, para ampliar la cobertura de la Red con 5 estaciones sismológicas más, que entrarían en funcionamiento en 1997.
- 1997: Se inicia el funcionamiento de las 5 estaciones sismológicas y 50 acelerógrafos ubicados en las fronteras marítimas y los Llanos Orientales, localizadas en Ocaña, San José de Guaviare, Tumaco, Cerro Kennedy y Capurganá. En este mismo año, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), donó a la RSNC un Sistema Automático de Localización de Sismos. De igual manera en este año empezó a funcionar la estación ALPHA en el sitio ubicado en El ROSAL (Cundinamarca), perteneciente al Tratado de Prohibición Completa de Armas Nucleares (CTBTO).
- 1998: La estación El Rosal pasó a formar parte del Sistema de Monitoreo Internacional (IMS) del CTBTO, cuyo objetivo principal es ayudar en el monitoreo y detección de explosiones nucleares.
- 2001: Se actualiza la estación ALPHA para conectarse vía satélite a Viena sede del CTBTO.[9]

La evolución e importancia de la RSNC se puede observar en las estadísticas y documentación manejadas por INGEOMINAS en donde se menciona que durante el período de funcionamiento se han registrado más de 47.360 eventos, los cuales son clasificados según las características de magnitud y profundidad que estos presenten.

2.2 CONFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS

La RSNC cuenta con 19 estaciones remotas distribuidas en el territorio colombiano, una estación de Banda Ancha de tres componentes, ubicada en El Rosal (Cundinamarca), la cual pertenece al Sistema Internacional de Monitoreo Sismológico del Tratado de Prohibición Completa de Armas Nucleares (CTBTO) y un centro de adquisición de datos localizada en Bogotá.[5]

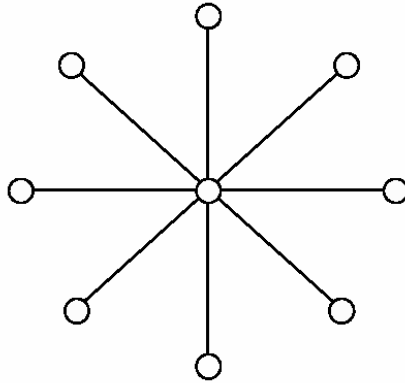
Figura 1. Distribución de estaciones de la RSNC



Fuente:[5]

Para poder revisar la composición instrumental de la RSNC es necesario conocer primero la estructura interna de su diseño, el cual está compuesto por 2 partes principales que son: las estaciones remotas y la estación maestra, cuya topología de interconexión es en forma de estrella; es decir, cada una de las estaciones remotas se enlaza de forma directa y exclusiva con el sistema de recepción de datos ubicado en la estación maestra.

Figura 2. Topología en Estrella.



Fuente: Autor

2.2.1 Estaciones Remotas

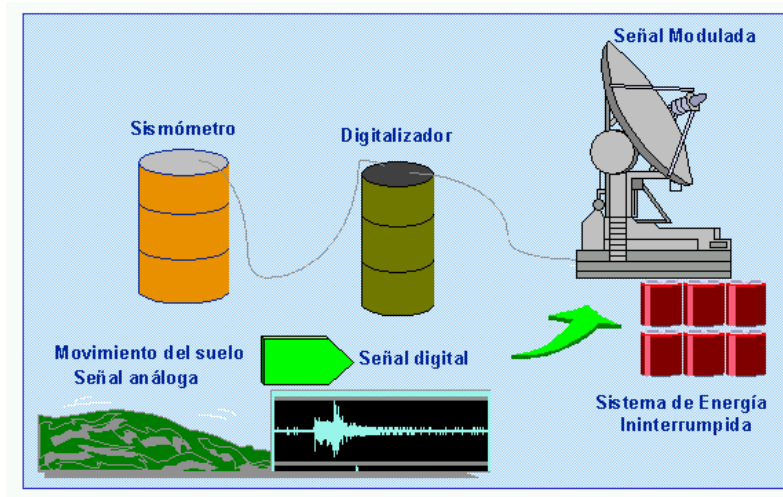
El objetivo principal de estas estaciones es el de registrar y transmitir los diferentes datos sismológicos. Las estaciones remotas se componen de un sistema de detección de movimiento del suelo conformado por sismómetros y a su vez, cuenta con un sistema de comunicaciones que transmite la información hacia la estación maestra por medio de enlaces satelitales.

Cada una de las estaciones remotas se encuentra conformada por los siguientes sistemas:

a) Sistemas de Energía

La alimentación de energía se realiza mediante un banco de 12 celdas de batería, el cual es alimentado constantemente por un cargador de baterías P4000 con corriente AC comercial; este banco tiene aproximadamente 24,2 Volts DC. En el momento de un corte de energía eléctrica en la estación entrará en operación el banco de baterías, cuya autonomía en condiciones óptimas es de 48 a 72 horas. El consumo de energía de una estación remota es de 5 a 7 Amperes por hora, lo que da aproximadamente 150 Watts.

Figura 3. Composición de las estaciones remotas.



Fuente:[9]

b) Sistema Remoto de Adquisición de Información Sísmológica

Es el conjunto de equipos y accesorios que se encargan de capturar, amplificar, digitalizar y empaquetar, en un formato de transmisión de datos, la señal sísmica que llega al lugar donde se encuentra localizada la estación remota.

El sistema remoto de adquisición está equipado principalmente por un sismómetro y un digitalizador, que son:

- Sismómetro Teledyne Geotech S -13. Es el dispositivo que registra de manera inmediata los movimientos del suelo, convirtiendo las vibraciones percibidas en una señal eléctrica.
- Digitalizador. El Digitalizador RD3 es el dispositivo encargado de convertir a formato digital estándar la información análoga, adquirida por el sismómetro en la estación remota, una vez esta información se ha convertido a formato digital es transmitida al sistema de comunicaciones para luego ser enviada al centro de control de la estación maestra.

Figura 4. Sismómetro Teledyne Geotech S-13.



Fuente: http://www.seismo.nrcan.gc.ca/cnsn/seis-net_e.php

c) Sistema de Comunicaciones

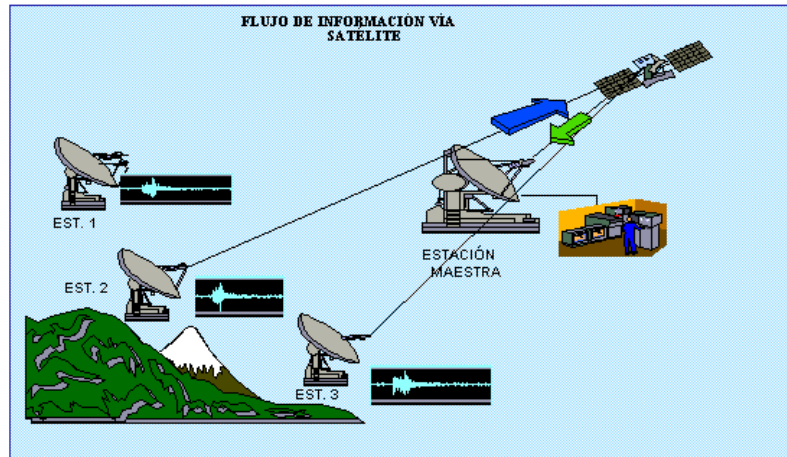
La información adquirida por los sismómetros, es transmitida mediante un sistema de comunicaciones satelitales usando terminales de apertura muy reducida (VSAT). Esta red satelital opera en banda C² utilizando el satélite INTELSAT VI como repetidor, el cual amplifica las señales y las retransmite hacia la estación maestra.[9]

2.2.2 Estación maestra

Su función principal es la de recibir y procesar la información proveniente de las diferentes estaciones remotas. La estación maestra cuenta con un sistema de adquisición de datos conformado por dos computadores que reciben simultáneamente (en paralelo) la información en tiempo real.

² Banda de frecuencias comprendida entre 3,7 y 6,4 GHz.

Figura 5. Sistema de Telecomunicaciones de la RSNC.



Fuente:[9]

Los equipos empleados para la recepción y el procesamiento de la información están conectados a una señal de tiempo satelital y adicionalmente deben almacenar los datos en su disco duro y en disco compacto.

Después de la recepción de los datos, se realiza el procesamiento y análisis de las señales sísmológicas mediante el programa SEISAN³, que permite localizar y estimar la magnitud de los eventos ocurridos registrados; posteriormente se alimenta una base de datos con los resultados del análisis para producir boletines periódicamente y desarrollar estudios de sismicidad en el país.[14]

El tratamiento que se le da a los datos dentro de la estación maestra está conformado por las siguientes etapas:

a) Recepción y Almacenamiento

En la estación remota, se reciben las frecuencias portadoras de todas las estaciones remotas mediante una gran antena parabólica. Los datos recibidos en la estación

³ The Earthquake Analysis Software (Havskov y Ottemöller, 2000), desarrollado por la Universidad de Bergen (Noruega).

maestra procedentes del satélite a través de la portadora, son amplificados, convertidos a frecuencias menores y, finalmente son extraídos los datos de las frecuencias portadoras.

