



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**Tesis que para obtener el título de Ingeniero en
Telecomunicaciones:**

**“Red de Telecomunicación para monitorear SO₂ del Volcán
Popocatepetl”**

Rosalba Álvarez Chávez
Soraya Almazán Niño
Dr. Hugo Delgado Granados

2009



Dedicatoria y Agradecimientos:

A la UNAM:

En especial a la Facultad de Ingeniería, como testimonio de gratitud ilimitada; porque sus instituciones, profesores y alumnado han sido el motivo más grande que nos ha impulsado a lograr esta meta, que nos llena de orgullo al ser universitarias.

A mis profesores:

Dedico la presente como agradecimiento por el apoyo, paciencia y conocimientos brindados durante estos años de estudio y como un reconocimiento de gratitud al haber finalizado esta carrera.

A mis padres:

Sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constante, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda y apoyo; me han permitido terminar mi carrera profesional, siendo para mí, la mejor de las herencias.

A mis hermanos:

Porque gracias a su apoyo, confianza y consejos, he llegado a culminar una de las más grandes metas en mi vida, que me llena de orgullo compartir con ustedes.

A mis amigos

Por la ayuda, comprensión y compañía brindada a lo largo de toda la carrera; vemos hoy reflejada una de las más grandes satisfacciones de nuestra vida.

Con admiración y cariño:

Rosalba Álvarez Chávez
Soraya Almazán Niño



Red de Telecomunicación para monitorear SO₂ del Volcán Popocatépetl

Resumen.

Capítulo 1: Introducción.

- a) Antecedentes
- b) Planteamiento del problema
- c) Objetivos
- d) Alcance
- e) Localización del Popocatépetl y Fuego de Colima
 - I. Volcán Popocatépetl
 - II. Volcán de Fuego de Colima
- f) Metodología

Capítulo 2: Análisis de marcos.

- a) Transmisión de datos
- b) Factores que influyen en las comunicaciones
 - I. Inherentes al hombre
 - II. Inherentes a la naturaleza
 - i. Atenuación en el espacio libre
 - ii. Distancia
 - iii. Vegetación y las reflexiones multicamino
- c) Efectos de los fenómenos volcánicos en las telecomunicaciones.
 - I. Efectos de las cenizas volcánicas en las telecomunicaciones.
 - II. Efectos de productos Balísticos o piroclásticos en las telecomunicaciones.
- d) Características y condiciones necesarias para implementar una red de telemetría apropiada.

Capítulo 3: Redes de Transmisión de Datos.

- a) Proyecto NOVAC
- b) Equipos que constituyen una estación del Sistema de Monitoreo de Gases Volcánicos
 - I. Funcionamiento y principales características de las estaciones

- c) Repetidores
- d) Factores determinantes en la selección del sitio de instalación de las estaciones
 - I. Patrones de viento (Popocatépetl y Fuego de Colima)
 - II. Perfiles de altitud
- e) Estaciones que componen la Red mini-DOAS del Popocatépetl
- f) Estaciones que componen la Red mini-DOAS del volcán de Fuego de Colima

Capítulo 4: Análisis de la red de transmisión del Popocatépetl

- a) Simulación de la red de transmisión del Popocatépetl por medio de Matlab
- b) Resultados arrojados de la simulación
- c) Comparación de los resultados obtenidos mediante la simulación y las características prácticas con las que opera la red actual.
- d) Propuestas de mejora con base en el análisis realizado
 - I. Factores que no se tomaron en cuenta para la implementación de la red existente y que se propone sean considerados
- e) Propuesta de una nueva red de transmisión de datos

Capítulo 5: Análisis de la red de transmisión del volcán de Fuego de Colima

- a) Simulación de la red de transmisión del volcán Fuego de Colima por medio de Matlab
- b) Resultados arrojados de la simulación.
- c) Comparación de los resultados obtenidos mediante la simulación y las características prácticas con las que opera la red actual.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

- a) Recomendaciones

Apéndice I: Antecedentes

- a) Volcanes
- b) Espectroscopia por absorción de luz ultravioleta
- c) Espectro disperso (radiomodem)
- d) Celdas solares

Apéndice II: Código

Bibliografía

Resumen:

Esta tesis es un estudio general de los sistemas de telemetría que existen hoy en día en los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima, el enfoque del tema que hemos adoptado aquí es, en parte, teórico y comienza con un breve resumen de lo que hoy en día se está trabajando dentro de estas 2 redes. La idea central de esta tesis es servir como una herramienta que facilite la comprensión y funcionamiento de la red de telemetría.

Se presentará una introducción a los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima, así como la metodología, planteamiento del problema, objetivos y el alcance de este trabajo con base al proyecto NOVAC ("Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change"), el cual consiste en una red global de monitoreo volcánico que abarca 15 volcanes de los cinco continentes, incluyendo el Popocatepetl y Fuego de Colima en territorio mexicano que es el que estaremos trabajando durante esta tesis.

Se hace una revisión teórica sobre el concepto de "Transmisión de Datos"; los factores que influyen en las comunicaciones y los efectos ocasionados por los fenómenos volcánicos en las telecomunicaciones, con el fin de analizar, documentar y evaluar las redes del sistema de monitoreo de SO₂ en los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima mediante la utilización del software Matlab, para esto es necesario analizar las variables que pueden influir en la comunicación entre estaciones, así como plantear la relación que existe entre las condiciones volcánicas y atmosféricas; además de evaluar las condiciones geográficas.

Para realizar una conclusión objetiva se desarrolla un ejemplo de aplicación, es decir, se realiza una simulación para la evaluación de condiciones existentes, esto es dentro de la red de telemetría del volcán Popocatepetl. Con base en los resultados arrojados se determina si es necesario realizar una propuesta de mejora, o en su defecto una nueva implementación para la red de monitoreo. Bajo el esquema de análisis que se realizó en el volcán Popocatepetl se aplicó el mismo código de ejecución para el análisis del volcán Fuego de Colima, considerando las particularidades de cada una de las redes.

De esta manera se concluye que las redes de monitoreo de SO₂ del volcán Popocatepetl y Fuego de Colima están operando bajo las condiciones adecuadas para una red de transmisión de datos en tiempo real, bajo el análisis desarrollado a lo largo de la tesis.

Capítulo 1: Introducción

México se encuentra situado en una región con importante actividad volcánica, y ha experimentado actividad eruptiva en volcanes, en ocasiones con consecuencias desastrosas. Es necesario ampliar y profundizar el conocimiento de los volcanes en México, pero sobretodo, se hace necesario el seguimiento de su actividad en tiempo real, para establecer su posible comportamiento en el futuro.

Se han establecido redes de monitoreo en el entorno de volcanes como el Popocatepetl y Fuego de Colima, equipada con la mayor cantidad de equipo sísmico y geodésico; así como la red de monitoreo de gases de volcánicos, con espectrómetros mini-DOAS que forma parte del proyecto científico NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change), encargado de medir las emisiones de gases, en particular del dióxido de azufre; de acuerdo con la cantidad de gases que contiene el magma será la magnitud y estilo de una erupción volcánica; de manera que las emisiones de gases se puedan usar para la valoración de riesgos e investigación vulcanológica a escala local, regional y global.

Esta tesis forma parte de las actividades del monitoreo de gases volcánicos del volcán Popocatepetl y Fuego de Colima, pues éstos son los volcanes más activos en el territorio nacional. Además, este proyecto se enmarca dentro de las investigaciones del Departamento de Vulcanología del Instituto de Geofísica de la UNAM, en colaboración con el Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED y el Observatorio Vulcanológico de Colima.

Esta tesis abarca aspectos teóricos y prácticos, es por eso que la investigación sobre las redes de telemetría en los volcanes se realizó por el interés de invertir y conocer el funcionamiento, así como la problemática que conllevará a futuro para que se siga cumpliendo con los requerimientos necesarios para el monitoreo.

a) Antecedentes

El simple hecho de ser seres humanos nos hace desenvolvernos en [medios](#) donde tenemos que estar comunicados. Por eso la gran importancia de la transmisión y la recepción de [información](#) y, en la época actual donde las computadoras son parte de la cotidianidad, es necesario establecer [medios de comunicación](#) eficaces entre ellas.

La conexión de computadoras mediante [ondas](#) de [radio](#) o [luz](#) infrarroja, actualmente está siendo ampliamente investigada, sin embargo, existen varios sistemas de transmisión de datos a larga distancia, que se tratarán más adelante.

Las redes de larga distancia son una buena opción, como la denominada Red Pública de Conmutación de Paquetes por Radio. Estas redes no tienen [problemas](#) de pérdida de señal debido a que su [arquitectura](#) está diseñada para soportar paquetes de [datos](#) en lugar de [comunicaciones](#) de voz. Las redes privadas de conmutación de paquetes utilizan la misma tecnología que las públicas, pero bajo bandas de radio frecuencia restringida por la propia [organización](#) de sus sistemas de cómputo.

Redes de monitoreo en el Volcán Popocatepetl.

Existe una red de monitoreo para el volcán Popocatepetl, que consta de 25 estaciones remotas y una estación central para la adquisición y procesamiento de datos, ésta se encuentra localizada en las instalaciones del CENAPRED.

El sistema consiste de 15 estaciones con sismómetros, 5 estaciones con inclinómetros, 4 estaciones hidrométricas y de detección de flujos, una estación con radar y una estación con una cámara de video para la observación remota del volcán. Este conjunto de instrumentos sísmicos, geodésicos e hidrométricos genera más de 60 señales las cuales son transmitidas continuamente, las 24 horas del día, hacia el CENAPRED y algunas también a la UNAM. Las señales de las estaciones más lejanas ubicadas en el lado este del volcán, se retransmiten a través de varias estaciones repetidoras.

b) Planteamiento del problema

El dióxido de azufre (SO₂) está presente en las emisiones volcánicas, por lo que se deben realizar mediciones con equipos sensibles para poder determinar las variaciones de concentración de SO₂. Bajos las actividades del proyecto NOVAC, el Instituto de Geofísica diseñó una red de monitoreo de SO₂, pero con el paso del tiempo

se presentan diferentes problemas, como: la transmisión entre radiomodems, posibles interferencias entre equipos que trabajan bajo las mismas condiciones, retardo en la transmisión de datos.

Es necesario analizar las variables que pueden influir en la comunicación entre estaciones, así como plantear la relación que existe entre las condiciones volcánicas y atmosféricas; además de evaluar las condiciones geográficas.

c) Objetivos

Analizar, documentar y evaluar las redes del sistema de monitoreo de SO₂ en los volcanes Popocatepetl y Fuego de Colima mediante la utilización del software Matlab, proponiendo en caso de ser necesario, los cambios apropiados para asegurar la transmisión de los datos en tiempo real o, en su defecto, la implementación de una nueva red.

d) Alcance

Esta tesis es una referencia dirigida a los ingenieros encargados de la planeación e implementación de las redes de telemetría para el monitoreo de SO₂, en particular del Popocatepetl y Fuego de Colima; así como toda persona interesada en saber acerca de la red de telemetría existente en estos volcanes.

e) Localización del Popocatepetl y Fuego de Colima

1. Volcán Popocatepetl

El Popocatepetl (figura 1) es un estratovolcán localizado en la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) a 60 km al sureste de la Ciudad de México y a 45 km al oeste de la Ciudad de Puebla; a 19°17' de latitud norte y los 98°38' longitud occidental del meridiano de Greenwich.



Fig. 1. Volcán Popocatepetl.

(11.- <http://tenoch.scimexico.com/2008/01/07/el-volcan-popocatepetl-don-goyo/>)

Geológicamente el Popocatepetl, es un volcán joven en actividad, cuyo estado fumarólico varía cíclicamente los volúmenes de humo arrojados. Este volcán se formó hace 20 mil años con erupciones de carácter explosivo intenso entre los años 1,345 a 1,922 d.C.

Forma una masa meridional de la cadena andesítica que corre del norte a sur dividiendo los valles de México y Puebla en una extensión de cerca de 100 km, desde Otumba en el estado de Hidalgo hasta los alrededores de Jonacatepec en el estado de Morelos. Al mismo tiempo se encuentra situado sobre dos grandes fracturas, una que corre de norte a sur y otra más importante casi paralela al grado 19. Es posible que la potencia ígnea de este cruzamiento sea la causa del gran volumen del volcán, ya que tiene una altura de 5452 m y su edificio cubre un área de 500 km² abarcando los estados de Puebla, México y Morelos.

El volcán tiene un diámetro de 25 km en su base y en su cima tiene un corte elíptico de un cono de lava basáltica con una orientación noreste-suroeste. El cráter del Popocatepetl es elíptico, de 850 m de eje mayor y de 750 m de eje menor, con una profundidad de 250 a 300 m. En el fondo de su cráter existen varias fumarolas que sirven de respiradero al volcán, capas de rocas andesíticas muy compactas, docitas, escorias porosas cargadas de óxido de hierro y depósitos de azufre. En las paredes verticales en el interior del cráter tienen lugar constantes derrumbes y está lleno de rampas y de lomas.

El Popocatepetl es uno de los volcanes más activos de México. Desde 1354 se han registrado 18 erupciones. En 1947 ocurrió una erupción de consideración, para iniciar así un periodo de actividad. Después el 21 de diciembre de 1994 registró una explosión que produjo gas y cenizas que fueron transportados por los vientos dominantes a más de 25 km de distancia.

Actualmente su actividad es moderada, pero constante, con emisión de [fumarolas](#), compuestas de gases y vapor de [agua](#), y repentinas e imprevistas expulsiones menores de ceniza y material volcánico. La última erupción violenta del volcán se registró en diciembre de [2000](#) que motivó la evacuación de miles de personas en las áreas cercanas al volcán. El 25 de diciembre de [2005](#) se produjo en el cráter del volcán una nueva explosión, que provocó una columna de gas y cenizas de tres kilómetros de altura y la expulsión de lava.

II. Volcán de Fuego de Colima

El volcán de Fuego de Colima (figura 2), es un estratovolcán andesítico con una altura de 3860 m sobre el nivel del mar; que forma parte junto con el Nevado de Colima; de un complejo volcánico situado en la FVTM, y cuyas coordenadas geográficas 19°30'44"N y 103°37'02"W lo sitúan entre los estados de Colima (municipios de Comala y Cuauhtémoc) y Jalisco (municipios de Tuxpan, Zapotitlán y Tonila).



Fig. 2. Volcán de Fuego de Colima.
(12.- <http://www.ucol.mx/volcan/galeria.php>)

A lo largo de los últimos 500 años el Volcán de Fuego de Colima ha tenido una frecuencia de actividad de tipo explosivo con un número que supera las 30 erupciones entre las que destacan las de 1585, 1606, 1622, 1690, 1818, 1869, 1890, 1903 y 1913, por citar sólo algunas. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la actividad de menor grado, todo lo cual nos demuestra que a lo largo de los últimos siglos este volcán ha incrementado su proceso eruptivo, y la actividad que sigue manteniendo actualmente es el motivo por el cual se deben seguir realizando estudios sobre su peligrosidad y riesgo en el momento de una nueva erupción.

En la actualidad existen, tanto en los estados de Colima y Jalisco, un número de poblaciones vulnerables ante una posible erupción. El depósito de flujos piroclásticos, lluvia de pómez y cenizas y de flujos de lodo o lahares, podrían afectar en primera instancia a las poblaciones.

f) Metodología

La red actual de monitoreo de SO₂ del volcán Popocatepetl y Fuego de Colima será analizada con ayuda del software Matlab a través de programación en archivo M.

Matlab (MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

La simulación se realizará tomando en cuenta, en la medida de lo posible, las características propias de las redes existentes; es decir las estaciones que componen cada red, así como su ubicación para conocer las particularidades del relieve, los equipos de comunicación ocupado en la transmisión y recepción de datos y posibles interferencias producto de equipos que trabajen en el mismo lugar y con equipos similares.

Cabe señalar que en la representación de los radiomodems se realizará a partir de la suposición de los elementos que puedan contener internamente, basados en las funciones que realiza y la cual involucra la parte de transmisión y recepción de la señal, así como la codificación de la misma, la detección de errores con su respectiva repetición si es que la señal recibida contiene algún error, la técnica de espectro ensanchado simulada a través de la generación de vectores de frecuencias portadoras seleccionadas aleatoriamente de acuerdo a un patrón de saltos (secuencias pseudolaleatorias PN).

Una vez realizada la simulación se procederá al análisis de las redes considerando los datos obtenidos por el software y los reales que podamos disponer; tomando en cuenta las bases teóricas como la atenuación que puede sufrir la señal transmitida por pérdidas en el espacio libre, por la distancia, la vegetación, o bien por las interferencias que pueden ocasionar equipos cercanos que se encuentren trabajando en el mismo rango de frecuencias. Todos estos factores son necesarios para la correcta comprensión y evaluación de los resultados; brindando entonces, la posibilidad de determinar si la red existente es y será realmente funcional en un futuro, así como los posibles cambios que tendrían que realizarse a fin de asegurar el correcto funcionamiento de la misma.

Capítulo 2: Análisis de marcos

a) Transmisión de datos

El medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Distinguimos dos tipos de medios: guiados y no guiados. En ambos casos la transmisión se realiza por medio de ondas electromagnéticas. Los medios guiados conducen (guían) las ondas a través de un camino físico, ejemplos de estos medios son el cable coaxial, la fibra óptica y el par trenzado. Los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas se transmitan, pero no las dirigen; como ejemplo de ellos tenemos el aire y el vacío; en las tablas 1.1 y 1.2 se muestran las características de lo que son la clasificación de los sistemas de comunicación, así como las tecnologías de comunicación:

Clasificación de los sistemas de Telecomunicación		
Por la tecnología:	Por los contenidos:	Por la interactividad:
Cable	Voz	Unidireccionales
Fibra óptica	Datos	Bidireccionales
Radiocomunicaciones	Imagen	

Tabla 1.1. Clasificación de los sistemas de Telecomunicaciones

Tecnologías de comunicación		
Sistemas de difusión:	Sistemas de comunicaciones	Sistemas móviles
Radio FM	Radioenlaces	Comunicaciones CB, UHF, GSM
Radio AM	Redes VSAT	AMPS, TACS, GSM, DCS, PCS, UMTS, DECT
Televisión		MMDS, WLL, LMDS
Satélite		GEO, MEO, LEO aplicaciones DBS, VSAT, entre otras.
		IEEE 802.11, bluetooth, HomeRF, Hyperlan

Tabla 1.2. Tecnologías de comunicación

En la actualidad los principales sistemas de transmisión remota son:

- Radio
- Satélite
- Teléfono
- Red Inalámbrica

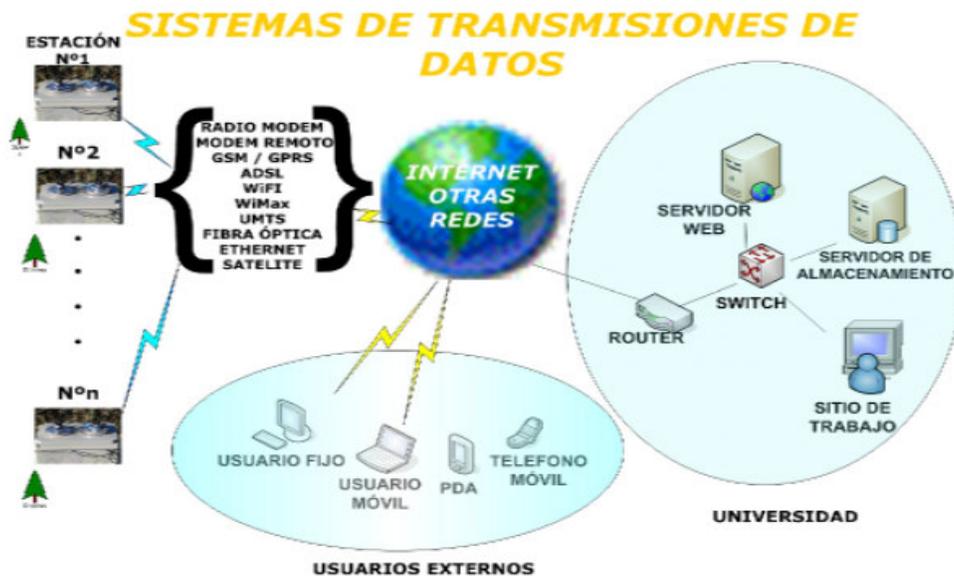


Fig. 3. Diagrama de las posibilidades de comunicación de las estaciones.
 (5.- Adquisición y Transmisión de Datos desde Meteorológicas Remotas.
 S.Rosiek F.J. Batlles. Universidad de Almería)

La figura 3 muestra un esquema general para las posibilidades de recolección de datos, desde las estaciones remotas y su transmisión hasta un ordenador central. La elección del sistema de transmisión la debemos hacer atendiendo a las siguientes consideraciones:

- Calidad y cobertura del servicio.
- Frecuencia de la transmisión.
- Cantidad de información transmitida (Kbits).
- Tipo de sistema de adquisición de datos.
- Distancia entre las estaciones.
- Interferencias.
- Fuentes de alimentación del equipo.
- Gastos de instalación y mantenimiento.
- Licencia de la frecuencia de transmisión (ejemplo: Radio).
- Posibilidades de desarrollo futuro.

Dos aspectos prácticos, que limitan a menudo la elección del sistema de transmisión son la frecuencia de transmisión y el costo de la instrumentación instalada. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, analizaremos las ventajas e inconvenientes de cada uno de los sistemas.

Las redes inalámbricas utilizan ondas electromagnéticas para transportar información de un punto a otro sin necesidad de una conexión física. Las ondas de radio frecuencia a menudo se refieren como portadoras de radio, debido a que su única función consiste en entregar la energía que conllevan al receptor remoto.

Los datos que deseamos transmitir se añaden sobre la portadora de forma tal que en el lado receptor puedan recuperarse de manera precisa, este proceso es conocido como "modulación de la portadora", por la información que se desea transmitir. Una vez que la portadora ha sido modulada, la señal de radio ocupa más de una frecuencia, ya que la frecuencia de la información moduladora se añade a la portadora.

Pueden existir varias portadoras en el mismo espacio de forma simultánea, sin interferirse mutuamente, siempre y cuando se transmitan en diferente frecuencia. Para extraer los datos, el receptor de radio se sintoniza para seleccionar una frecuencia de radio y rechazar señales en otras frecuencias.

En la configuración típica de una WLAN, un dispositivo transmisor/receptor (denominado punto de acceso) se conecta a la red alamburada desde un punto fijo utilizando un cable Ethernet estándar. El punto de acceso o la antena asociada al punto de acceso usualmente se monta en un punto alto; sin embargo, puede colocarse en cualquier lugar práctico, siempre y cuando se obtenga la cobertura deseada. Los usuarios finales acceden la WLAN a través de adaptadores inalámbricos, implementados en tarjetas PC para computadoras portátiles, adaptadores ISA o PCI para computadoras de escritorio o mediante adaptadores totalmente integrados en asistentes personales digitales (PDA, por las siglas de Personal Digital Assistant).

La distancia sobre la cual los dispositivos de radio frecuencia se pueden comunicar depende del diseño de los productos, de las interacciones con cualquier tipo de construcción y hasta con las personas, que también pueden afectar la forma de propagación de las ondas.

La radio tiene la posibilidad de mandar y recibir mucha información con un reducido costo de la transmisión, y es también una buena alternativa en el caso de la ausencia de líneas telefónicas. El principal inconveniente es la dificultad de obtener un permiso para la frecuencia de transmisión y el elevado costo de la instalación, fundamentalmente debida a los amplificadores.

La ventaja fundamental de los satélites es su gran cobertura espacial y temporal, así como su utilización en lugares que no tengan a su alcance líneas de teléfono. Su inconveniente radica fundamentalmente en el elevado costo de su instalación y mantenimiento.

Con respecto a las redes inalámbricas (WiFi y WiMax) cabe destacar su elevada velocidad de transmisión, y su limitado rango de cobertura, siendo éste del orden de 200 m para WiFi. La ventaja fundamental de la tecnología WiMax sobre WiFi radica en el hecho de su mayor cobertura, siendo del orden de 50 km. El inconveniente fundamental del WiMax es el alto costo de la instalación.

En los últimos años está teniendo un gran auge el uso de la telefonía móvil. Una herramienta de la telefonía móvil es la tecnología GSM/GPRS que se utiliza para transmitir datos remotos. La principal ventaja es su flexibilidad e ilimitado alcance, aunque éste está restringido por la cobertura de una compañía móvil. Otra ventaja es el bajo costo de la cantidad de datos transmitidos, así como el control remoto del equipo.

- ❖ Las características y la calidad de la transmisión de datos están determinados por la naturaleza de la señal y la naturaleza del medio.
- ❖ En el caso de medios guiados (tabla 1.3), el medio es el factor más importante que limita las tasas de transmisión alcanzadas

Medio de Transmisión	Tasa de transmisión total	Ancho de banda	Espacio entre repetidores
Par trenzado	4 Mbps	250 kHz	2-10 km
Cable Coaxial	500 Mbps	350 MHz	1-10 km
Fibra óptica	2 Gbps	2 GHz	10-100 km

Tabla 1.3. Características de transmisión de medios guiados

Banda de Frecuencia	Datos Análogos			Datos Digitales		Aplicaciones Principales
	Nombre	Modulación	Ancho de Banda	Modulación	Tasa de Transmisión	
30 - 300 kHz	Low Frequency (LF)	Generalmente no práctica		ASK, FSK, MSK	0.1 - 100 bps	Navegación
300 - 3000 kHz	Medium Frequency (MF)	AM	A 4 kHz	ASK, FSK, MSK	10 - 1000 bps	Radio AM comercial
3 - 30 MHz	High Frequency (HF)	AM, SSB	A 4 kHz	ASK, FSK, MSK	10 - 3000 bps	Radio de onda corta (CB)
30 - 300 MHz	Very High Frequency (VHF)	AM, SSB; FM	5 kHz a 5 MHz	FSK, PSK	A 100 kbps	Televisión VHF, radio FM
300 - 3000 MHz	Ultra High Frequency (UHF)	FM, SSB	A 20 MHz	PSK	A 10 Mbps	Televisión UHF, microondas terrestre
3 - 30 GHz	Super High Frequency (SHF)	FM	A 500 MHz	PSK	A 100 Mbps	microondas terrestre, microondas satélite
30 - 300 GHz	Extremely High Frequency (EHF)	FM	A 1 GHz	PSK	A 750 Mbps	Experimental

Tabla 1.4. Características de bandas de comunicación no guiadas

- ❖ Para medios no guiados (tabla 1.4), la directividad de la señal que transmite la antena es importante.
- ❖ Las señales de baja frecuencia son omnidireccionales.
- ❖ Las señales de alta frecuencia son direccionables.

Ondas de Radio:

- ❖ Cubren un rango de 30 MHz a 1 GHz.
- ❖ Transmisión omnidireccional.
- ❖ Adecuado para aplicaciones *broadcast*

Comparación entre las microondas y las ondas de radio:

- La diferencia principal entre radio y microondas es que las señales de radio son omnidireccionales.
- No requiere antena alineada y en forma de plato, ni montadas de manera rígida
- Cubre la banda VHF y parte de la banda UHF: de 30 MHz a 1 GHz
- Este rango cubre radio FM, UHF y televisión VHF.
- El rango de 30 MHz a 1 GHz es adecuado para comunicación broadcast.
- Las ondas de radio son menos susceptibles a atenuación causada por lluvia.
- Para la comunicación de datos, es posible alcanzar sólo tasas del orden de los Kilobits por segundo.
- La distancia máxima entre el transmisor y el receptor es: $d = 7.14\sqrt{Kh}(m)$

Donde:

d : distancia;

h : altura;

K : factor relacionado con la curvatura de la tierra.

- Dado que la longitud de onda es mayor, las ondas de radio presentan menos problemas de atenuación que las microondas.

b) Factores que influyen en las comunicaciones

En primera instancia se hablara un poco de las ondas de radio UHF, ya que el radiomodem utilizado para la transmisión de datos trabaja en este rango de frecuencias; por lo que se hace

imprescindible conocer las principales características de estas frecuencias, así como los factores que pueden ocasionar la pérdida o atenuación de las señales.

Ondas de radio UHF

La banda del espectro electromagnético Ultra High Frequency (UHF) ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz, es decir, su longitud de onda va de 1 m a 10 cm, por lo que las antenas son relativamente pequeñas en tamaño físico, de unos cuantos centímetros. En esta banda se produce la propagación por onda espacial troposférica; por lo que es necesario tener línea de vista para establecer la comunicación, además de considerar que la propagación y la polarización de la señal pueden cambiar de acuerdo al efecto combinado del campo magnético de la Tierra y la concentración de iones libres en la atmósfera.

Dentro de los factores que influyen en las comunicaciones en esta banda de frecuencias se tienen las inherentes al hombre y las ocasionadas por la naturaleza, de las que enseguida serán mencionadas.

I. Inherentes al hombre

Existen dos tipos básicos de interferencias producto de la intervención del ser humano; como lo son las físicas y las debidas a las frecuencias de radio.

Las físicas absorben o reflejan la señal inalámbrica; por ejemplo el concreto absorbe y puede matar rápidamente las señales de radio, y el acero u otras superficies metálicas las reflejan, por lo que inician su propia retransmisión agregando distancia al envío en vez de bloquearla.

Por otra parte; las interferencias de radio frecuencia RFI, son causadas por muchos factores y fenómenos, incluso relámpagos, cambio de carga, generadores, transmisores de radio y equipos industriales. Sin embargo, los equipos con Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS) vencen la RFI utilizando múltiples frecuencias, ya que es una diferente por cada transmisión. Así, si una frecuencia es bloqueada, la unidad de envío simplemente salta a otra frecuencia. La mejor implementación de FHSS también contiene reconocimiento de envío y recepción por cada mensaje para disparar en forma inmediata un reenvío de datos si el mensaje no es recibido adecuadamente.

Estos radios usan un ancho de banda de 26 MHz, de 902 a 928 MHz, y cada uno opera en 63 diferentes frecuencias, al azar, permaneciendo únicamente 20 mseg en cada una; pasando sobre

otros usuarios en el área; lo que significa que cualquier otro radio trabajando cerca puede bloquear un sistema SSP (Spread Spectrum Power) por una fracción de segundo únicamente en tal frecuencia, lo que no es notable en aplicaciones industriales; además de que como los radios SSP permanecen tiempos tan cortos en una frecuencia específica, no hay interferencia notable entre ellos; por lo que hasta 100 sistemas SSP pueden operar dentro de una misma área sin degradación notable de la señal.

Cabe destacar que aunque estos equipos presentan gran inmunidad a la interferencia (pues sin importar que tan fuerte sea ésta, mantendrán su comunicación) es recomendable colocar al transmisor fuera de las computadoras, teléfonos, contestadores automáticos y otros equipos similares, ya que otras antenas en la proximidad son una fuente potencial de interferencia o bien pueden provocar algunos problemas de ruido. En casos extremos, como cuando la interferencia se debe a una torre telefónica, el filtro pasa banda que ofrecen algunos radios, puede reducir dicha banda de ruido.

Por otro lado, los receptores tienen pérdidas significativas en la señal debido a la saturación en la entrada del receptor; aunado a que el espectro ampliado por sí solo no garantiza la inmunidad al desvanecimiento, por lo que se hace necesario mover la antena $1/4\lambda$, para incrementar la magnitud de la señal en ambientes ruidosos y se pueda corregir dicho desvanecimiento.

II. Inherentes a la naturaleza

Las pérdidas en el espacio libre representan la mayor atenuación que pueden sufrir las señales de radio, en el caso de los efectos naturales. Sin embargo, aquí se deben considerar otros mecanismos físicos que pueden provocar el desvanecimiento de la señal, como lo son la distancia, la vegetación y el multitrayecto.

i. Atenuación en el espacio libre:

Si la antena emisora es isotrópica la potencia emitida por unidad de área de la superficie de una esfera (densidad de potencia) es:

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi d^2}$$

Donde P_t es la potencia transmitida por la antena y d es la distancia entre las antenas y el punto bajo estudio (radio de la esfera).

El área efectiva de una antena receptora se define como la superficie del frente de onda plano con densidad de potencia P_d que dispone de una potencia equivalente a la entregada por la antena. Para la antena isotrópica el área eficaz es:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Donde λ es la longitud de onda del campo radioeléctrico. Por ejemplo, para una frecuencia de 900 (MHz) con longitud de onda de 33.33 cm el área efectiva es de 88.92 cm². Se entiende entonces el hecho de la baja potencia captada.

Relacionando ambos elementos se dispone de la potencia de recepción P_r en función de la potencia de transmisión P_t para antenas isotrópicas:

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

La potencia recibida es inferior a la transmitida debido a la imposibilidad de captar toda la potencia generada. Se puede expresar como una atenuación (por la propagación en el espacio libre de obstáculos) entre antenas isotrópicas. El valor de la atenuación por espacio libre se expresa como:

$$L = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = 32.5 \text{ dB} + 20 \log(f d)$$

Con la frecuencia f en MHz, la distancia d en km y la atenuación L en dB.

Margen de desvanecimiento FM:

El Margen de Desvanecimiento (Fading Margin, por sus siglas en inglés; FM) es la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida P_n y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER (denominada potencia umbral del receptor P_u).

$$FM = P_n - P_u$$

La potencia de recepción nominal se obtiene restando a la P_t en dBm las atenuaciones debidas a filtros y circuladores (branching) A_b , a cable coaxial o guía de onda A_g , al espacio libre L y sumando las ganancias de las antenas G_a . En términos matemáticos:

$$P_n = P_t - A_{b1} - A_{g1} + G_{a1} - L + G_{a2} - A_{g2} - A_{b2}$$

Los valores de atenuación por filtros son cercanos a 0.2 dB dentro de la banda de paso. Los circuladores producen una atenuación en el sentido directo cercano a 0.2 dB. Por ello el valor A_b depende del número de componentes en el branching.

La atenuación de cable coaxial o guía de onda se expresa en dB/100m de longitud y es una función directa de la frecuencia de trabajo. La ganancia de la antena se expresa en la dirección de la máxima directividad y es función directa de la frecuencia. La potencia umbral del receptor P_u se determina para los umbrales de BER en 10^{-3} y 10^{-6} .

Los principales factores que modifican la propagación en el espacio libre son la atmósfera y el suelo, determinado por los siguientes fenómenos que provocan:

❖ Atmosféricas, que comprenden:

➤ **Refracción:**

La capa troposférica se encuentra en los 11 km y los 16 km, y está formada por masas de aire de diferentes temperaturas y humedad. Cuando se da una transición aguda de un frente frío seco y un frente húmedo caliente, se le llama inversión térmica.

Cuando la transición es muy fuerte, provoca la refracción de ondas, es decir conforme varía la altura, se produce variaciones en el índice de refracción n , ocasionando la curvatura de los rayos, una desviación de la trayectoria proporcional al índice de refracción; así las ondas pueden llegar sólo a unos cientos de km dependiendo de la altitud donde se produjo la inversión. En raras ocasiones pueden darse dos o más inversiones a la vez en diferentes alturas. Entonces la onda puede ser transportada en un espacio situado entre dos inversiones llamado túnel. Normalmente las inversiones se desarrollan bajo la influencia de sistemas de altas presiones (anticiclones) cuando apenas hay movimiento en el aire, o bien en los sistemas de bajas presiones (borrascas) que también pueden producir inversión del gradiente de temperatura al chocar masas de aire caliente con masas de aire frío, generando canales de ionización, los cuales son ideales para que las ondas de radio puedan viajar.

La figura 4 muestra el efecto que tiene la capa troposférica en las señales de RF a altas frecuencias.

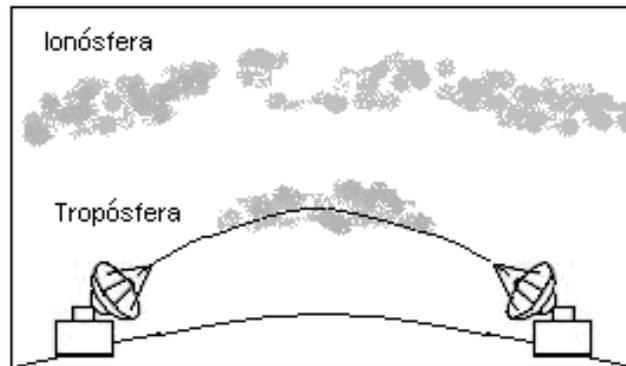


Fig. 4. Propagación de RF en la troposfera.
(13.- Capítulo 1, Propagación de RF,

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf)

➤ **Absorción:**

La absorción atmosférica es causada por la presencia de gases, principalmente oxígeno y vapor de agua, y se debe a que la estructura de las moléculas hace que se comporten como dipolos eléctricos o magnéticos. Al incidir sobre ellas campos electromagnéticos producen movimientos rotacionales o de oscilación de estas moléculas, por lo que hay una transferencia de energía electromagnética a energía mecánica (calor) que atenúa el campo. En el caso del oxígeno el fenómeno se debe al dipolo magnético y el de vapor de agua se debe a que las moléculas tienen un momento eléctrico.

➤ **Dispersión:**

La presencia de gotas de agua por lluvia, niebla o nubes y la de partículas de hielo por nieve y granizo produce una reirradiación de energía electromagnética, es decir, una disminución de la señal en el radioenlace. En comunicaciones de radio es importante mencionar que la dispersión de la señal generada por lluvia depende de la comparación del tamaño de la longitud de onda de la señal y el diámetro de la gota de lluvia. Si el diámetro de la gota de lluvia es menor a la longitud de onda la atenuación será pequeña, pero esta se acrecentará si el diámetro de la gota supera a la longitud de onda de la señal.

❖ Y por el suelo, que involucra:

➤ **Reflexión:**

Las ondas de radio atraviesan las diversas capas de la atmósfera, desde la tropósfera hasta la ionósfera y si los índices de refractividad de cada una de estas capas son muy diferentes, estos distintos índices pueden llegar a producir reflexión total, siendo las frecuencias superiores a 30 MHz las más propensas a estas desviaciones de trayectoria.

➤ **Difracción:**

Se puede entender a la difracción como el esparcimiento de las ondas en los límites de una superficie, esto quiere decir que para que exista la difracción tiene que haber un obstáculo, así es como este fenómeno que parte de la señal llegue al otro lado del objeto. Este fenómeno es de gran utilidad para las zonas de sombras de señal que pueden ser producidas por grandes edificios o montañas.

