

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



COMUNICACIONES SUBTERRÁNEAS USANDO TECNOLOGÍA DE CABLE RADIANTE

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:
WILLY RICHARD LUDEÑA LOAYZA**

PROMOCIÓN

2002- II

LIMA – PERÚ

2010

**COMUNICACIONES SUBTERRÁNEAS USANDO
TECNOLOGÍA DE CABLE RADIANTE**

Este trabajo está dedicado a mi querida familia, en especial a mi padre Federico, a mi madre Domitila y a mis hermanos Freddy, Jaime, Jorge, Jessica y Cesar por su apoyo y cariño incondicional hacia mi persona.

SUMARIO

El presente trabajo está orientado a dar a conocer la tecnología de cable radiante para comunicaciones de voz, con la posibilidad de ubicación, seguimiento de personas y/o equipos tanto en la superficie como en el interior de la mina.

El presente trabajo se basa en la teoría del cable radiante y su aplicación en la banda VHF (152MHz- 160MHz para transmisión y 170MHz – 175MHz para recepción).

El análisis de la implementación de la red de comunicaciones se encuentra dividido en dos partes siendo la primera la de cobertura de radio en superficie que está basado en el software de simulación Radio Mobile y la segunda parte en el diseño de la red de comunicación en el interior de la mina que está basado en las características de cada equipo como ganancia, pérdida longitudinal, pérdida por inserción, voltaje de alimentación, frecuencia de operación, etc.

El trabajo también incluye el estudio de un Sistema de Puesta a Tierra usando el método de Wenner.

INDICE

SUMARIO

PROLOGO	1
CAPÍTULO I	
FORMULACIÓN DEL TRABAJO	2
1.1 Diagnostico del Estado Actual.....	2
1.2 Programación del Trabajo.....	2
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO	3
2.1 Estudio de los sistemas de comunicación para interiores.....	3
2.1.1 Introducción.....	3
2.1.2 Características de las comunicaciones inalámbricas en interiores.....	5
2.1.3 Interferencia de dos ondas de radio.....	7
2.1.4 Escenarios de propagación de radio frecuencia.....	7
2.1.5 Radiopropagación en interiores.....	8
2.1.6 Propagación en túneles y Minas.....	8
2.2 Algunos sistemas de comunicación para minas.	10
2.2.1 Radio de Dos Vías (Walkie-Talkie).....	10
2.2.2 Sistema TETRA.....	11
2.2.3 Cable Radiante.....	12
2.2.4 Fibra Óptica.....	13
2.2.5 Wi-Fi.....	14
2.1.6 Telefonía Convencional.....	15
2.3 Revisión de los Sistemas de Comunicación para minas.....	16
2.3.1 Características del Sistema de Comunicación de Cable Radiante.	17
2.3.2 Cobertura de Comunicación en el Interior de la Mina.....	19
2.3.3 Diagrama de bloques.....	19

2.3.4 Aplicaciones del Cable Radiante.....	22
2.3.5 Componentes del Sistema de Comunicación por Cable Radiante.....	23
2.3.6 Respuesta en Frecuencia de los Amplificadores de Línea.....	31
2.3.7 Estudio de Resistividad de Suelo.....	33
CAPITULO III	
ANALISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIONES..	36
3.1.- Introducción.....	36
3.2 Etapas del análisis.....	36
3.2.1 Estudio de campo.....	36
3.2.2 Discusión del sistema instalado.....	37
3.2.3 Análisis de la instalación del Sistema de Puesta a Tierra.....	53
3.2.5 Cronograma de Implementación del trabajo.	55
CAPITULO IV	
PRUEBA, MEDICIÓN, COSTOS Y SOLUCIÓN.....	56
4.1 Pruebas y Mediciones.....	56
4.2 Costos de la solución.....	56
CONCLUSION Y RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFIA.....	62
ANEXO A.....	63
Diagrama en Autocad de la mina con la ubicación de los equipos de comunicación.....	64

PROLOGO

El desarrollo de la electrónica y sus aplicaciones ha llevado a la sociedad que está basada en el consumo intenso de energía y recursos naturales a transformarse en una civilización basada en la información, en el proceso de datos y en la comunicación, y donde el desarrollo sostenible empieza a ser una prioridad.

A la vez, dentro de la economía, el sector servicios ha adquirido una mayor importancia en todos los países desarrollados, manifestada por ejemplo en una mayor producción de equipos de medida, control y comunicaciones frente a los de generación de energía y de fabricación. La globalización ha ido desplazando los centros de producción hacia países menos desarrollados, y ahora empieza a desplazar también los centros de diseño, aumentando así las necesidades de control de calidad de los productos y servicios recibidos en los países importadores.

La necesidad de comunicación en zonas rurales o campamentos mineros o petrolíferos es alta debido a que va asociada a la producción de la materia prima y a la seguridad de los trabajadores; la creación y la mejora de los sistemas de telecomunicaciones en estas zonas no son atractivas para las empresas prestadoras de servicios de telecomunicaciones, debido a los altos costos de instalación y mantenimiento así como el poco tráfico y a la necesidad de llevar la cobertura al interior de la mina donde a la señal celular le es imposible ingresar. Conocido este hecho, las empresas se ven en la necesidad de proyectar e implementar su propia red de comunicaciones.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer la vigencia de la tecnología del cable radiante que data de los años 1970, sus amplios usos en túneles de trenes, ascensores, edificios altos y minas, este trabajo se centra en la banda de VHF ya que se adapta a las necesidades y costos requeridos, teniendo en cuenta que también es usado en otras bandas como UHF y en otras tecnologías como GSM, WiFi, etc.

CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL TRABAJO

1.1 Diagnostico del Estado Actual:

Ante el alza continua del precio de los metales las principales empresas mineras se ven en la necesidad de aumentar su productividad y reducir sus costos. Esto conlleva a un estudio interno de productividad de cada área.

Estudios internos demostraron periodos de tiempo en que la mina no producía por falta de un sistema de comunicación ya que el tiempo para la ubicación de un operario o maquinista era demasiado alto y a veces era inubicable lo que atrasaba la producción de las áreas dependientes.

En la actualidad muchas empresas mineras cuentan con teléfonos convencionales en determinadas áreas estratégicas pero debido al mantenimiento continuo y a la imposibilidad de ubicar las fallas del sistema en un tiempo razonable este sistema no es una solución ante el problema presente.

Por otro lado en la actualidad existen diferentes tecnologías a aplicar para solucionar este problema tales como comunicación analógica por cable radiante VHF, UHF, comunicación digital WiFi con antenas distribuidas, aumentar el número de teléfonos convencionales.

Debido a la experiencia en otras empresas mineras, a la madurez de esta tecnología, al tiempo de reposición del servicio, los costos y al tiempo de instalación se escogió la tecnología de cable radiante VHF.

1.2 Programación del Trabajo

EL objetivo de este trabajo es la comunicación de voz vía radio entre el personal ubicado en el interior de la mina, los que se encuentran fuera de la mina y entre los que se encuentran en la mina y superficie usando la tecnología de cable radiante.

Dentro del presente trabajo se va a discutir las zonas a cubrir, el estudio de campo, elección de la tecnología adecuada para este trabajo basado en costos y performance, discutir la implementación realizada tanto en la superficie como en el interior de la mina.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- Estudio de los sistemas de comunicación para interiores

2.1.1.- Introducción

Las personas al ser un ente social necesitan la comunicación para el desarrollo dentro de la sociedad y por eso se ha inventado diferentes formas de comunicarse.

La comunicación tiene un gran avance, no era suficiente lo que se lograba comunicar en un principio, se requería de algún medio para las comunicaciones de voz. Ante esto, surge el teléfono, inventado por Alexander Graham Bell, que logra la primera transmisión de voz en 1876.

Así los primeros sistemas telegráficos y telefónicos utilizaban cable para lograr la transmisión de mensajes. Con los avances en el estudio de la electricidad, el físico alemán Heinrich Hertz en 1887 descubre las ondas electromagnéticas, estableciendo las bases para la telegrafía sin hilos.

Pero no fue hasta el siglo XX, cuando se inventan los tubos al vacío y el surgimiento de la electrónica, que se logran grandes avances, se inventa el radio, la primera emisión fue en 1906 en los Estados Unidos. En 1925 existían ya 600 emisoras de radio en todo el mundo.

Hasta aquí, la voz se ha logrado transmitir de un lugar a otro, pero que pasa con la imagen, si una imagen dice más que mil palabras.

Aunque la transmisión de imágenes a distancia está ligada a varios avances e inventos, como: disco perforado explorador, inventado en 1884 por el pionero de la televisión, el alemán Paul Gottlieb Nipkow. Otros de los hechos en el desarrollo de la televisión son el iconoscopio y el cinescopio, para transmitir y recibir, respectivamente, imágenes a distancia, inventados ambos en 1923 por el ingeniero electrónico ruso Vladímir Kosma Zworykin. Logrando con esto una de las más grandes industrias a escala mundial, las Cadenas de Televisión.

Desde las primeras máquinas programables manualmente (máquina diferencial de Babbage) o con procedimientos electrónicos (ENIAC, con tubos al vacío, en 1947), hasta nuestros días de potentes computadoras digitales que se han introducido en prácticamente todas las áreas de la sociedad (industria, comercio, educación, comunicación, transporte, etc.). Con todos estos avances tecnológicos y necesidades, la comunicación o transmisión de datos fue tomando cada vez más auge. Los primeros intentos y realizaciones en la tarea de conjugar ambas disciplinas - comunicaciones y procesamiento de datos - tuvieron lugar en Estados Unidos, donde durante los años cuarenta del siglo XX se desarrolló una aplicación de inventario para la U.S. Army y posteriormente, en 1953, otra para la gestión y reserva de las plazas en la American Airlines, que constituyeron los dos primeros sistemas de procesamiento de datos a distancia. Con esta nueva necesidad y estas herramientas, surgen las Redes de Computadoras, las cuales son ya muy comunes en nuestros días, pero en los inicios de la transmisión por televisión y con el uso de las computadoras, la especie humana logra lanzar un vehículo espacial y tiempo después lanza los primeros satélites artificiales. Los cuales son aparatos muy sofisticados con fines múltiples (científicos, tecnológicos y militares). El primer satélite artificial, el Sputnik 1, fue lanzado por la Unión Soviética el 4 de octubre de 1957. El primer satélite de Estados Unidos fue el Explorer 1, lanzado el 31 de enero de 1958, y resultó útil para el descubrimiento de los cinturones de radiación de la Tierra. En la actualidad hay satélites de comunicaciones, navegación, militares, meteorológicos, de estudio de recursos terrestres y científicos. La mayor parte de ellos son satélites de comunicación, utilizados para la comunicación telefónica y la transmisión de datos digitales e imágenes de televisión.

Todo este desarrollo de las comunicaciones dio lugar a un nuevo concepto:

Telecomunicación, que significa: Conjunto de medios de comunicación a distancia o transmisión de palabras, sonidos, imágenes o datos en forma de impulsos o señales electrónicas o electromagnéticas.

Después de lograr entender el apareamiento de las telecomunicaciones y su desarrollo, surgió la necesidad de implementar este concepto en lugares cerrados, debido a que la infraestructura de los sitios no permite una comunicación de forma convencional.

La importancia de tener comunicación dentro de lugares cerrados como por ejemplo túneles en caso particular las minas ha llevado a implementar diferentes tecnologías para lograr una cobertura en los mismos, siendo la más importante la inalámbrica.

Esta comunicación está dirigida a la utilización de ciertas aplicaciones ubicadas en distintos ambientes y escalas de cobertura geográfica. Se han desarrollado desde sistemas analógicos hasta sistemas digitales, los cuales se adaptan muy bien al exigente ambiente de las comunicaciones vía radio. La eficiencia de estos sistemas depende mucho del modelo de propagación desarrollado, para lo cual es importante conocer los conceptos de reflexión, difracción y dispersión. Los nuevos sistemas exigen un aprovechamiento eficiente del espectro para garantizar un canal de comunicación de alta capacidad y elevada calidad. El uso del canal optimiza las técnicas de múltiples accesos, donde una única frecuencia, tiempo o código es asignado a cada suscriptor. El uso generalizado de los circuitos integrados ha permitido llegar a unos equipos receptores de alta confiabilidad y elevado desempeño, pudiéndose usar técnicas avanzadas de procesamiento digital. Ha habido un repunte de las técnicas para el rechazo a las interferencias, muy limitante en estos sistemas de comunicación. Los elementos básicos de una arquitectura típica son: estaciones base, estaciones móviles de los suscriptores, centros móviles de conmutación y los registradores de localización local y del visitante. Para que un suscriptor pueda comunicarse en cualquier momento y desde cualquier lugar, es necesario que la red cuente con unas funciones de control y señalización adecuadas, así como con eficientes sistemas de transmisión.

El objetivo de la comunicación inalámbrica es el de permitir al usuario el acceso a las capacidades de la red global en cualquier momento, sin importar su localización y movilidad.

La comunicación personal inalámbrica apunta hacia la utilización de ciertas aplicaciones localizadas en varios ambientes y escalas de cobertura geográfica. Su crecimiento en varios segmentos del mercado de las comunicaciones inalámbricas ha sido vertiginoso en los últimos años.

Dependiendo de los medios en los cuales se va a propagar las ondas electromagnéticas, se han definido un gran número de distribución de frecuencias para las diferentes aplicaciones tanto en lugares abiertos como cerrados dependiendo el medio de transmisión a utilizar.

Generalmente las bandas utilizadas en espacios cerrados, están distribuidas de acuerdo al sistema de transmisión a implementarse, para nuestro caso la utilización de cable radiante tiene un rango desde los 75 MHz hasta los 2400MHz.

2.1.2.- Características de las comunicaciones inalámbricas en interiores.

a.- Introducción

Las ondas de radio son ondas poseen una componente eléctrica y una componente magnética, debido a ello están expuestas a ciertos fenómenos propios que pueden cambiar el patrón de propagación de las mismas.

En condiciones especiales y con una atmósfera uniforme, las ondas tienden a propagarse en línea recta, lo que quiere decir que siempre que exista línea de vista entre el transmisor y el receptor se tendrá una comunicación bastante eficiente.

Para realizar comunicaciones seguras entre dos puntos lejanos y sin salir de la atmósfera se utilizan las denominadas altas frecuencias HF (High Frequency) que van de 3Mhz a 30 Mhz ya que estas tienen la propiedad de ser reflejadas en la atmósfera, por lo cual regresan a la tierra cubriendo grandes distancias, en la Tabla 2.1 se muestran los distintos rangos de frecuencias y longitudes de onda, junto con su denominación.

Tabla 2.1 Denominación de los rangos de frecuencia y longitud de onda

Número de la banda	Símbolos	Rango de frecuencias	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas para las bandas
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B. Mam
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300 a 3,000 kHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300 a 3,000 MHz	Onda decimétricas	B. dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B. cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B. mm
12	--	300 a 3,000 GHz	Ondas decimilimétricas	--

b.- Pérdidas en el espacio libre

Las pérdidas de trayectoria en el espacio libre L_p , se definen como aquellas que ocurren cuando una onda electromagnética es transmitida en el vacío. Pero en realidad no existe pérdida de energía al transmitir la onda electromagnética sino el efecto que realmente se produce es una dispersión de la señal según se aleja del transmisor, en la siguiente ecuación se ve la fórmula de pérdidas por dispersión.

De la ecuación de Friis:

$$\frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_R G_T \dots \dots \dots (2.1)$$

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_R}{P_T} \right) = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2}{G_R G_T} \right) = L_0 - 10 \log(G_T G_R) \dots \dots \dots (2.2)$$

Reemplazando $\lambda = \frac{c}{f}$

$$L_0(dB) = 34.44 + 20 \log f(\text{Mhz}) + 20 \log D(\text{Km}) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$L_p(dB) = 34.44 + 20 \log f(\text{Mhz}) + 20 \log D(\text{Km}) - 10 \log(G_T G_R) \dots \dots \dots (2.4)$$

L_p = Pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

D = Distancia a la que viaja la señal.

f = Frecuencia de transmisión.

c = Velocidad de la luz.

λ = Longitud de onda.

G_T = Ganancia de la antena transmisora.

G_R = Ganancia de la antena receptora.

2.1.3 Interferencia de dos ondas de radio

En frecuencias muy cercanas, aparece el fenómeno de interferencia cuando la onda directa irradiada por un emisor se recibe al mismo tiempo que una onda reflejada. En este último caso, los tiempos de recorrido de las dos ondas son diferentes y las dos señales recibidas son desfasadas. Pueden entonces presentarse varios casos:

- Desfasamiento igual a un múltiplo del período: las señales están en fase y se refuerzan mutuamente. Sus amplitudes se suman.
- Desfasamiento de un múltiplo de un semi-período: las señales están en oposición de fase y la amplitud de la señal más débil se resta a la más fuerte. Si las dos señales tienen la misma amplitud, el nivel de la señal resultante es nulo.
- Desfasamiento cualquiera: la amplitud de la señal que resulta es intermedia entre estos dos valores extremos.

2.1.4 Escenarios de propagación de radio frecuencia

En el caso de ambientes exteriores; al medir la potencia de la señal con unidades móviles capaces de medir la intensidad de señal recibida, desplazándose sobre distancias muy pequeñas, se observa fluctuaciones de dicha potencia, debido a que la señal recibida está compuesta por muchas fuentes de reflexiones por el fenómeno de multitrayectoria.

En interiores la situación es aún peor. Es muy difícil diseñar un edificio libre de reflexiones de multitrayectoria, difracción alrededor de las esquinas o dispersión en la pared, techo o suelo. La radio propagación de ondas de radio dentro de edificios de metal

con paredes lisas puede ser muy mala dando lugar a sitios muertos en los que virtualmente no hay señal. Estos sitios muertos ocurren debido a la casi perfecta reflexión de las ondas sobre las paredes lisas techos o adornos que interfieren con la señal. Estos sitios muertos existen en tres dimensiones espaciales dentro de la edificación y con solo mover un poco se puede pasar de no tener señal a recibir una fuerte intensidad de señal.

2.1.5 Radiopropagación en interiores

Los obstáculos que son parte de componentes estructurales de construcciones como paredes o en túneles producen fuertes divisiones de propagación en los escenarios, es decir, si se propaga una onda en un cuarto, la intensidad de la señal en el mismo será claramente mayor que la intensidad de campo que hay en los cuartos cercanos al cuarto de origen de la propagación. Por otro lado, los obstáculos formados por los muebles de la oficina y obstáculos móviles que no lleguen hasta el techo producen leves divisiones de propagación de onda en dichos escenarios. Las señales de radio penetran eficazmente a ambos tipos de obstáculos de maneras muy difíciles de predecir.