Este proceso de demodulación, ocurre de manera individual para cada segmento de datos, único para cada estación. Una vez se tienen los datos en su banda base de frecuencia, o en su forma original, son enrutados hacia los sistemas de adquisición de datos, en donde es reconocida la información codificada en el segmento de datos correspondiente a cada estación remota y además es adicionado el tiempo a la señal, por medio de las tarjetas multiseriales PCI de 8 canales, marca *National Instruments* CP-8, las cuales funcionan por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS), empleando el protocolo NMEA 8.3 conectado al puerto serial de un computador y cuya referencia de fabricación es *Garmin* HVS 35. Esta información primaria es almacenada y enviada al sistema de análisis de datos para su análisis sísmológico, utilizando el software SEISAN.[18]

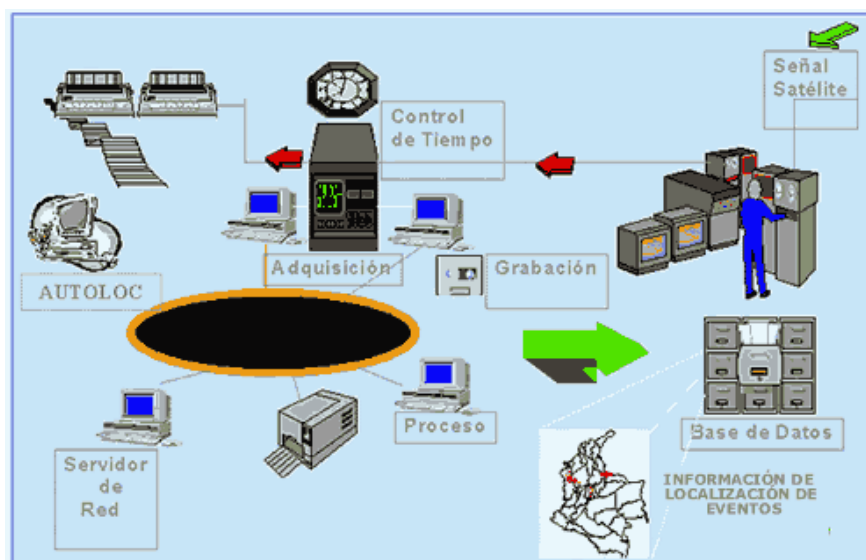
b) Análisis de la Información

Este proceso se realiza mediante los siguientes pasos:

- Extracción de los eventos diarios. Durante la jornada diaria, que comienza a las 00:00 horas según la referencia dada por la hora universal coordinada (UTC) o 7:00 PM hora local (UTC- 5:00), hasta las 00:00 UTC del día siguiente, toda la señal sísmica es almacenada, y procesada en tiempo real en los sistemas de adquisición de datos con el fin de determinar aumentos en las amplitudes de las señales y así determinar si en una estación se registró un evento y si este disparo coincide dentro de una ventana de tiempo determinada con los disparos de otras estaciones, para así determinar si hay un evento sísmico o no.

El tiempo de origen de los eventos declarados es almacenado en un archivo de los sistemas de adquisición de datos; posteriormente, al terminar la jornada, se extraen y envían las señales sísmicas correspondientes a los eventos declarados durante el día a los sistemas de análisis de datos.

Figura 6. Composición de la estación maestra.



Fuente:[9]

- Selección de Eventos y Localización. Después de extraer las señales, se procede a verificar si son eventos o no. Los eventos se registran en la base de datos básica, para luego ser analizados y localizados. El análisis se hace por medio de un compendio de programas para análisis sísmológico llamado SEISAN, el cual es un sistema simple para el proceso de todo tipo de señales sísmicas, ya sean digitales, análogas, de banda ancha, telesísmicas o locales; este sistema contiene como base principal el programa HYPOCENTER⁴, que a su vez contiene los algoritmos necesarios para efectuar la localización de los eventos sísmicos. Finalmente las

⁴Programa diseñado en Fortran para la localización de eventos locales, regionales y distantes.

localizaciones y las formas de onda son almacenadas en la base de datos de la RSNC, para su posterior utilización y publicación. [9]

2.3 RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS

La Red Nacional de Acelerógrafos (RNAC) es otra red que pertenece a INGEOMINAS y que complementa la tecnología empleada por en la RSNC; esta permite mejorar las localizaciones de los eventos sísmicos y adicionalmente ofrece la posibilidad de contar con una red portátil.

El propósito fundamental de la RNAC, es obtener registros de los sismos intensos que ocurren en el país, y llevar a cabo su procesamiento para ofrecer esta información básicamente a futuros estudios de amenaza sísmica, leyes de atenuación, microzonificación, etc. La red está compuesta por 120 acelerógrafos digitales con los cuales se ha podido generar una gran base de datos de registros sísmicos.

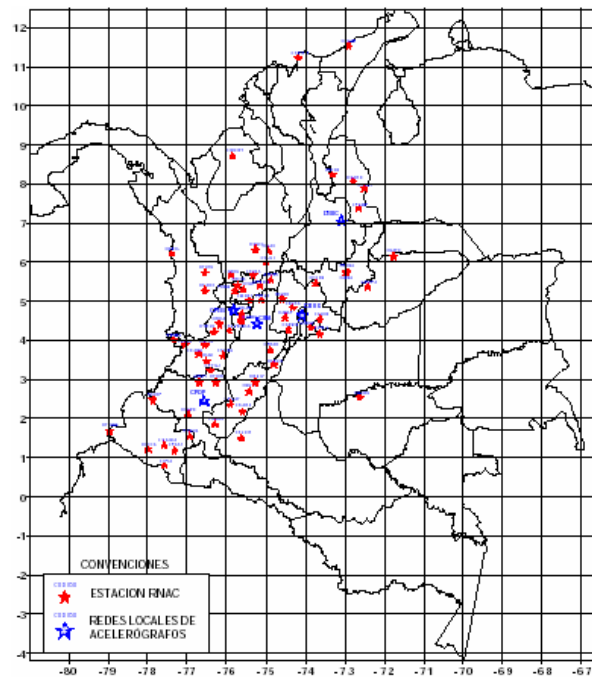
En la actualidad existen varias redes de acelerógrafos locales en ciudades como Bogotá, Cali y Manizales, empleadas en la generación de registros para la calibración del estudio de microzonificación sísmica que se viene adelantando en diferentes regiones. [2]

Los sismógrafos, debido a su alta sensibilidad, generalmente no son aptos para registrar la sacudida violenta del terreno en el área epicentral. Para este fin se diseñaron los instrumentos de movimiento fuerte o acelerógrafos, capaces de registrar aceleraciones superiores a 1,0 gravedades.

Los acelerógrafos son instrumentos portátiles y compactos, a prueba de intemperismo, de construcción robusta para permitir su transporte en vehículo sobre terreno escabroso. Son fáciles de instalar y calibrar, no requieren mantenimiento frecuente y son operados por baterías recargables. Los acelerógrafos son capaces de registrar tres componentes de

movimiento que son dos componentes horizontales ortogonales entre sí y una componente vertical.

Figura 7. Distribución de la RNAC.



Fuente:[2]

Los acelerógrafos operan según el mismo principio de los sismógrafos y la mayoría contienen péndulos mecánicos que responden al movimiento del terreno. Las primeras generaciones de acelerógrafos son instrumentos analógicos con dispositivos ópticos que convierten la señal para registrar las vibraciones sobre película o papel fotográfico en forma analógica mediante un trazo que representa la aceleración en función del tiempo. Los instrumentos de diseño más reciente, llamados digitales, operan sobre el mismo principio, en donde la diferencia es que el sensor produce un voltaje proporcional a la aceleración y mediante un convertidor electrónico analógico - digital convierte la señal eléctrica y la registra en forma digital directamente en cinta magnética para su posterior procesamiento.

Los acelerógrafos de la RNAC, son marca KINEMATRICS, modelos SSA-1, SSA-2, SSA-2MC, ETNA y K2, de 12, 18 y 19 bits de resolución. A excepción de los SSA-1 y SSA-2 los acelerógrafos disponen de almacenamiento en tarjetas de memoria PCMCIA de 1 a 40 MB.

Figura 8. Acelerógrafo Kinemetrics – ETNA.



Fuente: http://www.kinemetrics.com/product_Content.asp?newsid=101

2.4 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES APLICADAS EN SISMOLOGÍA A NIVEL MUNDIAL

La aplicación de las Telecomunicaciones en el campo de la sismología ha tenido un desarrollo evolutivo importante, que ha crecido proporcionalmente con el diseño de las nuevas tecnologías para transmitir y recibir información, hasta el punto de convertirse en un factor determinante.

En sismología, como en la mayor parte de las actividades y estudios realizadas por el hombre, es necesario contar con herramientas que permitan establecer una comunicación óptima entre varios puntos, en donde se destacan las transmisiones por cable, los enlaces de radio y los enlaces satelitales.

2.4.1 Transmisiones por cable

Dentro de las aplicaciones novedosas para el desarrollo de estudios sísmicos que implementan transmisiones por cable, podemos encontrar el cable transpacífico – 1 (TPC-1), un antiguo cable de telecomunicaciones submarinas retirado y que en la actualidad se extiende 2659 km entre Guam⁵ y Ninomiya (Japón), fue construido en 1964 por *AT&T*, *KDD*, y otras compañías internacionales como parte del primer sistema de comunicaciones submarinas por cable entre Japón y los Estados Unidos, y en la actualidad es conocido como el Cable Transoceánico Geofísico y Oceanográfico (GEO-TOC).

Para estudiar la estructura terrestre y sus zonas de fallas tectónicas, los datos sismológicos de la región oceánica son muy importantes; sin embargo la distribución de sismógrafos en esta zona provee un cubrimiento muy bajo. Para poder mejorar este pobre cubrimiento fue instalado este cable en Enero de 1997 y está ubicado aproximadamente a 400 km al sur de Tokio.

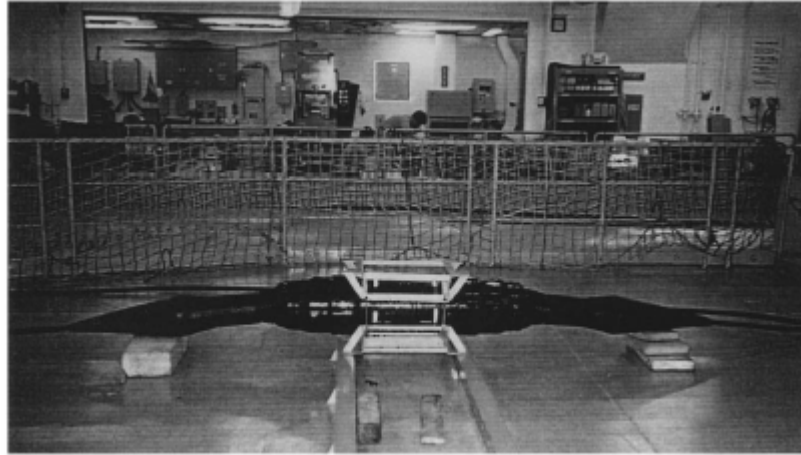
La forma de instalación es similar a la manera en que se realizan las reparaciones de los cables submarinos.

Este cable está equipado con acelerómetros triaxiales, un termómetro de cuarzo, un sensor de presión de cuarzo, un hidromicrófono y sensores adicionales de temperatura que monitorea el calentamiento de los circuitos.