Como una antena se asimila a un emisor de un frente de onda en expansión, el efecto de la difracción sobre la propagación de acuerdo con el principio de Huygen; cada elemento del frente de la onda produce un frente de onda secundario; a la antena receptora llega señal desde cada punto del frente de onda (señal difractada); existen entonces infinitos caminos que unen las antenas. Como los rayos así difractados recorren un camino más extenso llegan con un cierto retardo que puede producir una interferencia que se suma o se resta de acuerdo con la fase relativa. El efecto queda determinado por una familia de elipsoides de Fresnel con focos en las antenas, como se puede apreciar en la figura 5, donde se observa un elipsoide genérico con un corte transversal; denotando circunferencias que determinan las zonas correspondientes a cada elipsoide de dicha familia.

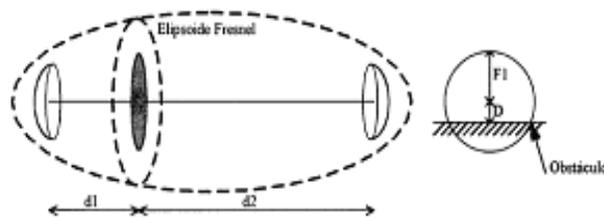


Fig. 5. Elipsoide de Fresnel
(13.- Capítulo 1, Propagación de RF,
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf)

Zonas de Fresnel

Se denominan zonas de Fresnel a las coronas circulares concéntricas determinadas por los rayos difractados que se suman en fase y en contrafase en forma alternada. Dentro del elipsoide de revolución, la primera zona de Fresnel se caracteriza por el radio F_1 a una determinada distancia de la antena. La relación entre los distintos elementos que intervienen esta dada por:

$$F_N = 550 \sqrt{\frac{Nd_1d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$

Donde d_1 y d_2 corresponden a las distancias desde las antenas en km, f es la frecuencia en MHz y N es el número del elipsoide. El valor de FN resulta en metros.

Las zonas pares ($N = 2, 4, 6$, etc) tienen una contribución sustractiva de potencia pues el rayo directo y el difractado se suman en contrafase y las zonas impares tienen una contribución aditiva. La potencia de recepción es la suma de todas las contribuciones; las amplitudes de estas contribuciones disminuyen en la medida que se incrementa el orden N . Las zonas de Fresnel aportan una intensidad de campo proporcional a la superficie de la zona y a un factor de oblicuidad. A causa de este factor el aporte de cada zona disminuye con el orden de la zona. En conjunto el aporte combinado desde la zona 2 en adelante es solo la mitad del aporte de la primera zona.

En la figura 6 se muestra la atenuación introducida por el obstáculo en función de la relación entre el despejamiento (la distancia existente entre la trayectoria del rayo y un punto del terreno) y el primer radio de Fresnel D/F_1 .

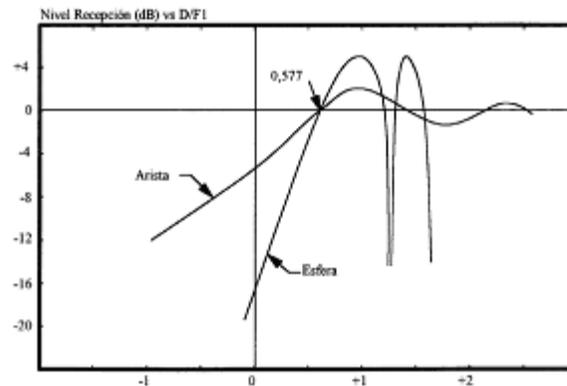


Fig. 6. Efecto de la difracción en la atmósfera.
(13.- Capítulo 1, Propagación de RF,

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf)

El radio de la primera zona de Fresnel permite definir la condición de visibilidad entre antenas, de forma que mientras no exista un obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel se considera que la trayectoria no ha sido obstruida. Por el contrario, cuando el obstáculo se encuentra dentro de la primera zona de Fresnel existirá una disminución apreciable en la potencia recibida, por lo que se considera que la trayectoria ha sido obstruida y deberá considerarse el efecto de la difracción. De forma práctica, al estar la energía concentrada cerca del rayo directo, si el obstáculo no penetra en más de un 40% del radio de la primera zona de Fresnel se suele considerar que dicho obstáculo no contribuye significativamente a la atenuación por difracción; es decir, si se dispone de un

despejamiento equivalente a $D = 0.6F_1$ se compensa la atenuación producida sobre las zonas pares con las impares y el nivel de recepción es equivalente al obtenido en el espacio libre de obstáculos.

Como se mencionó anteriormente, otros fenómenos importantes a tomarse en cuenta para la atenuación de las ondas de radio los constituyen:

ii. Distancia:

Generalmente en un sistema de microondas la distancia real de transmisión se ve reducida por las diversas interferencias, por lo que la propagación de ondas en este rango de frecuencias se produce generalmente con una línea de vista directa entre las antenas.

Existe una considerable compensación entre distancia, velocidad de datos, potencia suministrada y vida útil de la batería. La alimentación del radiotransmisor requerida para enviar una señal sobre una distancia dada, es proporcional al cuadrado de esa distancia, es decir que se requiere cuatro veces esa potencia para duplicar la distancia a recorrer.

La potencia del radiotransmisor de banda libre está limitada a 1 W por la Comisión Federal de las Comunicaciones en los Estados Unidos (Federal Communications Commission, FCC). Para un determinado nivel de potencia, la distancia decrece no linealmente a medida que la frecuencia crece. En un ambiente industrial, la onda de radio de 900 MHz viajará más de 4 veces la distancia de una onda de radio de 2.4 GHz, con el mismo nivel de potencia.

En la figura 7 se representan las pérdidas de propagación en función de la distancia entre antenas y para varias frecuencias. Como se observa, la atenuación aumenta cuadráticamente con el producto distancia-frecuencia.

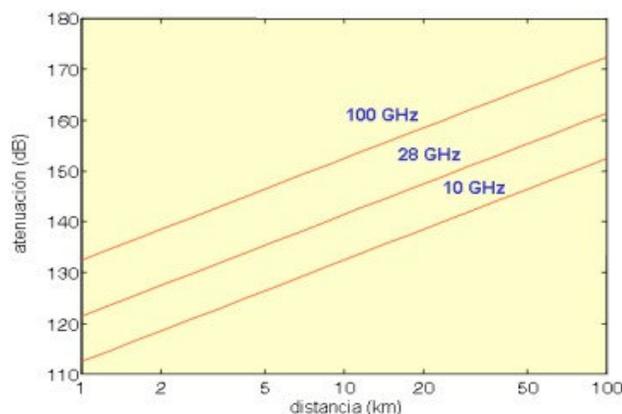


Fig. 7. Atenuación de espacio libre en función de la distancia y para distintas frecuencias.

iii. Vegetación y de las reflexiones multicamino

Un factor importante de degradación en sistemas que operan a frecuencias milimétricas, lo constituye la vegetación existente en las inmediaciones del radioenlace. Estos sistemas se caracterizan por emplear enlaces cortos (2 a 6 km) con visión directa entre las antenas, pero en ciertas ocasiones el radioenlace puede verse accidentalmente obstruido por árboles o incluso techos de edificios en entornos urbanos; como se puede apreciar en la figura 8, donde se aprecian las antenas transmisora y receptora, así como la obstrucción por accidentes naturales en la línea de vista entre las mismas.

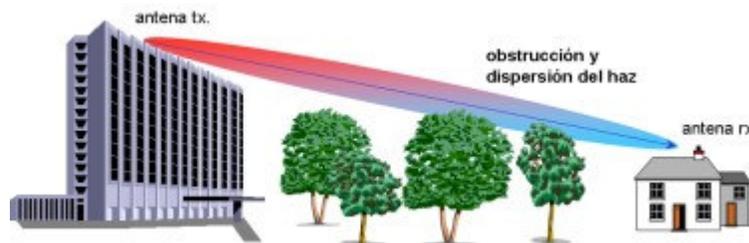


Fig. 8. Obstrucciones y dispersión por la vegetación

En esta situación, el campo electromagnético presente en la antena receptora puede modelarse como la suma de la onda proveniente directamente del transmisor y multitud de pequeñas ondas dispersadas por los edificios adyacentes y por las hojas de los árboles cercanos.

La vegetación debe considerarse en zonas abiertas ya que se podrían producir pérdidas del orden de 15 a 20 dB. La expresión para calcular las pérdidas por vegetación, válidas para frecuencias comprendidas entre 200 MHz y 95 GHz, es:

$$L = 0.2 f^{0.3} R^{0.6} (dB)$$

Donde, la frecuencia se expresa en MHz y la longitud R de la arboleda en m, aunque si $R > 400$ m se considera $R = 400$ m. El valor real es función de la densidad de la vegetación, la humedad de las hojas, la presencia de nieve acumulada en el follaje, etc. Cuando la arboleda se encuentra cerca de la antena la onda se propaga en su interior y sufre una atenuación por absorción. En cambio, si la arboleda se encuentra lejos de la antena se comporta como un obstáculo y produce difracción.

c) Efectos de los fenómenos volcánicos en las telecomunicaciones

Los productos volcánicos son básicamente:

- Gases
- Coladas lávicas
- Materiales fragmentados (caída y proyección balística de piroclastos)

La tabla 1.5 muestra los principales factores, así como los daños que pueden ocasionar los fenómenos volcánicos:

Factor de peligro	Tipo de daño en personas	Tipo de daño en obras de infraestructura	Tipo de daños en animales y vegetación
Lluvia de cenizas	Peligroso. Oscurecimiento y contaminación del aire.	Contaminación de aguas, bloqueo de caminos, interrupción de ondas de radio y TV, corrosión y abrasión, colapso de estructuras.	Peligroso, con pérdidas de animales por decrecimiento de la cobertura vegetal.
Emisión de gases	Peligroso (depende de la concentración).	Contaminación del aire.	Peligroso para animales y plantas
Flujos piroclásticos	Muy peligroso a letal.	Destrucción y rotura, aumentos de caudal de los cursos fluviales.	Muy peligroso a letal.
Coladas lávicas	Letal en la zona del flujo.	Destrucción total en la zona del flujo.	Letal en la zona del flujo.

Tabla 1.5. Factores de peligro y daños que pueden ocasionar los fenómenos volcánicos

I. Efectos de las cenizas volcánicas en las telecomunicaciones.

La ceniza volcánica fresca es abrasiva, algunas veces corrosiva, por lo que la ceniza desgasta y atasca la maquinaria. Contamina y obstruye la ventilación, suministros de agua y drenajes. La ceniza también causa cortos circuitos eléctricos en las líneas de la transmisión (sobre todo cuando está mojada), en las computadoras, y en los componentes electrónicos. La energía eléctrica a menudo queda fuera después de la caída de ceniza. Así mismo puede afectar el funcionamiento de los elementos electro-mecánicos como son los switches al causarles ruido; provocar incendios en postes eléctricos de madera por la acumulación excesiva de calor de los depósitos de ceniza mojada.

Los daños en las computadoras y equipos electrónicos a causa de la ceniza volcánica pueden ocurrir por la corrosión química en los contactos debido a su alta conductividad, además de que en los componentes eléctricos pueden causar sobrecalentamiento debido a la reducción en la ventilación.

En general, la severidad y la frecuencia de estos problemas se pueden reducir a través de una buena limpieza y mantenimiento, por lo que hay que tomar ciertas medidas.

- Los sistemas sensibles como las computadoras, deben ser aislados del polvo y las cenizas; ya que es donde se almacena toda la información.
- Aislar eléctricamente todos los sistemas antes de tratar de limpiarlos o darles mantenimiento.
- Mantener a los dispositivos de estado sólido bien protegidos, como son la mayoría de los gabinetes.
- Mantener limpios los componentes eléctricos, ya que el exceso de calor generado por los componentes individuales, como bombillas o motores pequeños al cubrirse de cenizas pueden causar incendios o bien, acortar su vida útil.

Por otro lado; las condiciones atmosféricas creadas por la presencia de ceniza volcánica pueden causar y acelerar la corrosión, puesto que las erupciones volcánicas inyectan vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF) en la atmósfera. Los ácidos clorhídrico y fluorhídrico pueden disolverse en el agua y caer como lluvia ácida, y el SO_2 se convertirá en ácido sulfúrico (H_2SO_4). Esas gotas de ácido a menudo se encuentran presentes en las partículas de ceniza.

Por lo que, la exposición prolongada a la ceniza volcánica por la electroquímica puede causar la corrosión galvánica en las películas de óxido de los metales, ya que la corrosión es la degradación de un material expuesto al aire y a los contaminantes en el aire.

El desgaste abrasivo se retiene en un material o se desplaza en su superficie a través de sus partículas, ya que depende de las características de éstas como son su dureza, su forma y su tamaño. Así la exposición a largo plazo de la ceniza húmeda puede corroer los metales causando graves daños a los equipos.

Aunado a esto, la caída de ceniza bloquea la luz del sol, reduciendo la visibilidad, causando algunas veces, la oscuridad. La caída de ceniza puede también estar acompañada por relámpagos; por lo que puede ocasionar Interferencia Electromagnética (EMI) e Interferencia de Radio (RFI), lo cual conlleva a una alteración de la onda senoidal uniforme que transportan las señales.

Así la ceniza puede destruir la infraestructura de comunicaciones y energía eléctrica. Anular las comunicaciones inalámbricas como telefonía, satélites, postes telefónicos y telégrafos, los equipos electrónicos puede sufrir importantes daños, cortocircuitos e interferencias de radio y televisión. La

acumulación de cenizas en paneles solares puede ocasionar la pérdida de energía en equipos que dependen de ellos.

Durante los últimos 25 años, el mundo se ha vuelto cada vez más dependiente de la electrónica y la tecnología de la computación, sin embargo todavía no ha habido ningún estudio a gran escala de los efectos de ceniza en las comunicaciones, y por tanto su vulnerabilidad ante un posible evento.

II. Efectos de productos Balísticos o piroclásticos en las telecomunicaciones.

Los productos balísticos son una amenaza para la seguridad de las personas y animales que se encuentran cerca de una boca eruptiva, debido a la fuerza del impacto de los fragmentos al caer. La lluvia de piroclastos es, sin embargo, el peligro volcánico de mayor alcance, ya que afecta a áreas extensas que se ubican en la dirección hacia donde sopla el viento. Tanto más fuerte sople el viento y tanto más alta sea la columna, tanto más lejos llegarán los productos piroclásticos, particularmente las cenizas.

Las explosiones volcánicas arrojan fragmentos conocidos como proyectiles volcánicos balísticos (VBP), siguiendo una trayectoria parabólica modificada por una fuerza de fricción antes de impactarse con la superficie de la tierra, estas explosiones representan un peligro para la vida. La mayoría de estos eventos se calculan con velocidades iniciales durante la explosión tomando en cuenta la distancia máxima alcanzada desde el cráter.

Para poder realizar este cálculo se tiene que tomar en consideración un modelo basado en las fuerzas principales que actúan sobre VBP, que son la fuerza de gravedad y la fuerza de fricción. El retardo es proporcional al coeficiente de fricción (C_d) cuyos valores están determinados experimentalmente. Afortunadamente los valores existentes del coeficiente de fricción son únicamente para cuerpos geométricos y no existen datos para partículas volcánicas.

Para determinar las áreas con potencial de impactos balísticos es necesario estimar el rango máximo bajo diferentes casos (escenario) de explosión, definidos por sus características de energía cinética, para ello la balística de los proyectiles alcanzan la distancia máxima desde el cráter de acuerdo a la energía cinética máxima de cada caso o área, las trayectorias descritas por la balística de los proyectiles están determinados por la gravedad y las fuerzas de fricción. Las fuerzas de fricción dependen entre otros factores del coeficiente de fricción (una función de la geometría de la balística) el rango máximo de los proyectiles depende también en su energía

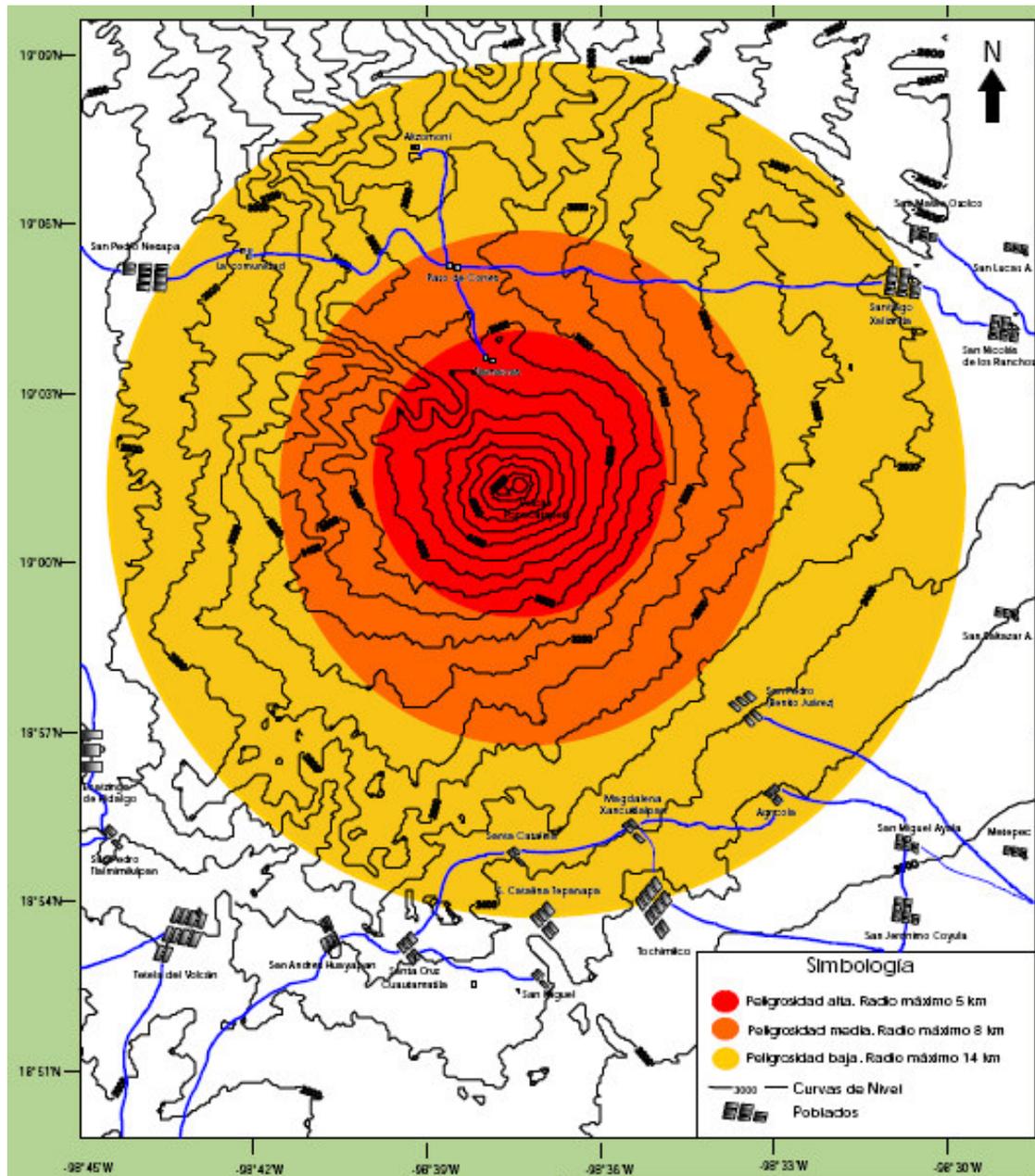


Fig. 10. Mapa de peligros del volcán Popocatepetl
 (14.- http://docencia.izt.uam.mx/ruth/Mecanica_y_Fluidos/practicas/balisticos.pdf)

d) Características y condiciones necesarias para implementar una red de telemetría apropiada.

La figura 11 muestra las diferentes etapas y factores a considerarse en el proceso de diseño e implementación de una red. Cabe mencionar que se debe poner especial cuidado en la primera etapa de "Evaluación de necesidades y costos", ya que si se cometen errores en ésta, las siguientes etapas arrojarán resultados erróneos, por tanto, esta etapa requiere una atención

especial por parte de los administradores de red, pues todas las demás etapas se apoyan en los resultados obtenidos en esta etapa.

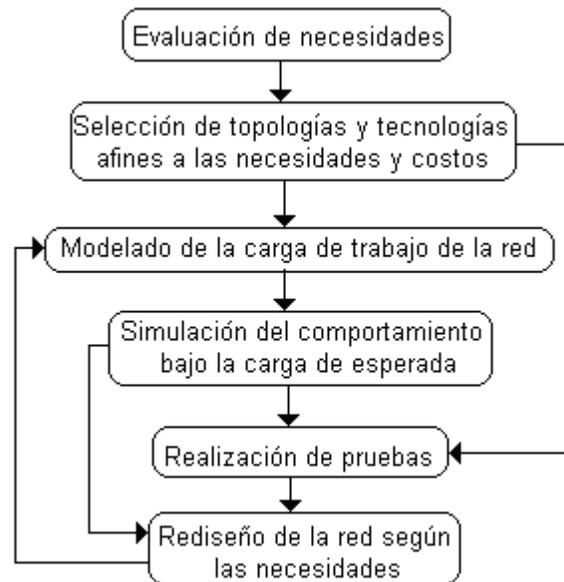


Fig. 11. Etapas de diseño e implementación de una red

En esta etapa es importante considerar todo lo relacionado con la funcionalidad de la red que va a ser diseñada o modificada, desde sus necesidades, infraestructura, personal, software, crecimiento, etc.

Se requiere de esta etapa, ya sea para adquirir el equipo necesario o en caso de que la red vaya a ser rediseñada, evaluar la infraestructura existente, para ver cual equipo, según las necesidades de la red será reemplazado o en caso de necesitar alguna otra tecnología, se justifique su adquisición. De igual manera, la evaluación del conocimiento del personal, pues es importante contar con los recursos humanos capacitados para la configuración y resolución de fallos inesperados, y así poder garantizar el correcto funcionamiento de la red.

En seguida se listan los aspectos a considerar para llevar a cabo una buena evaluación de necesidades y costos:

- Infraestructura actual de hardware.
- Tipo de información que circulará en la red.
- Crecimiento esperado a corto y mediano plazo.

Selección de topologías y tecnologías afines a las necesidades y productos

La selección de la topología junto con las tecnologías de interconexión juegan un papel muy importante al diseñar una red, es por ello que si se selecciona una topología inadecuada según las necesidades de la red y a ésta se le asignan dispositivos de interconexión sin el análisis necesario, se podrán generar dominios de colisión muy grandes en la red y por ello, la red tendrá un rendimiento de operaciones muy bajo, de tal forma que no arrojará los resultados esperados. Si a esto se le suma el descuido de no analizar los medios para transmitir la información en la red, resulta obvio que el tráfico por la carga de trabajo en la red, no será el calculado y por ende no se alcanzarán las velocidades esperadas.

Cuando se habla de redes físicas se hace referencia a la capa física y de enlace de datos, y cómo será configurada de acuerdo a las topologías existentes, junto con los medios físicos que la constituirán.

Características a considerar para una red física:

- Tráfico y carga de trabajo esperados sobre el medio de transmisión.
- Equipos de interconexión.
- Medios de transmisión disponibles.
- Velocidades esperadas.
- Costos de los equipos de interconexión y medios de transmisión.

Características a considerar para una red lógica:

- Nivel de procesamiento del tráfico esperado sobre software de análisis.
- Tecnologías afines disponibles de monitoreo y estándares.
- Costo de tecnologías propietarias.

Interfaces de red:

- Tipo de enlace de cada una de las conexiones.
- Unidad máxima de transferencia MTU (Maximum Transfer Unit) de cada interfaz

Esta información proporciona una idea de cómo se conecta el dispositivo a la red, ayudando a tener un panorama general de ésta.

Modelado del tráfico de la red

Teniendo ya todo el modelo o mapa físico de la red, es importante observar qué tipo de tecnologías son usadas para controlar el tráfico de la red y los dispositivos que implantan dichas tecnologías.

Se debe detectar la existencia de dispositivos que estén dedicados a un cierto tipo de tráfico, y en que segmento de red se encuentran.

Determinación de los niveles de confianza

Se llama nivel de confianza al estado que guarda cierto dispositivo o conjunto de dispositivos (en un segmento) con relación al estado ideal de dicho dispositivo o segmento de red, considerando aspectos como:

- Funcionalidad.
- Disponibilidad.
- Seguridad.

Evaluación de costos

- Mejora de equipo existente

Se consideran los dispositivos con un nivel de confianza medio, y se estima el costo total para llevarlos a un nivel de confianza alto.

- Adquisición de nuevo equipo:

Se cotizan dispositivos que cumplan con el perfil de confianza alto, para reemplazar aquellos con nivel bajo de confianza y/o para cubrir necesidades faltantes. El estimado total considerando mejoras y adquisiciones, sirve como base para establecer las necesidades de hardware.

Rendimiento de los dispositivos de la red

Una vez seleccionadas las tecnologías según las necesidades o requerimientos de la red, se prosigue a la evaluación del rendimiento. Generalmente los diseñadores y administradores de redes llevan a cabo una simulación del comportamiento de la red con herramientas de software, capaces de modelar el comportamiento de todo tipo de redes.

Modelado de la carga de trabajo de la red

Llegado a este punto, donde ya se tiene la red lógica y la red física, y por consiguiente ya se cuenta con el mapa de la red en donde se ha definido la topología, el número de equipos, etc; es el momento de someter a la red al procesamiento de las actividades de una empresa o institución para la cual fue diseñada según las necesidades de la misma.

Simulación del comportamiento bajo la carga esperada

De esta manera, se simula la red mediante un software especializado en ello, como lo es en este caso de Matlab, el cual es capaz de involucrar una gran variedad de características particulares de la misma; como lo son el flujo de mensajes de datos, paquetes perdidos, mensajes de flujo de control, caídas de los enlaces y retardo entre el envío y recepción de datos, son algunas de las parámetros que nos permiten estudiar este simulador; proporcionando la forma más efectiva para demostrar las condiciones en las que está operando la red en cuestión.

Realización de pruebas

Una vez planteada la red con las características de los equipos y de condiciones lo más cercanas posibles a las reales en el entorno del simulador en cuestión, y obtenidos ya los primeros resultados; se proceden a realizar diferentes simulaciones con el cambio en los parámetros apropiados y la infinidad de escenarios posibles con el fin de obtener los resultados más óptimos. Cuando los resultados del software se salen de los límites esperados, se utilizan los datos obtenidos para un rediseño futuro ó inmediato de la red.

Rediseño de la red según las necesidades

Después de haber sometido a las diversas simulaciones y haber sometido a la red que se está diseñando a las diferentes pruebas, generalmente siempre se requiere hacer algún tipo de ajuste a dicho diseño. De ser así se debe regresar a la etapa de modelado de la carga de trabajo de la red.

En el caso de que la red ya exista y en ella se practique las diferentes pruebas, es posible que la red se encuentre trabajando con un tráfico que supera al previsto originalmente. Esta situación llevará al análisis de los datos obtenidos y con ello se hará necesario regresar a la etapa de modelado de carga de trabajo, para un rediseño óptimo de la red en cuestión.

Capítulo 3: Redes de transmisión de datos

a) Proyecto NOVAC

La Red para la Observación de Cambios Volcánicos y Atmosféricos NOVAC ("Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change") es un proyecto científico puesto en marcha desde el 1º de octubre del 2005 mediante el financiamiento de la Unión Europea; que consiste en una red global de monitoreo volcánico que abarca 15 volcanes de los cinco continentes, incluyendo algunos de los volcanes más activos y con más fuerte desgasificación en el mundo; como lo son el Popocatepetl y Fuego de Colima en territorio mexicano.

El proyecto NOVAC a través de espectroscopia de absorción de luz ultravioleta (UV), es capaz de cuantificar las emisiones de gases volcánicos, utilizando el espectrómetro de absorción óptica diferencial en miniatura de doble haz de barrido (Mini-DOAS).

El Mini-DOAS, es un equipo que se utiliza para medir las emisiones de SO₂ (dióxido de azufre) de los volcanes a la atmósfera. El dióxido de azufre es un gas muy importante en el seguimiento de la actividad de los volcanes activos ya que es liberado por el magma conforme el mismo asciende hacia la superficie, por lo que si se mide la cantidad de SO₂ emitido a la atmósfera por los volcanes, se encontrarán incrementos cuando el volcán está más activo y decrementos cuando su estado de actividad disminuya

Los instrumentos son utilizados principalmente para proporcionar datos a los observatorios vulcanológicos, que les ayudan en el manejo de riesgos, estimación de emisiones de gas, así

como para la investigación geofísica a nivel local. Adicionalmente los datos generados son analizados con otros propósitos científicos, tales como estimados globales de emisiones de gases de origen volcánico, correlaciones de emisiones de gases entre volcanes, estudios de cambio global y estudios de la destrucción de la capa de ozono en la estratósfera. Posibilitando la validación en gran escala de satélites que observan emisiones de gases originados por los volcanes mas activos a nivel mundial, permitiendo un gran avance a las observaciones desde el espacio de emisiones de gases volcánicos.

Mediante la comparación de datos de emisiones de gas con volcanes cercanos en diferentes escalas geográficas o con otros eventos geofísicos (sismos, mareas), es posible entender mecanismos de actividad de los volcanes estudiados. Los espectros medidos por los instrumentos también se utilizarán para obtener datos que complementen sistemas de observación globales relacionados con cambio climático e investigación de destrucción de capa de ozono en la estratósfera. Estos datos son particularmente valiosos ya que muchos volcanes se localizan en áreas remotas, difícilmente cubiertas por las redes existentes.

b) Equipos que constituyen una estación del Sistema de Monitoreo de Gases Volcánicos

La red de telemetría del volcán Popocatepetl y Fuego de Colima está compuesta por varias estaciones, las cuales están comprendidas por:

- ❖ La caja electrónica integrada a su vez, por el espectrómetro, la computadora integrada, el timer, el radiomodem, el controlador de carga y la batería.
- ❖ Antena Yagui-Uda
- ❖ El panel solar
- ❖ Telescopio
- ❖ Un par de fibras ópticas
- ❖ Receptor GPS
- ❖ Pararrayos
- ❖ Tierra física

En la figura 12 se observa un diagrama en bloques de los elementos que constituyen una estación de monitoreo de SO_2 , así como la manera en que son distribuidos y conectados a manera de asegurar su correcto funcionamiento.

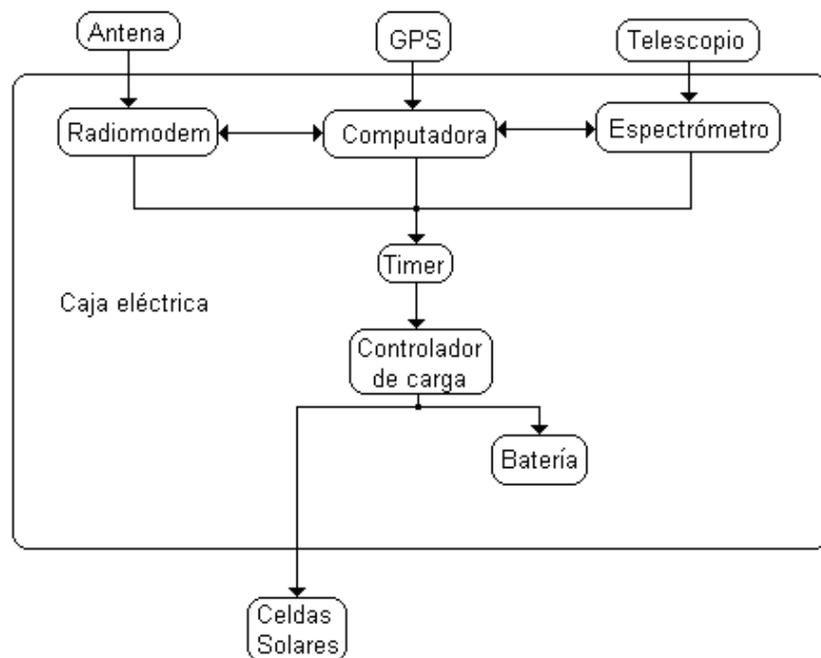


Fig. 12. Diagrama de bloques de una Estación de Monitoreo de SO₂

I. Funcionamiento y principales características de las estaciones

El sistema está diseñado para cuantificar emisiones de SO₂ utilizando espectroscopia de absorción por luz ultravioleta la cual se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones electromagnéticas, entre ellas las longitudes de onda comprendidas en el rango de 290 a 320 nm, puesto que es donde se registra la mayor absorción de SO₂. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica, entre otras).

Para ello, el telescopio que es controlado por un motor que realiza giros de 360 °, posicionándolo en el ángulo apropiado para poder tomar una lectura de la luz ultravioleta dispersa; ya que registra en realidad el fragmento del espectro radioeléctrico modificado a esas longitudes de onda, es decir, la porción del espectro que no fue absorbida por la luz ultravioleta; la cual es transferida a través del par de fibras ópticas al espectrómetro.

El espectrómetro mini-DOAS detecta la luz ultravioleta y la convierte en señales digitales proporcionales a la cantidad de luz captada; las cuales resultan ser los espectros que se utilizarán para evaluar las concentraciones de SO₂; mediante una técnica de medición que consiste en hacer perfiles perpendiculares por debajo de la pluma de gases emitidos por el volcán.

El espectrómetro manda las señales a la computadora integrada, la cual contiene un algoritmo que calcula el total de toneladas diarias de SO₂ considerando la velocidad del viento y, después de ser procesadas las señales, son transferidas al radiomodem, que con ayuda de la antena, son transmitidas en tiempo real al centro de adquisición de datos correspondiente.

El radiomodem utilizado para ello es el Freewave, el cual permite la comunicación remota de datos vía radiofrecuencia con tecnología de espectro disperso con salto en frecuencia (FHSS), que permite enlaces inalámbricos a grandes distancias, hasta 96 km en línea de vista, una transmisión confiable CRC de 32 bits con retransmisión automática, ya que si los datos son erróneos se descartan y son reenviados en otra frecuencia. Además estos radiomodems se encuentran operando en la banda ISM (industriales, científicas y médicas) de 900 MHz libre del pago de licencia, homologados ante la COFETEL, y en los cuales la potencia máxima de salida debe ser limitada a 100 mW o 20 dB. La conexión con los radiomódems se realiza a través del puerto serial de una computadora, desde la cual es posible configurar el modo de operación de los mismos (más adelante se ahonda en ello), los canales en los que deben operar; así como algunos parámetros necesarios para establecer la comunicación entre ellos.

La antena utilizada es del tipo Yagui-Uda Bluewave Marathon cuya frecuencia de operación se encuentra en el rango de 890 a 960 MHz, la cual está compuesta por 1 reflector y 6 dipolos parásitos que proporcionan una ganancia de 10 dB. El alimentador es un dipolo doblado que permite un mejor acoplamiento al disminuir la impedancia de entrada (Z_e) de la antena. Las antenas se colocaron horizontalmente, ya que proporcionan un mayor ángulo de apertura correspondiente a 56°, en comparación con una disposición vertical donde solo se tienen 46°. Este parámetro es importante considerarlo, porque es donde la densidad de potencia radiada por la antena es igual a la mitad a la máxima, asegurándose entonces que la señal tenga la suficiente potencia para ser recibida en cualquiera de los casos (estación-repetidor, repetidor-Instituto y estación-Instituto). Además de su colocación depende que tenga un impacto significativo en el desempeño de la red; ya que en general, los radiomodem con una mayor elevación de sus antenas tendrán un mejor vínculo de comunicación.

El timer es el encargado de apagar automáticamente el sistema durante la noche y encenderlo al día siguiente, realizándose así la adquisición, procesamiento y envío de datos sólo durante el día. Cabe mencionar que aunque la adquisición de datos se realiza sólo durante el día (solo hasta las 19:00 hrs.) aprovechando la luz ultravioleta, el timer está programado para apagar el sistema a las 23:00 hrs., para terminar de enviar los datos que pudieron quedar encolados en la computadora

integrada, debido a posibles demoras en la transmisión de datos que ocasionalmente se presentan.

El receptor GPS conectado a la computadora integrada, es el encargado de asegurar la posición del sistema y el tiempo, necesario para el correcto almacenamiento y posterior análisis de los datos. El panel solar es el encargado de suministrar la energía al sistema, que mediante el controlador de carga mantiene a la batería cargada y al sistema funcionando correctamente.

Finalmente, cabe mencionar que los tornillos y demás conexiones que involucraban alguna exposición de metales al medio ambiente, fueron perfectamente sellados con pintura en aerosol acrílica para evitar la oxidación y la filtración de agua. Así mismo las estaciones están cuidadosamente niveladas mediante los tensores con la finalidad de que el poste quede en posición completamente perpendicular a la horizontal de la base, logrando con ello que el telescopio no muestre irregularidades en la adquisición de los datos.

La figura 13 muestra una imagen de una estación de monitoreo de SO_2 "La Lumbre" en Colima; en la cual se pueden visualizar cada uno de los elementos anteriormente descritos.

