

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**



**MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE
TELECOMUNICACIONES PARA EMPRESAS GENERADORAS DE
ENERGÍA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

JUAN EPIFANIO LÓPEZ BONIFACIO

**PROMOCIÓN
2004 - I**

**LIMA – PERU
2009**

**MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE
TELECOMUNICACIONES PARA EMPRESAS
GENERADORAS DE ENERGÍA**

SUMARIO

El presente trabajo describe, y propone la puesta en servicio de un sistema de radio enlaces de microondas como parte de la modernización y ampliación del sistema de telecomunicaciones de las empresas generadoras de energía. Estando de acuerdo a los requerimientos de velocidad de transmisión.

En el desarrollo se describe el problema de la red troncal de telecomunicaciones, y los requerimientos que el sistema necesita para operar de acuerdo a las necesidades de comunicación de la empresa que genera energía eléctrica. Los requerimientos para mejorar la red, se resume a la puesta en servicio de enlaces redundantes, la interconexión a nuevos locales y al reemplazo de una estación repetidora activa de un radio enlace por microondas.

Las alternativas de solución se presentan para diferentes medios de comunicación, como son: enlaces de fibra óptica propia, radio enlaces por microondas propia y enlaces IP-VPN alquilados a portador de telecomunicaciones. La evaluación económica indica que la alternativa de radio enlaces por microondas es la que se va a desarrollar.

El diseño de los radio enlaces por microondas incluye: topología de la red, ubicación geográfica de estaciones, perfiles de enlace, cálculos de claridad, canalización de frecuencias, cálculos de propagación y consideraciones para la puesta en servicio.

La información para el cálculo del diseño de los enlaces se basa en las recomendaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y el plan de frecuencias se basa en el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias del MTC.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA.....	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.1.1. Requerimientos para la ciudad de Lima.....	2
1.1.2. Requerimientos para la ciudad de Junín.....	3
1.2 Evaluación del problema	3
1.2.1 Evaluación del problema para la ciudad de Lima.....	3
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	5
2.1 Propagación por microondas.....	5
2.1.1 Refracción de microondas	5
2.1.2 Difracción de microondas	8
2.1.3 Reflexión de microondas	9
2.2 Parámetros de transmisión y recepción.....	11
2.2.1 Propagación en espacio libre (FSL).....	11
2.2.2 Nivel de recepción nominal.....	11
2.2.3 Probabilidad de ocurrencia de desvanecimiento (P_R)	12
2.2.4 Profundidad de desvanecimiento (f_d)	12
2.3 Equipos de microondas	12
2.3.1 Configuraciones.....	12
2.3.2 Disponibilidad del enlace.....	15
2.4 Objetivos de No disponibilidad.....	16
2.4.1 Grado Alto	16
2.4.2 Grado Medio.....	16
2.4.3 Grado Local.....	17
2.5 Jerarquías de Transmisión	17
2.5.1 Jerarquía PDH.....	17
2.5.2 Jerarquía SDH.....	18
2.6 Características de antenas de microondas.....	19

2.6.1	Ganancia de una antena	20
2.6.2	Lóbulos laterales	20
2.6.3	Razón Front-to-Back	20
2.6.4	Ancho de haz	21
2.6.5	Polarización.....	21
2.6.6	Patrón de radiación	21
CAPITULO III		
SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....		23
3.1	Alternativas de solución.....	23
3.1.1	Alternativas de solución para la ciudad de Lima	23
3.1.2	Alternativas de solución para la ciudad de Junín	25
3.2	Solución del problema.....	25
3.2.1	Relación de estaciones.....	25
3.2.2	Planificación de las frecuencias de los radio enlaces.....	25
3.2.3	Ubicación de las estaciones para nuevos enlaces.....	27
3.2.4	Datos Topográficos	32
3.2.5	Diagrama de Red de microondas	32
3.2.6	Perfil de los trayectos de los enlaces.....	34
3.2.7	Cálculos de Claridad	37
3.2.8	Dirección del trayecto	39
3.2.9	Cálculos de Propagación.....	41
3.2.10	Vista de Planta de las torres de Comunicación.....	45
3.2.11	Consideraciones adicionales	48
3.3	Recursos humanos y equipamiento.....	50
3.3.1	Recursos humanos.....	50
3.3.2	Equipamiento	50
CAPITULO IV		
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		58
4.1	Análisis descriptivo de las variables de estudio.....	58
4.2	Análisis teórico de los datos	58
4.3	Presentación de resultados	58
4.4	Presupuesto y tiempo de ejecución.....	63
4.4.1	Presupuesto	63
4.4.2	Tiempo de Ejecución	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		66

ANEXO – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO DE RADIO

MICROONDAS	67
BIBLIOGRAFIA	74

INTRODUCCIÓN

La necesidad de las empresas generadoras de energía de tener una red de Telecomunicaciones privada, con la velocidad de transmisión necesaria y confiable dentro de los parámetros técnicos permisibles se hace necesaria para el desarrollo de las actividades de gestión administrativa y operación (Sistemas Scada).

En la actualidad se puede ver que hay diferentes tecnologías de telecomunicaciones que son aplicables para diferentes servicios que al final convergen en protocolos estandarizados y hacen posible la interconexión de estos sistemas, para el caso del presente informe se ha elegido la tecnología de transmisión de radio enlaces por microondas debido a que se adecua a los requerimientos de: capacidad de transmisión, es más económico y el más factible la instalación debido a la ubicación de las estaciones de telecomunicaciones.

La reutilización de equipos de microondas y del espectro radioeléctrico es posible debido al estudio previo de los canales de frecuencias asignadas a la empresa generadora de energía y al Plan Nacional de Atribución de Frecuencias.

El diseño para la operación de los radio enlaces microondas se muestra en el Capítulo III, y el equipamiento necesario se detalla en el capítulo IV.

Con respecto a las limitaciones se puede mencionar el uso de software solo para los perfiles de enlace, los cálculos de propagación y cálculo de claridad se han realizado con la base teórica indicada en el capítulo II mediante cuadros de cálculo con programa Excel.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA

1.1 Descripción del problema.

Como antecedente, la red troncal de telecomunicaciones de la generadora, está constituida por una red mixta, una parte privada con radio enlaces por microondas y otra parte con enlaces IP-VPN alquilados a portadores de Telecomunicaciones.

Se requiere la modernización y ampliación de la red privada de telecomunicaciones, de la empresa generadora de electricidad Edegel, incluye también la interconexión de sus locales ubicados en localidades de Huarochiri y Junín, para servicios de telecontrol, voz y datos; y permita alcanzar los niveles de confiabilidad necesarios para su funcionamiento.

A medida que la red troncal de telecomunicaciones soporta el tráfico de telecontrol, voz y datos, se requiere que la red sea redundante y esté operativa en casos de avería y así evitar gastos por: penalización por ente regulador de energía (Osinerg), pérdida de monitoreo en línea del sistema scada e indisponibilidad de servicios de red.

Debido a la alta demanda de energía eléctrica, Edegel instala más centrales hidroeléctricas para la respectiva generación dentro de su área de concesión, las cuales requieren estar interconectadas a la red privada de telecomunicaciones para encaminar los servicios de telecontrol, voz y datos, este es el caso para la central hidroeléctrica Huinco, la estación Toma Sheque y la estación Ventana 6.

Los frecuentes cortes de la red de telecomunicación de la Central hidroeléctrica Yanango, formado por radio enlace por microondas (con repetidor activo), debido a los cortes de energía en la estación repetidora, crean la necesidad de que el enlace sea reemplazado.

1.1.1. Requerimientos para la ciudad de Lima

Los requerimientos para la ciudad de Lima se indican en dos partes, los cuales se indican a continuación:

- Redundancia a los radio enlaces de microondas de la red privada y, Interconexión de 02 nuevos locales.

A continuación se detallan los requerimientos para la ciudad de Lima, tanto para los radio enlaces existentes, como para los nuevos enlaces.

a) Redundancia a los radio enlaces por microondas

- Central hidroeléctrica Moyopampa – Cerro Cantuta.
- Central hidroeléctrica Callahuanca – Cerro Cantuta.
- Sede Administrativa en San Isidro – Central Térmica Santa Rosa.

b) Interconexión de dos nuevos locales

Se requiere para la transmisión de telecontrol, voz, y datos, configurado de la siguiente manera:

- Central Hidroeléctrica Huinco – Ventana 6:
 - Canales de voz y telecontrol: 04 de 64 Kbps
 - Canal de datos: 1024 Kbps.
- CH Huinco – Toma Sheque:
 - Canales de voz y telecontrol: 04 de 64 Kbps
 - Canal de datos: 1024 Kbps.

1.1.2. Requerimientos para la ciudad de Junín

Reemplazar el enlace de comunicación formado por un radio enlace de microondas con repetidor activo en la banda de 2GHz, ubicado entre los puntos Central Yanango y Sede San Ramón, por otro del tipo pasivo.

1.2 Evaluación del problema

1.2.1 Evaluación del problema para la ciudad de Lima

a) Redundancia para radio enlaces microondas

Debido a que ya existen radio enlaces de microondas de la red privada operativos, y como no hay requerimientos de ampliación de ancho de banda o cambio de tecnología, se sugiere realizar la actualización de los equipos microondas a redundancia (1+1) HSB (Hot Stand By), de los enlaces indicados a continuación:

- CH Moyopampa – Cerro Cantuta.
- CH Callahuanca – Cerro Cantuta.
- Sede San Isidro – CT Santa Rosa.

b) Interconexión de nuevos enlaces

Interconectar 02 locales, para la transmisión de los servicios de voz, datos y telecontrol, con las siguientes características:

- CH Huinco – Ventana 6:
 - Capacidad mínima: 1280 Kbps
 - Distancia entre las estaciones: 2.57 km.
- CH Huinco – Toma Sheque

- Capacidad mínima: 1280.Kbps
- Distancia entre las estaciones: 16.30 km.

Tomando en cuenta que las estaciones están en la sierra de Lima, se considerará evaluar las alternativas de solución, como instalación de enlaces de fibra óptica (Privado), radio enlaces microondas (Privado) y enlace alquilado a portador de telecomunicaciones, en el capítulo III.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Propagación por microondas

La mayoría de las interrupciones ocurren por resultado de los efectos atmosféricos, por esto es necesario tener un buen conocimiento de la propagación por microondas.

2.1.1 Refracción de microondas

El Haz de microondas es un frente de onda electromagnético infinitamente ancho. El Trayecto que el frente de onda viaja depende de la densidad de la troposfera que esta encuentre.

En un atmósfera estándar la densidad promedio decrece con la altitud, luego la parte superior del frente de onda viaja más rápido que la parte inferior, que esta atravesando un medio denso; desde que la dirección de propagación del frente de onda electromagnética es siempre perpendicular al frente al plano de fase constante, el haz tiende a doblarse hacia a bajo, a esto se le llama **refracción**.

a) Índice de refracción de microondas

Es la relación de velocidad de una onda electromagnética viajando en el vacío relativo a la velocidad con que viajaría en un medio finito y es expresado por:

$$n = c_0 / c \quad (2.1)$$

Donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío y c es la velocidad del haz de microondas en el medio finito.

b) Cociente de refracción de microondas (Refractividad)

El índice de refracción siempre es mucho mayor que la unidad, pero para una onda de radio viaja en el aire solo es una pequeña fracción mayor que la unidad. Por eso se ha definido el cociente de refractividad (N):

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (2.2)$$

El cociente de refractividad para enlaces por debajo de los 100 GHz, esta definido como:

$$N = 77.6P / T + 3.732 \times 10^5 e / T^2 \quad (2.3)$$

Donde P es la presión atmosférica en mbars, T es la temperatura absoluta en grados kelvin y e es la presión parcial del vapor de agua en mbars.

En general la atmósfera presenta un decrecimiento exponencial de N con la altura. Para una atmósfera promedio la refractividad puede escribirse como:

$$N_{(h)} = N_o \exp(-h / h_o) \quad (2.4)$$

Donde $N_o = 315$ N-unidades (valor extrapolado para el nivel del mar de la refractividad promedio) y $h_o = 7.35$ Km.

c) Gradiente de Refractividad

Para el diseño de un radio enlace por microondas no es tan importante el nivel absoluto de la refractividad, sino los cambios de estos valores sobre el frente de onda de la señal de microondas. Aunque el gradiente atmosférico es exponencial con la altura. En los primeros cientos de metros más bajo que en los cuales viaja el haz de microondas, puede aproximarse a un gradiente lineal. El gradiente de refractividad está definido como:

$$G = \frac{dN}{dh} \quad (2.5)$$

Bajo condiciones atmosféricas promedio este valor es constante. Los resultados experimentales muestran que el valor medio esperado del gradiente de refractividad es de -39 N-unidades/Km. El gradiente de refractividad varía con el tiempo.

d) Radio efectivo de la tierra

Debido a la refracción de la señal, la onda de radio no viaja en una línea recta. La curvatura del haz es dependiente de la dirección del gradiente de refractividad que experimenta en cada punto del haz a lo largo de su trayectoria. Si se promedia la gradiente en cada punto sobre el trayecto, se puede asumir que el rayo describe una trayectoria curva. De esta manera el rayo puede considerarse como que viaja sobre un arco de radio r . Este radio es inversamente proporcional al gradiente del índice de refracción promedio sobre la trayectoria, por lo tanto se puede permitir la siguiente aproximación.

$$1/r = \frac{dn}{dh} \quad (2.6)$$

Como el haz de microondas no es una línea recta, la superficie de la tierra sobre la cual viaja este no es plana. Igualmente si viajara sobre una superficie plana tal como la del mar, es necesario tomar en cuenta la curvatura de la tierra; la tierra no es redonda, es un esferoide ovalado, sin embargo para aproximaciones de cálculo, puede aproximarse a un arco, con un radio promedio $R = 6371$ Km.

La claridad del haz de radio sobre la superficie de la tierra depende de la distancia *relativa* entre dos curvas. El análisis de la claridad se simplifica si una de las curvas es recta mientras que la otra se expande lo necesario para compensarla. Es conveniente que imaginar que el haz de microonda viaja en una línea recta respecto al radio efectivo de la tierra, el cual ha sido ajustado de acuerdo al gradiente de refractividad. Esto es referido como el factor “*k*” y no debe confundirse con el factor geoclimatico “*K*”.

Un análisis del factor *k* debería ser usado para determinar la claridad relativa y no para predecir la curvatura del haz en términos de ángulo de arribo a las antenas. El factor *k* está relacionado al gradiente del índice de refractividad:

$$k = 1 / \left(1 + a \left(\frac{dn}{dh} \right) \right) \quad (2.7)$$

Donde *a* es el radio real de la tierra (6371 Km.), simplificando la ecuación anterior se obtiene:

$$k = \frac{157}{157 + G} \quad (2.8)$$

De esto se puede relacionar los valores de *k* y *G*, esto se muestra en la tabla 2.1. y en la figura 2.1.

TABLA 2.1 Relación de valores entre *k* y *G*

Nº	Factor <i>k</i>	Gradiente de Radio refractividad <i>G</i>
1	<i>k</i> = 1	<i>G</i> = 0
2	<i>k</i> = 4/3	<i>G</i> = - 39
3	<i>k</i> = ∞	<i>G</i> = - 157
4	<i>k</i> < 1	<i>G</i> > 0

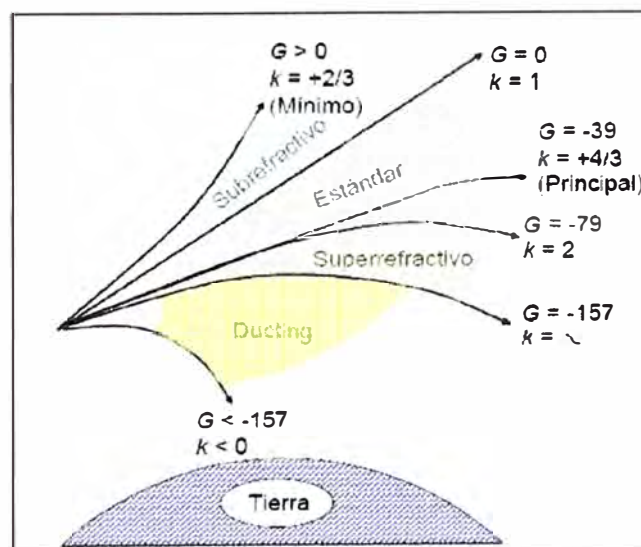


FIGURA 2.1 Curvatura de haz causada por refracción (diferentes valores *k*).

e) Protuberancia de la tierra

En los perfiles topográfico del trayecto de un enlace de microondas se debe adicionar la protuberancia de la tierra, el cual es generado por la condiciones geoclimáticas de la zona, esto se manifiesta en el aumento de las alturas de del perfil del trayecto, en estos casos los obstáculos pueden llegar al punto no permitir la línea de vista necesaria para el funcionamiento de un enlace microondas. Este factor es independiente de la frecuencia siendo directamente proporcional a las distancias al obstáculo desde los extremos del enlace.

$$h_{(mts)} = \frac{d_1 d_2}{12.75 k} \quad (2.9)$$

Donde: d_1 y d_2 son distancias al obstáculo en Km. y k el factor de radio efectivo.

2.1.2 Difracción de microondas

Bajo condiciones donde un gradiente de refractividad positivo este presente, el radio del haz es refractado hacia arriba y de aquí la porción del frente de onda que es recibido en un punto distante final ha viajado muy cerca de la tierra que lo usual. Con cierto perfil del terreno y dependiendo de las alturas de las dos antenas, esto podría resultar en pérdida de visibilidad y pérdida por difracción. Se necesita asegurar que esta pérdida por difracción no cause una interrupción total (outage) colocando una antena a una altura conveniente sobre la tierra.

a) Zona de Fresnel

Para garantizar la pérdida de difracción debido a la pérdida de visibilidad sea aceptable o pequeña bajo todas las posibles variaciones atmosféricas de k , es esencial que el perfil del trayecto sea trazado tal que muestre las alturas de las antenas y las alturas del terreno teniendo en cuenta la variación de k . Normalmente para un área particular del perfil que tiene la menor medida de claridad del rayo directo dibujado entre las dos antenas el llamado el obstáculo dominante. En algunos casos el obstáculo dominante puede ser diferente para diferentes valores de k . Cuando el trayecto de línea de vista entre las dos antenas a las justas pasa el obstáculo dominante, la condición es referida como línea de vista rasante. Porque es haz de microonda viaja como un frente de onda y no como un simple rayo, la línea rasante podría no resultar en condiciones de propagación de espacio libre.

La zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración en un enlace microonda punto a punto, además de la visibilidad directa entre las dos antenas. Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas,

respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de la señal recibida. La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 60% para $k=2/3$ y 100% para $k=4/3$ primera zona de Fresnel. En la figura 2.2 se muestra la primera zona de fresnel.

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\left(\frac{1}{f}\right) \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}\right)} \text{ mts.} \quad (2.10)$$

$$F_n = F_1 \sqrt{n} \quad (2.11)$$

Donde:

- d_1, d_2 : Distancias al obstáculo ($d_1+d_2=d$) en Km.
- F_1 : Radio de la primera zona de Fresnel.

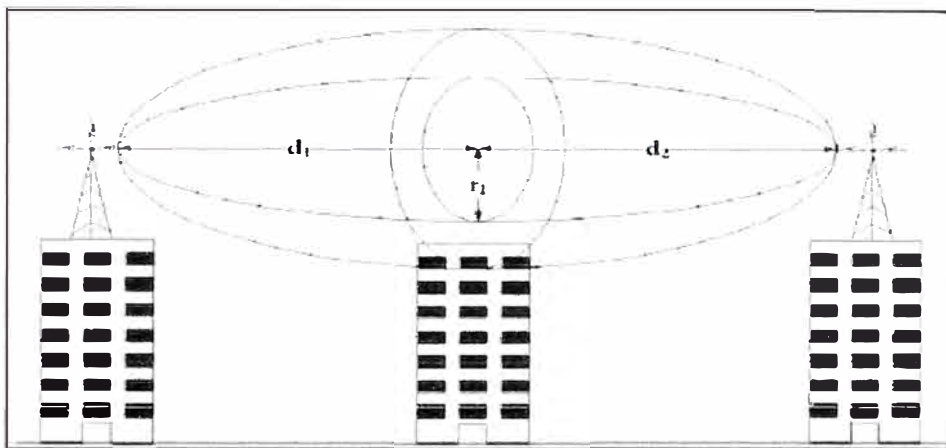


FIGURA 2.2 Muestra el radio de la 1º zona de fresnel f_1 .

2.1.3 Reflexión de microondas

El desvanecimiento por multirayecto es causado predominantemente por reflexiones en la tierra interfiriendo con la señal principal atenuada durante condiciones de entubamiento. La condición de reflexión no es estable, por tanto el desvanecimiento intenso ocurre para cada periodo corto típicamente milisegundos. Las reflexiones en la tierra llegan a ser mas en serio si el frente de onda total es reflejado en fase, así llamada reflexión especular. Para este acontecer el plano de reflexión necesita cubrir un área suficientemente grande, típicamente el área de tierra cubierta por la primera zona de Fresnel. Para que el frente de onda sea reflejado en fase, la tierra necesita ser plana comparada con la longitud de onda de la señal. La divergencia del haz debido a la curvatura de la tierra debe ser además tomada en cuenta. Si las variaciones de las del terreno son menos que uno a cuatro longitudes de onda la tierra es considerada llana.

Una superficie rugosa causaría que la señal se disperse y la reflexión podría causar desvanecimiento por multitrayecto pero no una depresión mediana estable de la señal. Las mas altas frecuencias de microondas de radio solo una superficie por ejemplo de agua o tierra plana es bastante llana para causar una reflexión especular.

La geometría de la trayectoria de la reflexión es crítica. Cuando se analiza trayectorias para reflexiones uno necesita determinar donde esta el punto de reflexión. El hecho que la trayectoria va sobre el agua no es garantía que una reflexión ocurrirá. Esto puede ser visto en la figura 2.3, en el punto de reflexión del caso B no está sobre el agua y por tanto no puede haber problema.

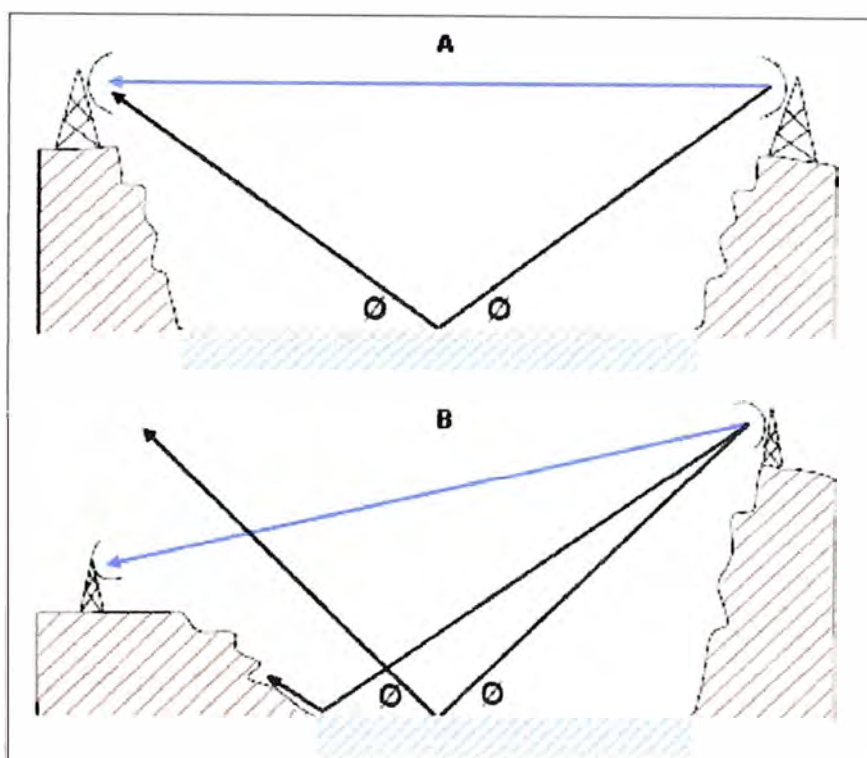


FIGURA 2.3 Puntos de reflexión.

Cuando se hace análisis de reflexión uno debe recordar que el punto de reflexión cambiará cuando cambie el factor de radio aparente k . Es posible con un cuidadoso posicionamiento de las alturas de las antenas minimizar el efecto de la reflexión. La posición de las antenas debería ser escogida para minimizar la atenuación para la condición promedio de k , mientras se asegure que la atenuación aceptable sea pequeña, para valores altos y bajos de k . Cuando esto no se pueda conseguir, se va a tener que usar diversidad de espacio. La posición de las antenas para la diversidad debería ser tal que experimente una buena señal bajo las condiciones donde la antena principal esté experimentando una recepción de señal nula. Esto debe ser verificado para todos los valores esperados de k .

2.2 Parámetros de transmisión y recepción

2.2.1 Propagación en espacio libre (FSL)

Las ondas de radio son afectadas por la presencia de la Tierra y la atmósfera que la rodea. Para un enlace microondas punto a punto se debe considerar la porción baja de la atmósfera no ionizada (debajo de los 20 Km.), llamada la Troposfera, que es de nuestro interés. Para propósitos de diseño del trayecto es útil definir una posición de referencia donde pueda considerarse que la propagación no es afectada por la Tierra. Las pérdidas entre dos antenas que no son afectadas por la tierra se denominan pérdidas por espacio libre y puede determinarse de la siguiente manera:

$$P_T / P_R = (4\pi d / \lambda)^2 \quad (2.12)$$

Sustituyendo $\lambda = c/f$, en la ecuación (2.12) se obtiene:

$$10 \text{Log}(P_T / P_R) = 10 \text{Log}\left(\left(4\pi / c\right)^2 \cdot d^2 \cdot f^2\right)$$

$$FSL(dB) = 92.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (2.13)$$

Si se asume que son usados dos radiadores isotrópicos como antenas transmisora y receptora, entonces las pérdidas en el espacio libre entre ellas, se puede expresar como:

$$FSL = 10 \text{Log}(P_T / P_R) dB$$

$$FSL(dB) = 92.4 + 20 \log f_{(GHz)} + 20 \log d_{(km)} \quad dB \quad (2.14)$$

Donde:

- f : Frecuencia en GHz
- D : Longitud del trayecto en Km.