Después de ser instalado el voltaje alcanza los 90 V manteniendo una corriente constante de 370 mA; la mayor parte de los datos, a excepción de los del hidromicrófono, son digitalizados con conversores análogo digital de 24 bits y enviados a Ninomiya mediante técnicas de multiplexación en frecuencia (FDM) con una tasa de 9600 bps por cada componente.

⁵ Isla de Oceanía ubicada al norte del Océano Pacífico.

Figura 9. Fotografía de empalme del sistema GEO-TOC.



Fuente:[11]

Los datos del hidromicrófono son enviados a la costa por medio de transmisión de amplitud modulada (AM). El hidromicrófono está diseñado para ser controlado desde la costa mediante computadores ubicados en Ninomiya, en donde finalmente se digitalizan sus datos para transmitirlos a Tokio, en donde serán comparados con información sísmica previa.[11]

2.4.2 Enlaces de Radio

Los principales tipos de técnicas de enlaces de radio empleados para la transmisión de información relacionada con actividades y eventos sísmicos son:

a) Paquetes por radio

Los sistemas actuales inalámbricos, tales como el sistema de telefonía celular, están soportados por estaciones bases fijas enlazadas por la red cableada. En algunos casos, tal como en la coordinación de ayuda en situaciones de emergencia, la red de telecomunicaciones no está disponible o se encuentra averiada, y este tipo de arquitectura no funciona. Aun más, se puede enfrentar el reto de proveer comunicaciones en áreas rurales o en áreas donde no existe infraestructura de telecomunicaciones.

Una alternativa atractiva para comunicación de datos en áreas sin infraestructura de telecomunicaciones es el uso de la tecnología de paquetes por radio. Esta tecnología surge como una aplicación de las técnicas de conmutación de paquetes en canales de radio, en los inicios de los años setentas.

Las redes de Paquetes por Radio pretenden soportar comunicaciones entre usuarios sobre una amplia área geográfica donde el uso de líneas telefónicas es difícil o no es posible. En una Red de Paquetes por Radio (REDPR) los mensajes son divididos en paquetes y éstos son enviados desde una estación a otra. Estas redes usualmente transportan paquetes entre estaciones equipadas con radio transductores y antenas omnidireccionales.

En muchas REDPR, no todas las estaciones pueden comunicarse directamente debido a la interferencia, limitaciones de radio alcance, o a obstáculos naturales. En esta situación, un paquete transferido entre dos estaciones distantes debe ser retransmitido por estaciones intermedias o nodos. Así, en una red de múltiple saltos, un paquete puede viajar largas distancias por medio de mecanismos de almacenamiento y envío: un nodo transmite a otro nodo, el cual a su vez retransmite el paquete. Este procedimiento es repetido hasta que el paquete alcanza su destino final. En cada fase de retransmisión, el nodo que en ese momento almacena el paquete hace uso de algoritmos de enrutamiento para determinar el próximo nodo en la cadena de transmisión.

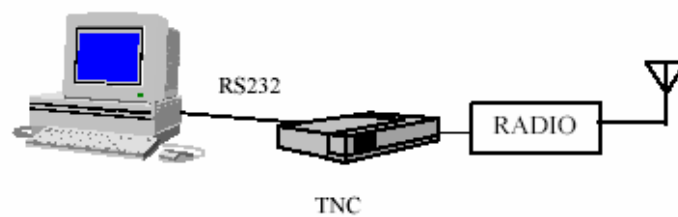
Además, de tomar decisiones acerca de cual trayectoria un mensaje debe viajar, cada estación debe escoger cuando transmitirlo al vecino seleccionado por el algoritmo de enrutamiento empleado. Debido a que transmisiones en los diferentes enlaces de la red podrían interferir con otros, los procedimientos de enrutamiento y los protocolos de acceso múltiple están fuertemente interconectados. El objetivo principal de los esquemas de enrutamiento y de acceso múltiple es esencialmente minimizar el tiempo que toma un paquete en viajar a su destino final desde su nodo origen.

La REDPR de múltiples saltos (*multihop*) es una red de acceso múltiple en las cuáles no todos los nodos pueden oír las transmisiones de los otros nodos. Esta propiedad es característica de la radio comunicación en línea de vista en las banda de muy alta frecuencia (VHF) y de ultra alta frecuencia (UHF) así como de la comunicación en onda corta HF donde no se necesita línea de vista.

El interés principal en estas redes está en el efecto de conectividad parcial de los nodos en las técnicas de acceso múltiple, como el protocolo TDMA⁶ - espacial para esquemas de múltiples saltos en donde el término espacial se refiere a la capacidad de reutilizar la misma frecuencia al mismo tiempo haciendo uso de la separación física de las estaciones; es decir, varios nodos pueden tener licencia para transmitir simultáneamente siempre que no interfieran con los otros. El tratamiento es distinto al de protocolos como ALOHA⁷ y CSMA⁸, implementados anteriormente en este tipo de aplicaciones, en el sentido en que las transmisiones de los nodos son determinísticas.

Una estación de REDPR se puede dividir en tres partes: el equipo terminal, el controlador del nodo terminal (TNC) y el radio.

Figura 10. Componentes de una estación REDPR.



Fuente:[21]

⁶ Time Division Multiple Access – Acceso múltiple por división de tiempo.

⁷ Implementado por la Universidad de Hawaii, 1970.

⁸ Carrier Sense Multiple Access – Acceso múltiple por detección de portadora.

- El equipo terminal

Son terminales dedicados o computadores que emulan un terminal con una interfase serie RS-232.

- El TNC

Este dispositivo tiene por tarea empaquetar los datos provenientes del terminal, pasarlos por un modem interno para que estos puedan ser enviados mediante un canal de radio analógico. En el otro extremo el dispositivo se encarga de demodular los datos provenientes del radio y luego de desempaquetarlos para ser enviados a su terminal para poder ser almacenados.

El TNC además de realizar la función de un modem, también realiza otras como controlar el interruptor (PTT) del radio, empaquetar y desempaquetar los datos añadiéndoles la dirección requerida para su transmisión, información de control y chequeo de errores.

- El radio

La función del radio es la de transmitir y recibir información mediante una antena.

Para la comunicación con tecnología de Paquetes por Radio se puede utilizar prácticamente cualquier transductor empleado para transmitir voz, desde un *walkie-talkie* hasta un radio militar, si el radio es analógico se puede llegar a tener una velocidad de transmisión de 9600 baudios (banda VHF), pero si contamos con un radio digital, podríamos aumentar esta velocidad debido a que un radio analógico necesita una cierta cantidad de tiempo para que pueda estar listo para transmitir o recibir después que el *switch* de transmisión-recepción es activado.

Un TNC puede pasar del modo transmisor al receptor muy rápidamente, tanto que siempre tiene que esperar al radio antes de poder continuar la comunicación, esto hace que la transmisión de paquetes se haga más lenta. En cambio en los radios digitales este cambio se hace mas rápido permitiendo una mayor velocidad de transmisión.

Adicionalmente, la REDPR puede implementar TCP/IP, lo que virtualmente les permite ser parte de redes para acceso a INTERNET. Lo cual ha sido muy conveniente para aplicaciones como estudios de sismología en sitios remotos o sin infraestructura de telecomunicaciones.[21]

b) Espectro Ensanchado

Utiliza señales de banda ancha que se asemejan al ruido. Su objetivo es transmitir señales que se ensanchan intencionalmente para que la información transportada se parezca más a una señal de ruido. El espectro ensanchado utiliza códigos muy veloces que revisan constantemente la información acerca del ancho de banda o la velocidad de transmisión de los datos. Los códigos de ensanchamiento especiales son llamados códigos pseudo-aleatorios o códigos de pseudo-ruido debido a que realmente no son ruido Gaussiano.

Los transmisores de espectro ensanchado utilizan un nivel de potencia de transmisión similar a los que utilizan los transmisores de banda angosta. Debido a que las señales de espectro ensanchado son muy grandes, transmiten en una densidad espectral de potencia mas baja que se mide en Watts por Hertz; esta característica ofrece un valor muy importante ya que tanto las señales de espectro angosto como las de espectro ensanchado pueden ocupar la misma banda con muy poca interferencia; convirtiéndose en la principal razón de interés en esta tecnología.

La mayoría de los sistemas comerciales de espectro ensanchando transmiten una señal de radiofrecuencia de unas 20 a 254 veces más grande que el ancho de banda de la información que está siendo enviada y algunos han empleado señales 1000 veces más grande.

El común de los sistemas de espectro ensanchado son del tipo secuencia directa o salto de frecuencia y algunos son la combinación de estas dos formas.

- **Sistemas de secuencia directa**

Se llaman así debido a que emplean códigos de secuencia de alta velocidad para modular su portadora de radio frecuencia y de esta forma configuran directamente el ancho de banda transmitido.

- **Sistemas de salto de frecuencia**

El ancho de banda deseado del espectro de frecuencia se genera de manera diferente que en los sistemas de secuencia directa; aquí, simplemente salta de una frecuencia a otra de ancho de banda necesariamente superior para poder cumplir con el objetivo de los sistemas de espectro ensanchado mencionado anteriormente. El orden específico en que cada frecuencia es ocupada es función de un código de secuencia y la velocidad del salto entre frecuencias es una función de la velocidad de la información.[8]

c) Telefonía Celular

En muchas partes del mundo, esta es la forma más simple de configurar la comunicación de una red sismológica y aunque el costo de operación es bastante elevado para una comunicación continua, puede ser una opción viable en transmisiones breves hacia una estación; por ejemplo, los costos de instalación son mucho más económicos que los de cualquier enlace de radio común. Así como teóricamente puede emplearse cualquier equipo terminal, existen algunos dispositivos con características especiales como mayor potencia de transmisión y antenas de conexión externas. Inicialmente las velocidades de transmisión estaban en los 9600 baudios en tecnologías de sistema global para comunicaciones móviles (GSM) y posteriormente mejoraron entre 3 y 6 veces con la evolución al servicio general de paquetes de radio (GPRS), que se basa, al igual que el protocolo IP, en paquetes; de hecho, parte de su funcionamiento consiste en asignar una dirección IP a cada terminal y los costos dependen de la cantidad de datos transferidos y no del tiempo de conexión.

comunicaciones favorece la instalación de sistemas multisensor y la transmisión simultánea a diferentes centros de adquisición de datos.