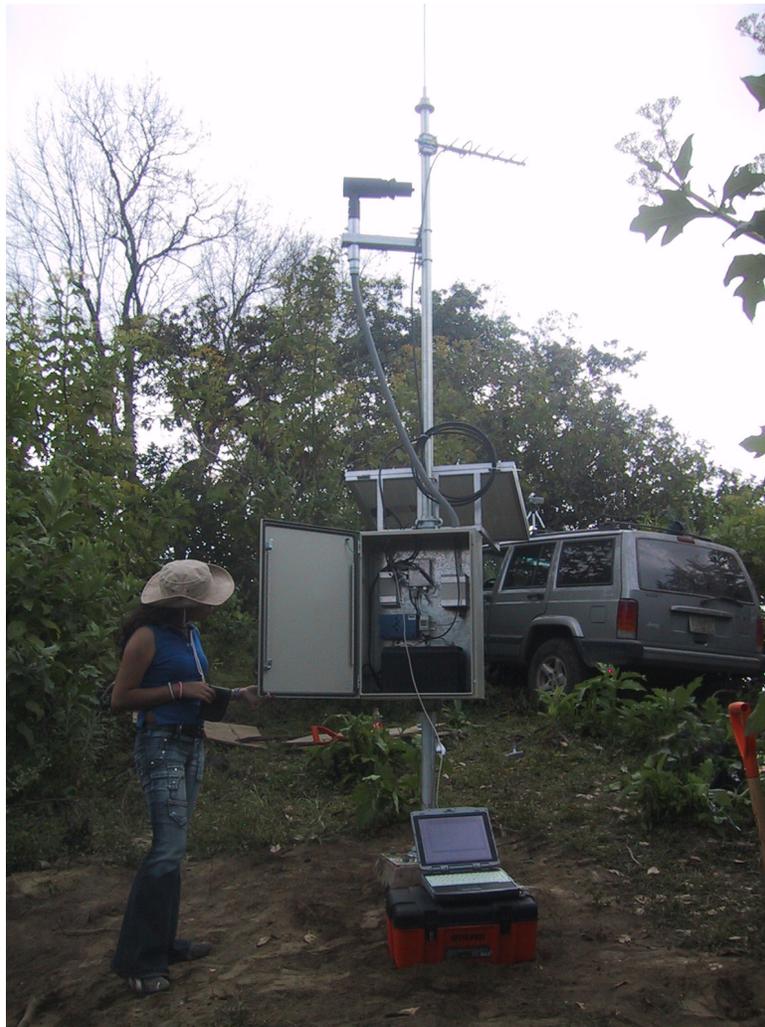


Fig. 13. Estación de monitoreo de SO₂ de La Lumbre en Colima,
(Fotografía tomada por Ing. José Manuel Noviembre 2008)

c) Repetidores:

En el caso de los repetidores, básicamente cuenta con los mismos elementos exceptuando la computadora integrada, el telescopio, las fibras ópticas y el espectrómetro; puesto que su única labor es la de repetir la señal que recibe de la estación hacia la dependencia concerniente. Cabe señalar que el consumo de carga de los equipos involucrados es menor, así que el panel solar y la batería son de dimensiones más pequeñas.

d) Factores determinantes en la selección del sitio de instalación de las estaciones

El lugar seleccionado para la instalación de las estaciones es muy importante, ya que de ello depende tanto la adquisición de los datos por medio del mini-DOAS, como la correcta transmisión

de los mismos a través de los equipos de telemetría ocupados para ello. Así pues, dentro los factores más importantes se encuentran:

- ❖ Líneas de vista libres de obstrucciones; puesto que éstas aseguran el enlace y la transmisión de información entre las estaciones, los repetidores y el centro de adquisición de datos.
- ❖ Patrones de viento en las cercanías del volcán; ya que estos determinarán la dirección en la que la pluma de dióxido de azufre se dirigirá; por lo que las estaciones deben estar ubicadas en estas trayectorias, para asegurar la adquisición de las concentraciones de SO₂.
- ❖ Distancia al cráter; ya que entre más cerca se encuentre una estación al edificio volcánico, tendrá la posibilidad de captar mejor los niveles de SO₂ en el volcán, evitando la dispersión debida a las condiciones climáticas del lugar (alta humedad).
- ❖ La distancia entre los diferentes puntos que componen la red también es un aspecto a tomarse en cuenta; ya que deben situarse a una distancia tal que se garantice el establecimiento del enlace entre ellos. Así mismo, se debe asegurar que el 60 % de la potencia transmitida se concentre en la primera zona de Fresnel.
- ❖ La fácil accesibilidad al sitio; por cuestiones de instalación en primera instancia y posteriormente por el mantenimiento periódico que asegure su funcionamiento; ya que hay algunos lugares en los que no se cuenta con caminos bien establecidos en los que prácticamente es imposible acceder ni con una camioneta de doble tracción, por las irregularidades del relieve o la excesiva maleza existente; debido a que a veces es necesario llevar algunos equipos y herramientas.
- ❖ Por otro lado, si existen otras estaciones instaladas en las cercanías del volcán por parte de alguna dependencia; realmente se facilita, tanto la instalación como el mantenimiento de las mismas.

De esta manera, la correcta selección del lugar debe ser una conjunción que involucre en la medida de lo posible, cada uno de los factores antes mencionados; pues solo de esta manera garantizaremos el funcionamiento de la red.

I. Patrones de viento (Popocatépetl y Fuego de Colima)

Patrones de Viento del Volcán Popocatépetl

Antes que nada tenemos que saber cuáles son los patrones de viento y cual es su papel principal con respecto a los productos piroclásticos.

La importancia de los patrones de viento juega un papel preponderante en la distribución de cenizas y gases de volcanes que, como el Popocatépetl, arrojan materiales a la atmósfera de una manera continua. La mitigación de los peligros asociados a las partículas piroclásticas y los gases arrojados por este volcán, puede ser afrontada de manera efectiva conociendo los patrones de viento que afectan la región y con ello determinar las áreas de mayor vulnerabilidad.

La figura 14 muestra cómo el viento juega un papel importante en la distribución de materiales volcánicos respecto a la columna eruptiva, lo mismo se aplica para las nubes de gases.

La información sobre dirección y velocidad de vientos se ha clasificado y analizado por capas (vientos bajos y altos), por estratos y por niveles, por lo que los vientos superficiales (abajo de los 3,000 m) tienen una fuerte tendencia N-S que no rebasa los 5 m/s de velocidad promedio, en algunos meses, los vientos entre 3,000 y 5,800 m muestran las mismas tendencias que los vientos superiores ($> 5,800$ m), mientras que otros meses presentan una distribución dispersa pero transicional entre los vientos superficiales y los vientos superiores con velocidades entre 5 y 10 m/s. Los vientos superiores (hasta 20,000 m) soplan de noviembre a abril del W y WSW; y de junio a septiembre del E (ENE, E y ESE). Los meses de mayo y octubre son de transición. Entre abril y mayo los vientos guardan el mismo patrón W y WSW hasta los 16,500 m de esta altitud hasta los 20,600 m las direcciones son del E y ENE con velocidades de 10 a 15 m/s. A partir de los 20,600 m los vientos provienen preferentemente del E (800-1000) de abril a noviembre y de diciembre a marzo, también se observan vientos del W de hasta 20-30 m/s, particularmente entre julio y septiembre.

Ahora bien, para el análisis estadístico parte de la información se agrupó en "vientos bajos" y "vientos altos", con el fin de poder distinguir las variaciones en dirección de viento debajo y arriba de la cima del volcán Popocatépetl tomando como cota de separación los 550 mb (para vientos bajos) y 500 mb (para vientos altos), es decir aproximadamente a los 5,500 metros sobre el nivel del mar. Se construyeron rosetas (histogramas circulares) mensuales, donde cada barra apunta en la dirección de donde proviene el viento, e indicando los porcentajes de frecuencia para cada dirección de viento (Figura 15 y 16).

Comportamiento de los Vientos en la Región

La figura 15 muestra los vientos a altitudes menores a los 5,500 m aproximadamente, de enero a diciembre. Las rosetas de esta figura muestran que los vientos en esta parte son prácticamente

aleatorios, aunque existen patrones de vientos incipientes: uno es persistentemente del W de enero a abril y en el otro, de junio hasta diciembre, los vientos provienen predominantemente del NE, aunque en noviembre y diciembre vuelven a aparecer los vientos provenientes del SW y W. Entonces, los vientos soplan del W de enero a abril y del NE de junio a octubre. Mayo, noviembre y diciembre son los meses con mayor dispersión de vientos.

Los vientos que soplan arriba de los 5,500 m (figura 15) muestran una mayor regularidad. De enero a mayo, los vientos provienen del W, aunque en mayo también se observan vientos provenientes del oriente, pero con menor frecuencia. De junio a octubre los vientos que predominan son del oriente, aún cuando se tienen máximos relativos del W y del N. Los vientos en noviembre y diciembre soplan de nuevo del W. Entonces, los vientos altos soplan de noviembre a abril del W y de junio a septiembre del E, los meses de mayo y octubre son de transición.

La figura 17 muestra en mayor detalle lo que sucede con los vientos en ocho estratos verticales definidos arbitrariamente. Los vientos superficiales (abajo de los 3,000 m) tienen comúnmente, una fuerte tendencia N-S, mientras que los vientos arriba de esta cota muestran en ocasiones las mismas tendencias que los vientos superiores (enero-abril), una distribución dispersa pero transicional entre los vientos superficiales y los vientos superiores (junio-diciembre).

Los vientos superficiales generalmente no rebasan los 5 m/s de velocidad promedio, y entre los 3,000 y 5,800 m, los vientos no soplan muy fuertemente, siendo enero el mes en que sopla con mayor fuerza. Los vientos superiores soplan a mayor velocidad, típicamente 10 m/s y hasta 15 m/s a principios del año (noviembre-abril), aunque de mayo a octubre los vientos son menos fuertes.

Patrones de Viento y Distribución de Piroclásticos

La identificación de patrones definidos que caracterizan el comportamiento de los vientos en la atmósfera es de gran importancia para pronosticar las tendencias probables que estos seguirán en el futuro. Asumiendo que tales patrones de vientos no se verán modificados por perturbaciones atmosféricas ajenas, que suelen ocurrir en forma eventual, es posible poder aplicar estos resultados en la evaluación de peligros asociados a una futura erupción del volcán Popocatepetl. Las áreas de posible afectación asociadas con la dispersión de los materiales piroclásticos de caída que serían expulsados en una erupción, deben considerar tanto la época en la ocurra del evento volcánico como el tipo de erupción esperado, ya que de ello dependerá la altura de la columna eruptiva y, por lo tanto, la influencia de los patrones de vientos troposféricos y estratosféricos.

El Popocatepetl ha tenido en el pasado erupciones de todo tipo, desde muy pequeñas (estrombolianas) hasta altamente explosivas (vulcanianas-plinianas).

La figura 17 muestra en forma sintética las direcciones preferenciales de los vientos a diferentes elevaciones encima del cráter del Popocatepetl, de acuerdo con la época del año. Si se presentara una erupción de tipo estromboliano, entre octubre y mayo, las áreas de afectación serían preferencialmente las ubicadas en el sector oriental del volcán, mientras que en los meses de junio a septiembre, las áreas afectadas estarían en el sector opuesto. Por otra parte, si se considera una erupción de moderada a alta explosividad, es decir, de tipo vulcaniano a pliniano los vientos dominantes transportarían el material piroclástico correspondiente a la parte alta de la columna eruptiva (región de paraguas, figura 14) hacia el sector occidental del volcán, excepto durante los meses de enero a marzo, en que se tienen vientos del W y WSW.

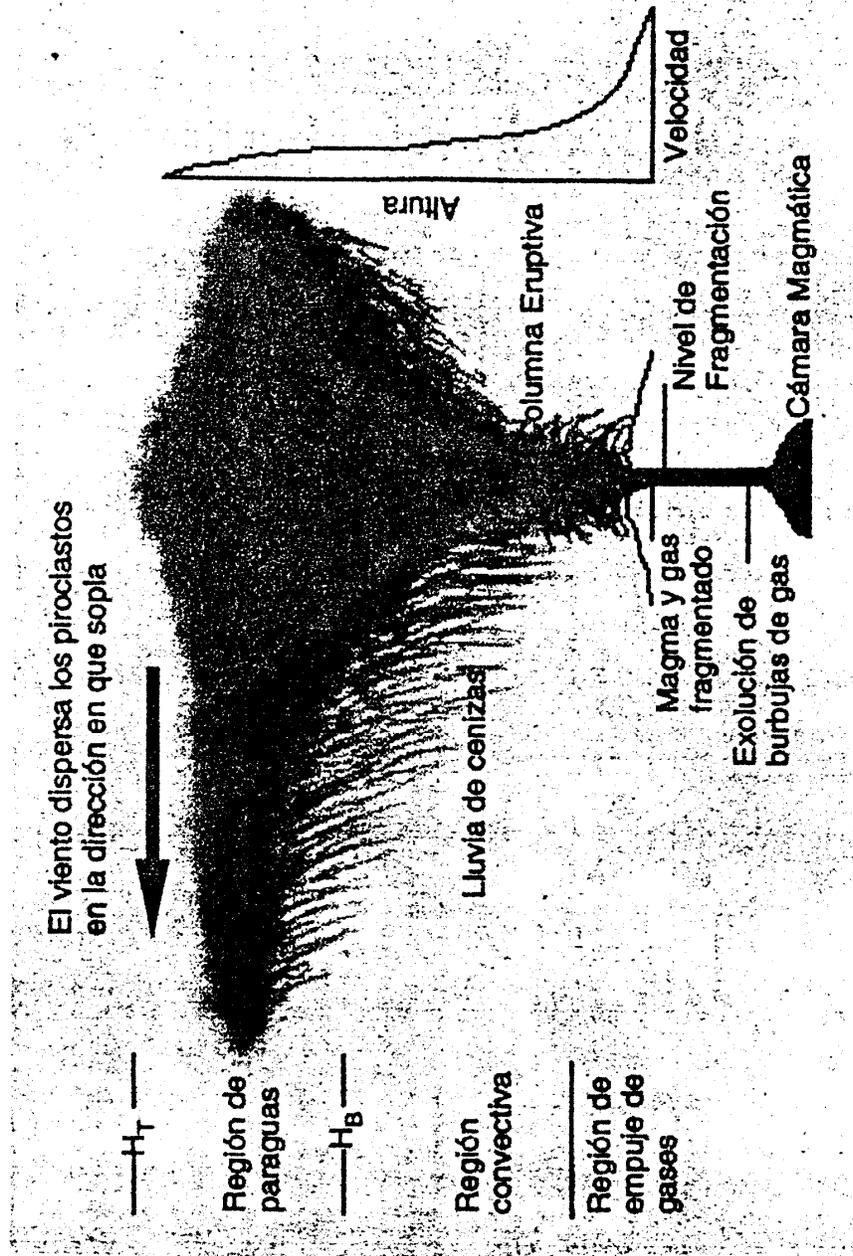


Fig. 14. Características principales de una columna eruptiva
 (6.- Modificado de Sparks, 1986, Carey y Sparks, 1986, Wilson, 1980)

PATRÓN DE VIENTOS MENSUAL

(ALTURA MENOR A 5500 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR)

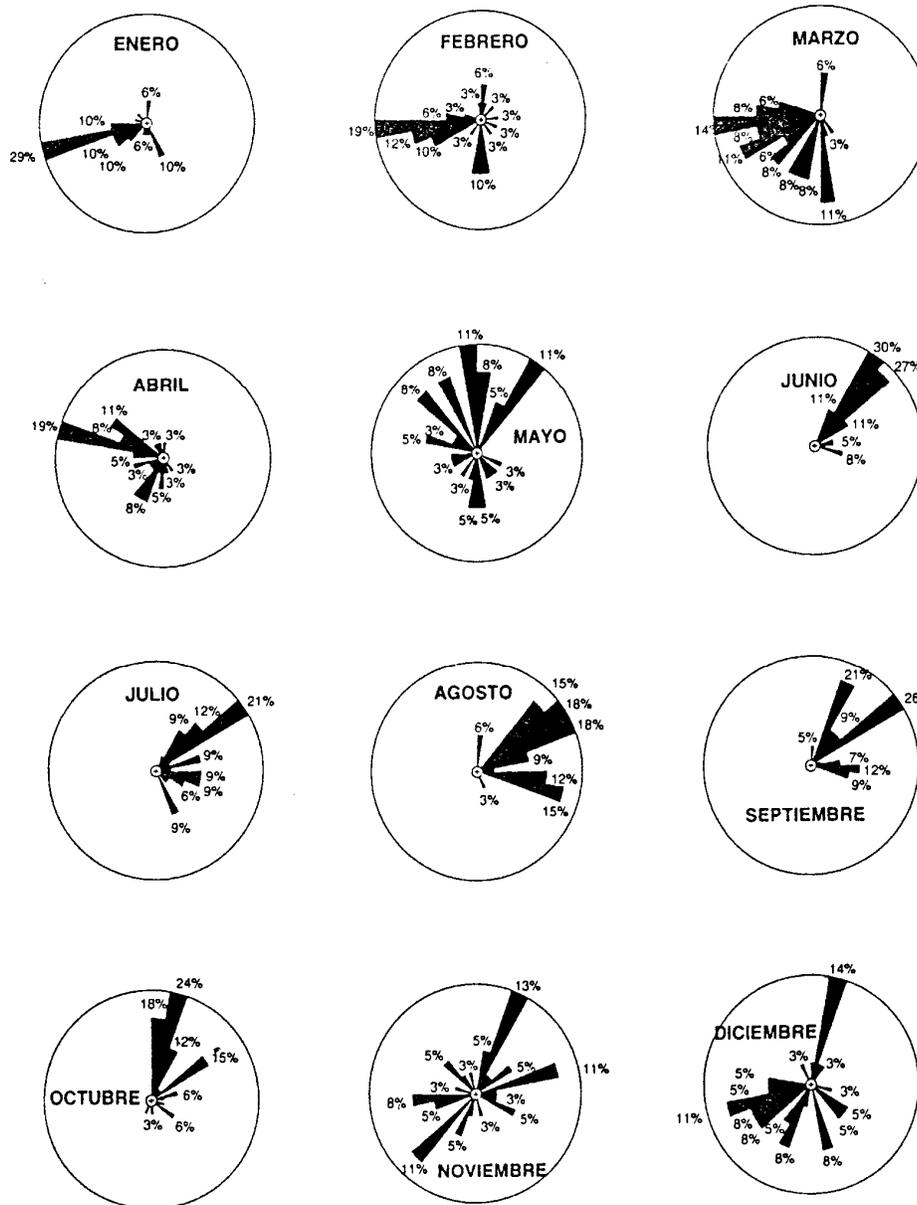


Fig. 15. Patrón de vientos bajos. Histogramas circulares que muestran los vientos que soplan mensualmente debajo de los 5,500 m.sn.m, Datos de 1976-1982.

(6.- Modificado de Sparks, 1986, Carey y Sparks, 1986, Wilson, 1980)

PATRON DE VIENTOS MENSUAL

(ALTURA MAYOR A 5500 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR)

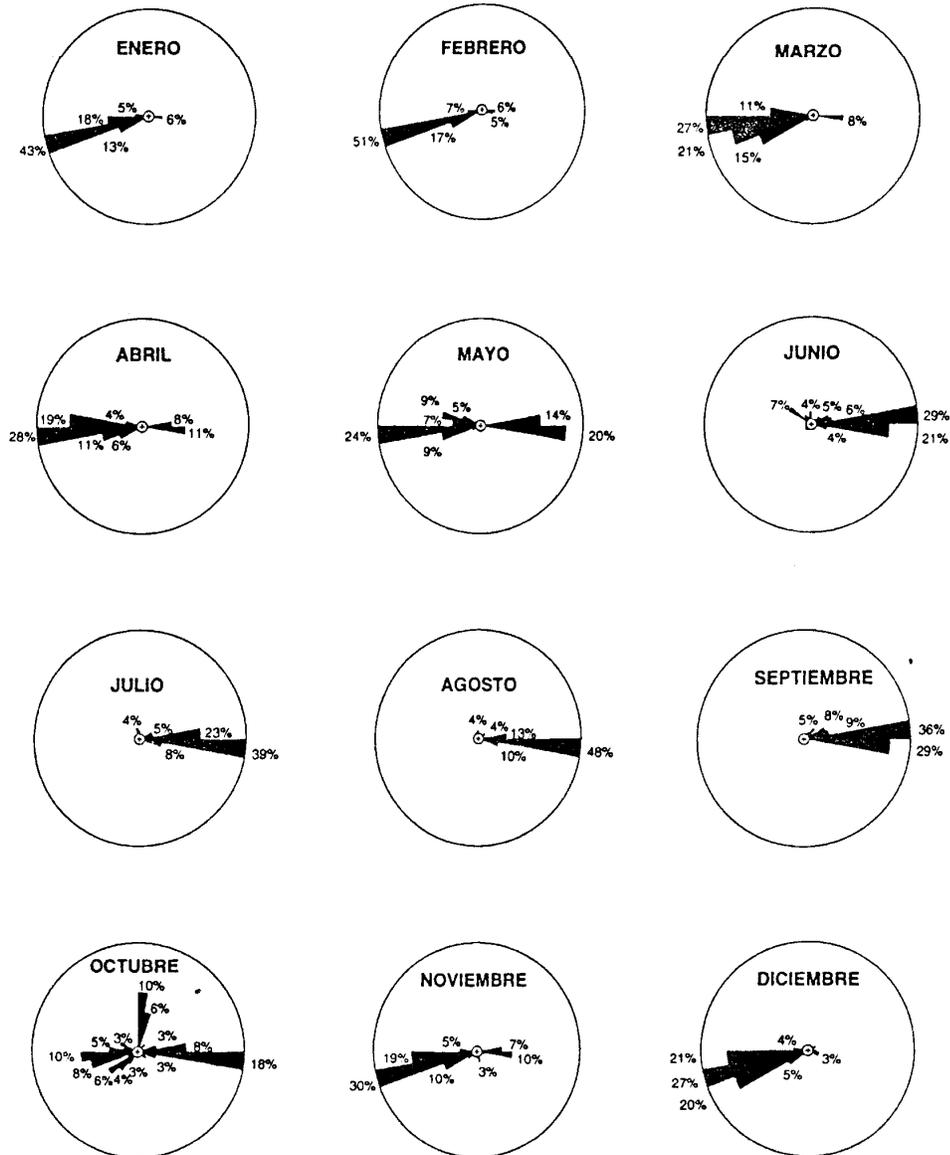


Fig. 16. Patrón de vientos bajos con vientos que soplan mensualmente arriba de los 5,500 (m),
 Datos de 1976-1982 (6.- Modificado de Sparks, 1986, Carey y Sparks, 1986, Wilson, 1980)

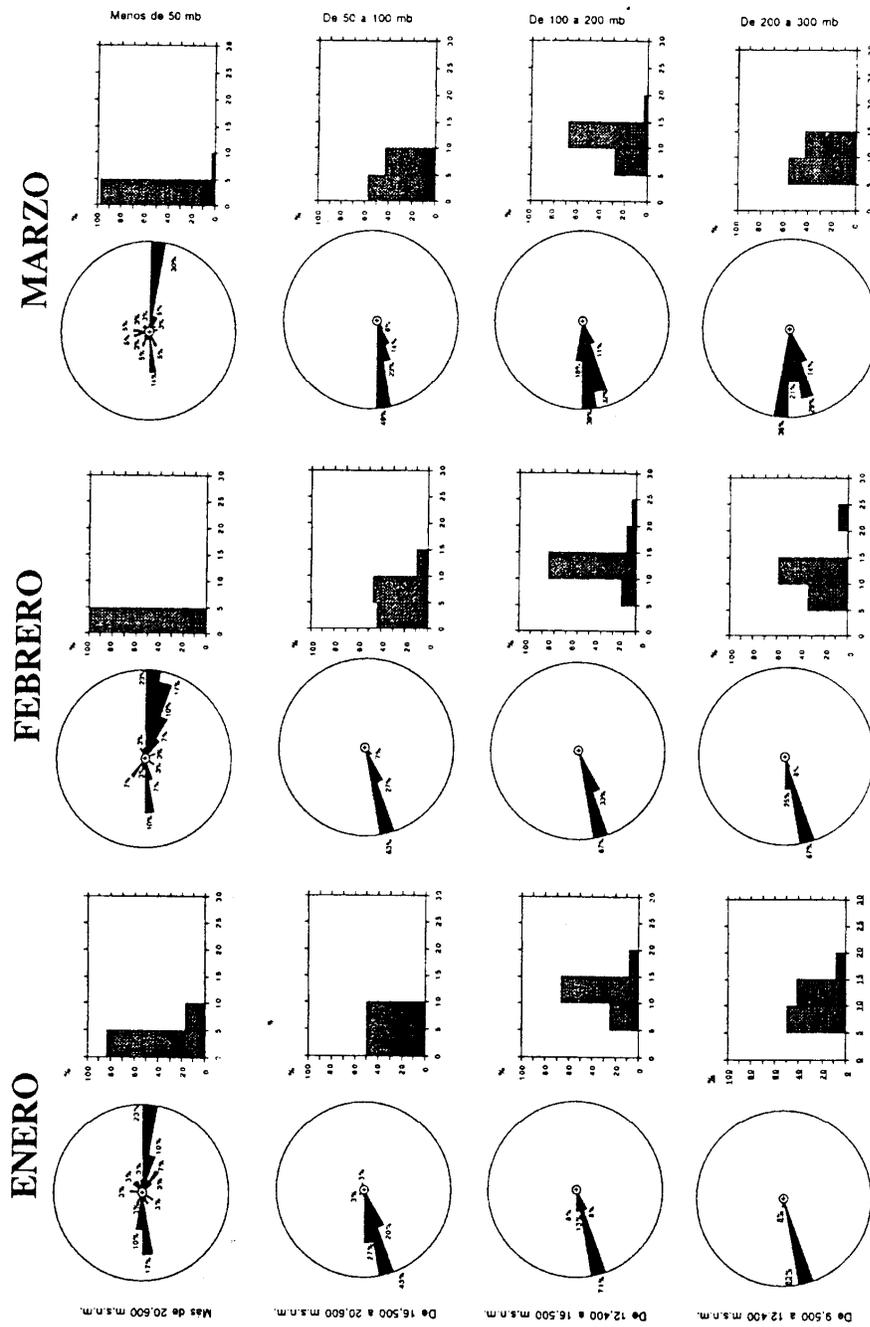


Fig. 17. Patrones de viento por estratos. Histogramas enero-marzo
 (6.- Modificado de Sparks, 1986, Carey y Sparks, 1986, Wilson, 1980)

II. Perfiles de altitud

Para poder evaluar las pérdidas que afectan a un radioenlace se tiene que considerar si existe un perfil entre un emisor y un transmisor, por lo que a continuación se explica de una manera sencilla y concisa el método para calcular un perfil entre dos puntos cualquiera siendo conocida la posición de éstos en un sistema de coordenadas.

Curvatura de los rayos respecto a la tierra.

Algo que tenemos que considerar es que los rayos y enlaces debido a la variación del índice de refracción, se curvan, sin embargo también tenemos que tomar en cuenta que la tierra también es curva, con lo que la curvatura de un rayo con relación a la tierra será la diferencia de curvaturas.

Se define la curvatura como la variación del ángulo que sustenta al arco y en una circunferencia es igual a la inversa del radio. Si a es el radio real de la tierra entonces la curvatura de la tierra es $-1/a$, el signo menos es debido a que la tierra es convexa. La diferencia de curvaturas entre el rayo y la tierra será igual a la curvatura equivalente, a_e dada la expresión:

$$\frac{1}{a_e} = \frac{1}{\rho} - \left(-\frac{1}{a} \right) = \frac{1}{a} + \frac{dN}{dh} 10^{-6}$$

Ahora bien, para evitar utilizar representación de trayectorias curvas se ha desarrollado un procedimiento mediante el cual se sustituye la tierra real, rodeada por una atmósfera con variación del índice de refracción, por una tierra ficticia de radio Ka donde no existe variación en su índice de refracción.

Por lo que introduciremos el término de curvatura ficticia de la tierra, que será igual a la curvatura real modificada para un factor K , denominado factor del radio efectivo de la tierra, de manera que $a_e = Ka$, cuyo valor, operando en la expresión de la curvatura equivalente de la tierra, se puede expresar en función del radio de la tierra y del coíndice mediante la siguiente función:

$$K = \frac{1}{1 + a \frac{dN}{dh} 10^{-6}}$$

Siempre que la variación del índice de refracción con la altura sea negativa el factor de K es mayor que la unidad y el efecto que se produce es el de un aplanamiento de la tierra, lo que se

traduciría en un mayor despejamiento sobre los obstáculos y en una mayor distancia de visión directa.

Si la variación del índice es positiva, entonces el factor K es menor que la unidad. En este caso aumenta la curvatura efectiva de la tierra y con ella se reduce el margen sobre los obstáculos. Si la atmósfera es homogénea, no existe variación con la altura, y el valor del factor K es igual a la unidad. En la figura 18 se compara la curvatura de los rayos en función del factor K con respecto a la curvatura de la tierra.

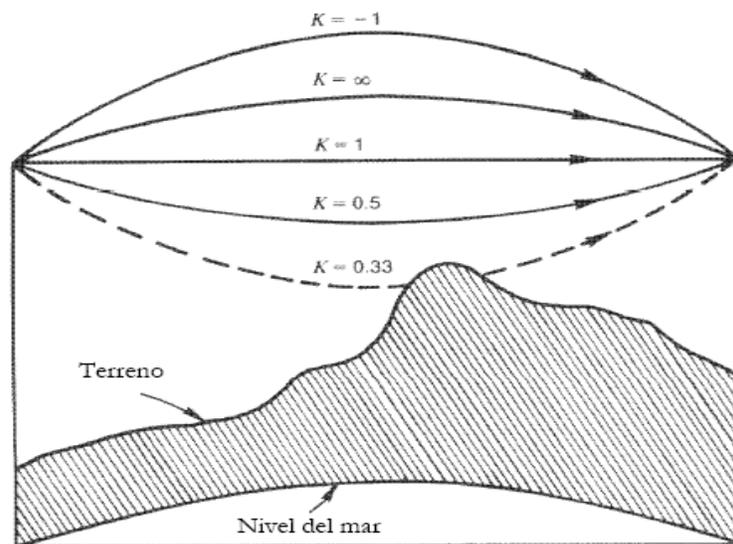


Fig. 18. Curvatura de los rayos en función del factor K , con respecto a la curvatura de la tierra. (7.- Propagación de Ondas en la Tropósfera, Grupo de Electromagnetismo, Universidad de Alcalá)

Perfil entre dos puntos cualesquiera.

La representación de los perfiles del terreno se efectúa llevando las cotas de los puntos sobre una línea de base o “curva de altura cero” parabólica, que representa la curvatura de la Tierra ficticia con radio Ka . La ordenada de esta curva, para la abscisa genérica x , se denomina “flecha” y equivale a la protuberancia de la Tierra. Llamándola ahora $f(x)$, se tiene:

$$f(x) = .07849 \frac{x(d-x)}{K}$$

Donde $f(x)$ está en (m) y $(d-x)$ en km.

En la siguiente figura se puede observar lo que es un perfil.

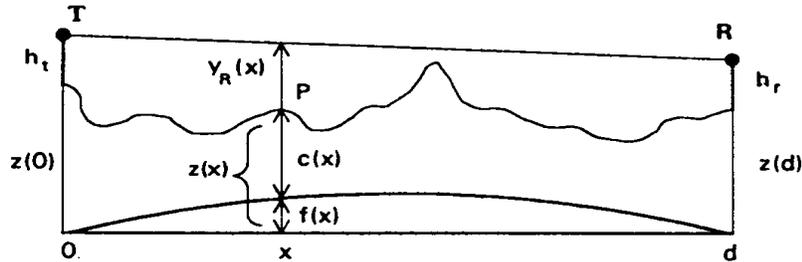


Fig. 19. Perfil entre dos puntos

(7.- Propagación de Ondas en la Tropósfera, Grupo de Electromagnetismo, Universidad de Alcalá)

La altura $z(x)$, sobre la horizontal de un punto genérico del terreno P a una distancia x del transmisor, es igual a su cota geográfica $c(x)$ más la flecha $f(x)$:

$$z(x) = c(x) + f(x)$$

Si h_t y h_r son las alturas de los mástiles soporte de las antenas, como en los extremos la flecha es cero, se tiene:

$$\begin{aligned} z(0) &= c(0) + h_t \\ z(d) &= c(d) + h_r \end{aligned}$$

Si llamamos $y_R(x)$ a la ordenada de la recta TR que representa el rayo, el despejamiento, en un punto arbitrario de abscisa x , es:

$$h(x) = z(x) - y_R(x)$$

Como la flecha es función de K al variar este parámetro cuando lo haga el gradiente de la refractividad, también variará la flecha y, por lo tanto, en la misma cuantía, el despejamiento. Si llamamos Dh y Df a estas variaciones, se tiene:

$$\Delta h(x) = \Delta f(x) = .07849x(d-x) \left(\frac{1}{k_2} - \frac{1}{k_1} \right)$$

Si $k_2 < k_1$, Df es positivo y el despejamiento se reduce en el valor $Dh(x)$.

Cabe mencionar que los perfiles se representan a partir de datos obtenidos manualmente de mapas topográficos. Aunque esta tarea es sencilla, resulta tediosa y consume mucho tiempo, sobre todo en las primeras fases del proyecto de una red, ya que se requiere el análisis y evaluación de múltiples emplazamientos posibles para ubicar estaciones, hasta llegar a la topología de red más conveniente.

e) Estaciones que componen la Red mini-DOAS del Popocatepetl

Las estaciones que componen la red de monitoreo del Popocatepetl se encuentran distribuidas en la configuración que se aprecia en la figura 20:

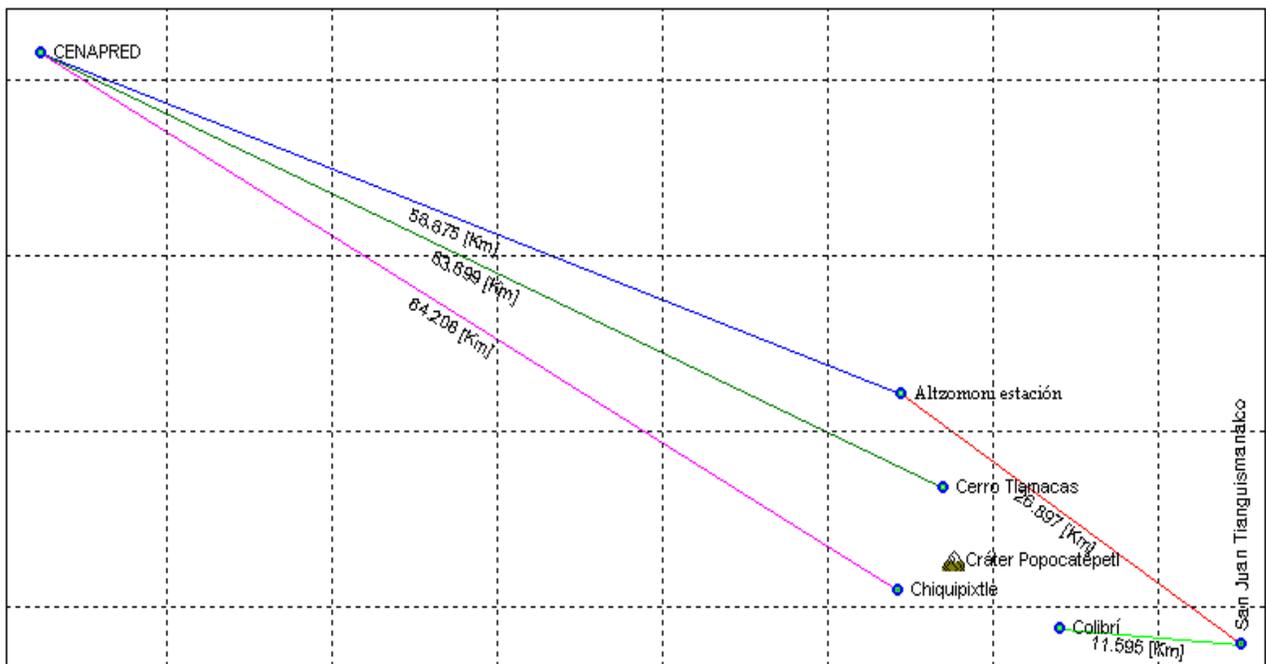


Fig. 20. Diagrama de la red Mini-DOAS del Popocatepetl

Estación “Tlamacas”

Tlamacas, se encuentra en la falda norte del Popocatepetl a una distancia de 5 km del cráter quedando casi en el límite de la vegetación arborescente. Se encuentra a una altura de 3897 m sobre el nivel del mar y fue un lugar considerado ideal porque ya existían casetas donde estaban instaladas estaciones de monitoreo sísmico por parte del Centro Nacional para la Prevención de Desastres Naturales (CENAPRED), además de que al realizar los perfiles de altitudes se contaba con línea de vista entre la estación y este último, como se muestra en la figura 21:

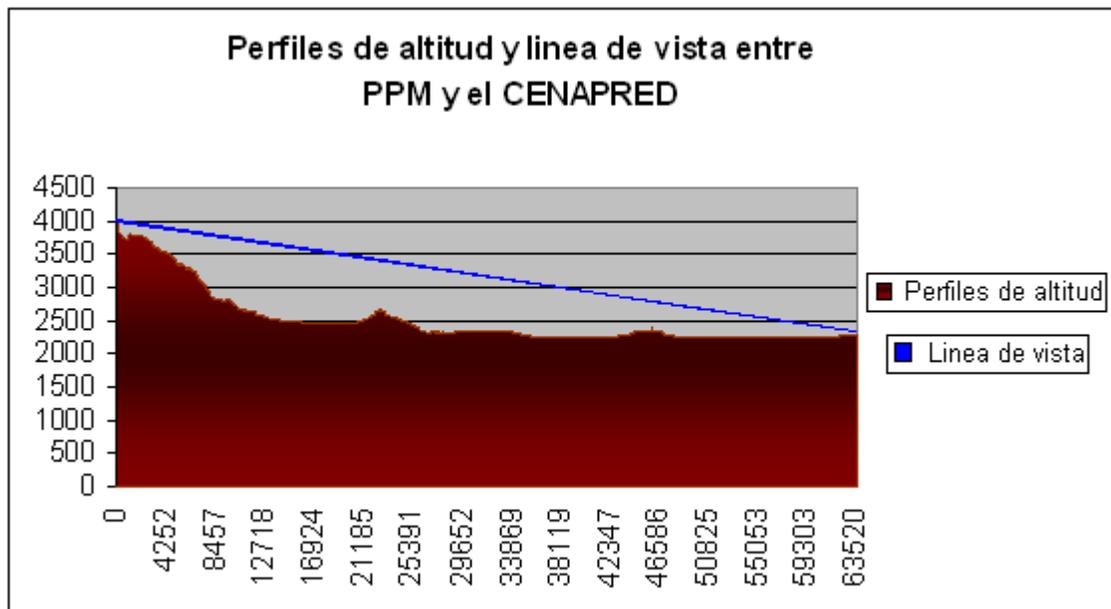


Fig. 21. Línea de vista entre la estación Tlamacas y el CENAPRED

Estación “Colibrí”

Localizada a 8.33 km del punto de emisión al sureste del volcán, por lo que es necesario repetir la señal en dos ocasiones debido a que en un principio no existía línea de vista directa con el CENAPRED al interponerse el volcán, y por otro lado las condiciones del terreno no hicieron posible la ubicación un solo repetidor, así la señal primero es transmitida hacia Tianguismanalco, para posteriormente ser retransmitida al Cerro Altzomoni donde ya es posible transmitirla al CENAPRED. En la figura 22 se muestra el perfil de altitud y línea de vista entre la estación de Colibrí y el repetidor Tianguismanalco.