2.2.2 Nivel de recepción nominal

En un enlace radioeléctrico entre un transmisor y un receptor, la relación entre la potencia suministrada por el transmisor y el nivel en la entrada del receptor depende diversos mecanismos de de propagación, las perdidas debidas a la adaptación de impedancias, las ganancias de las antenas, etc. Para cualquier enlace de radio de microondas, se debe tener en cuenta las pérdidas indicadas, a continuación se muestra la potencia recibida en el receptor.

$$P_R = P_T - F_T + L_T + G_T - FSL + G_R - L_R - F_R \quad (2.15)$$

En donde:

- P_R : Potencia de recepción (dBm)
- P_T : Potencia de transmisión (dBm)
- F_T : Pérdida en filtros de transmisión (dB)
- L_T : Pérdida en alimentadores de transmisión (dB)

- G_T : Ganancia de antena de transmisión (dBi)
- FSL : Pérdida por espacio libre (dB)
- G_R : Ganancia de antena de recepción (dBi)
- L_R : Pérdida en alimentadores de transmisión (dB)
- F_R : Pérdida en filtros de recepción (dB)

2.2.3 Probabilidad de ocurrencia de desvanecimiento (P_R)

La probabilidad de desvanecimiento por multitrayecto tipo Rayleigh se muestra a continuación, el depende de la frecuencia, el coeficiente de la trayectoria y la distancia del enlace. (ITU-REC. 338)

$$P_R = \left(\frac{f}{4}\right)^{1.2} \cdot Q \cdot d^{3.5} \quad (2.16)$$

Donde:

- F : Frecuencia en GHz.
- d : distancia del tramo, en Km.
- Q : Coeficiente de la trayectoria ($Q=2.1 \times 10^{-9}$ Zona montañosa)

2.2.4 Profundidad de desvanecimiento (f_d)

Es el desvanecimiento máximo de tipo Rayleigh para cumplir con los requerimientos de disponibilidad.

$$f_d = 10 \log\left(\frac{P_R}{T}\right) \text{ (dB)} \quad (2.17)$$

Donde:

- P_R : Probabilidad de ocurrencia tipo Rayleigh
- T : Probabilidad de tiempo permisible de interrupción.

2.3 Equipos de microondas

Es muy importante conocer como trabajan los sistemas de microondas, porque las características de los equipos afectan dramáticamente el rendimiento total de la red. Los estándares de rendimiento de un radio enlace son derivados de los estándares basados en la ITU-T, los cuales definen los límites para los enlaces de extremo a extremo. A continuación se muestra el trayecto de un circuito de 64 Kbps sobre un circuito de radio.

2.3.1 Configuraciones

El equipo modulador de radio microonda puede ser dividido a grandes rasgos en tres categorías: interior, la unidad divisora y lo externo.

a) Equipo para ubicación en interiores (All indoor)

Los equipos tradicionales de microondas están albergados en un bastidor metálico o rack de 19 pulgadas en la sala de equipos de transmisión. La conexión vía cable coaxial o guía de onda transporta la señal de RF a la antena montada en una torre. El equipo es a menudo de construcción modular, para propósitos de mantenimiento. Diferentes diseños son normalmente requeridos para diferentes capacidades y bandas de frecuencias. Los equipos para ubicación en interiores son apropiados para rutas de gran distancia que requieren una alta potencia de salida y arreglos para ramificación de multifrecuencia. Un diseño típico es mostrado en la figura 2.4.

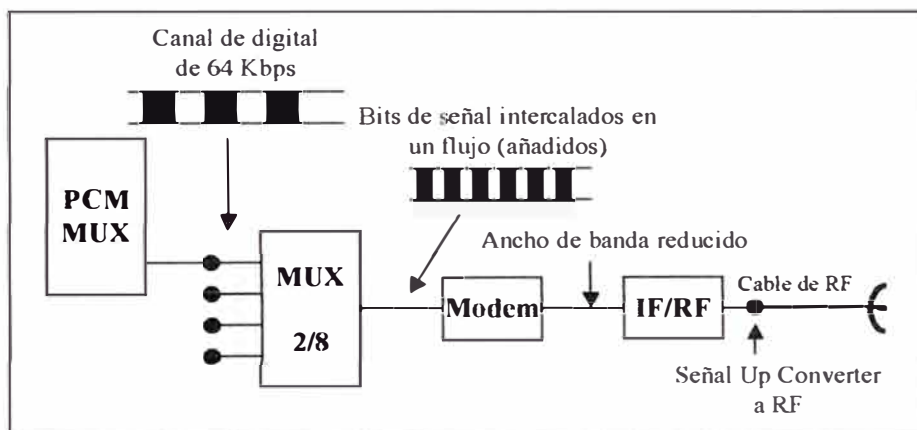


FIGURA 2.4 Trayecto de un circuito digital

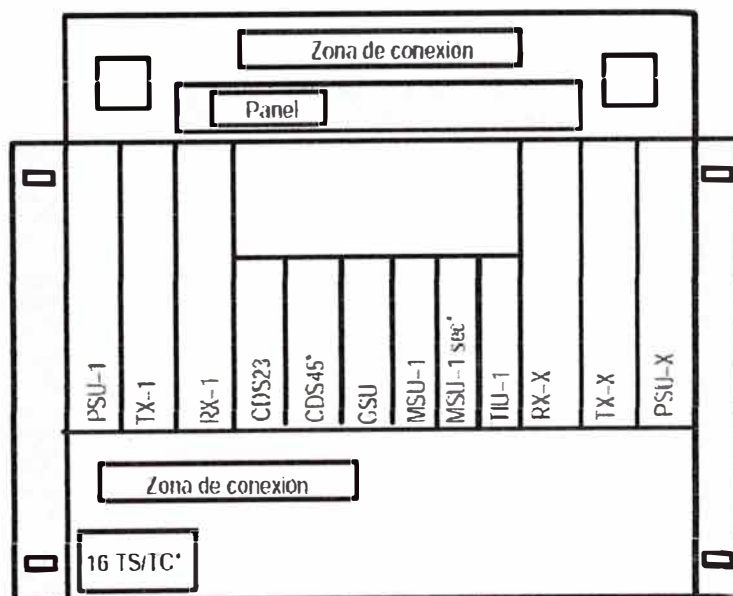


FIGURA 2.5 Típica configuración full indoor

b) La unidad divisora (RF externos)

El equipo de microonda modulador se ha puesto fuera del acercamiento tradicional que consiste en estantes grandes de equipo montado adentro. Lo abastece para el acceso a redes donde el espacio es limitado y el equipamiento comúnmente es preferido basado en la alta frecuencia (por ejemplo 23Ghz) la arquitectura del enlace que tiene el sistema de circuitos eléctricos de RF montado externamente para evitar las propias pérdidas en las guías de onda, el equipo está ahora disponible en más frecuencias y capacidades en una disposición montada de división. En esta disposición la banda base y el circuito del modem es montada en una unidad interior, la cual es normalmente independiente de la frecuencia. Esto está conectado al exterior de la unidad que alberga al circuito de RF por medio de un cable coaxial de bajo costo. El cable transporta la señal de banda base o la frecuencia intermedia, además de la energía y las señales que realizan las tareas rutinarias. Los sistemas de modulación de fase requieren una señal de frecuencia intermedia para la conexión de subida y bajada. Mientras que los sistemas FSK pueden transportar una señal de banda base alta y baja por el cable coaxial. La unidad exterior es a veces independiente de la capacidad. La configuración de la unidad de división se muestra en la figura 2.6.

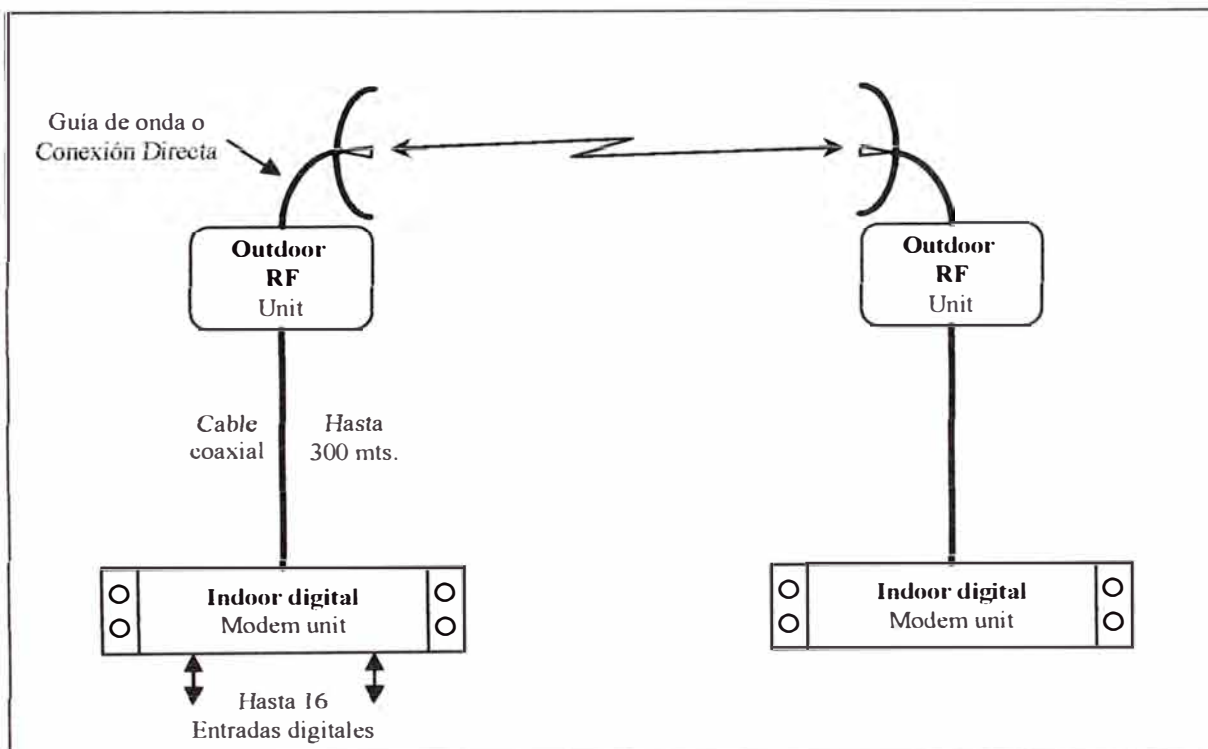


FIGURA 2.6 Típica configuración de unidad dividida

c) Equipo de exteriores (Outdoor)

Este tipo de equipamiento está siendo usada en micro celdas de redes celulares, donde hay requerimientos de que las instalaciones estén disponibles para montar un radio enlace. La antena necesita ser físicamente pequeña y el radio enlace no emitirá

mucha potencia. La operación del equipo de radio es para tasas de línea de E1's que puede ser alimentado directamente dentro del radio y puede ser relocalizado en el mismo equipo. Una obvia consecuencia de una transmisión de radio externa, es que, si hay un requerimiento de extender el circuito E1 a otra localización, se requiere un cable multipar para transportar las señales de tráfico, alarma, administración y energía. Un ejemplo de equipo outdoor es mostrado en la figura 2.7.



FIGURA 2.7 Tipica radio todo externo

2.3.2 Disponibilidad del enlace

Las interrupciones largas pueden ocurrir si fallan los equipos de radio. El número de veces que el equipo de radio falla es inversamente proporcional al tiempo medio antes de falla (MTBF, Mean Time Before Failure) del equipo. La duración de la interrupción es determinada por el tiempo que toma el equipo de mantenimiento en reponer el servicio: el tiempo medio de reposición (MTTR, Mean Time To Restore). Esto incluye el tiempo de viaje, el tiempo empleado para reparar la falla y la disponibilidad de refacciones. La disponibilidad (A) de un Terminal esta dada por la fórmula:

$$A = \left(\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100\% \quad (2.18)$$

Incluso para equipos con un excelente MTBF y un MTTR de unas pocas horas, la disponibilidad total es inaceptable para la mayoría de redes críticas a menos que se emplee la diversidad de ruta o un equipo de protección.

$$MTBF_{(ENLACE)} = \frac{MTBF_{(TERMINAL)}}{2} \quad (2.19)$$

2.4 Objetivos de No disponibilidad

La ITU-R proporciona objetivos relativos a una conexión hipotética de referencia y en algunos casos para enlaces reales. Los objetivos de la ITU-R pueden ser divididos en tres niveles (grados) de calidad, especificados por la recomendación G.821 de la ITU-T, llamados grado alto, grado medio y grado local. La recomendación de la ITU-T corresponde a un circuito hipotético de referencia de 27500 Km., de los cuales 25000 Km. son considerados de grado alto y 2500 Km. que se divide entre grado medio y grado local. La ITU-R provee los objetivos de disponibilidad globales para una ruta digital de 25000 Km.

2.4.1 Grado Alto

En la práctica, normalmente se asume que cuando rediseña un sistema de radio, que la parte de la columna vertebral (backbone) de la red debe ser diseñada para grado alto. Los objetivos de disponibilidad para un radio enlace real que forma parte de un alto grado son especificados por la ITU-R. Los estándares especifican que la disponibilidad (A) para un circuito de alto grado con una longitud de enlace comprendida entre 280 Km. y 2500 Km. debería ser:

$$A = 100 - \left(\frac{0.3 \times L}{2500} \right) \% \quad (2.19)$$

2.4.2 Grado Medio

No hay una clara referencia sobre que parte de la ruta debería ser de alto grado o de grado medio para redes que no proporcionan circuitos internacionales. Normalmente se deja al diseñador del sistema decidir la importancia relativa del radio enlace para determinar cual grado aplicar.

Los parámetros de no disponibilidad para grado medio son especificados por la ITU-R. La no disponibilidad está dada como función de cuatro clases de calidad definidos para un circuito de grado medio, como se muestra en la tabla 2.2. La longitud de una ruta hipotética de referencia varía con cada clase: 280 Km. para las clases 1 y 2; y 50 Km. para las clases 3 y 4.

TABLA 2.2 Clases de Calidad de Grado Medio

Nº	CLASE DE CALIDAD	NO DISPONIBILIDAD (%)
1	Clase 1	0.033 %
2	Clase 2	0.05 %
3	Clase 3	0.05 %
4	Clase 4	0.1 %

2.4.3 Grado Local

El grado local especificado por la ITU es empleado para definir el nivel de calidad para un circuito de abonado, es decir, la conexión desde la central local al equipo Terminal de abonado. Podría decirse que el tipo servicio usado para la última milla. El tipo de tráfico a ser transportado (voz y data) y su relativa importancia deben ser cuidadosamente considerados antes de diseñar un sistema de radio de grado local; la mayoría de los sistemas de radio de alta capacidad deben ser diseñados para grado alto.

Ningún objetivo de no disponibilidad ha sido aún definido para grado local, sin embargo, la ITU-R ha dado algunos lineamientos. Los principales efectos de las interrupciones son sobre la confiabilidad del equipo (MTBF), modo de reparación (MTTR) e interrupción por lluvia.

2.5 Jerarquías de Transmisión

2.5.1 Jerarquía PDH

Las redes analógicas de radio estaban basadas en la multiplexación por división de frecuencia y los así llamados sistemas FDM. Los sistemas digitales que los reemplazaron estuvieron basados en la multiplexación por división de tiempo y el uso de la modulación por codificación de pulso (PCM) para formar la tasa de línea digital primaria (E1 o T1). Para crear tasas de bits más grandes se usan multiplexaciones secundarias. Esto no es hecho sincrónicamente, pero parece síncrono debido a una técnica de llenado (stuffing). Plesio quiere decir cercanamente, de ahí el término plesiochronous (casi síncrono) de la jerarquía digital (PDH).

Las cadenas de datos de entrada son leídas dentro de unos buffers elásticos de usando un reloj que es extraído desde la cadena de bits. Los bits son copiados a cada buffer un bit a la vez y bits de intercalado son agregados a la cadena usando el reloj principal del multiplexor. Para asegurarse que los datos de entrada sean lo más rápido posible para no causar sobre flujo en los buffers, el reloj del multiplexor corre en una tasa más alta que la cadena de entrada más rápida, en otras palabras $2048 \text{ Kbps} + 50 \text{ ppm}$ ($2048 \cdot 10^3 \text{ bps}$). Hay también bits extra agregados a la cadena secundaria así la tasa del reloj necesita ser incluso mayor para permitir al reloj de línea pararse mientras los bits extras de la cabecera son agregados. Al correr el reloj más rápido quiere decir que hay una tendencia natural para que los buffers funcionen vacíos. Para evitar esto, cuando un cierto nivel es alcanzado, el buffer nota que el reloj está detenido y durante este periodo bits de "stuffing" (relleno) son insertados dentro de la señal. Bits especiales de sincronización son usados para decir al demultiplexor en el otro terminal que bits son reales y cuales son rellenos así que los bits de rellenos pueden ser descartados. Además

de los bits de relleno un paquete de palabras de alineación es agregado para crear un paquete total de 8448 Kbps. La tasa mas alta de 34 Mbps y 140 Mbps son creados en un modo similar multiplexando cuatro de las señales con mas baja velocidad. La así llamada “montaña del mux” es mostrado en la figura 2.8.

En la tabla 2.3 siguiente se muestran los distintos niveles de multiplexación PDH utilizados en Norteamérica (Estados Unidos y Canadá) y Europa.

TABLA 2.3 Niveles de multiplexación PDH

Nivel	Norteamérica			Europa		
	Circuitos	Kbit/s	Denominación	Circuitos	Kbit/s	Denominación
1	24	1,544	(T1)	30	2,048	(E1)
2	96	6,312	(T2)	120	8,448	(E2)
3	672	44,736	(T3)	480	34,368	(E3)
4	2016	274,176	(T4)	1920	139,264	(E4)

2.5.2 Jerarquía SDH

En PDH las señales de tasa más baja son bits intercalados dentro de la jerarquía, perdiendo así sus características adicionales de interfaz. Las técnicas de “relleno” (stuffing) son usadas para asegurar que las señales totales puedan ser demultiplexadas en el terminal distante sin requerir un reloj común. En SDH lo fundamental es mapear sincrónicamente las señales de tasa mas bajas dentro de un contenedor que es así incrustado en el paquete completo sin perder sus características de interfaces originales. El contenedor es mantenido sincronizado en el paquete usando técnicas “pointer”, las que serán discutidas posteriormente.

Una cabecera adicional es entonces agregada al contenedor y al paquete o trama que permita la manejabilidad de la señal original directamente a través de la red. Este es el aspecto que permite a SDH tener la capacidad de administración de súper redes, y se muestra en la figura 2.9.

En la tabla 2.4 se muestra la comparación de tasas de SDH y SONET.

TABLA 2.4 Comparación de tasas de SDH y SONET

Nº	SONET	Nivel de Transporte	Bit Rate	SDH
1	OC-1	STS-1	51.84 Mbit/s	STM-0
2	OC-2	STS-3	155.52 Mbit/s	STM-1
3	OC-3	STS-12	622.08 Mbit/s	STM-2
4	OC-4	STS-48	2488.32 Mbit/s	STM-3

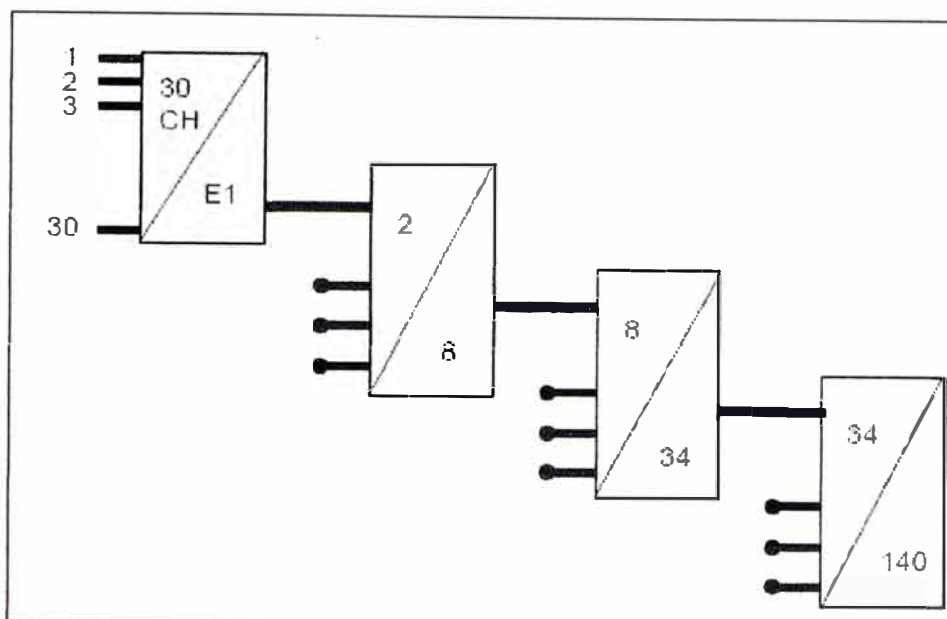


FIGURA 2.8 Montaña de MUX PDH

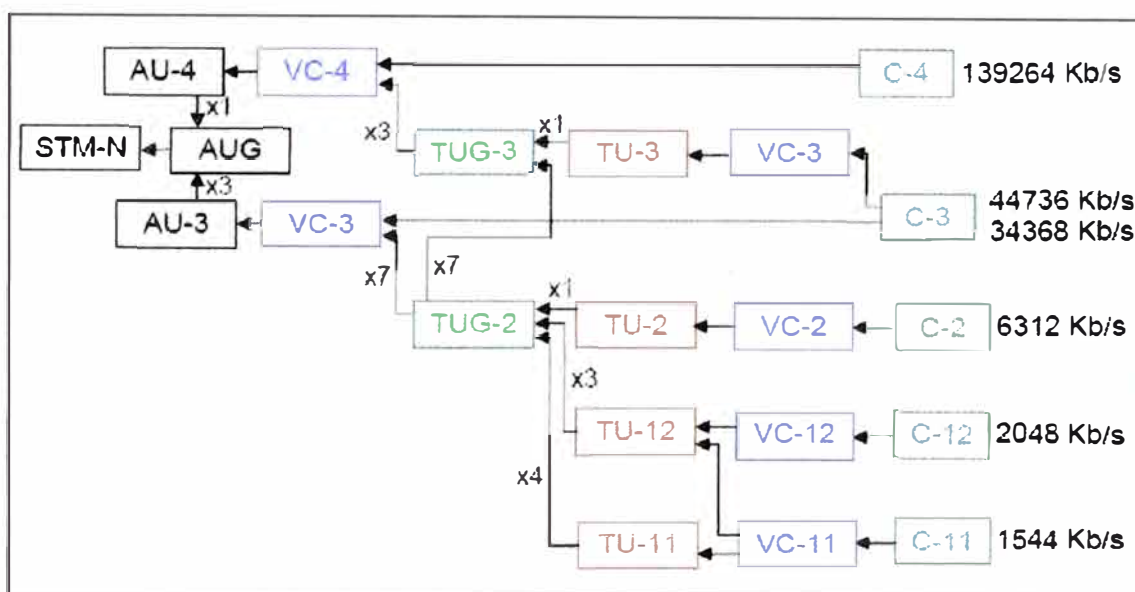


FIGURA 2.9 Mapa de la estructura SDH

2.6 Características de antenas de microondas

Una antena es básicamente un elemento radiante que convierte energía eléctrica en forma de corriente en un frente de onda electromagnética en la forma de oscilación de campos eléctricos y magnéticos. Cualquier flujo de corriente en un conductor establecerá un campo magnético. Cualquier variación de flujo de corriente generará una variación de campo magnético que establece un campo eléctrico; hay por lo tanto una interacción entre campo magnético y eléctrico que resulta en la propagación de un campo electromagnético, la rapidez de variación de estos campos, incrementa la radiación del elemento conductor (antena). Los componentes del campo que no son radiados son,

producidos por la parte capacitiva e inductiva de la antena, resultando en la antena la aparición de una impedancia compleja y no precisamente una resistencia.

2.6.1 Ganancia de una antena

Una antena es un elemento pasivo y axial por definición no puede amplificar la señal; sin embargo, ello puede dirigir la señal a ser fuerte en una dirección respecto de otras. La referencia es un radiador isotropito que por definición tiene ganancia cero. El aumento por el cual la antena dirige la señal en una particular dirección es descrita en términos de su ganancia. Cuando uno habla de la ganancia de la particular antena, esto es, la radiación es enviada directamente afuera por el frente de la antena, la ganancia es expresada como la razón entre la densidad de potencia de un radiador isotrópico y la densidad de potencia en una particular dirección de la antena en consideración. Este es usualmente expresado en una escala logarítmica en decibeles las antenas de microondas son usualmente especificadas en dBi, y es expresada como:

$$G_{(dBi)} = 10 \log \eta (4\pi A / \lambda^2) \quad (2.18)$$

Donde η es la eficiencia de apertura de la antena, A es el área de apertura de la antena y λ es la longitud de onda de la señal.

2.6.2 Lóbulos laterales

Las antenas de microondas están preparadas a sus direccionales, la radiación máxima esta por lo tanto en esta dirección. Algunas de ellas se extienden fuera por los lados laterales y posteriores y posteriores de la antena. Debido a la fase compleja establecida en un patrón de antena. El objetivo de una antena direccional es para maximizar la energía en el lóbulo principal por medio de la minimización de la energía de los lóbulos laterales.

2.6.3 Razón Front-to-Back

No toda la energía radiada sale por el frente de la antena. Algunas de ellas radian por los lóbulos posteriores. La razón F/B es definido como la razón de la ganancia en la dirección deseada respecto a la ganancia en la dirección opuesta de la parte posterior de la antena, y es expresado en decibeles. Esto es muy importante en sistemas de red troncal de radio microonda para tener antenas con una buena relación F/B para poder habilitar el reuso de frecuencia del espectro electromagnético. Cuando se especifica la razón F/B de una antena, un ángulo amplio en la parte posterior del plato debiera ser considerado y no precisamente el valor actual en 180 grados. Valores de 30dB a 40dB son valores comunes para antenas parabólicas.

2.6.4 Ancho de haz

El ancho de haz es una manera de indicar la estrechez del lóbulo principal, el ancho de haz del en los puntos de media potencia es el ancho del lóbulo principal (3dB por debajo del punto máximo). Recordar que cuando la ganancia es incrementada en una dirección, los lóbulos laterales decrecen en las otras direcciones. El ancho del haz de la antena es usualmente reducida por el incremento del tamaño del reflector, la alta ganancia de las antenas no solo mejora el margen de desvanecimiento de un radio enlace, sino también reducen interferencias de señales fuera de vista. Uno precisamente tiene que ser cuidadoso con antenas de ganancias muy altas que la estabilidad de las torres debe ser bastantes rígidas para evitar una pérdida de potencia por el retorcimiento de la torre.

2.6.5 Polarización

La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo regular, polarizada horizontalmente o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran dentro de un plano horizontal o vertical), en forma elíptica, o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.

2.6.6 Patrón de radiación

El patrón establecido por una antena tiene un aspecto tridimensional, uno normalmente necesita conocer la forma y amplitud de varios lóbulos. Esto es hecho por la tabulación de la señal alrededor de 360 grados en ambos planos. En el caso de antenas VHF y UHF, esto es usualmente hecho con una gráfica polar. Para antenas de microondas la gráfica es aplanada dentro de un patrón de radiación de envolvente (RPE), el cual se muestra en la figura 2.10.