En una comparación con el servicio meteorológico, el cual se basa en las imágenes satelitales tanto para describir el comportamiento del clima como para predecirlo, sería interesante y deseable que las observaciones satelitales permitieran también la predicción de los movimientos telúricos alrededor de todo el planeta, solamente teniendo en cuenta todas las vidas que podrían salvarse y las medidas preventivas que podrían tomarse antes del movimiento sísmico.

a) Sistemas de posicionamiento global

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), originalmente llamado *NAVSTAR*, es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto o lugar determinado, con una desviación aproximada de cuatro metros. Estos sistemas fueron desarrollados e instalados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el dispositivo que se utiliza para ello localiza automáticamente diferentes satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, se sincroniza el reloj del dispositivo GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia hasta el satélite y por triangulación calcula la posición en que éste se encuentra.

La triangulación consiste en averiguar el ángulo de cada señal con respecto al punto de medición; una vez se conocen estos ángulos se determina fácilmente la posición relativa con respecto a los satélites de referencia.

Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta con las coordenadas reales del punto de medición.

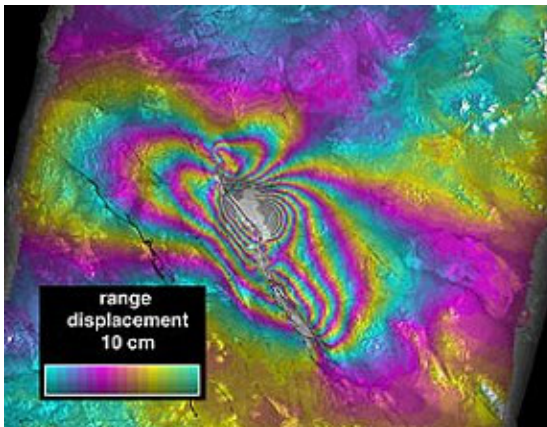
También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que desde tierra sincronizan a los satélites.

b) Radares de apertura interferométrica sintética

Una alternativa que ya se está probando en la actualidad es la de emplear radares de apertura interferométrica Sintética (InSAR). El procedimiento llevado a cabo por este radar es tomar dos imágenes de un área tectónica que son combinadas en un procedimiento que se llama fusión de datos; de esta forma se pueden detectar cambios que hayan ocurrido en la superficie en cortos periodos de tiempo.

Esta técnica puede detectar movimientos tan pequeños en el terreno como de hasta 1mm en un año, haciendo que se puedan observar y monitorear los cambios y movimientos alrededor de las fallas y determinar donde se están formando puntos de alta tensión y así pronosticar la posibilidad de movimientos telúricos que se puedan avecinar.

Figura 12. Imagen InSAR mostrando el cambio de altura del suelo.



Fuente:[13]

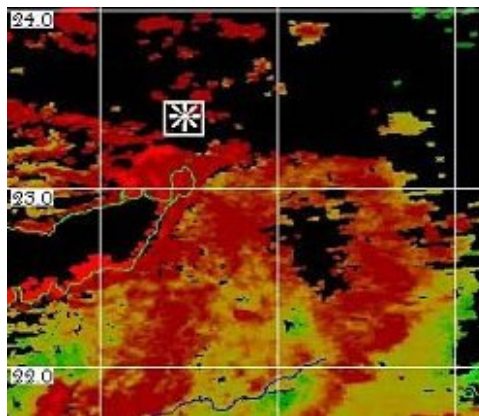
La intencionalidad de este método es que los expertos ganen práctica en el estudio e interpretación de estas imágenes con el fin de hacer pronósticos con mayor precisión que la que ofrecen los métodos geológicos actuales. De hecho existe una propuesta actualmente en la administración nacional aeronáutica y espacial (NASA) para crear una red Satelital

global con el fin de emplear el InSAR para monitorear todos los puntos de riesgo alrededor del planeta. [20]

c) Análisis por infrarrojo

Entre otras técnicas que requieren el uso de satélites también se encuentra el análisis por infrarrojo. Este método pretende ubicar fuentes de energía infrarroja producidos por los cambios en la temperatura en las regiones donde se producen los sismos, varias observaciones de terremotos han mostrado cambios en la temperatura antes de ocurrir el movimiento telúrico, en algunos casos estos cambios se han presentado días antes de el suceso. De esta forma, los satélites equipados con instrumentos detectores de Infrarrojo podrían mantener un control de las zonas de riesgo y buscar anomalías en las temperaturas de los terrenos en el intento de pronosticar los terremotos.

Figura 13. Anomalías termale días antes de un terremoto.



Fuente:[13]

Aunque aún no hay certeza de que es exactamente lo que produce las emisiones de infrarrojos en las rocas cuando se va a presentar un sismo importante; varios experimentos han mostrado que al parecer las rocas que se encuentran a grandes presiones cambian sus cualidades eléctricas a una especie de semiconductor, al parecer un flujo de cargas positivas del interior hacia las capas exteriores de la roca que al combinarse producirían las

emisiones de infrarrojo, sin embargo este planteamiento aún no está comprobado completamente.

d) Fluctuaciones de campo magnético

Existe otra propuesta aún más revolucionaria que la anterior que es la de medir, mediante el empleo de satélites de órbita baja, las fluctuaciones en el campo magnético de la Tierra, en especial las señales magnéticas de baja frecuencia entre los 0.02 y 0.01 Hertz. En algunos casos se ha encontrado que estas señales han aumentado notoriamente varios días antes de presentarse un sismo mayor y también durante el mismo sismo. Aunque estas señales magnéticas son muy tenues (por lo general de menos de un nanotesla) se espera que los satélites de órbita baja tengan oportunidad de medirlas con suficiente precisión, además de que los satélites con órbita polar tienen la ventaja de recorrer toda la superficie del planeta, todos los días.[13]

3 ESTUDIO DE LA INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES ACTUAL DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA

3.1 ANÁLISIS CUALITATIVO

A pesar de la importancia de los diferentes elementos empleados para capturar, digitalizar e interpretar los datos; las telecomunicaciones son consideradas como el elemento principal a tener en cuenta en el diseño de una red sismológica, por lo que deben tener la ventaja de no depender de las características de fabricación de los sismógrafos para que sean transparentes a renovaciones y cambios y, adicionalmente, deben trabajar con protocolos estandarizados.

La RSNC cuenta con 19 estaciones sismológicas, las cuales transmiten datos en tiempo real vía satélite. Las estaciones cuentan con sensores de período corto con componente vertical y frecuencia natural de 1 Hertz.

En la actualidad la RSNC cuenta con 16 estaciones de una componente vertical de corto periodo y una estación triaxial de banda ancha, ubicadas todas hacia la región central del país, lugar con la mayor actividad sismológica y donde históricamente se han registrado más catástrofes sísmicas.

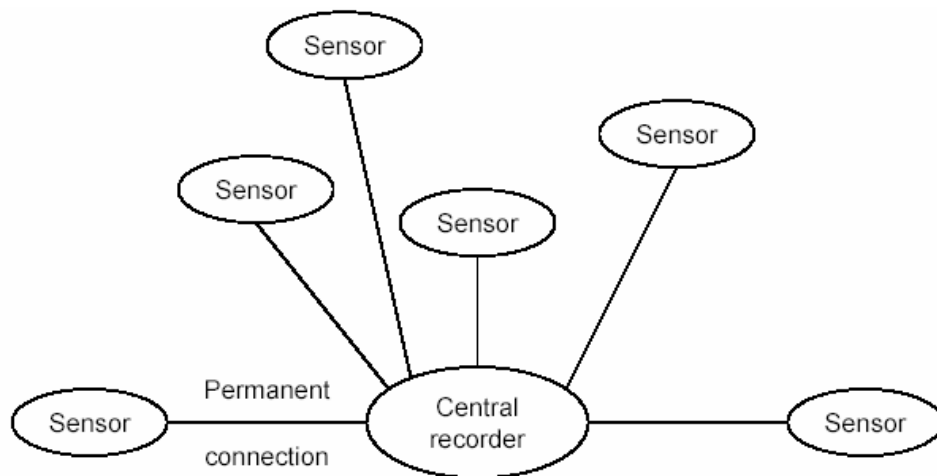
3.1.1 Topología

En una red sismológica es importante el arreglo de estaciones con el que se cuente, debido a que se requiere mínimo de 3 sismógrafos de una componente para poder ubicar un solo evento o de un solo sismógrafo de 3 componentes para tener una aproximación inicial.

En promedio, desde su creación, han funcionado anualmente 13 estaciones; en el año 2000 solo operaron 10 estaciones en promedio siendo el año más crítico.

Como se había mencionado anteriormente la topología de interconexión de la red es en estrella, en donde las estaciones remotas se conectan individualmente hacia la estación maestra ubicada en Bogotá.

Figura 14. Conexión en estrella para el registro central de los datos.



Fuente:[8]

Cada una de las estaciones está conformada de manera permanente con un solo sismógrafo, por lo cual no existen pequeños concentradores de datos localmente para cada estación, ni existen arreglos sísmicos locales que contribuirían a una mayor precisión en la localización de eventos.

Otras de las características de interconexión de la RSNC es que sigue los patrones ideales de interconexión en cuanto a que se implementa su topología en forma física; es decir, cada estación cuenta con un enlace y un ancho de banda independiente y a su vez transmite y recibe digitalmente, ya que cuenta con un conversor en cada estación; aunque no cuenta con enlaces redundantes entre las estaciones remotas y la estación maestra.

La importancia de la topología empleada se puede resaltar aún más si se tiene en cuenta que al existir un digitalizador en cada estación remota no solamente se reduce el trabajo que se debe realizar en la estación central sino que además el sistema maestro se puede dedicar de lleno al análisis de la información; adicionalmente, este tipo de montaje garantiza el poder contar con la información en tiempo real y poder acceder directamente al medio de acceso permanentemente mientras que en las redes sismológicas virtuales la topología es en bus de datos que no garantiza conexión constante, que es sensible a aislamientos en segmentos, que depende de la disponibilidad y el cubrimiento del proveedor en los sitios requeridos, que debe implementar protocolos especiales de acuerdo con el tipo de información y la forma de transmisión que se tenga para que sea consultada como una base de datos remota y que, finalmente, no garantiza transmisión de datos en tiempo real; razones por las cuales no es la más apropiada para este tipo de aplicaciones.

3.1.2 Red VSAT

En los años recientes se han extendido los servicios de redes de telecomunicaciones por satélite usando terminales de apertura muy reducida (VSAT).