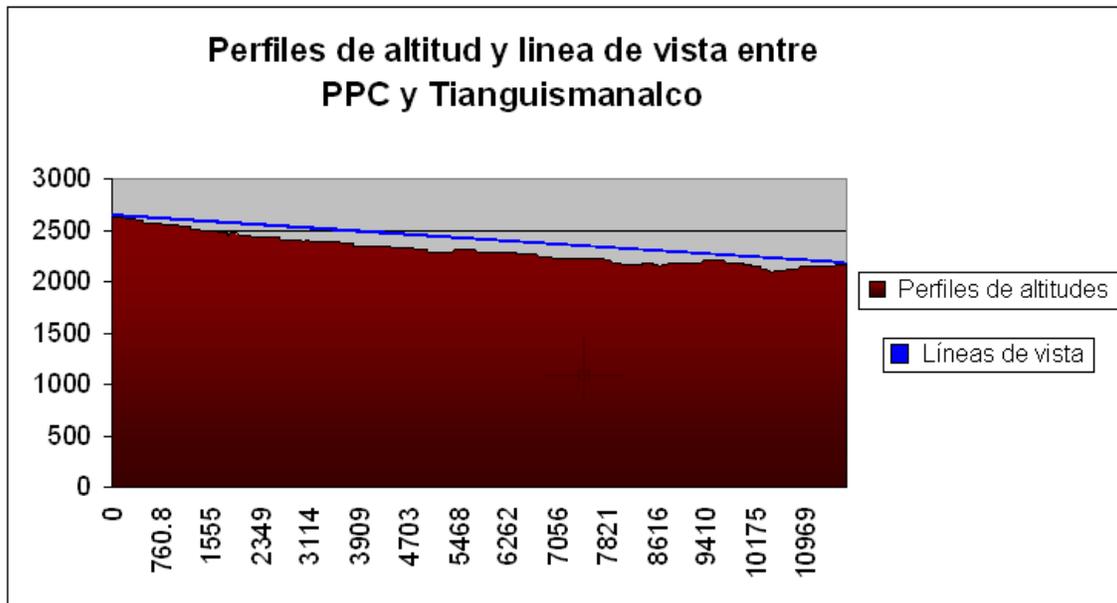


Fig 22. Línea de vista entre la estación Colibrí y el repetidor Tianguismanalco

Repetidor “Tianguismanalco”

Tianguismanalco se encuentra a 11.6 km de la estación Colibrí, y es un repetidor utilizado para sacar la señal de las cercanías del volcán, para posteriormente ser retransmitida a una distancia de 26.89 km hacia Cerro Altzomoni, y en donde se puede apreciar prácticamente la existencia de línea de vista durante todo el trayecto, exceptuando el último tramo que presenta una obstrucción de aproximadamente 486 m con una altura máxima de 44 cm como se puede observar en la figura 23; y que, sin embargo, permite el enlace entre repetidores.



Fig. 23. Línea de vista entre los repetidores Tianguismanalco y Altzomoni

Repetidor “Cerro Altzomoni”

Localizado a 58.87 km del CENAPRED y al igual que en los casos anteriores se cuenta con línea de vista libre de obstrucciones que asegura la transmisión de los datos, como se aprecia en la figura 24 donde también se muestra el perfil de altitudes entre ambos lugares.

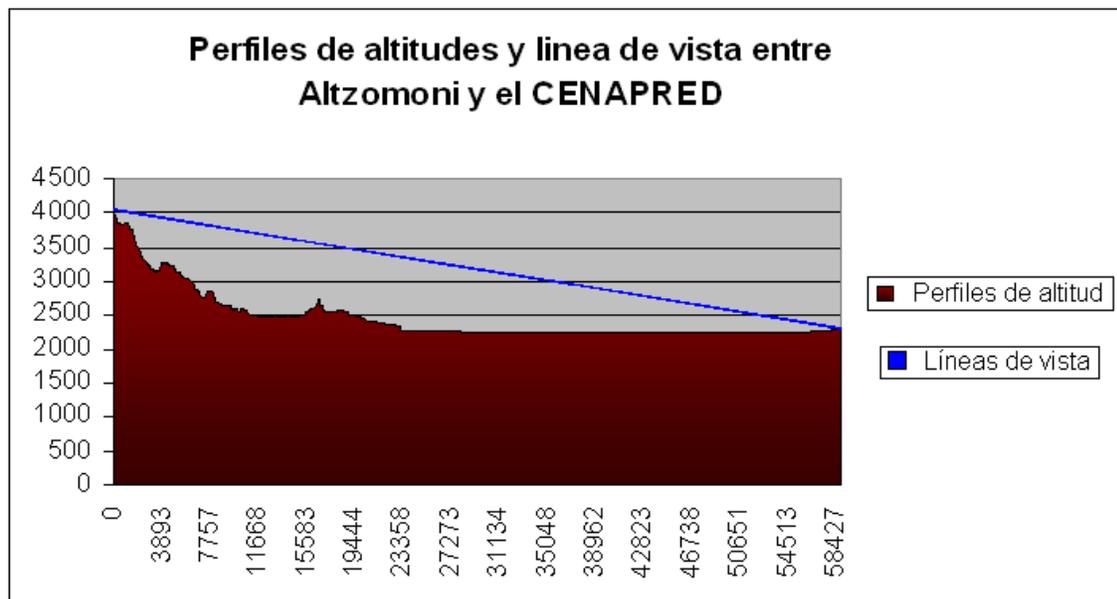


Fig. 24. Línea de vista entre el repetidor Altzomoni y el CENAPRED

Estación “Chiquixtle”

La estación de Chiquixtle es la más cercana al cráter del volcán, ya que se encuentra a tan sólo 4.23 km del mismo; sin embargo las características del relieve hacen que la estación sea poco accesible para darle mantenimiento regular. En la figura 25 se muestra el perfil de altitudes y línea de vista entre la estación Chiquixtle y el CENAPRED.

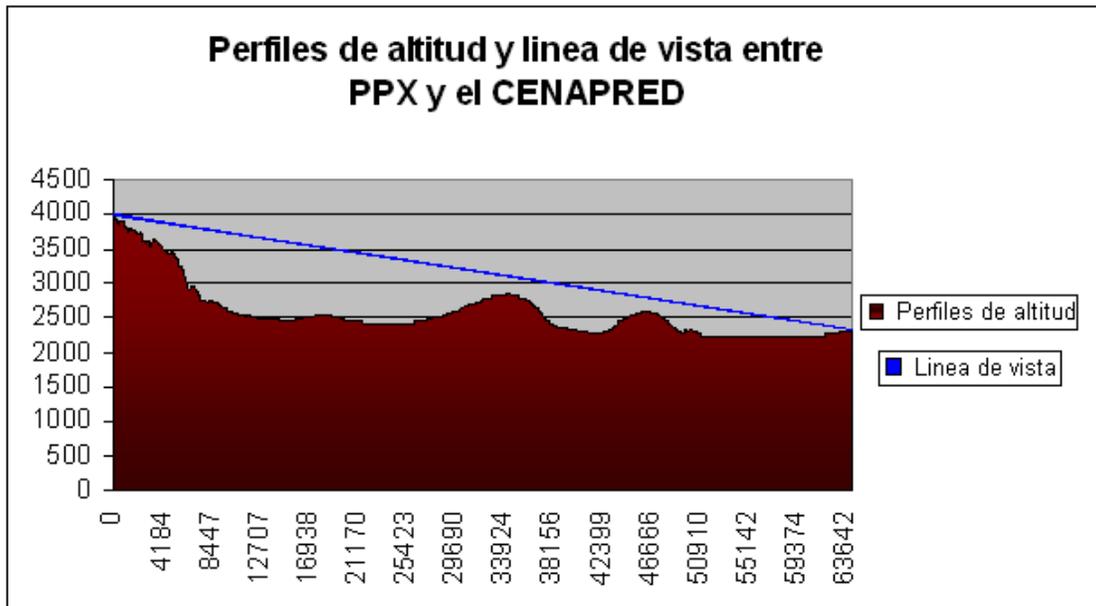


Fig. 25. Línea de vista entre la estación Chiquixtle y el CENAPRED

CENAPRED:

El centro encargado de la adquisición y procesamiento de los datos provenientes de la red mini-DOAS del volcán Popocatepetl es el CENAPRED; el cual cuenta a su vez con un sistema de 15 estaciones con sismómetros de periodo corto (más 3 sismómetros de banda ancha próximos a instalarse), 5 estaciones con inclinómetros, [4 estaciones hidrométricas y de detección de flujos](#), una estación con radar y una estación con una cámara de video para la observación remota del volcán. Este conjunto de instrumentos sísmicos, geodésicos e hidrométricos genera más de 60 señales las cuales son transmitidas continuamente, las 24 horas del día hacia el CENAPRED y algunas también a la UNAM. Así mediante una extensa red de computadoras, la actividad del Popocatepetl es monitoreada y procesada las 24 horas del día. Las estaciones de campo están instaladas en las faldas alrededor del volcán en altitudes entre los 2500 y 4450 m, estando las más cercanas a 2.1 km de distancia del cráter.

Para llevar esta información desde cualquier sitio del volcán hacia el puesto central, el CENAPRED ha implementado una compleja red de enlaces de telemetría a través de radio. Las señales de las estaciones más lejanas ubicadas en el lado este del volcán, se retransmiten a través de varias estaciones repetidoras (PPO y PPA). Para proteger a los equipos del medio ambiente, particularmente severo en las estaciones altas, y también proteger al personal encargado de su operación y mantenimiento, [se construyeron casetas especiales](#) de concreto y mampostería.

f) Estaciones que componen la Red mini-DOAS del volcán de Fuego de Colima

La red de Colima esta compuesta por dos estaciones y un repetidor, en la configuración que se observa en la figura 26:

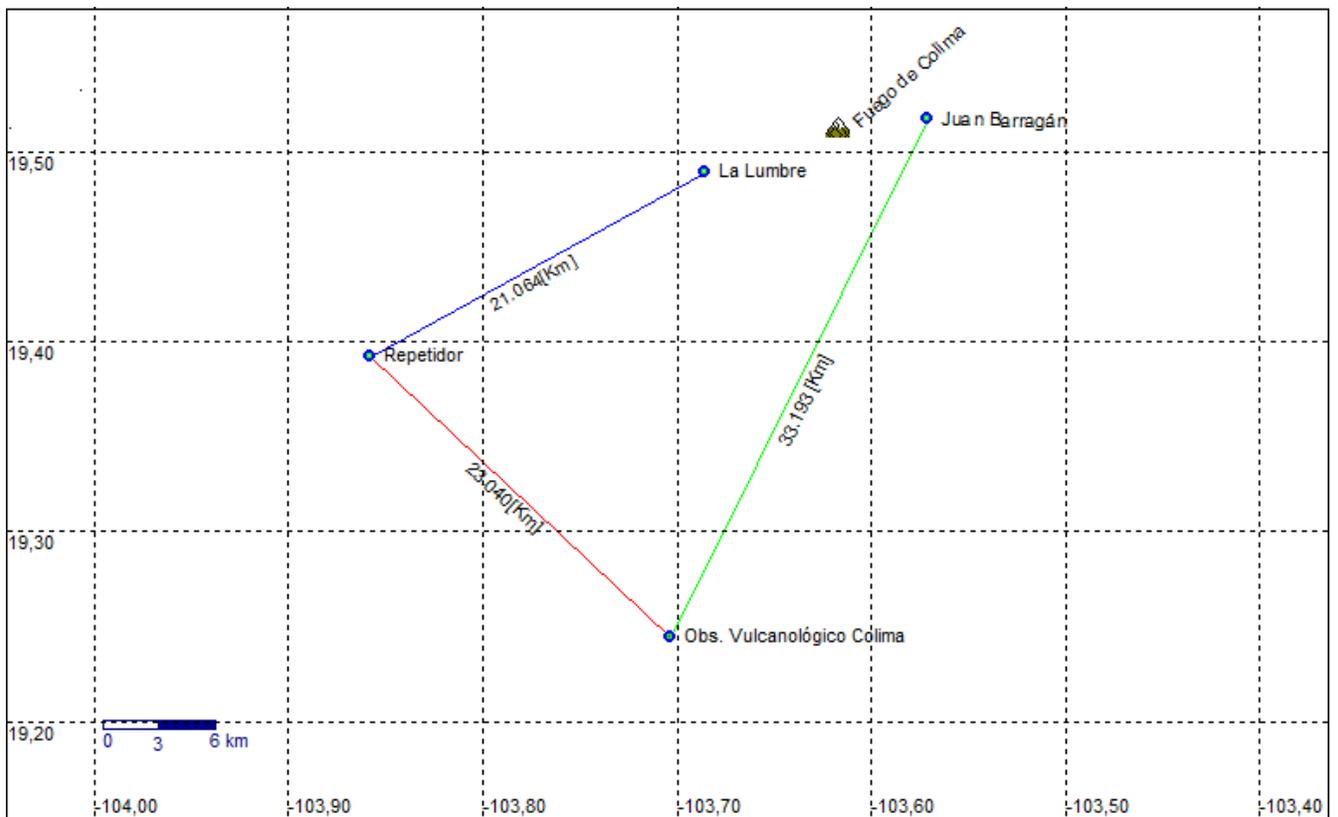


Fig. 26 Diagrama de la red Mini-DOAS de Colima

Estación “La Lumbre”

La estación “La Lumbre” se encuentra ubicada a 1592 m sobre el nivel del mar y a una distancia 16.731 km del cráter del volcán. Este sitio fue escogido, en base al patrón de vientos del lugar, el cual tiene la particularidad de estar muy bien determinado en las direcciones suroeste y noroeste del volcán. De esta manera La Lumbre se encuentra al suroeste del cráter, asegurando que la

pluma de gases sea captada por la estación; salvo en casos excepcionales donde los vientos se dirigen al norte del volcán.

En este punto la vegetación es muy abundante, por lo que fue necesario podar unos árboles para asegurar la transmisor de los datos al Instituto; así como la recolección de datos de las concentraciones de SO_2 , sin embargo no fue suficiente para asegurar los 180° de recorrido del telescopio sin obstrucciones (aproximadamente 14.7° no son visibles).

Como una elevación topográfica se interpone entre la estación y el Observatorio Vulcanológico de Colima, no se tiene línea de vista directa entre ellos, como se puede apreciar en la figura 27; por lo que fue necesario la colocación de un repetidor en “Cerro Grande”. Así la antena ubicada en esta estación fue apuntada precisamente en su dirección en un ángulo de 119° medido con respecto al norte, asegurándose el enlace entre dichos puntos.

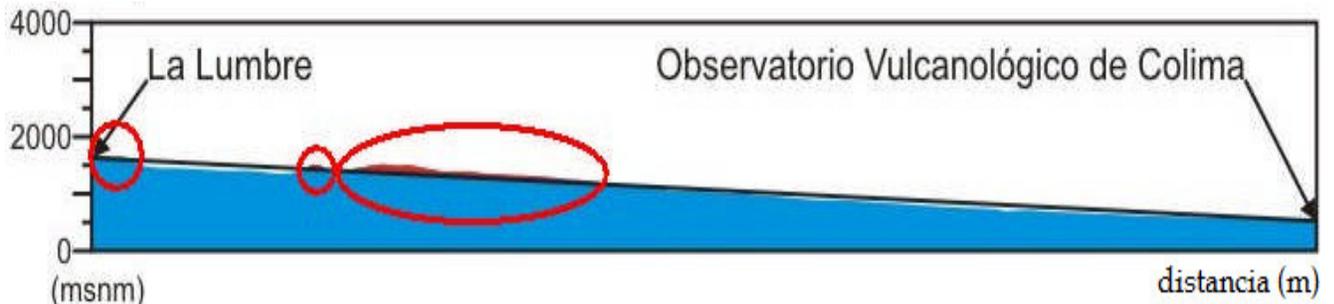


Fig. 27. Obstrucción entre la Lumbre y el Observatorio Vulcanológico de Colima

Repetidor “Cerro Grande”

Cerro Grande fue escogido para instalar el repetidor, por que al realizar el perfil de altitudes de este punto, tanto con la estación La Lumbre, como con el Observatorio Vulcanológico de Colima no presenta obstrucción alguna; aunado a que en el sitio ya se contaba con una estación sísmica instalada por dicho Observatorio, facilitando la instalación y el mantenimiento de la misma.

En este sitio la antena fue colocada en un ángulo 263° respecto al norte; el cual asegura tanto la recepción de las señales de la estación La Lumbre, como la transmisión de los datos al Observatorio Vulcanológico de Colima. Además aprovechando que el lugar es una cerro con gran altura en comparación con los relieves aledaños (1578 m) la vegetación no representó ningún impedimento para la correcta transmisión de datos.

Estación “Juan Barragán”

La estación de Juan Barragán se encuentra aproximadamente a 3.408 km del edificio volcánico en el extremo noroeste, a una altura de 2323 m sobre el nivel del mar.

Este lugar también fue sugerido por el Observatorio Vulcanológico de Colima, ya que cuenta con una estación sísmica instalada en el sitio; con lo que al realizar los perfiles de alturas entre la estación y el Instituto no existían relieves que obstruyan la visibilidad entre los mismos, como se puede observar en la figura 28.

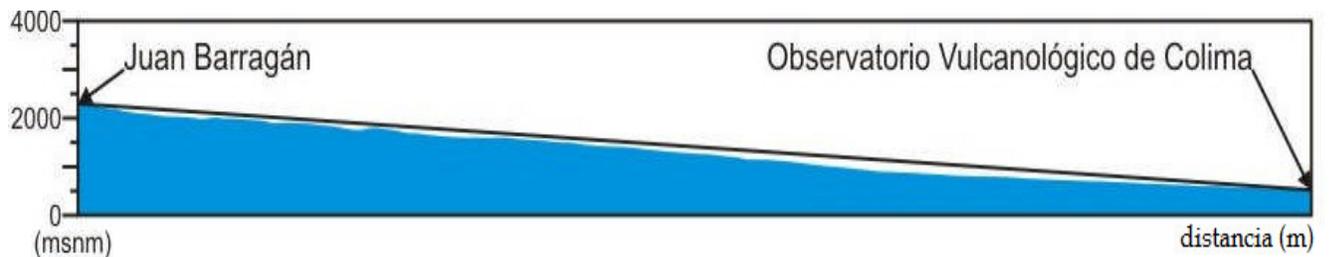


Fig. 28. Líneas de vista entre Juan Barragán y Observatorio Vulcanológico de Colima

En este caso la antena se colocó en un ángulo de 153° medido con respecto al norte, es decir en la dirección del Instituto asegurando la transmisión de datos.

Aquí también fue necesario talar unas ramas pero solo para asegurar el campo de vista del telescopio, sin embargo no fue suficiente para evitar obstrucciones por árboles más distantes difíciles de acceder.

Observatorio Vulcanológico de Colima

La recepción de los datos se lleva a cabo en la Universidad de Colima en el Observatorio Vulcanológico; mediante una antena Yagui-Uda con las mismas características que las de las estaciones; colocada en un ángulo de 10° medidos con respecto al norte y que aseguran la recepción de los datos, tanto para la estación Juan Barragán como con el repetidor en Cerro Grande.

La antena esta conectada a un radiomodem, y éste a su vez a una computadora; en la cual, diariamente se crea una carpeta donde son almacenados los datos recibidos de cada una de las estaciones; para posteriormente ser desplegados en forma grafica por el programa NOVAC, el cual es un software compuesto por varios parámetros de configuración, que aseguran la comunicación

con la estación, la transmisión de datos y la transferencia a un servidor de la Universidad Chalmers de Suecia.

Las gráficas son actualizadas en cada escaneo, es decir, cuando el espectrómetro ha recolectado un total de 51 muestras al dar un giro de 360°; son representadas en forma de histograma, con los ángulos (de -90 a 90°) en el eje de la ordenada al origen y en el de las abscisas la concentración en ppm. Adicionalmente es desplegada una segunda grafica que muestra la concentración o máxima concentración de los niveles de SO₂ a lo largo de todo el día (Concentración ppm vs Hora UTM hrs).

Una vez recibidos los datos, el mismo programa NOVAC se encarga de subirlos al servidor Earthworm en Suecia, mediante un protocolo de transferencia de archivos FTP; donde las diferentes dependencias involucradas en el proyecto NOVAC pueden disponer de los datos para fines de investigación.

Particularidades de la Red mini-DOAS de Colima:

Las dos estaciones y el repetidor que componen la Red mini-DOAS de Colima, son fácilmente accesibles mediante una camioneta de doble tracción por lo que se facilita el regular mantenimiento de las mismas por parte del Observatorio Vulcanológico de Colima.

Por otro lado, dado que en las cercanías del volcán existe mucha vegetación aledaña, es un lugar muy propicio para la caída de rayos; por lo que las estaciones están equipadas con un pararrayos; una varilla aproximadamente de 1 m colocada en la cima del poste y por el cual circula en su interior un cable de cobre conectado en un extremo al pararrayos y en el otro, a una varilla de cobre de 1.5 m enterrada, para formar entonces la tierra física. La caja electrónica que es metálica, también se encuentra aislada al estar conectada a dicha tierra, por si algún rayo cayera en ella, este sea aislado sin afectar el funcionamiento de los equipos. Además de que en la conexión entre la antena y el radiomodem se encuentra un protector de descargas, por si algún rayo cayera en la antena este sea desviado a la tierra física.

Las antenas fueron colocadas horizontalmente; tanto en la estaciones, como en el repetidor y en el Observatorio Vulcanológico de Colima; puesto que se cuenta con un mayor ángulo de apertura, además de que se logra una mayor directividad y se evitan interferencias con antenas del mismo tipo situadas en los mismos puntos de instalación de las estaciones pero en posición vertical.

Con respecto a los paneles solares, estos fueron colocados con una elevación de 19°, correspondiente a la latitud en la que se encuentra el estado de Colima, y la cual es una

orientación recomendada en una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año; al igual que una ubicación este a oeste, conforme el traslado en el cielo del sol durante el día, como se observa en la figura 29, la cual es una imagen de una de las estaciones instaladas en Colima.



Fig. 29. Estación La Lumbre en Colima,
(Fotografía tomada por Ing. José Manuel, Noviembre 2008)

Capítulo 4: Análisis de la red de transmisión del Popocatépetl

Antes de realizar un análisis como tal de la red, debemos mencionar algunos aspectos relevantes necesarios para la simulación; como lo es la forma en la que los radiomodems fueron configurados para comunicarse entre sí.

Modo de operación de los radiomodems

El modo de operación designa el método que los radios utilizarán para comunicarse correctamente con los demás radios. En este caso; los radios fueron configurados como una red Punto a Punto Maestro/Esclavo Switchable que permite al radio ser totalmente controlado a través de comandos de software, los cuales pueden ser cambiados directamente a través de la interfaz de usuario de Hyper Terminal. Además, de que esta opción permite que cuando el maestro no está llamando a un esclavo, este podría funcionar como un esclavo y aceptar cualquier otra llamada de otros radios.

Cuando se utiliza el modo de operación punto a punto Maestro/Esclavo Switchable, es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Es un modo de operación disponible sólo para una interfaz RS232.
- El radio permanece en el modo Esclavo hasta que recibe un llamado por otro radio que se encuentre en su registro o bien al recibir instrucciones para llamar a otro radio a través de una secuencia de comandos AT.

- Si la Terminal de Datos se encuentra lista (DTR), al invocar un comando AT se hará la llamada de inmediato. Pero si el DTR esta en alto; al dar un comando AT el radio no podrá llevar a cabo la llamada.
- El Maestro se desconecta cuando el DTR esta abajo.
- Los archivos de comandos predeterminados pueden ser utilizados, ya que permiten a los usuarios cambiar la configuración de los radios de tal modo que un radio puede llamar a un esclavo predeterminado.

Archivo script o comandos AT

La siguiente tabla incluye los comandos disponibles para ser utilizados en el modo de operación punto a punto Maestro/Esclavo Switchable, así como las funciones de control, que desempeñan.

Comandos AT	Funciones
ATXF	Frecuencia clave
ATXT	Tamaño máximo de paquetes
ATXD	Tamaño mínimo de paquetes
ATXX	Velocidad de transmisión
ATXR	Velocidad de los datos en RF
ATXP	Potencia de transmisión en RF
ATDT	Posición en el Agenda
ATD	Permite a un radio con numero de serie específico efectuar una llamada
ATXD	Usado en conjunción con el comando ATD, le indica al repetidor que trayectoria seguir
ATXS	Indica al radio entra en modo de configuración

Tabla 4.1. Comandos AT utilizados para cambiar la configuración del radiomodem (8.- Spread Spectrum Wireless Data Transceiver User Manual, FreeWave Technologies, 2005.)

En general, los comandos AT se pueden dividir en dos tipos:

- Comandos de establecimiento, los cuales representan los cambios realizados en el radio local.

ATXF_, ATXT_, ATXD_, ATXX_, ATXR_, ATXP_, o ATXS

- Comandos de comunicación; los que se refieren a los vínculos de comunicación que establece un radio con otros radios.

ATDT_, ATD_ o ATXC_ conjuntamente con la ATD_

Parámetros más importantes de los radiomodems:

- Uso de la Agenda

La manera en como se comunican los radiomodems es mediante el uso de la agenda, la cual ofrece seguridad y flexibilidad, ya que permite incorporar hasta 10 radiomodems, designar de 1 a 4 repetidores, para ser utilizado con cada radio; y establecer que esclavo llamará al maestro. Los ajustes que se deben hacer para que dos radiomodems puedan comunicarse en un modo Punto-a-Punto son:

- El número de serie del maestro debe estar inscrito en las agendas de los esclavos y su seguridad se deshabilita.
- El número de serie de los esclavos deben estar escritos en la agenda del maestro.
- El maestro debe ser programado para llamar a los esclavos.

Para llamar a un esclavo a través de uno o más repetidores, este deberá ser llamado individualmente. El maestro llama a cada esclavo en la lista y se conecta con el primer esclavo que responda. Al llamar a través de un repetidor, el maestro debe primero llamar al repetidor y establecer un enlace de comunicación con él antes de hacer contacto con el esclavo.

Al ingresar un radio en la agenda, los repetidores necesitan sólo ser definidos en la agenda del maestro. La agenda del esclavo sólo requiere el número de serie del maestro. Un repetidor no necesita tener nada enlistado en su agenda.

➤ Salto de frecuencia

El radio permite modificar los patrones de salto del transceptor. Hay 15 opciones disponibles para establecer el parámetro FreqKey, representando 15 diferentes pseudo-aleatorios patrones de salto. Esto es para minimizar la interferencia con otros transceptores FreeWave que operen en la zona. Por ejemplo, si hay 10 pares de transceptores FreeWave que operan en distintas redes en estrecha proximidad, la configuración de un valor diferente de FreqKey reduce la posibilidad de que 2 transceptores salten a la misma frecuencia al mismo tiempo. Si dos redes saltaron a la misma frecuencia, el siguiente salto sería a una frecuencia diferente para ambas redes.

Todos los transmisores en una red deben tener configurada una tabla idéntica de saltos de frecuencia para funcionar correctamente.

La banda en la que operará el radiomodems es la Standard abarcando de 902 a 928 MH, esta banda disponible de 26MHz se divide en pequeñas bandas, en este caso 16 más pequeños, y a su

vez cada una de las bandas de frecuencias en 7 canales; aportando 112 canales independientes en los que se puede realizar el salto de frecuencia.

➤ Máximo y mínimo tamaño de paquetes

La configuración del máximo y mínimo tamaño de los paquetes y la velocidad de los datos en RF determinar el número de bytes en los paquetes. El rendimiento se puede mejorar cuando se optimizan los tamaños de paquetes.

La configuración por defecto para el mínimo tamaño de paquetes en bytes es de 44 considerando una velocidad de datos en RF de 3; y el tamaño máximo del paquete en bytes considerado a través del tamaño mínimo de paquetes frente a la configuración de mínimo tamaño de paquetes, con una velocidad de datos en RF de 3 es de 172.

Esto significa, que el maestro transmitirá hasta 172 bytes en cada salto. Si menos de 172 bytes son transmitidos, el balance es asignado a los esclavos, además del tamaño mínimo de paquetes. Por ejemplo, si un maestro transmite 100 bytes, el esclavo tendrá entonces un total de 116 bytes disponibles (72 ("restos de bytes") + 44 (tamaño mínimo de paquetes)).

➤ Velocidad de los datos en RF

Los radiomodems tienen dos configuraciones posibles para la velocidad de datos en RF (2, 3). La configuración 2 debe ser utilizado cuando los radiomodems se encuentran cerca y el rendimiento de los datos tenga que ser optimizado; también debe utilizarse cuando se requiera un pleno rendimiento en 115.2 [KBaud]. Ajuste de 3 debería ser utilizada cuando los transceptores están más lejos y se prefiere un sólido enlace de datos que el rendimiento de más datos.

➤ La seguridad en un esclavo

La seguridad en un esclavo es una función que permite a un esclavo aceptar las transmisiones de un maestro no incluido en su agenda. La configuración por defecto es con la seguridad en el esclavo habilitada, lo que significa que sólo el maestro incluido en la agenda del esclavo podrá conectarse a él. La seguridad en la red puede ser adoptada para prevenir el acceso no autorizado, como el cambio en las configuraciones por defecto.

Ejemplo de una red de comunicación de datos

La configuración de red mostrada en la figura 30 muestra a un maestro habitualmente llamando a un número de esclavos a diferentes tiempos. El maestro se está comunicando con un radiomodem designado como un esclavo/repetidor que está conectado a un dispositivo remoto. El repetidor ubicado en la cima de una colina o cualquier otra estructura elevada mejorara el vínculo del maestro con el esclavo, sin embargo cuando un repetidor se utiliza, el rendimiento de RF se reduce a la mitad. Con dos repetidores existe una mayor flexibilidad para sortear los obstáculos y una gran gama de posibilidad de ubicación de los radios, aprovechando que cuando dos repetidores se utilizan no hay mayor degradación en el rendimiento de RF del enlace. En cualquiera de estas configuraciones es conveniente la utilización de antenas externas omnidireccionales con los repetidores, y antenas Yagi en el maestro y esclavo para aumentar el rango de comunicación. En esta configuración, cualquiera de los esclavos de un momento a otro pueden llamar al maestro, establecer una conexión de enviar y recibir datos.

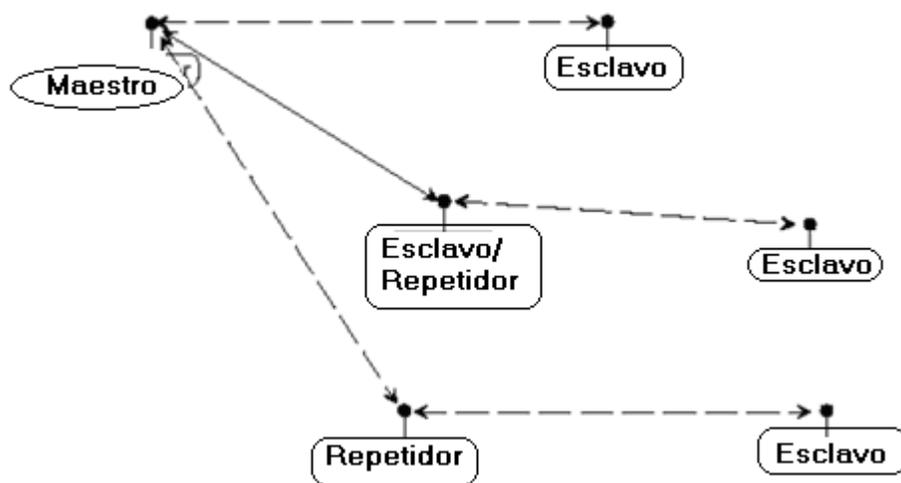


Fig. 30. Ejemplo de configuración de una red maestro-esclavo
(8.- Spread Spectrum Wireless Data Transceiver User Manual, FreeWave Technologies, 2005.)

a) Simulación de la red de transmisión del Popocatepetl por medio de Matlab.

En el volcán Popocatepetl se tienen 3 estaciones que rodean a dicho volcán, dado que hemos estado hablando de todo lo que implica transmitir una señal de un punto a otro, ahora se procederá a realizar los cálculos correspondientes en cada una de las estaciones, así como los repetidores que se involucraron para la transmisión. Para esto nos apoyaremos del software MATLAB y considerando que se tiene los siguientes datos de cada estación:

Estación	Latitud [°]	Longitud [°]	Altitud [m]
CENAPRED	19,3145269763717	-99,1750899504662	2299,500
Altzomoni	19,1204301576699	-98,654074976157	4029,500
Tianguismanalco	18,9775998037973	-98,4481158935129	2160,000
Colibrí	18,9868769060493	-98,5576816312188	2671,800
Tlamacas	19,0667472084129	-98,628638597361	3851,859
Chiquipixtle	19,008800398166	-98,6565999404981	3980,000

Tabla 4.2. Datos de las estaciones de la red del Popocatepetl

- Primero que nada se calculará teóricamente las distancias que existe entre cada estación y el CENAPRED, y las estaciones repetidoras.

$$d = 6378 \sqrt{(Lat_2 - Lat_1)^2 + \cos(Lat_1) \cos(Lat_2) (Lon_2 - Lon_1)^2} \text{ km}$$

Con apoyo del siguiente script se puede obtener las distancias que existen entre una estación y otra, con base en las latitudes y longitudes. Para esto se considera cada punto en donde se localiza cada estación transmisora y repetidora.

CENAPRED-ALTZOMONI

```
%////////////////////////////////////
% Calculos para el siguiente punto Cenapred-Altzomoni
Lat1=19.3145269763717*(pi/180); % En radianes
Lat2=19.1204301576699*(pi/180);
Lon1=-99.1750899504662*(pi/180);
Lon2=-98.654074976157*(pi/180);
var_lat=Lat2-Lat1;
var_lon1=Lon2-Lon1
d1=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+((cos(Lat1)*cos(Lat2))*((Lon2-Lon1)^2)))
```

Resultados:

- d1 = 58.8739 (km) Cenapred-Altzomoni
- d2 = 63.7272 (km) Cenapred-Tlamacas
- d3 = 64.2691 (km) Cenapred-Chiquipixtle
- d12 = 26.8782 (km) Altzomoni- Tianguismanalco
- d13 = 11.5794 (km) Tianguismanalco- Colibri

$$\theta_2 = 270 + \varphi \quad \text{Azimut B}$$

De lo contrario

$$\theta_1 = 270 + \varphi \quad \text{Azimut A}$$

$$\theta_2 = 90 + \varphi \quad \text{Azimut B}$$

```
%Cálculo del ángulo base
k1=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2))
var_lat=Lat2-Lat1;
var_lon1=Lon2-Lon1
fi1=atan(var_lat/(k1*var_lon1))
fi_grados1=fi1*360/(2*pi)
```

```
% Cálculo de Azimut
theta1=270+fi_grados1
theta2=90+fi_grados1
```

Resultados:

```
fi1 = -0.3758
fi_grados1 = -21.5303
theta1 = 248.4697
theta2 = 68.4697
fi2 = -0.4476
fi_grados2 = -25.6464
theta1 = 244.3536
theta2 = 64.3536
fi3 = -0.5580
fi_grados3 = -31.9739
theta1 = 238.0261
theta2 = 58.0261
fi12 = -0.6330
fi_grados12 = -36.2662
theta1 = 233.7338
theta2 = 53.7338
fi13 = -0.0893
fi_grados13 = -5.1167
theta1 = 84.8833
theta2 = 264.8833
```

- Pérdidas de trayectoria por el espacio libre son debidas a las características del medio en las que se propaga la señal, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$L_{FS} = 92.44 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) \quad \text{dB}$$

Donde f es la frecuencia de la señal en GHz y d es la distancia efectiva del enlace en Kilómetros

Resultados:

Primera Estación Cenapred-Altzomoni

Lfs =

Columns 1 through 11

126.9528 126.9567 126.9606 126.9645 126.9684 126.9723 126.9762 126.9801 126.9840 126.9879 126.9918

Columns 12 through 22

126.9957 126.9996 127.0035 127.0074 127.0113 127.0152 127.0190 127.0229 127.0268 127.0307 127.0346

Columns 23 through 33

127.0384 127.0423 127.0462 127.0500 127.0539 127.0578 127.0616 127.0655 127.0694 127.0732 127.0771

Columns 34 through 44

127.0809 127.0848 127.0886 127.0925 127.0963 127.1002 127.1040 127.1079 127.1117 127.1155 127.1194

Columns 45 through 55

127.1232 127.1271 127.1309 127.1347 127.1385 127.1424 127.1462 127.1500 127.1538 127.1577 127.1615

Columns 56 through 64

127.1653 127.1691 127.1729 127.1767 127.1806 127.1844 127.1882 127.1920 127.1958

Dado que son demasiados valores arrojados por cada estación, los demás resultados se podrán consultar en el apéndice así como la forma de calcularlo.

- Tanto en las comunicaciones por radio o inalámbricas, la zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas. Esto es debido a que toda la primera zona contribuye a la propagación de la onda.

Cabe mencionar que la red que se tiene en el Popocatépetl sólo en la comunicación entre Altzomoni- Tianguismanalco existe un obstáculo de 43 cm, por lo que se procede a calcular el radio de Fresnel para saber si tiene un problema significativo para la forma de transmitir.

Para La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}}$$

Donde:

- rn= radio de la enésima zona de Fresnel.
- d1 = distancia desde el transmisor al objeto en km.
- d2 = distancia desde el objeto al receptor en km.
- d = distancia total del enlace en km.
- f = frecuencia en MHz.