2.1.6 Propagación en túneles y Minas

Como un principio general, las ondas de radio no se propagan bien a través de túneles en subterráneo y minas a las frecuencias usadas para comunicaciones de voz. Este hecho tiende a frustrar el uso de la radio de dos vías en minas excepto sobre distancias cortas. El análisis teórico típicamente trata a los túneles como una guía de onda parcialmente imperfecta cuyas paredes absorben y reflejan parcialmente la energía de la onda incidente (referencias: "Theory of the Propagation of UHF Radio Waves in Coal Mine Tunnels," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-23, No. 2, March 1975). La propagación es por lo tanto una función no sólo del tamaño del túnel y sus dimensiones, sino de las propiedades eléctricas del material circundante. Las mediciones de las atenuaciones de las ondas de radio a lo largo de los túneles rectos demuestran que, como en una guía de onda, la atenuación expresada en decibeles (dB) varía linealmente con la distancia. Las mediciones también muestran grandes pérdidas asociadas con las esquinas, las curvas y de hecho, cualquier desviación de la línea de vista. Las irregularidades y la rugosidad de las paredes también contribuyen a las pérdidas de propagación. Los resultados típicos de mediciones de propagación en minas (túneles) son mostrados en la tabla 2.1 y 2.2. la tabla 2.1 está basada en las mediciones realizadas por Goddard (referencia: Goddard, A.E., "Radio Propagation Measurements in Coal Mines at UHF and VLF," Roc. Through-the-Earth Electromagnetics Workshop, pp.54-6 1 (Colorado School

of Mines, Golden, Colorado, August 15-17, 1973) en una mina de gran profundidad cerca a Illinois. El túnel tiene 14 pies de ancho y entre 7 y 8 pies de altura con columnas cada 60 pies. Se observó que la polarización tiene un efecto significativo. La tabla 2.2 está basada en los datos de los reportes de Delogne y Liegeois para una mina de hierro con sección transversal de 7 metros por 8 metros. La polarización no fue reportada, pero en la medida en que la sección transversal se aproxima más a un cuadrado, debería ser menor la sensibilidad a la polarización.

La pérdida total de propagación (entre antenas isotrópicas) está determinado por las tablas 2.1 y 2.2

$$L=L_0+(AxD)+L_c\text{.....(2.5)}$$

L= pérdida de propagación total

L₀= pérdida de acoplamiento

A= atenuación por cada 100 pies

D= distancia entre el transmisor y receptor (en unidades por cada 100 metros)

L_c= pérdida asociada con curvas de 90 grados (en caso aplique)

Tabla 2.1 Características de propagación en mina de carbón

Sección del túnel: 7 pies por 14 pies						
Frecuencia (MHz)	Polarización	Pérdida de Acoplamiento (dB)	Atenuación (dB/100pies)	Perdidas por Curvas (dB)	Rango aproximado (en pies)	
					Línea recta	Una curva
200	Vertical	65	15	--	480	--
415	Vertical	78	6.5	35	908	369
415	Horizontal	40	5.9	35	1644	1051
1000	Vertical	65	4.3	36	1674	837
1000	Horizontal	57	2.5	38	3480	1960

Tabla 2.2 Características de propagación en mina de hierro.

Sección del túnel: 23 pies por 26 pies					
Frecuencia (MHz)	Pérdida de Acoplamiento (dB)	Atenuación (dB/100pies)	Perdidas por Curvas (dB)	Rango aproximado (en pies)	
				Línea recta	Una Curva
6	22	18	6	633	604
68	30	12	10	886	804
150	36	11.7	15	955	817
450	48	4.6	25	1969	1421

La ecuación 2.4 no sería válida para distancias cortas (por ejemplo D menos de 100 pies). Para entender el significado de las pérdidas de propagación en términos de los rangos posibles de comunicación entre los radios portátiles, se podría hacer la siguiente presunción:

Potencia irradiada efectiva: 0dBm (1 watt)

Sensitividad efectiva de recepción: -137 dBm (1 microvoltio, 50 ohmios)

La máxima pérdida de propagación sería de 137dB. A partir de esto, los rangos máximos de comunicación han sido determinados y se muestran en la tabla 2.1 y 2.2 para túneles rectos y con curvas de 90 grados.

Los rangos indicados en las tablas se aplican a condiciones bastante idealizadas, sin embargo, no es adecuada para la mayoría de las minas. En la práctica, los rangos pueden ser mucho más pequeños debido a las múltiples curvas y esquinas, menores dimensiones del túnel, o una mayor absorción de energía de las paredes de alrededor. Un caso particular de ello es la experiencia de una operación de minería del carbón de tajo largo en Dante, Virginia. Se encontró que una comunicación de radio portátil a portátil en UHF a lo largo se limitaba a unos 250 pies.

(Fuente: AN EVALUATION OF LEAKY FEEDER COMMUNICATION IN UNDERGROUND MINES, United States Department of the Interior Bureau of Mines).

2.2 Algunos sistemas de comunicación para minas

2.2.1 Radio de Dos Vías (Walkie-Talkie)

La comunicación por Walkie-Talkie en minas está basado en equipo transmisores-receptores portátiles de dos vías. Estos equipos de comunicación portátil incluyen un solo canal de comunicación, la transmisión y recepción es a través de un solo canal es decir sólo una persona puede transmitir en un instante dado. Sin embargo, cualquier número de personas pueden recibir el mensaje transmitido. Los Walkie-Talkie también disponen del botón “presione para hablar” que se utiliza para cambiar de modo transmisión a recepción y viceversa.

El principal problema de este sistema es el alcance de la comunicación en el interior de la mina ya que es afectado por la reflexión, difracción y dispersión. Estos tres fenómenos afectan la señal y dan lugar a que éstas se atenúen, provocando así pérdidas de niveles de señal por consecuencia el alcance de la comunicación se reduce a unos 100 metros.

Otro problema adicional con estos equipos en la superficie es que al no trabajar con repetidores y una antena superficial se limita la cobertura en la superficie a 1 kilómetro de radio aproximadamente, en la figura 2.4 se puede ver la comunicación por Walkie-Talkie en el interior de la mina.



Fig. 2.4. Alcance de las radios portátiles en el interior de la mina (Fuente www.minecom.com)

2.2.2 Sistema TETRA

El sistema de radio enlace terrestre **TETRA** (TERrestrial TRunked RADio) está diseñado para satisfacer las necesidades de los usuarios de la radio móvil privada, la radio móvil de acceso público, y las aplicaciones públicas de protección y seguridad, tales como la policía, patrullas fronterizas, guardacostas, cuerpos de bomberos, minería, ferrocarriles etc.

Este sistema si bien es cierto está orientado para la superficie, tiene la capacidad de trabajar en túneles usando cable radiante o mediante antenas distribuidas y/o con un sistema de redundancia mediante fibra óptica.

Entre las principales características del sistema TETRA es que al trabajar en una frecuencia más baja puede dar una mayor cobertura en superficie, puede trabajar en modo terminal a terminal, transmisión de datos a baja velocidad, mejor aprovechamiento de canal ya que puede trabajar en modo half y/o full dúplex.

Este sistema tiene muchas ventajas como llamadas individuales, grupales, acceso telefónico y transmisión de datos, si bien es cierto se puede integrar a un sistema de

comunicación por cable radiante, el costo de instalación de los equipos TETRA lo hace poco atractivo.

En la grafica 2.5 se puede visualizar una instalación típica TETRA para superficie.

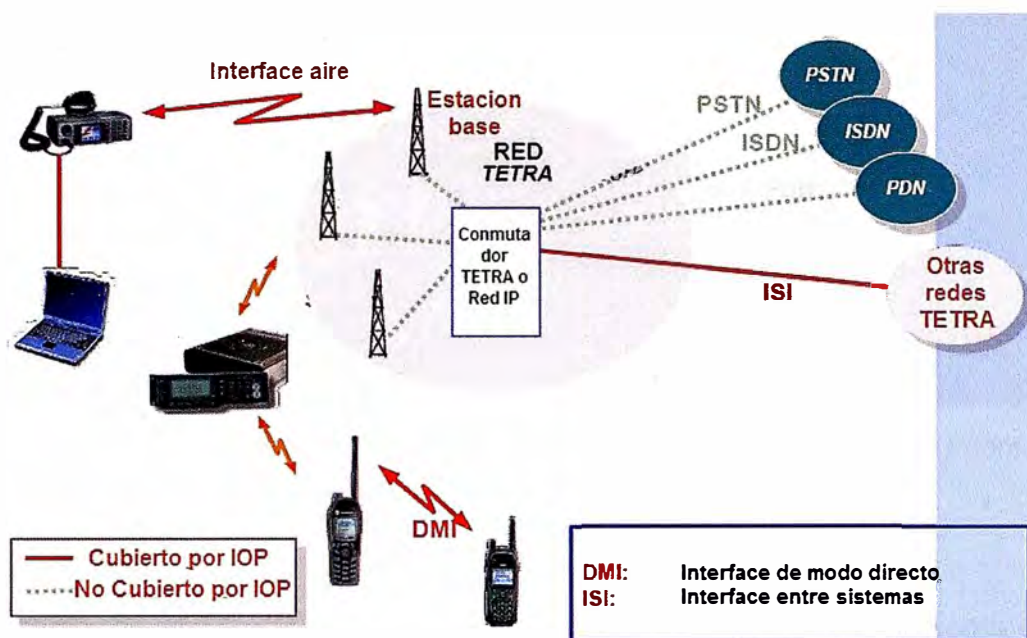


Fig. 2.5 Topología del sistema TETRA

2.2.3 Cable Radiante

El sistema de cable radiante permite la comunicación vía ondas de radio en túneles subterráneos y en la superficie donde dichas ondas no se pueden propagar en forma natural debido a los efectos de reflexión, difracción y dispersión. Su funcionamiento se basa en un cable radiante, el cual irradia y recibe de forma axial la señal de radio.

Se puede hacer la analogía de que el cable radiante opera como una gran antena repetidora que amplifica la potencia recibida y la irradia en toda la extensión del cable, en la grafica 2.6 se puede observar una instalación típica donde se detalla los componentes típicos de una instalación (en superficie y en el interior de la mina) por ejemplo dentro del círculo se observa la estación base con sus componentes tales como el combinador, los repetidores, monitor donde se visualiza la ubicación de los trabajadores de la mina, afuera de la estación base se visualiza una antena superficial y el cable radiante que esta soportado sobre unos postes para hacer su ingreso a la mina, en el interior se visualiza los inyectores de corriente, amplificadores, derivadores, terminales de línea y por supuesto el cable radiante de color rojo.

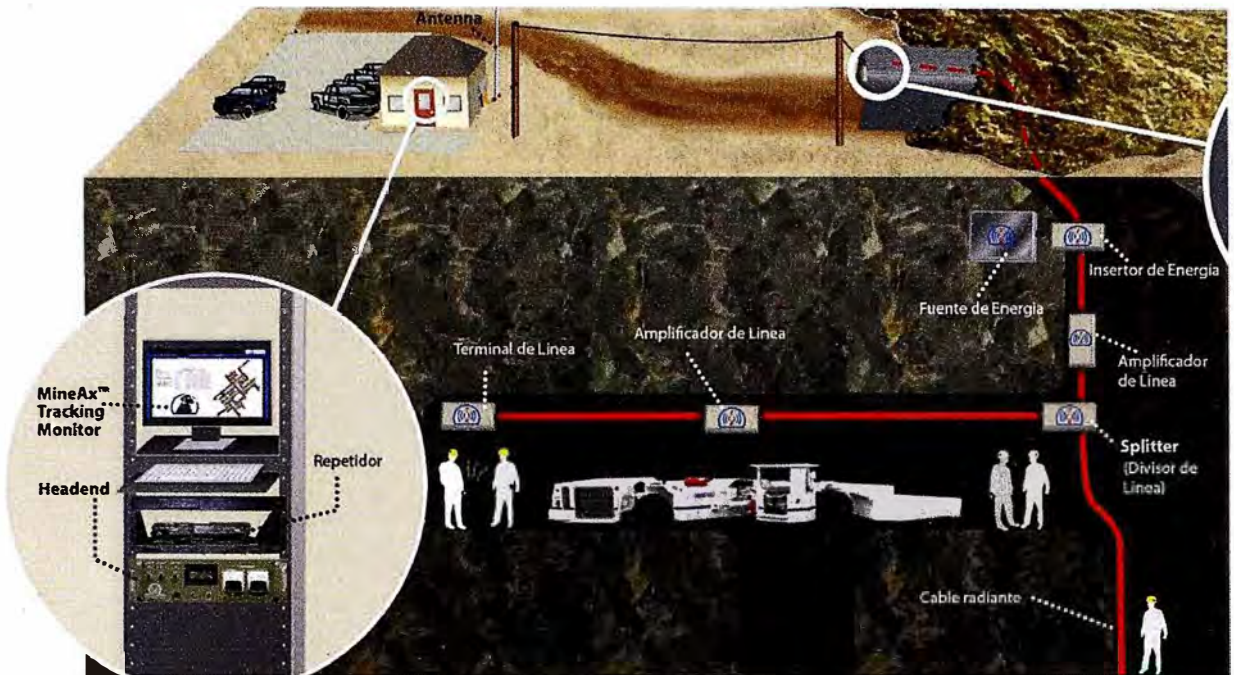


Fig. 2.6 Topología típica de un sistema de cable radiante para minas (Fuente Minecom.com).

2.2.4 Fibra Óptica

Los cables de fibra óptica pueden mantener la comunicación en operaciones extremas y complejas como la de una mina subterránea ya que su diseño y manufactura están reforzadas y pueden transmitir con velocidades de hasta 10 Gigabits; están han sido instaladas en lugares muy remotos como plataformas petrolíferas semi-sumergibles, plantas generadoras de electricidad, plantas de tratamiento de Agua, plantas de procesamientos químicos y minas subterráneas, entre otras aplicaciones.

A través de la línea de fibra óptica extendida en minas se puede interconectar oficinas en la superficie con operaciones en el interior de la mina para aplicaciones de datos, voz, control y video; entre las principales características se tiene: alta velocidad de conexión, transmisión de datos, video y sonido en tiempo real, acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día, sin congestiones.

Entre las principales desventajas se tiene: alto costo de instalación y mantenimiento, fragilidad de las fibras, disponibilidad limitada de conectores, dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.

En la figura 2.7 se puede observar el tendido de la fibra óptica en una mina, como se observa este trabajo es complicado ya que generalmente en los túneles el tráfico de vehículos es constante y la fijación de la fibra toma tiempo ya que se debe colocar alcayatas para el soporte de la fibra.



Fig. 2.7 Tendido de la fibra Óptica en el interior de la mina.

2.2.5 Wi-Fi

Considerando las ventajas que ofrece la tecnología inalámbrica en costos, confiabilidad y velocidad de transmisión, se presenta esta solución que permite implementar una red de comunicación de voz, datos y video, la cual permite aplicar la tecnología inalámbrica para mejorar los procesos de operación y supervisión de la red de datos y voz de una mina.

Una red inalámbrica basada en Wifi usa la tecnología de radio frecuencia (RF) para transmitir y recibir datos, y está fundamentada en la especificaciones de el estándar 802.11.b, convirtiéndose en el estándar dominante de las redes inalámbricas, (conocido también como Wi-Fi), que soporta velocidades hasta 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz, y permite usar 14 canales dentro de los 2.4 GHz a una potencia menor de 1 vatio.

Entre las ventajas de una red inalámbrica WLAN está la movilidad y escalabilidad de la red. La movilidad permite un punto de acceso en tiempo real desde cualquier punto de la red, simplicidad, rapidez y flexibilidad en la instalación. En el caso de nuestra aplicación, esta tecnología permite acceder a cualquier ubicación tanto dentro como fuera de la mina.

La escalabilidad en los sistemas inalámbricos pueden ser configurados en una variedad de topologías para satisfacer las necesidades de la red y aplicaciones específicas. Las configuraciones son muy fáciles de cambiar y además es muy fácil la incorporación de nuevos equipos y usuarios a la red.

Una instalación típica en una mina se basa en una red dorsal ya sea de fibra óptica o xDSL y se instalan puntos de acceso en sitios estratégicos con antenas externas de mayor ganancia que permita una mayor cobertura.

Para tener una comunicación continua es necesario instalar antenas y puntos de acceso distribuidas en toda la mina lo cual incrementa los costos de instalación.

La ventaja de este sistema es que tiene una red dorsal tipo anillo y al fracturarse un punto del anillo la comunicación no es afectada ya que los puntos de acceso poseen capacidad de ruteo que redireccionan la comunicación.

En la figura 2.8 se observa las aplicaciones de una red inalámbrica WiFi.

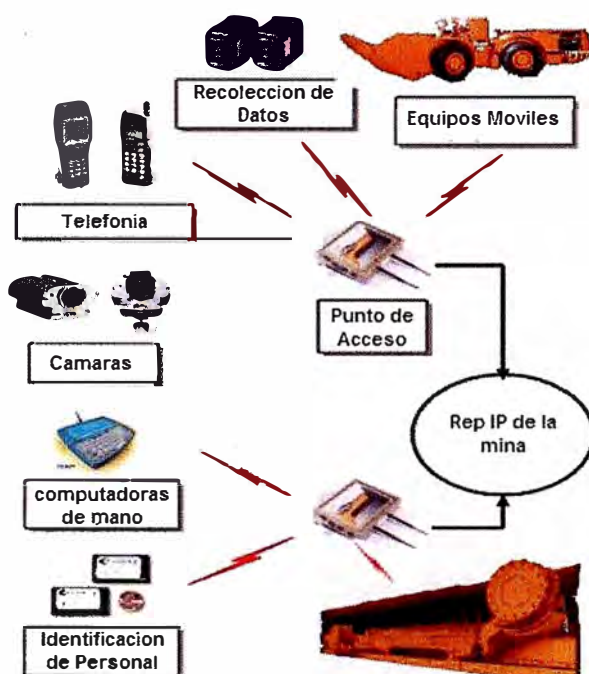


Fig. 2.8 Servicios de una Red WiFi para minas

2.2.6 Telefonía Convencional

Esta tecnología ofrece muchas ventajas, permite tener anexos en diferentes partes de la mina con solo tender un cable telefónico de acometida y ya está listo para realizar llamadas hacia otros anexos dentro de la mina y/o hacia superficie. Los sistemas de telefonía convencional para minas de hoy en día son más robustos y fáciles de manejar ya que cuentan con un grado de protección alto contra el agua y golpes. A medida que la mina empieza a crecer, las características y las funcionalidades adicionales de la red telefónica pueden ser agregadas como por ejemplo una PBX más robusta puede agregar mayor productividad a la mina.

Un sistema de telefonía para la mina puede ser costoso, ya que el costo del tendido de los cables, el mantenimiento, la ubicación de fallas y el tiempo de reposición del servicio son factores a tener en cuenta antes de instalarlos.

Entre las principales características se tiene: posibilidad de usar la tecnología xDSL en infraestructura existente para transmisión de datos, función de espera y transferencia, llamadas en conferencia, integración de múltiples números de teléfono, líneas y extensiones, música en espera, correo de voz, etc.

En las 2.9 figuras se puede ver algunos modelos para minas:



Fig. 2.9 Teléfono de carcasa metálica para anclaje en muros, tapa y altoparlante (Fuente Sigma-telecom.com).