Definitivamente, la forma más sencilla y eficiente de mantener un buen canal de comunicación al interior de una red sismológica es por medio de enlaces satelitales; sin embargo, se puede apreciar que en estas redes, la transmisión de datos no es un proceso exclusivo de la comunicación satelital, ya que existen otras alternativas perfectamente viables como la fibra óptica o las microondas aún considerando los casos donde los puntos de medidas sean demasiado cercanos al cráter de un volcán y un medio físico de transmisión como la fibra o el par de cobre puedan sufrir fácilmente daños por altas temperaturas, derrumbes o movimientos telúricos inesperados.

El servicio de enlaces satelitales con la implementación de redes VSAT, cuenta con una gran variedad de servicios y aplicaciones de acuerdo con la información que se quiere

transmitir, ofreciendo adicionalmente versatilidad y opción de escoger tanto diferentes bandas de frecuencia en la que puede operar como diferentes técnicas de acceso.

Dentro de las razones por las que se escoge un sistema VSAT se encuentra la facilidad de instalación del sistema de comunicación, que se debe al tamaño reducido de sus antenas y que es determinante en una red sismológica ya que los lugares en los que se ubican las estaciones en la mayoría de casos se encuentran en lugares geográficamente complejos de llegar.

La RSNC cuenta, como se mencionó anteriormente, con un enlace satelital que opera en banda C y que utiliza el satélite INTELSAT VI como repetidor; un sistema de este tipo está constituido por el terminal VSAT de usuario y la estación *Hub* que actúa de concentrador del sistema.

La estructura de red es una estrella con la estación *Hub* en el centro y algunas de las aplicaciones son:

- Distribución de datos en un sentido; con velocidad de 9,6 a 512 kbps. La antena VSAT tiene diámetro de 0,5 a 0,8 m.
- Comunicación de datos punto a punto; para interconexión de PABX, teleconferencia y LAN. La velocidad es de 16 a 2048 kbps y la antena de 1,2 a 5 m de diámetro.
- Redes de datos en estrella; redes interactivas con cortas intervenciones de la VSAT y respuestas largas de la estación master *Hub*. Con una velocidad entre 9,6 y 512 kbps y antenas de 1,2 a 1,8 m de diámetro (2,4 m en áreas de alta densidad de lluvia).

Un enlace VSAT está compuesto de dos direcciones: *Outbound* o *Outroute*, que es el tramo espacial que va desde el *Hub* al VSAT, e *Inbound* o *Inroute*, que es el tramo terrestre que va desde el VSAT al *Hub*.

INTELSAT dispone del servicio VSAT denominado Intelnet y de acuerdo con las posibles aplicaciones anteriormente mencionadas, en la RSNC se emplea la comunicación de datos punto a punto, lo que constituye un servicio identificado como clase I;⁹ el protocolo usado en el tramo espacial de la red VSAT difiere del utilizado en el tramo terrestre.

Las técnicas de acceso son heterogéneas y la asignación del canal puede ser de asignación fija (FA) o asignada por demanda (DA); en el caso de la RSNC se puede deducir, según la descripción realizada en la sección 4.2, que se trabaja con asignaciones fijas del tipo acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) preasignado de un solo canal por portadora (SCPC); esta, a pesar de ser una técnica de bajo costo para pequeñas redes, se acomoda a las necesidades de la RSNC debido a que está diseñada para pocos terminales y canales por sitio, lo cual coincide con el escenario de trabajo de las estaciones remotas.

a) Estación VSAT

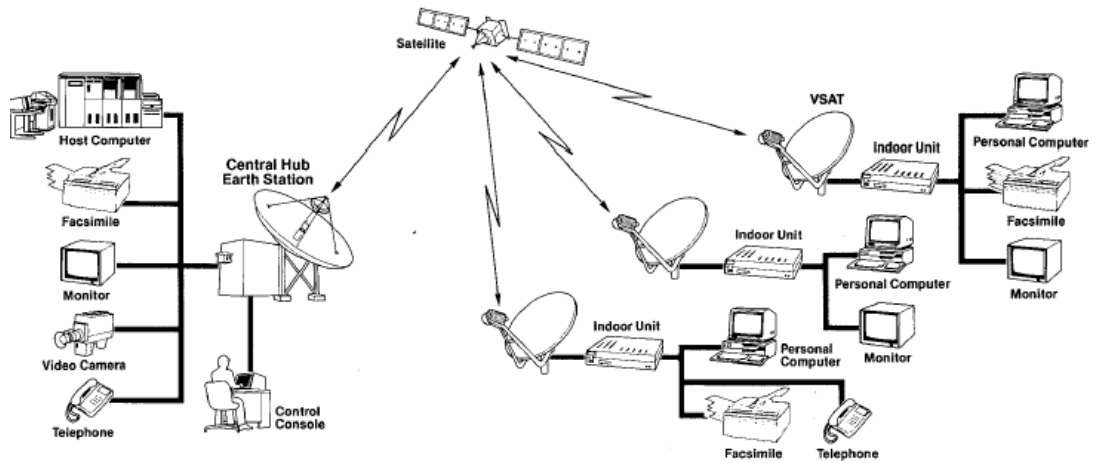
Está compuesta, además de la antena, por una unidad exterior y otra interior; la antena incluye el reflector (tipo corneta - compensado) y los montantes y se suele construir de fibra de vidrio con un revestimiento hidrófobo para la lluvia.

La unidad exterior está montada sobre el punto focal de la antena. Se trata del amplificador de RF y el conversor. La salida puede ser a una frecuencia intermedia (IF) banda L de 950 a 1450 MHz y se conecta mediante un cable que proporciona alimentación desde el interior y alarmas hacia el mismo.

La unidad interior se encuentra junto con los equipos de usuario. Se compone del conversor y demodulador a banda base y la interfaz de datos.

⁹ Los servicios son de clase I para la distribución de datos y de clase II para enlaces bidireccionales.

Figura 15. Componentes de una red satelital VSAT.



Fuente: [24]

A pesar de que Intelnet funciona a 9,6 Kbps y el acceso FDMA - SCPC es con modulación digital de mínimo desplazamiento (MSK^{10}) y corrección de errores (FEC) de 1/2, el método de modulación usado es el BPSK, por razones de simplicidad.

b) Estación Hub

Contiene los componentes de banda base como el modulador de frecuencia intermedia (IF) y el equipo de radio frecuencia (RF); por medio de una red de área local (LAN) se efectúan los procesos de gestión. El protocolo de acceso al satélite es propietario de cada fabricante y aunque existen reglas generales, también se encuentran muchas variantes.

El *Hub* hacia VSAT generalmente efectúa una multiplexación por división de tiempo (TDM), en tanto que el tramo VSAT hacia el *Hub* aplica el sistema de uno o varios canales por portadora combinando FDM-TDM, con acceso preasignado o por demanda y modulación por desplazamiento de fase (PSK). El acceso permite efectuar la función de control de flujo típica de las redes de datos.

¹⁰ MSK es una variación de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) y significa que es el menor valor o la mínima separación de frecuencia que es factible de ser demodulada coherentemente ortogonal.

Generalmente los equipos en la estación *Hub* están duplicados para mantener una disponibilidad por fallas de equipo del 99.99 % del tiempo; es decir, de 52,56 minutos fuera de funcionamiento por año.

En cuanto a las desventajas más sobresalientes en el uso de esta tecnología encontramos que en principio el tramo espacial tiene un retardo considerable (270 ms) y abundantes errores que requieren corrección FEC, lo cual incide directamente en el ancho de banda que se ocupa.

También se debe decir que en muchos sistemas comerciales se prefiere la banda Ku¹¹ porque permite una mayor potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE), reduciendo el diámetro de la antena de usuario. Por otro lado, la banda Ku tiene una menor interferencia y se encuentra menos congestionada que la banda C.

Otro problema en el sistema VSAT es la interferencia debido a la pequeña apertura de la antena. El ángulo de apertura para una caída de 3 dB¹² es inversamente proporcional al diámetro de la antena y a la frecuencia; razón por la cual la banda C tiene más interferencia que la banda Ku. Por ejemplo, para 1,8 m de diámetro la apertura a 3 dB de pérdida es de 3 grados en una frecuencia de 4 GHz y de 1 grado en 12 GHz.

Es importante agregar que la banda C es la más experimentada y simple desde el punto de vista del equipamiento, lo que finalmente da pie para generalizar que la infraestructura de telecomunicaciones de la RSNC, a pesar de no ser la más moderna, basa su funcionamiento en el sentido práctico y el manejo eficiente que le puede dar a los recursos tecnológicos con los que cuenta.[24]

¹¹ Banda de frecuencias comprendida entre 11,7 y 14,5 GHz.

¹² Una caída de 3 dB equivale a una pérdida de la mitad de la potencia.

3.2 COMPARACIÓN CON TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES MUNDIALES

Si se tienen en cuenta los diferentes tipos de tecnologías de telecomunicaciones internacionales, anteriormente descritas, que se aplican en redes sísmológicas; así como la infraestructura de telecomunicaciones de la RSNC, lo que se observa es que en el plano internacional todas siguen un esquema común, que depende de los criterios de diseño estandarizados para este tipo de redes y que han crecido secuencialmente, de acuerdo con los recursos económicos con los que se cuenta y al desarrollo de nuevas tecnologías, a partir de ese punto.

Las diferencias más apreciables al comparar observatorios sísmicos de Europa y Norte América con la RSNC; es el tipo de tecnología implementada, ya que mientras la RSNC solamente cuenta con un sismógrafo de banda ancha de tres componentes, en las redes internacionales se implementan arreglos que reúnen gran cantidad de estos; y lo mismo sucede si comparamos los digitalizadores y el tipo de baterías de bajo consumo usadas.

Es importante resaltar que a nivel global aún es funcional la mezcla tecnológica de equipos modernos con los dispositivos antiguos; por lo que se puede apreciar claramente un escalonamiento tecnológico evolutivo que hace cada vez mejor y más completo el estudio y monitoreo de la actividad sísmológica en el planeta ya que esto permite ampliar las áreas de cubrimiento y obtener mayor precisión debido al mayor número de puntos de comparación.