Con ayuda de Matlab se tiene:

%Dado que se tiene una obstrucción se procede a calcular el radio de Fresnel

```
f1=902; %%Frecuencia 1 en MHZ
f2=928; %% Frecuencia 2 en MHZ
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=902203125

sal=[];
for i=0:63;
    if i==0;
        f=fi; %Frecuencia inicial
    else
        f=fi+(i)*(por_bw);
    end
    sal=[sal f]; % vector con las 64 portadoras
end
Rfresnel=548.*(sqrt((d12-.486)*.486)./(sal.*d12)) % en metros (estos valores son muy pequeños a nivel de cm)
```

Resultados:

```
Rfresnel =
Columns 1 through 11
0.0809 0.0809 0.0809 0.0808 0.0808 0.0808 0.0807 0.0807 0.0806 0.0806 0.0806
Columns 12 through 22
0.0805 0.0805 0.0805 0.0804 0.0804 0.0804 0.0803 0.0803 0.0802 0.0802 0.0802
Columns 23 through 33
0.0801 0.0801 0.0801 0.0800 0.0800 0.0800 0.0799 0.0799 0.0799 0.0798 0.0798
Columns 34 through 44
0.0797 0.0797 0.0797 0.0796 0.0796 0.0796 0.0795 0.0795 0.0795 0.0794 0.0794
```

Columns 45 through 55

0.0794 0.0793 0.0793 0.0793 0.0792 0.0792 0.0792 0.0791 0.0791 0.0790 0.0790

Columns 56 through 64

0.0790 0.0789 0.0789 0.0789 0.0788 0.0788 0.0788 0.0787 0.0787

Nota: Para todos estos cálculos se pueden consultar en el Apéndice II.

Los cálculos anteriores fueron con respecto a las características del ambiente geográfico, sin embargo eso no es suficiente para asegurar que se tendrá una excelente comunicación entre una estación y otra, por lo que se procede a plantear el mismo sistema que se tiene operando para la transmisión de datos.

Primero que nada se tiene que tener las características de cada radiomodem así como al forma de transmisión.

En el capítulo 3 se menciona como esta conformada la red de transmisión que actualmente se encuentra operando para el volcán Popocatepetl, tanto los equipos que la componen como la forma en la que se encuentra operando. No obstante procederemos a realizar la simulación de la misma, primero tomando en cuenta los parámetros teóricos, esto es para poder identificar los problemas que existen hoy en día en la red existente, puesto que el inciso d) se trabajará sobre los factores que no se tomaron en cuenta para la instalación de la red, una vez realizada la simulación se procederá a realizar un análisis exhaustivo con el fin de dar una conclusión concreta si es necesario realizar una nueva propuesta para la integración de la red o, proporcionar las recomendaciones necesarias para el buen funcionamiento.

Con ayuda de Matlab se plantea el proceso de transmisión y recepción en la red.

Por otro lado, al inicio de este capítulo se plantean los parámetros que se deben tomar en cuenta para un radiomodem, así como la configuración con la que se está trabajando, puesto que se designa un método en que los radios están utilizando para comunicarse, para este caso; los radios fueron configurados como una red Punto a Punto Maestro/Esclavo Switchable que permite al radio ser totalmente controlado a través de comandos de software.

Cabe mencionar que el objetivo principal del proyecto de tesis es enfocarnos a la red de transmisión compuesta por el Instituto de Geofísica, haciendo hincapié que realizaremos la simulación asumiendo que la computadora que se encarga de recolectar la información nos entregará los datos en una trama de bit's, posteriormente nosotras nos encargaremos de realizar

un programa de tal forma que simulará cada proceso que sufre la señal una vez entregada al radiomodem para comenzar con la Transmisión/Recepción.

Se realizó un programa en Matlab con las características que se tienen en la Red del Popocatepetl, con base a la parte teórica y práctica, por otro lado cabe mencionar que por ciertos motivos de seguridad no se tienen datos muy exactos sobre la parte práctica, puesto que la mayoría de información se encuentra en el instituto correspondiente que es el CENAPRED, que se encarga de realizar el análisis correspondiente.

Con el fin de no introducir demasiado código, en el propio proyecto se tomó la decisión de poner gran parte del código en un apartado del apéndice, así que solo mostraremos parte de las salidas del programa que se simuló en cada estación.

Para el primer Radiomodem se consideraron los siguientes parámetros para realizar las gráficas correspondientes:

- ❖ SNR:14
- ❖ Secuencia Binaria Original RADIOMODEM 1
- ❖ Secuencia Binaria filtrada Gaussianamente RADIOMODEM 1
- ❖ Secuencia binaria modulada en GFSK RADIOMODEM 1
- ❖ Señal transmitida en espectro ensanchando RADIOMODEM 1
- ❖ Secuencia binaria dispersada en frecuencia con ruido Blanco RADIOMODEM 1
- ❖ Fragmento de la Senal recibida RADIOMODEM 1
- ❖ Fragmento de la Senal recibida Filtrada Gaussianamente RADIOMODEM 1
- ❖ Secuencia recibida demodulada en FSK RADIOMODEM 1
- ❖ Secuencia recibida demodulada RADIOMODEM 1

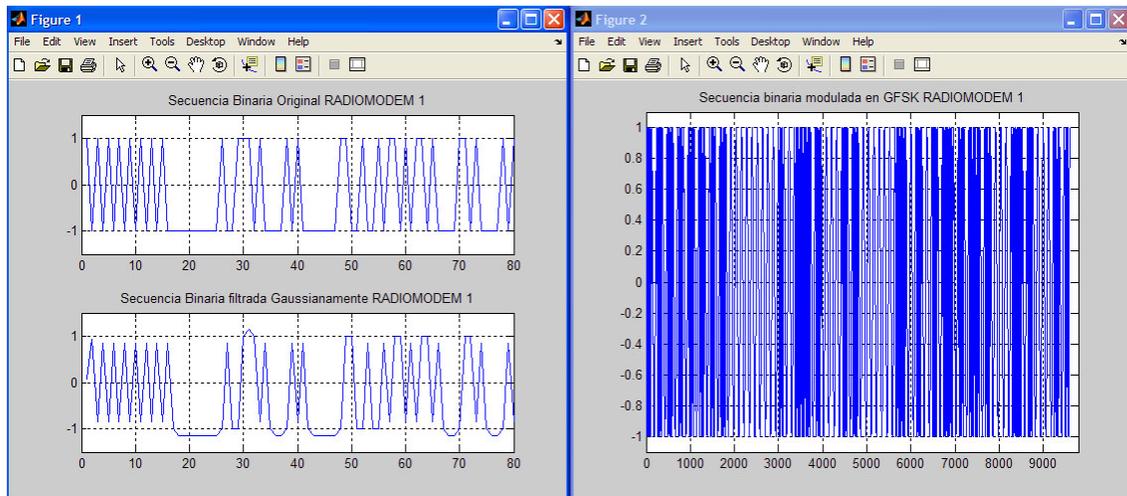


Fig31. a) secuencia de bit's, b) Secuencia binaria modulada

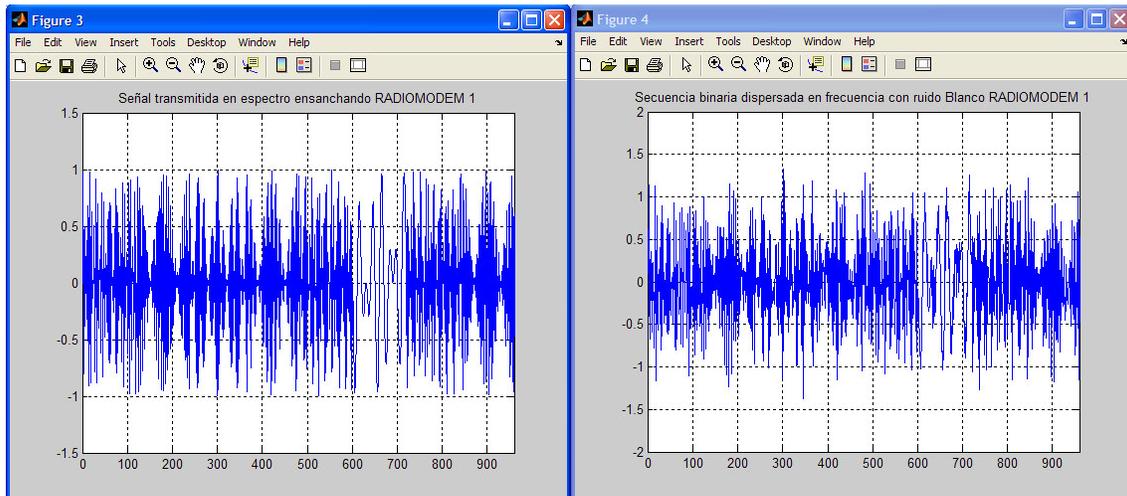


Fig 32. a) Señal transmitida, b) Señal binaria dispersada en frecuencia

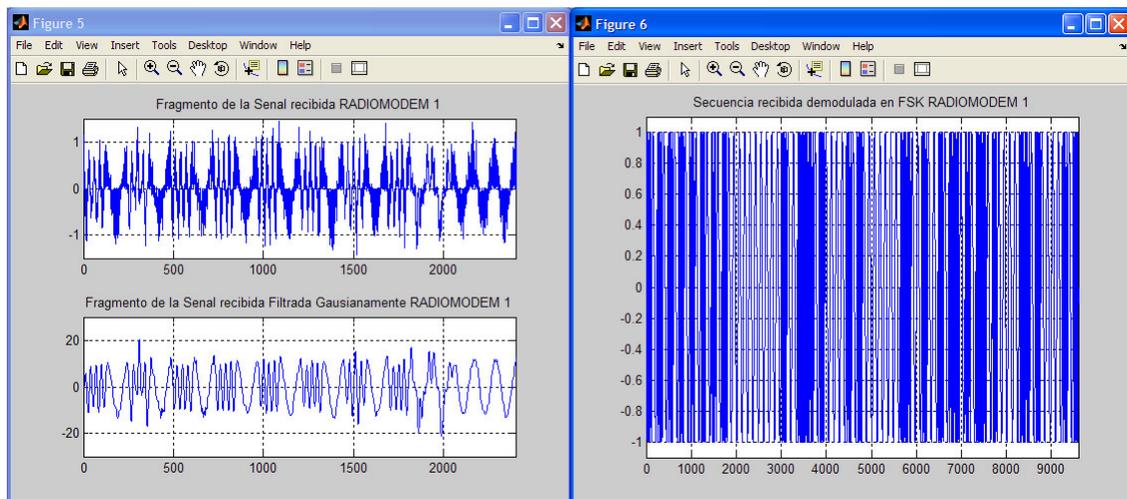


Fig 33. a) Señal Recibida, b) Señal Recibida Demodulada en FSK

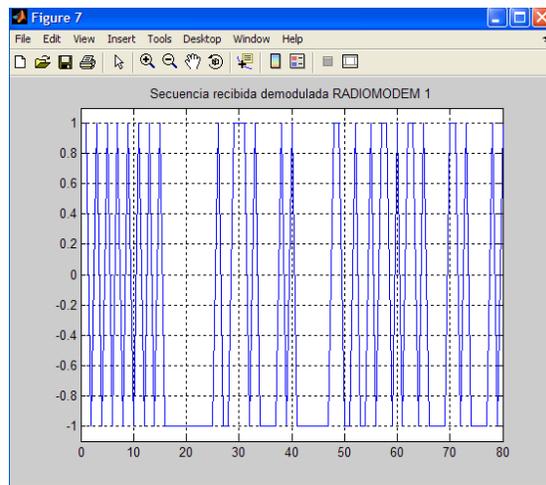


Fig 34. Señal Recibida Demodulada

Cabe mencionar que las gráficas arrojadas son con base en la primera estación que tiene línea de vista directa, además de que no existe algún repetidor y que la transmisión es directa, como lo es para el caso de la estación de Tlamacas. Para la explicación de cada una de las graficas se explicará en el siguiente inciso, con el fin de analizar los resultados arrojados por la simulación.

b) Resultados arrojados por la simulación

Ahora bien se procederá a realizar el análisis de cada unos de los resultados arrojados con ayuda de Matlab.

- Con respecto a las distancias podemos observar que se tienen valores muy cercanos a los reales, existen pequeñas diferencias a nivel de cm, dado que en la figura 20 se observa la distancia que existe entre una estación y otra en el orden de kilómetros.
- Para la distancia efectiva es la distancia real que hay entre una antena y otra para poder efectuar cálculos de enlace. Como podemos observar se tienen valores muy cercanos a las distancias calculadas anteriormente, sin embargo se tiene una pequeña discrepancia en el orden de cm.
- Las pérdidas en el espacio libre depende de la distancia y de la frecuencia de transmisión, es por eso que se tomaron en cuenta las 64 portadoras, como sabemos se está utilizando la técnica de espectro ensanchado, entonces se tiene que tomar en cuenta que nuestra señal se va transmitir por diferentes saltos frecuencia de forma aleatoria por lo que los resultados obtenidos en las pérdidas se guardaron en una matriz de 64 elementos.
- La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para el caso de

radiocomunicaciones depende del valor de K (curvatura de la tierra) considerando que para un $K = 4/3$ la primera zona de Fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con $K = 2/3$ se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel, como podemos observar los valores son pequeños de tal forma que se considera insignificante para que la transmisión puede ser afectada.

Con el fin de analizar las graficas de las figuras (31 a la 34) se mencionará de manera general las características principales de la transmisión, puesto que se realizó a través de una función principal desarrollada en Matlab, ahora bien se tiene los siguientes datos:

En la figura 31 a), b) Se observa la secuencia binaria y la secuencia filtrada gaussianamente, en donde ya se tiene considerado los datos binarios arrojados por la computadora una vez procesada la información de los espectrómetros, además ya viene incluida el vector de sincronía, el cual nos va ayudar a identificar cada cuando inicia una trama de datos y cuando termina, cabe mencionar que una de las características del radiomodem es poner bits de protección, por lo que se utiliza el CRC32, el cual ya esta contemplado en esta secuencia de da datos binarios, por ultimo esta secuencia binaria pasa por un filtro gaussiano, posteriormente pasará por la modulación GFSK, que también es característica del radiomodem, para mayor detalle se puede consultar el en Apéndice I correspondiente.

Para la figura 32 a), b) se muestra las señales transmitidas en espectro ensanchando, para el primer caso se tiene la señal antes de que pase por el canal de transmisión (aire), ya para el siguiente caso se tiene la señal transmitida por el medio, del cual se realizó una simulación correspondiente para el canal de transmisión por lo que se le agregó ruido blanco, de tal forma que se acerque a la transmisión real que se tiene.

La figura 33 a), b) muestran la señal recibida por el radiomodem, sin embargo para el primer caso se tiene la señal recibida aun sin demodular, además pasa por un filtro gaussiano, para el segundo caso ya la señal esta demodulada, de tal forma que se puede realizar comparaciones entre la señal transmitida y señal recibida, que a su vez tiene que ser la misma. En la figura 34 ya se tiene la señal completa tal cual se mandó, en la grafica dada la escala de los ejes no se puede ver a simple vista, sin embargo es la misma.

c) Comparación de los resultados obtenidos mediante la simulación y las características prácticas con las que opera la red actual.

Cuando se comenzó a trabajar en este proyecto se nos comentó ciertos problemas que la red tenía, a continuación se explicara y dará una respuesta a cada una de las incertidumbres que se tenía con respecto a la transmisión de datos en la red del Popocatepetl.

Todas estas respuestas se tienen fundamentos con la parte teórica y parte práctica bajo un esquema de análisis que anteriormente se ha mencionado.

Para probar si existían problemas a la transmisión de datos, en un principio se tenía la idea que fuese por interferencias entre radiomodems adyacentes a la propia red del Instituto, sin embargo para poder responder esta incertidumbre se tiene que tomar en cuenta las características del radiomodem, dado que trabaja con una configuración en modulación GFSK y además utiliza la técnica de espectro ensanchado, lo que significa que la transmisión es mucho más resistente frente a interferencias de banda estrecha, es decir para cuando se tenga una transmisión simultánea de varios usuarios sobre el mismo medio, ya que si se emplean secuencias pseudoaleatorias diferentes y que cumplan ciertas condiciones de ortogonalidad en los códigos, la transmisión es resistente a las interferencias de unos canales sobre otros. Para todo esto se realizó toda la simulación correspondiente bajo los parámetros y características de la red existente, tomando como base la parte teórica.

Otra idea que se tenía es el medio, es decir interferencias por multicamino, para este punto se tiene la siguiente consideración, en el espectro ensanchado la transmisión es resistente a las interferencias por multicamino, porque aunque se trate de una interferencia de la señal sobre sí misma tiene consecuencias parecidas a cualquier otra interferencia de banda estrecha.

Otro punto que hay que tomar en cuenta es que la transmisión se realiza por ondas de radio, por lo que las ondas de radio interfieren entre sí cuando rebotan en los edificios de las ciudades, con lo que la señal se distorsiona, para este caso en la mayoría de las estaciones se tiene línea de vista, sin embargo solo en un repetidor se tiene una pequeña interferencia natural de aproximadamente 43 cm, sin embargo esto no se considera un obstáculo para la transmisión en general, cabe mencionar que las ondas de radio no tienen este problema aunque pueden verse atenuadas por los cambios de clima, lo cual no es tan variable puesto que se está trabajando con una frecuencia de 900 MHz y la longitud de onda es lo suficientemente grande para poder atravesar las gotas de lluvias sin ningún problema.

Para fundamentar bien los resultados se tomó en consideración las siguientes tablas 4.3, 4.4 y 4.5; en donde se toma los parámetros generales de cada estación de la red.

$L_{FS} = 92.44 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d)$; Esta fórmula se encuentra en términos de la distancia y la frecuencia que es lo que hace diferente una estación de otra.

Primera estación Cenapred-Altzomoni										
126.9528	126.9567	126.9606	126.965	126.968	126.9723	126.9762	126.98	126.984	126.988	126.992
126.9957	126.9996	127.0035	127.007	127.011	127.0152	127.019	127.023	127.0268	127.031	127.035
127.0384	127.0423	127.0462	127.05	127.054	127.0578	127.0616	127.066	127.0694	127.073	127.077
127.0809	127.0848	127.0886	127.093	127.096	127.1002	127.104	127.108	127.1117	127.116	127.119
127.1232	127.1271	127.1309	127.135	127.139	127.1424	127.1462	127.15	127.1538	127.158	127.162
127.1653	127.1691	127.1729	127.177	127.181	127.1844	127.1882	127.192	127.1958		

Tabla 4.3. Pérdidas en el espacio libre entre Cenapred y Altzomoni

Segunda estación Cenapred-Tlamacas										
127.6406	127.6446	127.6485	127.652	127.656	127.6602	127.6641	127.668	127.6719	127.676	127.68
127.6836	127.6875	127.6913	127.695	127.699	127.703	127.7069	127.711	127.7146	127.719	127.722
127.7263	127.7301	127.734	127.738	127.742	127.7456	127.7495	127.753	127.7572	127.761	127.765
127.7688	127.7726	127.7765	127.78	127.784	127.788	127.7919	127.796	127.7995	127.803	127.807
127.8111	127.8149	127.8187	127.823	127.826	127.8302	127.834	127.838	127.8417	127.846	127.849
127.8531	127.857	127.8608	127.865	127.868	127.8722	127.876	127.88	127.8836		

Tabla 4.4. Pérdidas en el espacio libre entre Cenapred y Tlamacas

Tercera estación Cenapred-Chiquipixtle										
127.7133	127.7173	127.7212	127.725	127.729	127.7329	127.7368	127.741	127.7446	127.749	127.752
127.7563	127.7602	127.764	127.768	127.772	127.7757	127.7796	127.784	127.7873	127.791	127.795
127.799	127.8028	127.8067	127.811	127.814	127.8183	127.8222	127.826	127.8299	127.834	127.838
127.8415	127.8453	127.8492	127.853	127.857	127.8607	127.8646	127.868	127.8722	127.876	127.88
127.8838	127.8876	127.8914	127.895	127.899	127.9029	127.9067	127.911	127.9144	127.918	127.922
127.9258	127.9297	127.9335	127.937	127.941	127.9449	127.9487	127.953	127.9563		

Tabla 4.5. Pérdidas en el espacio libre entre Cenapred y Chiquipixtle

Sin embargo revisando los datos obtenidos bajo las mismas frecuencias pero con distancias diferentes, se tiene una diferencia mínima entre una estación a otra estación con respecto a las pérdidas de trayectoria.

d) Propuestas de mejora con base en el análisis realizado

- I. Factores que no se tomaron en cuenta para la implementación de la red existente y que se propone sean considerados

Cuando se inicio el estudio para el análisis de las redes se tomó en cuenta los principales factores para la implementación de la red de Telemetría, puesto que para instalar una red inalámbrica y, en particular, ubicar los puntos de acceso a fin de obtener el máximo alcance posible, se deben conocer algunos datos con respecto a la propagación de las ondas de radio.

Las ondas de radio se propagan en línea recta en varias direcciones al mismo tiempo. En vacío, las ondas de radio se propagan a $3,10^8$ m/s. En cualquier otro medio, la señal se vuelve más débil debido a:

- ✓ La reflexión
- ✓ La refracción
- ✓ La difracción
- ✓ La absorción

Para estos casos en los capítulos anteriores ya se han estado trabajando y realizando el análisis, por otro lado algo que se tiene que considerar es que la atenuación para las ondas de radio aumenta cuando sube la frecuencia o se aumenta la distancia. Así mismo, cuando la señal choca con un obstáculo, el valor de atenuación depende considerablemente del tipo de material del obstáculo. Los obstáculos metálicos tienden a reflejar una señal, en tanto que el agua la absorbe, a veces el debilitamiento de la señal se debe en gran parte a las propiedades del medio que atraviesa la onda. La tabla 4.6, muestra los niveles de atenuación para diferentes materiales:

Materiales	Grado de atenuación	Ejemplos
Aire	Ninguno	Aire libre.
Madera	Bajo	Arboles altos
Agua	Medio	Lago, laguna
Seres vivos	Medio	Multitud, animales, personas, plantas
Ladrillos	Medio	Paredes
Concreto	Alto	Muros de carga, pisos, columnas
Metal	Muy alto	Concreto reforzado, espejos, armarios metálicos, cabina del ascensor

Tabla 4.6. Niveles de atenuación para diferentes materias

Así que para eso se realizó la siguiente tabla de tal forma de hacer un check-list de lo que se consideró y de lo que no se consideró para la implementación de red, dado que uno de los factores como temperatura, ruido, vibración e iluminación son aspectos que se deben de tomar en cuenta al momento de diseñar espacios adecuados para la implementación de la red, en estos casos las estaciones de los radiomodem.

Factores	SI	NO	Mejoras/Observaciones
Alta tensión		X	Los radios Frewave son inmunes a fuentes cercanas de ruido electromagnético.
Suelo		X	El tipo de relieve fue un factor determinante en la selección de los sitios, ya que de ello dependía que se contara con la línea de vista directa entre las estaciones.
Zona geográfica	X		La ubicación de la estaciones fue determinada por la distancia al cráter del volcán, donde las concentraciones de SO ₂ no han sufrido tanta dispersión; además se consideró que se tuviera línea de vista con el centro de recepción de datos con la finalidad de no repetir la señal en varios ocasiones, ya que el rendimiento del enlace disminuye. Por otro lado se tomo en cuenta también la facilidad de acceso al sitio para la instalación y mantenimiento del mismo.
Humedad		X	La humedad no es un factor que pueda ser tomado en cuenta, pues es inherente en la zona. Es recomendable el mantenimiento de la red para evitar la humedad en el cable coaxial o antenas petrificadas por el hielo.
Temperatura ambiental		X	La temperatura también es propia de las cercanías del volcán.
Polvo		X	Al ser una zona con vegetación abundante y fría, el polvo no representa problema en la red.
Ruido	X		Se extiende al azar en el aspecto de frecuencia. Es causado por la actividad molecular mediante el medio a través del cual el mensaje es transmitido. La forma de corregir esto es ajustando la relación señal/ruido en un nivel suficientemente alto para que el ruido de fondo no sea afectado o pueda ser fácilmente filtrado.
Atenuación	X		La energía de una señal decae con la distancia, por lo que hay que asegurarse que llegue con la suficiente energía como para ser captada por la circuitería del receptor. En este caso se puede cambiar el parámetro de RF XMIT POWER, para transmitir con una mayor potencia sin proparar los 100 mW o 20 dB permitidos. O bien utilizar una antena que proporcione mayor ganancia al enlace.
Interferencias	X		Como los radios de espectro disperso permanecen tiempos tan cortos en una frecuencia específica, no hay interferencia notable entre ellos. Hasta 100 sistemas FHSS pueden operar dentro de una misma área sin degradación notable de operación.

Distorsión		X	La velocidad de propagación de una señal varía con la frecuencia, hay frecuencias que llegan antes que otras dentro de la misma señal y por tanto las diferentes componentes en frecuencia de la señal llegan en instantes diferentes al receptor. Para atenuar este problema se usan técnicas de ecualización, la cual dependerá del equipo que se utilice. Todos los radios inalámbricos se ven afectados por las trayectorias múltiples de las señales. Las señales reflejadas siguen una trayectoria mayor a las que se transmiten directo, causando problemas de desfase y pérdidas de energía. Es un hecho que cambiando la magnitud de la trayectoria reflejada o la frecuencia de radio, se puede reducir el impacto de este problema
Existencia de equipos de comunicación	X		Los radios FREEWAVE usan un ancho de banda de 26 MHz, de 902 a 928 MHz, operando en 64 frecuencias diferentes y al azar, permanecen tiempos tan cortos en una frecuencia específica; por lo que cualquier otro radio trabajando cerca puede bloquear un sistema de espectro disperso por una fracción de segundo únicamente en una frecuencia, lo que no es notable para aplicaciones industriales.
Control ambiental	X		Las condiciones ambientales es un tema que se tiene que tomar mucho en cuenta, ya que de estos factores depende el buen funcionamiento de la red. Por medio de los factores se crean las medidas de seguridad de la red. En particular los ruidos son un gran problema en las comunicaciones de datos porque son causa de error de transmisión.
Transmisión en tiempo real	X		Los radios soportan tiempo real siempre y cuando las especificaciones de los mismos no sean sobrepasadas por la aplicación o que la aplicación pueda tolerar las demoras de los radios, las cuales van de los 10 a los 100 ms. Esta demora depende de la calidad de la trayectoria de las señales.

Tabla 4.7. Consideraciones tomadas en cuenta en la red del Popocatépetl

Como se puede observar en la tabla 4.7, para la implementación de la red del Popocatépetl se han considerado los factores más significativos, así como las ventajas propias de los radios Freewave garantizándonos que la red debe estar funcionando correctamente.

Calculo del enlace

A continuación se realiza un pequeño cálculo de enlace, concerniente a todos los elementos que intervienen en una transmisión. Cabe recalcar que se tomaron en cuenta las condiciones más significativas con el fin de obtener un margen general, que permita englobar todas y cada una de las estaciones que componen las redes de monitoreo.

Un radio-enlace está formado por tres elementos básicos:

- ❖ Potencia radiada: Se refiere a la suma de la energía emitida por el equipo transmisor en dBm, las pérdidas por cables y conectores en dB y la ganancia de la antena en dBi.
- ❖ Pérdidas en la propagación: Pérdidas en el espacio libre en dB.

- ❖ Sensibilidad efectiva de recepción: Es la suma de la ganancia de la antena de recepción en dBi más las pérdidas en los cables y conectores en dB y la sensibilidad del receptor en dBm.

Para conseguir un buen funcionamiento de una red; la suma de la potencia radiada más las pérdidas de propagación y la sensibilidad de recepción debe ser mayor que 0. El sobrante nos indicará el margen de funcionamiento que tiene el sistema. Un buen radio-enlace debería tener de 6 a 10 dB de margen.

Potencia radiada:

La potencia radiada es la potencia enviada por la antena en dirección de su máxima ganancia y puede calcularse fácilmente en dBm, como se menciono anteriormente:

$$P_{\text{radiada}} [\text{dBm}] = P_{\text{Tx}} [\text{dBm}] - L_{\text{Cab.y.cone}} [\text{dB}] + G_{\text{Tx}} [\text{dBi}]$$

De acuerdo a las especificaciones del radio Frewave, la mínima potencia de salida con la que pueden ser configurados es de 5 mW, equivalente a:

$$P_{\text{OUT_RADIO}} = 10\log_{10}(.005 \text{ W}/.001\text{W}) = 6.9897 \text{ dBm}$$

Por otro lado la máxima potencia de salida que puede ser configurada en el radio es de 1 W; sin embargo para los equipos que se encuentran operando en la banda ISM (industriales, científicas y médicas) de 900 MHz libre del pago de licencia, la COFETEL establece que la potencia máxima de salida debe ser limitada a 100 mW o 20 dB.

Con respecto a las especificaciones eléctricas de la antena Yagi Bluewave, la ganancia nominal es de 10 dBd, la cual expresa la ganancia comparada con la de una antena dipolo; por lo que es necesario añadir 2.14 para obtener la ganancia correspondiente en dBi. De esta manera la ganancia de la antena es de 12.4 dBi tanto en la transmisión como en la recepción.

Las pérdidas de los conectores las podemos considerar de aproximadamente -2.56 dB, ya que el tipo de cable utilizado para conectar la antena al protector de descargas, es el LMR-400 cuyas pérdidas son de 4 dB/30.5 m, y se ocuparon aproximadamente 2 metros de cable. Posteriormente .60 m de cable LMR-240 para conectar el protector de descargas con el radiomodem cuya pérdidas es de .415 dB/m y se consideraron 4 conectores (EZ-400 entre el cable de la antena y el cable de 2 metros, el conector entre este ultimo y el protector de descargas, el conector de la

salida de este con el cable EZ-240 y este ultimo con el radiomodem) con pérdidas aproximadas de .5 dB cada uno. Entonces se tiene:

$$L_{\text{Cab_y_cone}} [\text{dB}] = .4 \text{ m}(4 \text{ dB}/30.5 \text{ m}) + 4(.5 \text{ dB}) + 2(4 \text{ dB}/30.5 \text{ m}) + .6 \text{ m}(.415 \text{ dB}/\text{m}) = 2.5638 \text{ dB}$$

Por lo tanto, la potencia radiada será:

$$P_{\text{radiada}} [\text{dBm}] = 6.9897 \text{ dBm} - 2.56 \text{ dB} + 12.4 \text{ dBi} = 16.8297 \text{ dB}$$

Pérdidas de propagación:

Las pérdidas de propagación son las debidas al paso de la señal por el espacio libre y cuyo calculo se incluyo en el capitulo 4 y 5 para cada una de las estaciones que conforman las redes de monitoreo del Popocatepetl y volcán de Fuego de Colima. Como se pudo observar, estas perdidas se encuentran en función de la distancia entre las estaciones y la frecuencia. Para este ejemplo se consideraron pérdidas en el espacio libre de 127.9563 dB, correspondiente al enlace entre el Cenapred y Chiquipixtle; por tener la mayor distancia entre estaciones con 64.208 km; y tomando la portadora con mayor frecuencia, la cual es 927.7968 MHz, entonces:

$$L_{FS} = 92.44 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) = 127.9563 \text{ dB}$$

Sensibilidad efectiva de recepción:

La sensibilidad de recepción se refiere al nivel de señal presente en el conector del receptor, el cual tiene un umbral (threshold) de potencia mínimo que la señal debe alcanzar para lograr una determinada tasa de transferencia (bitrate). Si la potencia de la señal es menor irá decreciendo el máximo bitrate o el rendimiento. En las especificaciones del radio freewave indica que la sensibilidad es de -108 dBm para un bit error rate de 10^{-6} .

$$S_{\text{efec_RX}} = G_{\text{Rx}} [\text{dBi}] - L_{\text{Cab_y_cone}} [\text{dB}] + S_{\text{Rx}} [\text{dBm}]$$

$$S_{\text{efec_RX}} = 12.4 [\text{dBi}] - 2.56 [\text{dB}] - (-108) [\text{dBm}] = 117.84 \text{ dB}$$

Por lo que obteniendo el cálculo del enlace:

$$\text{Margen de enlace} = 16.8297 \text{ dB} - 127.9563 \text{ dB} + 117.84 \text{ dB} = 6.7134 \text{ dB}$$

Con este resultado se puede concluir que se conseguirá un buen funcionamiento del enlace al obtenerse 6.7 dB de margen de potencia, tomando en cuenta que se ha considerado el enlace con mayor distancia entre estaciones y la frecuencia portadora mas alta, ocasionando las mayores pérdidas en el espacio libre; así como la mínima potencia que puede ser utilizada por el radiomodem transmisor, asegurando que cualquiera de los enlaces que componen las redes del Popocatepetl será capaz de transmitir con los niveles suficientes de potencia.

Capítulo 5: Análisis de la red de transmisión del volcán de Fuego de Colima

a) Simulación de la red de transmisión del volcán Fuego de Colima por medio de Matlab

La red de transmisión del volcán de Fuego de Colima se simuló con base al modo de operación de los radiomodems de Punto a Punto Maestro/Esclavo Switchable; en la que el maestro va preguntando a cada uno de sus esclavos si tiene datos que transmitir; si el radio al que interroga tiene información que transmitir, se la envía; de lo contrario el maestro cuestiona al siguiente esclavo quien también puede o no tener datos que transmitir; mientras el primer esclavo aguarda a que el maestro vuelva a preguntarle. El maestro continúa así con cada uno de sus esclavos, hasta que termina de recorrer la red, para regresar a interrogarlos nuevamente. Cuando algún esclavo envía su información al maestro, en el lado del receptor se verifica que este libre de errores o de lo contrario se retransmite hasta que se reciba correctamente.

Tomando en cuenta este modo de operación; a continuación se presenta el cuerpo del programa que simula la red de transmisión del volcán de Fuego de Colima, la cual está compuesta por un maestro situado en el Observatorio Vulcanológico de Colima y dos esclavos ubicados en las estaciones de Juan Barragán y La Lumbre respectivamente; sin embargo como este último punto no tiene línea de vista directa con el Observatorio, se vale de un repetidor en Cerro Grande para transmitir su información.

Es necesario hacer hincapié en que el código que a continuación se presenta, indica solamente en enunciados la secuencia en la que se haría la transmisión de datos de los dos esclavos al maestro; en función de que la selección del primer radio que transmite fuera aleatoria y cuente o no con datos que enviar; considerando también al repetidor que se encuentra en la configuración de la red, dado que este solo podrá transmitir información si el radiomodem de la Lumbre (o radio dos en

este caso) se la ha enviado. El resto del código en el que se invocan las funciones que simulan la codificación, modulación, esparcimiento en frecuencia, transmisión, recepción y demodulación de la trama enviada, así como sus graficas correspondientes; se intercalaría entre estas líneas a fin de obtener la simulación completa de la red en cuestión. Estas funciones que se mencionan son descritas en el Apéndice II de esta tesis.

```

radio=randint(1,1,[1,2]); %Maestro pregunta a un radio al azar
if radio==1; % Selecciona radio 1
    disp('Maestro pregunta al radio 1 si tiene datos que transmitir')
    ra_1=randint(1,1,[1,2]);
    if ra_1==1; % Si fue ra_1 fue tiene datos que transmitir
        disp('El radio 1 tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 1 transmitió datos correctamente')
        disp('El maestro le pregunta al repetidor si tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 2 tiene datos que transmitir por lo que se los envía al repetidor')
        disp('El repetidor ha trasmitido datos correctamente')
    else
        disp('El radio 1 no tiene datos que transmitir por lo que pregunta al repetidor')
        rep_1=randint(1,1,[1,2]);
        if rep_1==1;
            disp('El radio 2 tiene datos que transmitir por lo que se los envía al repetidor')
            disp('El radio 2 ha enviado datos libres de errores al repetidor, por lo cual este ultimo tiene
datos que transmitir')
            disp('El repetidor ha trasmitido datos correctamente')
            disp('El maestro pregunta al radio 1 si tiene datos que transmitir')
            disp('El radio 1 tiene datos que transmitir')
            disp('El radio 1 ha enviado datos correctamente')
        else
            disp('El radio 2 no tuvo datos que trasmitir y maestro pregunta nuevamente a Radio 1')
            disp('El radio 1 tiene datos que transmitir')
            disp('El radio 1 ha enviado datos correctamente')
            disp('El maestro pregunta al repetidor si tiene datos para enviar')
            disp('El radio 2 tiene datos que transmitir por lo que se los envía al repetidor')
            disp('El radio 2 ha enviado datos libres de errores al repetidor, por lo cual este ultimo tiene
datos que transmitir')
            disp('El repetidor ha trasmitido datos correctamente')
        end
    end
end
else
    disp('Maestro pregunta al repetidor si tiene datos que transmitir')
    rep_1=randint(1,1,[1,2]);
    if rep_1==1;
        disp('El radio 2 tiene datos que transmitir por lo que se los envía al repetidor')
        disp('El radio 2 ha enviado datos libres de errores al repetidor, por lo cual este ultimo tiene
datos que transmitir')
        disp('El repetidor envió datos correctamente')
        disp('El maestro pregunta al radio 1 si tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 1 tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 1 ha enviado datos correctamente')
    end
end

```

```

else
    disp('El radio 2 no tuvo datos que transmitir, por lo que el maestro preguntara al Radio 1')
    ra_1=randint(1,1,[1,2]);
    if ra_1==1;
        disp('El radio 1 tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 1 transmitió datos correctamente')
        disp('El maestro preguntara nuevamente al repetidor si tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 2 tiene datos que transmitir por lo que se los envía al repetidor')
        disp('El repetidor envió datos correctamente')
    else
        disp('El radio 1 no tiene datos que transmitir')
        disp('El maestro preguntara nuevamente al repetidor')
        disp('El radio 2 tiene datos que transmitir por lo que se los envía al repetidor')
        disp('El radio 2 ha enviado datos libres de errores al repetidor, por lo cual este ultimo tiene
datos que transmitir')
        disp('El repetidor envió datos correctamente')
        disp('El maestro pregunta al radio 1 si tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 1 tiene datos que transmitir')
        disp('El radio 1 ha enviado datos correctamente')
    end
end
end
end

```

Para completar la simulación de la red de transmisión de datos del Volcán de fuego de Colima, se realizan una serie de cálculos teóricos relativos al enlace, considerando los valores de altitud, longitud y latitud de las estaciones que componen la red. Cabe mencionar que los cálculos se realizaron con ayuda de pequeños programas efectuados en Matlab, y los cuales son incluidos en el Apéndice II de esta tesis y que son los mismos ocupados en la red del Popocatepetl mencionados en el capítulo anterior.