2.3 Revisión de los Sistemas de Comunicación para minas

Hasta ahora se han tratado los siguientes sistemas de comunicación más usados en minas: Radio de Dos Vías (Walkie-Talkie), Sistema TETRA, Cable Radiante, Fibra Óptica, WiFi y Telefonía Convencional.

De acuerdo a la necesidad de cada mina una puede ser mejor que otra ya sea por costos, performance, capacidad, funcionalidad, etc.

Por ejemplo para una mina de tajo abierto el sistema de radio TETRA con un sistema de despacho asegura el tránsito de los volquetes, esto sería ideal ya que este tipo de minas solo requiere comunicaciones de voz, mensajes de texto, acceso a la red telefónica de la mina, etc. Para una mina subterránea no sería lo adecuado ya que solo se tendría un alcance de a lo más 200 metros en el interior de la mina similar a las radios walkie-talkie y además los equipos son mucho más caro que las radios walkie-talkie VHF o UHF, cabe mencionar que el sistema TETRA también puede ser implementado en el interior de la mina usando cable radiante pero los costos para implementación son altos.

Si bien es cierto, muchas minas poseen una red de anexos telefónicos en el interior de la mina, estas no satisfacen la necesidad de comunicación ya que es sabido que muchos

trabajadores no contestan el teléfono por lo que es necesario un aparato de comunicación personal.

Por otro lado la instalación de una red de fibra óptica sirve para tener una red dorsal de comunicación de alta velocidad donde se puede transmitir datos, voz y video, pero el principal problema de las minas son los derrumbes repentinos que rompen la fibra e interrumpen la comunicación además el tiempo de reposición del servicio es alto lo que no sucede con el cable radiante ya que con solo colocar una caja de empalme se repone el servicio casi al instante.

Cabe mencionar que hay sistemas de comunicación por cable radiante usando tecnología WiFi, radio de dos vías en la banda VHF/UHF y también usando los sistemas TETRA, en realidad el mas difundido es en VHF, en los sistemas TETRA el uso es muy poco y en WiFi recién se están acabando los estudios ya que al trabajar en la frecuencia de 2.4GHz la perdida lineal es más alta.

Para este trabajo se ha escogido el sistema de cable radiante para radios VHF por costos, tiempo de reposición del servicio, instalación rápida y sencilla y tecnología ampliamente conocida y usada.

2.3.1 Características del Sistema de Comunicación de Cable Radiante

Visión General del Sistema

En el "Sistema de Cable Radiante " para Comunicaciones en mina, las señales de radio de los equipos de la estación base se transmiten por todo el túnel usando un cable coaxial radiante; normalmente el cable coaxial está diseñado para mantener la mayor señal posible dentro del cable, y para bloquear cualquier señal externa y ruido del exterior pero el cable coaxial radiante, sin embargo, está diseñado para irradiar la señal RF hacia afuera de esta de forma axial, así como permitir señales de radio en las cercanías del cable coaxial radiante. Para sostener la señal RF a lo largo del cable, amplificadores de línea (o impulsores) se insertan en el cable radiante coaxial, típicamente cada 350 metros. La distancia exacta depende de la pérdida longitudinal del cable radiante.

Los amplificadores son necesarios en la salida de la estación base (a partir de los primeros 350 metros) para mantener los niveles de señal RF aceptables. Al final de cada cable, un terminal de línea es necesario para mantener la impedancia del sistema (VHF 75 ohmios, UHF 50 ohmios) y evitar reflexiones de la señal sobre el cable causando puntos nulos. En las graficas 2.11, 2.12 y 2.13 se ilustran mejor el entorno y la situación donde el cable radiante trabaja.

¿Dónde empieza todo?



Fig. 2.11 Estado inicial sin problemas

En la grafica 2.11 la persona no tiene problemas de comunicación ya que existe una antena superficial que irradia en toda la superficie.

Con un problema...



Fig. 2.12 Sin señal en la mina, la señal RF no ingresa a la mina

En la grafica anterior cuando la persona ingresa a la mina pierde la comunicación con la antena superficial.

Esto debido a que es difícil que las ondas electromagnéticas atraviesen la roca o la tierra debido a los efectos de la difracción, reflexión y refracción de las ondas hacen que la atenuación en las ondas reflejadas o dispersadas sea alta y solo logre ingresar unos cuantos metros al interior.

...y la solución!

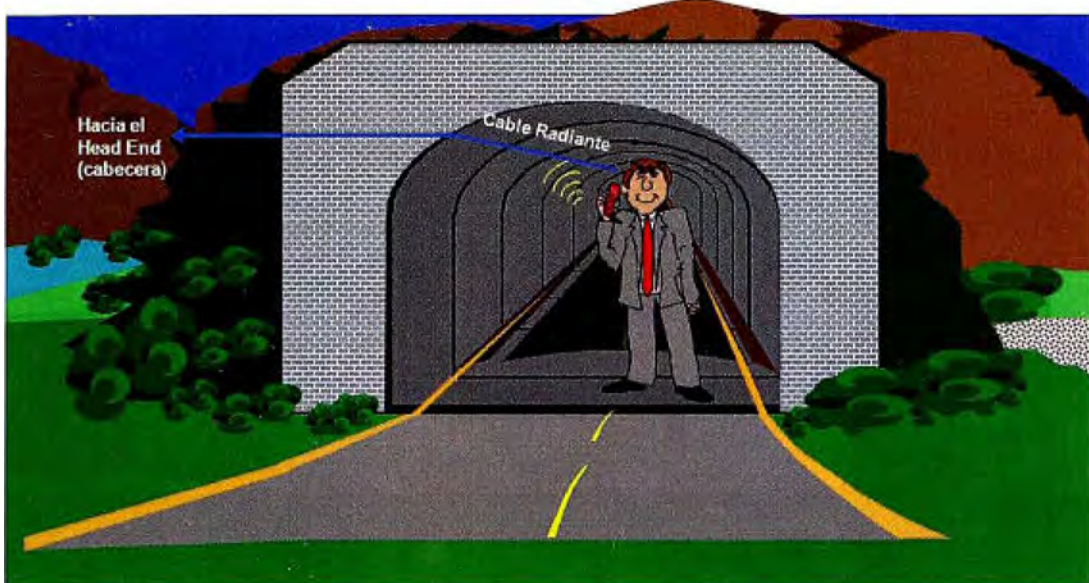


Fig. 2.13 Solución al problema de comunicación.

La solución es integrar la estación de radio para superficie con un sistema de comunicación por cable radiante.

2.3.2 Cobertura de Comunicación en el Interior de la Mina

Una instalación seguirá típicamente el patrón de túneles y de rutas de acceso de la mina con un arreglo conveniente de las unidades de división y de los amplificadores de línea. La distancia longitudinal total que se puede cubrir por el sistema se basa en una combinación de características tales como:

- Amplificación del ruido en cada amplificador.
- Sensitividad las radios portátiles.
- Índice de desviación correcta en todos las radios portátiles y equipo de la estación base.
- Prevenir la interferencia en banda de fuentes de ruido artificiales de RF (ejemplo: Inversores de frecuencia).
- Futuras ampliaciones de la instalación y del sistema deberá ser de acuerdo al diseño original.
- Configuración apropiada de la estación base.

Si todas estas consideraciones se abordan correctamente, se puede alcanzar hasta 25km por arteria fácilmente considerando múltiples arterias.

2.3.3 Diagrama de bloques

Diagrama esquemático de interconexión típica.

En la 2.14 se visualiza un diagrama típico de instalación.

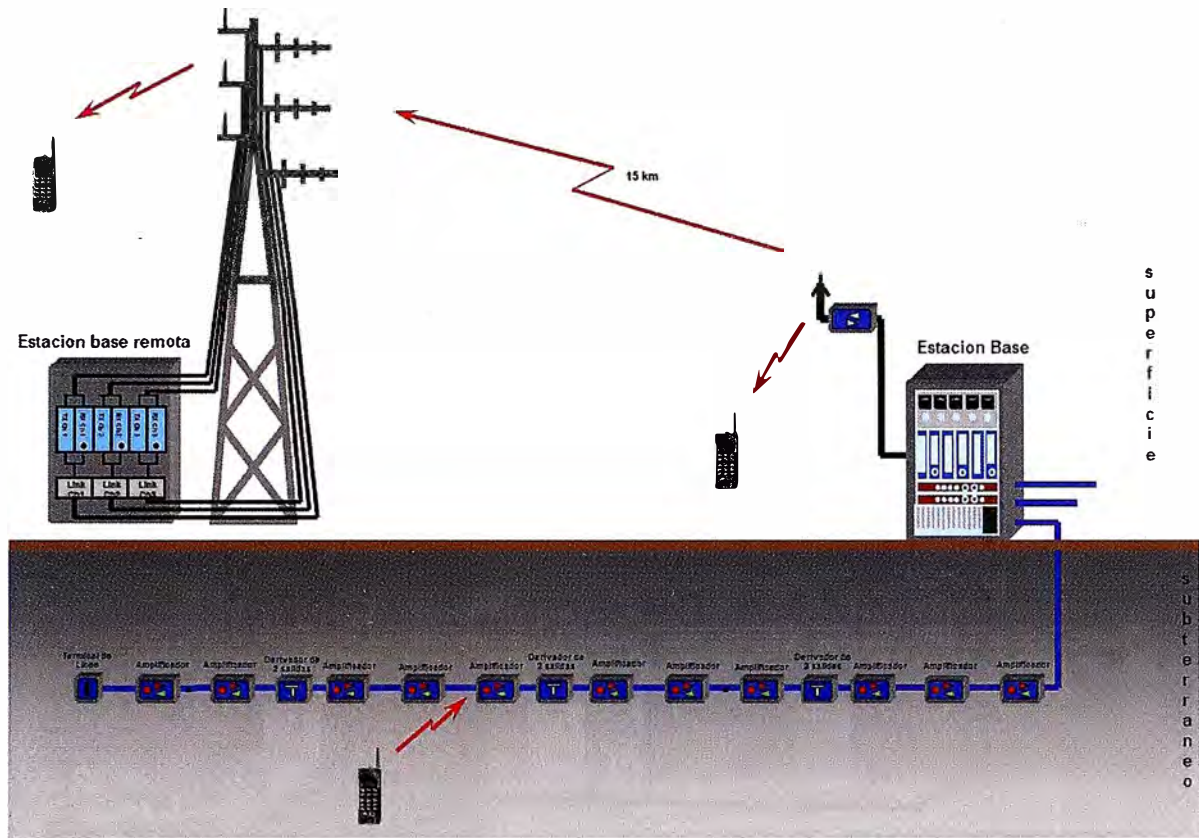


Fig. 2.14 Diagrama de bloques esquemático típico del sistema de cable radiante.

Este diagrama ilustra una vista amplia de una instalación del sistema de comunicación de cable radiante. Las señales de radio en superficie son recibidas por un amplificador de superficie, la señal de RF entonces se lleva a la estación base vía un cable coaxial convencional, uno de los receptores de la estación base detecta y demodula la señal que se origina de la radio portátil en la superficie, la interface de distribución recibe esta señal y todas las arterias son alimentadas con la portadora resultante RF, el proceso inverso se produce cuando la señal es generado en el interior de la mina.

NOTA: Cuando la señal es originada en el interior de la mina esta no es recibida directamente por las otras radios portátiles en el interior de la mina, debe pasar a través de la estación base. El repetidor de la estación base demodula la señal y retransmite la misma señal en otra frecuencia a la superficie y a todos los arterias hacia la mina.

¿Porque es requerido el cable radiante en instalaciones de minas?

En las graficas 2.15 y 2.16 se puede observar los problemas y las soluciones a esta:

Transmisión de señal usando antenas direccionales:

En la grafica se observa el problema de usar antenas direccionales en túneles ya que generalmente la mayoría de minas el acarreo de mineral es a través de carros mineros y además los túneles no son rectos.

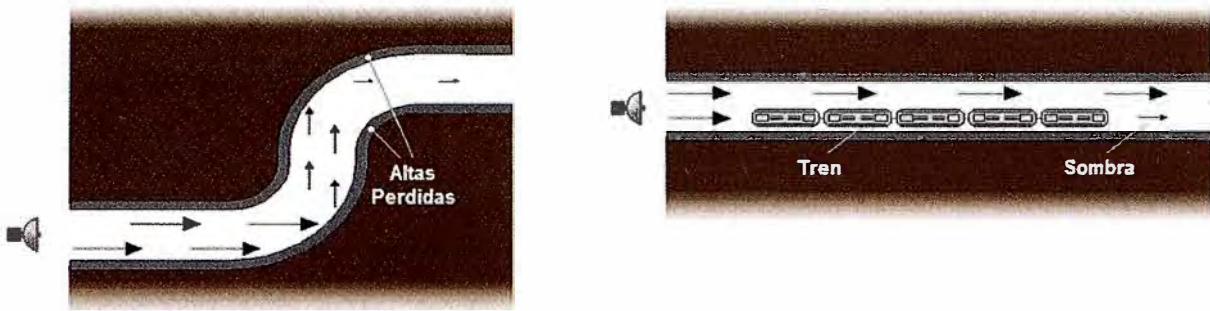


Fig.2.15 Transmisión en túneles usando antenas.

Solución al Problema:

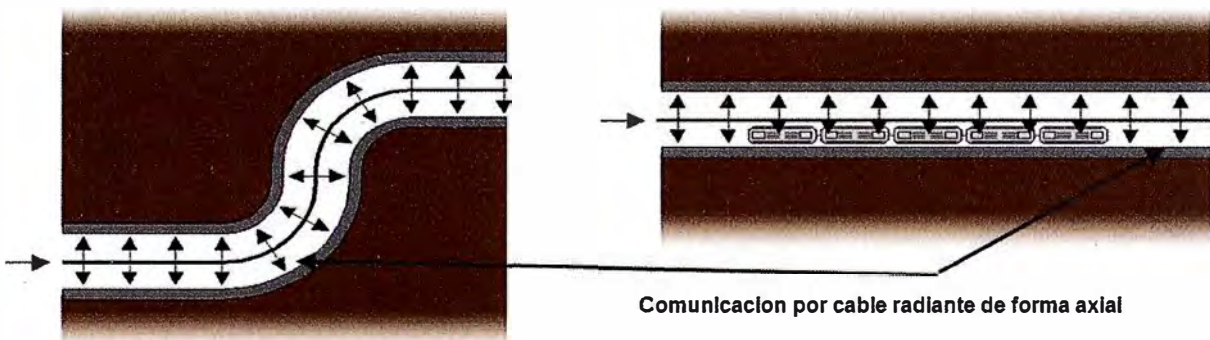


Fig. 2.16 Radiación axial del cable radiante.

Las ondas de radio (ondas electromagnéticas) están bien adaptadas para enviar señales a través del aire, en línea de vista, o rutas de ligera curvatura. Los túneles en las minas no son lineales ni tienen curvaturas suaves.

La única oportunidad para que una onda de radio convencional atraviese a lo largo de una mina es por reflexión de la señal en las paredes. Por supuesto que la señal se atenúa rápidamente bajo estas condiciones.

El otro problema que contribuye se llama efecto sombra. El efecto sombra ocurre cuando los objetos grandes se ponen en la trayectoria de la señal de radio. Los objetos absorben la señal de radio e impiden que alcancen las áreas con sombras.

La solución más obvia a estos problemas es tener múltiples antenas individuales situadas a lo largo del túnel. Por supuesto esto viene con algunos problemas adicionales, tales como la ubicación eficiente, cómo interconectarlos y cómo proteger las antenas que resultan con daños inevitables.

De lejos la solución más elegante es por cable radiante. El cable de interconexión se convierte en una gran antena, y puesto que trabaja bien, incluso no se necesita antenas individuales ya que varios patrones se forman en la envoltura externa del cable coaxial de

manera que la señal RF logra escapar longitudinalmente a lo largo del cable. De esta manera se logra dar señal a lo largo del túnel y se evita el efecto de sombra.

2.3.4 Aplicaciones del Cable Radiante

a.- Comunicación de Voz

Las comunicaciones por cable radiante han llegado a ser el medio más eficiente para comunicaciones en minas y túneles. La mayoría de fabricantes proveen una plataforma de comunicaciones para radios, teléfonos, equipos de datos, computadores, en arquitectura abierta para la fácil integración de cada servicio, adaptada a la aplicación particular de cada cliente.

Los sistemas de comunicación por cable radiante para la transmisión de voz puede ser a través de la tecnología WiFi, GSM, TETRA o a través de de radios de dos vías.

Cada tecnología ofrece una calidad de voz diferente ya que también la transmisión de voz puede ser half o full dúplex o combinado.

b.- Comunicación de Datos

Los sistemas de comunicación por cable radiante ofrecen un amplio rango de equipos para conexión directa al cable o vía radio. La mayoría de productos incluyen sistemas de telemetría, la tecnología a usar determinara la transmisión half y/o full dúplex, la velocidad de datos, el tipo de canal a usar dedicado o compartido.

c.- Seguimiento de Personal (Tracking)

El sistema de comunicación por cable radiante posee un amplio rango de sistemas de seguimiento adaptados a cada necesidad de cada mina: seguimiento de personas, mineral o vehículos. El sistema consiste de un transmisor RF que usualmente tiene la forma de una tarjeta de identificación y lectores que se ubicación en zonas estratégicas donde se desea hacer el seguimiento y/o ubicación, estos lectores reciben la señal de los transmisores RF y lo envían a una base de datos en un servidor en la superficie.

d.- Seguimiento de Personal

Permite saber donde se ubica el personal de la mina, usando un sistema de seguimiento de proximidad pasivo (en la figura 2.17 se muestra el equipo) o un equipo de seguimiento activo; se pueden ubicar en la batería de la linterna de casco o como tarjeta de identificación, este posee un transmisor de RF en miniatura que es alimentado por la misma batería o a través de otra fuente adicional. Este sistema ayuda en casos de emergencia, permite además esquematizar en forma personalizada, mediante un paquete grafico, los seguimientos ya sea en la superficie o en el interior de la mina.



Fig. 2.17 Tarjeta de Identificación y Seguimiento (Fuente: www.aeroscout.com)

e.- Seguimiento de vehículos

Estos equipos también están disponibles para montaje en vehículos, permitiendo seguir los movimientos y la proximidad de otros vehículos y/o personas evitando. La mayoría de fabricantes de sistemas de comunicación por cable radiante poseen sistemas de administración que monitorean los movimientos del operador y el camión en la mina incluyendo el seguimiento de la zona de carga y descarga, enlazando además a un sistema de pesaje automatizado del material extraído.

2.3.5 Componentes del Sistema de Comunicación por Cable Radiante

El sistema de comunicación por cable radiante está comprendido por los siguientes componentes:

a.- Repetidores.

Los repetidores están ubicados en estación base del sistema. La estación base está generalmente ubicado en la superficie o cerca de la bocamina, los repetidores están configurados como “Talk Through Repeater” (es decir todo lo que reciben lo retransmiten automáticamente) esto para que trabajen como repetidores. El repetidor determina las frecuencias o canales que el sistema va a operar, un repetidor completo es requerido por cada asignación de canal.



Fig. 2.17 Ubicación de los repetidores en el HeadEnd (Fuente www.minesite.com.au).

La siguiente grafica ayuda a entender cómo se integra al sistema

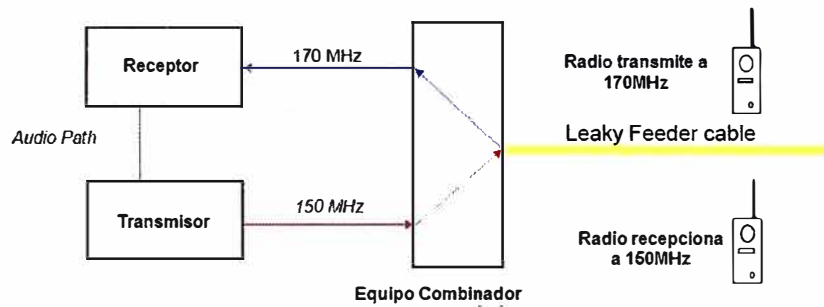


Fig. 2.18 Esquema de funcionamiento de los repetidores (Fuente Minesite.com.au)

b.- Interface de Distribución

Ubicado en la estación base, la distribución en la estación base es propietaria de cada fabricante y es una parte integral del sistema de comunicación por cable radiante, la interface de distribución está compuesta por dos partes combinador (transmisor) y combinador (recepción).

Las principales funciones de este equipo son:

- Pasar la señal RF de los repetidores a la mina a través del cable radiante.
- Proporcionar energía DC a los amplificadores de línea ubicados en el interior de la mina.
- Combinar múltiples repetidores en una sola línea de distribución.
- Pasar señal RF a la antena superficial.



Fig. 2.18 Interface de Distribución (Fuente www.minesite.com.au).

c.- Combinador (Transmisor)

Este modulo de la interface de distribución mezcla las señales de salida del repetidor, estas son de 10 Watts y son conectadas vía un acoplador de muy baja pérdida de inserción que puede ser usado para comunicaciones en superficie si se requiere en caso contrario se coloca una carga ficticia.

En la grafica 2.19 se puede visualizar mejor el diagrama de bloques de este componente.

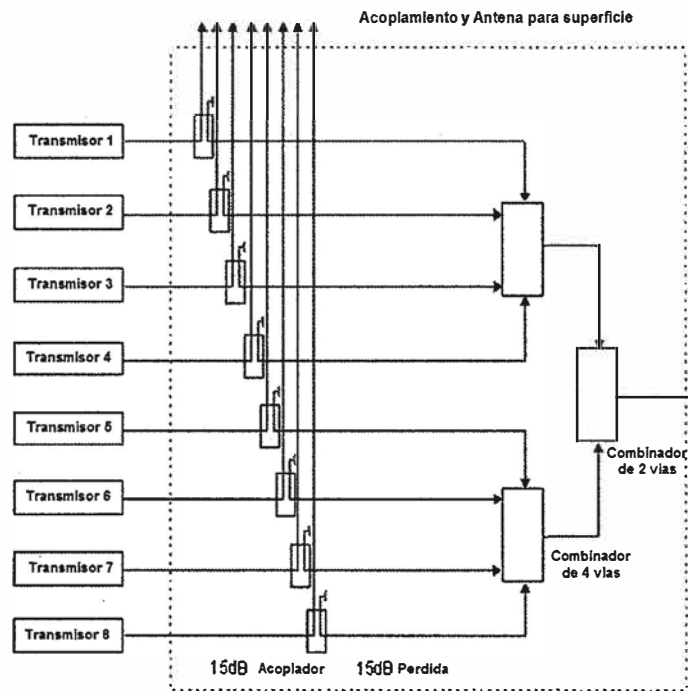


Fig. 2.19 Las líneas punteadas encierran el módulo del combinador (transmisor), (Fuente www.minesite.com.au).

d.- Divisor (Recepción)

Este modulo de la interface de distribución divide las señales entrantes en 8 salidas separadas. La señal es acoplada desde el divisor/combinador al circuito a través de un amplificador de bajo ruido y un filtro pasa alto. En la figura 2.20 se muestra a detalle el diagrama de bloques.

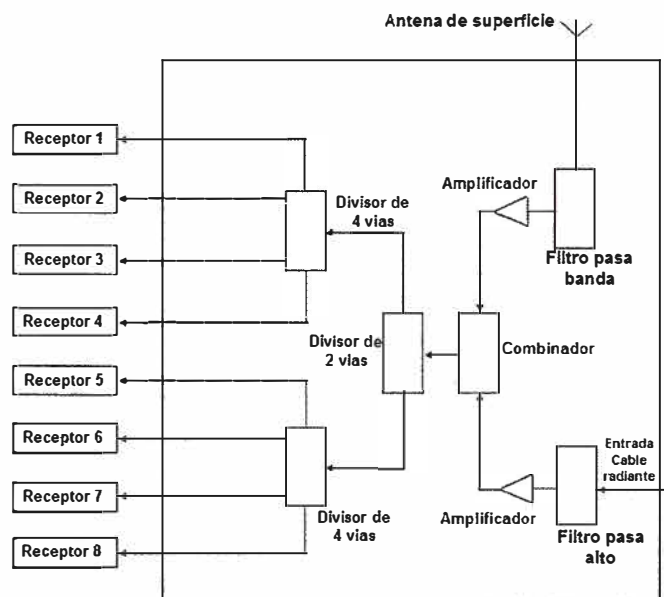


Fig. 2.20 Las líneas punteadas indican el módulo de divisor (recepción), (Fuente www.minesite.com.au)

e.- Interface de Distribución (Combinador / Divisor de 4 puertos)

Este equipo es la combinación de los dos modulos anteriores y está diseñado para cuatro salidas (más conocido como arterias donde se conecta el cable radiante) y dos puertos para conexión de antenas superficiales, poner este equipo en cascada o un equipo de diagnostico.



Fig. 2.21 Combinador/ Divisor con todos sus puertos disponibles (Fuente www.minesite.com.au)

f.- Fuente de Energía DC

La fuente de energía DC es la que alimenta de energía DC a todas las arterias que entran al interior de la mina, dentro de los equipos que se alimentan de esta energía DC se tiene amplificadores, módems, cámaras de video, etc. Claro está que la cantidad de equipos alimentados está limitada por la potencia de la fuente de energía.

La fuente de energía es conectada a los puertos del combinador / divisor a través de un aislador que evita el ingreso de energía RF al equipo.

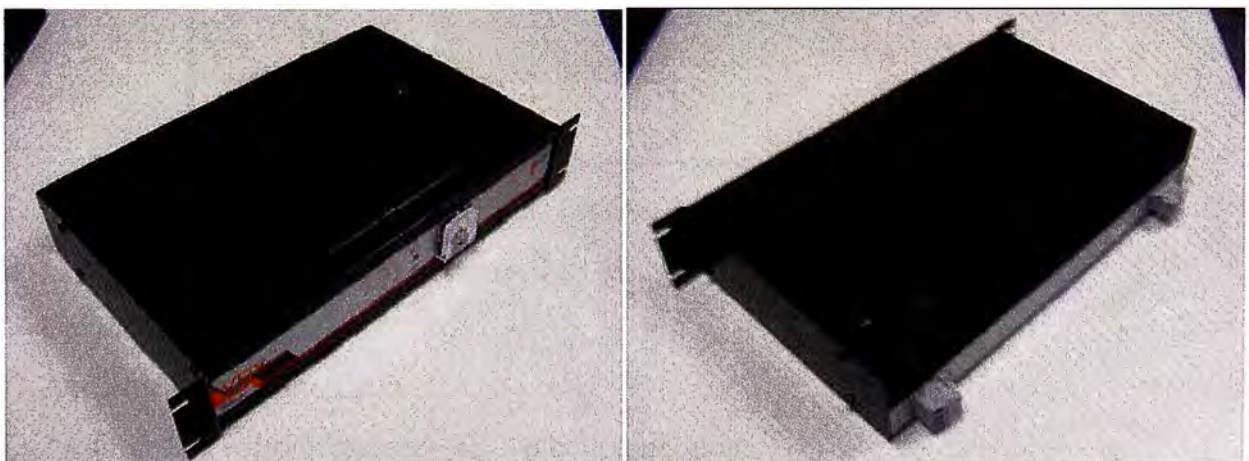


Fig. 2.22 Fuente de Energía DC (Fuente www.minesite.com.au)

g.- Cable Radiante

El cable radiante forma el corazón del sistema, este tiene una analogía a una antena en superficie. Básicamente, es el diseño inherente de el cable que permite a la señal ser transmitida y recibida en cualquier lugar de la mina.

El cable radiante es similar a un cable coaxial común excepto que la parte exterior o la parte de apantallamiento del cable, ha sido diseñado para permitir salir a la señal. Esto ocurre porque la cubierta no está completa. Este apantallamiento incompleto consiste de 16 conductores de cobre espaciados equitativamente. El conductor externo es mantenido en su lugar por una cubierta de plástico que a su vez es cubierta por otra para protección. Debido a las especificaciones del cable, a aproximadamente 350 metros se requiere un amplificador debido a la pérdida longitudinal por lo que los fabricantes proporcionan rollos de 350 metros.

Atenuación en el Cable

Todos los cables tienen una resistencia o impedancia cuyo valor esta especificado por el fabricante.

Esta atenuación esta especificado en un valor a una determinada frecuencia, el cable radiante tiene una pérdida de 14dB por cada 350 metros de longitud a una frecuencia de 150MHz.

Este resultado de la atenuación debilita a la señal que viaja a lo largo del cable. El único método de compensar esta pérdida es instalar amplificadores cada 350 metros. Estos amplificadores están diseñados para levantar la señal al menos 18dB.

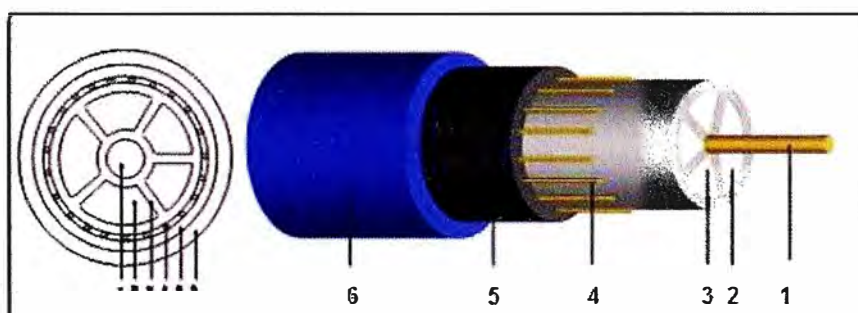


Fig. 2.23 Cable Radiante (Fuente www.becker-mining.com)

- 1.- Conductor de cobre solido plano de 2.31 mm.
- 2.- Cavidad de aire.
- 3.- Aislamiento de polietileno.
- 4.- Alambres de cobre planos instalados helicoidalmente.
- 5.- Cubierta delgada de polietileno.

6.- Cubierta externa con protección para incendios.

h.- Amplificador de Línea

Los amplificadores son usados para levantar la señal caída producto de la atenuación del cable radiante debido a que el cable tiene una pérdida de 14dB por cada 350 metros de longitud.

La ganancia nominal de este es de 22dB pero se puede graduar de acuerdo a la longitud del cable además por diseño es preferible dejar unos cuantos dB's adicionales en caso se rompa el cable y se tenga que colocar cajas de empalme ya que esto tienes una pérdida de 1dB, cabe mencionar que los amplificadores poseen un control automático de ganancia que regula la ganancia de acuerdo a la señal de entrada.

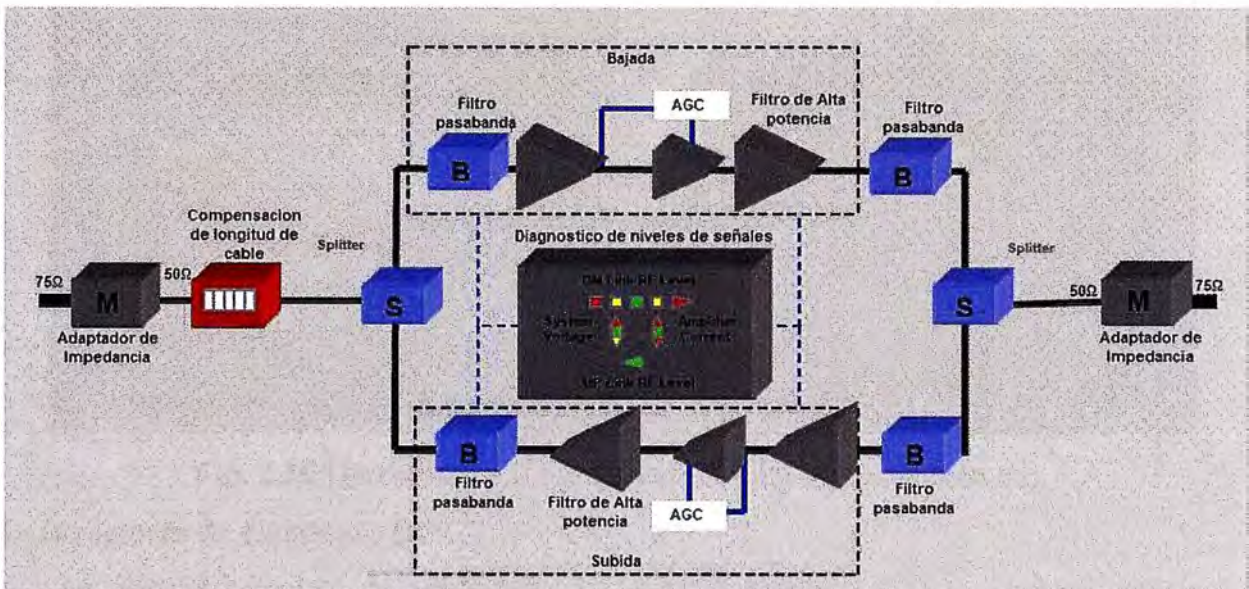


Fig. 2.24 Diagrama esquemático de un amplificador típico (Fuente Becker Mining).



Fig. 2.25 Amplificador instalado (Fuente Minesite.com.au).

i.- Derivadores de Línea

Este equipo permite dividir en dos o tres salidas la señal de entrada de acuerdo a las necesidades de la red. Cuando un derivador es instalado la potencia será dividida entre las

dos derivaciones por igual, por consiguiente una pérdida mínima de 3dB será experimentado en ambas salidas.

Debido a las pérdidas naturales ocurridas cuando se deriva, es importante que estas pérdidas sean compensadas por el sistema de diseño. Como una regla practica, por cada derivación el cable radiante se acorta 85 metros por salida.

Como regla practica:

25 metros de cable : 1 dB de pérdida o 14dB por 350 metros

Derivador : 3.5dB de perdida

Por lo tanto: 3dB equivale a 87.5 metros de cable, esto se debe considerar cuando se realiza el diseño de la red de comunicación en el interior de la mina.

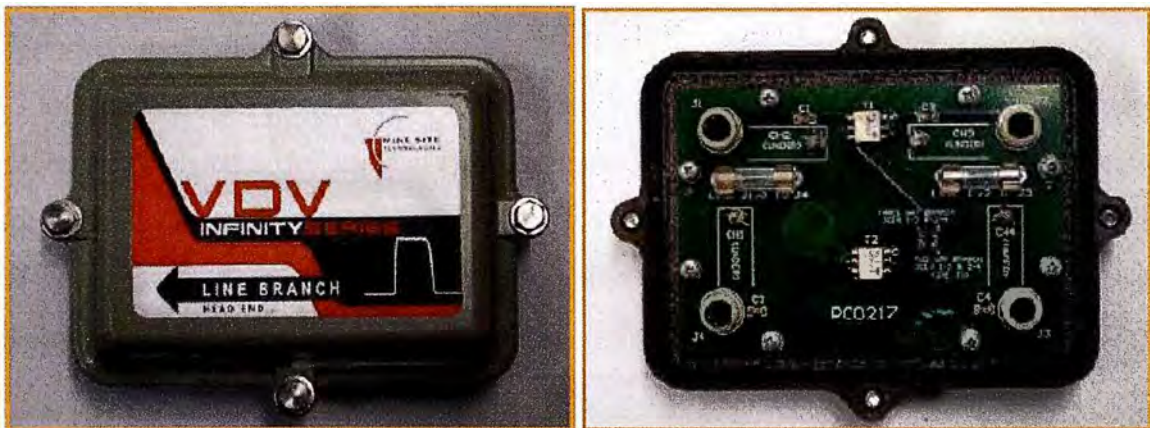


Fig. 2.26 Derivador de 2 y 3 salidas (Fuente Minesite.com.au).

j.- Inyectores de Corriente DC

La función principal de este equipo es inyectar corriente DC al cable radiante para alimentar de corriente DC a los amplificadores que se encuentran hacia lo más profundo de la mina. Generalmente estos equipos están diseñados para inyectar corriente DC en ambos sentidos de cable radiante ya que también los amplificadores pueden ser alimentados de corriente DC en ambos sentidos, en la figura 2.27 se visualiza el equipo.

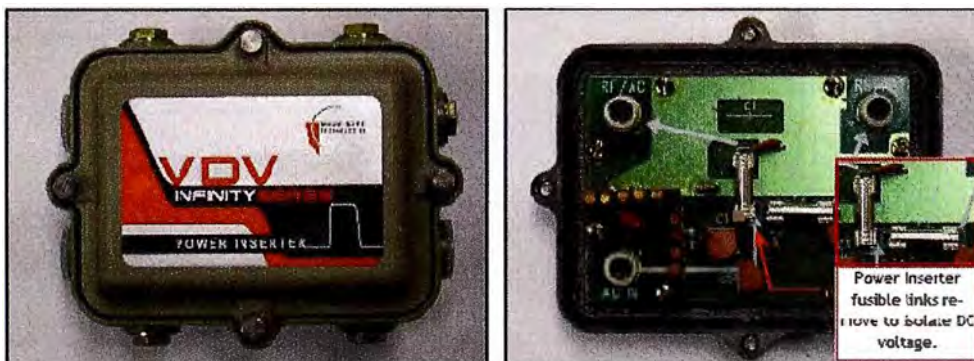


Fig. 2.27 Inyector de Corriente DC (Fuente www.minesite.com.au)

k.- Unidades de Radio Móviles

El sistema de comunicación debe ser capaz de soportar todas las radios comerciales que operen en la banda VHF. Esta banda opera entre 147MHz a 174MHz. El sistema utiliza esta banda ya que como es conocido que esta banda VHF ofrece mejores resultados en aplicaciones de comunicación de voz y datos tanto en subterráneo como en superficie.



Fig. 2.27 Radios VHF típicas (Fuente Minesite.com.au).

l.- Terminal de Línea

La integridad del sistema está en el cable y el efecto de la onda reflejada que podría aparecer en el sistema por un mal acoplamiento por lo que al final de línea se instala un terminal de línea.

Las cargas de fin de línea contienen también un bloque DC y la presencia de potencia en el fin del cable coaxial no afecta la carga.



Fig. 2.28 Terminal de Línea (Fuente Minesite.com.au).

m.- Antena de Superficie

Permite la comunicación a la superficie desde el interior de la mina o superficie – superficie seleccionando los canales adecuados, esto a través de la interface de distribución que posee una salida para antena.



Fig. 2.29 Antena superficial (Fuente Minesite.com.au).

2.3.6 Respuesta en Frecuencia de los Amplificadores de Línea

El amplificador de línea opera en la banda VHF y en dos bandas separadas, una banda de baja frecuencia (bajada) y una de alta frecuencia (subida). Los anchos de banda de subida y bajada es de 2MHz cada uno. El ancho de banda es una función de cada amplificador lineal.

a.- Banda de comunicación de baja frecuencia

La frecuencia central de los amplificadores en la baja frecuencia es 157MHz. Con una ganancia mínima de 16dB y un ancho de canal de 2MHz. En la parte inferior se puede ver el diagrama de Bode de un amplificador sintonizado como se observaría por un analizador de frecuencia.

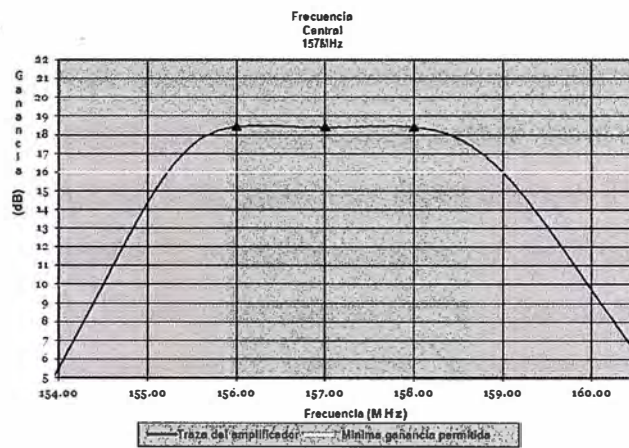


Fig. 2.30 Diagrama de Bode (Fuente Becker Mining Systems).

b.- Banda de frecuencia de alta frecuencia

La frecuencia central de los amplificadores en la alta frecuencia es 172MHz. Con una ganancia mínima de 16dB y un ancho de canal de 2MHz. En la parte inferior se puede ver el diagrama de Bode de un amplificador sintonizado como se observaría por un analizador de frecuencia.

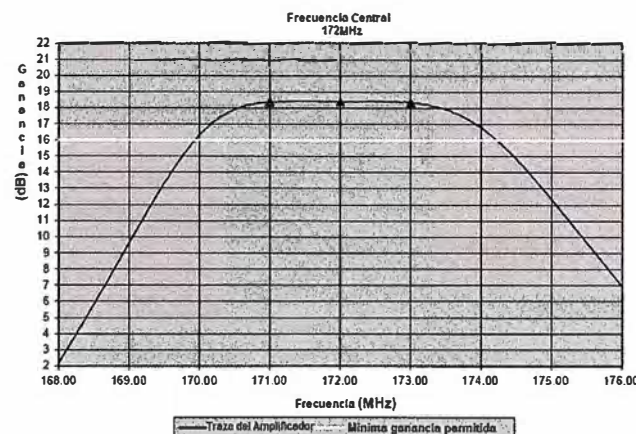


Fig. 2.31 Diagrama de Bode (Fuente Becker Mining Systems).

c.- Estudio de la banda VHF en el PNAF y comparación con otras bandas de frecuencias.

El espectro radioeléctrico es un recurso natural conformado por el conjunto de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se fijan convencionalmente desde 9 kHz hasta 300 GHz y que forma parte del patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento, correspondiendo su gestión, administración y control al Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El presente Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) contiene los cuadros de atribución de frecuencias de los diferentes servicios de telecomunicaciones en la República del Perú, de tal forma que los diversos servicios operen en bandas de frecuencias definidas previamente para cada uno de ellos, a fin de asegurar su operatividad, minimizar la probabilidad de interferencias perjudiciales y permitir la coexistencia de servicios dentro de una misma banda de frecuencias, cuando sea el caso.

Por la naturaleza dinámica de la gestión de frecuencias, el PNAF debe actualizarse periódicamente como resultado de acuerdos tomados en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), acuerdos bilaterales y multilaterales celebrados con otras Administraciones, recomendaciones formuladas por organismos internacionales de los que el Perú es miembro como la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) y de aquellas modificaciones, adiciones o expedición de normas nacionales, aplicadas a los planes de distribución de radiocanales de los servicios de radiocomunicación que actualmente están en operación, o bien de los nuevos servicios de radiocomunicación.

De acuerdo al Cuadro de atribución de bandas de frecuencias se elige la siguiente tabla por estar dentro de lo requerido:

Tabla 3.1 Tabla PNAF.

137,825 - 156,8375 MHz		
PERU		
REGION 2	ATRIBUCION	NOTAS Y OBSERVACIONES
150,05- 156,7625 FIJO MOVIL	150,05- 156,7625 FIJO MOVIL	156,525 Llamada de socorro, y seguridad. P38, P39, P40

Donde:

- P38** Las bandas comprendidas entre 152,35 - 154,35 MHz, 454,8375 - 456,0125 MHz y 459,2375 - 459,4875 MHz están atribuidas a título primario para servicios públicos de telecomunicaciones. Las frecuencias asignadas a los tele servicios privados dentro de estas bandas podrán ser utilizadas sólo hasta el término de su autorización, excepto las asignaciones realizadas a entidades del Gobierno.
- P39** La frecuencia de 156,525 MHz se utilizará exclusivamente para la llamada selectiva digital con fines de socorro, seguridad y llamada en el servicio móvil marítimo en ondas métricas.
- P40** La frecuencia de 156,8 MHz es la frecuencia internacional de socorro, seguridad y llamada del servicio móvil marítimo radiotelefónico en ondas métricas.

El procedimiento para la obtención de la licencia de uso se encuentra en el TUPA del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

2.3.7 Estudio de Resistividad de Suelo

Debido a que se va a instalar los equipos en la sierra del Perú y es una zona de constantes tormentas y rayos es necesario el aterramiento de los equipos de telecomunicaciones, para el cálculo del sistema de puesta a tierra (SPAT) se va a usar el método de Wenner que se resumirá a continuación.

Método de Wenner

Generalmente la resistividad del terreno se mide por el método universal de cuatro puntos desarrollado por el Dr. Frank Wenner en 1915. El mismo resulta el más seguro en la práctica para medir la resistividad promedio de volúmenes extensos de suelos naturales. Este método consiste en calcular la resistividad aparente del terreno colocando cuatro electrodos o picas en el suelo dispuestos en línea recta con la misma distancia «a» entre ellos y a una profundidad «b», luego estos se conectan a los bornes del instrumento de medida denominado telurómetro o Megger mediante cables aislados respectivos.

El espesor de la capa de terreno de la que se está midiendo la resistividad es directamente proporcional a la separación entre picas, como se puede apreciar en la Figura 3.1., y su valor es:

$$h = \frac{3}{4} a \dots \dots \dots (2.6)$$

Donde:

h = profundidad para la medida de la resistividad media
 a = separación entre electrodos.

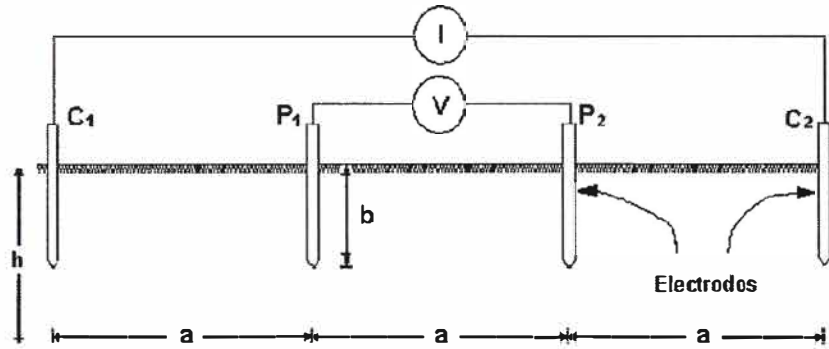


Fig. 2.32 Esquema de montaje por el Método de Wenner.

Sin embargo en algunas publicaciones toman el valor de h completamente igual a la separación entre electrodos; es decir $h = a$. (Resistividad promedio de un hemisferio de terreno de un radio igual a la separación de los electrodos).

El principio de funcionamiento se da de la siguiente manera: al introducir una intensidad I en el terreno a través de los electrodos de corriente C1 y C2, aparecerá en los electrodos de tensión P1 y P2 una diferencia de potencial V que se mide con el aparato. El medidor tiene una resistencia variable en su interior que es la que varía la intensidad I que se introduce en el terreno. El medidor también registra la tensión V que se detecta entre los bornes de tensión.

La relación entre la V y la I (Ley de Ohm), es el valor de la resistencia variable que se registra en el medidor:

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (2.7)$$

Entonces el valor de la resistividad aparente que se calculará para un estrato de terreno de espesor h, será:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + b^2}}\right)} \dots \dots \dots (2.8)$$

A una relación aproximada de $a > 20 \cdot b$ se recomienda utilizar la siguiente expresión para encontrar la resistividad del suelo.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \dots \dots \dots (2.9)$$

Donde:

ρ = Resistividad promedio en ohmios por metro ($\Omega \cdot m$) a la profundidad «h»

a = Distancia de separación entre electrodos.

R = Lectura del telurómetro en ohmios (Ω)

$$\pi = 3.1415926\dots$$

No es necesario que las picas auxiliares sean muy largas, pues con introducirlas en el terreno 30 cm es suficiente para obtener unas medidas fiables y cumplir con la relación antes mencionada. Estos electrodos suelen venir con los equipos y miden alrededor de 60 cm de longitud.

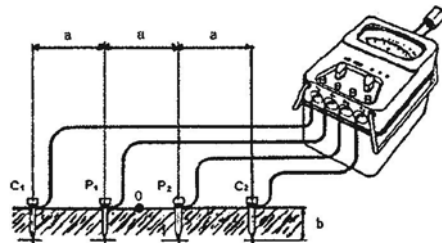


Fig. 2.33 Equipo y conexiones para la medición de la resistividad del suelo por el método de Wenner.

CAPITULO III

ANALISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE COMUNICACIONES.

3.1.- Introducción

En este capítulo se describe el proceso del análisis del diseño de la red. Empezando con algunas consideraciones previas al diseño, el diseño, la implementación y las pruebas finales teniendo una especial atención a la expansión de nuevas zonas de expansión en la mina y comunicaciones de radio con minas satélites que están alejadas.

3.2 Etapas del análisis:

Esta etapa consta de los siguientes puntos:

3.2.1 Estudio de campo.

3.2.2 Discusión del sistema instalado.

3.2.3 Análisis de las frecuencias utilizadas.

3.2.2 Análisis de la configuración de Red usando el software Radio Mobile.

3.2.3 Análisis del sistema instalado en el interior de la mina.

3.2.4 Análisis del diseño de Sistemas de Puesta a Tierra

3.2.5 Cronograma de Implementación del trabajo.

3.2.1 Estudio de campo.

En esta etapa es necesaria la presencia de un ingeniero de radio, un ingeniero de minas, un ingeniero de seguridad, un ingeniero eléctrico y un técnico eléctrico.

Los objetivos de esta etapa son:

- Recolección de la mayor cantidad de datos de campo para tomar todas las consideraciones en el diseño.
- Ubicación y número predictivo de amplificadores necesarios para lograr la cobertura esperada en toda la ruta propuesta por la mina.
- Ubicación, tipo y número de antenas necesarias para este objetivo. Las potencias de transmisión de los repetidores con tal de garantizar que no se traslapen las señales, además garanticen la cobertura y una mínima interferencia.

- El esquema de uso de canales y frecuencias en cada repetidor con el fin de minimizar la interferencia entre ellos. Las posibles fuentes de RF actuales que puedan impactar la operación de los repetidores.

3.2.2 Discusión del sistema instalado.

En este estudio de sistemas de comunicación usando cable radiante se han tratado varias tecnologías a través de la cual se podría brindar este servicio por lo que el cable radiante sería solo un medio de transmisión a usar.

La determinación de la tecnología y/o banda de frecuencia a usar se considero los siguientes aspectos:

Tabla 3.1 Tabla comparativa de las tecnologías a escoger.

Tecnología	Transmisión de datos	Velocidad de Transmisión	Movilidad	Seguimiento de Personal	COSTO	TIEMPO DE REPOSICION DEL SERVICIO
Radio de dos vías	NO	NO APLICA	SI	NO	BAJO	NO APLICA
TETRA	SI	MEDIA	SI	NO	ALTO	ALTO
Telefonía Convencional	NO	NO APLICA	NO	NO	BAJA	ALTO
WiFi	SI	MEDIA	SI(DEPENDE DEL SISTEMA INSTALADO)	SI	ALTO	ALTO
Cable radiante con VHF	SI	BAJA	SI	SI	REGULAR	BAJO
Cable radiante con UHF	SI	BAJA	SI	SI	ALTO	BAJO
Fibra Óptica	SI	ALTA	NO	NO	ALTO	ALTO

De la tabla anterior la transmisión y radio propagación usando cable radiante usando equipos en la banda VHF es la que ofrece más ventajas esto no quiere decir que sea la mejor ya que se está considerando también los costos.

Por otro lado también se debe considerar la respuesta en frecuencia de cable radiante que se muestra en la grafica 3.1.

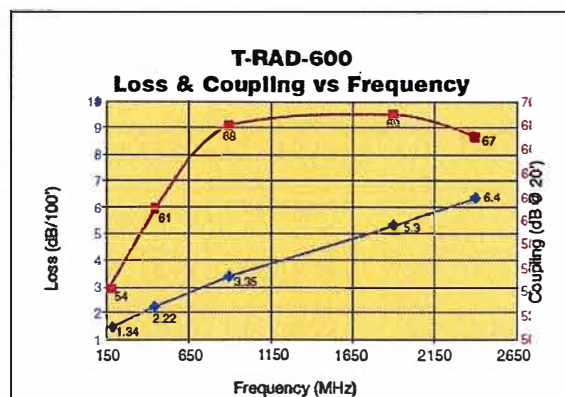


Fig. 3.1 Respuesta en frecuencia de las pérdidas y acoplamiento (fuente de <http://www.msdist.co.uk/Using%20Leaky%20Feeder.pdf>).

Como se observa en la grafica el cable responde mejor en la banda VHF por lo que este fue otro motivo para la elección de esta, esto implica menores costos ya que se tendría que instalar menos amplificadores en el interior de la mina y menor amplificación de ruido.

Una vez que se eligió el medio de transmisión y propagación de la señal de radio y equipos a usar es momento de discutir los canales a usar.

En la etapa de estudio de campo realizado se planteo la cantidad de canales necesarios de acuerdo a lo siguiente:

Tabla 3.2 Requerimiento de Canales de comunicación

Numero de Canal	Área
1	Superficie
2	Operaciones Mina
3	Contratas
4	Mantenimiento Eléctrico

De acuerdo a este requerimiento se necesita cuatro repetidores VHF por lo que el equipo combinador no tendría problemas ya que como se menciona anteriormente este soporta 16 canales de voz hasta una ampliación de 32 canales de voz como máximo.

Para la asignación de la frecuencia de cada canal se tomo como referencia la banda de frecuencias recomendadas por el fabricante.

Tabla 3.3 Bandas de frecuencias VHF Recomendadas (Fuente Becker mining).

Canal	TX	RX	PL TONES	
1	156.0000	171.0000	67.0	Canales de voz
2	156.0125	171.0125	69.3	
3	156.0500	171.0500	71.9	
4	156.0625	171.0625	74.4	
5	156.1375	171.1375	77.0	
6	156.1500	171.1500	79.7	
7	156.1875	171.1875	82.5	
8	156.2000	171.2000	85.4	
9	156.4375	171.4375	88.5	

10	156.4500	171.4500	91.5	
11	156.4875	171.4875	94.8	
12	156.5000	171.5000	97.4	
13	156.5875	171.5875	100.0	
14	156.6000	171.6000	103.5	
15	156.6375	171.6375	107.2	
16	156.6500	171.6500	110.9	
17	157.3375	172.3375		
18	157.3500	172.3500		
19	157.3875	172.3875		
20	157.4000	172.4000		
21	157.4875	172.4875		
22	157.5000	172.5000		
23	157.5375	172.5375		Canales de Datos
24	157.5500	172.5500		
25	157.7875	172.7875		
26	157.8000	172.8000		
27	157.8375	172.8375		
28	157.8500	172.8500		
29	157.9375	172.9375		
30	157.9500	172.9500		
31	157.9875	172.9875		
32	158.0000	173.0000		

Estos canales representan el “producto libre de inter modulación”, cuya separación de canal es de 12.5KHz.

Donde:

TX: Frecuencia de transmisión.

RX: Frecuencia de recepción.

PL Tones: Sistema Silenciador Codificado por Tono Continuo, utiliza tonos de audio de frecuencias comprendidas entre 67 y 250 Hz, denominados también sub tonos y fue inventado por la firma Motorola , este es un método de superposición de un tono de audio sub audible en una portadora con el fin de eliminar la interferencia co-canal.

De acuerdo a las frecuencias recomendadas se deberá escoger las frecuencias recomendadas para comunicaciones de voz ya que por el momento no se tiene planeado transmitir datos:

De la tabla 3.3 y 3.2 se escogieron las siguientes frecuencias que se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Plan de Frecuencia de Trabajo

Numero de Canal	Área	Canal	TX	RX	PL Tone
1	Superficie	1	156.0000	171.0000	67.00
2	Operaciones Mina	3	156.0500	171.0500	71.90
3	Contratas	5	156.1375	171.1375	77.00
4	Mantenimiento Eléctrico	7	156.1875	171.1875	82.50

Esta elección es debido a una mayor separación de canales para evitar el efecto de la interferencia co-canal.

a.- Análisis de la configuración de Red en superficie usando el software Radio Mobile

Para este análisis se necesita información adicional tales como ubicación, datos de radio que se tomaran de los manuales provistos por el fabricante:

Ubicación Geográfica de la estación base:

Lat.: 11°44'30.80"S

Long.: 76° 0'52.50"O

Estas coordenadas de la antena superficial son debido a que la antena debe estar cerca de la estación base para reducir las pérdidas en el cable que conecta la interface de distribución ubicada en la estación base con la antena, entonces esto lleva que la posición de la antena depende de la ubicación de la estación base, lo cual es cierto ya que la estación base debe estar cerca a la bocamina ya que el cable radiante sale de la estación base hacia el interior de la mina. En la figura 3.2 se muestra la ubicación de la antena superficial.



Fig. 3.2 Ubicación Geográfica.

Datos de Equipos de Radio:

Antena:

Fabricante: RFI

Modelo: COD2

Ganancia: 2dBi

Frecuencia de Operación: 140MHz -170MHz

Máxima potencia de entrada: 100 Watts

Repetidores:

Cantidad: 4

Fabricante: RF Technology

Modelo: Eclipse 150 Series

Sensibilidad: -119dBm

Frecuencia de Operación: 148-174 MHz

Máxima potencia de salida: 25 Watts

Radio Portatil

Cantidad: 80

Fabricante: Motorola

Modelo: PM400

Sensibilidad: 0.35 μ Vm

Frecuencia de Operación: 136–162 MHz

Máxima potencia de salida: 5 Watts

Altura de torre: 21 metros

Área de Interés.- En la figura 3.2 se muestra el área de interés sombreada de color amarillo, este fue el requerimiento de la empresa minera.



Fig. 3.2 Área de Interés requerida.

La primera etapa en el desarrollo de la simulación (verificación de cobertura), es la creación de la red VHF Leaky Feeder (Superficie) y en donde se ingresa los datos necesarios de radio tales como frecuencia de trabajo, características del suelo, etc.

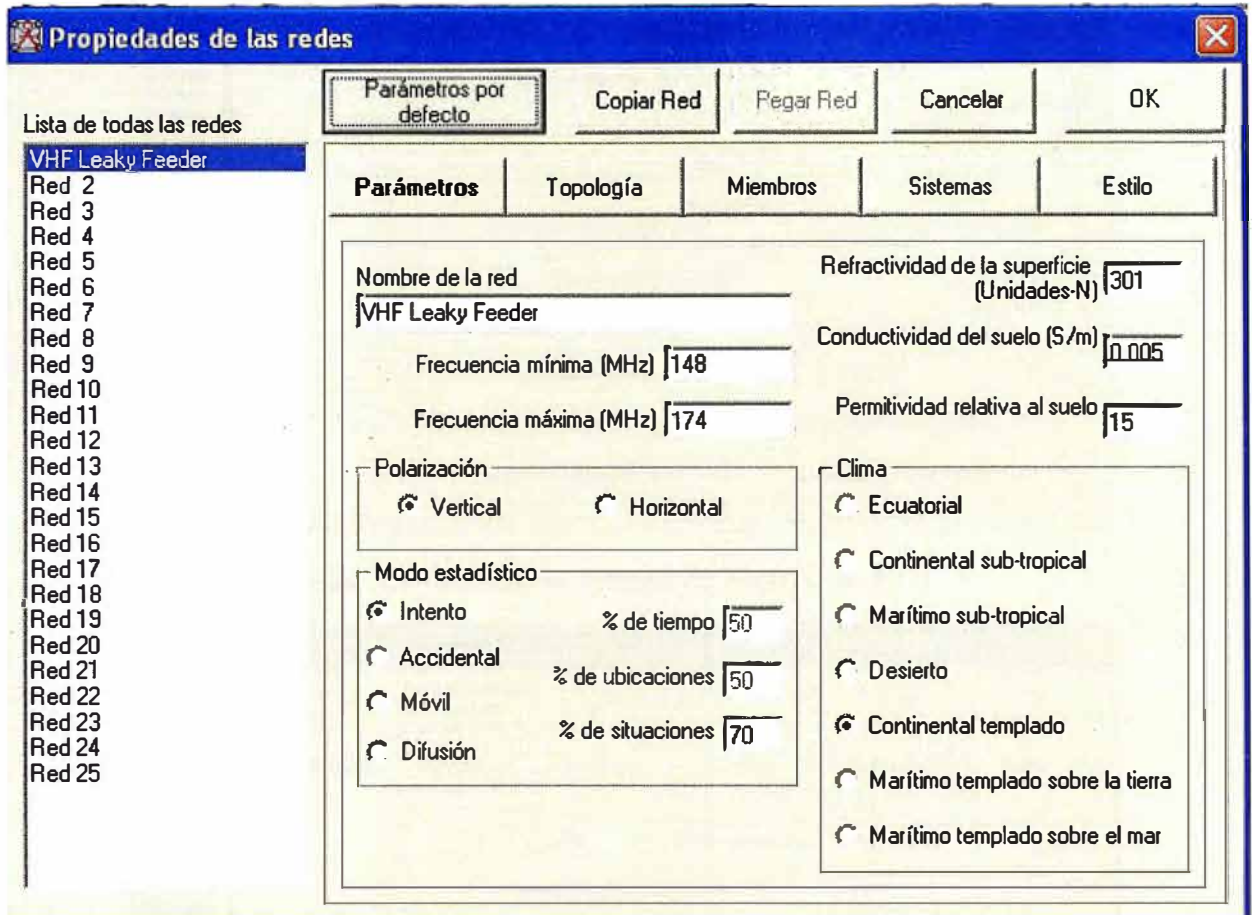


Fig. 3.3 Red de trabajo en Radio Mobile

Configuración de los Sistemas en Radio Mobile

Los sistemas de Radio Mobile representan al conjunto de equipos de telecomunicaciones seleccionados que funcionarán en las estaciones, incluyendo antenas y altura de torres. Para configurar estos sistemas los datos son obtenidos de las hojas técnicas de los equipos ya descritos.

Se ha creado 2 sistemas, el primero es el Sistema Antena VHF que es la estación base repetidora en superficie, el segundo es el sistema de la radio portátil. A continuación se muestra en las figuras 3.4 y 3.5 las ventanas de configuración de los 2 sistemas.

Estas ventanas se deben llenar con los parámetros de radio proporcionado por el fabricante en la hoja técnica de cada equipo y la altura de la antena se debe considerar la altura de la torre instalada.

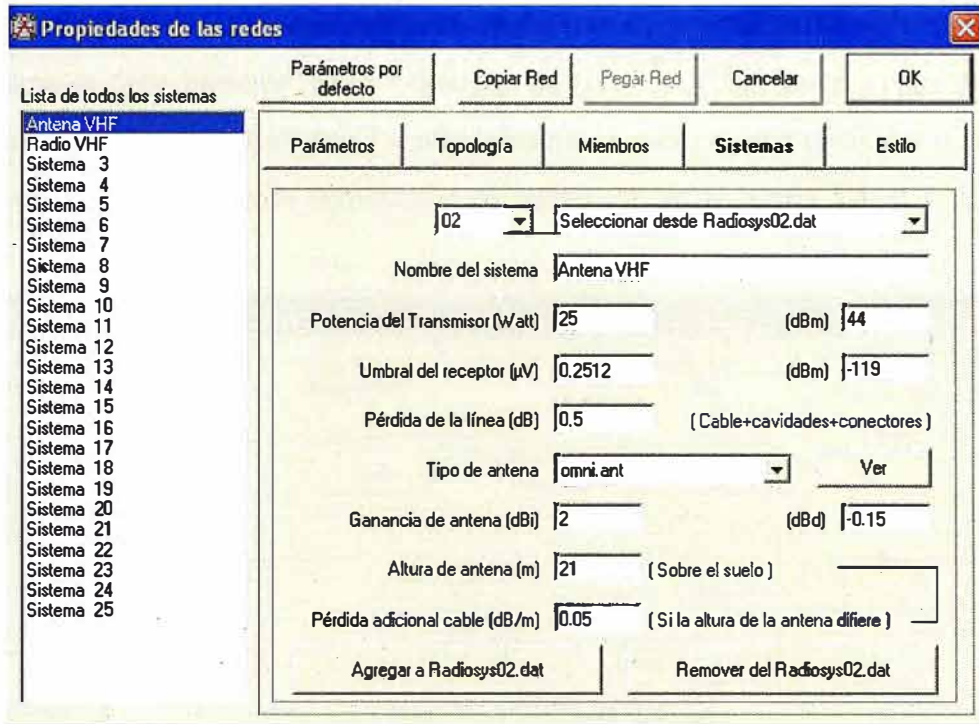


Fig. 3.4 Sistema de Antena de Superficie VHF

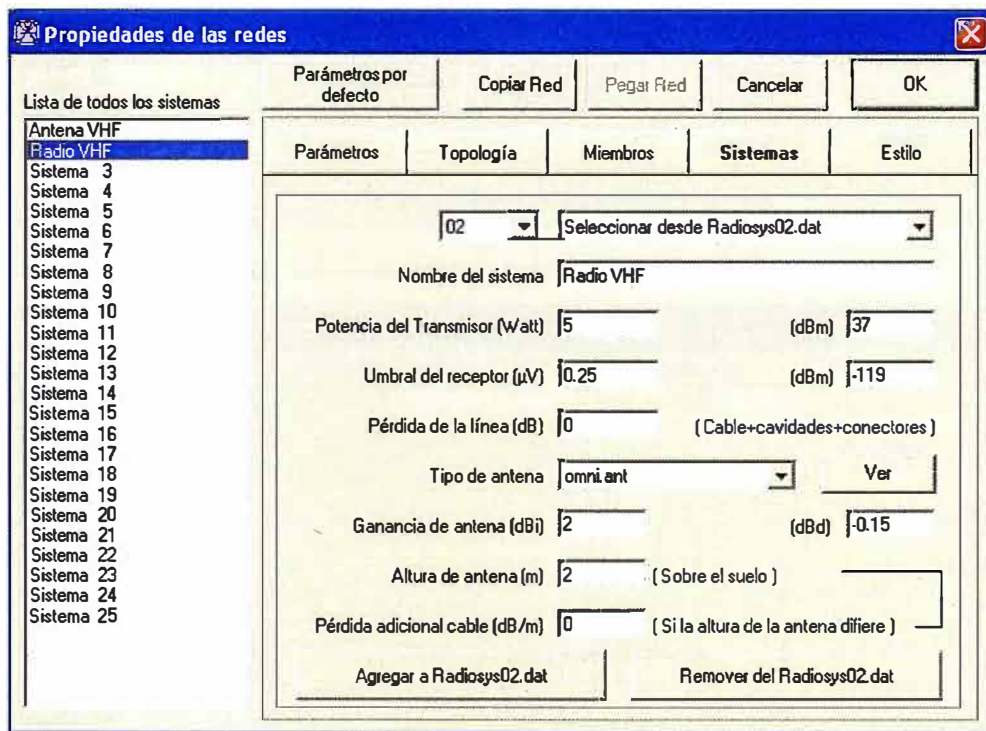


Fig. 3.5 Sistema de la radio móvil (Handy)

En las figuras anteriores se muestra la ventana de Radio Mobile donde se pueden configurar los tipos de sistemas a usar en la red, en estos sistemas se debe ingresar datos como: potencia de transmisión, nivel de umbral, altura de las antenas, ganancia de las antenas y pérdidas adicionales de los cables.

Después de ingresar las coordenadas de las estaciones se procede a configurarlo en la ventana Redes.

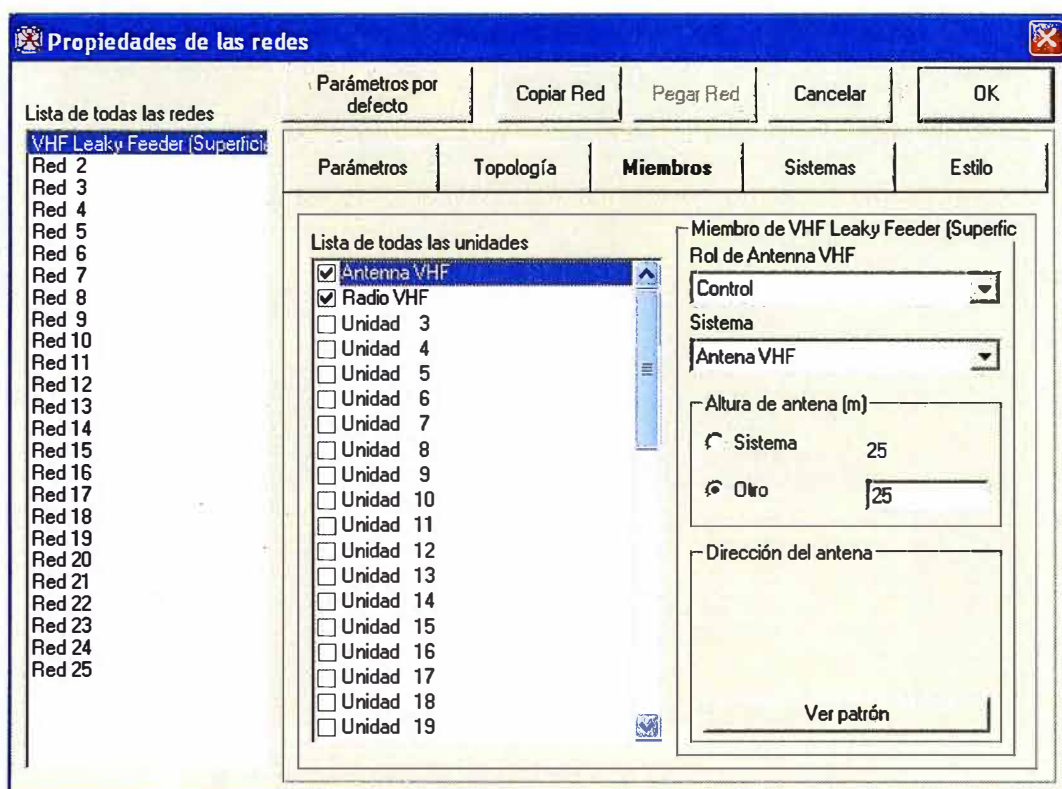


Fig. 3.8 Configuración de la estación Antena VHF como control.

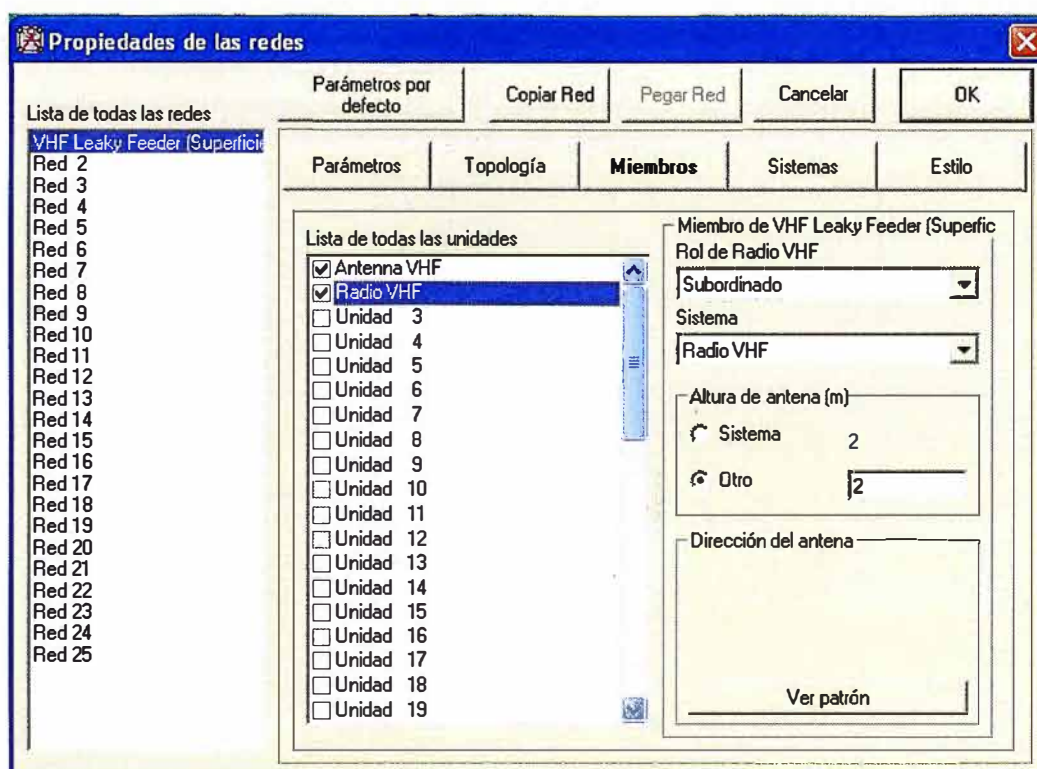


Fig. 3.9 Configuración de la estación Radio VHF como subordinado.

Perfil del Enlace

En esta etapa se visualiza en pantalla los parámetros de radio ya calculados por el software donde se puede observar que los valores obtenidos se encuentran dentro de los permitidos, en la figura 3.10 se visualiza la ubicación de los enlaces.

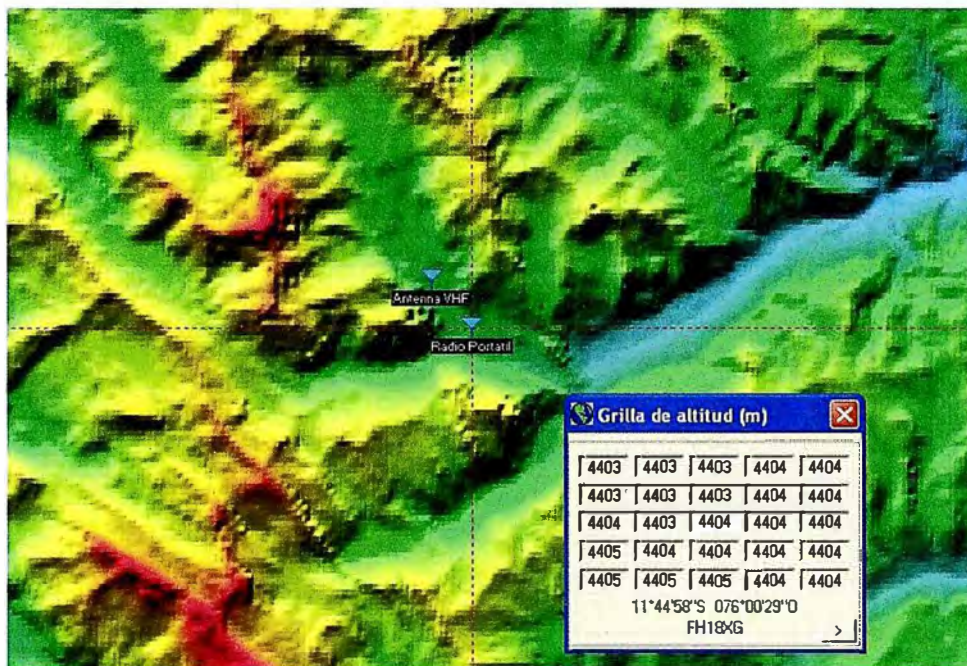


Fig. 3.10 Ubicación de la Antena VHF y radio móvil.

Se debe mencionar que la posición en la grafica de las radios portátiles es solo referencial ya que estas son móviles y se pueden mover en todo el área de interés, en la figura 3.11 se visualiza el perfil del enlace.

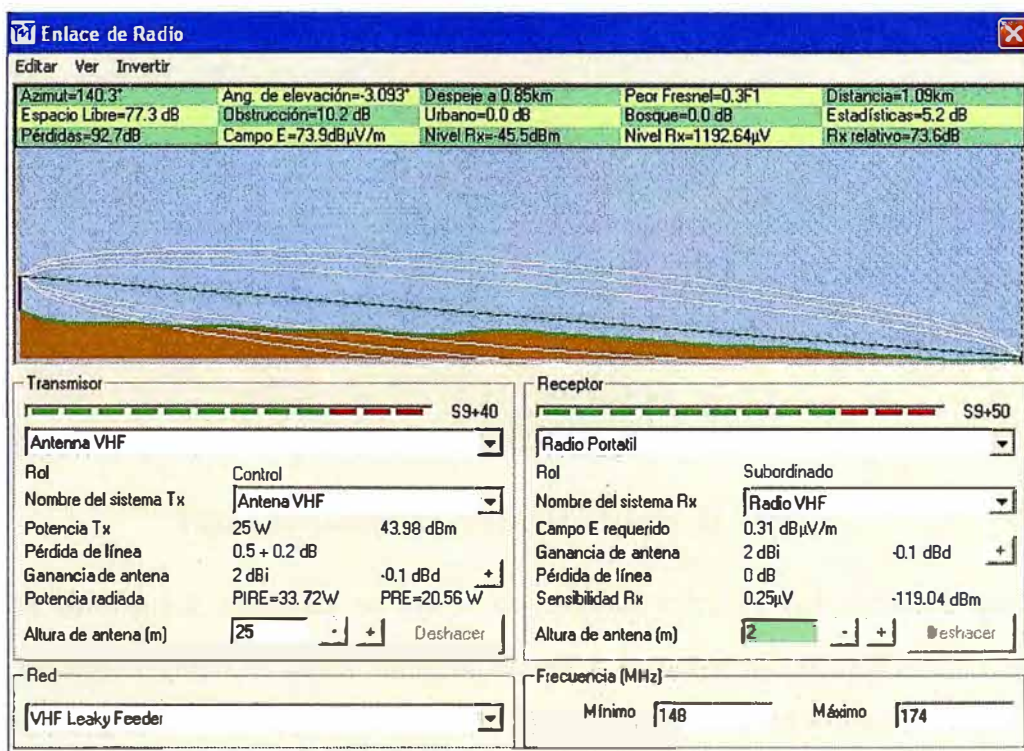


Fig. 3.11 Perfil de enlace.

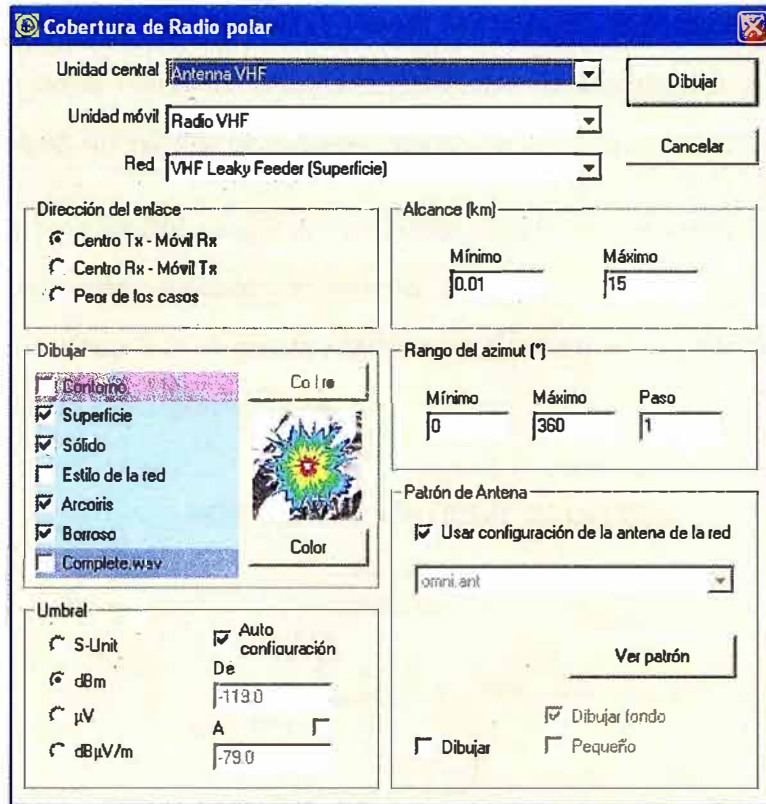


Fig. 3.12 Ventana de Opciones para la simulación de Cobertura.

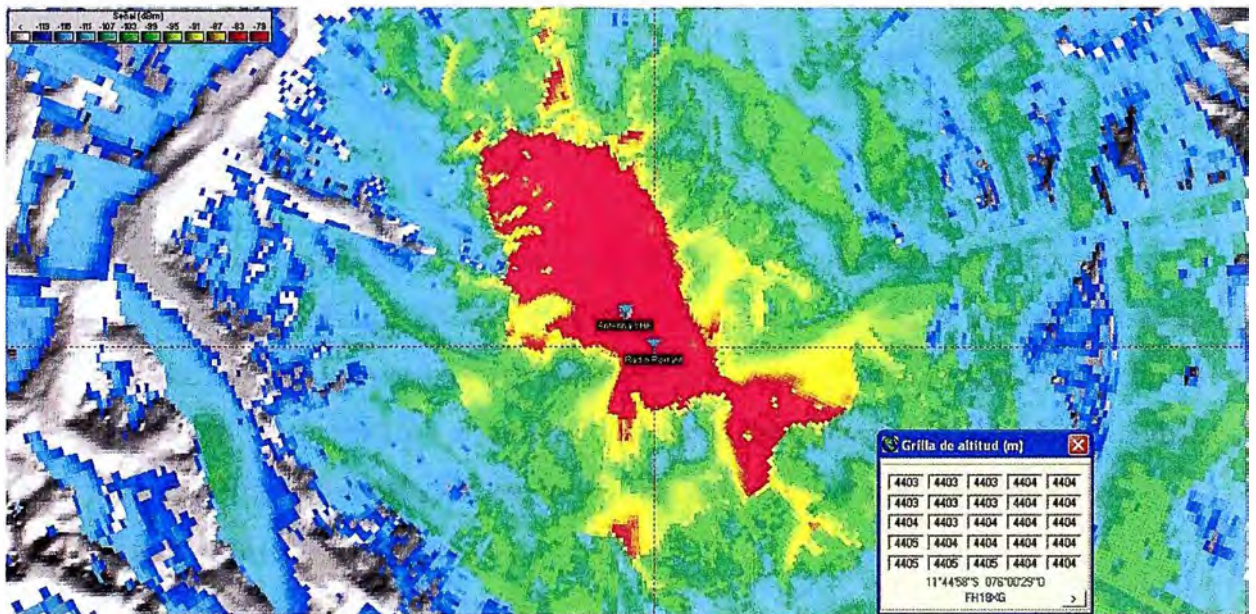


Fig. 3.13 Cobertura obtenida a través de Software.

De la simulación realizada se puede comprobar a través del software que con los equipos proporcionados se cubre un área mayor a la requerida lo cual es bueno ya que siempre existe gente fuera del campamento minero o están en ruta a otras minas.

b.- Análisis del sistema instalado en el interior de la mina.

El análisis del diseño de la red en el interior de la mina se considera las pérdida lineal del cable tanto en señal como en DC y las ganancias de los amplificadores; también las pérdidas generadas en las salidas de los derivadores de dos y tres salidas.

En el anexo 5.5 se puede observar las zonas donde se ubicaron los amplificadores, derivadores, inyectores de corriente y terminales de línea.

De acuerdo al anexo 5.5 se puede obtener un diagrama más sencillo para un mejor análisis que se muestra en la grafica 3.14.

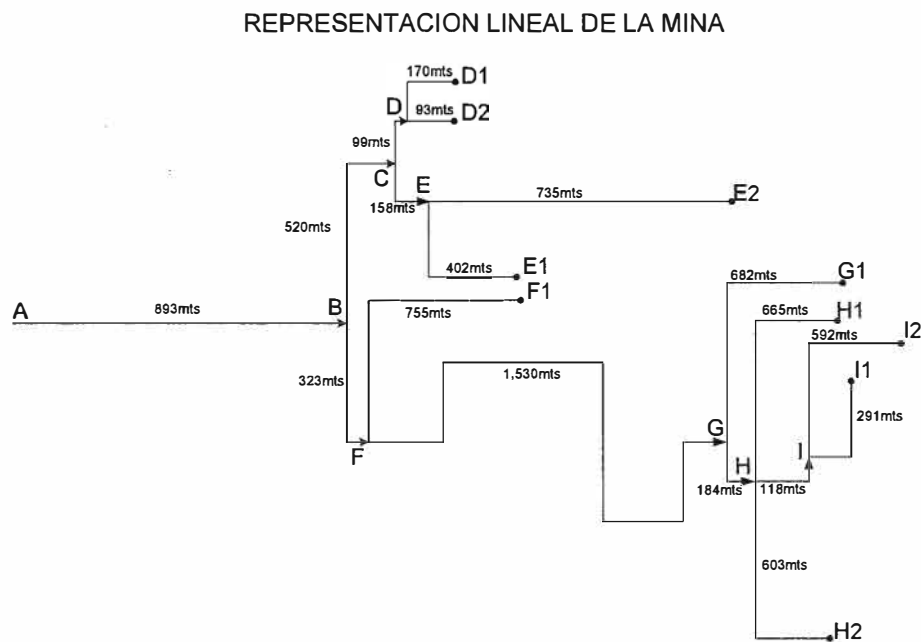


Fig. 3.14. Representación lineal del interior de la mina sin equipos.

De acuerdo al diagrama anterior se puede observar los puntos o zonas estratégicas donde se debe instalar los derivadores ya sea de dos salidas o tres salidas y los terminales de línea también se observa las distancias entre cada derivación y la entrada de la mina y los terminales de línea lo cual ayudara para la ubicación de los amplificadores.

Ubicación de puntos estratégicos

Punto A: Entrada de la mina (bocamina)

Punto B: Derivación a dos túneles, colocar derivador de 2 salidas.

Punto C: Derivación a dos túneles, colocar derivador de 2 salidas.

Punto D: Derivación a dos túneles, colocar derivador de 2 salidas.

Punto D1: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto D2: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto E1: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto E2: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto F: Derivación a dos túneles, colocar derivador de 2 salidas.

Punto F1: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto G: Derivación a dos túneles, colocar derivador de 2 salidas.

Punto G1: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto H: Derivación a dos túneles, colocar derivador de 3 salidas.

Punto H1: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto H2: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto I: Derivación a dos túneles, colocar derivador de 2 salidas.

Punto I1: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

Punto I2: Fin de túnel, colocar terminal de línea.

La instalación de los equipos arriba mencionados es obligatoria ya que la distribución y el requerimiento de comunicación de la mina en esa zona lo obliga por lo que el análisis se centrara en la ubicación de los amplificadores y los inyectores de corriente.

Para el análisis de los amplificadores se necesita las distancias de separación entre los derivadores y los terminales de línea además tener en consideración lo siguiente:

Consideraciones para el análisis en señal

Para este análisis se considera lo ya mencionado en capítulos anteriores como:

- La pérdida longitudinal del cable radiante es de 14dB por 350 metros de longitud a una frecuencia de 150MHz.
- La ganancia real aproximada de 20dB pero se considera una ganancia típica de los amplificadores de 14dB.
- La pérdida en cada salida de los derivadores es de 3.5dB (esto equivale a 85 metros de cable radiante).
- Dejar de reserva una cantidad de reserva de ganancia en la línea en caso de rotura del cable y colocar cajas de empalme, considerando que cada caja de empalme tiene una pérdida de 1dB.

Se debe tener presente que este análisis es flexible ya que por ejemplo es más conveniente colocar un amplificador antes de un derivador que después de este ya que se desperdicia el uso de esta. No se debe ser estricto en el diseño por lo mencionado anteriormente si bien es cierto el análisis exacto nos garantiza una buena comunicación.

Si bien es cierto se puede hacer un cálculo exacto de pérdidas y ganancias de los equipos pero llevaría a una mala disposición de los equipos es decir aplicando algo de práctica se puede reducir la cantidad de equipos ya que para toda compañía la idea de reducir costos es valiosa y se tendría la misma performance.

Distancia entre puntos para ubicación de amplificadores

Distancia AB: 893 metros

Distancia BC: 520 metros

Distancia CD: 99 metros

Distancia DD1: 170 metros

Distancia DD2: 93 metros

Distancia CE: 198 metros

Distancia EE1: 402 metros

Distancia EE2: 735 metros

Distancia BF: 323 metros

Distancia FF1: 755 metros

Distancia FG: 1530 metros

Distancia GG1: 682 metros

Distancia GH: 184 metros

Distancia HH1: 665 metros

Distancia HH2: 603 metros

Distancia HI: 118 metros

Distancia II1: 291 metros

Distancia II2: 592 metros

Se sabe que a la salida de la estación base se tiene una potencia en promedio de 12dBm (la mayoría de fabricantes oscilan entre 10dBm y 14dBm, para fines del estudio se considerara 0dBm) y la pérdida del cable radiante es de 15dB por cada 350 metros (para fines de estudio se considerara una pérdida de 18dB ya que cuando se diseña primero se hace el análisis en señal y no se sabe exactamente donde ubicar los inyectores de corriente ya que estos poseen una pérdida de 1dB y se tiene que prever esto por otro lado prevenir futuras roturas de cable ya que cada empalme crea una pérdida de 0.5dB) por lo que se tendría una potencia de 0dBm de señal. Esto será repetitivo en los siguientes amplificadores. Estas consideraciones se pueden ver en la grafica 3.15 de manera más sencilla.

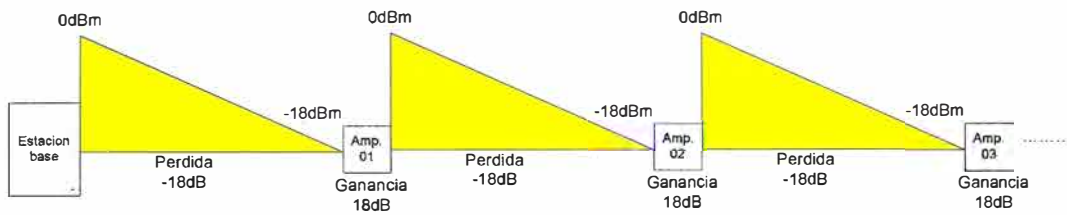


Fig. 3.15 Representación grafica de pérdidas y ganancias

De acuerdo a esta consideración se procede a ubicar el primer amplificador (Amp 01) a 350 metros de la estación base, el segundo amplificador (Amp 02) a 350 metros del amplificador 01 y a 193 metros del primer derivador (Derivador 01).

El tercer amplificador (Amp 03) se ubica a 82 metros del primer derivador considerando que la salida del derivador tiene una pérdida de 3dB, el cuarto amplificador (Amp 04) a 350 metros del tercer amplificador y a 88 metros del segundo derivador (Derivador 02).

El quinto amplificador (Amp 05) se coloca justo antes del tercer derivador (Derivador 03), esto con el fin de ahorrar equipos ya que no tendría sentido colocar amplificadores para distancias cortas, de manera similar con el amplificador 06 (en realidad es la única ubicación posible ya que después del cuarto derivador (derivador 04) la pérdida sería más alta), en el tramo EE1, debería instalarse un amplificador pero se obvia ya que no tendría sentido colocar un amplificador para 100 metros por lo que se usa la reserva de ganancia que se trato al principio de este análisis, de manera similar para el tramo EE2.

El octavo amplificador (Amp 08) se ubica a 82 metros del primer derivador y a 241 metros del quinto derivador (Derivador 05) el noveno amplificador (Amp 09) a 20 metros del quinto derivador y a 350 del decimo amplificador (Amp 10), el decimo amplificador esta a 385 metros del terminal de línea, lo cual esta a mas de 350 metros de lo establecido pero como ya se menciono se utiliza la ganancia de reserva.

El onceavo amplificador (Amp 11) a 30 metros del quinto derivador, el doceavo amplificador (Amp 12) a 350 metros del onceavo amplificador, y así hasta el quinceavo amplificador (Amp 15) y a la vez este a 100 metros del sexto derivador (Derivador 06), y así se continuaría hasta el amplificador 22. Como se ha observado la ubicación exacta de los equipos no es algo estricto de sumar ganancias y restar pérdidas sino de considerar la cantidad de equipos ya que también en todo proyecto los costos son importantes.

Quedando la ubicación de amplificadores como se muestra en la figura 3.16:

REPRESENTACION LINEAL DE LA MINA

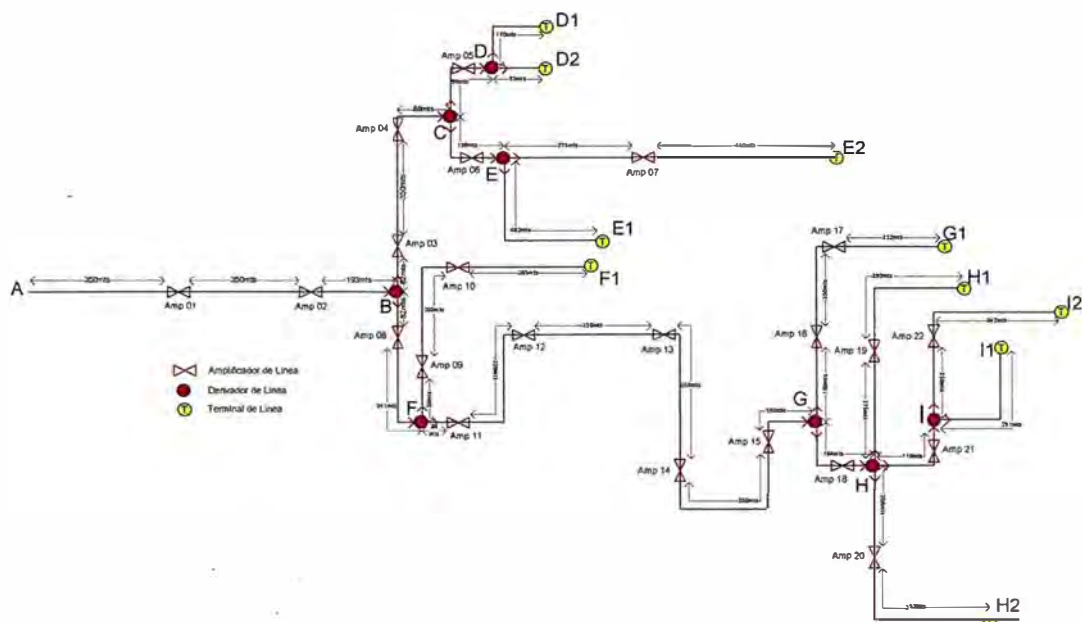


Fig. 3.16 Representación del interior de la mina con equipos.

Una vez ubicados los amplificadores y derivadores estos tienen que ser alimentados por energía DC para lo cual se hace uso de inyectores de corriente que se deben ubicar de acuerdo a las necesidades de energía.

De acuerdo al plano de ubicación de equipos se tiene:

Numero de amplificadores:

De acuerdo a las especificaciones del fabricante y a la experiencia en campo la fuente de energía de la estación base puede alimentar los primeros 06 amplificadores sin problemas de aquí a adelante se utilizara los inyectores de corriente de acuerdo a la necesidad de la red conociéndose que cada inyector de corriente puede alimentar 4 amplificadores sin problemas, también se usara la opción de los derivadores de bloquear la señal DC para dirigir la corriente DC de acuerdo a las necesidades de la red.

Esto se puede verificar de acuerdo a lo siguiente:

Potencia DC de los Inyectores de Corriente: 20Watts

Consumo de potencia de los amplificadores: 1.2Watts

Perdida Lineal en DC del cable radiante: $4.1 \Omega/\text{Km}$. (en este caso considerando 1400 metros de cable la perdida lineal será 5.74Ω)

Considerando la corriente constante entonces la potencia perdida en los cables es de 8.97Watts. Por otro lado la potencia perdida en los cuatro amplificadores es de 8.8Watts. Sumando estos dos valores se tiene 17.77Watts. Por lo que queda una reserva de 2.23Watts.

Una vez realizado la ubicación de equipos esta quedara como se muestra en la figura 3.17.

REPRESENTACION LINEAL DE LA MINA

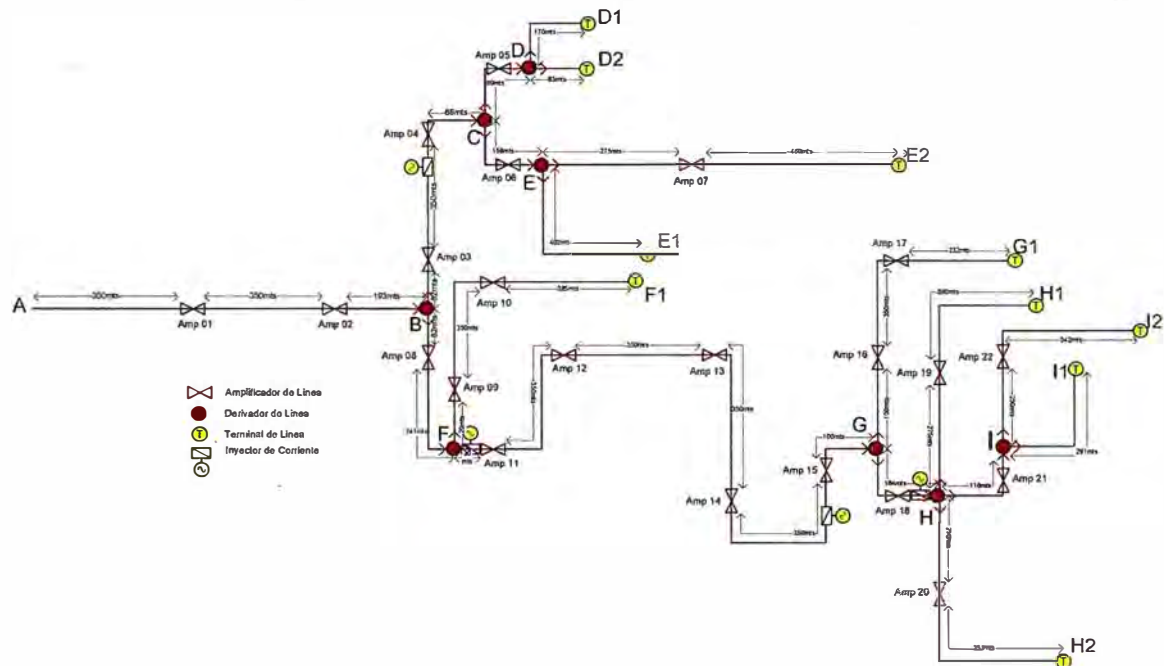


Fig. 3.17 Representación y Ubicación de Equipos DC y Señal.

3.2.4 Análisis de la instalación del Sistema de Puesta a Tierra

El objetivo de este trabajo es verificar la resistencia del suelo menor a 5Ω , el lugar donde se ubicara la estación repetidora VHF para superficie; la cual se encuentra ubicada sobre una zona rocosa y húmeda.

Resistividad del Terreno

Tabla 3.4 Datos de Campo

Distancia		Profundidad	Lecturas Tomadas en Campo
0.50	mt	0.2	117.00
1.00	mt	0.2	79.00
1.50	mt	0.2	57.00
2.00	mt	0.2	50.00
3.00	mt	0.2	39.00
4.00	mt	0.2	30.00
5.00	mt	0.2	29.00
6.00	mt	0.2	21.00

Aplicando formula de Wenner (descritas en capitulo anterior)

Tabla 3.5 Aplicación de Formulas de Wenner

Resistencia	Distancia	Profundidad	Resistividad
117.00	0.50	0.2	450.10
79.00	1.00	0.2	529.08
57.00	1.50	0.2	553.47
50.00	2.00	0.2	639.14
39.00	3.00	0.2	740.81
30.00	4.00	0.2	757.27
29.00	5.00	0.2	913.61
21.00	6.00	0.2	793.22

Resistencia del Sistema	4.84	Ohmios.
Resistividad primera capa	300.00	Ohmios metro
Porcentaje de reducción	65%	
Profundidad del Conductor a Enterrar	0.50	metros
Diámetro del Electrodo a utilizar	0.01905	
Dimensiones del Conductor	70x3 mm	
Longitud total del Conductor	30.0	metros
Numero de Pozos c/jabalina y cajas de registro	4	
Numero de Cajas de Registro adicionales	2	

3.2.5 Cronograma de Implementación del trabajo.

La implementación de equipos se realizo de acuerdo al cronograma de trabajo establecido la cual se detalla en la siguiente lámina.

CAPITULO IV

PRUEBA, MEDICIÓN, COSTOS Y SOLUCIÓN

4.1 Pruebas y Mediciones

Una vez realizada la instalación de los equipos estos necesitan ser medidos y probados en esta ocasión al no contar con analizador de frecuencia se realizo solo pruebas de calidad de voz y verificación de voltaje de alimentación de cada equipos los cuales estaban dentro de los valores permitidos.

Equipos requeridos para pruebas:

- Radio portátil con medidor de señal de RF.
- Vatímetro de RF.
- Multímetro.
- Medidor de VSWR.
- Medidor de estado de las baterías de las radios portátiles.
- Analizador de espectros.

Estas pruebas consisten de:

- Estación Base:

Mediciones de los niveles de señal de RF (potencia de salida y sensibilidad) en todas las arterias y salidas de repetidores, niveles de temperatura de los equipos, verificación del estado de stand-by de las baterías.

- Equipos en el interior de la mina.

Verificación de la instalación de los equipos (conexiones, voltaje DC de alimentación y voltaje DC de salida de los amplificadores, derivadores, inyector de potencia).

Verificación de los niveles de señal de los equipos y ganancia de cada amplificador de acuerdo al nivel de señal obtenido en la entrada.

4.2 Costos de la Solución

De acuerdo a los datos obtenidos de manera referencial (el costo real es información confidencial de Volcán Compañía Minera S.A.A.) se hace el cálculo de los costos:

Tabla 4.1 Resumen de Precios.

RESUMEN DE PRECIOS		
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIOS
1	Estudio de Campo	3,300.00
2	Equipos de Comunicaciones	58,990.00
3	Instalación de Equipos	5,180.00
4	Puesta en Servicio y entrenamiento	3,660.00
	SUBTOTAL	71,130.00
	IGV (19%)	13,514.70
	TOTAL (DOLARES AMERICANOS)	84,644.70

Tabla 4.2 Costos de Estudio de Campo.

ITEM	Estudio de Campo	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
1.1	Movilidad de Ingenieros desde Lima a Mina	1,000.00	1.00	1,000.00
1.2	Remuneración de Ingeniero de Radio por día	100.00	5.00	500.00
1.3	Remuneración de Ingeniero de Mina por día	100.00	5.00	500.00
1.4	Remuneración de Ingeniero de Seguridad por día	100.00	5.00	500.00
1.5	Remuneración de Ingeniero Eléctrico por día	100.00	5.00	500.00
1.6	Remuneración de Técnico Electricista por día	60.00	5.00	300.00
			SUBTOTAL	3,300.00

Tabla 4.3 Costos de Equipos por precio unitario.

ITEM	Equipos de Comunicaciones	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
2.01	Inyector de Corriente	1,000.00	4	4,000.00
2.02	Conectores	20.00	84	1,680.00
2.03	Generador de tono piloto	120.00	4	480.00
2.04	Amplificador de línea	950.00	22	19,950.00
2.05	Terminal de línea	50.00	9	450.00
2.07	Derivadores (Splitters)	220.00	8	1,760.00

2.08	Cable radiante por rollo de 350 metros	650.00	20	13,000.00
2.09	Antena VHF	90.00	3	270.00
2.11	Transmisor de radiocomunicaciones	650.00	7	4,550.00
2.12	Receptor de radiocomunicaciones	650.00	7	4,550.00
2.14	Equipo interface telefónica	500.00	1	500.00
2.15	Combinador (En estación base)	200.00	1	200.00
2.16	Bastidor de Comunicaciones	500.00	1	500.00
2.17	Torre de Comunicaciones	4,000.00	1	4,000.00
2.18	Cable Heliac de 7/8" por metro	50.00	30	1,500.00
2.19	Sistema de Puesta a Tierra	1,000.00	1	1,000.00
2.20	Tablero de Energía	300.00	1	300.00
2.21	Extras	300.00	1	300.00
		SUBTOTAL		58,990.00

Tabla 4.4 Costos de Instalación.

ITEM	Instalación de Equipos	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
3.10	Colocación de Alcayatas(soporte para cable radiante interior mina)	1,000.00	1	1,000.00
3.20	Instalación de Equipos en interior mina	40.00	42	1,680.00
3.30	Instalación de Antena VHF en superficie	300.00	3	900.00
3.40	Instalación de Equipos en Gabinete	400.00	1	400.00
3.50	Instalación de pozo a tierra	300.00	4	1,200.00
		SUBTOTAL		5,180.00

Tabla 4.5 Costos de Puesta en Servicio.

ITEM	Puesta en Servicio y entrenamiento	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
4.10	Puesta en servicio de las radios portátiles	400.00	1	400.00
4.20	Puesta en servicio de los equipos	30.00	42	1,260.00

	interior mina			
4.30	Puesta en servicio de las radios Motorola (Handy)	25.00	80	2,000.00
		SUBTOTAL		3,660.00

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

El uso del cable radiante en las minas está limitado por los trámites legales para la obtención de la licencia en la banda requerida ya que generalmente la obtención de esta demora entre ocho a diez meses lo cual crea desconfianza en la minas.

Otro razón para instalar sistemas de cable radiante (usando radio de dos vías) es el costo de mantenimiento reducido y el bajo tiempo de reposición del servicio ya que con solo colocar una caja de empalme se soluciona el problema comparado con otras tecnologías que usan fibra óptica o antenas en cascadas, por otro lado las minas han considerado el costo de los sistemas de radio como una manera de ahorro, aumento de la producción, coste laboral y seguridad minera.

Debido a que el uso de comunicaciones por radio de dos vías en minas subterráneas no es muy común, la variedad de las aplicaciones de las radios de dos vías es amplia y no se ha explorado enteramente (seguimiento de personas y equipos, transmisión de datos, control remoto y TV). Los sistemas de radio usando cable radiante se podría utilizar sobre todo como herramientas de gestión para la comunicación con los trabajadores en posiciones remotas, y para el control de tráfico en los sistemas de transporte de mineral esto aumentaría de acuerdo a otras minas hasta en cinco veces la producción.

Un segundo uso encontrado en otras minas del sistema de comunicación de cable radiante ha sido para supervisión de mecánicos y de trabajadores de producción. El uso de la radio elimina la necesidad de viajar a las posiciones remotas o de confiar en los teléfonos convencionales para la comunicación con los trabajadores. Mecánicos y otros personales de producción que viajan en la mina son mucho más fáciles de localizar usando la radio, ahorrando cantidades substanciales de "tiempo de recorrido y ubicación". Aunque varias minas hayan encontrado el sistema de comunicación de cable radiante deseable desde un punto de vista operativo.

El diseño y la instalación de los sistemas instalados deben presentar una amplia preocupación por el mantenimiento y durabilidad. Pocos sistemas han sido específicamente diseñados para un ambiente extremadamente duro y la manipulación brusca recibida por

los usuarios inexpertos acorta el tiempo de vida de este por otro la efectividad del sistema de comunicaciones por cable radiante también depende de la buena ubicación de los equipos si bien es cierto el grado de protección es alto (golpe, humedad, etc.), la puesta de servicio en las primeras semanas presentara problemas de ajustes que si no se tiene al personal entrenado adecuadamente esto generara problemas de desconfianza de los trabajadores y la gerencia.

Después del tiempo necesario de ajustes, mejor familiarización del personal con los equipos y la tecnología, la aceptación de los trabajadores y la gerencia será mayor.

El sistema de comunicación por cable radiante requiere planeamiento es decir la gerencia de la mina deberá adquirir información de las capacidades, limitaciones de esta tecnología de cada fabricante y costos para adecuarlo a las necesidades que ellos requieran.

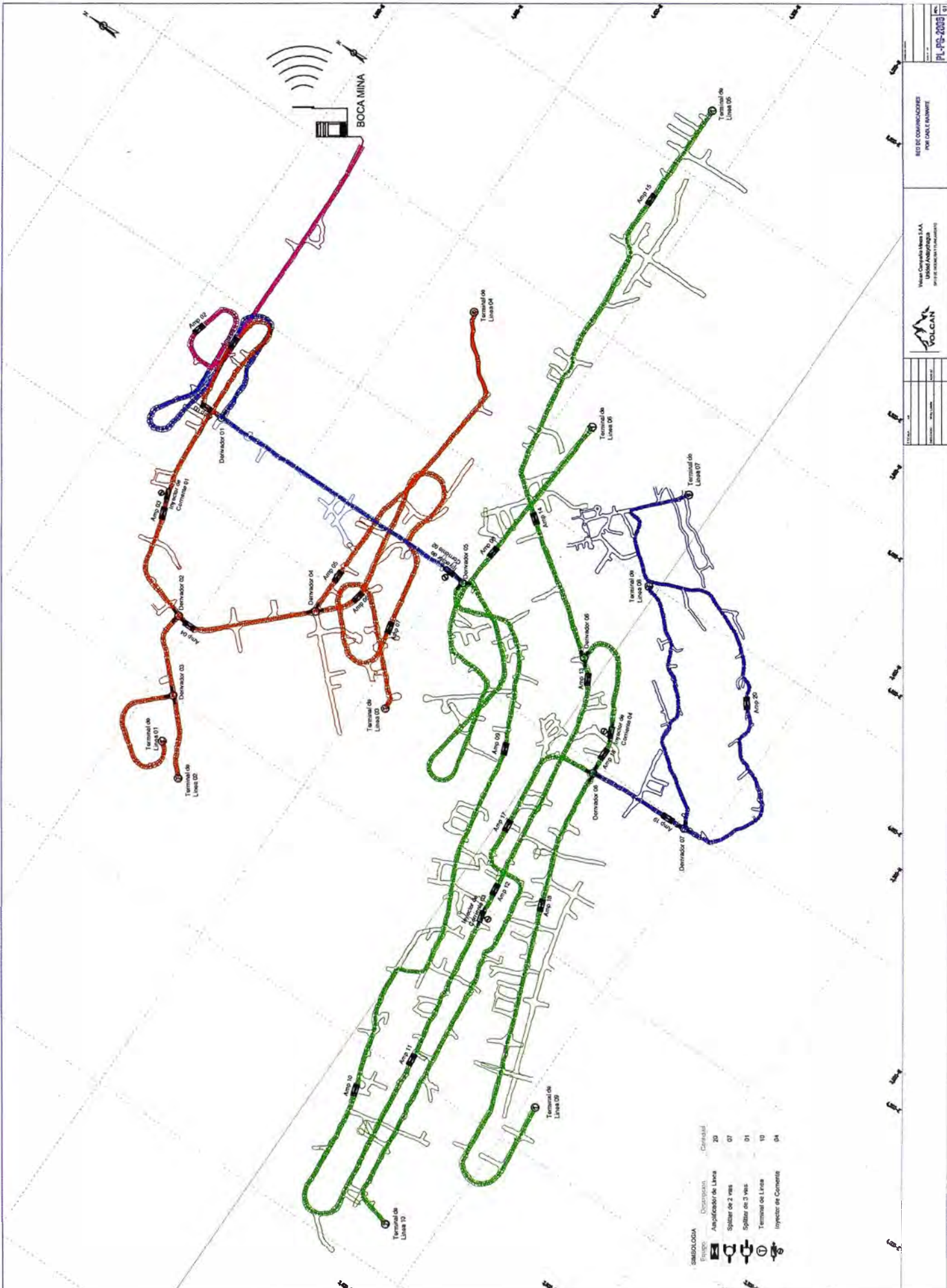
El sistema de comunicación por cable radiante requiere una administración es decir asignar un área de servicio que se haga cargo del mantenimiento y de las futuras ampliaciones que podrían surgir debido a ampliaciones de la mina.

El sistema de comunicación por cable radiante requiere de entrenamiento ya que el personal de la mina es sabido que es rotado y siempre se requiere personal con un nivel de conocimiento adecuado para poder hacerse cargo de esta responsabilidad.

BIBLIOGRAFIA

1. Theory and Analysis of Leaky Coaxial Cables With Periodic Slots by Jun Hong Wang, Member, IEEE, and Kenneth K. Mei, Life Fellow, [IEEE\(www.paper.edu.cn\)](http://www.paper.edu.cn)
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/CDMA/TDMA/FDMA>
3. <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1502.pdf>
4. Software de simulación de Radio enlaces (Radio Mobile)
<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
5. Calculo de Sistema de Puesta a Tierra (SPAT)
Diseño de puesta a tierra usado por Telefónica Móviles latam 2010.
6. Equipos de Comunicación de cable radiante
www.minesite.com.au, www.becker-mining.com, www.minecom.com

ANEXO A
DIAGRAMA EN AUTOCAD DE LA MINA CON LA UBICACIÓN DE LOS
EQUIPOS DE COMUNICACION



LEGENDA

Simbolo	Descripción	Cantidad
	Terminal de Línea	20
	Amplificador de Línea	07
	Splitter de 2 vías	01
	Splitter de 3 vías	10
	Terminal de Línea	04
	Inyector de Cemento	04

EBO DE COMERCIALIZACIONES
 POR CABLE EN MEXICO
 Volcan Cabletel S.A.S.
 UNIDAD ADMINISTRATIVA
 ESPECIAL DE ECONOMIA ESPECIALIZADA

VOLCAN

Escala: 1:1000
 Fecha: 15/03/2009
 Proyecto: BOCA MINA

PL-PS-0003