En la actualidad, es posible encontrar redes internacionales de sísmología en lugares como Albania, Croacia, República Checa, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irán, Israel, Italia, Mongolia, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal, Túnez y España entre otros, que cuentan con sismógrafos, similares a los equipos análogos y de una sola componente vertical, como los que tiene instalados la RSNC.[3]

Específicamente en la parte de telecomunicaciones, la comparación debe realizarse con respecto a las tecnologías satelitales ya que son estas las que han presentado posiblemente mayor cantidad de innovaciones y aplicaciones y porque es la forma de comunicación que emplea la RSNC; aunque en algunas zonas de Europa, debido a las facilidades de acceso que da algunas zonas geográficas y al cubrimiento de los servicios públicos, aún se encuentran estaciones sismológicas conectadas mediante pares telefónicos.

El proceso evolutivo continua y en lo que a sismología se refiere, además de las aplicaciones más comunes como la toma de imágenes y las comunicaciones ampliamente empleadas por los satélites en esta área de la Geología, han comenzado a presentarse nuevas alternativas en los estudios sismológicos donde los satélites comenzarían a jugar un papel fundamental y no como un simple transmisor de datos.

Con el inicio de la era de los satélites y al alcanzar esta el punto de madurez necesario para la diversificación de las aplicaciones, se identifican dos mayores usos de los satélites en la Geología, la primera correspondiente al área estática en donde se lleva a cabo la toma de imágenes desde el espacio con el fin de mejorar la cartografía geológica y la búsqueda de recursos naturales para la explotación y es en donde se encuentran los mayores avances como: los radares de apertura interferométrica sintética, los análisis por infrarrojo y las detecciones de fluctuaciones de campo magnético; que por el momento se comienzan a implementar tan solo en agencias con recursos económicos, tecnológicos y científicos como la NASA.

Por otro lado en el área dinámica, la primera aplicación clara para la sismología es la de la transmisión de datos de los puntos terrenos donde se ubican los sensores sísmicos hacia los puntos de procesamiento de los datos; como es el caso particular para Colombia con la RSNC en donde todos los datos provenientes de los puntos sismológicos son transmitidos al centro principal en Bogotá.

3.3 TECNOLOGÍAS LOCALES DE TELECOMUNICACIONES COMPLEMENTARIAS

Para poder encontrar puntos de comparación adecuados en el presente estudio, es necesario tener como referencia las diferentes tecnologías de telecomunicaciones que se implementan de manera regional para aplicaciones de sismología y medio ambiente, distintas a la de la red portátil que corresponde a la red nacional de acelerógrafos RNAC y que han contado con el apoyo de INGEOMINAS.

3.3.1 Observatorio Sismológico del Quindío

La configuración original de la red ha sufrido varias modificaciones, llegando hasta la red actual que cuenta con estaciones acelerográficas autónomas y sismológicas análogas con telemetría y centro de recepción en la Universidad del Quindío, contando con sistemas de registro análogos y digitales, y en donde a pesar de contar con dos sistemas de adquisición digital, deben trabajar con sistemas análogos como sismógrafos de papel ahumado y de tinta.[7]

3.3.2 Estación Multiparámetro de Galeras

Debido a la importancia que ha tomado por el constante estado de alerta de erupción en la que se encuentra esa zona del país, esta estación es la más moderna que en la actualidad se encuentra en funcionamiento.

En el momento, la estación multiparámetro cuenta con una red sismológica compuesta por cuatro estaciones de banda ancha y un acelerómetro, ofreciendo grandes ventajas en cuanto al registro por el gran rango dinámico que manejan.

Estos equipos se instalaron en la parte alta del volcán mejorando el procesamiento y análisis de la información sísmica y resaltando algunas características que no son evidentes o ni observables en sistemas de periodo corto.

Adicionalmente, posee una estación climatológica equipada por sensores de velocidad y dirección del viento, temperatura, presión atmosférica y un microbarómetro, que permite conocer las condiciones ambientales en la cima del volcán y apoya en la interpretación de la información sismológica descartando influencias climáticas.

También se toman imágenes térmicas del volcán Galeras, se tiene una estación telemétrica de gases, dos estaciones electromagnéticas que permiten estudiar los campos tanto naturales como artificiales de potencial eléctrico y magnético en la Tierra.[6]

3.3.3 Estación Sismológica El Rosal

Como se había comentado en la reseña histórica de la RSNC, esta estación forma parte del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO), en donde Colombia inicio su participación en el 1997, con esta estación sismológica de tres componentes de banda ancha en la localidad de El Rosal (Cundinamarca), la cual dejó de funcionar en 1998 para este propósito y en la actualidad es de gran utilidad para la RSNC porque mejora la localización de eventos en nuestro país, a pesar de no ser ese el principal objetivo de su instalación, ya que los datos que se pueden captar con su sismógrafo de 3 componentes son un referente importante al no necesitar de información adicional proveniente de otras estaciones para ubicar un sismo.

Hoy en día aunque la estación no cuenta con todos sus componentes, se están haciendo pruebas de enlace satelital para que opere nuevamente; su funcionamiento constaba de un programa instalado en un computador local que reenvía los datos al centro internacional de

datos (IDC) a través de un enrutador que enviaba los datos a Viena y un VSAT que se encarga de convertir los datos en el formato satelital.

Paralelamente, los datos digitalizados son también enviados por telemetría de radio hasta el INGEOMINAS en Bogotá, en donde existe un radio receptor que convierte los datos al formato digital.[1]

A pesar de la existencia de redes independientes a INGEOMINAS, como la red del Instituto Geofísico de los Andes, propiedad de la Universidad Javeriana, que está en proceso de renovación hacia la implementación de sismógrafos de banda ancha de 3 componentes en varios puntos del país; se puede afirmar que la mayor concentración de recursos tecnológicos y de telecomunicaciones se encuentra en la RSNC, ya que abarca de alguna forma a las pequeñas estaciones y observatorios regionales que le ofrecen información complementaria (como lo hace la RNAC) para que realice los análisis definitivos de cualquier evento y los comunique oportunamente a la comunidad.

Algunos de los objetivos que se ha planteado la RSNC incluyen contar con 35 estaciones de banda ancha que contaran con un sistema de almacenamiento de datos in-situ para que en caso de fallas en la comunicación, los datos no sean transmitidos hasta el centro de recepción, manteniendo la información en la estación; y que tengan un sistema de comunicaciones satelitales eficiente, rápido y de fácil mantenimiento, lo que en un futuro mejoraría la calidad de los datos sísmicos que diariamente se registran en Colombia y abriría la posibilidad de adelantar investigaciones sismológicas avanzadas en el país.[18]

3.4 PROCEDIMIENTO PARA LA ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS

Por encima de cualquier tipo de interés, las herramientas tecnológicas y las nuevas aplicaciones de las telecomunicaciones deben tratar de emplearse para cumplir con el

objetivo principal por el cual fue creada la RSNC, que consiste en ser el instrumento con que cuenta el gobierno Colombiano para que, por medio del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), se dé oportuna información a las entidades de protección a la comunidad, así como a la ciudadanía y a las asociaciones científicas acerca de la actividad sísmica en nuestro país, para enfrentar en mejores condiciones las emergencias que se puedan presentar por un evento sísmico.

Así como se ha resaltado como objetivo principal la prevención de emergencias y la protección y ayuda a las comunidades afectadas, se debe resaltar que el correcto funcionamiento de la RSNC y la consecución de sus metas depende no solamente de una tecnología adecuada, sino también del personal humano que la conforma y que no solo debe tener conocimientos técnicos sino que además debe ayudar a fomentar la preservación del medio ambiente y tener una buena interacción y conocimiento del mismo.

Para asignar responsabilidades, establecer prioridades durante la atención de una emergencia, permitir conocer los recursos con que se cuenta para afrontarla y desarrollar seguimiento, supervisión y control a las labores diarias y de emergencia de la RSNC, fue creado un procedimiento que se resume en el artículo titulado *Plan de contingencia para el manejo de crisis ante un evento sísmico registrado por la red sismológica nacional de Colombia*, del cual se citan algunos apartes para poder resaltar la labor del personal encargado y de la tecnología de telecomunicaciones.

El primer paso es clasificar la emergencia en uno de los 5 niveles de alerta preestablecidos, identificados con un color, de acuerdo con las características de magnitud y profundidad de los eventos detectados; estos niveles son: Nivel I (blanco), Nivel II (verde), Nivel III (amarillo), Nivel IV (rojo), Nivel T¹³ (rojo); donde el color blanco representa la situación diaria de operación de la RSNC y el color rojo, una situación de emergencia.

¹³ Alerta de Tsunami para sismos superficiales en cercanías de las costas del Océano Pacífico y para alertas enviadas por Tsunami Warning System, con base en Honolulu (Hawaii).

Para cada uno de estos niveles de emergencia se han definido perfiles con tareas específicas para las personas a cargo.

“Los perfiles de trabajo son: Vocero oficial (VO), Operario de la RSNC (OT), Operario de apoyo (OA), Sismólogo de turno (ST), Sismólogo de apoyo (SA), Técnico de sistemas (S), Técnico de electrónica (E), Operario de transporte (TR), Apoyo científico (AC) y Jefe RSNC (JR). El nivel de alerta es determinado por el OT y corroborado por el ST.”¹⁴

En cualquier nivel, la presencia de actividad sísmica anómala puede generar una fase de campo; las funciones del S y el E son las mismas para los niveles I, II y III, y están relacionadas con el buen funcionamiento de los equipos y calidad de las señales sísmicas.

“A partir del nivel II se inicia con la elaboración del Boletín Preliminar (BP) por parte del Operario de turno, previa autorización y revisión del ST. En caso de tener estaciones insuficientes para la localización, se puede apoyar con las lecturas de otras redes sismológicas. El BP es enviado por correo electrónico, a la página Web del INGEOMINAS, se transmite vía fax, teléfono y por radio UHF (portátil)”.¹⁵

Desde el nivel III la red portátil debe estar disponible para una posible activación de una fase de campo.

A una fase de respuesta se llega cuando después de declarada la emergencia, se considera necesaria la salida a campo de la red portátil de acelerógrafos y sismógrafos y la distribución del personal se realizará en tres frentes de trabajo, uno de instalación y monitoreo, otro de comunicaciones y un último frente de trabajo de transporte.

¹⁴ PADILLA, Juan y otros. Plan de contingencia para el manejo de crisis ante un evento sísmico registrado por la red sismológica nacional de Colombia. Bogotá, 2002. p 2.