De acuerdo al GPS TrackMaker las coordenadas de las estaciones que componen la red de Colima se muestran en la tabla 5.1:

	La Lumbre	Repetidor	Observatorio V.	Juan Barragán
Latitud [°]	19.48857790002	19.39085027414	19.24399748762	19.51594578224
Longitud [°]	-103.685238988	-103.857344186	-103.702295909	-103.570280057
Altitud [m]	1592.778	1578.839	533.894	2323.500

Tabla 5.1. Coordenadas de las estaciones de la Red de Monitoreo de Colima

❖ **Distancia superficial:**

La distancia superficial es la distancia que existe entre dos estaciones sobre la superficie terrestre sin considerar las altitudes sobre el nivel del mar y las alturas sobre el nivel del terreno. El cálculo se realizó a través de la fórmula de Haversine, el cual considera un modelo terrestre esférico y el cálculo de la distancia es geométrico:

$$d = 6378 \sqrt{(Lat_2 - Lat_1)^2 + \cos(Lat_1) \cos(Lat_2) (Lon_2 - Lon_1)^2} \text{ km}$$

Con ayuda de Matlab y los datos de longitud y latitud (convertidos en radianes) contenidos en la tabla anterior, se obtuvo que la distancia superficial entre La Lumbre y el Repetidor es de 21.0886 km, entre el Repetidor y el Observatorio de 23.0765 km y entre Juan Barragan y el Observatorio de 33.2957 km. Estos valores son muy parecidos a los visualizados mediante el programa GPS TrackMaker en la figura 27.

❖ **Distancia efectiva (Antena a Antena):**

Es la distancia real que hay entre antena y antena y es con la cual se deben efectuar los cálculos del enlace, por lo que es necesario emplear las altitudes sobre el nivel del mar (ASNМ) y las alturas sobre el nivel del terreno (ASNT) mediante la formula:

$$d_{efec} = \sqrt{d^2 + [(ASNМ_1 + ASNT_1) - (ASNМ_2 + ASNT_2)]^2} \text{ km}$$

Así, entre la Lumbre y el Repetidor la distancia efectiva es de 21.0886 Km considerando la altitudes sobre el nivel del mar indicadas en la tabla anterior y una altura sobre el nivel del mar de 3 m en la Lumbre y 2.7 m en Cerro Grande, debido a que en este ultimo punto se instalo el repetidor usando la infraestructura de una estación de monitoreo sismológica del Volcán de Fuego de Colima propiedad del Observatorio, quedando por ende un poco mas abajo la colocación de la antena.

La distancia efectiva entre el Observatorio y el Repetidor es de 23.1 km considerando los valores de altitudes sobre el nivel del mar de .533 km y 1.578 km respectivamente, y alturas de las antenas 2.7 m en Cerro Grande y 5 m en el Observatorio dado que se ubico en una torre en el techo del mismo.

El calculo de la distancia efectiva entre Juan Barragán y el Observatorio resulto de 33.3436 km, considerando los datos mencionados con anterioridad.

Cabe mencionar que estos valores varían en solo algunos centímetros con respecto a las distancias superficiales obtenidas en el primer cálculo; por lo que podemos inferir que la altura de las antenas no incrementa en mucho la distancia verdadera del enlace; a menos que esta altura sea realmente significativa entre ambos puntos.

❖ **Calculo del ángulo base:**

El ángulo de azimut es el formado por la dirección en que la antena de una estación se orienta y el norte geográfico, en las direcciones a las manecillas del reloj. Este ángulo se calcula a través de:

Si $\Delta Lon < 0$

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 90 + \varphi && \text{Azimut A} \\ \theta_2 &= 270 + \varphi && \text{Azimut B}\end{aligned}$$

De lo contrario

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 270 + \varphi && \text{Azimut A} \\ \theta_2 &= 90 + \varphi && \text{Azimut B}\end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned}\Delta Lat &= Lat_2 - Lat_1 \\ \Delta Lon &= Lon_2 - Lon_1\end{aligned}$$

Y φ es el ángulo base obtenido con las ecuaciones:

$$\begin{aligned}K_1 &= \sqrt{\cos(Lat_1) \cos(Lat_2)} \\ \varphi &= \tan^{-1} \left(\frac{\Delta Lat}{(K_1)(\Delta Lon)} \right)\end{aligned}$$

Realizando los cálculos con ayuda de Matlab se obtiene que el ángulo base entre La Lumbre y el Repetidor es de 31.054° y como el incremento entre ángulos de longitudes ($\Delta Lon = -.003$) es menor de cero se encuentra que:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 121.054^\circ \text{ Azimut de La Lumbre} \\ \theta_2 &= 301.054^\circ \text{ Azimut del Repetidor}\end{aligned}$$

En el caso del ángulo base entre el Repetidor y el Observatorio es de -45.1043° con un $\Delta Lon = -.0027$; por lo que el ángulo de azimut de cada punto es:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= 44.8957^\circ \text{ Azimut del Repetidor} \\ \theta_2 &= 224.8957^\circ \text{ Azimut del Observatorio}\end{aligned}$$

Por ultimo, para la estación de Juan Barragán y el Observatorio el ángulo base fue de 65.3952° con $\Delta Lon = -.0027$, por lo que aplicando el criterio anteriormente mencionado se tiene:

$\theta_1 = 337.5329^\circ$ Azimut de Juan Barragan
 $\theta_2 = 157.5329^\circ$ Azimut del Observatorio

En este caso, es necesario comentar que los ángulos con los que fueron orientadas las antenas no corresponden con los obtenidos teóricamente anteriormente, ya que se busco asegurar la transmisión y recepción de datos para todas las estaciones comunes en algún nodo.

❖ ***Pérdidas en el espacio libre***

Las pérdidas en el espacio libre son las causadas por la dispersión natural de las ondas electromagnéticas durante el fenómeno de propagación de la señal. Depende de la distancia y la frecuencia de transmisión y son independientes de las condiciones atmosféricas, como se visualiza en la siguiente relación para obtenerlas:

$$L_{FS} = 92.44 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) \quad \text{dB}$$

Donde f es la frecuencia de la señal en GHz y d es la distancia efectiva del enlace en km.

En este caso como el tipo de modulación que utilizan los radios Freeway es de espectro disperso abarcando un ancho de banda de 26 MHz (de 902 a 928 MHz), repartido en 64 frecuencias diferentes que esparcen el espectro; las pérdidas que se tendrán por cada una de estas portadoras se calcularon a través de la matriz L_{fs} que se incluye el Apéndice II, junto con el código realizado en Matlab para la obtención de las mismas. Sin embargo se decidió graficar esos valores de la matriz L_{fs} para observar la variación de las pérdidas en el espacio libre para cada una de las 64 frecuencias portadoras, considerando las distancias efectivas entre las estaciones.

Para una distancia efectiva de 21.0886 km, la comprendida entre La Lumbre y el Repetidor se observa en la figura 35 que las pérdidas en el espacio libre se encuentran entre 118.027 y 118.27 dB, la cual denota un incremento realmente pequeño.

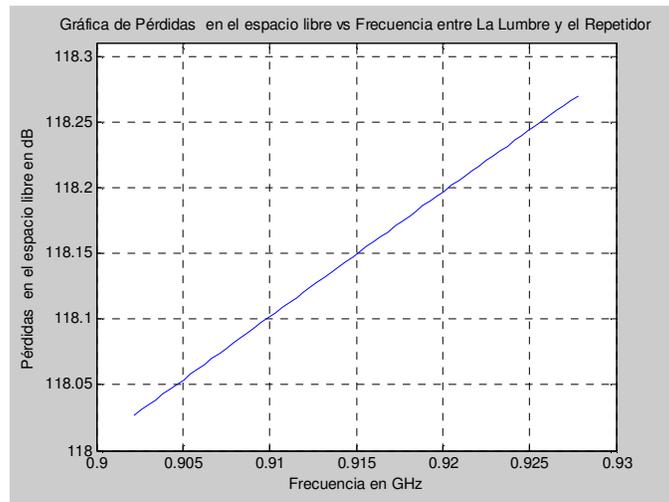


Fig 35. Pérdidas en el espacio Libre vs Frecuencia para una distancia efectiva de 21.0886 km

En el caso de la distancia efectiva entre el Repetidor y el Observatorio de 23.1 km se visualiza en la grafica de la figura 36, que las pérdidas en el espacio libre van de 118.8183 hasta 119.0079 dB el cual también es un incremento a nivel de decimales.

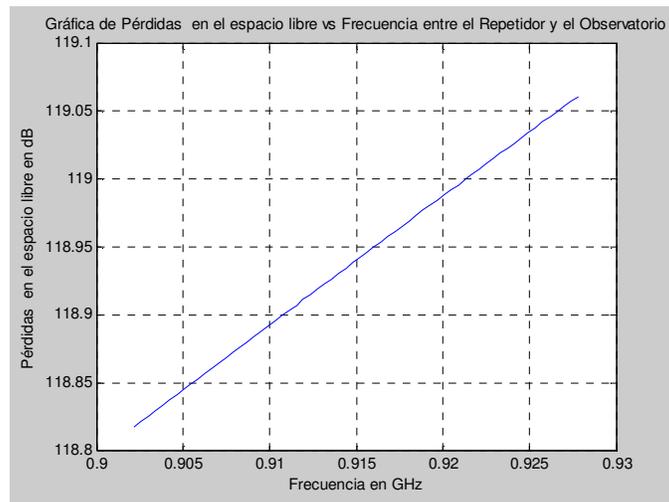


Fig 36. Pérdidas en el espacio Libre vs Frecuencia para una distancia efectiva de 23.1 km

En la figura 37 se aprecia que para una distancia efectiva de 33.3436 km, la existente entre Juan Barragan y el Observatorio, las pérdidas en el espacio libre varían también muy poco al estar comprendidas entre 122.0063 a 122.2493 dB.

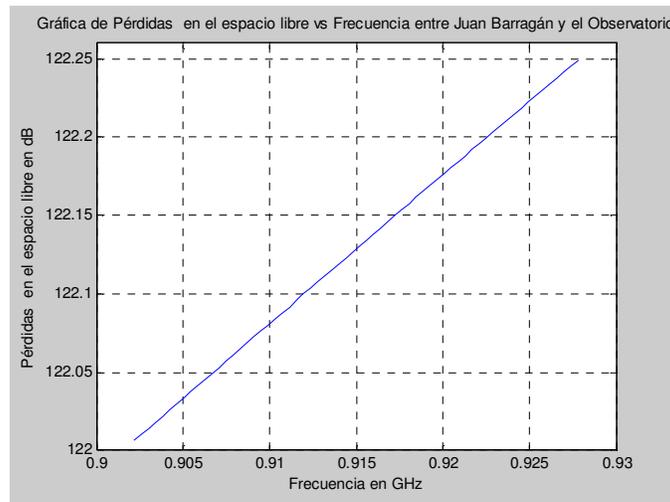


Fig 36. Pérdidas en el espacio Libre vs Frecuencia para una distancia efectiva de 33.34 km

De las graficas obtenidas se puede apreciar que, la distancia es el parámetro del que depende el incremento de las pérdidas en el espacio libre entre dos estaciones, así como de la frecuencia en la que se estén transmitiendo los datos.

b) Resultados arrojados de la simulación.

A continuación se presenta el resultado que arrojó la simulación de la Red de Monitoreo del volcán de Fuego de Colima, al correr en una ocasión el programa descrito en el inciso anterior, pero incluyendo las graficas obtenidas, así como el procesamiento que sigue la señal a través del canal de comunicación.

- ❖ Antes de mostrar el resultado obtenido, es necesario comentar; que la salida de $r2=0$ denota que al verificar la trama de datos recibida con el CRC-32, no se ha detectado ningún error en la misma; por lo que en el caso de que ocurra algún bit erróneo nos indica el número de retransmisiones que fueron necesarias antes de enviar la trama correctamente.

```

Maestro pregunta al radio 1 si tiene datos que transmitir
El radio 1 no tiene datos que transmitir por lo que pregunta al repetidor
El radio 2 no tuvo datos que transmitir y maestro pregunta nuevamente a Radio 1
El radio 1 tiene datos que transmitir
ENCONTRAMOS LA SINCRONIA...!!!!
r2 = 0
El radio 1 ha enviado datos correctamente
El maestro pregunta al repetidor si tiene datos para enviar
El radio 2 tiene datos que transmitir por lo que se los envía al repetidor
ENCONTRAMOS LA SINCRONIA...!!!!
r2 = 0

```

El radio 2 ha enviado datos libres de errores al repetidor, por lo cual este último tiene datos que transmitir

ENCONTRAMOS LA SINCRONIA...!!!!!!

$r_2 = 0$

El repetidor ha transmitido datos correctamente

❖ Graficas arrojadas

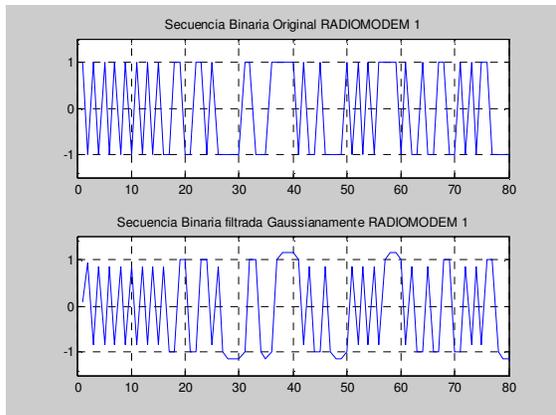


Fig 37. Secuencia binaria del radio 1

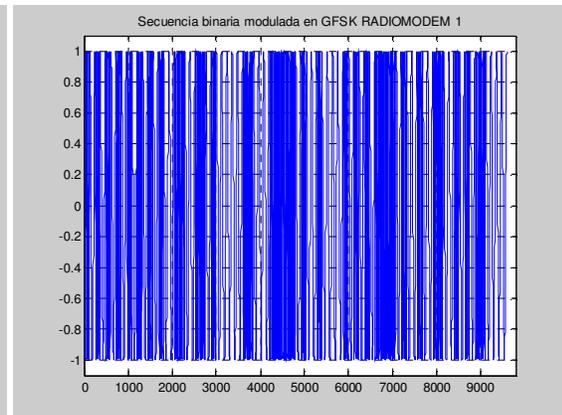


Fig 38. Secuencia binaria modulada en GFSK del radio 1

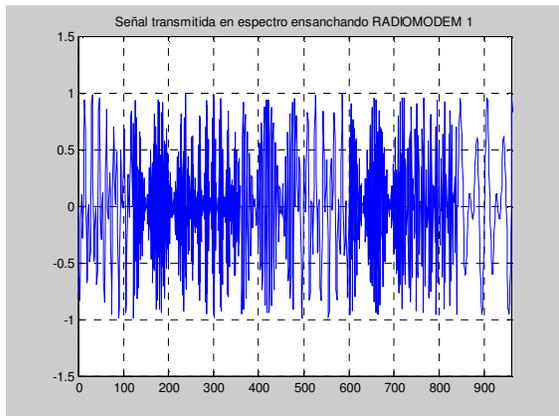


Fig 39. Señal transmitida del radio 1

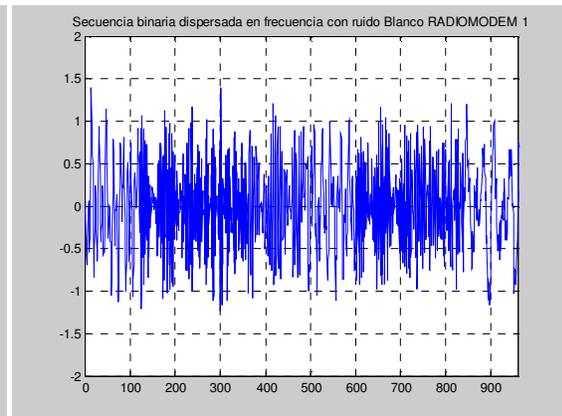


Fig 40. Señal transmitida contaminada con ruido

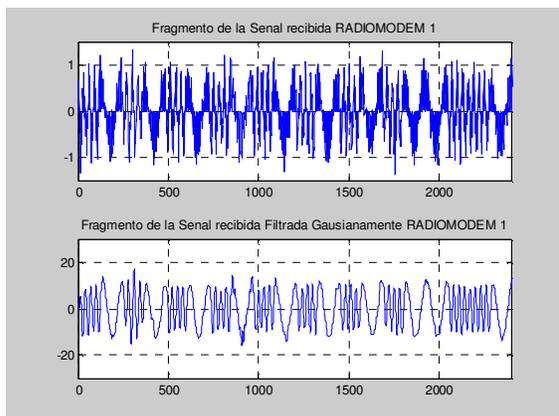


Fig 41. Señal recibida del radio 1

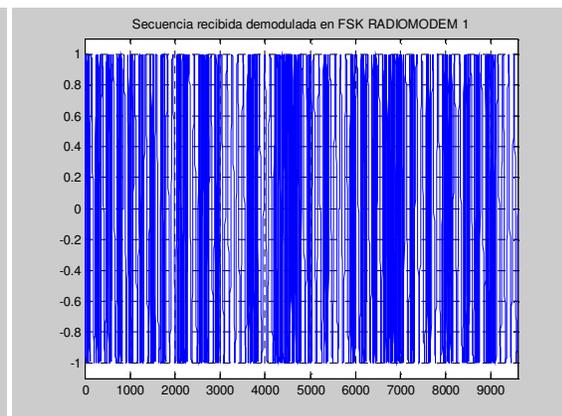


Fig 42. Señal recibida demodulada en FSK del radio 1

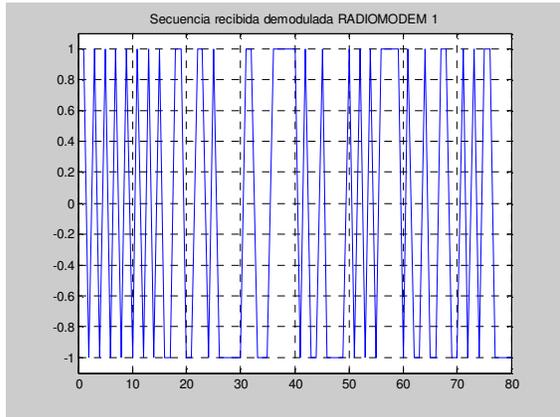


Fig 43. Señal recibida demodulada del radio 1

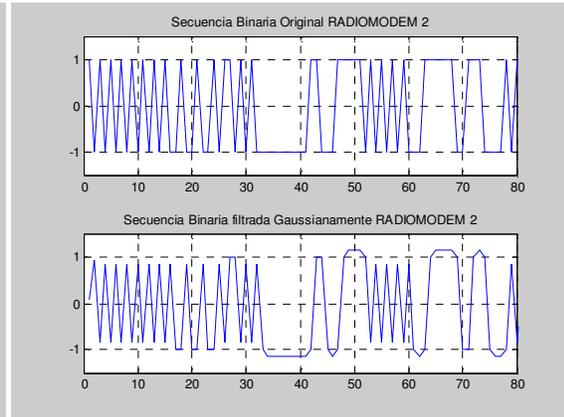


Fig 44. Secuencia binaria del radio 2

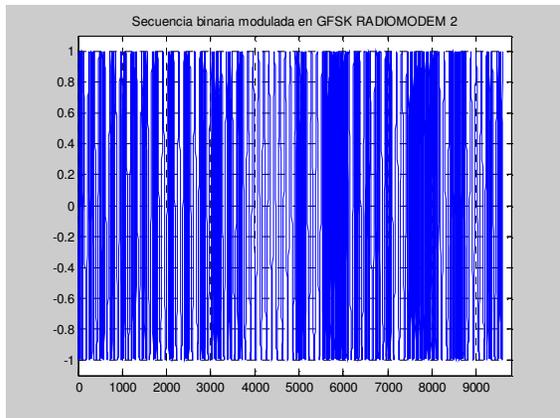


Fig 45. Secuencia binaria modulada en GFSK del radio 2

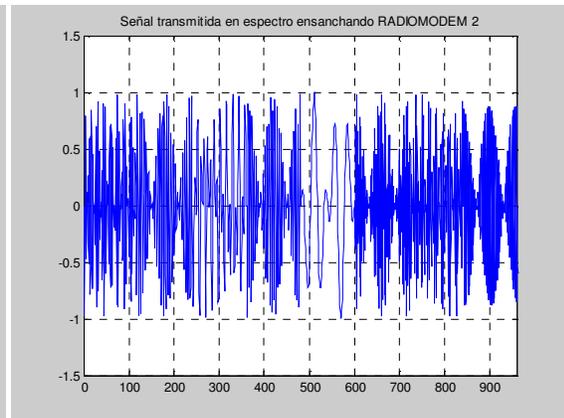


Fig 46. Señal transmitida del radio 2

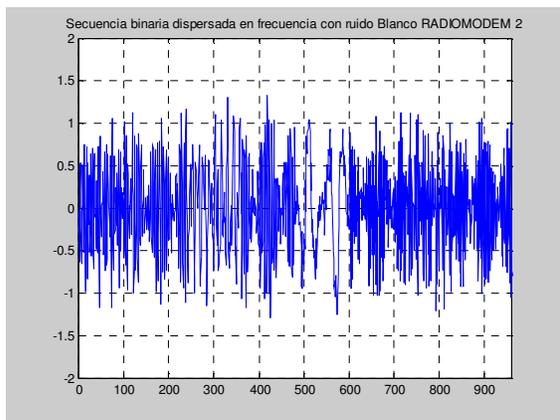


Fig 47. Señal transmitida contaminada con ruido

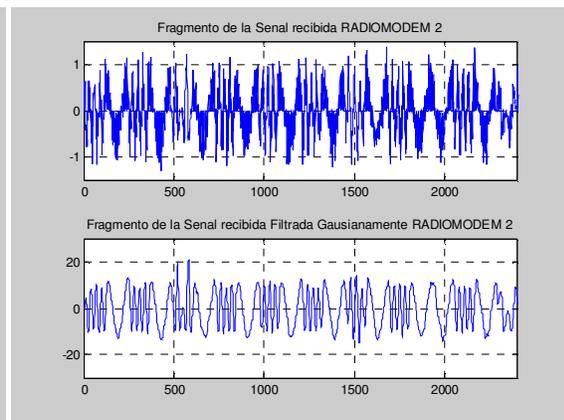


Fig 48. Señal recibida del radio 2

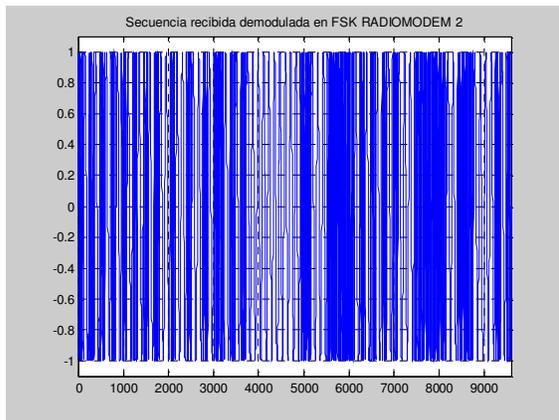


Fig 49. Señal recibida demodulada en FSK del radio 2

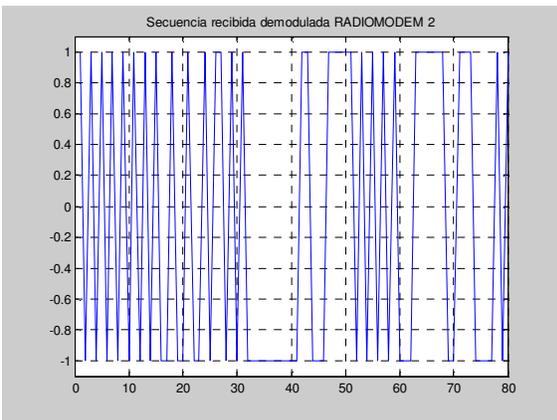


Fig 50. Señal recibida demodulada del radio 2

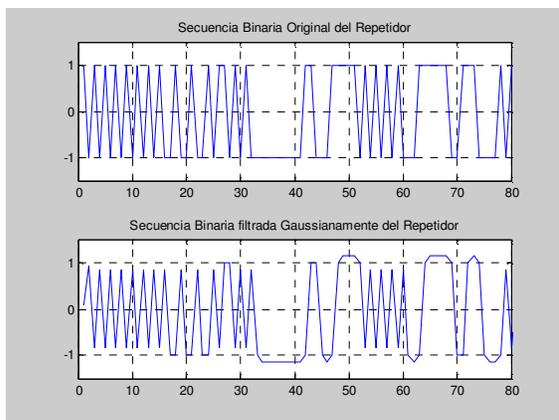


Fig 51. Secuencia binaria del repetidor

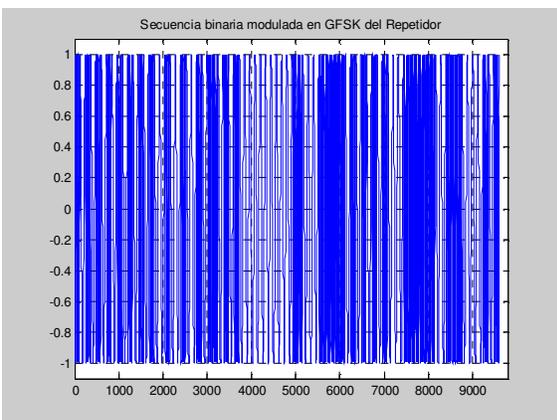


Fig 52. Secuencia modulada en GFSK del repetidor

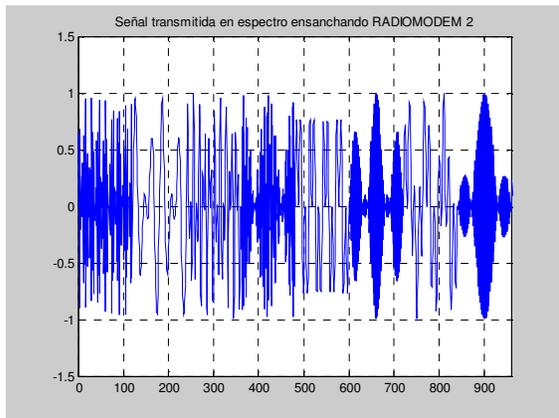


Fig 53. Señal transmitida del repetidor

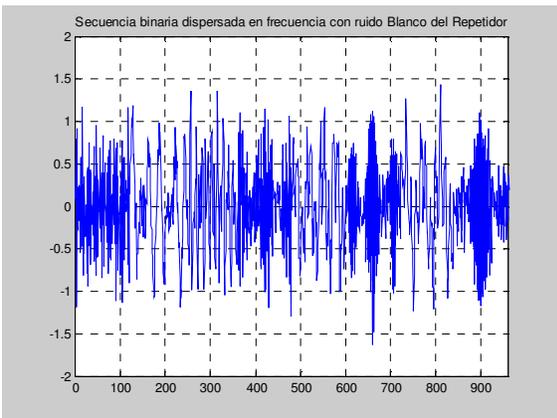


Fig 54. Señal transmitida contaminada con ruido

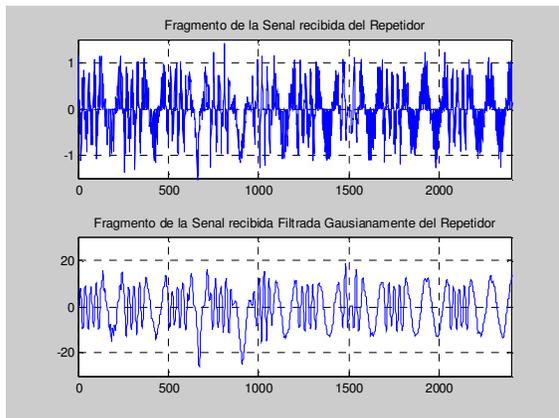


Fig 55. Señal recibida del repetidor

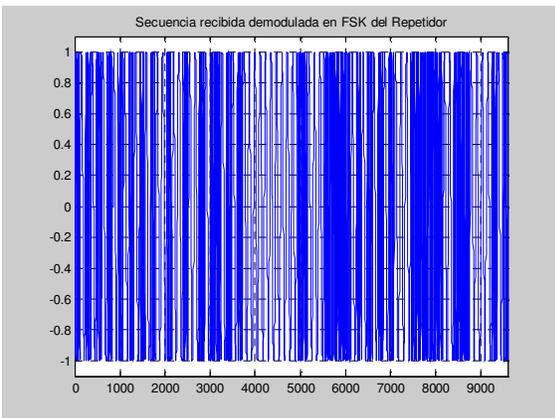


Fig 56. Señal recibida demodulada en FSK del repetidor

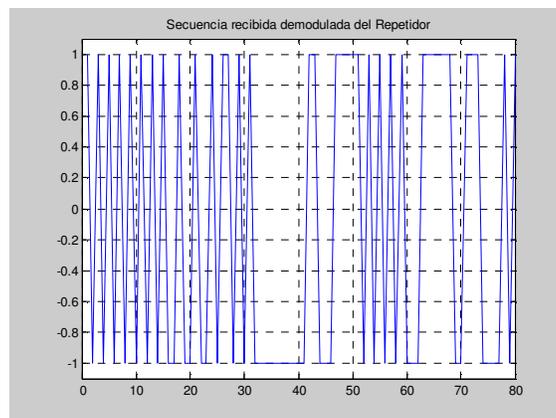


Fig 57. Señal recibida demodulada en FSK del repetidor

Las figuras 37 a la 43 muestran los diferentes procesos por los que pasa la señal a través del canal de comunicación para el radio 1 que en este caso es el de Juan Barragán; es decir, a la secuencia de datos que envía la computadora al radio, producto de la cuantización realizada por el programa NOVAC en la misma; se les agrega un encabezado de sincronización de 16 bits así como los bits de redundancia cíclica CRC-32 para la detección de errores. Esta secuencia se filtra gaussianamente antes de modularla, como se observa en la figura 37; con el objetivo de disminuir el espectro de la señal.

La figura 38 muestra la modulación en GFSK de la señal donde se le asigna una senoidal de $x = \cos(t)$ para un -1 y $x = \cos(4t)$ en el caso de un 1 . La figura 39 muestra un fragmento de la señal modulada en GFSK esparcida en frecuencia (técnica de FHSS); y la figura 40 expone esta misma señal pero contaminada con ruido blanco gaussiano simulando un canal de AWGN (Additive White Gaussian Noise). En la figura 41 se visualiza el fragmento de la señal recibida ya multiplicada por el vector de portadoras distribuidas aleatoriamente conforme el patrón de saltos pseudoaleatorios, que permitirá el reconocimiento de la señal, así como la señal filtrada gaussianamente con la finalidad de facilitar su demodulación y disminuir el ruido. La figura 42 muestra la señal recibida

demodulada en FSK y en la figura 43 ya se observa la secuencia de datos recibida y que al compararla con la transmitida son iguales.

Las figuras 44, 45, 46, 47, 48, 49 y 50 muestran exactamente el mismo tratamiento de la señal transmitida para el radio 2 (La Lumbre), y las figura 51, 52, 53, 54,55, 56 y 57 para el repetidor (Cerro Grande), sin embargo en este caso se debe observar que la señal enviada por el radio 2 al repetidor es la misma que la recibida por el maestro, ya que Cerro Grande solo retransmite la señal hacia al Observatorio (maestro) al no ser un punto de adquisición de datos como la Lumbre o Juan Barragán.

c) Comparación de los resultados obtenidos mediante la simulación y las características prácticas con las que opera la red actual.

Los resultados de los cálculos realizados teóricamente en el inciso a) de este capítulo, así como la simulación de la red mediante el programa en Matlab en el inciso b) del mismo; indican que los enlaces entre las estaciones que componen la red del volcán de Fuego de Colima debería estar funcionando en condiciones optimas de funcionamiento; ya que no se encontraron factores que demuestre lo contrario, por ejemplo:

- ❖ Las distancias de los enlaces entre las estaciones son menores a los 96 km, el cual es el limite establecido por los radios Freewave con tecnología de espectro disperso en salto en frecuencia (FHSS) con línea de vista directa; por lo que al ser distancias tanto efectivas como superficiales relativamente pequeñas, no se correrá riesgo de que la comunicación entre los radios pueda perderse fácilmente.
- ❖ Con respecto de los ángulos de Azimut en cada sitio, es necesario mencionar que no las antenas no se orientaron con respecto a los resultados obtenidos en los cálculos realizados teóricamente; si no que se dispusieron en dirección de su contrapunta de enlace; es decir, en el caso de Juan Barragán la antena se ubico con un ángulo de 153° aproximadamente medidos desde el norte geográfico y apuntando al Observatorio, de la Lumbre al repetidor la antena fue orientada en la dirección del Repetidor con un ángulo de 119° , del Repetidor al Observatorio la antena se ubico a la mitad del ángulo formado entre la trayectoria de La Lumbre al mismo y de este al Observatorio, a un ángulo de 263° ; con la finalidad de que la Yagui fuera capaz de recibir y retransmitir las señales correctamente, y aprovechando que al colocar horizontalmente la antena proporciona un mayor ángulo de apertura de 56° , asegurando la señal tenga la suficiente potencia para ser recibida en

cualquiera de los casos; y finalmente en el Observatorio la antena se dispuso horizontalmente y a un ángulo de 10° considerando los factores anteriormente mencionadas.

- ❖ Las pérdidas en el espacio libre demostraron estar en función de la distancia (en este caso es fija entre estaciones) y de la frecuencia que sea utilizada, sin embargo al tener 64 diferentes portadoras, las atenuaciones producto del medio estarán oscilando dependiendo de la frecuencia que en determinado tiempo sea elegida para modular a la señal transmitida; sin embargo este incremento no será mayor a .243 dB, siendo la diferencia de las pérdidas obtenidas a la primera y ultima frecuencia portadora, es decir la resta entre el primer y ultimo valor de cualquiera de las matrices de Lfs mostrada en el Apéndice II de este tesis.
- ❖ Finalmente la simulación de la red del volcán de Fuego de Colima indica que la configuración Punto a Punto Maestro/Esclavo Switchable responde correctamente a las necesidades de transmisión y recepción de datos sin errores apreciables hasta este momento.

Capítulo 6: Conclusiones

En base al análisis teórico realizado a lo largo de capítulos anteriores; así como los resultados arrojados por medio de las simulaciones, podemos decir que las redes de monitoreo de SO₂, tanto en el Popocatepetl como en el volcán de Fuego de Colima deberían estar funcionando adecuadamente; ya que en ambos casos se tomaron en cuenta factores como:

- ❖ La distancia. En todos los enlaces la distancia entre las estaciones no supera los 96 km permitidos para radios Freewave, y esto se verificó en los resultados obtenidos en los cálculos de distancias efectivos y superficiales para cada una de las estaciones que componen las redes y que se muestran en la tabla 6.1.

Red	Enlaces	Dist. efectivas (km)	Dist. superficiales (km)
Popocatepetl	Cenapred-Altzomoni	58.9300	58.8739
	Cenapred-Tlamacas	63.7864	63.7272
	Cenapred-Chiquipixtle	64.3225	64.2691
	Altzomoni- Tianguismanalco	26.9577	26.8782
	Tianguismanalco- Colibri	11.5867	11.5794
Volcán de Fuego de Colima	La Lumbre- Repetidor	21.0886	21.0886
	Repetidor_ Observatorio	23.1	23.0756
	Juan Barragán-Observatorio	33.3436	33.2957

Tabla 6.1: Distancias efectivas y superficiales entre las estaciones de las redes de SO₂

- ❖ Línea de vista: En todos los enlaces prácticamente, se tiene línea de vista directa como se visualizó en figuras 21, 22, 23, 24, 25 y 28, salvo una pequeña obstrucción natural entre el repetidor Tianguismanalco y Cerro Altzomoni en la red del Popocatepetl, sin embargo las ondas de radio no tienen problemas para propagarse a través de obstáculos relativamente grandes sin sufrir mucha atenuación.
- ❖ Las pérdidas en el espacio libre: Se encuentran en función de la distancia y de la frecuencia que sea utilizada, sin embargo al tener 64 diferentes portadoras, las atenuaciones producto del medio estarán oscilando dependiendo de la frecuencia que en

determinado tiempo sea elegida para modular a la señal transmitida, no obstante los resultados de la matriz Lfs incluidos en la tabla 6.2; se visualizan que para la mayor frecuencia portadora de 927.7968 MHz y la menor de 902.2032 MHz las pérdidas tienen un incremento mayor de .243 dB, la cual es una atenuación relativa pequeña.

Red	Enlaces	Dist. efectivas (km)	Dist. superficiales (km)
Popocatépetl	Cenapred-Altzomoni	58.9300	58.8739
	Cenapred-Tlamacas	63.7864	63.7272
	Cenapred-Chiquipixtle	64.3225	64.2691
	Altzomoni- Tianguismanalco	26.9577	26.8782
	Tianguismanalco- Colibri	11.5867	11.5794
Volcán de Fuego de Colima	La Lumbre- Repetidor	21.0886	21.0886
	Repetidor_ Observatorio	23.1	23.0756
	Juan Barragán-Observatorio	33.3436	33.2957

Tabla 6.2. Pérdidas en el espacio libre entre las estaciones de las redes de SO₂

- ❖ Banda de 900 MHz: Los equipos que trabajan en esta frecuencia ofrecen distancias mayores de comunicación, al tener las antenas dimensiones más grandes; por lo que la longitud de onda es lo suficientemente grande para poder atravesar las gotas de lluvias sin ningún problema. Aunado a que las señales de 900MHz traspasan objetos como árboles, follajes y edificios con menores pérdidas.
- ❖ Interferencias: Las redes de monitoreo en ambos volcanes trabajan con radiomodems Frewave, los cuales utilizan la técnica de espectro ensanchado, proporcionando excelentes propiedades en cuanto a inmunidad e interferencias se refiere, ya que se emplean patrones de salto de frecuencia, que cumplan ciertas condiciones de ortogonalidad en los códigos, evitando o siendo muy poco probable que dos radios transmitan a la misma frecuencia al mismo tiempo. Además al permanecer tiempos tan cortos en una frecuencia específica, no hay interferencia notable entre ellos, por lo que hasta 100 sistemas de espectro disperso pueden operar dentro de una misma área sin degradación notable de operación.
- ❖ Seguridad en la red: Los radios Freewave ofrecen la posibilidad de la encriptación de las señales siendo únicamente reconocibles por el equipo receptor que cuente con el mismo patrón pseudoaleatorio que el del transmisor; aunado a que proporcionan la posibilidad de introducir en la agenda de cada uno de ellos los identificadores de los equipos que componen la red, siendo estos los únicos radios de los que pueden recibir y mandar información.
- ❖ Interferencias por multicamino: Se puede mencionar que todos los radios inalámbricos se ven afectados por las trayectorias múltiples de las señales. Las señales reflejadas siguen

una trayectoria mayor a las que se transmiten directo, causando problemas de desfase y pérdidas de energía. Sin embargo cambiando la magnitud de la trayectoria reflejada o la frecuencia de radio, se puede reducir el impacto de este problema.