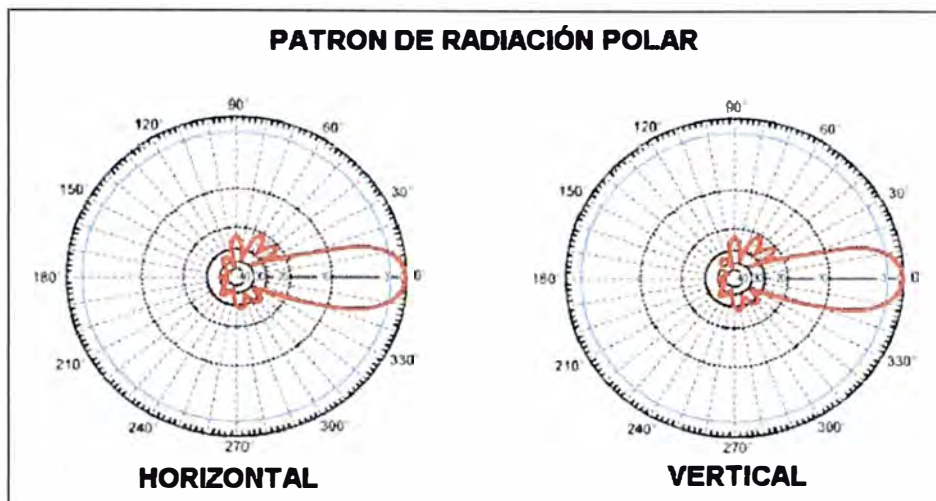


FIGURA 2.10 Patrón de radiación polar

CAPITULO III

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Alternativas de solución.

De acuerdo a los requerimientos solicitados, se evaluarán tres alternativas de solución, los cuales se indican a continuación:

- Fibra óptica (Privada).
- Radio enlaces por microondas (Privada).
- Enlaces alquilados.

La evaluación de estas 03 alternativas se realizará para la ciudad de Lima, y para la ciudad de Junín se evaluará la alternativa de convertir el enlace a repetidor pasivo.

3.1.1 Alternativas de solución para la ciudad de Lima

a) A continuación se muestra las características de los enlaces de comunicación que requieren redundancia en la tabla 3.1.

TABLA 3.1 Características de enlaces que requieren redundancia.

Nº	ENLACE	CAPACIDAD	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES
1	Sede Moyopampa – Cerro Cantuta	4 E1	2.28 Km.
2	CH Callahuanca – Cerro Cantuta	4 E1	13.23 Km.
3	San Isidro – C.T. Santa Rosa	4 E1	6.82 Km.

Ahora se evalúan los costos asociados a la implementación de los medios de comunicación y así elegir la alternativa de solución. A continuación se indican las características de las alternativas.

a.1 Radioenlace microondas (Red privada), se considera equipos de radio de la marca Alcatel de 4E1 de capacidad, tecnología PDH, antenas parabólicas, torres de telecomunicaciones y puesta en servicio.

a.2 Fibra Óptica (Red Privada), se considera los conversores optoelectrónicos, fibra óptica del tipo ADSS de 16 hilos, instalación aérea en torres de alta tensión y debajo de los cables de energía y puesta en servicio.

a.3 Red Alquilada, se considera circuitos dedicados de 8Mbps en cada estación alquilada al portador de telecomunicaciones Telefónica del Perú.

En la tabla 3.2 se indican los costos asociados para los tres enlaces indicados.

TABLA 3.2 Comparación de costos de enlaces por tecnología

Nº	MEDIO DE COMUNICACIÓN	COSTO (SIN IGV) (USD)	OBSERVACIÓN
1	Radioenlace Microondas	151,500.00	Tiempo mínimo de vida 5 años
2	Fibra Óptica	250,000.00	Tiempo mínimo de vida 20 años
3	Enlace Alquilado	360,000.00	Estimación de 5 años

b) A continuación se muestra las características de las 02 estaciones que requirieren ser interconectadas a la red privada de telecomunicaciones, los cuales se indican en la tabla siguiente:

TABLA 3. 3 Características de enlaces para interconectar a la red privada.

Nº	ENLACE	CAPACIDAD	TRÁFICO	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES
1	CH Huinco – Ventana 6	1 E1	02 CH Voz, 01 CH Control y 512 Kbps	2.57 Km.
2	CH Huinco – Toma Sheque	1 E1	02 CH Voz, 01 CH Control y 512 Kbps	16.3 Km.

Ahora se evalúan los costos asociados a la implementación de los medios de comunicación y así elegir la alternativa de solución, a continuación se indican las características de las alternativas de enlace.

b.1 Radioenlace microondas (Red privada), se considera equipos de radio Alcatel de 4E1 de capacidad, tecnología PDH, antenas parabólicas, torres de telecomunicaciones, sistema alternativo de energía y puesta en servicio.

b.2 Fibra Óptica (Red Privada), se considera los conversores optoelectrónicos, fibra óptica tipo ADSS 16 hilos, instalación aérea en torres de alta tensión y debajo de los cables de energía, sistema alternativo de energía y puesta en servicio.

b.3 Red Alquilada, se considera circuitos dedicados de 2Mbps en cada estación alquilada al portador de telecomunicaciones Telefónica del Perú.

En la tabla 3.4 se indican los costos asociados.

TABLA 3.4 Comparación de costos de enlaces por tecnología

IT	MEDIO DE COMUNICACIÓN	COSTO (SIN IGV) (USD)	OBSERVACIÓN
1	Radioenlace Microondas	127,100.00	Tiempo mínimo de vida 5 años.
2	Fibra Óptica	203,189.00	Tiempo mínimo de vida 20 años.
3	Enlace Alquilado	240,000.00	Estimación 5 años.

3.1.2 Alternativas de solución para la ciudad de Junín

De acuerdo a lo evaluado en el numeral 1.3.2, se desarrollará la alternativa de reutilizar los equipos de microondas para obtener un repetidor pasivo, esto incluye redimensionar las antenas repetidoras, las torres metálicas y las potencias de transmisión, el cual se detallará en el numeral 3.2.

De las tablas anteriores (3.2 y 3.4) se puede apreciar que la opción más económica es utilizar radio enlaces por microondas, la cual se optará como solución del problema.

A la vez se puede reutilizar los equipos de los radio enlaces: CH Callahuanca – Cerro Cantuta y San Isidro – C.T. Santa Rosa., para los radio enlaces: CH Huinco – Ventana 6 y CH Huinco – Toma Sheque, previo análisis del Plan de Frecuencias.

3.2 Solución del problema.

A continuación se procede a realizar los cálculos para la factibilidad de la instalación de las 02 nuevas estaciones y del reemplazo del repetidor activo por uno pasivo. Cabe indicar que los enlaces que requieren migración de redundancia (1+0) a (1+1) HSB sólo se tomarán los parámetros de transmisión/recepción.

Los pasos a desarrollar se indican a continuación:

- Relación de estaciones involucradas en el proyecto
- Plan de frecuencias y topología de Red
- Cuadro de datos topográficos
- Perfil de los enlaces
- Dirección de los enlaces
- Cálculos de propagación
- Cálculos de la claridad del trayecto
- Vista de planta de las estaciones involucradas
- Consideraciones adicionales

3.2.1 Relación de estaciones

En la tabla 3.5 se indican la relación de estaciones existentes en la ciudad de Lima y Junín, los cuales son parte del presente informe.

3.2.2 Planificación de las frecuencias de los radio enlaces

La tabla 3.6 muestra el actual plan de frecuencias, el cual tiene la información necesaria para el diseño de los nuevos enlaces, cabe indicar que en la tabla indicada aparecen los datos de frecuencias de otros radio enlaces en esa banda, esto es con el fin

de evitar las interferencias cuando se diseñe el Plan de frecuencias de los nuevos enlaces.

Con la información de la tabla 3.6, y considerando la reutilización de los equipos de radio de los enlaces: CH Callahuanca – Cerro Cantuta y Sede San Isidro – C.T. Santa Rosa, Sede San Ramón – Cerro Primavera, para los radio enlaces: CH Huinco – Ventana 6, CH Huinco – Toma Sheque y C.H. Yanango – Sede San Ramón respectivamente, se procede a diseñar el plan de frecuencias. En la tabla 3.7 se muestra el plan frecuencias con los nuevos enlaces en los cuales se ha reutilizado los canales de frecuencia del espectro radioeléctrico asignados a la empresa Edegel para la zona de concesión.

TABLA 3.5 Relación actual de estaciones

N°	ESTACIÓN	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		ALTI-TUD (msnm)	ALTURA DE EDIFICIO (m)	ALTURA DE TORRE (m)	EQUIPO DE RADIO
		L.S.	L.O.				
I. Enlace: Sede San Isidro - CT Santa Rosa							
1	Sede San Isidro	12° 05' 47"	77° 02' 14.5"	166	36	15	Alcatel 9407
2	CT Santa Rosa	12° 02' 26.9"	77° 00' 39.7"	227	0	35	Alcatel 9407
II. Enlace: Cerro La Cantuta - C.H. Callahuanca							
1	Cerro La Cantuta	11° 56' 44.4"	76° 40' 40.7"	1742	0	25	Alcatel 9407
2	C.H. Callahuanca	11° 50' 16.9"	76° 37' 34.7"	1394	0	30	Alcatel 9407
III. Enlace: Cerro La Cantuta - Sede Moyopampa							
1	Cerro La Cantuta	11° 56' 44.4"	76° 40' 40.7"	1742	0	18	Alcatel 9407
2	Sede Moyopampa	11° 55' 41.6"	76° 41' 20.3"	938	0	25	Alcatel 9407
III. Enlace: C.H. Huinco - Toma Sheque							
1	C.H. Huinco	11° 45' 37.6"	76° 36' 51.3"	1895	No aplica	No aplica	No aplica
2	Toma Sheque	11° 39' 41.5"	76° 30' 13"	3159	No aplica	No aplica	No aplica
IV. Enlace: C.H. Huinco - Ventana 6							
1	C.H. Huinco	11° 45' 37.6"	76° 36' 51.3"	1895	No aplica	No aplica	No aplica
2	Ventana 6	11° 44' 48.9"	76° 35' 42.3"	3019	No aplica	No aplica	No aplica
V. Enlace: Sede San Ramón – Cerro Primavera – C.H. Yanango							
1	Sede San Ramón	11° 07' 18.4"	75° 21' 16.3"	881	7	15	Alcatel 9402
2	Cerro Primavera	11° 11' 26.3"	75° 28' 40.7"	1945	0	12	Alcatel 9402
3	C.H. Yanango	11° 11' 13.5"	75° 27' 55.2"	1450	0	12	Alcatel 9402

TABLA 3.6 Plan de Frecuencias actual

Nº	ENLACE		FRECUENCIA (MHz)		CAPACIDAD	REDUNDANCIA
	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B	Tx / Rx (A)	Tx / Rx (B)		
1	Sede San Isidro	SET Santa Rosa	7408 / 7247	7247 / 7408	4 E1	1+0
2	Cerro La Cantuta	SET Santa Rosa	7289 / 7128	7128 / 7289	4 E1	1+1
3	Cerro La Cantuta	C.H. Callahuanca	7289 / 7128	7128 / 7289	4 E1	1+0
4	Cerro La Cantuta	C.H. Moyopampa	7408 / 7247	7247 / 7408	4 E1	1+0
5	Cerro La Cantuta	C.H. Huinco	7422 / 7261	7261 / 7422	4 E1	1+0
6	Sede San Ramón	Cerro Primavera (Repetidor Pas.)	2441.75 / 2340.25	2340.25 / 2441.75	2 E1	1+0
7	C.H. Yanango	Cerro Primavera (Repetidor Pas.)	2315.75 / 2417.25	2417.25 / 2315.75	2 E1	1+0

TABLA 3.7 Plan de Frecuencias

Nº	ENLACE		FRECUENCIA (MHz)		CAPACIDAD	REDUNDANCIA	OBS
	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B	Tx / Rx (A)	Tx / Rx (B)			
1	Sede San Isidro	SET Santa Rosa	7408 / 7247	7247 / 7408	4 E1	1+1	Nuevos Equipos
2	Cerro La Cantuta	SET Santa Rosa	7289 / 7128	7128 / 7289	4 E1	1+1	Sin Cambios
3	Cerro La Cantuta	C.H. Callahuanca	7289 / 7128	7128 / 7289	4 E1	1+1	Nuevos Equipos
4	Cerro La Cantuta	C.H. Moyopampa	7408 / 7247	7247 / 7408	4 E1	1+1	Nuevos Equipos
5	Cerro La Cantuta	C.H. Huinco	7422 / 7261	7261 / 7422	4 E1	1+0	Sin Cambios
6	C.H. Huinco	Ventana 6	7408 / 7247	7247 / 7408	4 E1	1+0	Equipo Reutilizado
7	C.H. Huinco	Sheque	7128 / 7289	7289 / 7128	4 E1	1+0	Equipos Reutilizado
8	Sede San Ramón	C.H. Yanango	2441.75 / 2340.25	2340.25 / 2441.75	2 E1	1+0	Equipos Reutilizado

3.2.3 Ubicación de las estaciones para nuevos enlaces

Con los datos de ubicación proporcionados y por medio de las cartas topográficas del I.G.N. (Instituto Geográfico Nacional) en la escala 1:50,000 24J-I y 24J-II, se procede a trazar los posibles trayectos con línea de vista, a fin de diseñar los radioenlaces microondas.

Del análisis realizado se observa que es necesario utilizar repetidores pasivos para obtener línea de vista en el trayecto de los enlaces: C.H. Huinco - Ventana 6, C.H. Huinco - Sheque y C.H. Yanango - San Ramón.

A continuación se muestran las tomas fotográficas de las estaciones:



FIGURA 3.1 Vista de Planta de la C.H. Huinco



FIGURA 3.2 Vista del Cerro Malca desde la Central Hidroeléctrica Huinco

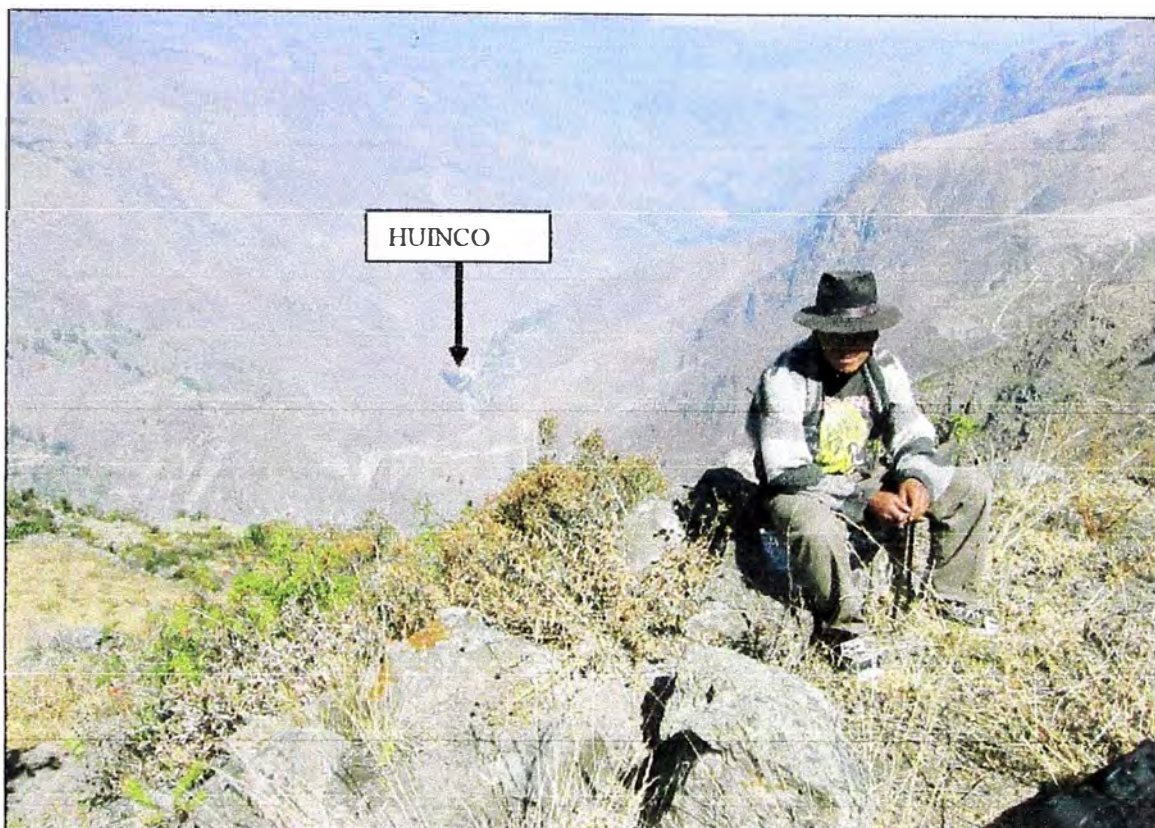


FIGURA 3.3 Vista de la C.H. Huinco desde el Cerro Malca

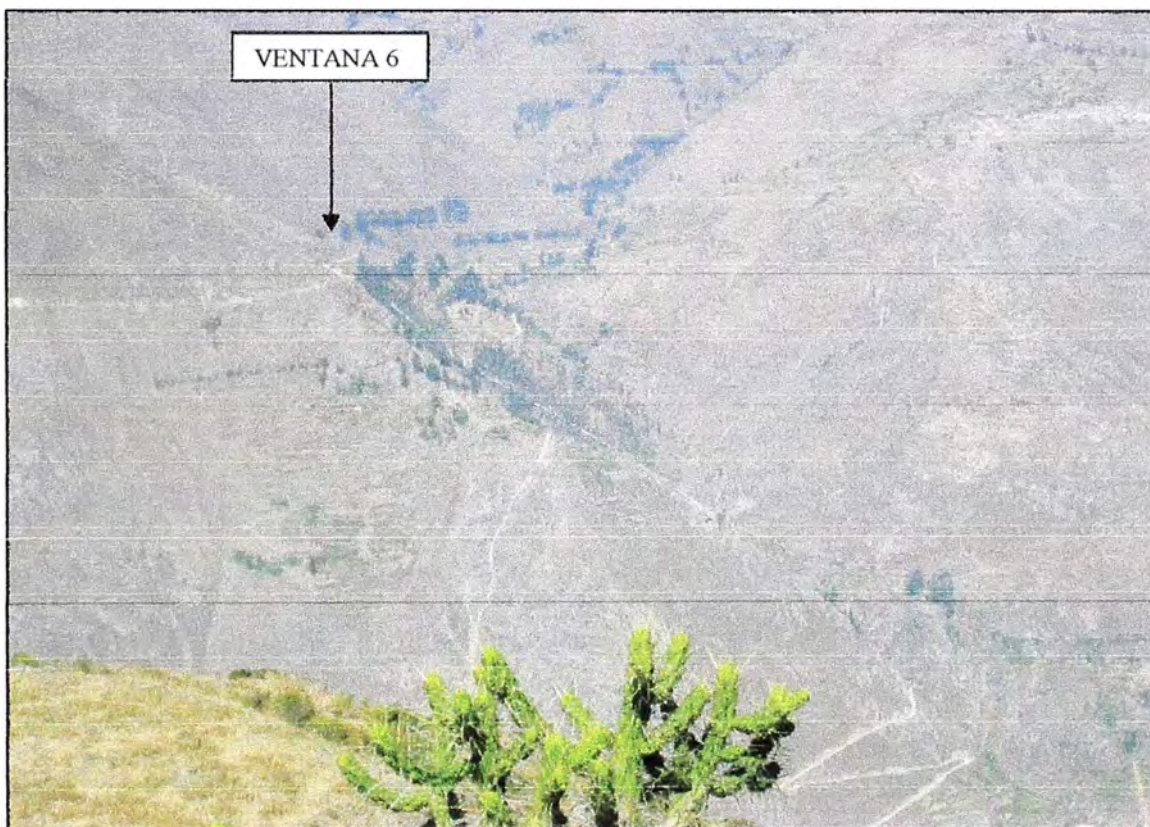


FIGURA 3.4 Vista de Estación Ventana 6 desde el Cerro Malca

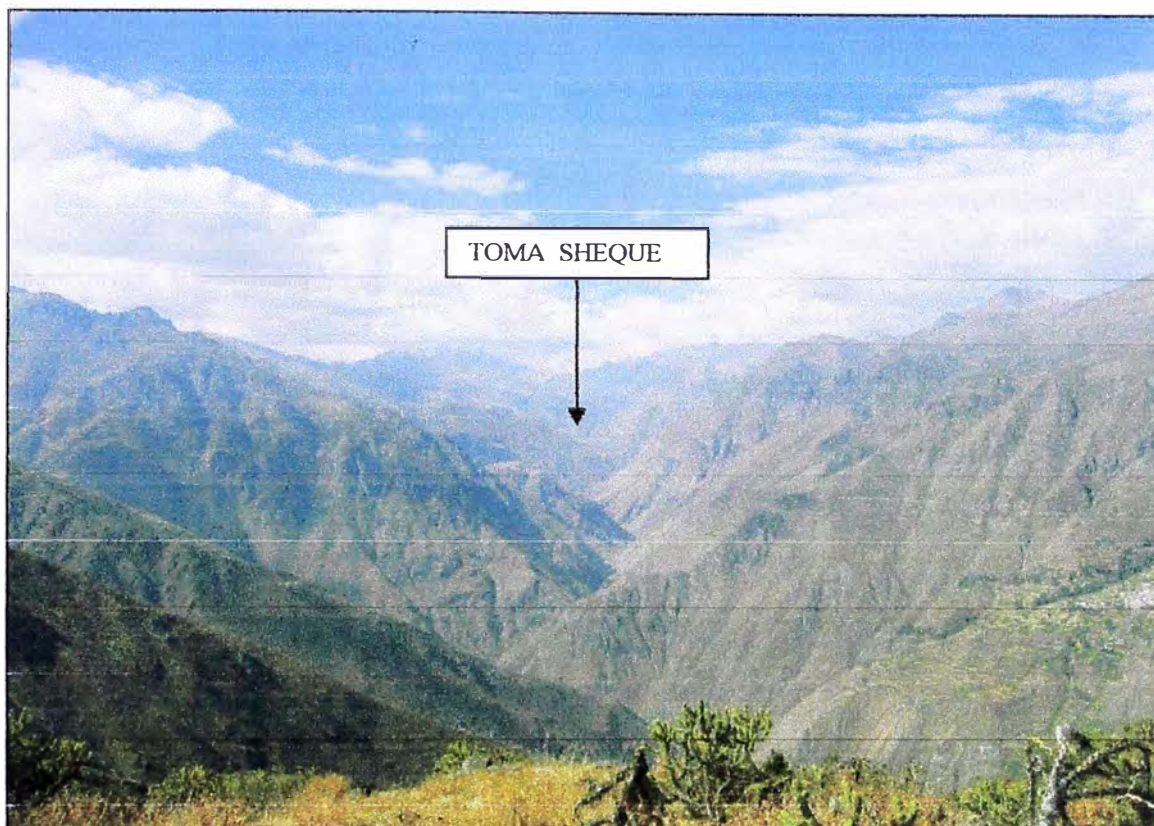


FIGURA 3.5 Vista de Estación Toma Sheque desde el Cerro Malca

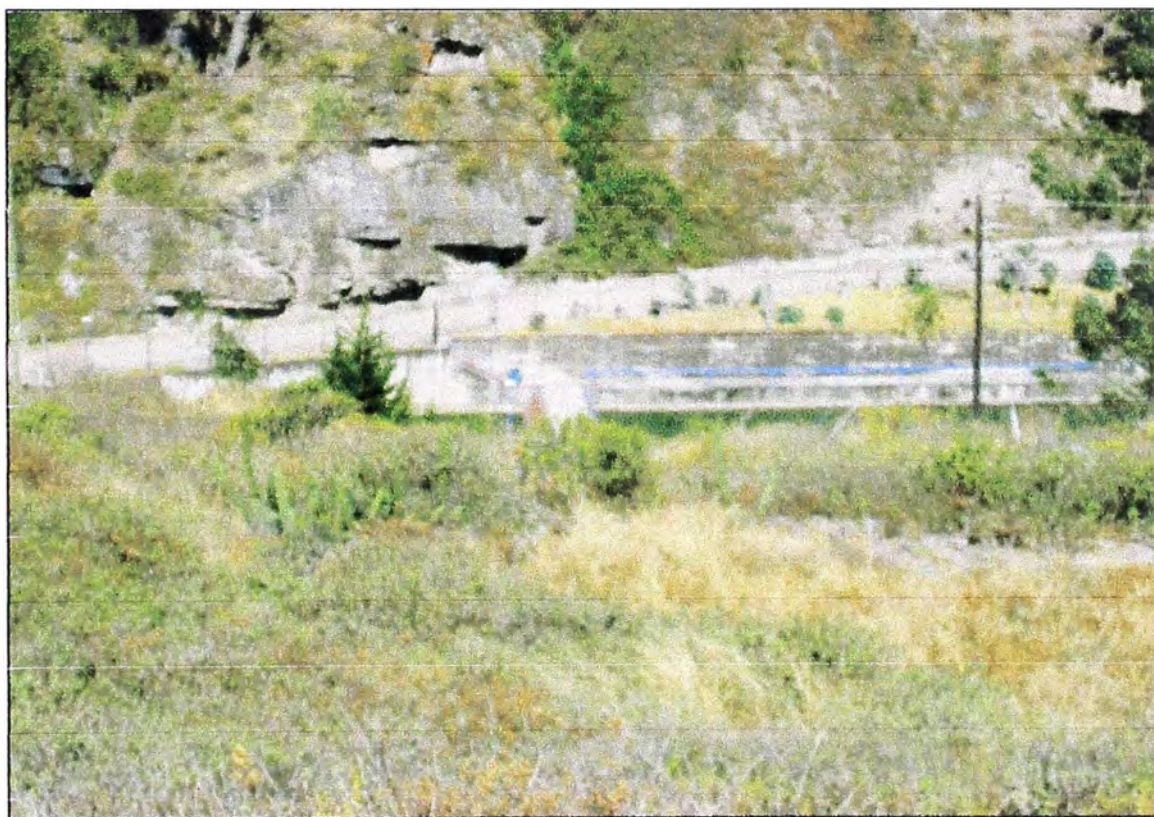


FIGURA 3.6 Vista de Estación Toma Sheque

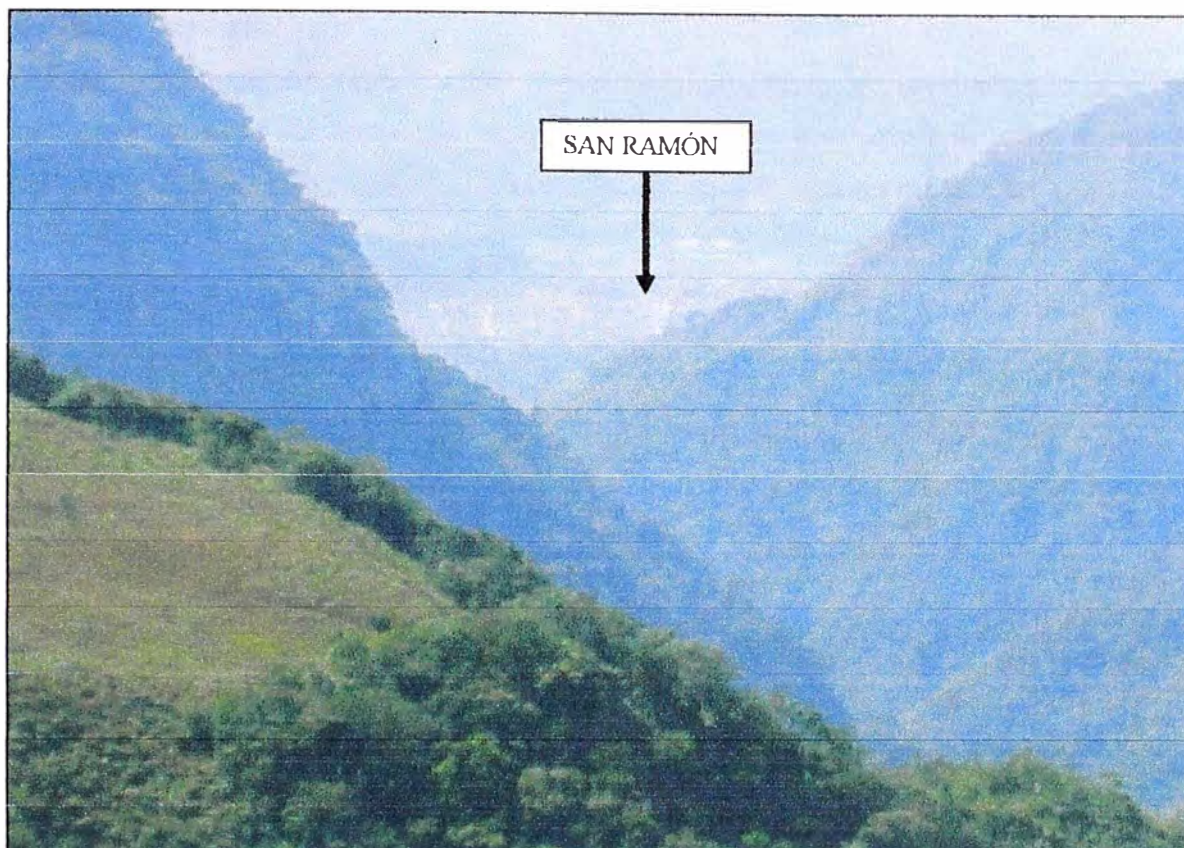


FIGURA 3.7 Vista de la estación San Ramón desde el Cerro Primavera

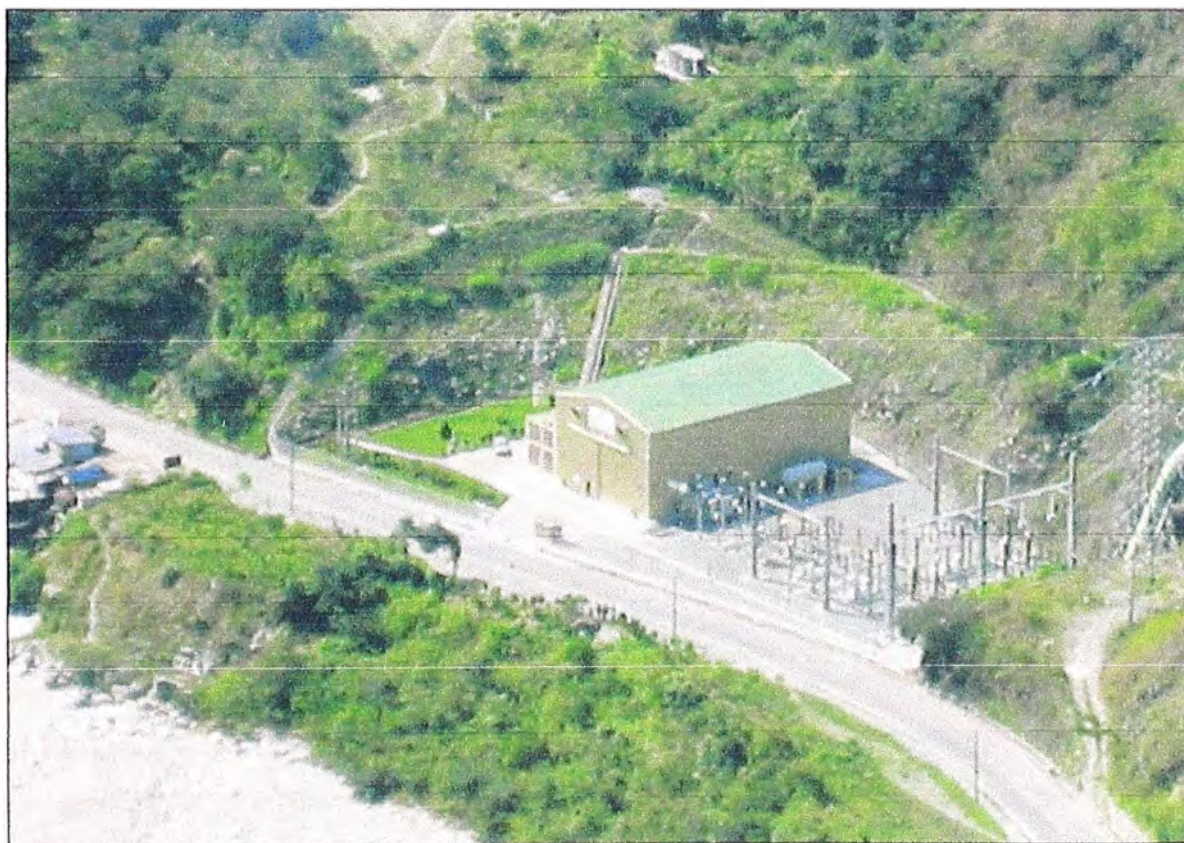


FIGURA 3.8 Vista de la estación C.H. Yanango desde el Cerro Primavera

3.2.4 Datos Topográficos

Con la información obtenida de las cartas geográficas, se ha realizado la visita de campo para la toma de datos de mayor exactitud con instrumentos tales como GPS, altímetro digital y brújula. La información topográfica se indica en tabla 3.8.

TABLA 3.8 Ubicación de estaciones

IT	ESTACIÓN	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		ALTITUD (msnm)	ALTURA DE EDIFICIO (m)	ALTURA DE TORRE (m)
		L.S.	L.O.			
1	Sede San Isidro	12° 05' 47"	77° 02' 14.5"	166	36	15
2	CT Santa Rosa	12° 02' 26.9"	77° 00' 39.7"	227	0	35
3	Cerro La Cantuta	11° 56' 44.4"	76° 40' 40.7"	1742	0	25
4	C.H. Callahuanca	11° 50' 16.9"	76° 37' 34.7"	1394	0	30
5	Sede Moyopampa	11° 55' 41.6"	76° 41' 20.3"	938	0	25
6	C.H. Huinco	11° 45' 37.6"	76° 36' 51.3"	1895	0	Se estimará con el perfil del trayecto
7	Cerro Malca	11° 43' 21.5"	76° 37' 23.7"	3468	0	Se estimará con el perfil del trayecto
8	Ventana 6	11° 44' 48.9"	76° 35' 42.3"	3019	0	Se estimará con el perfil del trayecto
9	Toma Sheque	11° 39' 41.5"	76° 30' 13"	3159	0	Se estimará con el perfil del trayecto
10	San Ramón	11° 07' 18.4"	75° 21' 16.3"	881	0	Se estimará con el perfil del trayecto
11	Cerro Primavera	11° 11' 26.3"	75° 28' 40.7"	1945	0	Se estimará con el perfil del trayecto
12	C.H. Yanango	11° 11' 13.5"	75° 27' 55.2"	1450	0	Se estimará con el perfil del trayecto

3.2.5 Diagrama de Red de microondas

Dado que las ubicaciones han sido determinadas, a continuación se muestra el diagrama de la red de los radio enlaces por microondas, en los cuales se muestran las capacidades de transmisión y redundancia de cada enlace en la figura 3.9 y 3.10.

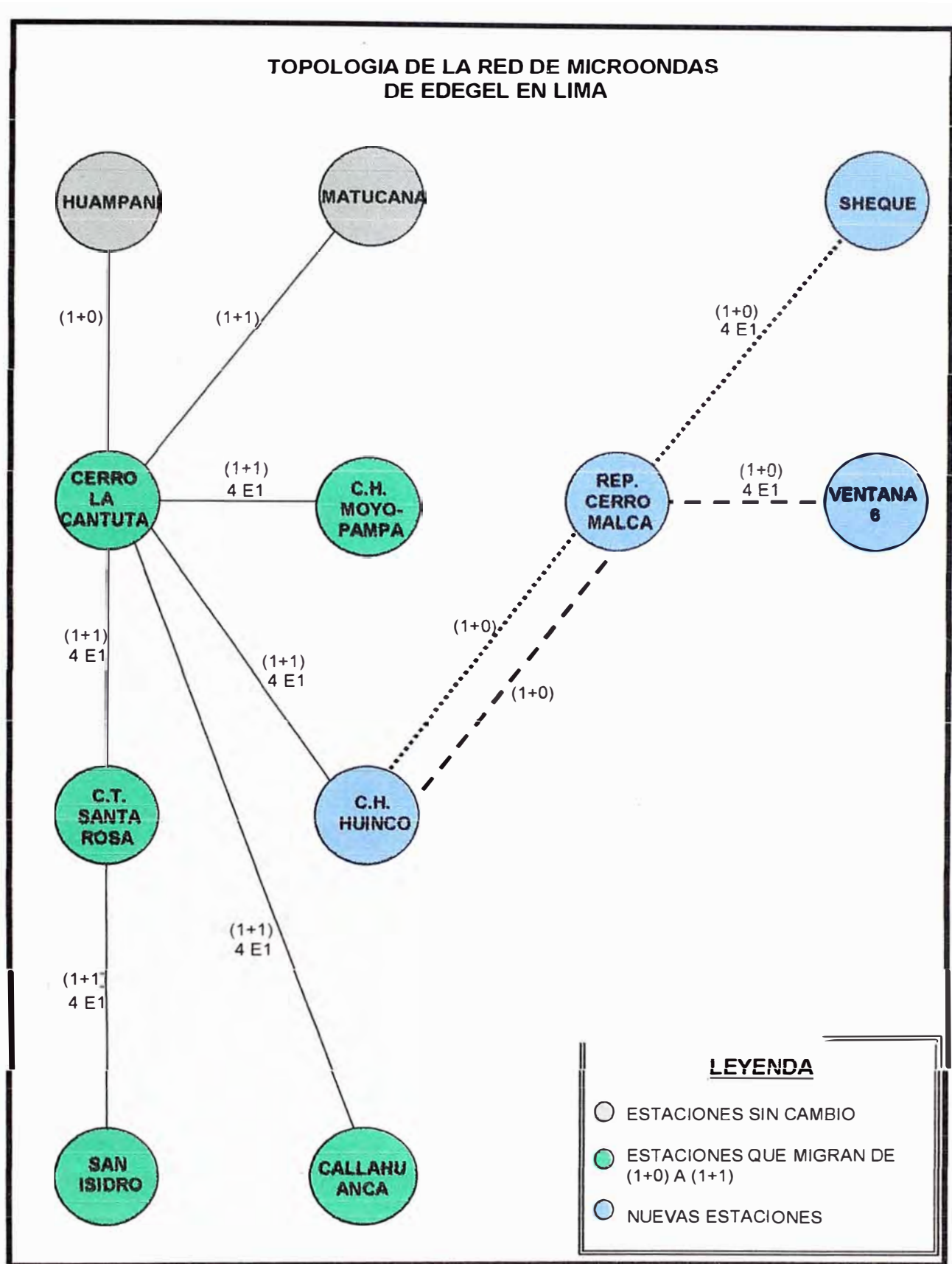


FIGURA 3.9 Topología de Red de Microondas - Lima

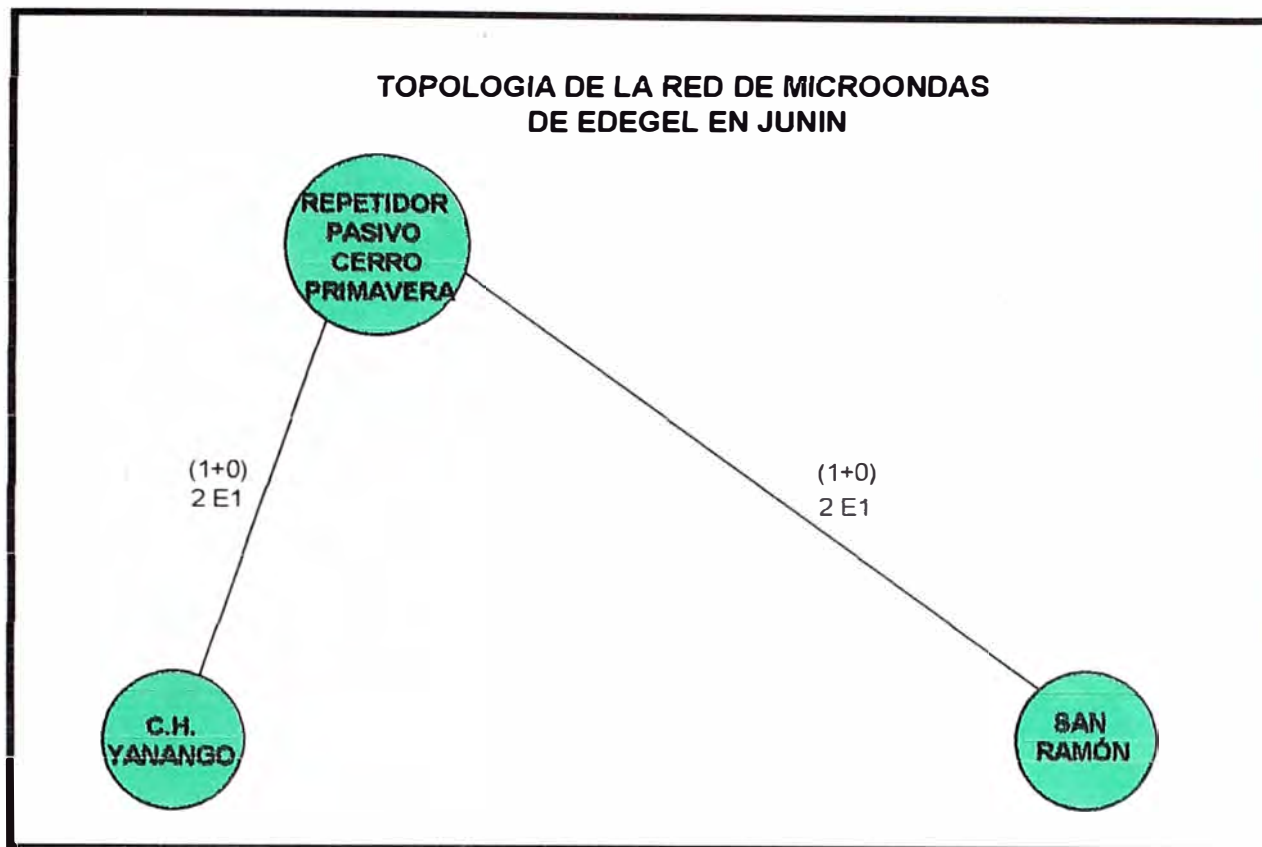


FIGURA 3.10 Topología de Red de Microondas – Junín

3.2.6 Perfil de los trayectos de los enlaces

Con la información brindada en el numeral 3.2.3 y 3.2.4 y por las cartas topográficas del I.G.N. (Instituto Geográfico Nacional) se procede a realizar el trazado de los perfiles de los enlaces, los cuales se realizaron mediante un trazo con una línea recta entre los puntos de ubicación de las estaciones involucradas, tomando datos de las altitudes de cada curva de nivel interceptada por el trazo recto realizado. Con los valores de altitud y distancias se procede a realizar la carga de los datos al software radiopath, un software que muestra el perfil del enlace (considerando el factor de $k=4/3$), las frecuencias de operación son de 2 GHz y 7 GHz necesarias para determinar los radios de la primera zona de Fresnel en los cálculos de claridad. Los cálculos para $k = 2/3$ se realizaron mediante una hoja Excel.

A continuación se muestran los perfiles entre las siguientes estaciones:

- Cerro Malca – C.H. Huinco.
- Cerro Malca – Ventana 6.
- Cerro Malca – Toma Sheque.
- Cerro Primavera – San Ramón.
- Cerro Primavera – Yanango.

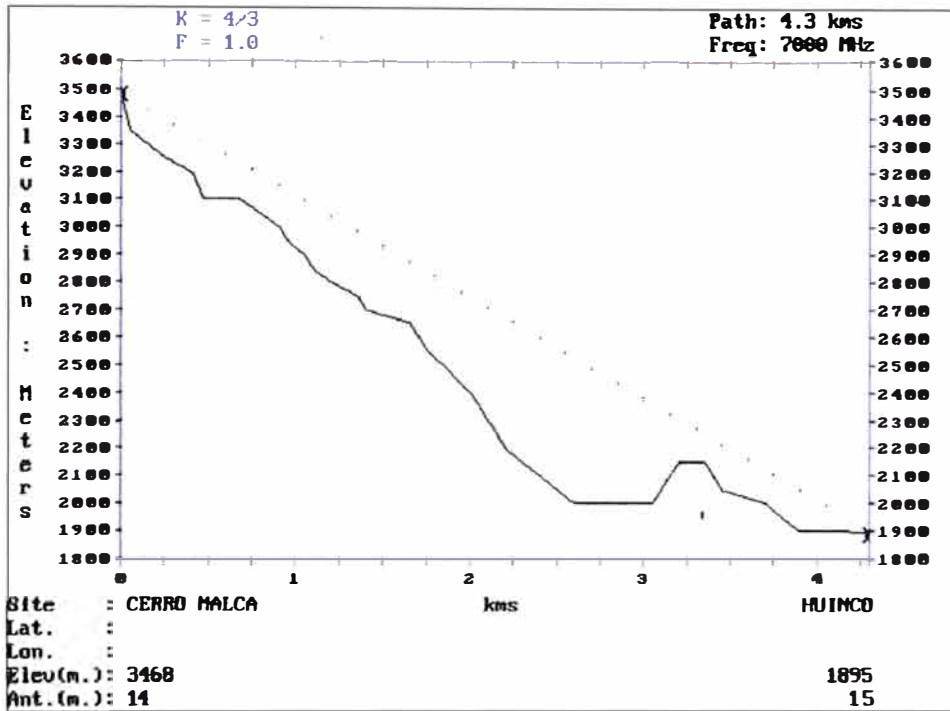


FIGURA 3.11 Perfil Cerro Malca – C.H. Huinco

Nota: Se considera altura de 14 m. para la antena en Cerro Malca y altura de 15 m. para la antena en C.H. Huinco.

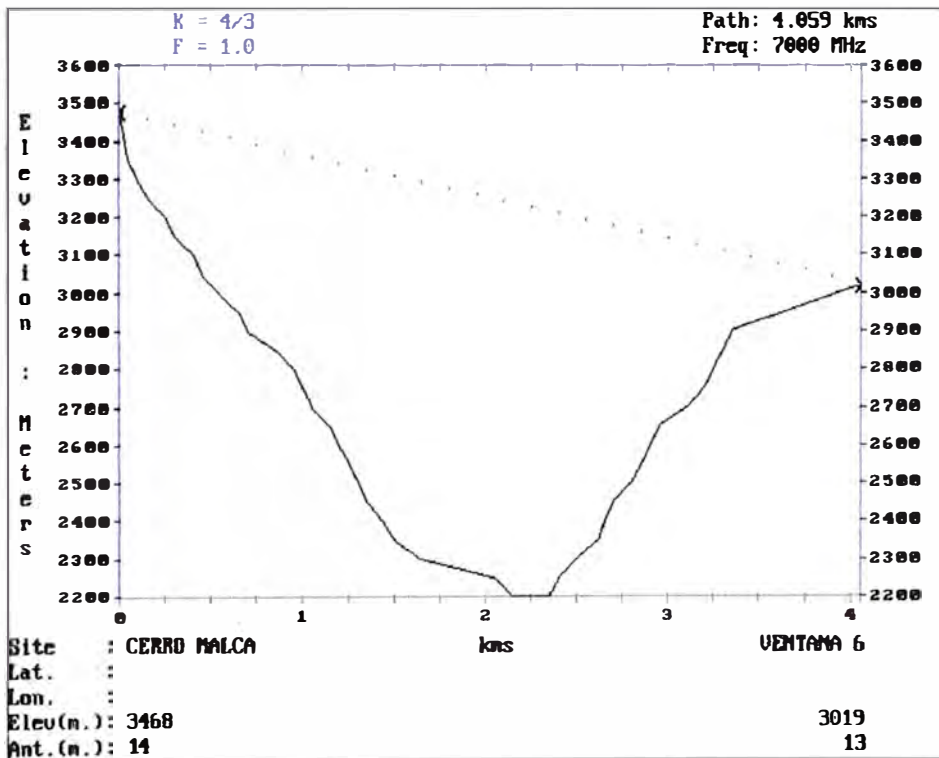


FIGURA 3.12 Perfil Cerro Malca – Ventana 6.

Nota: Se considera altura de 14 m. para la antena en Cerro Malca y altura de 13 m. para antena en Ventana 6.

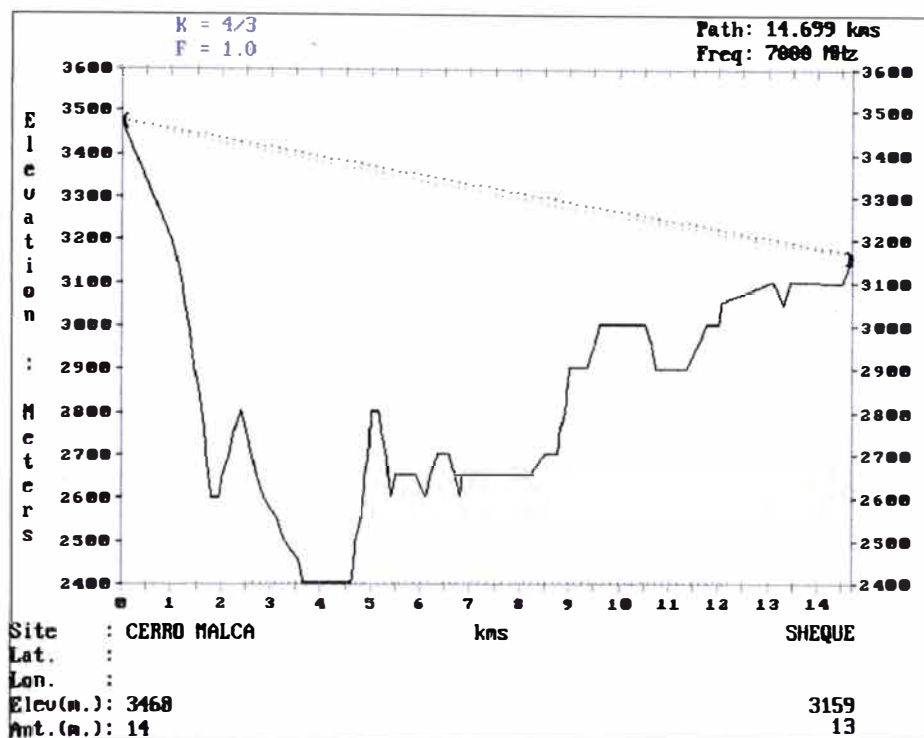


FIGURA 3.13 Perfil Cerro Malca – Toma Sheque

Nota: Se considera altura de 14 m. para la antena en Cerro Malca y altura de 13 m. para antena en Toma Sheque.

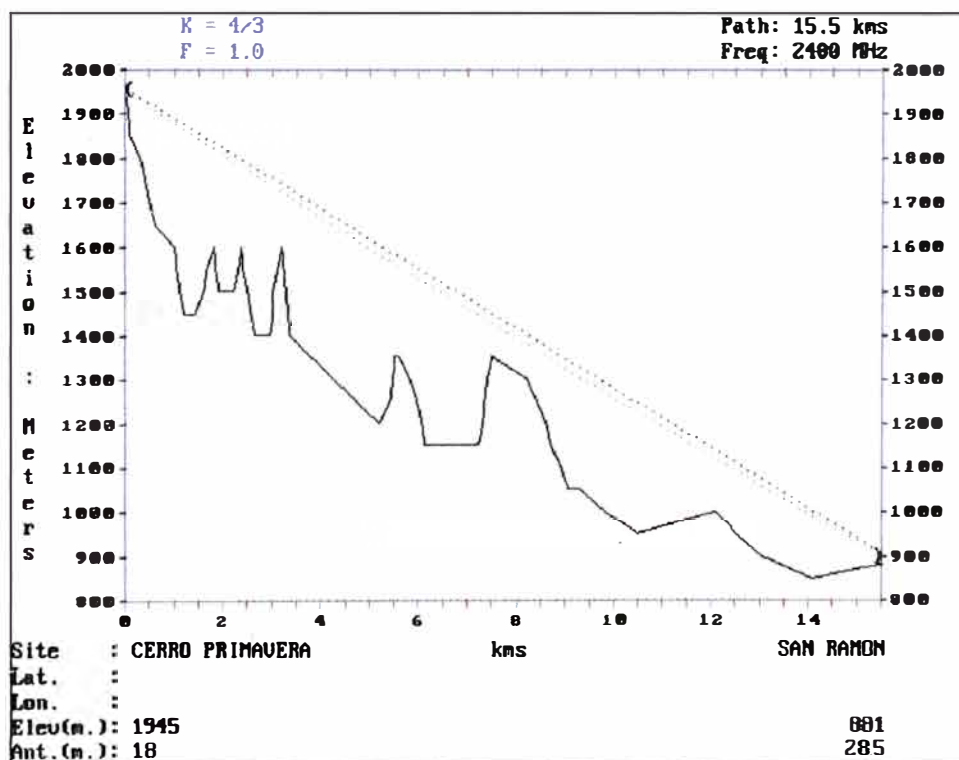


FIGURA 3.14 Perfil Cerro Primavera – San Ramón

Nota: Se considera altura de 18 m. de altura para la antena en Cerro Primavera y altura de 28.5 m. para la antena en San Ramón.