¹⁵ *Ibíd.* 3.

“Para el frente de trabajo comunicaciones, la función principal es la instalación de la red telemétrica para comunicaciones de voz y datos, entre las estaciones, los grupos en campo y la sede central. Las actividades de este grupo son las siguientes: buscar los sitios adecuados para la instalación de repetidoras; instalación de repetidoras de datos y voz; instalar las telemetrías a las estaciones que así lo requieran; y, realizar mantenimiento correctivo y preventivo a la red de comunicaciones. El personal requerido para atender este frente de trabajo es un técnico o ingeniero electrónico con amplia experiencia en comunicaciones, un auxiliar de campo que preferiblemente conozca la región.”¹⁶

Finalmente, se debe mencionar que los procedimientos descritos previamente cuentan con diferentes mecanismos de supervisión y control dado la importancia de las labores que se realizan; y que tal supervisión se hace tanto a los elementos de la infraestructura tecnológica como a las personas que integran los diferentes grupos de trabajo.[15]

3.5 POSIBLES PUNTOS DE MEJORA EN LAS TELECOMUNICACIONES AL INTERIOR DE LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL DE COLOMBIA

Una vez descrita la conformación técnica y el funcionamiento de la infraestructura de telecomunicaciones de la RSNC, después de haber mencionado y estudiado diferentes tecnologías existentes local e internacionalmente y después de haber revisado la aplicación final principal y la labor social que esta cumple; se puede tener una visión bastante completa para identificar aquellos posibles puntos susceptibles a ser mejorados después de un previo análisis cualitativo, así como herramientas para poner en consideración alternativas de solución tentativas.

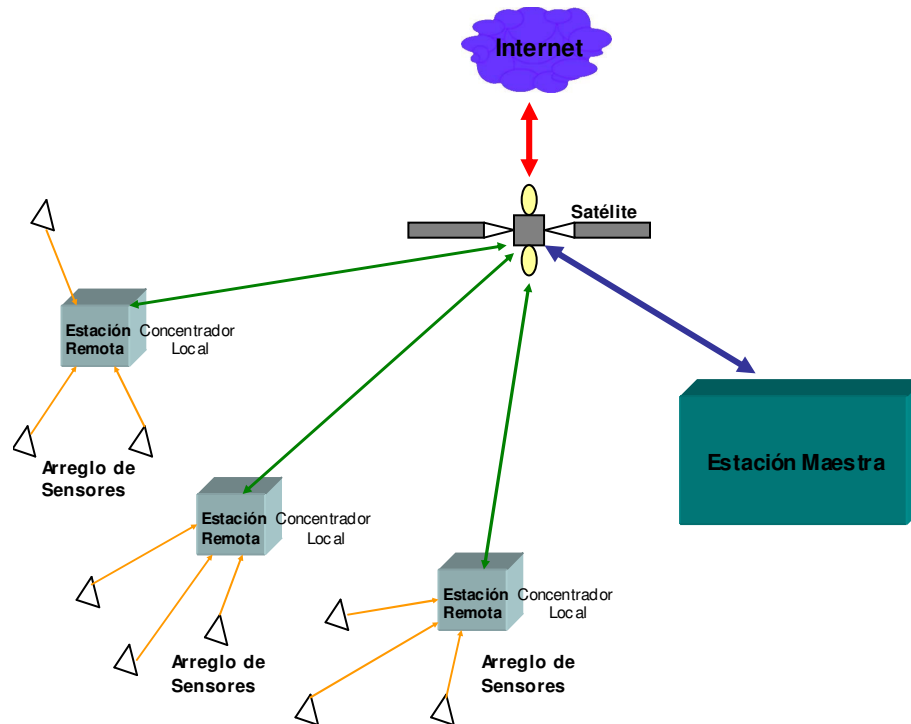
¹⁶ Ibíd.4.

Dentro de la identificación realizada para estos puntos, sobresalen 3 grupos de clasificación que son: Topología, red VSAT y procedimientos.

3.5.1 Topología

- A pesar de las ventajas que representa el montaje de una red con topología en estrella, también se corre con el riesgo de quedar sin funcionamiento completo en el caso de una falla en el sistema central, que en este caso realiza el análisis de toda la información; por lo que es necesario por lo menos garantizar redundancia en ese punto y también redundancia de información en cada estación remota incorporando un sistema de almacenamiento local.
- Actualmente, las estaciones remotas cuentan solamente con un sismógrafo de una sola componente de periodo corto y tan sólo una de ellas posee un sismógrafo de banda ancha de tres componentes, lo que limita la precisión al momento de ubicar un evento; pues como se mencionó anteriormente se necesita de tres puntos de referencia en cada caso. Por esta razón una alternativa es la de conformar pequeños arreglos de sismógrafos y/o acelerógrafos alrededor de cada una de las estaciones, teniendo en cuenta que este tipo de montaje tiene un procedimiento especial para poder maximizar la calidad de sintonización del sistema, el cual depende de factores como la distancia entre los sensores, alineaciones geométricas y topografía del terreno entre otros factores.[8]
- Combinando los dos puntos anteriores, la topología de interconexión sería en estrella cableada entre cada arreglo de sismógrafos remoto y una estación que de manera local almacene y analice previamente la información, y que a la vez esté conectada con otros centros de almacenamiento remoto, en topología lógica de bus, y al centro principal en topología estrella.

Figura 16. Nueva topología de interconexión propuesta.



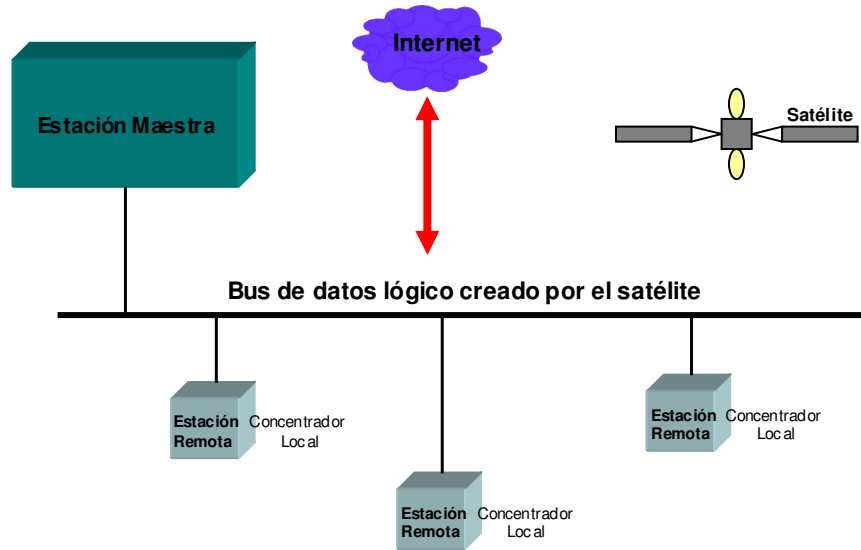
Fuente: Autor

- Emplear los dispositivos de la RNAC que no conformen la red portátil, para realizar los arreglos en forma de estrella para las estaciones remotas; esto, debido a que en la actualidad aunque se complementan los datos de la RSNC con los de la RNAC, no se encuentran conectados por ningún medio.

3.5.2 Red VSAT

- Antes que todo, lo más importante es proporcionar conectividad satelital a todas las estaciones remotas instaladas con la estación principal en Bogotá; ya que históricamente esto no ha sucedido en forma continua, debido principalmente a la falta de recursos, por lo que se pierde información que puede ser muy valiosa y se desperdician los recursos de las estaciones remotas que se dejan por fuera al no existir sistemas locales de almacenamiento.[5]

Figura 17. Topología de conexión satelital a Internet.

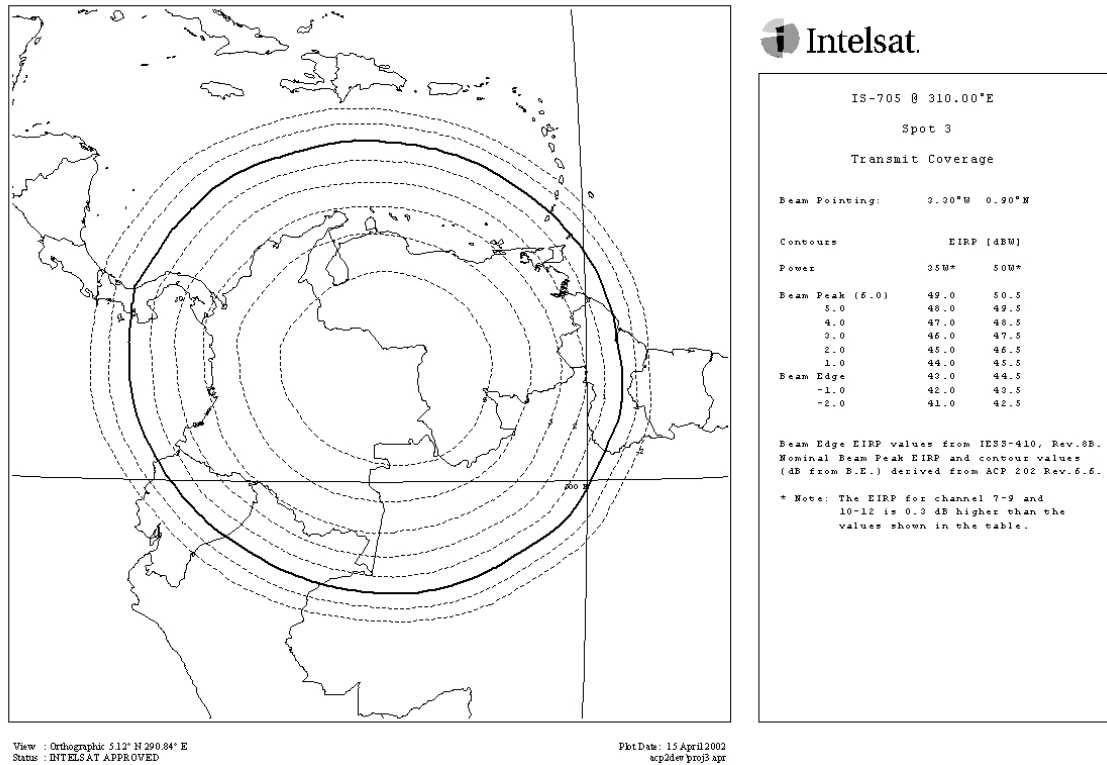


Fuente: Autor

- Complementando la idea de una variación en la topología y de la interconexión entre posibles centros locales remotos de procesamiento y almacenamiento de información, se podría implementar una red virtual con Internet satelital que funcione en topología bus, y que se definan políticas y herramientas de programación para que opere de tal forma que los centros de procesamiento remoto ocupen tan solo el ancho de banda necesario para que puedan ser consultados continuamente si se requiere de información específica y que tengan prioridad y cuenten con la capacidad de disponer de este canal en el caso de existir un evento detectado localmente.
- Adicionalmente, al tener una conexión satelital a Internet, se podrían implementar y utilizar cualquier tipo de aplicaciones y dispositivos propios de las redes de datos, como es el caso de algunas herramientas de monitoreo, que pueden ser configuradas para enviar automáticamente mensajes de texto, voz o incluso datos e imágenes al personal

encargado de revisar y atender las anomalías antes de dar un eventual aviso a las autoridades competentes, teniendo así otra forma de alerta temprana que muy posiblemente ayudaría a salvar vidas al momento de reaccionar ante una catástrofe.