- ❖ Configuración Punto a Punto Maestro/Esclavo Switchable: la cual responde correctamente a las necesidades de transmisión y recepción de datos sin errores apreciables en ambos redes de monitoreo.
- ❖ El margen del enlace: Con base al calculo realizado en el capitulo 4, se puede asegurar que se tendrá un buen funcionamiento de todos los enlaces de las redes de monitoreo de SO₂, tanto para el Popocatépetl como para el volcán de Fuego de Colima; ya que se tomaron en cuenta las características mas significativas, como lo son: el enlace con mayor distancia (Cenapred y Chiquipixtle con una separación de 64.208 km), la frecuencia mas alta (927.7968 MHz) y la potencia mínima permitida por la COFETEL para los radios con tecnología de espectro disperso (5 mW); obteniéndose un margen de potencia de 6.7 dB, que nos indica que cualquiera de los enlaces, será capaz de transmitir con niveles suficientes de potencia.

De esta manera; se puede concluir que todos los enlaces para la redes de monitoreo de SO₂ tanto del Popocatépetl (Cenapred-Altzomoni, Cenapred-Tlamacas, Cenapred-Chiquipixtle, Altzomoni-Tianguismanalco, Tianguismanalco-Colibri) como los del Volcán de fuego de Colima (La Lumbre-Repetidor, Repetidor- Observatorio y Juan Barragán-Observatorio) fueron implementadas considerando los factores indispensables para asegurar la transmisión de datos en tiempo real libre de errores.

Parámetros de configuración del radiomodem susceptibles a ser modificados para mejorar los enlaces

Dentro de las configuraciones del radiomodem que se pueden modificar a fin de mejorar las condiciones en las que trabaja las redes de monitoreo de ambos volcanes están:

❖ Tamaño máximo y mínimo de los paquetes

Parámetro que puede incrementar la eficiencia de operación de la red, maximizando el número de transferencias con el menor consumo de potencia y ancho de banda. Propiamente, determinar el tamaño máximo y mínimo de los paquetes puede también ayudar a minimizar la pérdida de paquetes e interferencia con otras redes. Sin embargo para poder llevar a cabo esta acción se tiene que saber cuál es la mínima cantidad de información que será enviada de amo a esclavo y viceversa, la frecuencia con la que se hace el poleo y cuánto tiempo dura el ciclo de trabajo.

❖ **RF Xmit Power:**

Al incrementar el valor de potencia de salida con la que transmite el radio, sin pasar los 100 mW o 20 dB permitidos por la COFETEL, se puede conseguir un mejor funcionamiento del enlace, ya que se asegura que la señal llegue con la suficiente energía como para ser captada por el receptor al aumentar el margen del enlace.

❖ **FreqKey:**

Al modificar los patrones de salto de los radiomodems, permite minimizar la interferencia con otros radios FreeWave que operen en la zona. Ya que si hay 10 pares de radios que operan en distintas redes en estrecha proximidad, la configuración de un valor diferente de FreqKey reduce la posibilidad de que 2 de ellos salten a la misma frecuencia al mismo tiempo, ya que se cuentan con 15 diferentes patrones de salto pseudo-aleatorios.

❖ **Alto ruido**

La opción de alto ruido es útil para determinar si hay fuera de la banda alguna interferencia que este afectando el enlace del radio. Una configuración de 1 ofrecerá una reducción de la ganancia, reduciendo así la afectación a cualquier banda de ruido externa, por lo que se observara como una señal de mucho menor ruido. Si el ruido no se reducirá en una cantidad mayor que la señal, la interferencia muy probablemente se encuentre en la banda en cuestión. Cuando se tiene un problema de ruido ha demostrado ser de ayuda la opción de alto ruido, lo más probable es que el ruido deba ser corregido con el uso de un filtro de banda disponible para tecnologías FreeWave.

Apéndice I:

a) Volcanes

La actividad volcánica suele empezar cuando se desarrolla una fisura (grieta) en la corteza a medida que el magma fuerza su camino hacia la superficie. Conforme el magma rico en gases asciende hacia esta fisura linear, su camino se halla habitualmente en un conducto circular, que termina en una apertura en la superficie denominada chimenea. Las sucesivas erupciones de lava, material piroclástico, o, con frecuencia, una combinación de ambas, a menudo separadas por largos periodos de inactividad acaban formando la estructura que llamamos volcán.

En la cima de muchos volcanes hay una depresión de paredes empinadas cráter. Los cráteres son rasgos estructurales que se fueron construyendo paulatinamente a medida que los fragmentos expulsados se acumulaban alrededor de la chimenea formando una estructura en forma de donut. Algunos volcanes tienen más de un cráter en la cima, mientras que otros tienen depresiones muy grandes, más o menos circulares, denominados calderas.

Los volcanes se clasifican de acuerdo a su forma en cuatro tipos fundamentales:

- Los conos basálticos son raros, y probablemente sean más bien bajos debido a la gran fluidez de la lava basáltica.
- Los volcanes en escudo se producen por la acumulación de las lavas basálticas fluidas y adoptan la forma de una estructura ligeramente abovedada en forma de domo amplio que semeja la forma de un escudo de guerrero. En este tipo de volcanes es común la expulsión lateral de lava a través de fisuras radiales, aunque en las primeras etapas de su desarrollo la mayor parte de la erupción se produce por orificios centrales.
- Los conos de ceniza (también llamados conos de escoria) están contruidos con fragmentos de lava proyectada que adoptan el aspecto de cenizas o escorias cuando empiezan a solidificarse durante su vuelo. El crecimiento de un cono de ceniza comienza alrededor del cráter con un anillo circundante de detritos piroclásticos compuestos de ceniza, lapilli y materiales más gruesos. Esto se denomina *anillo de toba*, particularmente cuando está compuesto de materiales de tamaño fino. Normalmente los conos de conos de ceniza son fruto de un único episodio eruptivo que a veces dura sólo unas pocas semanas y en raras ocasiones supera unos pocos años. Una vez este acontecimiento para, el magma del tubo que conecta la chimenea a la cámara magnética se solidifica y el volcán no vuelve a entrar erupción jamás. Como consecuencia de esta corta vida, los conos de ceniza son pequeños, normalmente entre 30 y 300 metros y rara vez superan los 700 metros.

- Los volcanes más pintorescos aunque potencialmente peligrosos de la Tierra son los conos compuestos o estratovolcanes. La mayoría se encuentran en una zona relativamente estrecha que rodea el océano Pacífico, a la que se le denomina “El anillo de fuego”. Esta zona activa incluye una cadena de volcanes continentales que se distribuyen a la largo de la costa occidental de Sudamérica y Norteamérica, incluidos los grandes conos de los Andes y la cordillera de Cascade del oeste de Estados Unidos y Canadá. El cono compuesto clásico es una estructura, casi simétrica, compuesta por lava y depósitos piroclásticos. Estos volcanes deben su forma a lavas basálticas fluidas y en su mayor parte son fruto de magma rico en gas con una composición andesítica y pueden emitir también, cantidades diversas de material con una composición basáltica o riolítica. En relación con los escudos, los magmas ricos en sílice típicos de los conos compuestos generan lavas viscosas y gruesas que recorren distancias cortas. Además los conos compuestos pueden generar erupciones explosivas que expulsan grandes cantidades de material piroclástico.

Dependiendo de la temperatura de los magmas, de la cantidad de productos volátiles que acompañan a las lavas y de su fluidez o viscosidad, los tipos de erupciones pueden ser:

- Hawaiano se caracteriza por lavas muy fluidas y sin desprendimientos gaseosos explosivos. La lava se desborda cuando rebasa el cráter y se desliza con facilidad, formando verdaderas corrientes a grandes distancias.
- Estromboliano. La lava es fluida, con desprendimientos gaseosos abundantes y violentos. Debido a que los gases pueden desprenderse con facilidad, no se producen pulverizaciones o cenizas. Cuando la lava rebosa por los bordes del cráter, desciende por sus laderas y barrancos, pero no alcanza tanta extensión como en las erupciones de tipo hawaiano.
- Vulcaniano, en su erupción se desprende grandes cantidades de gases de un magma poco fluido que se consolida con rapidez. Las explosiones son muy fuertes y pulverizan la lava, produciendo gran cantidad de cenizas que son lanzadas al aire acompañadas de otros materiales. Cuando la lava sale al exterior se consolida rápidamente, pero los gases que se desprenden rompen y resquebrajan su superficie, que por ello resulta áspera e irregular.
- Peleano. Su lava es extremadamente viscosa y se consolida con gran rapidez, llegando a tapar por completo el cráter. La enorme presión de los gases, que no encuentran salida, levanta este tapón que se eleva formando una gran aguja.

Identificación de un volcán activo

Un volcán activo presenta varios fenómenos que son fáciles de reconocer y que se pueden visualizar en la figura 1 de este Apéndice.

Fumarolas: Un fenómeno muy común en volcanes activos es la presencia de fumarolas. Las fumarolas son las salidas de vapor de agua, y otros gases, a temperaturas muy altas, alrededor de 100 °C, a través de grietas que se encuentran sobre el volcán y en ocasiones a sus alrededores.

Azufre: La presencia de azufre puede ser algo común en volcanes activos. El azufre es un mineral de color amarillo, de textura suave y olor fétido. El azufre siempre se acumula en el cráter del volcán y en las zonas de fumarolas, en forma de roca o como parte de otras rocas.

Sismos: Los sismos aunque de baja magnitud, son otro fenómeno que se presenta en volcanes activos. México es un país en el que ocurren muchos sismos, sin embargo muy pocos son de origen volcánico.

Deslaves o desgajamientos: Otro fenómeno que puede presentarse en un volcán activo son los deslaves o desgajamientos de tierra. Los derrumbes en ocasiones son provocados por la actividad interna sobre terrenos muy empinados, pero también pueden presentarse sin actividad volcánica, a causa de lluvias intensas que reblandezcan la tierra. La tala excesiva en zonas volcánicas también puede producir desgajamientos de tierra sin que esto sea producto de la actividad volcánica.

Aunque todos estos fenómenos son comunes en volcanes activos, la presencia de uno solo de estos no necesariamente significa que un volcán está activo, pero la combinación de ellos si pueden significar algo acerca del estado del volcán. Muchos de los procesos geológicos que tienen su origen en los volcanes son potencialmente peligrosos.

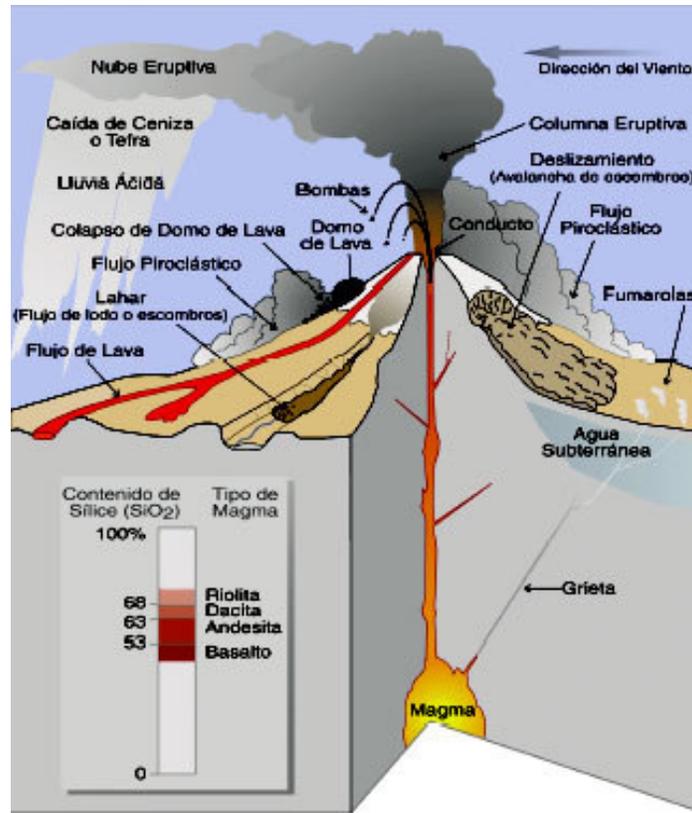


Fig.1: Fenómenos de un volcán (23.- ¿Cuáles son las Amenazas o Peligros Volcánicos?: <http://www.volcandecolima.com/info/index.html>)

Cenizas volcánicas

Las cenizas volcánicas son lava que ha sido molida y convertida en polvo o arena por erupciones volcánicas. Durante una explosión, los fragmentos más gruesos caen rápidamente en las cercanías del volcán, sólo la ceniza más fina es arrastrada por el viento a grandes distancias que van de cientos hasta miles de kilómetros, y puede afectar áreas muy extensas y a un gran número de personas.

Las cenizas obstruyen las corrientes de agua, presas, alcantarillas, plantas de aguas residuales y todo tipo de maquinaria. Las cenizas se amontonan en carreteras, vías férreas y senderos y además puede ser resbalosa. Además las capas de cenizas de 2 a 3 cm de espesor pueden causar el colapso de techos con pendientes menores a 20 °, así como en estructuras de mala calidad. Las cenizas secas tienen un peso de 400-700 [kg/m²], sin embargo la lluvia puede incrementarlo de un 50 a un 100 %. Una capa de cenizas de 10 cm de espesor representará una carga extra de 40-70 Kg/m² si está seca, y de 100-125 [Kg/m²] si está húmeda.

Flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos son uno de los fenómenos más destructivos que se pueden presentar en un volcán en actividad. Los flujos piroclásticos son mezclas calientes de gases, cenizas y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán a velocidades de hasta más de 100 km por hora, con temperaturas por lo general arriba de 100 °C. La parte inferior y más densa del flujo se arrastra por el fondo de las barrancas y los valles, mientras que la parte superior, menos densa, puede sobrepasar los valles y alcanzar alturas importantes sobre el fondo de los valles e inclusive sobrepasar relieves topográficos importantes.

Durante la generación de un flujo piroclástico, es prácticamente imposible que cualquier cosa que se encuentre a su paso se salve ya sean construcciones o seres vivos. El flujo es capaz de arrasar con construcciones bien edificadas y hasta con bosques enteros, sin dejar nada de pie, y puede llegar a viajar distancias que van del orden de metros a centenas de metros.

Lahar o flujos de lodo

Los lahares comprenden una mezcla de materiales volcánicos (rocas, cenizas, pómez, escoria), mayoritariamente cenizas, movilizadas por el agua proveniente de la fusión del casquete glaciar, de un lago cratérico o por fuertes lluvias. El agua se mezcla con el material volcánico suelto que se encuentra en su camino y se transforma rápidamente en un flujo muy móvil con características similares al concreto utilizado en la industria de la construcción.

Dada la densidad de esta mezcla, estos flujos pueden transportar grandes bloques de roca (de hasta varios metros de diámetro) y otros objetos como puentes, casas, árboles y vehículos. Son fenómenos muy destructivos, que pueden recorrer distancias muy grandes, pudiendo superar fácilmente los 100 km, se han observado velocidades de 40 a 100 km/h en lahares históricos. Las edificaciones y otros bienes que estén en el camino del flujo son destrozados, enterrados o arrasados. Se debe evacuar, aunque en ocasiones basta subir unos cuantos metros para estar a salvo.

Ondas de presión o de choque

Se originan durante las erupciones explosivas debido al rápido movimiento del material, su energía disminuye con la distancia desde su centro de emisión, pero pueden llegar a tener la energía suficiente para causar daños a estructuras distantes. Erupciones moderadas pueden producir pequeños daños a distancias mayores de 10 km del volcán, especialmente rotura de cristales y

heridas al proyectarse éstos. En la erupción del Volcán Tambora en Indonesia, en 1815, se reportó una onda de choque que produjo la ruptura de vidrios de ventanales ubicados a 400 km de distancia.

Gases volcánicos

Los volcanes emiten gases durante las erupciones, incluso si el volcán no está en erupción, las grietas del subsuelo facilitan el movimiento de los gases hacia la superficie a través de pequeñas aberturas por medio de las llamadas fumarolas. En ocasiones, la liberación de los gases se produce en grandes cantidades. Más del 90 [%] de todo el gas emitido por los volcanes es vapor de agua, la cual en su gran mayoría es agua subterránea proveniente de lluvias y ríos.

Otros gases volcánicos comunes son el bióxido de carbono (CO_2), bióxido de azufre (SO_2), y varios otros compuestos de cloro (Cl), flúor (F), monóxido de carbono (CO), y nitrógeno (N). El bióxido de azufre puede reaccionar con las gotas de agua de la atmósfera y producir lluvia ácida, lo cual ocasiona corrosión y daños a la vegetación.

b) Espectroscopia por absorción de Luz Ultravioleta:

La espectroscopia por absorción ultravioleta es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración.

Las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna como se observa en la figura 2. La molécula de un compuesto absorbe o emite distintos tipos de ondas electromagnéticas. Este intercambio es originado por las transiciones electrónicas, la vibración molecular, rotación entre otras. Cuando un electrón que se encuentra en un estado determinado Ψ_0 accede a otro estado electrónico Ψ_1 de energía superior, consume un “cuanto” de energía cuyo valor está relacionado con la frecuencia de radiaciones correspondientes a un determinado sector del espectro electromagnético. Asimismo, durante la caída de un electrón a un nivel inferior, dicha energía es emitida.

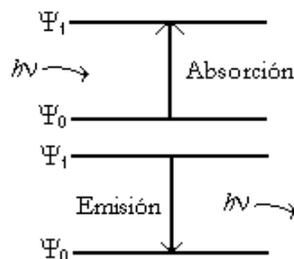


Fig. 2. Transiciones. (9.- Penelas María Jazmin: Espectroscopia de absorción molecular ultravioleta y visible, Venezuela)

Las líneas brillantes que son emitidas por una sustancia son líneas de emisión, mientras que las bandas negras son las bandas de energía absorbidas al pasar la radiación como se observa en la figura 3.

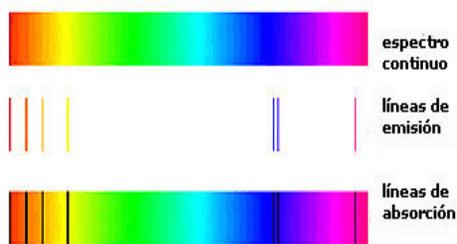


Fig. 3. Espectro continuo

(24.- La radiación electromagnética y los espectros: http://www.hiru.com/es/kimika/kimika_01050.html)

Transiciones de energía

Cuanto mayor sea la diferencia entre dos niveles de energía, mayor será el salto o transición del electrón y, por lo tanto, mayor será la energía requerida para producir dicho salto. La energía transportada por el fotón es directamente proporcional a la frecuencia de la radiación e inversamente proporcional a su longitud de onda; esto implica que los saltos de nivel mayores, como las transiciones electrónicas, corresponden a radiación tipo UV o visible, mientras que cambios menos intensos como los vibracionales absorben o emiten en la zona infrarroja IR.

En espectroscopia de absorbancia (Figura 4) se utilizan las regiones del ultravioleta UV cercano a 195-400 nm, que es una región de muy alta energía

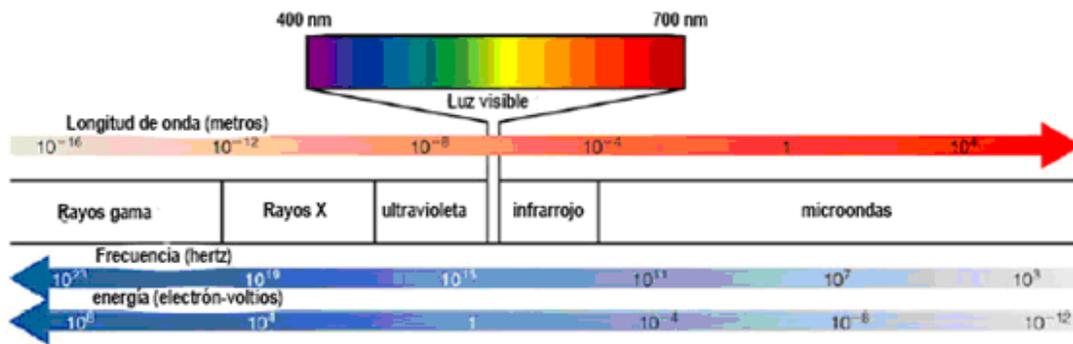


Fig. 4. Fragmento del espectro radioeléctrico (10.- Nieves Abril, Barcena Ruiz y Fernandez Reyes: Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas)

c) Técnica de espectro ensanchado

La técnica de espectro ensanchado (spread-spectrum) consiste en la transformación reversible de una señal de forma que su energía se disperse entre una banda de frecuencias mayor que la información transportada tal que su nivel de energía o amplitud es muy cercana al nivel de ruido como se visualiza en la Figura 5.

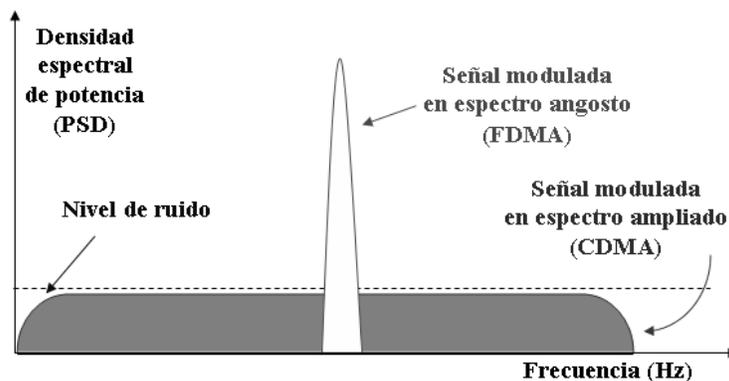


Fig. 5. Comparación de una señal en banda estrecha con una señal modulada en secuencia directa. (25.- Tecnologías inalámbricas de última generación y automatización de la planta petroquímica e industrial: www.aciem.org/bancoconocimiento/TV.../TecnologiasInalamblicasdeultimageracion.asp?IdArticul)

El ensanchamiento de la banda se realiza a partir de una señal pseudoaleatoria, es decir, con una apariencia de ruido; por lo que la señal transmitida tendrá, características pseudoaleatorias, y sólo podrá ser demodulada si se es capaz de generar la misma señal pseudoaleatoria utilizada por el transmisor. Las características que proporciona el ensanchamiento del espectro de la señal transmitida son las siguientes:

- ❖ La transmisión es mucho más resistente frente a interferencias de banda estrecha.
- ❖ La señal es difícilmente detectable, ya que su nivel de potencia queda muy reducido por su dispersión espectral. Sólo tras la transformación de desensanchado, ésta recupera la relación señal a ruido suficiente para su demodulación.
- ❖ Además, en el caso de que se detecte la señal, la transmisión es ininteligible para quien no conozca la señal pseudoaleatoria utilizada para el ensanchado del espectro.
- ❖ La transmisión es resistente a las interferencias por multicamino, porque aunque se trate de una interferencia de la señal sobre sí misma, tiene consecuencias parecidas a cualquier otra interferencia de banda estrecha.
- ❖ Es posible la transmisión simultánea de varios usuarios sobre el mismo medio, ya que si se emplean secuencias pseudoaleatorias diferentes y que cumplan ciertas condiciones de ortogonalidad en los códigos, la transmisión es resistente a las interferencias de unos canales sobre otros. Esto da lugar a la técnica de acceso múltiple por división de código (CDMA).

Existen principalmente dos técnicas de espectro ensanchado:

- ❖ Secuencia directa (direct sequence-DSSS (Figura 6)); en la cual la secuencia pseudoaleatoria se utiliza para generar una señal discreta formada por pulsos que a su vez modula directamente la señal paso-banda. Para realizar el desensanchado de la señal previo a la demodulación en el receptor, es necesario disponer de una réplica exacta de la secuencia pseudoaleatoria y perfectamente sincronizada con la de la señal recibida. El proceso de sincronización consta de dos fases conocidas como adquisición y seguimiento. En la fase de adquisición, la señal pseudoaleatoria generada en el receptor se desplaza en el tiempo hasta que se sincronice aproximadamente con la ensanchadora de la señal recibida. Esto se realiza calculando la correlación de la señal generada con la señal recibida. Una vez realizada la adquisición, se lleva a cabo la operación de seguimiento, la cual consiste en ajustar de forma continua la secuencia generada. El seguimiento tiene como finalidad alcanzar una sincronización más exacta, así como corregir en todo momento las derivas en los relojes de transmisión y recepción o las derivas en frecuencia por efecto Doppler debidas al movimiento relativo entre el transmisor y el receptor.

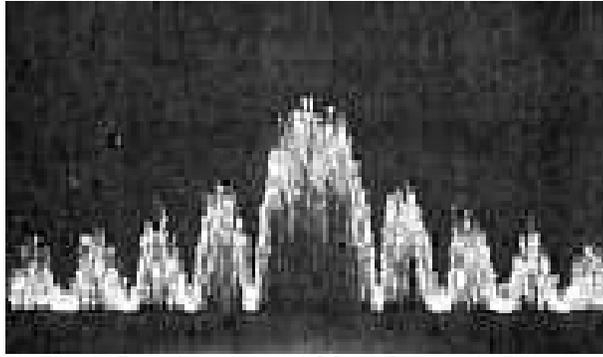


Fig. 6. Foto de una señal SS en Secuencia Directa

(25.- www.aciem.org/bancoconocimiento/T/.../TecnologiasInalambricasdeultimageneracion.asp?IdArticul)

- ❖ Saltos de frecuencia (frequency hopping-FHSS (Figura 7)); que consiste en realizar cambios periódicos del conjunto de frecuencias asociado a la transmisión. La señal ensanchadora, en este caso, es la salida de un sintetizador de frecuencias, y consiste en un tono que cambia de frecuencia con cada período de pulso de la señal pseudoaleatoria. Si el período de pulso de la señal pseudoaleatoria es mayor que el período de pulso de la señal moduladora, entonces se habla de saltos lentos (SFH, slow frequency hopping). En caso contrario, se denominan saltos rápidos (FFH, fast frequency hopping). El conjunto de frecuencias generado por el sintetizador da lugar al correspondiente conjunto de canales de frecuencia, es decir, bandas del espectro donde se va a localizar la señal transmitida en un momento dado. Al igual que en el caso de secuencia directa, en el receptor también se realizan procedimientos de adquisición y seguimiento similares antes de poder realizarse la demodulación.

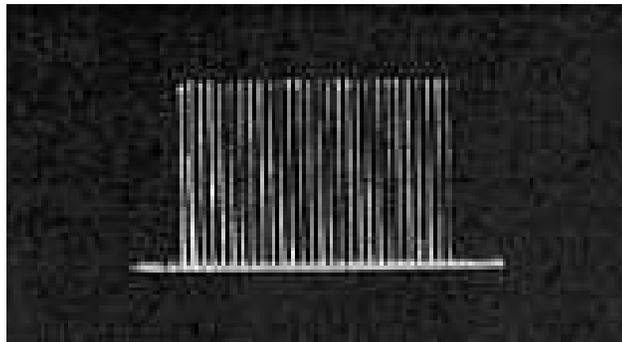


Fig. 7. Foto de una señal SS en Salto de Frecuencia

(25.- www.aciem.org/bancoconocimiento/T/.../TecnologiasInalambricasdeultimageneracion.asp?IdArticul)

d) Celdas Solares:

Las células o celdas solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia de potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo originando un trabajo útil.

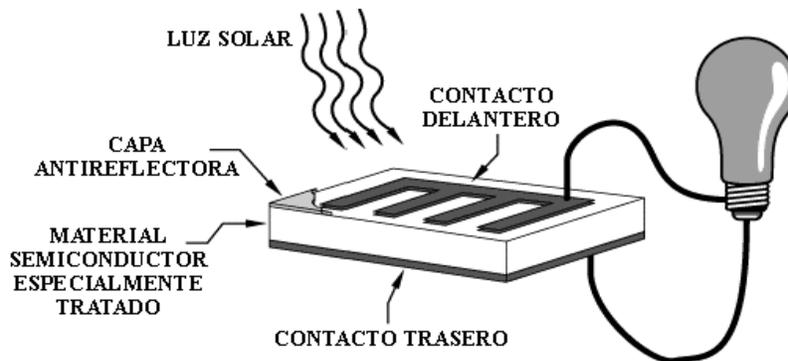


Fig. 8. Diagrama de operación de una celda solar (26.- Celda Solar: <http://www.anes.org/tutorial/cell.html>)

La Figura 8 ilustra la operación de una celda fotovoltaica, llamada también celda solar. Las celdas solares están hechas de materiales semiconductores como lo es el silicio. Para las celdas solares, una delgada rejilla semiconductor es especialmente tratada para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la energía luminosa llega hasta la celda solar, los electrones son golpeados y sacados de los átomos del material semiconductor. Si ponemos conductores eléctricos tanto del lado positivo como del negativo de la rejilla, formando un circuito eléctrico, los electrones pueden ser capturados en forma de una corriente eléctrica. La electricidad puede entonces ser usada para suministrar potencia a una carga, por ejemplo para encender una luz o energizar una herramienta.

Un arreglo de varias celdas solares conectadas eléctricamente unas con otras y montadas en una estructura de apoyo o un marco, se llama módulo fotovoltaico. A su vez varios módulos pueden ser conectados unos con otros para formar un arreglo. En general, cuanto más grande es el área de un módulo o arreglo, más electricidad será producida. Los módulos y arreglos fotovoltaicos producen corriente directa (CC). Estos arreglos pueden ser conectados tanto en serie como en paralelo para producir cualquier cantidad de voltaje o corriente que se requiera. Aunque la corriente producida depende directamente de cuánta luz llega hasta el módulo.

La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinado por:

- El tipo y el área del material
- La intensidad de la luz del sol
- La longitud de onda de la luz del sol

En la actualidad existen una gran variedad de celdas solares de silicio como son las amorfas, monocristalinas y policristalinas), así como de otros materiales como seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio, entre otros.

Así; por ejemplo, las celdas solares de silicio monocristalino actualmente no pueden convertir más del 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material. Las celdas solares de silicio policristalino en la actualidad tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen actualmente una eficiencia cerca del 10%, debido a pérdidas de energía internas más altas que las del silicio monocristalino.

Radiación

El sol emite constantemente enormes cantidades de energía; una fracción de ésta alcanza la tierra. La cantidad de energía solar que recibimos en un solo día resulta más que suficiente para cubrir la demanda mundial de todo un año. Sin embargo, no toda la energía proveniente del sol puede ser utilizada de manera efectiva. Parte de la luz solar es absorbida en la atmósfera terrestre o, reflejada nuevamente al espacio.

La radiación varía según el momento del día; sin embargo, también puede variar considerablemente de un lugar a otro, especialmente en regiones montañosas. Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas y a la diferencia con respecto a la posición relativa del sol en el cielo (elevación solar), la cual depende de la latitud de cada lugar (orientación y ángulo de inclinación).

La máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del captador. En el caso de arreglos fotovoltaicos la perpendicularidad entre las superficies de los módulos y los rayos solares solo se puede conseguir si las estructuras de montaje del arreglo se mueven siguiendo al Sol; sin embargo estos montajes son complicados y muy costosos. Por lo que, si se coloca el arreglo con una inclinación igual al valor de la latitud del lugar (Figura 9), se logra la máxima captación solar.

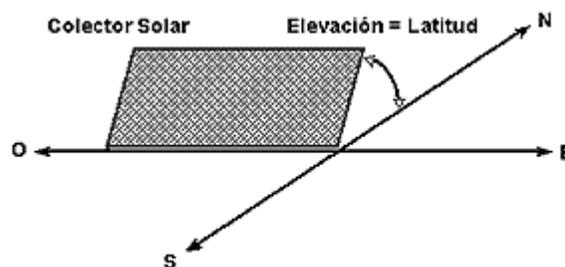


Fig. 9. Orientación del panel solar para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año (27.- Energía fotovoltaica: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html)

Por ultimo, cabe mencionar que un [panel solar](#) puede producir energía limpia por un periodo de 20 años o más, dependiendo principalmente de su desgaste por la exposición al medio ambiente. Un panel solar montado apropiadamente constituirá una fuente de energía limpia, silenciosa y confiable por muchos años.

Apéndice II:

Código de simulación

Función Principal:

La función Principal es el encargado de mandar a llamar a todas las demás funciones, puesto que es la interfaz de salida, es decir es ahí donde se puede visualizar el esquema a nivel gráfico de todas las señales que se van a transmitir y recibir.

En esta función se involucra la forma de transmisión del sistema de telemétrica para el monitoreo de SO₂, para esto se considera un sistema compuesto por 3 radiomodems transmisores que se encuentran en sitio a monitorear y un radio modem receptor que se encuentra en el instituto en el cual se depositara la información y se realizará la evaluación correspondiente.

Como se puede observar esta función comienza con un ciclo for que es el que realiza el poleo entre radiomodems, es decir, se tiene 3 radiomodems y un radio receptor, el receptor pregunta de forma aleatoria a unos de los transmisores si poseen información, hasta que termine de transmitir toda la información no se puede cerrar el ciclo, por lo que los demás radiomodems están en espera para poder mandar su propia información, posteriormente se sigue con lo demás radios, en cada pregunta la función principal manda a llamara las 3 funciones de tal forma que solo le entreguen las graficas correspondientes a la forma de transmisión-recepción.

```
clear();
clc;
n_gral=[];
m=6; % numero de veces que va a correr el programa
var_gral=[]

for q=1:m
    a=rand
    if (a<1/3)
        SNR=14;
        [n,data,syncro,poly,crc_data,t,bin_data,y,gfsk_sig]=transmi();
        [port]=sintetiza(t,crc_data,n); %Salida de funcion sintetiza (64 Portadoras aleatorias en BW de 26 MHz)
        trans=gfsk_sig.*port; % Multiplicando señal modulada en GFSK con vector de portadoras
        r2=[1 1];
        while (length(r2)>1)
            [trans_RG,rec,dem,desi,demod,trans_data]=recep(trans,port,crc_data,t,syncro,poly,SNR);
            [q1, r1] = gfdeconv(fliplr(trans_data), fliplr(poly));
            r2 = fliplr(r1) % residuo=0 no errores
        end
    end
end
```

```
%% %--- Graficas de datos original y la filtrada gaussianamente ---%% %
```

```
figure()
subplot(2,1,1)
plot(bin_data); grid; %Se grafica los datos
axis([0 length(bin_data) -1.5 1.5]); %Defino limites de los ejes
title('Secuencia Binaria Original RADIOMODEM 1');
subplot(2,1,2)
plot(y(1:end,:));grid;
axis([0 length(bin_data) -1.5 1.5]); %Defino limites de los ejes
title('Secuencia Binaria filtrada Gaussianamente RADIOMODEM 1');
```

```
%% %--- Grafica de la señal Modulacion en GFSK ---%% %
```

```
figure()
plot(gfsk_sig);grid;
axis([0 length(gfsk_sig)+200 -1.1 1.1]);
title('Secuencia binaria modulada en GFSK RADIOMODEM 1');
```

```
%% %--- Ensanchando el espectro (Señal transmitida) ---%% % % %
```

```
figure()
plot(trans);grid
title('Señal transmitida en espectro ensanchando RADIOMODEM 1')
axis([0 length(trans)/10 -1.5 1.5]);
```

```
%% %--- Grafica de señal dispersa en frecuencia contaminada con RG ---%% %
```

```
figure()
plot([1:length(trans)],trans_RG);
axis([-1 length(trans)/10 -2 2]);
title('Secuencia binaria dispersada en frecuencia con ruido Blanco RADIOMODEM 1');grid;
```

```
%% %--- Grafica de la señal recibida y la misma filtrada antes de demodulacion ---%% %
```

```
figure()
subplot(2,1,1)
plot(rec);grid
axis([0 length(rec)/4 -1.5 1.5])
title('Fragmento de la Senal recibida RADIOMODEM 1')
subplot(2,1,2)
plot(dem);grid
axis([0 length(dem)/4 -30 30]);
title('Fragmento de la Senal recibida Filtrada Gaussianamente RADIOMODEM 1')
```

```
%% %--- Graficas de la señal recibida demodulada en FSK ---%% %
```

```
figure()
plot(desi);grid;
axis([0 length(desi) -1.1 1.1]);
title('Secuencia recibida demodulada en FSK RADIOMODEM 1');
```

```
%% %--- Grafica de la señal recibida demodulada ---%% %
```

```
figure()
plot(demod);grid;
axis([0 length(demod) -1.1 1.1]);
title('Secuencia recibida demodulada RADIOMODEM 1');
```

```

    var=1;
end
if (a>1/3)&(a<2/3)
    SNR=15;
    [n,data,syncro,poly,crc_data,t,bin_data,y,gfsk_sig]=transmi();
[port]=sintetiza(t,crc_data,n); %Salida de funcion sintetiza (64 Portadoras aleatorias en BW de 26
MHz)
trans=gfsk_sig.*port; % Multiplicando señal modulada en GFSK con vector de portadoras
r2=[1 1];
while (length(r2)>1)
[trans_RG,rec,dem,desi,demod,trans_data]=recep(trans,port,crc_data,t,syncro,poly,SNR);
[q1, r1] = gfdeconv(fliplr(trans_data), fliplr(poly));
r2 = fliplr(r1) % residuo=0 no errores
end

%%%--- Graficas de datos original y la filtrada gaussianamente ---%%%
figure()
subplot(2,1,1)
plot(bin_data); grid; %Se grafica los datos
axis([0 length(bin_data) -1.5 1.5]); %Defino limites de los ejes
title('Secuencia Binaria Original RADIOMODEM 2');
subplot(2,1,2)
plot(y(1:end,:));grid;
axis([0 length(bin_data) -1.5 1.5]); %Defino limites de los ejes
title('Secuencia Binaria filtrada Gaussianamente RADIOMODEM 2');

%%%--- Grafica de la señal Modulacion en GFSK ---%%%
figure()
plot(gfsk_sig);grid;
axis([0 length(gfsk_sig)+200 -1.1 1.1]);
title('Secuencia binaria modulada en GFSK RADIOMODEM 2');

%%%--- Ensanchando el espectro (Señal transmitida) ---%%%%%%%%
figure()
plot(trans);grid
title('Señal transmitida en espectro ensanchando RADIOMODEM 2')
axis([0 length(trans)/10 -1.5 1.5]);

%%%--- Grafica de señal dispersa en frecuencia contaminada con RG ---%%%
figure()
plot([1:length(trans)],trans_RG);
axis([-1 length(trans)/10 -2 2]);
title('Secuencia binaria dispersada en frecuencia con ruido Blanco RADIOMODEM 2');grid;

%%%--- Grafica de la señal recibida y la misma filtrada antes de demodulacion ---%%%
figure()
subplot(2,1,1)
plot(rec);grid
axis([0 length(rec)/4 -1.5 1.5])
title('Fragmento de la Senal recibida RADIOMODEM 2')
subplot(2,1,2)

```

```

plot(dem);grid
axis([0 length(dem)/4 -30 30]);
title('Fragmento de la Senal recibida Filtrada Gaussianamente RADIEMODEM 2')

%%%--- Graficas de la señal recibida demodulada en FSK ---%%%
figure()
plot(desi);grid;
axis([0 length(desi) -1.1 1.1]);
title('Secuencia recibida demodulada en FSK RADIEMODEM 2');

%%%--- Grafica de la señal recibida demodulada ---%%%
figure()
plot(demod);grid;
axis([0 length(demod) -1.1 1.1]);
title('Secuencia recibida demodulada RADIEMODEM 2');
    var=2;
    end
    if (a>2/3)
        SNR=16;
        [n,data,syncro,poly,crc_data,t,bin_data,y,gfsk_sig]=transmi();
        [port]=sintetiza(t,crc_data,n); %Salida de funcion sintetiza (64 Portadoras aleatorias en BW de 26
        MHz)
        trans=gfsk_sig.*port; % Multiplicando señal modulada en GFSK con vector de portadoras
        r2=[1 1];
        while (length(r2)>1)
            [trans_RG,rec,dem,desi,demod,trans_data]=recep(trans,port,crc_data,t,syncro,poly,SNR);
            [q1, r1] = gfdeconv(fliplr(trans_data), fliplr(poly));
            r2 = fliplr(r1) % residuo=0 no errores
        end
        %%%%--- Graficas de datos original y la filtrada gaussianamente ---%%%
        figure()
        subplot(2,1,1)
        plot(bin_data); grid; %Se grafica los datos
        axis([0 length(bin_data) -1.5 1.5]); %Defino limites de los ejes
        title('Secuencia Binaria Original RADIEMODEM 3');
        subplot(2,1,2)
        plot(y(1:end,:));grid;
        axis([0 length(bin_data) -1.5 1.5]); %Defino limites de los ejes
        title('Secuencia Binaria filtrada Gaussianamente RADIEMODEM 3');

        %%%%--- Grafica de la señal Modulación en GFSK ---%%%
        figure()
        plot(gfsk_sig);grid;
        axis([0 length(gfsk_sig)+200 -1.1 1.1]);
        title('Secuencia binaria modulada en GFSK RADIEMODEM 3');

        %%%%--- Ensanchando el espectro (Señal transmitida) ---%%%%%%%%
        figure()
        plot(trans);grid
        title('Señal transmitida en espectro ensanchando RADIEMODEM 3')
        axis([0 length(trans)/10 -1.5 1.5]);

```

```

%%%--- Grafica de señal dispersa en frecuencia contaminada con RG ---%%%
figure()
plot([1:length(trans)],trans_RG);
axis([-1 length(trans)/10 -2 2]);
title('Secuencia binaria dispersada en frecuencia con ruido Blanco RADIOMODEM 3');grid;

%%%--- Grafica de la señal recibida y la misma filtrada antes de demodulacion ---%%%
figure()
subplot(2,1,1)
plot(rec);grid
axis([0 length(rec)/4 -1.5 1.5])
title('Fragmento de la Senal recibida RADIOMODEM 3')
subplot(2,1,2)
plot(dem);grid
axis([0 length(dem)/4 -30 30]);
title('Fragmento de la Senal recibida Filtrada Gaussianamente RADIOMODEM 3')

%%%--- Graficas de la señal recibida demodulada en FSK ---%%%
figure()
plot(desi);grid;
axis([0 length(desi) -1.1 1.1]);
title('Secuencia recibida demodulada en FSK RADIOMODEM 3');

%%%--- Grafica de la señal recibida demodulada ---%%%
figure()
plot(demod);grid;
axis([0 length(demod) -1.1 1.1]);
title('Secuencia recibida demodulada RADIOMODEM 3');
    var=3;
    end
    var_gral=[var_gral, var]
end

```

A continuación se explicará las 3 funciones a detalle que involucran el sistema de telemetría en el que se está trabajando.

❖ **Función Transmi**

Esta función involucra toda la primera parte del código de transmisión, desde la generación de los datos, la introducción del encabezado de sincronización en el mismo; así como el cálculo del CRC-32 y la conversión a código NRZ-Bipolar con el objetivo de disminuir la componente de directa; cabe mencionar que como entrada se tiene un vector que se genera de manera aleatoria, que esta a su vez simula la forma en la cual se obtienen los datos ya procesados por parte de los espectrómetros, posteriormente se le aplica lo que es el encabezado de sincronización y demás funciones que se me mencionan.

En esta función también se define el filtro Gaussiano, así como todos los parámetros que conlleva dicho filtro; esto es para no tener cambios tan bruscos de frecuencia, para que después la señal pase a la función de modulación en GFSK, en donde el vector de salida será la función modulada que pasará a la función sintetiza.

```
function [n,data,syncro,poly,crc_data,t,bin_data,y,gfsk_sig]=transmi();

%%%%%%-----Trama en envío -----%%%%%%%%
n = 32;
data_1=(randn(1,n)>.5); %Secuencia de datos binarios
syncro=[1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0]; %Vector de sincronía
data=[syncro data_1]; % Vector de datos con el encabezado de sincronía
poly = [1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1]; % Polinomio generador CRC-32
[q, r] = gfdeconv( fliplr([data zeros(1, length(poly)-1)]), fliplr(poly) ); % Construye CRC-32 con
función gfdeconv
r = fliplr(r); % Cambia las potencias en orden descendente
if length(r) < length(poly)-1
r = [zeros(1, length(poly)-1-length(r)) r];
end

crc_data = [data r]; % Añade el residuo (long_data=48 y long_crc_data=80)

%% % % -----Datos en NRZ bipolar ----- % % % % % % % %

bin_data=[]; % Vector donde se guardarán los datos binarios
t=[0:2*pi/119:2*pi]; % Vector en tiempo sobre el cual se evalúa la función cosenoidal (1x120)

for k=1:length(crc_data) % Creación de datos binarios (para graficar) y de la señal modulada en
FSK
if crc_data(1,k)==0 % Si crc_data es =0 entonces la señal es igual a -1
sig=-1; % Señal binaria que se toma
else
sig=1; % En cualquier otro caso es 1 (si es 1 se conserva)
end
bin_data=[bin_data sig]; % Se crean la señal binaria a graficar (vector de 1x112 para n=80 --> n+32)
end

%% % % % %-----Modulación GFSK ----- % % % % %
%Definimos parámetros del filtro Gaussiano%
bt = .3; %BT es el producto de tiempo de símbolo de amplitud de banda -3dB donde la B es la
%amplitud de banda unilateral en Hz y la T es en segundos.
o = 1; %Factor de sobremuestreo, es decir el # de muestras por símbolo.
n1 = 1; %NT es el número de períodos de símbolo entre el principio de la respuesta de impulso con
filtro y su pico.
bin_data1=[bin_data crc_data(1,64)]; %Necesario ya que se pierde un símbolo por respuesta de
impulso
h = gaussfir(bt,n1,o); %Diseña un filtro paso-bajo FIR gaussiano en forma de pulso.
y = filter(h,1,bin_data1)/(h*h); % Filtrando la señal y escalando la energía
y = filter(h,1,bin_data1)/(max(h)); %Escalando la magnitud vector 1*80
```

%Modulación GFSK

```
gfsk_sig=[]; % Vector donde se guarda la señal modulada en GFSK
t=[0:2*pi/119:2*pi]; % Vector en tiempo sobre el cual se evalúa la función cosenoidal (1x120)
for k=2:length(y) % Creación de datos binarios (para graficar) y de la señal modulada en FSK
if y(1,k)<=0 % Si crc_data es =0 entonces la señal es igual a -1
c=cos(t); % Creación de la señal modulada con frecuencia 1*t, 120 muestras
else
c=cos(4*t); % Creación de la señal modulada con frecuencia 4*t, 120 muestras
end
gfsk_sig=[gfsk_sig c]; % Se crea el vector con la señal modulada (vector de 1x9600 --
>(n+32+16)*120)
end
end
```

❖ **Función Sintetiza:**

Esta función es la responsable de proporcionar el patrón de salto de la señal, ya que genera 63 portadoras aleatorias en el rango de operación de frecuencia de los radiomodems, es decir de 902 a 928 MHz.

El programa divide el ancho de banda disponible de 26 MHz en 64 frecuencias portadoras, con un ancho de guarda entre cada una de 406.25 KHz. Estas portadoras son seleccionadas aleatoriamente de acuerdo a un patrón de saltos pseudoaleatorios PN, que en este caso fue simulado a través de la función randint en Matlab.

La salida de la función sintetiza, es el vector port que contiene las 64 frecuencias portadoras aleatorias, que determinaran la manera en la que los datos serán esparcidos en frecuencia simulando la técnica de FHSS.

```
function [port]=sintetiza(t,crc_data,n)

f1=902000000; %%Sintetizador de frecuencias
f2=928000000;
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos por_bw=406250
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=902203125

sal=[];
for i=0:63;
if i==0;
f=fi; %Frecuencia inicial
else
f=fi+(i)*(por_bw);
end
sal=[sal f]; % Vector con las 64 portadoras
```

end

```
port=[]; % Vector de portadoras
for i=0:63;
    c=randint(1,1,[1 64]);
    c1=sal(1,c);
    por_1=sin(c1*t);
    port=[port por_1]; % Vector de frecuencias portadoras pseudoaleatorias (64*120=7680)
end
a=(length(crc_data)-n-32)*120; % Dimensionando port a longitud del vector GFSK
port=[port port(1:a)]; % Vector de 9600 elementos (Esta en función de cualquier cantidad de bits
agregados en datos)
end
```

❖ **Función Recep:**

La función recep involucra toda la parte de la recepción de la señal; desde su contaminación con ruido gaussiano a la salida del transmisor, su demodulación de la misma en FSK; hasta la recuperación de la señal original libre de errores.

La contaminación de la señal transmitida por ruido gaussiano blanco se simula a través de un canal AWGN (Ruido Blanco Gaussiano Aditivo, por sus siglas en ingles) considerando una relación señal a ruido variable que depende del radiomodem que este transmitiendo.

En la parte del receptor, para comenzar a recuperar la trama enviada; se requiere multiplicar la señal transmitida contaminada con ruido blanco gaussiano (vector trans_RG) por el mismo patrón de saltos de frecuencias utilizado en el receptor (vector port); ya que de otra forma el mensaje no sería reconocible, al igual que si no se encontrarán debidamente sincronizados tanto el transmisor como el receptor. La sincronización se implemento a partir de un encabezado en la señal enviada de 16 bits de unos y ceros alternados; ya que la correlación de este patrón con los datos transmitidos es muy baja, impidiendo que se confunda con la señal enviada.

La señal rec (producto de los vectores trans_RG y port) es pasada a través de un filtro gaussiano con el fin de limpiar la señal del ruido adquirido durante su paso por el canal (que en este caso es el espacio libre) y facilite la demodulación de la misma.

La demodulación de la señal en FSK, se implemento contando los cambios de signo de la señal obtenida después del filtro gaussiano (vector dem), ya que un bit uno se reconoce con 4 senoides (función $x=\cos(4t)$) en un mismo lapso de tiempo, es decir al menos 8 cambios de signo; y un bit cero con tal solo una senoide (función $x=\cos(t)$) o dos cambios de signo. Una vez reconocidos los ceros y unos de la señal enviada; los datos son convertidos nuevamente a código NRZ polar (unos y menos unos) ya que se disminuye la componente de directa en el espectro de la señal. Y


```

    demod1=1;
    else
    desi_1=sin(t);
    demod1=-1;
    end
desi=[desi desi_1];
demod=[demod demod1];
end

%%%----- Convirtiendo a NRZ polar -----%%%%%%%%

trans_data=[];
for k=1:length(demod) % Creación de datos binarios
    if demod(1,k)==-1 % Si demod es =-1 entonces la señal es igual a 0
        sig=0; % Señal binaria que se toma
    else
        sig=1; % En cualquier otro caso es 1 (si es 1 se conserva)
    end
    trans_data=[trans_data sig];
end

%%%-----Sincronización -----%%%%%%%%

fl=1; %%%Iniciando banderas a usar
k=1;
m=0;
fl2=0;

while fl==1, %%% Este ciclo es infinito hasta que hayamos encontrado la sincronía.
    while m < length(trans_data) %%% Este ciclo es para scanear en su totalidad el vector información.
        n=1;
        while n < length(syncro), %%% Este ciclo es para hacer la comparación entre la sincronía y un
            segmento del vector información

                if n+m > length(trans_data) %%% Este if es por si ya revisamos la magnitud del vector
                    información
                        m=length(trans_data)+1;
                        fl=2;
                        fl2=0;
                        n=length(syncro)+1;
                    else % En caso de no haber revisado la magnitud, hacemos la comparación.
                        if trans_data(n+m) == syncro(n) % Aquí comparamos cada elemento puntual
                            n=n+1;
                            if n == 16
                                % Encontramos la sincronía si entramos a este ciclo.
                                m=length(trans_data)+1;
                                fl=2;
                                fl2=1;
                            end
                        end
                    else
                        n=length(syncro)+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

```

    end
end
m = m+1;
end
if fl2 ~= 1 % Este ciclo es de protección, por si llegamos al final del arreglo y no se encontró
sincronía, se fuerza a salir del ciclo.
    fl=2;
    fl2=2;
end
end

if fl2 == 1
    disp('ENCONTRAMOS LA SINCRONIA...!!!!!!');
else
    disp(' NO ENCONTRAMOS LA SINCRONIA... :(!!!!!!');
end
end

```

Cálculos relativos al enlace de las estaciones que componen la red de monitoreo del volcá Popocatépetl:

Características geográficas de las estaciones que componen la red:

%Estación	Latitud	Longitud	Altitud
%CENAPRED	19.3145269763717	-99.1750899504662	2299.500
%Altzomoni	19.1204301576699	-98.654074976157	4029.500
%Tianguismanalco	18.9775998037973	-98.4481158935129	2160.000
%Colibrí	18.9868769060493	-98.5576816312188	2671.800
%Tlamacas	19.0667472084129	-98.628638597361	3851.859
%Chiquipixtle	19.008800398166	-98.6565999404981	3980.000

Cálculos para el siguiente punto Cenapred-Altzomoni

```

Lat1=19.3145269763717*(pi/180); % En radianes
Lat2=19.1204301576699*(pi/180);
Lon1=-99.1750899504662*(pi/180);
Lon2=-98.654074976157*(pi/180);
var_lat=Lat2-Lat1;
var_lon1=Lon2-Lon1
d1=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+((cos(Lat1)*cos(Lat2))*((Lon2-Lon1)^2)))

```

```

%Distancia efectiva (Antena a Antena).
%ASN M ? Altura sobre el nivel del mar
%ASNT ? Altura sobre el nivel del terreno
ASN M1= 2.299500;
ASN M2= 4.029500;
ASNT1= 8;
ASNT2=3.70;
defec1= sqrt(d1^2+((ASN M1+ASNT1)-(ASN M2+ASNT2))^2)

```

```

%Calculo del ángulo base
k1=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2))

```



```

ASNT2=3.70;
defec2= sqrt(d2^2+((ASN1+ASNT1)-(ASN2+ASNT2))^2)

%Calculo del ángulo base
k2=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2))
var_lat=Lat2-Lat1;
var_lon2=Lon2-Lon1
fi2=atan(var_lat/(k2*var_lon2))
fi_grados2=fi2*360/(2*pi)
% Calculo de Azimut
theta1=270+fi_grados2
theta2=90+fi_grados2

%Perdidas en el espacio libre
defec= defec2 %%km
f1=.902; %%Frecuencia 1
f2=.928; %% Frecuencia 2
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=902203125

sal=[];
for i=0:63;
    if i==0;
        f=fi; %Frecuencia inicial
    else
        f=fi+(i)*(por_bw);
    end
    sal=[sal f]; % vector con las 64 portadoras
end

ate=20.*log10(sal);
const=92.44.*(ones(1,64));
ate_diefec=20.*log10(defec.*(ones(1,64)));
Lfs=const+ate+ate_diefec

Cálculos para el siguiente punto Cenapred-Chiquipixtle
Lat1=19.3145269763717*(pi/180); % En radianes
Lat2=19.008800398166*(pi/180);
Lon1=-99.1750899504662*(pi/180);
Lon2=-98.6565999404981*(pi/180);
d3=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+cos(Lat1)*cos(Lat2)*(Lon2-Lon1)^2)

%Distancia efectiva (Antena a Antena).
%ASN1 ? Altura sobre el nivel del mar
%ASNT ? Altura sobre el nivel del terreno
ASN1= 2.299500;
ASN2= 3.980000;
ASNT1= 8;
ASNT2=3.70;
defec3= sqrt(d3^2+((ASN1+ASNT1)-(ASN2+ASNT2))^2)

```

```

%Calculo del ángulo base
k3=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2))
var_lat=Lat2-Lat1;
var_lon3=Lon2-Lon1
fi3=atan(var_lat/(k3*var_lon3))
fi_grados3=fi3*360/(2*pi)
% Calculo de Azimut
theta1=270+fi_grados3
theta2=90+fi_grados3

%Perdidas en el espacio libre
defec= defec3 %%km
f1=.902; %%Frecuencia 1
f2=.928; %% Frecuencia 2
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=902203125

sal=[];
for i=0:63;
    if i==0;
        f=fi; %Frecuencia inicial
    else
        f=fi+(i)*(por_bw);
    end
    sal=[sal f]; % vector con las 64 portadoras
end

ate=20.*log10(sal);
const=92.44.*(ones(1,64));
ate_diefec=20.*log10(defec.*(ones(1,64)));
Lfs=const+ate+ate_diefec

Cálculos para el siguiente punto Alzomoni- Tianguismanalco
Lat1=19.1204301576699*(pi/180); % En radianes
Lat2=18.9775998037973*(pi/180);
Lon1=-98.654074976157*(pi/180);
Lon2=-98.4481158935129*(pi/180);
d12=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+cos(Lat1)*cos(Lat2)*(Lon2-Lon1)^2)

%Distancia efectiva (Antena a Antena).
%ASN M ? Altura sobre el nivel del mar
%ASNT ? Altura sobre el nivel del terreno
ASN M1= 4.029500;
ASN M2= 2.160000;
ASNT1=3.70;
ASNT2=3.50;
defec12= sqrt(d12^2+((ASN M1+ASNT1)-(ASN M2+ASNT2))^2)

%Calculo del ángulo base

```

```

k12=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2))
var_lat=Lat2-Lat1;
var_lon12=Lon2-Lon1
fi12=atan(var_lat/(k12*var_lon12))
fi_grados12=fi12*360/(2*pi)
% Calculo de Azimut
theta1=270+fi_grados12
theta2=90+fi_grados12

%Perdidas en el espacio libre
defec= defec12 %%km
f1=.902; %%Frecuencia 1 en GHZ
f2=.928; %% Frecuencia 2
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=902203125

sal=[];
for i=0:63;
    if i==0;
        f=fi; %Frecuencia inicial
    else
        f=fi+(i)*(por_bw);
    end
    sal=[sal f]; % vector con las 64 portadoras
end

ate=20.*log10(sal);
const=92.44.*(ones(1,64));
ate_diefec=20.*log10(defec.*(ones(1,64)));
Lfs=const+ate+ate_diefec

%Dado que se tiene una obstrucción se procede a calcular el radio de Fresnel

f1=902; %%Frecuencia 1 en MHZ
f2=928; %% Frecuencia 2 en MHZ
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=902203125

sal=[];
for i=0:63;
    if i==0;
        f=fi; %Frecuencia inicial
    else
        f=fi+(i)*(por_bw);
    end
    sal=[sal f]; % vector con las 64 portadoras
end

```

```
Rfresnel=548.*(sqrt((d12-.486)*.486)./(sal.*d12)) % en metros
```

```
%Estos valores son muy pequeños a nivel de cm
```

```
Cálculos para el siguiente punto Tianguismanalco- Colibri
```

```
Lat1=18.9775998037973*(pi/180); % En radianes
```

```
Lat2=18.9868769060493*(pi/180);
```

```
Lon1=-98.4481158935129*(pi/180);
```

```
Lon2=-98.5576816312188*(pi/180);
```

```
d13=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+cos(Lat1)*cos(Lat2)*(Lon2-Lon1)^2)
```

```
%Distancia efectiva (Antena a Antena).
```

```
%ASN M ? Altura sobre el nivel del mar
```

```
%ASNT ? Altura sobre el nivel del terreno
```

```
ASN M1= 2.160000;
```

```
ASN M2= 2.671800;
```

```
ASNT1=3.50;
```

```
ASNT2=3.40;
```

```
defec13= sqrt(d13^2+((ASN M1+ASNT1)-(ASN M2+ASNT2))^2)
```

```
%Calculo del ángulo base
```

```
k13=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2))
```

```
var_lat=Lat2-Lat1;
```

```
var_lon13=Lon2-Lon1
```

```
fi13=atan(var_lat/(k13*var_lon13))
```

```
fi_grados13=fi13*360/(2*pi)
```

```
% Calculo de Azimut
```

```
theta1=90+fi_grados13
```

```
theta2=270+fi_grados13
```

```
%Perdidas en el espacio libre
```

```
defec= defec13 %%km
```

```
f1=.902; %%Frecuencia 1
```

```
f2=.928; %% Frecuencia 2
```

```
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
```

```
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos
```

```
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
```

```
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=902203125
```

```
sal=[];
```

```
for i=0:63;
```

```
    if i==0;
```

```
        f=fi; %Frecuencia inicial
```

```
    else
```

```
        f=fi+(i)*(por_bw);
```

```
    end
```

```
        sal=[sal f]; % vector con las 64 portadoras
```

```
end
```

```
ate=20.*log10(sal);
```

```
const=92.44.*(ones(1,64));
```

```
ate_diefec=20.*log10(defec.*(ones(1,64)));
```

```
Lfs=const+ate+ate_diefec
```

Cálculos relativos al enlace de las estaciones que componen la red de monitoreo del volcán de Fuego de Colima:

❖ Obteniendo la distancia superficial:

Entre La Lumbre y el Repetidor:

```
Lat1=(19.4885779000238*pi)/180; %Latitud de a Lumbre en radianes
Lat2=(19.3908502741493*pi)/180; %Latitud del Repetidor en radianes
Lon1=(-103.68523898801*pi)/180; %Longitud de a Lumbre en radianes
Lon2=(-103.85734418664*pi)/180; %Longitud del Repetidor en radianes
d=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+cos(Lat1)*cos(Lat2)*(Lon2-Lon1)^2) %Aplicando la formula de
Haversine
d= 21.0886 km %Distancia superficial entre La Lumbre y el Repetidor
```

Entre el Repetidor y el Observatorio:

```
Lat1=(19.2439974876267*pi)/180; %Latitud del Observatorio en radianes
Lat2=(19.3908502741493*pi)/180; %Latitud del Repetidor en radianes
Lon1=(-103.70229590957*pi)/180; %Longitud del Observatorio en radianes
Lon2=(-103.85734418664*pi)/180; %Longitud del Repetidor en radianes
d=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+cos(Lat1)*cos(Lat2)*(Lon2-Lon1)^2) %Aplicando la formula de
Haversine
d= 23.0765 km %Distancia superficial entre La Lumbre y el Repetidor
```

Entre Juan Barragan y el Observatorio:

```
Lat1=(19.2439974876267*pi)/180; %Latitud del Observatorio en radianes
Lat2=(19.5159457822432*pi)/180; %Latitud de Juan Barragan en radianes
Lon1=(-103.70229590957*pi)/180; %Longitud del Observatorio en radianes
Lon2=(-103.57028005736*pi)/180; %Latitud de Juan Barragan en radianes
d=6378.*sqrt((Lat2-Lat1)^2+cos(Lat1)*cos(Lat2)*(Lon2-Lon1)^2) %Aplicando la formula de
Haversine
d= 33.2957 km %Distancia superficial entre La Lumbre y el Repetidor
```

❖ El calculo de distancia efectiva se llevo a cabo con:

Entre La Lumbre y el Repetidor:

```
ASN1= 1.592778; %Altura sobre el nivel del mar de La Lumbre en km
ASN2= 1.578839; %Altura sobre el nivel del mar del Repetidor en km
ASNT1= .003; %Altura sobre el terreno de La Lumbre en km
ASNT2=.00270; %Altura sobre el terreno del Repetidor en km
```

```
defec= sqrt(d^2+((ASN1+ASNT1)-(ASN2+ASNT2))^2) %Calculando la distancia efectiva en
km
defec= 21.0886 km %Distancia efectiva entre La Lumbre y el Repetidor en km
```

Entre el Repetidor y el Observatorio:

```

ASN1=.533894; %Altura sobre el nivel del mar del Observatorio en km
ASN2= 1.578839; %Altura sobre el nivel del mar del Repetidor en km
ASNT1= .005; %Altura sobre el terreno del Observatorio en km
ASNT2=.00270; %Altura sobre el terreno del Repetidor en km
defec=sqrt(d^2+((ASN1+ASNT1)-(ASN2+ASNT2))^2) %Calculando la distancia efectiva en
km
defec= 23.1 km %Distancia efectiva entre el Observatorio y el Repetidor

```

Entre Juan Barragán y el Observatorio:

```

ASN1=.533894; %Altura sobre el nivel del mar del Observatorio en km
ASN2= 2.323500; %Altura sobre el nivel del mar de Juan Barragan en km
ASNT1= .005; %Altura sobre el terreno del Observatorio en km
ASNT2=.0027; %Altura sobre el terreno de Juan Barragan en km

defec=sqrt(d^2+((ASN1+ASNT1)-(ASN2+ASNT2))^2) %Calculando la distancia efectiva en
km
defec= 33.3436 km %Distancia efectiva entre Juan Barragán y el Observatorio

```

❖ Calculo del ángulo base para posteriormente obtener el ángulo de azimut:

Entre La Lumbre y el Repetidor:

```

Lat1=(19.4885779000238*pi)/180; %Latitud de a Lumbre en radianes
Lat2=(19.3908502741493*pi)/180; %Latitud del Repetidor en radianes
Lon1=(-103.68523898801*pi)/180; %Longitud de a Lumbre en radianes
Lon2=(-103.85734418664*pi)/180; %Longitud del Repetidor en radianes

k1=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2)); %Obteniendo el valor de la constante k=.9430
var_lat=Lat2-Lat1; %Obteniendo el incremento en latitudes en radianes (-.0017)
var_lon=Lon2-Lon1; %Obteniendo el incremento en latitudes en radianes (-.0017)
fi=atan(var_lat/(k1*var_lon)) %Obteniendo ángulo φ en radianes (.5420)
fi_grados=fi*360/(2*pi); % Angulo φ o base en grados (31.054°)

% Como var_lon es menor a cero entonces:
θ1= 90+fi_grados; % Azimut de La Lumbre (121.054°)
θ2= 270+fi_grados; % Azimut del Repetidor (301.054°)

```

Entre el Repetidor y el Observatorio:

```

Lat1=(19.2439974876267*pi)/180; %Latitud del Observatorio en radianes
Lat2=(19.3908502741493*pi)/180; %Latitud del Repetidor en radianes
Lon1=(-103.70229590957*pi)/180; %Longitud del Observatorio en radianes
Lon2=(-103.85734418664*pi)/180; %Longitud del Repetidor en radianes

k1=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2)) %Obteniendo el valor de la constante k=.9437
var_lat=Lat2-Lat1; %Obteniendo el incremento en latitudes en radianes (-.0026)
var_lon=Lon2-Lon1; %Obteniendo el incremento en latitudes en radianes (-.0027)
fi=atan(var_lat/(k1*var_lon)); %Obteniendo ángulo φ en radianes (-.7872)
fi_grados=fi*360/(2*pi); % Angulo φ o base en grados (-45.1043°)
% Como var_lon es menor a cero entonces:

```

```

θ1= 90+fi_grados; % Azimut del Repetidor (44.8957°)
θ2= 270+fi_grados; % Azimut del Observatorio (224.8957°)

```

Entre Juan Barragán y el Observatorio:

```

Lat1=(19.2439974876267*pi)/180; %Latitud del Observatorio en radianes
Lat2=(19.5159457822432*pi)/180; %Latitud de Juan Barragan en radianes
Lon1=(-103.70229590957*pi)/180; %Longitud del Observatorio en radianes
Lon2=(-103.57028005736*pi)/180; %Latitud de Juan Barragan en radianes
k1=sqrt(cos(Lat1)*cos(Lat2)); %Obteniendo el valor de la constante k=.9433
var_lat=Lat2-Lat1; %Obteniendo el incremento en latitudes en radianes (.0047)
var_lon=Lon2-Lon1; %Obteniendo el incremento en latitudes en radianes (.0023)
fi=atan(var_lat/(k1*var_lon)); %Obteniendo ángulo φ en radianes (1.1414)
fi_grados=fi*360/(2*pi); % Angulo φ o base en grados (65.3952°)
% Como var_lon es mayor a cero entonces:

```

```

θ1= 270+fi_grados; % Azimut de Juan Barragan (337.5329°)
θ2= 90+fi_grados; % Azimut del Observatorio (157.5329°)

```

- ❖ Para obtener las pérdidas en el espacio libre primero se crea la matriz de las 64 frecuencias comprendidas en el ancho de banda de 26 MHz con ayuda del siguiente programa:

```

f1=.902; %%Frecuencia 1 en GHz
f2=.928; %% Frecuencia 2 en GHz
bw=f2-f1; % Definimos el ancho de banda
por_bw=bw/64; % División del ancho de banda entre los 64 saltos
fc_por=por_bw/2; %Obteniendo la frecuencia central de las 64 porciones
fi=f1+fc_por; %Frecuencia inicial fi=.902203125 GHz

sal=[]; % Creación del vector con las 64 frecuencias que dispersan el espectro
for i=0:63;
    if i==0;
        f=fi; %Frecuencia inicial
    else
        f=fi+(i)*(por_bw);
    end
    sal=[sal f]; % Vector con las 64 portadoras
end

```

Obtenida la matriz sal, se puede a proceder a calcular las perdidas para cada enlace, como se muestra a continuación:

Enlace entre La Lumbre y el Repetidor:

```

defec= 21.0886; % Distancia efectiva entre la Lumbre y el Repetidor en km
ate=20.*log10(sal); % Calculando la atenuación dada la frecuencia
const=92.44.*(ones(1,64)); %Creando la matriz de la constante
ate_diefec=20.*log10(defec.*(ones(1,64))); %Atenuación de la distancia efectiva
Lfs=const+ate+ate_diefec; % Matriz de las perdidas en el espacio libre.

```

Columns 1 through 10

118.0270 118.0310 118.0349 118.0388 118.0427 118.0466 118.0505 118.0544 118.0583 118.0622
 Columns 11 through 20
 118.0661 118.0700 118.0738 118.0777 118.0816 118.0855 118.0894 118.0933 118.0972 118.1010
 Columns 21 through 30
 118.1049 118.1088 118.1127 118.1165 118.1204 118.1243 118.1281 118.1320 118.1359 118.1397
 Columns 31 through 40
 118.1436 118.1474 118.1513 118.1552 118.1590 118.1629 118.1667 118.1706 118.1744 118.1783
 Columns 41 through 50
 118.1821 118.1859 118.1898 118.1936 118.1974 118.2013 118.2051 118.2089 118.2128 118.2166
 Columns 51 through 60
 118.2204 118.2243 118.2281 118.2319 118.2357 118.2395 118.2433 118.2472 118.2510 118.2548
 Columns 61 through 64
 118.2586 118.2624 118.2662 118.2700

Enlace entre el Repetidor y el Observatorio:

defec= 23.1 % Distancia efectiva entre el Repetidor y el Observatorio en km
 ate=20.*log10(sal); % Calculando la atenuación dada la frecuencia
 const=92.44.*(ones(1,64)); %Creando la matriz de la constante
 ate_diefec=20.*log10(defec.*(ones(1,64))); %Atenuación de la distancia efectiva
 Lfs=const+ate+ate_diefec; % Matriz de las pérdidas en el espacio libre.

Columns 1 through 10
 118.8183 118.8222 118.8261 118.8301 118.8340 118.8379 118.8418 118.8457 118.8496 118.8535
 Columns 11 through 20
 118.8573 118.8612 118.8651 118.8690 118.8729 118.8768 118.8807 118.8846 118.8884 118.8923
 Columns 21 through 30
 118.8962 118.9001 118.9039 118.9078 118.9117 118.9156 118.9194 118.9233 118.9272 118.9310
 Columns 31 through 40
 118.9349 118.9387 118.9426 118.9464 118.9503 118.9541 118.9580 118.9618 118.9657 118.9695
 Columns 41 through 50
 118.9734 118.9772 118.9811 118.9849 118.9887 118.9926 118.9964 119.0002 119.0041 119.0079
 Columns 51 through 60
 119.0117 119.0155 119.0194 119.0232 119.0270 119.0308 119.0346 119.0384 119.0423 119.0461
 Columns 61 through 64
 119.0499 119.0537 119.0575 119.0613

Enlace entre Juan Barragán y el Observatorio:

```
defec= 33.3436 % Distancia efectiva entre Juan Barragán y el Observatorio en km
ate=20.*log10(sal); % Calculando la atenuación dada la frecuencia
const=92.44.*(ones(1,64)); %Creando la matriz de la constante
ate_diefec=20.*log10(defec.*(ones(1,64))); %Atenuación de la distancia efectiva
Lfs=const+ate+ate_diefec; % Matriz de las pérdidas en el espacio libre
```

Columns 1 through 10

122.0063 122.0102 122.0142 122.0181 122.0220 122.0259 122.0298 122.0337 122.0376 122.0415

Columns 11 through 20

122.0454 122.0493 122.0531 122.0570 122.0609 122.0648 122.0687 122.0726 122.0765 122.0803

Columns 21 through 30

122.0842 122.0881 122.0920 122.0958 122.0997 122.1036 122.1074 122.1113 122.1152 122.1190

Columns 31 through 40

122.1229 122.1267 122.1306 122.1345 122.1383 122.1422 122.1460 122.1499 122.1537 122.1575

Columns 41 through 50

122.1614 122.1652 122.1691 122.1729 122.1767 122.1806 122.1844 122.1882 122.1921 122.1959

Columns 51 through 60

122.1997 122.2035 122.2074 122.2112 122.2150 122.2188 122.2226 122.2265 122.2303 122.2341

Columns 61 through 64

122.2379 122.2417 122.2455 122.2493

Bibliografía:

1. Volcanic Ash and Airports Discussions and Recommendations from the Workshop on Impacts of Volcanic Ash Facilities, Thomas J. Casadevall, Seattle Washington, April 1993.
2. Volcanic Ash and Aviation Safety Proceedings of the First International Symposium on Volcanic and Aviation Safety, Thomas J. Casadevall, Washington, 1994.
3. Una introducción a la geología física, Edwar J. Tarbuck, Frederick K. Lutgens, Editorial Pearson Prentice Hall. Octava edición, Madrid España, 2005.
4. Contemporary Communication Systems Using Matlab, John G. Proakis, Masoud Salehi, Northeastern University.
5. Adquisición y Transmisión de Datos desde Meteorológicas Remotas, S.Rosiek F.J. Batlles. Universidad de Almería
6. Modificado de Sparks, 1986, Carey y Sparks, 1986, Wilson, 1980
7. Propagación de Ondas en la Tropósfera, Grupo de Electromagnetismo, Universidad de Alcalá
8. Spread Spectrum Wireless Data Transceiver User Manual, FreeWave Technologies, 2005.
9. Espectroscopia de absorción molecular ultravioleta y visible, Penelas Maria Jazmin, Venezuela,
10. Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas, Nieves Abril, Barcena Ruiz y Fernández Reyes, et al.
11. <http://tenoch.scimexico.com/2008/01/07/el-volcan-popocatepetl-don-goyo/>
12. <http://www.ucol.mx/volcan/galeria.php>
13. Capitulo 1, Propagación de RF,
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf
14. http://docencia.izt.uam.mx/ruth/Mecanica_y_Fluidos/practicas/balisticos.pdf
15. <http://www.monografias.com/trabajos14/medios-comunicacion/medios-comunicacion.shtml>
16. http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel
17. <http://www.cenapred.unam.mx/es/Instrumentacion/InstVolcanica/MVolcan/DeteccionFlujos/>
18. <http://www.ampere.com.mx/detallemarca.php?IdMarca=51>
19. <http://torresolar.com.ar/espanol/fundamentos/energiasolar/panelessolares.htm>
20. http://www.maxrad.com/product_overview_detail.cgi?id_num=11167
21. <http://www.bluewaveantenna.com/>
22. <http://www.paramowifix.net/antenas/calculoenlace wlan.html>
23. <http://www.volcandecolima.com/info/index.html>
24. La radiación electromagnética y los espectros : http://www.hiru.com/es/kimika/kimika_01050.html
25. Tecnologías inalámbricas de última generación y automatización de la planta petroquímica e industrial:
www.aciem.org/bancoconocimiento/T/.../TecnologiasInalamicasdeultimageneracion.asp?IdArticulo
26. Celda Solar: <http://www.anes.org/tutorial/cell.html>
27. Energía fotovoltaica: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html