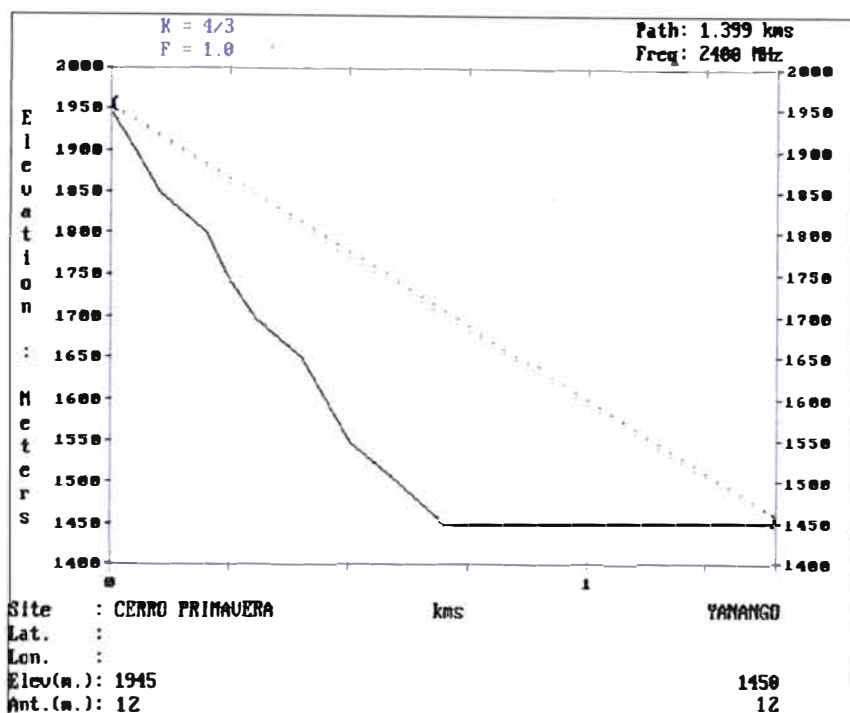


FIGURA 3.15 Perfil Cerro Primavera – San Ramón

Nota: Se considera altura de 12 m. para la antena en Cerro Primavera y altura de 12m. para la antena en C.H. Yanango.

3.2.7 Cálculos de Claridad

Del perfil de los enlaces se puede identificar que hay posibles obstáculos para la claridad de la primera zona de Fresnel, por lo cual se realiza el cálculo del margen de claridad de la primera zona de Fresnel para los perfiles de los enlaces: Cerro Malca – C.H. Huinco y Cerro Primavera – San Ramón, considerando el factor de radio aparente $k = 4/3$ y $k = 2/3$.

a) Claridad del perfil Cerro Malca – C.H. Huinco

De los cálculos mostrados en la tabla 3.9 se puede apreciar que la primera zona de Fresnel no es obstruida en todo el recorrido para valores de $k = 4/3$ y $k = 2/3$, debido a que el margen de claridad es positivo, lo cual permite una línea de vista sin obstrucciones, ver figura 3.16.

b) Claridad del enlace Cerro Primavera – San Ramón

De los cálculos realizados en la tabla 3.10 se puede apreciar que la primera zona de Fresnel no es obstruida en todo el recorrido para valores de $k = 4/3$ y $k = 2/3$, debido a que el margen de claridad es positivo lo cual permite una línea de vista sin obstrucciones, ver figura 3.17.

TABLA 3.9 Cálculo de claridad del perfil Cerro Malca – C.H Huinco.

CLARIDAD : PERFIL CERRO MALCA – C.H. HUINCO			
Descripción		Unid.	Cálculo
Altura de la antena sobre el nivel del mar	h1	m.	3481.00
Altura de la antena sobre el nivel del mar	h2	m.	1903.00
Distancia del Trayecto		Km.	4.30
Distancia al obstáculo (d1 y d2)		Km.	3.38 0.92
Frecuencia Central		GHz.	7.00
Longitud de onda		m.	0.04
Altura del obstáculo sobre msnm (hs)		m.	2145.00
Radio de la primera zona de Fresnel (ho)		m.	5.56
Claridad sobre el obstáculo (hc) para (k=4/3 y k=2/3)		m.	95.44 95.25
Margen de claridad (hcm) para (k=4/3 y k=2/3)		m.	89.88 89.69

TABLA 3. 10 Cálculo de claridad del perfil Cerro Primavera – San Ramón.

CLARIDAD : ENLACE CERRO PRIMAVERA – SAN RAMON			
Descripción		Unid.	Cálculo
Altura de la antena sobre el nivel del mar	h1	m.	1958.00
Altura de la antena sobre el nivel del mar	h2	m.	908.00
Distancia del Trayecto		Km.	15.50
Distancia al obstáculo (d1 y d2)		Km.	7.50 8.00
Frecuencia Central		GHz.	2.00
Longitud de onda		m.	0.15
Altura del obstáculo sobre msnm (hs)		m.	1385.00
Radio de la primera zona de Fresnel (ho)		m.	24.07
Claridad sobre el obstáculo (hc) para (k=4/3 y k=2/3)		m.	61.41 57.88
Margen de claridad (hcm) para (k=4/3 y k=2/3)		m.	37.34 33.81

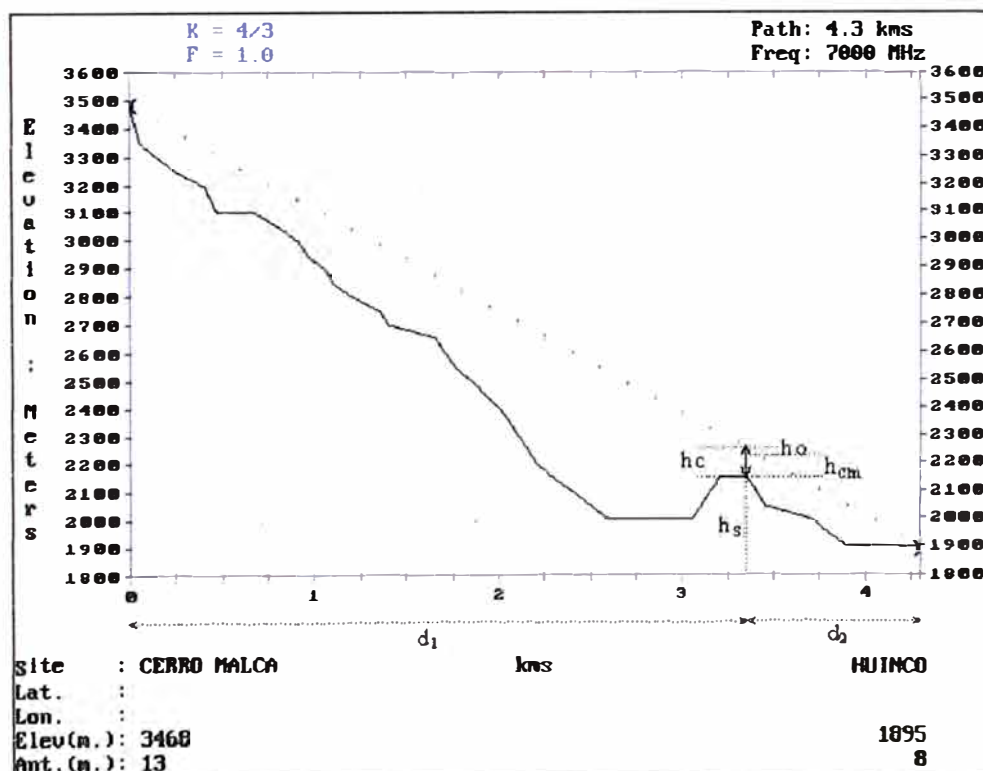


FIGURA 3.16 Claridad del perfil Cerro Malca – C.H. Huinco

Las figuras 3.18 y 3.19 muestran las direcciones de los trayectos de los enlaces de ciudad de Lima y Junín respectivamente.

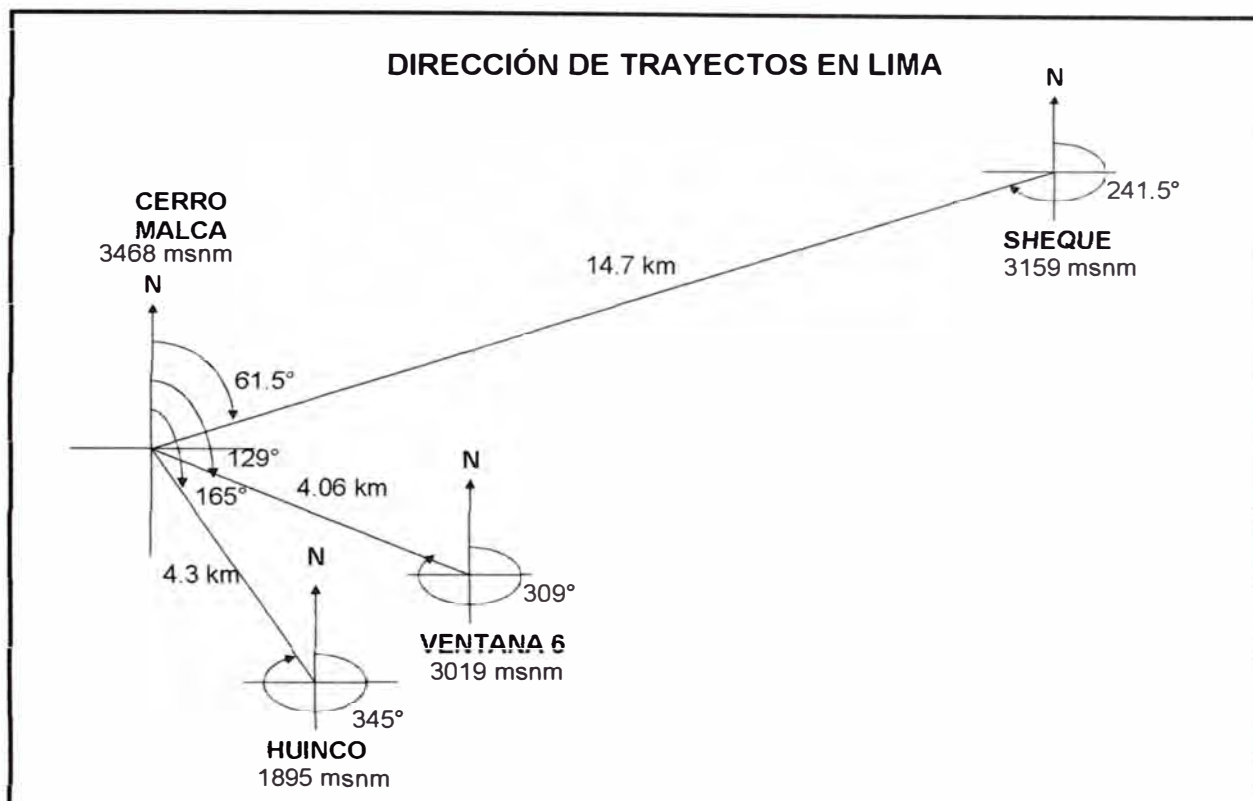


FIGURA 3.18 Dirección de trayectos – Lima

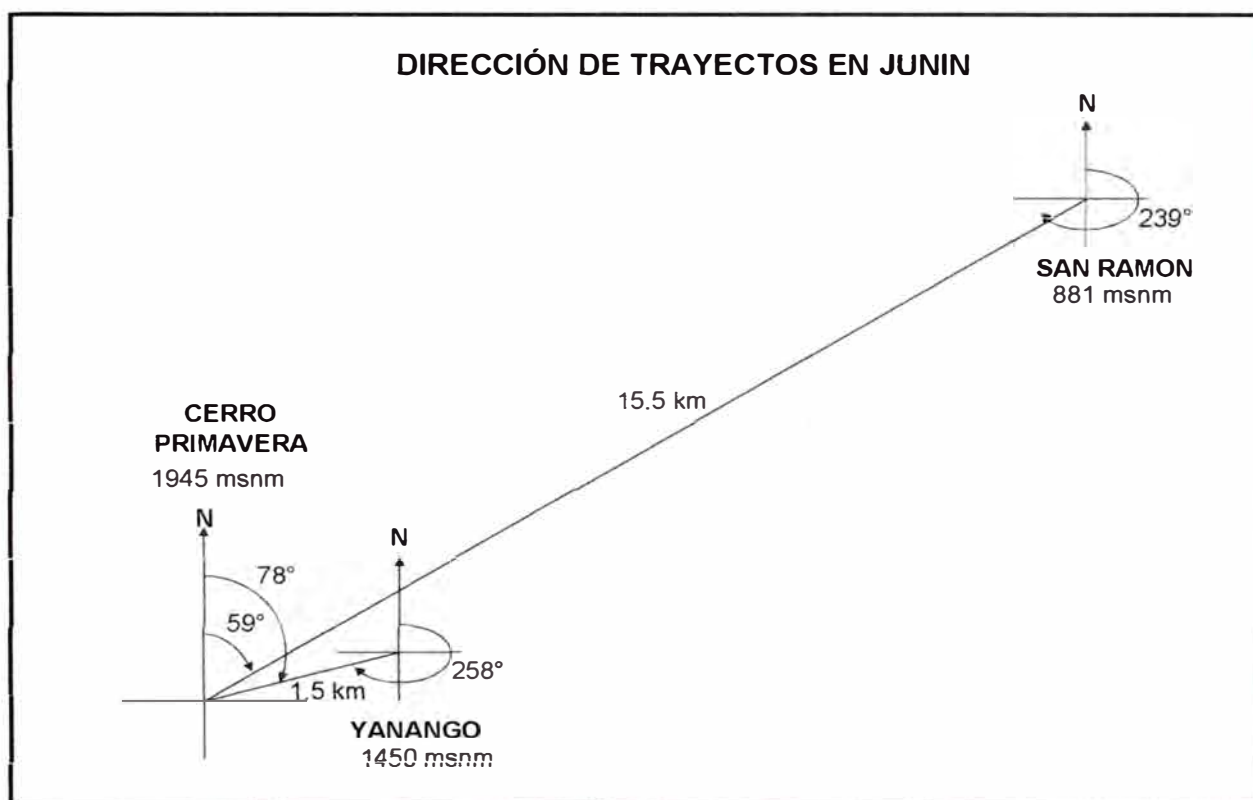


FIGURA 3.19 Dirección del trayecto – Junín

3.2.9 Cálculos de Propagación

De los datos técnicos mostrados en este capítulo y de los catálogos técnicos del equipamiento a utilizar, se elaboran los cálculos de propagación para los siguientes radioenlaces:

- C.H. Huinco - Cerro Malca - Ventana 6,
- C.H. Huinco - Cerro Malca - Toma Sheque.
- C.H. Yanango - Cerro Primavera - San Ramón.

Los cálculos de propagación se indican en las tablas 3.13, 3.14 y 3.15 respectivamente, cabe indicar que no se realizara el cálculo de propagación de los enlaces existentes que solo requieren cambio de equipo para mejorar la redundancia.

En la tabla 3.12 se muestra la longitud de los alimentadores para las antenas microondas por estación.

Para el cálculo de propagación de los radioenlaces de microondas es indispensable considerar la actual condición del equipamiento involucrado, este es el caso para los equipos de radio reutilizados, cuyos valores de potencia de transmisión, niveles de recepción, y pérdidas por filtros, se indican en los cuadros de cálculos de propagación mostrados en las tablas posteriores.

TABLA 3.12 Longitud de alimentadores para las antenas parabólicas

ESTACIÓN	LONGITUD DE ALIMENTADORES	TIPO DE ALIMENTADOR
C.H. Huinco (Fase I)	88 m.	Guía de onda elíptica
C.H. Huinco (Fase II)	90 m.	Guía de onda elíptica
Cerro Malca (Fase I)	8 m.	Guía de onda elíptica
Cerro Malca (Fase II)	6 m.	Guía de onda elíptica
Ventana 6 (Fase I)	33 m.	Guía de onda elíptica
Toma Sheque (Fase II)	18 m.	Guía de onda elíptica
San Ramón	71 m.	Cable Coaxial Heliax
Cerro Primavera	10 m.	Cable Coaxial Heliax
C.H. Yanango	26 m.	Cable Coaxial Heliax

TABLA 3.13 Cálculo de Propagación del radioenlace C.H. Huinco - Cerro Malca - Ventana 6.

**CÁLCULO DE PROPAGACIÓN
RADIOENLACE: C.H. HUINCO - CERRO MALCA - VENTANA 6**

NOMBRE DE LAS ESTACIONES		C.H. HUINCO	REPETIDOR CERRO MALCA	VENTANA 6
ESPACIO LIBRE				
Distancia (d)	Km	4.3	4.06	
Frecuencia (f)	MHz	7408		
20Log(d)	dB	12.66936911	12.17052067	
20Log(f)+32.4	dB	109.7940195	109.7940195	
Pérdida por espacio Libre - FSL	dB	122.4633886	121.9645401	
ALIMENTADOR - Guía de Onda				
Longitud	m	88	8	33
Atenuación	dB/m	0.0611	0.0611	0.0611
Pérdida de alimentadores	dB	5.3768	0.4888	2.0163
FILTROS Y CONECTORES				
Pérdida en los filtros	dB	4	0	4
Pérdida por conectores y otros	dB	0.9	0.6	0.9
Pérdida	dB	4.9	0.6	4.9
ANTENA				
Parabólica (Diámetro)	m	2.4	2.4	2.4
Ganancia (Gt, Gr) (Manual RFS)	dB	43	43	43
TRANSMISIÓN / RECEPCIÓN				
NIVEL DE SALIDA DEL TX (Pt)	dBm	27		27
NIVEL DE ENTRADA AL RX (Pr)	dBm	-59.71		-59.71
RUIDO TÉRMICO				
Nivel de Umbral (BER=10 ⁻³)	dBm	-94		-94
Margen para desv. (Rayleigh)	dB	5.509641585	N/A	
Relación C/N disponible	dB	28.78	N/A	
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN (del enlace de microondas)				
Coeficiente de la trayectoria	Q	2.1E-09	N/A	
Prob. de desvanecimiento (PR)		7.43208E-06		
Margen de desvanecimiento disponible	dB	20.69		
Número positivo de (fd)	#	117.2241594		
Tiempo de interrupción	#	0.000000063		
Tiempo de interrupción (UIT) - Ref: 200Km	#	0.000002090		
Tiempo de interrupción (UIT) - Ref: 200Km	Horas/Año	0.0180576		
Tiempo de Interrupción (Indicado por Edegel)	Horas/Año	5		
Disponibilidad del enlace (Diseño)	%	99.99999366		
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN (de equipos)				
MTBF (Manual alcatel)	Horas	175200	N/A	
MTTR de Alcatel	Horas	6		
Disponibilidad de los equipos	%	99.99657546		

TABLA 3.14 Cálculo de Propagación del radioenlace C.H. Huinco - Cerro Malca – Toma Sheque.

**CÁLCULOS DE PROPAGACIÓN
RADIOENLACE: C.H. HUINCO - CERRO MALCA - TOMA SHEQUE**

NOMBRE DE LAS ESTACIONES		C.H. HUINCO	REPETIDOR CERRO MALCA	TOMA SHEQUE
ESPACIO LIBRE				
Distancia (d)	Km	4.3	14.7	
Frecuencia (f)	MHz	7289		
20Log(d)	dB	12.66936911	23.34634669	
20Log(f)+32.4	dB	109.653359	109.653359	
Pérdida por espacio Libre - FSL	dB	122.3227281	132.9997057	
ALIMENTADOR - Guía de Onda				
Longitud	M	90	6	18
Atenuación	dB/m	0.0611	0.0611	0.0611
Pérdida de alimentadores	dB	5.499	0.3666	1.0998
FILTROS Y CONECTORES				
Pérdida en los filtros	dB	4	0	4
Pérdida por conectores y otros	dB	0.9	0.6	0.9
Pérdida	dB	4.9	0.6	4.9
ANTENA				
Parabólica (Diámetro)	M	3	3	3
Ganancia (Gt, Gr) (Manual RFS)	dB	44.9	44.9	44.9
TRANSMISIÓN / RECEPCIÓN				
NIVEL DE SALIDA DEL TX (Pt)	dBm	27	-	27
NIVEL DE ENTRADA AL RX (Pr)	dBm	-62.09		-62.09
RUIDO TÉRMICO				
Nivel de Umbral (BER=10 ⁻³)	dBm	-94	-	-94
Margen para desv. (Rayleigh)	dB	14.33892839	N.A.	
Relación C/N disponible	dB	17.57	N.A.	
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN (del enlace de microondas)				
Coeficiente de la trayectoria	Q	2.1E-09	N.A.	
Prob. de desvanecimiento (PR)		0.000128999		
Margen de desvanecimiento disponible	Db	18.31		
Número positivo de (fd)	#	67.79795876		
Tiempo de interrupción	#	0.000001903		
Tiempo de interrupción (UIT) - Ref: 200Km	#	0.000004750		
Tiempo de Interrupción (UIT)	Horas/Año	0.04104		
Tiempo de Interrupción (Indicado por Edegel)	Horas/Año	5		
Disponibilidad del enlace	%	99.99980973		
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN (de equipos)				
MTBF (Manual alcatel)	Horas	175200	N.A.	
MTTR de Alcatel	Horas	6		
Disponibilidad de los equipos	%	99.99657546		

TABLA 3.15 Cálculo de Propagación del radioenlace C.H. Yanango - Cerro Primavera – San Ramón.

CÁLCULOS DE PROPAGACIÓN
RADIOENLACE: C.H. YANANGO - CERRO PRIMAVERA - SAN RAMÓN

NOMBRE DE LAS ESTACIONES		C.H. YANANGO	REPETIDOR CERRO PRIMAVERA	SAN RAMON
ESPACIO LIBRE				
Distancia (d)	Km	1.5	15.5	
Frecuencia (f)	MHz	2441.75		
20Log(d)	dB	3.521825181	23.80663396	
20Log(f)+32.4	dB	100.1540239	100.1540239	
Pérdida por espacio Libre - FSL	dB	103.6758491	123.9606579	
ALIMENTADOR – Cable coaxial Heliax				
Longitud	m	26	10	71
Atenuación	dB/m	0.066	0.066	0.066
Pérdida de alimentadores	dB	1.716	0.66	4.686
FILTROS Y CONECTORES				
Pérdida en los filtros	dB	3.78	0	3.92
Pérdida por conectores y otros	dB	0.8	1.13	0.8
Pérdida	dB	4.58	1.13	4.72
ANTENA				
Parabólica (Diámetro)	m	4	4	4
Ganancia (Gt, Gr) (Manual RFS)	dB	37.2	37.2	37.2
TRANSMISIÓN / RECEPCIÓN				
NIVEL DE SALIDA DEL TX (Pt)	dBm	30.00	-	30.00
NIVEL DE ENTRADA AL RX (Pr)	dBm	-62.05	-	-62.17
RUIDO TÉRMICO				
Nivel de Umbral (BER=10 [^] (-3))	dBm	-94	-	-94
Margen para desv. (Rayleigh)	dB	7.431710356	N.A.	
Relación C/N disponible	dB	24.34	N.A.	
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN (del enlace de microondas)				
Coeficiente de la trayectoria	Q	2.1E-09	N.A.	
Prob. de desvanecimiento (PR)		2.35266E-05		
Margen de desvanecimiento disponible	dB	18.17		
Número positivo de (fd)	#	65.6370872		
Tiempo de interrupción	#	0.000000358		
Tiempo de interrupción (UIT) - Ref: 200Km	#	0.000004250		
Tiempo de Interrupción (UIT)	Horas/Año	0.03672		
Tiempo de Interrupción (Indicado por Edegel)	Horas/Año	5		
Disponibilidad del enlace	%	99.99996416		
TIEMPO DE INTERRUPCIÓN (de equipos)				
MTBF (Manual alcatel)	Horas	175200	N.A.	
MTTR de Alcatel	Horas	6		
Disponibilidad de los equipos	%	99.99657546		

3.2.10 Vista de Planta de las torres de Comunicación

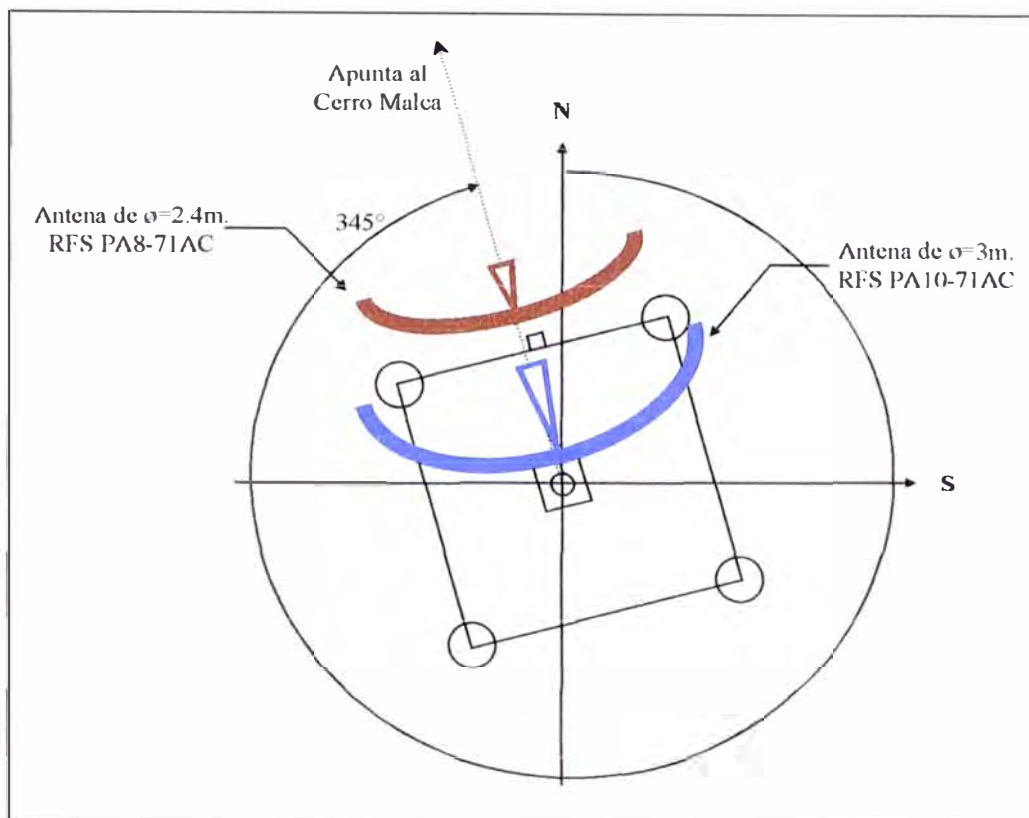


FIGURA 3.20 Vista de Planta de la Torre - C.H. Huinco.

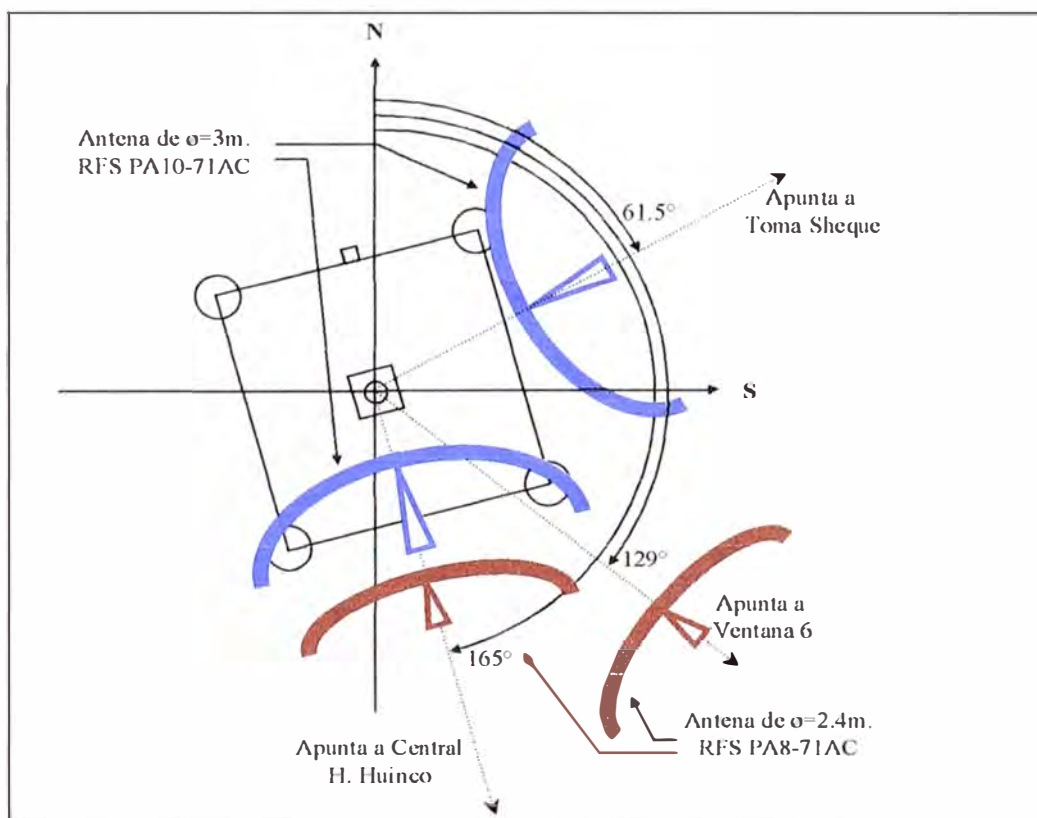


FIGURA 3.21 Vista de Planta de la Torre – Cerro Malca

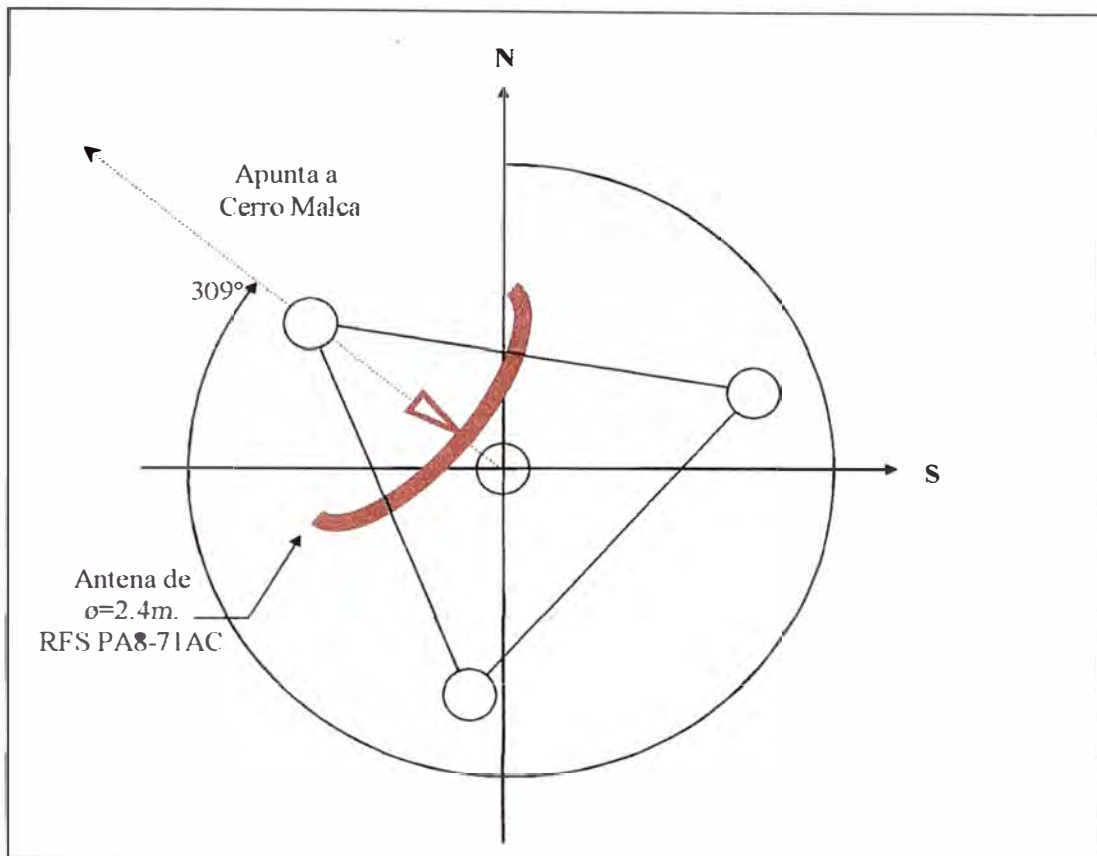


FIGURA 3.22 Vista de Planta de la Torre – Ventana 6.

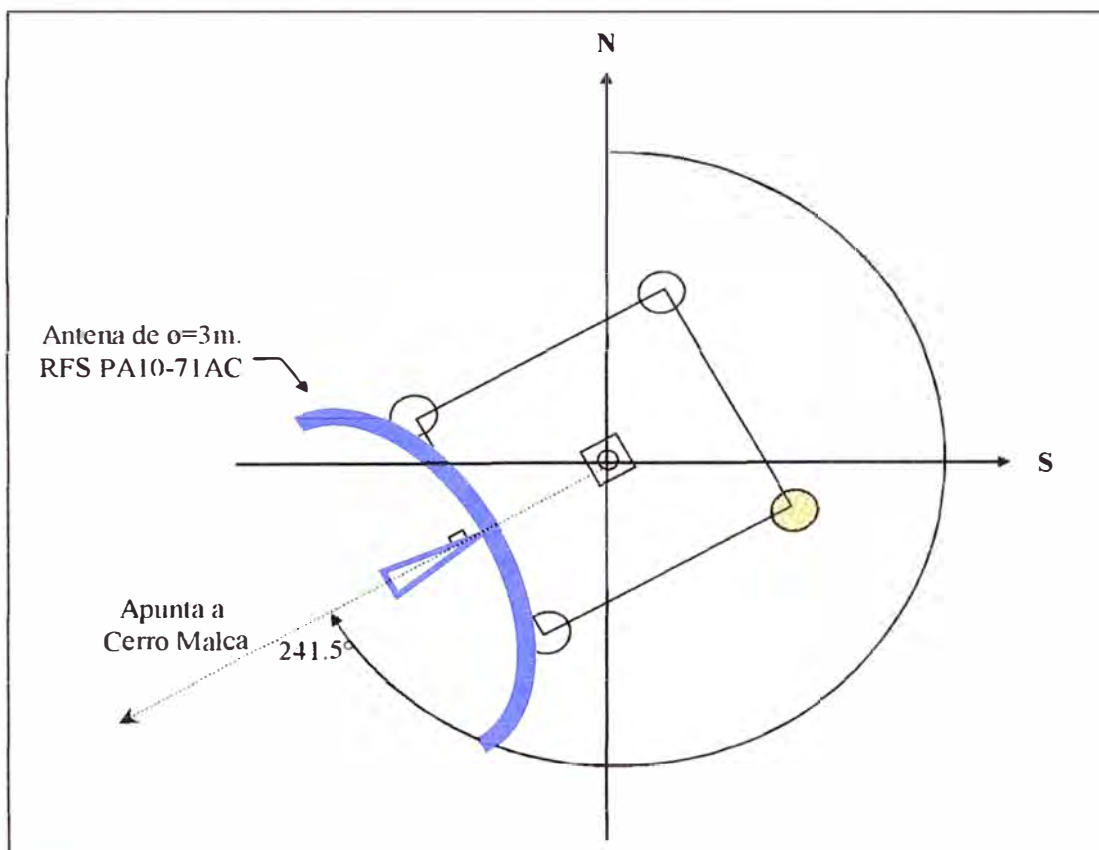


FIGURA 3.23 Vista de Planta de la Torre – Toma Sheque

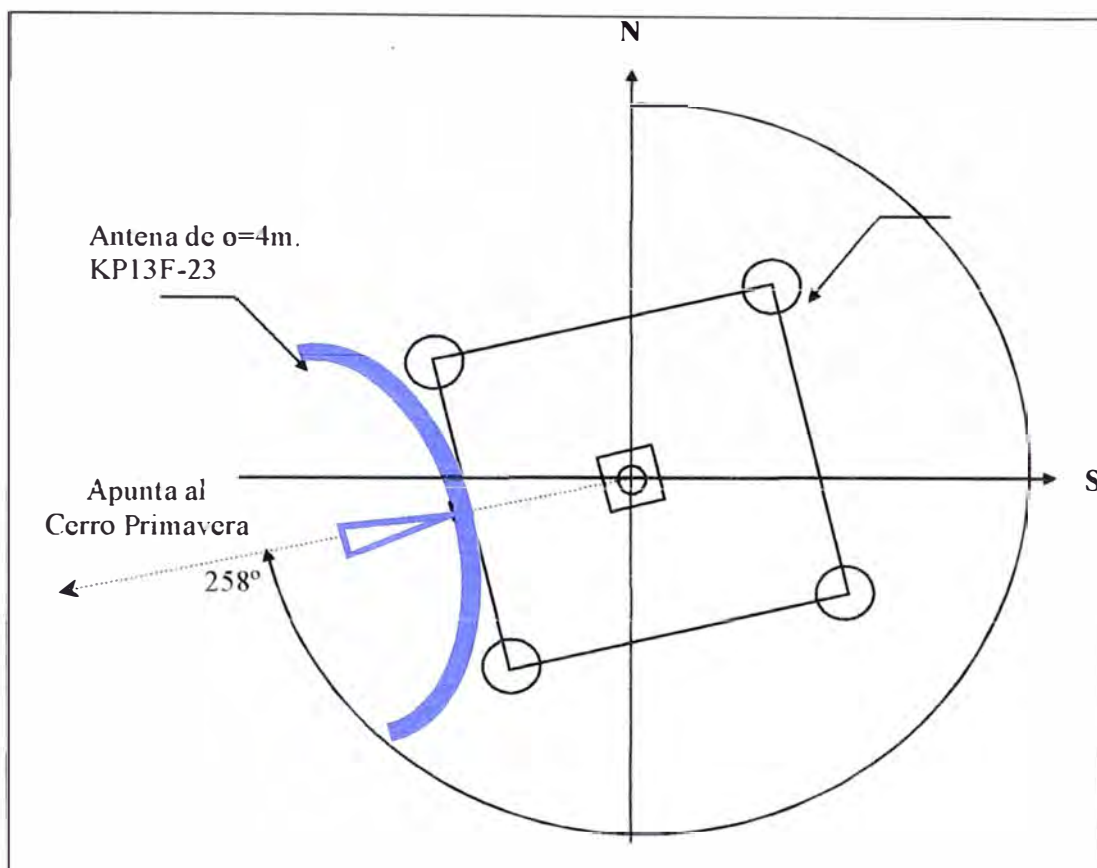


FIGURA 3.24 Vista de Planta de la Torre – C. H. Yanango

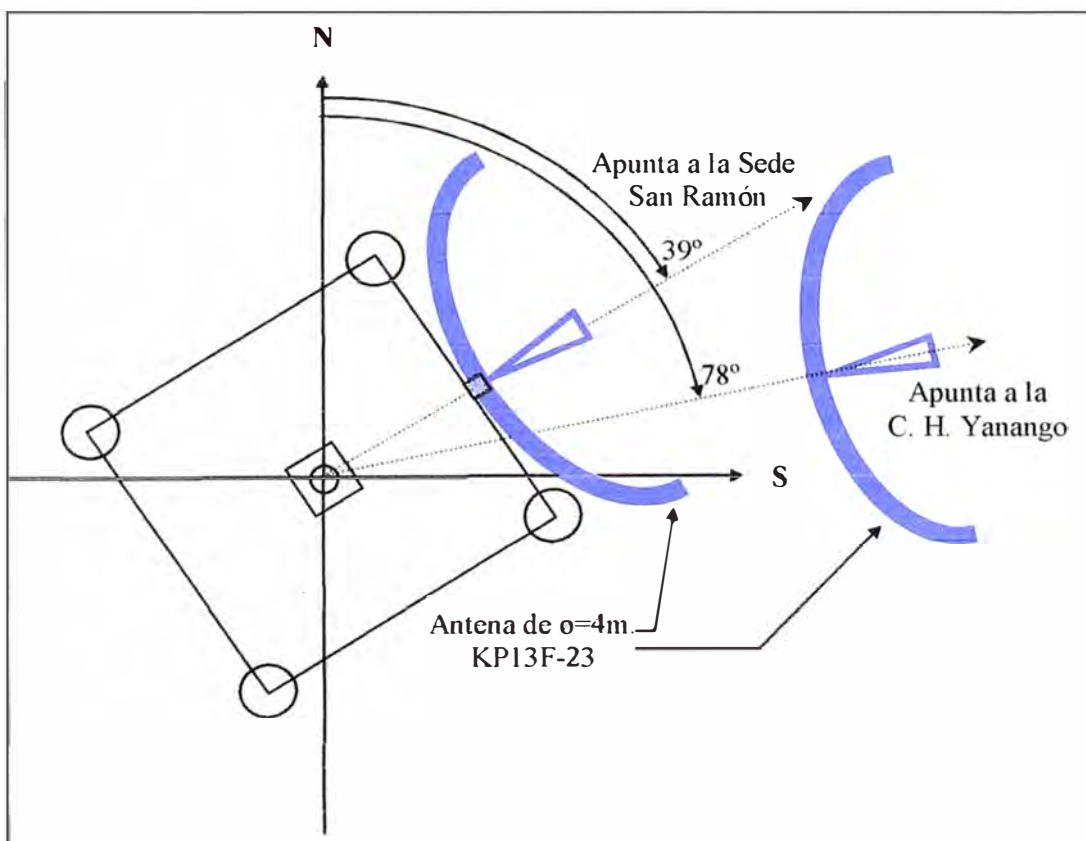


FIGURA 3.25 Vista de Planta de la Torre – Cerro Primavera

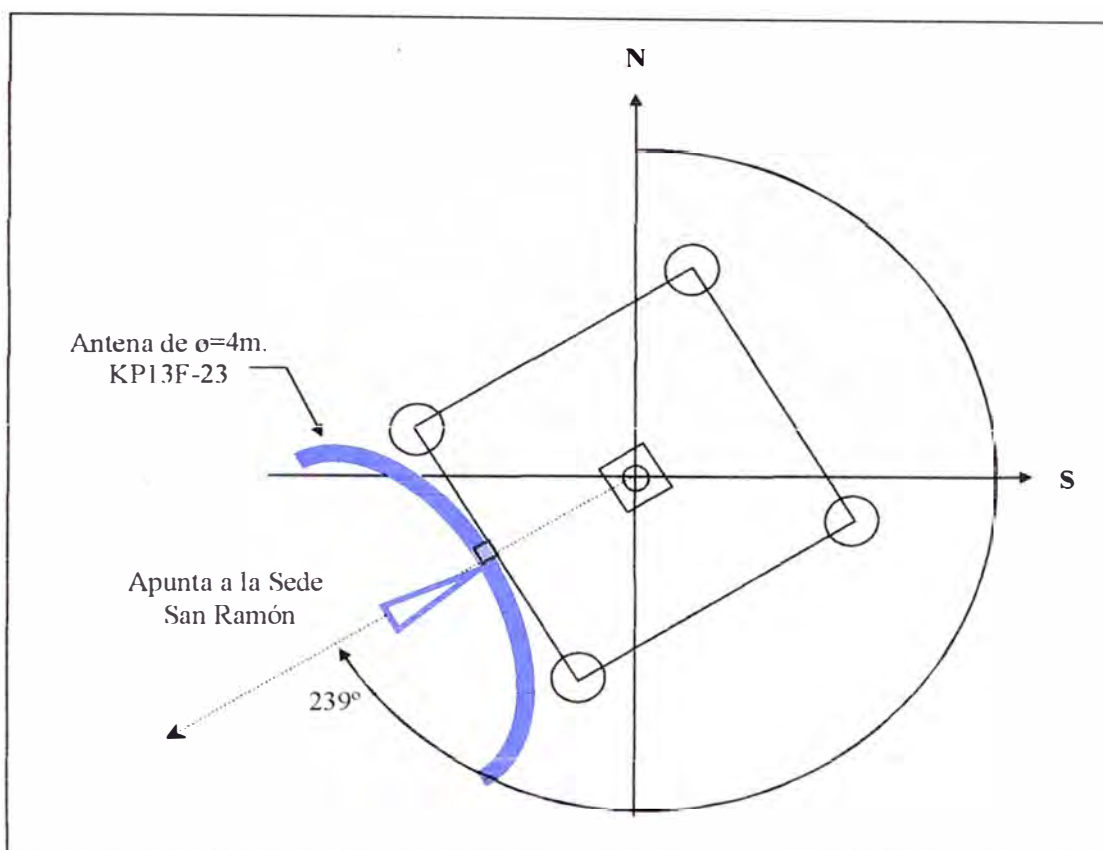


FIGURA 3.26 Vista de Planta de la Torre – San Ramón

3.2.11 Consideraciones adicionales

Para la instalación y puesta en servicio de un sistema de radio enlaces microondas es necesario tener presente las siguientes consideraciones:

- **Ubicación de las estaciones**

La ubicación de las estaciones del presente informe se consideró dentro de la propiedad de la Central Hidroeléctrica, y en áreas pertenecientes a comunidades andinas para las estaciones repetidoras con las respectivas autorizaciones municipales.

En estas estaciones se realizaron estudios de suelo mediante prospecciones a cielo abierto (calicata), para la determinación de las características del subsuelo del área en estudio, esto es necesario para el diseño de la cimentación de las zapatas de la torre de comunicación.

- **Torres de Telecomunicación**

La altura mínima de las torres se determina para que el trayecto del enlace no presente ningún obstáculo dentro de la primera zona de fresnel, posterior a esto el criterio de aumentar la altura a la torre va de acuerdo a la cantidad de antenas a soportar y espacio necesario para la instalación de los alimentadores (guía de onda y cable coaxial).

Las torres de Telecomunicación se diseñan para que la estructura no vire con la cargas de vientos sobre las antenas parabólicas, en nuestro caso el diseño de la estructura de las torres se realizó para que soporten una carga de viento de 200 Km/h sobre las antenas parabólicas. En la tabla 3.16 se indican las alturas de las torres.

TABLA 3.16 Altura de torres de telecomunicaciones por estación.

Nº	ESTACIÓN	ALTURA DE TORRE	TIPO
1	C.H. Huinco	16 m.	Base cuadrada -autosoportada
2	Cerro Malca	16 m.	Base cuadrada -autosoportada
3	Ventana 6	15 m.	Base triangular -autosoportada
4	Toma Sheque	16 m.	Base cuadrada -autosoportada
5	San Ramón	30 m.	Base cuadrada -autosoportada
6	Cerro Primavera	18 m.	Base cuadrada -autosoportada
7	C.H. Yanango	15 m.	Base cuadrada -autosoportada

- **Autorización de Uso del Espectro Radioeléctrico**

Para la operatividad de los radio enlaces por microondas, es necesario obtener la licencia de Operación, el cual es autorizada mediante Resolución Directoral aprobada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La licencia de operación es solicitada mediante una solicitud de autorización de ampliación o nuevas estaciones del servicio fijo privado, el cual va adjunto con el perfil técnico y económico avalado por un ingeniero colegiado hábil en la especialidad de ingeniería electrónica o telecomunicaciones.

- **Suministro de Energía**

La energía comercial de 220 VAC monofásico alimenta la sala de Telecomunicaciones, el cual mediante equipos rectificador de energía a 48 VDC y con banco de baterías de plomo ácido gelificado abastecen la demanda de energía de los equipos de microondas con autonomía mínima de 08 horas. Para el caso de las estaciones repetidoras no es necesario el suministro de energía debido a que estas estaciones están formadas por dos antenas parabólicas que reapuntan la señal de microondas.

Se recomienda el uso de sistemas de paneles solares para el caso de estaciones repetidoras activas en zonas inaccesibles donde no esta disponible energía comercial; sin embargo, con rutas de alta capacidad que usan equipos modernos que son muy sensitivos a la temperatura, el aire acondicionado es obligatorio, la carga de corriente resultante puede resultar impractico para estos sistemas de energía solar.

- **Certificación de equipos**

El Ministerio de transportes y telecomunicaciones es la entidad que certifica los equipos de telecomunicaciones que se instalarán en redes privadas y públicas, el cual lo aprueba mediante un "Certificado de Homologación" que indica que el equipo cumple con estándares internacionales, con particular énfasis en aspectos relacionados al medio ambiente, EMC (Compatibilidad Electromagnética), y espectros transmisión.

3.3 Recursos humanos y equipamiento.

3.3.1 Recursos humanos

A continuación se indica el personal necesario para el desarrollo del presente proyecto:

TABLA 3.17 Relación de personal.

Nº	PERSONAL	TRABAJO A REALIZAR
Personal profesional		
1	Un Ingeniero electrónico	Diseño de la Red de Microondas
2	Un Ingeniero civil	Estudio de suelo de la estación, diseño de la sala de Telecomunicaciones y diseño de zapatas de torre de Telecomunicaciones.
3	Un Ingeniero electricista	Diseño de protección eléctrica de los equipos, sistema de puesta a tierra para equipos de microondas y torres.
Personal técnico		
1	Cinco albañiles	Cimentación de zapatas de torres de telecomunicaciones
2	Tres electricistas	Instaladores de puesta a tierra, equipos de energía
3	Cinco instaladores de Antenas	Instaladores de Antenas

3.3.2 Equipamiento

A continuación se indica el equipamiento por estación, necesario para la implementación del sistema de radio enlaces por microondas:

a. Enlace C.H. Moyopampa - Cerro Cantuta

TABLA 3. 18 Equipamiento de la estación CH. Moyopampa.

Radioenlaces microondas

Nº	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Gabinete de acuerdo al estándar de 19" de ancho y altura de 10 UR (unidades de rack)	01
2	Tarjetas fuentes PSU	02
3	Tarjetas Transmisoras (TX-1 y TX-X)	02
4	Tarjetas Receptoras (RX-1 y RX-X)	02
5	Tarjeta Multiplex and Switching Unit MSU	01
6	Tarjeta de interfaz de afluentes (tributarios)	01
7	Tarjeta de supervisión general GSU	01
8	Llave software	01
9	Interfaz Esc (canal de servicio)	01
10	Manual de Usuario CD	01
11	Conector DB 25 para señales externas.	01
12	SW pack for embedd. Med. Funct (Master)	01

Network management System Products

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	NECTAS Equip. Craft Terminal SW (1320NX)	01
2	9400LX/UX RQ2 NE CT Appli. SW	01
3	9400LX/UX Extend. RQ2 NE CT Appli. SW	01
4	Craft terminal Technical Handbook	01
5	Craft Terminal Cable	01

TABLA 3.19 Equipamiento de la estación Cerro La Cantuta.

Radioenlaces microondas

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Gabinete de acuerdo al estándar de 19" de ancho y altura de 10 UR (unidades de rack)	01
2	Tarjetas fuentes PSU	02
3	Tarjetas Transmisoras (TX-1 y TX-X)	02
4	Tarjetas Receptoras (RX-1 y RX-X)	02
5	Tarjeta Multiplex and Switching Unit MSU	01
6	Tarjeta de interfaz de afluentes (tributarios)	01
7	Tarjeta de supervisión general GSU	01
8	Llave software	01
9	Interfaz Esc (canal de servicio)	01
10	Manual de Usuario CD	01
11	Conector DB 25 para señales externas.	01

b. Enlace C.H. Callahuanca – Cerro La Cantuta

TABLA 3. 20 Equipamiento de la estación C.H. Callahuanca.

Radioenlaces microondas		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Gabinete de acuerdo al estándar de 19" de ancho y altura de 10 UR (unidades de rack)	01
2	Tarjetas fuentes PSU	02
3	Tarjetas Transmisoras (TX-1 y TX-X)	02
4	Tarjetas Receptoras (RX-1 y RX-X)	02
5	Tarjeta Multiplex and Switching Unit MSU	01
6	Tarjeta de interfaz de afluentes (tributarios)	01
7	Tarjeta de supervisión general GSU	01
8	Llave software	01
9	Interfaz Esc (canal de servicio)	01
10	Manual de Usuario CD	01
11	Conector DB 25 para señales externas.	01

TABLA 3. 21 Equipamiento de la estación Cerro La Cantuta.

Radioenlaces microondas		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Gabinete de acuerdo al estándar de 19" de ancho y altura de 10 UR (unidades de rack)	01
2	Tarjetas fuentes PSU	02
3	Tarjetas Transmisoras (TX-1 y TX-X)	02
4	Tarjetas Receptoras (RX-1 y RX-X)	02
5	Tarjeta Multiplex and Switching Unit MSU	01

6	Tarjeta de interfaz de afluentes (tributarios)	01
7	Tarjeta de supervisión general GSU	01
8	Llave software	01
9	Interfaz Esc (canal de servicio)	01
10	Manual de Usuario CD	01
11	Conector DB 25 para señales externas.	01

c. **San Isidro – C.T. Santa Rosa**

TABLA 3.22 Equipamiento de la estación San Isidro

Radioenlaces microondas		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Gabinete de acuerdo al estándar de 19" de ancho y altura de 10 UR (unidades de rack)	01
2	Tarjetas fuentes PSU	02
3	Tarjetas Transmisoras (TX-1 y TX-X)	02
4	Tarjetas Receptoras (RX-1 y RX-X)	02
5	Tarjeta Multiplex and Switching Unit MSU	01
6	Tarjeta de interfaz de afluentes (tributarios)	01
7	Tarjeta de supervisión general GSU	01
8	Llave software	01
9	Interfaz Esc (canal de servicio)	01
10	Manual de Usuario CD	01
11	conector DB 25 para señales externas.	01

TABLA 3.23 Equipamiento de la estación C.T. Santa Rosa.

Radioenlaces microondas		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Gabinete de acuerdo al estándar de 19" de ancho y altura de 10 UR (unidades de rack)	01
2	Tarjetas fuentes PSU	02
3	Tarjetas Transmisoras (TX-1 y TX-X)	02
4	Tarjetas Receptoras (RX-1 y RX-X)	02
5	Tarjeta Multiplex and Switching Unit MSU	01
6	Tarjeta de interfaz de afluentes (tributarios)	01
7	Tarjeta de supervisión general GSU	01
8	Llave software	01
9	Interfaz Esc (canal de servicio)	01
10	Manual de Usuario CD	01
11	Conector DB 25 para señales externas.	01
12	Sw pack para RCT managenet (emulador)	01

d. **Enlaces C.H. Huinco – Cerro Malca – Ventana 6 y C.H. Huinco – Cerro Malca – Toma Sheque.**

TABLA 3. 24 Equipamiento de la estación C.H. Huinco.

Accesorios para instalación de radioenlace		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Conectores BNC para 4 tributarios	02
2	Panel de Distribución para 8x2 para rack de 19"	02
3	Supporting rack de 19"	01

4	Antena RFS estándar de 10 pies de 7.125 - 8.5 GHz.	01
5	Antena RFS estándar de 8 pies de 7.125 - 8.5 GHz.	01
6	Line kit/waveguide E78 PBR84 7.1 - 8.5 GHz	04
7	50m. Waveguide kit/E78 hangers 7.1 - 8.5 GHz - a Ventana 6	01
8	50m. Waveguide kit/E78 hangers 7.1 - 8.5 GHz - a Sheque	01
9	Flexstwiist para 9470LX	02
10	Kit de tierra para cable de guía de onda	02
11	Cable de supervisión 8m.	01
12	Panel de distribución DC para 19" con 4 fusibles	01
13	Equipo Multiplexor Alcatel A1511BA PCM 2Mbps, en configuración Drop and Insert	
	a) Chasis (Subrack de 19")	01
	b) Fuentes de Alimentación (RGPA)	02
	c) Tarjeta PCM 1 E1 para Sheque (PCMC 2BIS)	01
	d) Tarjeta PCM 1 E1 para Ventana 6 (PCMC 2BIS)	01
	e) Tarjeta FXO de 05 CH (SPCM-E3) 03 CH para Sheque y 2 CH para Ventana 6	01
	f) Tarjeta EyM de 15 CH (CHSU-1Ey1M) 05 CH para Sheque y 5 CH para Ventana 6	01
	g) Tarjeta de datos Nx64 de 4CH (Nx64EF) 02CH para Sheque y 02CH para Ventana 6	01
	h) Tarjeta de datos de baja vel. 4CH (RAC) 02CH para Sheque y 02CH para Ventana 6	01
	i) Tarjeta de Gestión (CNCC4)	01
14	Handset	01
Torre de Telecomunicaciones		
1	Torre autosoportada de 16 metros de altura	01
2	Soporte de antena	02
Sistema de protección		
1	Sistema de pararrayos tetrapuntal DHFT-2	01
2	Sistema de puesta a tierra para pararrayos, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica, incluye alineadores de cable, aisladores de loza y pernos.	01
3	Cables de tierra 1/0 para aterrizar pararrayos	01
Sistema de energía		
1	Tablero de Energía Easy Tap de 8 polos monofásico, para AC, empotrable con push botom con barra de tierra.	01
2	Llave térmica General Electric para AC monofásico de 20 Amp. para deshidratador, rectificador y tablero	03
3	Cableado NMT 3x12 AWG, entre el tablero AC y deshidratador.	01
4	Aterramiento del tablero a la barra de tierra existente, con cable SGT 1/0 color amarillo	01
5	Rectificador a 48VDC, modelo ASM 48/1200-8 GFE en configuración (1+1), equipado con 2 módulos de 25 Amp.	01
6	Transformador de aislamiento delta/estrella	01
7	Banco de baterías de plomo acido gelificado marca CND serie ABSOLYTE IIP de 48VDC, 208 AH, tecnología	01
8	Cableado NMT 3x10 AWG, entre el tablero AC, transformador de aislamiento, rectificador y aterramiento	01

TABLA 3.25 Equipamiento de la estación Cerro Malca.

Accesorios para instalación de radioenlace		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Antena RFS estándar de 10 pies de 7.125 - 8.5 GHz.	02
2	Antena RFS estándar de 8 pies de 7.125 - 8.5 GHz.	02
3	Line kit/waveguide E78 PBR84 7.1 – 8.5 GHz	02
4	16m. Waveguide kit/E78 hangers 7.1 - 8.5 GHz	01
4	Line kit/waveguide E78 PBR84 7.1 – 8.5 GHz	02
5	Presurizador manual para guía de onda	01
Torre de Telecomunicaciones		
1	Torre autosoportada de 16 metros de altura	01
2	Soporte de antena	04
Sistema de protección		
1	Sistema de pararrayos tetrapuntal DHFT-2	01
2	Sistema de puesta a tierra para pararrayos, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica, incluye alineadores de cable, aisladores de loza, pernos y accesorios.	01
3	Cables de tierra 1/0 para aterrizar pararrayos	01

TABLA 3.26 Equipamiento de la estación Ventana 6.

Accesorios para instalación de radioenlace		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Conectores BNC para 4 tributarios	01
2	Panel de Distribución para 8x2 para rack de 19"	01
3	Supporting rack de 19"	01
4	Line kit/waveguide E78 PBR84 7.1 - 8.5 GHz	02
5	25m. Waveguide kit/E78 hangers 7.1 - 8.5 GHz con dirección a Huinco	01
6	Flexstwiss para 9470LX	01
7	Kit de tierra para cable de guía de onda	01
8	Panel de distribución DC para 19" con 6 fusibles	01
9	Deshidratador automático RFS APD-72, 220VAC	01
10	Equipo Multiplexor Alcatei A1511BA PCM 2Mbps	
	a) Chasis (Subrack de 19")	01
	b) Fuentes de Alimentación (RGPA)	02
	c) Tarjeta PCM 1 E1 para Huinco (PCMC 2BIS)	01
	d) Tarjeta FXS de 10 CH (SPCM-S4) 03 CH para Huinco	01
	e) Tarjeta EyM de 15 CH (CHSU-1Ey1M) 05 CH para Huinco	01
	f) Tarjeta de datos Nx64 de 4CH (Nx64EF) 02CH para Huinco	01
	g) Tarjeta de datos de baja velocidad 4CH (RAC) 02CH para Huinco	01
	h) Tarjeta de Gestión (CNCC4)	01
11	Handset	01
Torre de Telecomunicaciones		
1	Torre de 15 metros de altura	01
2	Soporte de antena	01
Sistema de protección		
1	Sistema de pararrayos tetrapuntal DHFT-2	01

2	Sistema de puesta a tierra para pararrayos, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica, incluye alineadores de cable, aisladores de loza y pernos.	01
3	Sistema de puesta a tierra para nueva sala telecomunicaciones, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica.	01
4	Cables de tierra 1/0 para aterrizar pararrayos	01
Sistema de energía		
1	Tablero de Energía Easy Tap de 8 polos monofásico, para AC, empotrable con push botom con barra de tierra.	01
2	Llave térmica General Electric para AC monofásico de 20 Amp. para deshidratador, rectificador y tablero	03
3	Cableado NMT 3x12 AWG, entre el tablero AC y deshidratador.	01
4	Aterramiento del tablero a la barra de tierra existente, con cable SGT 1/0 color amarillo	01
5	Rectificador a 48VDC, modelo ASM 48/1200-8 GFE en configuración (1+1), equipado con 2 módulos de 25 Amp.	01
6	Transformador de aislamiento delta/estrella	01
7	Banco de baterías de plomo ácido gelificado marca GNB serie ABSOLUTE IIP de 48VDC, 208 AH.	01
8	Cableado NMT 3x10 AWG, entre el tablero AC, transformador de aislamiento, rectificador y aterramiento.	01

TABLA 3.27 Equipamiento de la estación Toma Sheque.

Accesorio para instalación de radioenlace		
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Conectores BNC para 4 tributarios	01
2	Panel de Distribución para 8x2 para rack de 19"	01
3	Supporting rack de 19"	01
4	Antena RFS estándar de 10 pies de 7.125 - 8.5 GHz.	01
5	Line kit/waveguide E78 PBR84 7.1 – 8.5 GHz	02
6	18m. Waveguide kit/E78 hangers 7.1 - 8.5 GHz con dirección a Huinco	01
7	Flexstwiw para 9470LX	01
8	Kit de tierra para cable de guía de onda	01
9	Panel de distribución DC para 19" con 4 fusibles	01
10	Deshidratador automático RFS APD-72, 220VAC	01
11	Handset	01
12	Panel de distribución DC para 19" con 4 fusibles	01
13	Equipo Multiplexor Alcatel A1511BA PCM 2Mbps	
	a) Chasis (Subrack de 19")	01
	b) Fuentes de Alimentación (RGPA)	02
	c) Tarjeta PCM 1 E1 para Huinco (PCMC 2BIS)	01
	d) Tarjeta FXS de 10 CH (SPCM-S4) 03 CH para Huinco	01
	e) Tarjeta EyM de 15 CH (CHSU-1Ey1M) 05 CH para Huinco	01
	f) Tarjeta de datos Nx64 de 4CH (Nx64EF) 02CH para Huinco	01
	g) Tarjeta de datos de baja velocidad 4CH (RAC) 02CH para Huinco	01

	h) Tarjeta de Gestión (CNCC4)	01
Torre de Telecomunicaciones		
1	Torre autoportada de 16 metros de altura	01
2	Soporte de antena	01
Sistema de protección		
1	Sistema de pararrayos tetrapunta! DHFT-2	01
2	Sistema de puesta a tierra para pararrayos, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica, incluye alineadores de cable, aisladores de loza, pernos y accesorios.	01
3	Sistema de puesta a tierra para nueva sala telecomunicaciones, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica.	01
4	Cables de tierra 1/0 para aterrizar pararrayos	01
Sistema de energía		
1	Tablero de Energía Easy Tap de 8 polos monofásico, para AC, empotrable con push botom con barra de tierra.	01
2	Llave térmica General Electric para AC monofásico de 20 Amp. para deshidratador, rectificador y tablero	03
3	Cableado NMT 3x12 AWG, entre el tablero AC y deshidratador.	01
4	Aterramiento del tablero a la barra de tierra existente, con cable SGT 1/0 color amarillo	01
5	Rectificador a 48VDC, modelo ASM 48/1200-8 GFE en configuración (1+1), equipado con 2 módulos de 25 Amp.	01
6	Transformador de aislamiento delta/estrella	01
7	Banco de baterías de plomo ácido gelificado marca GNB serie ABSOLYTE IIP de 48VDC, 208 AH.	01
8	Cableado NMT 3x10 AWG, entre el tablero AC, transformador de aislamiento, rectificador y aterramiento.	01

e. Enlaces C.H. Yanango – Cerro Primavera – San Ramón

TABLA 3.28 Equipamiento de la estación C.H. Yanango.

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
Accesorios para instalación de radioenlace		
1	Antena Andrew estándar de 13 pies de 2.3 - 2.5 GHz, modelo KP13F-23	01
2	30m. Cable heliax Andrew de 7/8" LDF5-50 ^a	01
3	Conectores L5P NM-RPC	02
4	Kit de tierra para cable heliax	01
5	Clamps de sujeción de cable coaxial	01
Torre de Telecomunicaciones		
1	Torre autoportada de 15 metros de altura	01
2	Soporte de antena	01
Sistema de protección		
1	Sistema de pararrayos tetrapunta! DHFT-2	01
2	Sistema de puesta a tierra para pararrayos, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica, incluye alineadores de cable, aisladores de loza y pernos	01

TABLA 3.29 Equipamiento de la estación C.H. Primavera.

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
Accesorios para instalación de radioenlace		
1	Antena Andrew estándar de 13 pies de 2.3 - 2.5 GHz, modelo KP13F-23	02
2	05m. Cable heliax Andrew de 7/8" LDF5-50 ^a	01
3	Conectores L5P NM-RPC	02
4	Kit de tierra para cable heliax	01
5	Clamps de sujeción de cable coaxial	05
Torre de Telecomunicaciones		
1	Torre autosoportada de 18 metros de altura	01
2	Soporte de antena	02
Sistema de protección		
1	Sistema de pararrayos tetrapuntal DHFT-2	01
2	Sistema de puesta a tierra para pararrayos, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica, incluye alineadores de cable, aisladores de loza, pernos y accesorios.	01
3	Cables de tierra 1/0 para aterrizar pararrayos	01

TABLA 3.30 Equipamiento de la estación San Ramón.

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.
Accesorios para instalación de radioenlace		
1	Antena Andrew estándar de 13 pies de 2.3 - 2.5 GHz, modelo KP13F-23	01
2	50m. Cable heliax Andrew de 7/8" LDF5-50A	01
3	Conectores L5P NM-RPC	02
4	Kit de tierra para cable heliax	01
5	Clamps de sujeción de cable coaxial	50
Accesorios para instalación de radioenlace		
1	Torre autosoportada de 30 metros de altura	01
2	Soporte de antena	01
Sistema de protección		
1	Sistema de pararrayos tetrapuntal DHFT-2	01
2	Sistema de puesta a tierra para pararrayos, del tipo cemento conductor con soldadura exotérmica, incluye alineadores de cable, aisladores de loza, pernos y accesorios.	01
3	Cables de tierra 1/0 para aterrizar pararrayos	01

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 Análisis descriptivo de las variables de estudio.

Las variables en estudio son los valores de los niveles de potencia de recepción de los equipos de microondas en cada estación de los 03 enlaces diseñados.

4.2 Análisis teórico de los datos

Del numeral 3.2.9 del capítulo anterior, se puede observar que los niveles de potencia de recepción calculados teóricamente son los recomendados para la confiabilidad del sistema. En la tabla 4.1 se muestra un resumen de las potencia de recepción calculadas teóricamente.

TABLA 4. 1 Niveles de potencia de recepción calculadas teóricamente

Nº	ESTACIÓN	POTENCIA TEÓRICA	
		Tx	Rx
1	C.H. Huinco	27 dBm	-59.71 dBm
2	Ventana 6	27 dBm	-59.71 dBm
3	C.H. Huinco	27 dBm	-62.09 dBm
4	Toma Sheque	27 dBm	-62.09 dBm
5	San Ramón	30 dBm	-62.05 dBm
6	C.H. Yanango	30 dBm	-62.17 dBm

4.3 Presentación de resultados

Se realiza la comparación de los niveles de recepción teórico y real, en la tabla 4.2 se observa valores permisibles para el enlace San Ramón-Cerro Primavera-C.H. Yanango con diferencias de 0.83 dB y 2.95 dB que no implican en la confiabilidad del enlace.

Para el enlace de C.H. Huinco-Cerro Malca-Ventana6 y Toma Sheque, se observa que hay diferencias de 4.9 a 8.91 dB, esta variación abrupta se estima que es debido a las pérdidas por la variación climáticas y/o reflexión en algún punto del trayecto del enlace que no sido identificado. A la vez los niveles obtenidos en la condiciones actuales en los enlaces Huinco - Sheque y Huinco - Ventana 6 son definitivamente valores bastante estables y con un margen de protección del enlace superior a 20dB, ya que el nivel umbral de corte para estos equipos esta en los -94 dBm, tal como se puede apreciar en las especificaciones técnicas.

TABLA 4. 2 Comparación de los niveles de recepción teóricos y reales

N°	ESTACIÓN	POT. TEÓRICA		POT. REAL		VARIACIÓN de Rx
		Tx	Rx	Tx	Rx	
1	C.H. Huinco	27 dBm	-59.71 dBm	27 dBm	-64.00 dBm	-4.29 dB
2	Ventana 6	27 dBm	-59.71 dBm	27 dBm	-67.71 dBm	-8.00 dB
3	C.H. Huinco	27 dBm	-62.09 dBm	27 dBm	-71.00 dBm	-8.91 dB
4	Toma Sheque	27 dBm	-62.09 dBm	27 dBm	-70.00 dBm	-7.91 dB
5	San Ramón	30 dBm	-62.05 dBm	30 dBm	-65.00 dBm	-2.95 dB
6	C.H. Yanango	30 dBm	-62.17 dBm	30 dBm	-63.00 dBm	-0.83 dB

Los niveles de transmisión y recepción para los radioenlaces que migración a configuración (1+1) se indican en la tabla 4.3, en este caso el sistema opera de la siguiente manera:

- El sistema utiliza dos emisores a la misma frecuencia.
- Sólo transmite uno de ellos mientras que el otro lo reemplaza en caso de avería.
- En la recepción, la señal es enviada a dos receptores por un divisor de potencia.

TABLA 4.3 Comparación de los niveles de recepción teóricos y reales

N°	ESTACIÓN	POT. INICIAL (dBm)		POT. FINAL (dBm)			
		Tx	Rx	Tx1	Tx2	Rx1	Rx2
1	Sede Moyopampa -I	27.00	-59.71	28.34	27.61	-39.16	-39.12
2	Cerro La Cantuta -I	27.00	-59.71	28.23	28.13	-40.25	-40.25
3	C.H. Callahuanca -II	27.00	-62.09	28.83	28.53	-44.70	-44.65
4	Cerro La Cantuta -II	27.00	-62.09	30.23	30.88	-45.30	-44.90
5	Sede San Isidro	27.00	-62.05	29.10	30.20	-53.00	-53.16
6	C.T. Santa Rosa	27.00	-62.17	29.65	29.25	-50.90	-51.10

En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se muestra la captura realizada con el software Nectas 1320 del equipo de radio Alcatel y en las figuras 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 se muestran las fotos de las estaciones puestas en servicio.

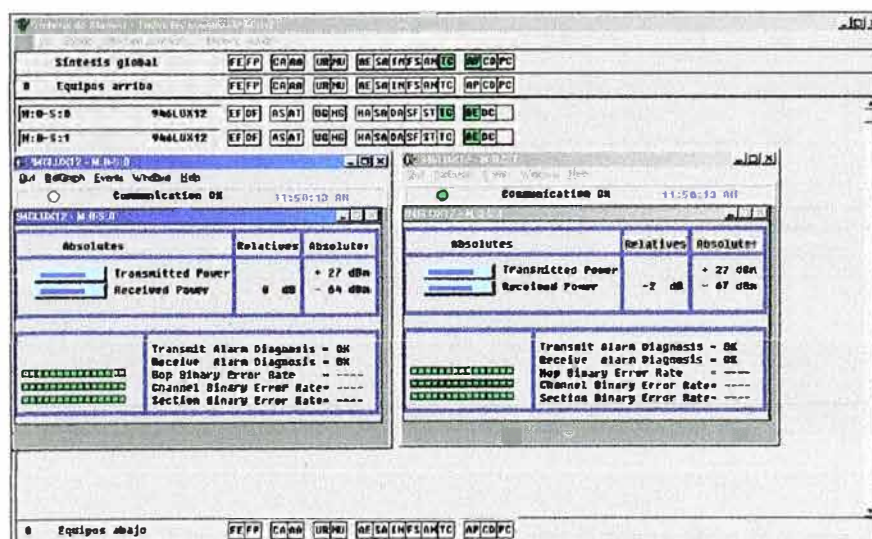


FIGURA 4.1 Niveles de Transmisión y Recepción del Enlace CH. Huinco – Ventana6.

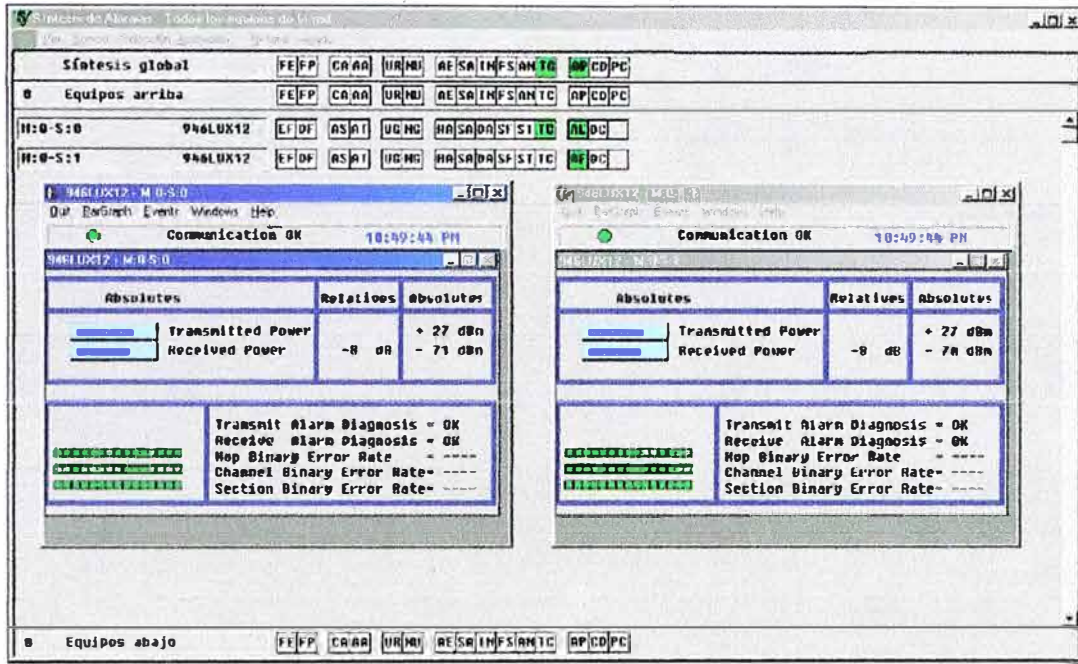


FIGURA 4.2 Niveles de Transmisión y Recepción del Enlace CH. Huinco – Toma Sheque

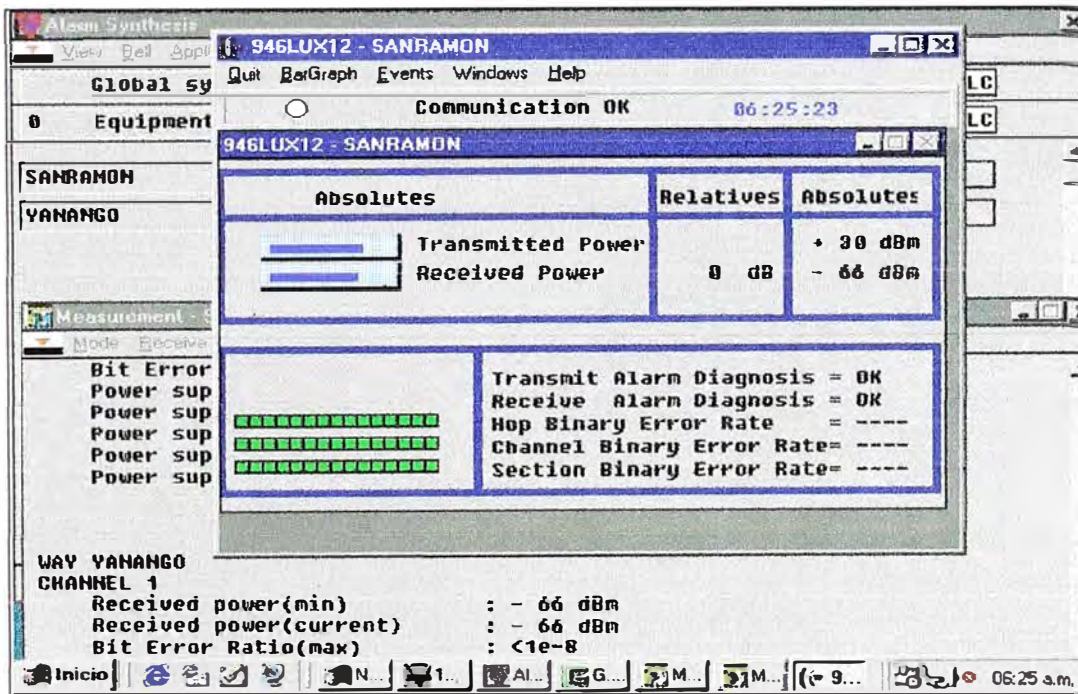


FIGURA 4.3 Niveles de Transmisión y Recepción del Enlace San Ramón – C.H. Yanango.



FIGURA 4.4 Vista fotográfica de la Torre Cerro Malca



FIGURA 4.5 Vista fotográfica de la Torre Cerro Primavera.



FIGURA 4.6 Vista fotográfica de la Torre C.H. Yanango

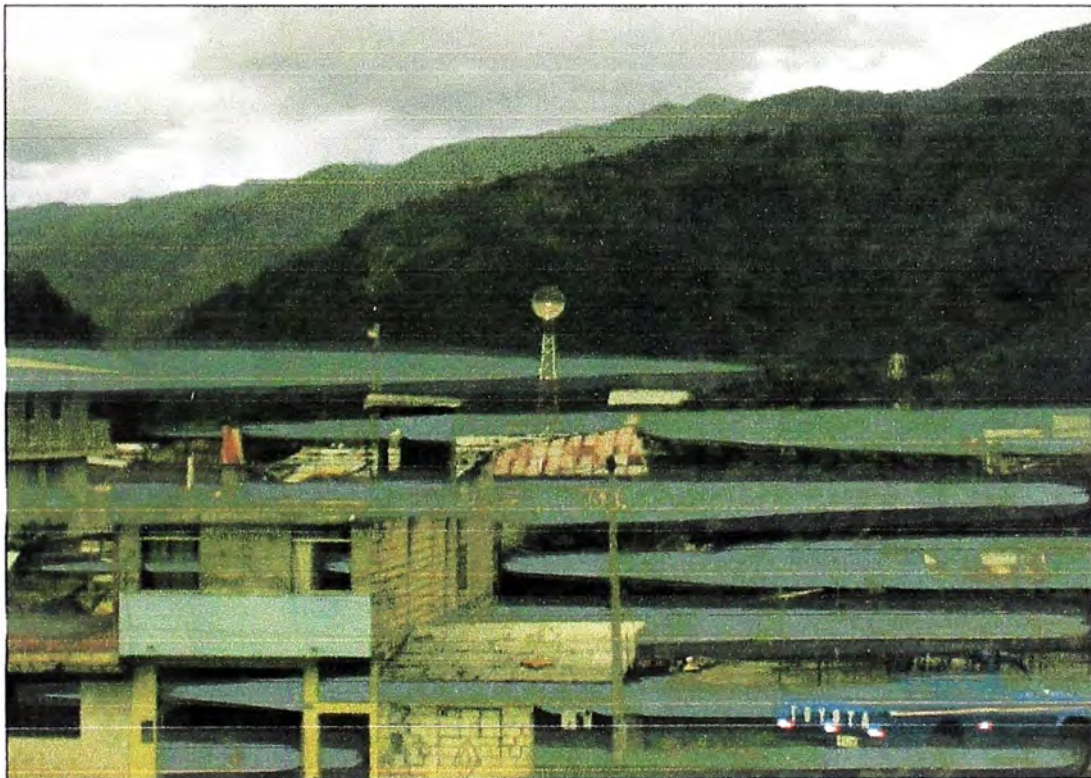


FIGURA 4.7 Vista fotográfica de la Torre San Ramón

4.4 Presupuesto y tiempo de ejecución.

4.4.1 Presupuesto

El presupuesto requerido para la implementación del proyecto se muestra en la tabla 4.4, el cual esta desgregado para cada radioenlace. Cabe indicar que para el radioenlace C.H. Huinco-C. Malca-Toma Sheque se están reutilizando las 02 torres de 16 mts. de la estación C.H. Huinco y el Cerro Malca considerados en el capítulo IV. Además para el radioenlace C.H. Yanango-C. Primavera-San Ramón no se esta considerando el sistema alternativo de energía debido que se están reutilizando.

Los costos indicados en la tabla 4.3 no consideran el impuesto general a las ventas.

TABLA 4.4 Presupuesto del proyecto

IT.	DESCRIPCIÓN	CANT.	TOTAL (USD \$)
I.	ENLACE C.H. MOYOPAMPA - CERRO LA CANTUTA		50,500.00
1	Equipo de Transmisión / Recepción de microondas Alcatel 9470LX,Config. HSB (1+1). (Full Indoor)	2	45,000.00
2	Network management System Products Alcatel	1	2,500.00
3	Instalación y configuración	1	3,000.00
II.	ENLACE C.H. CALLAHUANCA - CERRO LA CANTUTA		50,500.00
1	Equipo de Transmisión / Recepción de microondas Alcatel 9470LX,Config. HSB (1+1). (Full Indoor)	2	45,000.00
2	Network management System Products Alcatel	1	2,500.00
3	Instalación y configuración del equipos	1	3,000.00
III.	ENLACE SAN ISIDRO - C.T. SANTA ROSA		50,500.00
1	Equipo de Transmisión / Recepción de microondas Alcatel 9470LX,Config. HSB (1+1).	2	45,000.00
2	Network management System Products Alcatel	1	2,500.00
3	Instalación y configuración del equipos	1	3,000.00
IV.	ENLACE: C.H. HUINCO - CERRO MALCA - VENTANA 6		76,900.00
1	Equipo de Transmisión / Recepción de microondas Alcatel 9470LX,Config. HSB (1+0). (Full Indoor)	2	13,000.00
2	Antena RFS estándar de 8 pies de 7.125 - 8.5 GHz. (2.4 mts.)	4	6,400.00
3	Alimentadores y accesorios (C.H. Huinco y Ventana 6), incluye:	1	5,000.00
	129m. Waveguide kit/E78 hangers 7.1 - 8.5 GHz - CH Huinco/Malca/V6	-	-
	Flexstwiss para 9470LX	-	-
	Panel de Distribución para 4x2 para rack de 19"	-	-
	Kit de tierra para cable de guía de onda	-	-
	Panel de distribución DC para 19" con 4 fusibles	-	-
4	Equipo Multiplexor Alcatel A1511BA PCM 2Mbps, en configuración Drop and Insert	2	8,000.00
5	Torre autosoportada de 16 mts. (Inc. soportes de antenas, instalación)	4	24,000.00
6	Sistema de Protección (Parrarayos/Sistema puesta a tierra)	3	7,500.00

7	Sistema Alternativo de Energía - Ventana 6	2	13,000.00
V.	ENLACE: C.H. HUINCO - CERRO MALCA - SHEQUE		50,200.00
1	Equipo de Transmisión / Recepción de microondas Alcatel 9470LX,Config. HSB (1+0). (Full Indoor)	2	13,000.00
2	Antena RFS estándar de 10 pies de 7.125 - 8.5 GHz. (3.0 mts.)	4	7,200.00
3	Alimentadores y accesorios (C.H. Huinco y Toma Sheque), incluye:	1	5,000.00
	114m. Waveguide kit/E78 hangers 7.1 - 8.5 GHz - CH Huinco/Malca/V6	-	-
	Flexstvist para 9470LX	-	-
	Panel de Distribución para 4x2 para rack de 19"	-	-
	Kit de tierra para cable de guía de onda	-	-
	Panel de distribución DC para 19" con 4 fusibles	-	-
4	Equipo Multiplexor Alcatel A1511BA PCM 2Mbps, en configuración Drop and Insert	2	8,000.00
5	Torre autosoportada de 16 mts. (Inc. soportes de antenas, instalación)	1	8,000.00
6	Sistema de Protección (Pararrayos/Sistema puesta a tierra) (Toma Sheque)	1	2,500.00
7	Sistema Alternativo de Energía - (Toma Sheque)	1	6,500.00
VI.	ENLACE: C.H. YANANGO - CERRO PRIMAVERA - SAN RAMÓN		62,500.00
1	Equipo de Transmisión / Recepción de microondas Alcatel 9420LX,Config. HSB (1+0). (Full Indoor)	2	13,000.00
2	Antena Andrew estándar de 13 pies de 2.3 - 2.5 GHz, modelo KP13F-23 (4.0 mts.)	4	6,000.00
3	Alimentadores y accesorios (CH Yanango/Primavera/San Ramón), incluye:	1	5,000.00
	107m. Cable heliax Andrew de 7/8" LDF5-50A 2.1 - 2.4 GHz - CH Yanango/Primavera/San Ramón	-	-
	Panel de Distribución para 4x2 para rack de 19"	-	-
	Conectores L5P NM-RPC, Kit de tierra para cable coaxial	-	-
	Panel de distribución DC para 19" con 4 fusibles	-	-
4	Torre autosoportada de 15 y 18 mts. (Inc. soportes de antenas, instalación)	2	16,000.00
5	Torre autosoportada de 30 mts. (Inc. soporte de antena, instalación)	1	15,000.00
6	Sistema de Protección (Pararrayos/Sistema puesta a tierra)	3	7,500.00
TOTAL (USD) - SIN IGV			341,100.00
Considerando la reutilización de equipos de radio		USD (SIN IGV)	302,100.00

4.4.2 Tiempo de Ejecución

A continuación se muestra el cronograma de actividades el cual tiene un tiempo de ejecución de 5 meses para la implementación de los enlaces microondas, como se puede apreciar el cronograma nos muestra todas actividades principales que se deben tomar en cuenta.

IT.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	1° MES				2° MES				3° MES				4° MES				5° MES				
		1° S	2° S	3° S	4° S	1° S	2° S	3° S	4° S	1° S	2° S	3° S	4° S	1° S	2° S	3° S	4° S	1° S	2° S	3° S	4° S	
I.	SUMINISTRO DE EQUIPOS																					
1	Orden de Compra para el equipamiento del Sistema																					
2	Importación y desaduanaje de equipos de microondas/energía																					
3	Suministro y recepción de estructuras metálicas																					
II.	AUTORIZACIÓN DE OPERACIÓN (MTC)																					
1	Perfil técnico de la estaciones microondas																					
2	Estudio teórico de radiaciones no ionizantes de todas las estaciones.																					
3	Presentación al MTC y aprobación del MTC																					
III.	ESTUDIO DE SUELO																					
1	Prospección del suelo (para diseño de cimentación de torres)																					
2	Diseño de cimentación de zapatas para las torres																					
IV.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA																					
1	Instalación del Sistema de puesta a tierra																					
2	Certificación del Sistema																					
V.	INSTALACION DE TORRE DE TELECOMUNICACIONES																					
1	Cimentación y anclaje de zapatas para las Torres																					
2	Instalación de Torres y escalerillas para guías de onda / Heliacx																					
VI.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA ALTERNATIVO DE ENERGÍA																					
1	Instalación del Cableado eléctrico sala de comunicaciones																					
2	Instalación de Equipos Rectificador/Banco de baterías/Inversor																					
VII.	INSTALACIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE MICROONDAS																					
1	Instalación de los equipos microondas HSB (1+1) 7GHz																					
2	Puesta en servicio de los enlaces HSB (1+1) / Retiro de equipos (1+0)																					
3	Instalación de Antenas parabólicas (Enlaces de 7GHz y 2GHz)																					
4	Instalación de Guía de Onda / Cable Heliacx (7GHz y 2GHz)																					
5	Instalación de los equipos microondas reutilizados HSB (1+0) 7GHz																					
6	Alineamiento de antenas para los enlaces: Huinco-Malca-V6 y Huinco-Malca-Sheque																					
7	Configuración y puesta en servicio de los enlaces: Huinco-Malca-V6 y Huinco-Malca-Sheque																					
8	Alineamiento de antenas para el enlace: Yanango-Primavera-San Ramón																					
9	Configuración y puesta en servicio del enlace: Yanango-Primavera-San Ramón																					
VIII.	ACEPTACION DEL SISTEMA																					
1	Pruebas del sistema																					
2	Levantamiento de observaciones / Firma de actas de aceptación del sistema																					

FIGURA 4.8 Tiempo de ejecución

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Es posible la reutilización de los equipos de microondas para la instalación de nuevos enlaces.
2. La solución con sistemas de radio enlace por microondas, es la solución más económica para lugares de geografía accidentada para realizar instalación cableada.
3. Se debe tener conocimiento de las frecuencias operativas en la zona a fin de que no se presenten interferencias a los radioenlaces a instalar, esta información debe ser confirmada con el Ministerio de Transportes y comunicaciones, y así solicitar los canales de frecuencias libres.
4. Las alturas de las torres de telecomunicaciones no deben ser las estimadas a lo indicado por los cálculos teóricos, sino considerar unos metros adicionales, dependiendo de las frecuencias de transmisión y del tamaño de las antenas, debido a que así permite instalar la antena en alturas de no reflexión.

RECOMENDACIONES

1. Realizar mantenimiento preventivo semestral, a todo el equipamiento de microondas, con el fin de detectar posibles degradaciones en los parámetros de transmisión y recepción.
2. Verificar el estado de las licencias de operación de las estaciones, debido a que estas tienen validez de cinco años, y deben ser renovadas ante el MTC.

ANEXO
ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPAMIENTO DE RADIO MICROONDAS

ANEXO

- **Canalización de Frecuencias,**

Se adjunta la canalización de frecuencias aprobadas por el MTC, mediante R.M. 187-2005-MTC/03 y 102-98-MTC, para las bandas de 2GHz y 7GHz.

TABLA A.1 Plan de Frecuencias Banda de 7 GHz

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 7 MHz	
1	7128	7289	11	7198	7359
2	7135	7296	12	7205	7366
3	7142	7303	13	7212	7373
4	7149	7310	14	7219	7380
5	7156	7317	15	7226	7387
6	7163	7324	16	7233	7394
7	7170	7331	17	7240	7401
8	7177	7338	18	7247	7408
9	7184	7345	19	7254	7415
10	7191	7352	20	7261	7422

TABLA A.2 Plan de Frecuencias Banda de 2 GHz

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 4 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 4 MHz	
1	2214	2308	11	2254	2348
2	2218	2312	12	2258	2352
3	2222	2316	13	2262	2356
4	2226	2320	14	2266	2360
5	2230	2324	15	2270	2364
6	2234	2328	16	2274	2368
7	2238	2332	17	2278	2372
8	2242	2336	18	2282	2376
9	2246	2340	19	2286	2380
10	2250	2344	20	2290	2384

TABLA A.3 Canales radioeléctricos para los servicios de Telecomunicaciones, Banda de 2 GHz – RVM 102-98-MTC

Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 3.5 MHz		Canal N°	Frecuencia (MHz) BW: 3.5 MHz	
1	2301.75	2403.25	15	2350.75	2452.25
2	2305.25	2406.75	16	2354.25	2455.75
3	2308.75	2410.25	17	2357.75	2459.25
4	2312.25	2413.75	18	2361.25	2462.75
5	2315.75	2417.25	19	2364.75	2466.25
6	2319.25	2420.75	20	2368.25	2469.75
7	2322.75	2424.25	21	2371.75	2473.25
8	2326.25	2427.75	22	2375.25	2476.75
9	2329.75	2431.25	23	2378.75	2480.25
10	2333.25	2434.75	24	2382.25	2483.75
11	2336.75	2438.25	25	2385.75	2487.25
12	2340.25	2441.75	26	2389.25	2490.75
13	2343.75	2445.25	27	2392.75	2494.25
14	2347.25	2448.75	28	2396.25	2497.75

La tabla A.3, muestra el Plan de canalización de frecuencias que fue valida hasta el 2005, el cual esta basada el desarrollo del proyecto, actualmente estos canales están asignadas a titulo primario a los operadores de servicios públicos, pero solo para el Departamento de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.

- Especificaciones técnicas de antenas para la banda de 2GHz. y 7GHz.

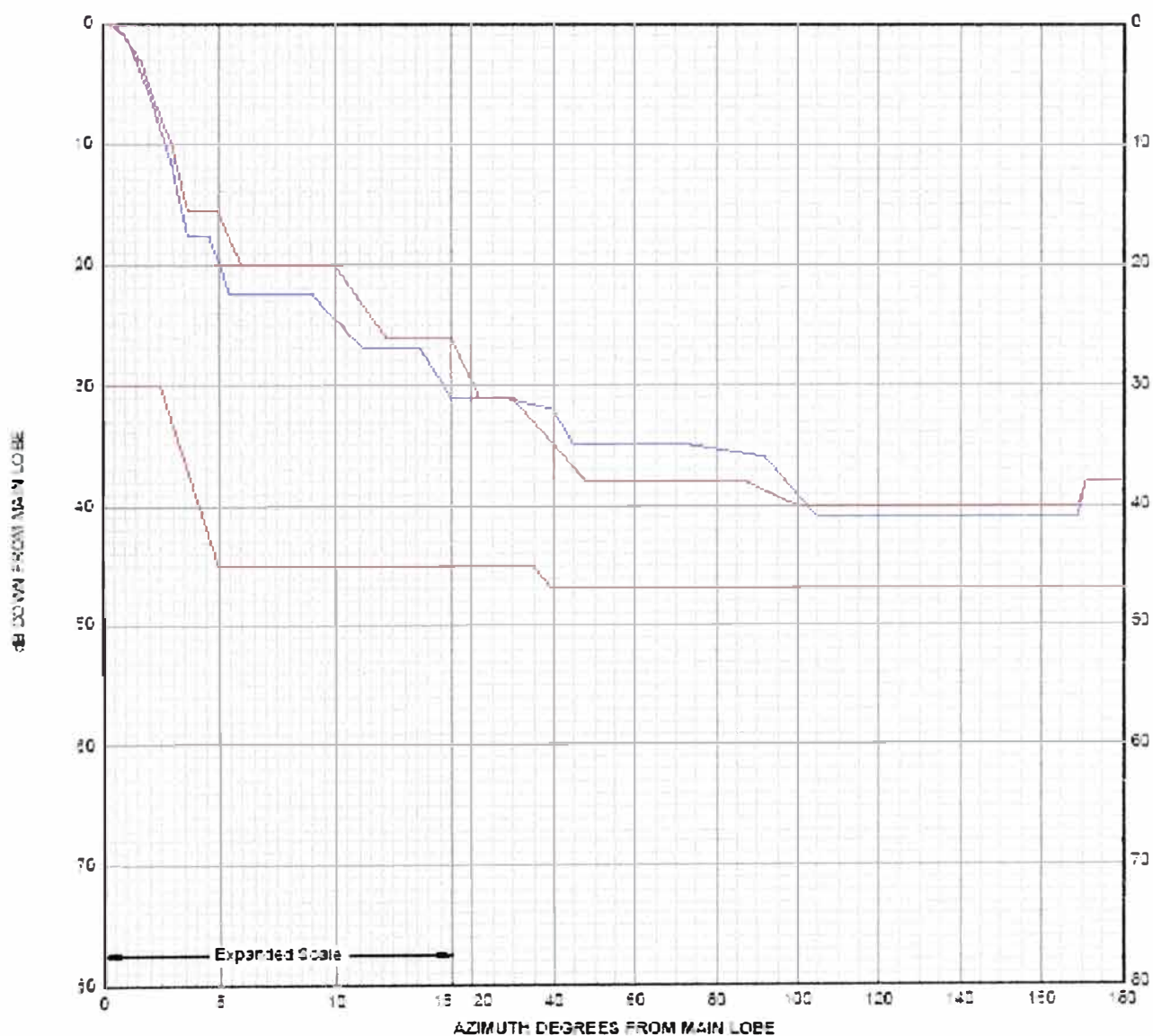
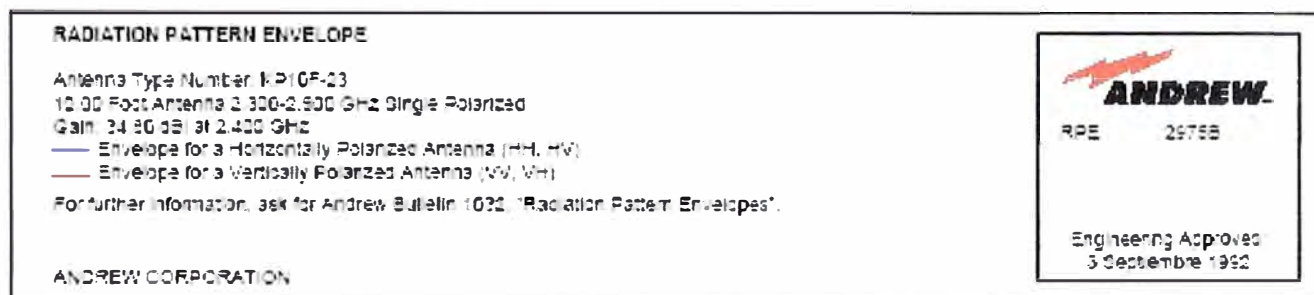


FIGURA A.1 Patrón de radiación, para antena estándar de la banda de 2GHz



Parabolic Point to Point Antennas

7.125 - 7.75 GHz

Antenna Input¹ – 154 IEC-PDR 70, CPR137G

Model Number	Diameter ft (m)	3 dB-BW (deg)	Gain (dBi)			F/B Ratio (dB)	XPD (dB)	IP1 (dB)	VSWR/ R.L. (dB)	Fine Adjustment		Windspeed km/h (mph)	Weight kg (lb)	FCC Standard	ETSI Standard
			Low	Mid	High					Az (deg)	Elev (deg)				
Standard Performance, Low VSWR, Single Polarized															
FAL8-71A	8 (2.4)	1.1	42.6	43	43.3	50	30	1.06 / 30.7	± 5	± 5	200 (125)	120 (264)		Range 1, class 1	
FAL10-71A	10 (3.0)	0.9	44.6	44.9	45.3	52	30	1.06 / 30.7	± 5	± 5	200 (125)	215 (473)		Range 1, class 1	
FAL12-71A	12 (3.7)	0.7	46.2	46.6	47	54	30	1.06 / 30.7	± 5	± 5	200 (125)	310 (682)		Range 1, class 1	
FAL15-71A	15 (4.6)	0.6	47.9	48.3	48.6	56	30	1.06 / 30.7	± 5	± 5	200 (125)	570 (1254)		Range 1, class 1	

FIGURA A.2 Especificaciones técnicas de antenas para la banda de 7GHz

HELIAX[®]

Coaxial Cable



PRODUCT SPECIFICATION

LDF5-50A

Standard coaxial cable, 7/8", 50 ohm foam HELIAX (Wideband from 0.5-5000 MHz)

CHARACTERISTICS

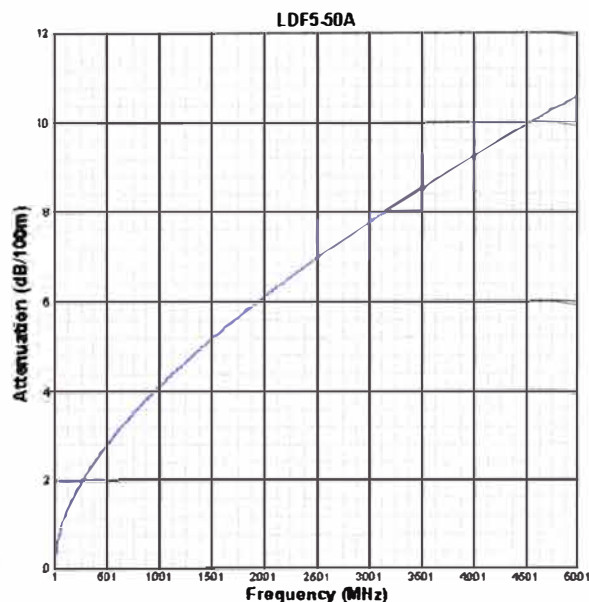


FIGURA A.3 Especificaciones técnicas de cable coaxial para la banda de 2GHz.

Product Data Sheet		EP78			RFS
FLEXWELL® Premium Elliptical Waveguide					
F78/EP78					
ATTENUATION, AVERAGE POWER, GROUP VELOCITY, GROUP DELAY					
Frequency GHz	Attenuation dB / 100 m (ft)	Avg. Pow. kW	Group Vel. %c	Group Delay ns/100 m (ft)	
7.10	6.10 (1.80)	3.44	74.7	416.5 (136.1)	
7.20	6.11 (1.86)	3.48	75.5	441.7 (134.6)	
7.30	6.05 (1.84)	3.52	76.3	437.3 (133.3)	
7.40	5.99 (1.83)	3.56	77.0	433.1 (132.0)	
7.50	6.04 (1.81)	3.60	77.7	429.2 (130.8)	
7.60	5.89 (1.79)	3.62	78.4	425.6 (129.7)	
7.70	6.84 (1.78)	3.66	79.0	422.2 (128.7)	
7.80	5.80 (1.77)	3.67	79.6	419.0 (127.7)	
7.90	5.76 (1.76)	3.70	80.2	416.0 (126.8)	
8.00	5.73 (1.75)	3.72	80.7	413.1 (125.9)	
8.10	6.70 (1.74)	3.74	81.3	410.5 (126.1)	
8.20	5.67 (1.73)	3.76	81.8	407.9 (124.3)	
8.30	6.64 (1.72)	3.77	82.3	405.5 (123.6)	
8.40	5.62 (1.71)	3.79	82.7	403.2 (122.9)	
8.50	6.60 (1.71)	3.81	83.2	401.1 (122.3)	

FIGURA A.4 Especificaciones técnicas de guía de onda elíptica de la banda de 7GHz.

Product Data Sheet for PAL8-71AC

Solid Microwave Parabolic Antenna, Standard Performance, Low VSWR, Single Polarized, 8 ft

RFS Microwave Antennas are designed for microwave systems in all common frequency ranges from 4 GHz to 40 GHz. Different options of survival windspeeds are available. This allows the use of antennas in areas where extreme wind conditions are normal. The antennas utilise a conventional feed system and are available in three performance classes offering complete flexibility when designing a network. Standard Performance antennas are economical solutions for systems where side lobe suppression is of less importance. These antennas are required for use in networks where there is a low interference potential. Antennas are available in 2 ft (0.6m) to 15 ft (4.5m) diameters. The Standard Performance antennas are available in dual polarised (PAX) as well as in single polarised versions (PA and PAL). The PAL version offers a low VSWR value for low echo distortion. Antennas up to 12 ft (3.7m) can be equipped with a moulded radome to reduce wind load and to protect the feed against the accumulation of ice and snow.



Product Specifications

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	7.125 - 7.75
Diameter, ft (m)	8 (2.4)
Profile	Standard
Performance	Standard Low VSWR
Polarization	Single
Regulatory Compliance	Standard, EN 300833
3dB beamwidth, (degrees)	1.1
Antenna Input	CPR137G
Low Band Gain, dBi	42.6
Mid Band Gain, dBi	43
High Band Gain, dBi	43.3
F/B Ratio, dB	50

FIGURA A.5 Especificación técnica de antenas PAL8-71AC de la banda de 7GHz.



2.11 – Características técnicas y mecánicas

RADIO												
Denominación	9414 LX				9420 LX				9470 LX			
Banda de frecuencia (GHz)	1,35-1,53				1,7-2,7				7,1-8,5			
Norma de referencia (sistema)	ETSIDE/TM04039				ETSIDE/TM04039				ETSIDE/TM04044			
Plano de frecuencia	UIT-R Rec. 746 Ann. 1 CEPT Rec. Tr/R 13-01				UIT-R Rec. 283-5 UIT-R Rec. 746 Ann. 2 UIT-R Rec. 382-6				UIT-R Rec. 385-5/386-4 Contelestándar OIRT-2 estándar			
Velocidad (Mbit/s)	2x2	4x2	8x2	16x2	2x2	4x2	8x2	16x2	2x2	4x2	8x2	16x2
		8		34		8		34		8		34
Espaciamiento de los canales (MHz)												
• Modulación 4QAM	3,5	7	14	-	3,5	7	14	28	3,5	7	14	28
• Modulación 16QAM	1,75	3,5	7	14	1,75	3,5	7	14	-	3,5	7	14
Velocidad tramada (Mbit/s)	4,937	9,874	19,748	39,497	4,937	9,874	19,748	39,497	4,937	9,874	19,748	39,497
Potencia emitida (Salida transmisor) (dBm)	+32 (4QAM) +30 (con opción 16QAM)				+27 (16QAM) +30 (4QAM)				+27 (4QAM) +24 (con opción 16QAM)			
Pérdidas de conexión (Tx+Rx) (dB)												
• en 1+0	3,5				3,5				4,8			
• en 1+1 HSB (Canal principal)	8,0				8,0				9,3			
• en 1+1 FD (Diversidad de frecuencia)	5,1				5,1				5,4			
Estabilidad de frecuencia (ppm)	± 5				± 5				± 5			
Paso del sintetizador (kHz)	10				10				10			
Umbral del receptor a 10 ⁻³ (dBm) (Entrada receptor) Modulación 4QAM	-97	-94	-91	-	-97	-94	-91	-88,5	-97	-94	-91	-88,5
Umbral del receptor a 10 ⁻³ (dBm) (Entrada receptor) Modulación 16QAM	-93	-90	-87	-84	-	-90	-87	-84	-	-90	-87	-84
Ganancia del sistema a 10 ⁻³ en 1+1 FD Modulación 4QAM (*)	124,9	121,9	118,9	-	121,9	118,9	115,9	113,4	118,6	115,6	112,6	110,1
Ganancia del sistema a 10 ⁻³ en 1+1 FD Modulación 16QAM (*)	-	114,9	111,9	108,9	-	111,9	108,9	105,9	-	108,6	105,6	102,6

(*) Sin incluir la antena, pérdidas de conexión incluidas

MODEM	
Modulación	4QAM ó 16QAM
Código de corrección de error	32/31 con decisión soft (Código de Wagner)
Ecuallizador	para todas las velocidades
Código de identificación de enlace	32 códigos

FIGURA A.6 Especificaciones técnicas del equipo de radio microondas Alcatel 9400 LX.

BIBLIOGRAFIA

1. Diseño de radio enlaces por microondas – INICTEL.
2. Tutorial – Sistemas de radioenlaces por microondas – UNI FIEE.
3. Cardama, Ll. Jofre, J. M. Rius, J. Romeu, S. Blach: "Antenas". Ediciones UPC, 1993.
4. F-Series (Fixed Service) & P-Series (Propagación) – Ed. 2003.
5. Digital Radio – Relay Systems Handbook – Ed. 2003.
6. Manual de usuario – Alcatel 9400 LX - Edición 01 -29.03.2002.
7. Digital Link Microwave Link Engineering – Performance Predictions y Path Calculations - R.U. Laine, A.R. Lunan. Harris Doc. #216
8. Digital Link Microwave Link Engineering – Path Alignment, Testing, and Troubleshooting - R.U. Laine, A.R. Lunan. Harris Doc. #217.
9. ITU-R P.453 Índice de refracción radioeléctrica.
10. ITU-R P.525-2 Calculo de la atenuación por espacio libre.
11. ITU-R P.526-4 Propagación por difracción.
12. Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones D.S. Nº 020-2007-MTC.
13. Plan nacional de atribución de frecuencias 2005-2006 - MTC.
14. Plan RADIOCANALES (CANALIZACIONES)
15. Página web: www.alcatel-lucent.com
16. Página web: www.rfsworl.com
17. Página web: www.andrew.com
18. Página web: www.itu.int