Figura 18. Cobertura de los satélites INTELSAT de la serie VI y VII.



Fuente: http://www.upv.es/satellite/trabajos/pract_5/serie6.htm

- Cabe resaltar que al implementar un servicio como el de Internet satelital se cambiaría la característica de la red VSAT a una red de segunda clase y pasaría a ser bidireccional.
- Aprovechando la cobertura del satélite empleado como repetidor (INTELSAT VI), sería llamativo poder establecer convenios con observatorios sismológicos y países que se encuentren bajo su huella, para adelantar investigaciones que puedan incluir

aproximaciones a las nuevas tecnologías que pretenden convertirse en herramientas de predicción.

3.5.3 Procedimientos

- De acuerdo con la investigación personal realizada en forma local vía telefónica con el personal de Ingeominas en la ciudad de Bucaramanga, en la Universidad Industrial de Santander (UIS), y vía correo electrónico y conversaciones telefónicas con personal de Ingeominas en Bogotá; se obtuvo información de que el mantenimiento de las estaciones remotas solamente lo hace personal de Bogotá, por lo que se ve la necesidad de proponer la descentralización de estas actividades para tener una realimentación continua del estado de los equipos.
- De igual manera y, complementando el punto anterior, se ve como una buena alternativa la realización de capacitaciones de personal regionalmente, lo que, entre otras cosas, tiene como ventaja garantizar la transferencia de conocimiento.

Figura 19. Fotografía de la caseta de una estación remota de la RSNC.



Fuente:[1]

4 CONCLUSIONES

Al realizar la descripción del funcionamiento técnico de los diferentes sistemas que conforman la Red Sismológica Nacional de Colombia y las etapas que se llevan a cabo desde el momento en que se capta un evento sísmico, se logró comprender la manera en que se aplican las telecomunicaciones en su interior así como la relación entre los demás elementos que conforman su infraestructura tecnológica.

La comparación hecha entre los enlaces satelitales que soportan todo el funcionamiento de la transmisión de información en la Red Sismológica Nacional de Colombia y las diferentes tecnologías de telecomunicaciones empleadas tanto a nivel mundial como a nivel local en sismología permitió obtener una medida cualitativa de su estado actual, mostrando el contraste entre las limitaciones encontradas al ser observada desde el ámbito internacional y la sobresaliente importancia de su infraestructura tecnológica a nivel nacional e incluso regional; lo cual guarda una estrecha relación con el grado de preparación de nuestro país para participar activamente y beneficiarse de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC) .

Se concluye que con las nuevas tecnologías y aplicaciones de las telecomunicaciones a nivel mundial se obtienen grandes beneficios debido a las múltiples alternativas para llevar a cabo funciones de transmisión de datos y a la capacidad de ofrecer servicios adicionales para realizar labores de predicción de eventos sísmicos.

El análisis realizado sobre la descripción cualitativa del funcionamiento de la Red Sismológica Nacional de Colombia permitió encontrar los puntos relacionados con el manejo de las telecomunicaciones en su interior más idóneos para proponer alternativas de mejoramiento, los cuales dependen de la topología de interconexión empleada, las características de los enlaces satelitales de la red VSAT con la que se cuenta y los

procedimientos de mantenimiento técnico de las estaciones remotas, el cual es muy importante resaltar debido a que al interior de la Red Sismológica Nacional de Colombia los planes de actualización y renovación tecnológica actuales no le dan la relevancia que amerita al sistema de comunicaciones, centrando la mayor parte de su atención en la implementación de nuevas tecnologías para captar, digitalizar, almacenar y analizar eventos sísmicos.

Por medio de la descripción del procedimiento a seguir en caso de una emergencia de origen sísmica, se logró resaltar una vez más la importancia de contar con el correcto funcionamiento de las telecomunicaciones en la Red Sismológica Nacional de Colombia como instrumento de prevención y atención de emergencias en nuestro país; ya que sobre esta se puede tener la capacidad no solamente de transmitir, entre un punto remoto y uno central, la información obtenida al captar evento sísmico sino que, adicionalmente, podría evolucionar para encargarse de dar la alerta temprana a las entidades encargadas del manejo de emergencias y a la comunidad afectada, emplearse para la realización de estudios en el campo de la sismología y para proponer convenios internacionales de intercambio de recursos.

Por último, se logró mostrar una aplicación interdisciplinaria práctica de las telecomunicaciones que permite el uso de los conocimientos y criterios adquiridos durante el programa de especialización realizado; en donde se observa el cumplimiento de los objetivos propuestos, alcanzando una correcta sinergia entre monografía bibliográfica, descriptiva y analítica, dejando abierta la posibilidad de complementar y profundizar el presente estudio con futuras investigaciones en el tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BERMUDEZ, María y RENGIFO, Franklin. El Rosal: La estación sismológica del CTBTO en Colombia. Bogotá, 2002. 8 p.
- [2] BERMUDEZ, María Luisa y DUARTE, Juan Antonio. La Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia. Bogotá, 2002. 12 p.
- [3] CENTRE SISMOLOGIQUE EURO - MÉDITERRANÉEN EUROPEAN. Newsletter No 15. 1999. 12 p.
- [4] COMISION DE REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES. Telecomunicaciones satelitales. Colombia, 1999. 10 p.
- [5] FRANCO, Enrique y otros. Sismicidad registrada por la Red Sismológica Nacional de Colombia durante el tiempo de operación: junio de 1993 hasta agosto de 2002. Bogotá, 2002. 12 p.
- [6] GOMEZ, Diego y otros. Estación multiparámetro de Galeras: Estudio multidisciplinario de un volcán de la década en Colombia. Bogotá, 2002. 15 p.
- [7] GOMEZ, Marisol y MONSALVE, Hugo. Implementación y estado actual de la red sismológica del observatorio sismológico del Quindío. Bogotá, 2002. 10 p.
- [8] HAVSKOV, Jens y ALGUACIL, Gerardo. Instrumentation in Earthquake Seismology. Bergen: Versión preliminar, 2002. 313 p.
- [9] INGEOMINAS. Catálogo. Red Sismológica Nacional de Colombia. (Bogotá, Colombia), 2004.
<http://www.ingeminas.gov.co/web2004/ModuloPublicacionPortal/PublicacionPortal.asp>
- [10] INGEOMINAS. Pronóstico de sismos. Bogotá, 2005. 2 p.
- [11] KASAHARA, Junzo y otros. Submarine cable OBS using a retired submarine telecommunication cable: GeO-TOC program. Tokyo, 1998. 15 p.
- [12] NANOMETRICS. Libra Deployment Satellite Footprints.
http://www.nanometrics.ca/products/libra/libra_deployment_satellites.htm

- [13] NASA. Pronóstico de terremotos. 2003.
http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2003/11aug_earthquakes.htm
- [14] OJEDA, Aníbal y otros. Implementación del SEISAN para la red sismológica nacional de Colombia. Bogotá, 2002. 6 p.
- [15] PADILLA, Juan y otros. Plan de contingencia para el manejo de crisis ante un evento sísmico registrado por la red sismológica nacional de Colombia. Bogotá, 2002. 5 p.
- [16] PRIMER SIMPOSIO COLOMBIANO DE SISMOLOGIA "Avances de la Sismología Colombiana en los últimos 20 años". Bogotá, 2002.
<http://fing.javeriana.edu.co/geofisico/simposio2002/Principal.htm>
- [17] QUAKEFINDER. Quakesat project. 2005.
<http://www.quakefinder.com/quakesat.htm>
- [18] RENGIFO, Franklin y otros. Red sismológica nacional de Colombia: actualizaciones e innovaciones. Bogotá, 2002. 12 p.
- [19] SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES y otros. Estrategia de Fortalecimiento de la Ciencia, la Tecnología y la Educación para la Reducción de Riesgos y Atención de Desastres. Bogotá, 2002. 15 p.
- [20] SOLID EARTH SCIENCE WORKING GROUP - NASA. Scientific challenges: Earthquakes. 2003.
<http://solidearth.jpl.nasa.gov/PAGES/quake02.html>
- [21] SOMARRIBA, Oscar. Redes de paquetes por radio multihop. Managua, Nicaragua. 1996. 8 p. Departamento de Sistemas Digitales y Telecomunicaciones. Universidad Nacional de Ingeniería.
- [22] STARMEDIA. Lanzan en USA un servicio que prevé terremotos con una antelación de 24 horas. Inglaterra, 2003.
<http://www.starmedia.com/articulos/2371312.html>
- [23] TELEFÓNICA. Las telecomunicaciones al servicio de las emergencias. España, 2005. 11 p.

- [24] UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE. Sistemas Satelitales: VSAT. Chile, 2005.
<http://teleco.spymac.com/apuntes/Varios/Biblia%20de%20Telecomunicaciones/1610.pdf>
- [25] UNIVERSIDAD JAVERIANA. Instituto Geofísico. 2005.
<http://fing.javeriana.edu.co/geofisico/>
- [26] VARGAS, Gabriel y MORENO, Pablo. Sistemas satelitales aplicados a la sismología. Bucaramanga, Colombia. 2005. 3 p. Especialización en Telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander.