



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

“Estudio y Diseño de la Ampliación del Sistema de Comunicación para Canal 13 de TV. en la Provincia de Galápagos”

TESIS DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

Especialización: ELECTRONICA

Presentado por:

Gabriel Vinicio Andrade Endara

Guayaquil, Ecuador

1989


AGRADECIMIENTO


*Al Ing. Pedro Carló Paredes,
Director de Tesis, por su va
liosa ayuda y colaboración -
prestada para la realización
de esta Tesis.*


DEDICATORIA

A mis PADRES, que me enseñaron que las metas se logran con sacrificio y persistencia y que por duro que sea el camino habrá que atravesarlo con esfuerzo y tenacidad.


Ing. JORGE FLORES MACIAS
Sub-Decano de la F.I.E.


Ing. PEDRO CARLO PAREDES
Director de Tesis


Ing. JUAN CARLOS AVILES
Miembro Principal del
Tribunal


Ing. SIXTO GARCIA
Miembro Principal del
Tribunal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

[Reglamentos de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL].

Gabriel Vinicio Andrade Endara

GABRIEL VINICIO ANDRADE ENDARA

RESUMEN

Mi propósito al desarrollar este estudio es el de contribuir en algo al desarrollo del País aplicando los conocimientos aquí adquiridos.

La secuencia seguida en el desarrollo de este trabajo permite una fácil comprensión de los temas aquí tratados. En un primer capítulo como un aspecto informativo se hace un análisis de la situación actual de la Provincia de Galápagos en el campo socio-económico como en el de las telecomunicaciones, así mismo se incluyen posibles soluciones de estos problemas a corto y mediano plazo.

Luego se incluye un resumen completo sobre antenas lo cual nos permite comprender su funcionamiento, características y parámetros importantes.

En el siguiente capítulo tenemos los conocimientos necesarios sobre radio propagación en sistemas de línea vista, parámetros, características, pérdidas que se producen en el espacio, efectos de la curvatura de la tierra y las consideraciones técnicas para un radio enlace.

Finalmente en el último capítulo se trata del diseño en sí del sistema donde se aplicarán los conceptos y criterios expuestos en los capítulos anteriores.

Los puntos de transmisión, repetición y la alternativa del radio enlace serán seleccionados tratando de obtener la mejor cobertura de la señal en las diferentes Islas.

INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS.....	XIV
INTRODUCCION.....	XV
 CAPITULO I	
CARACTERISTICAS DE LA PROVINCIA DE GALAPAGÓS.....	16
1.1 SITUACION POLITICA Y UBICACION GEOGRAFICA.....	16
1.2 SITUACION ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EXISTENTES.....	17
1.2.1 <u>Servicio de telefonía, telegrafía, télex.....</u>	18
1.2.2 <u>Servicio de Radiocomunicación.....</u>	19
1.2.2.1 <u>Servicios de Radiodifusión.....</u>	20
1.2.2.2 <u>Servicio fijo móvil bajo los 30 MHz para comunicación con el Continente.....</u>	20
1.2.2.3 <u>Servicio fijo móvil sobre los 30 MHz para comunicación entre Islas.....</u>	23
1.2.2.4 <u>Servicio móvil marítimo y radioaficionado..</u>	23
1.2.2.5 <u>Operación y mantenimiento de los servicios de telecomunicaciones.....</u>	23
1.3 IDENTIFICACION DE PROBLEMAS A CORTO Y MEDIANO PLAZO.....	24
1.4 DEFINICION DE POLITICAS DE SOLUCION.....	24
 CAPITULO II	
FUNDAMENTOS DE ANTENAS.....	29
2.1 NOCIONES GENERALES	29
2.1.1 <u>Dipolo eléctrico.....</u>	33
2.2 CARACTERISTICAS DE LAS ANTENAS TRANSMISORAS Y RECEPTORAS...	41
2.2.1 <u>Resistencia de Radiación.....</u>	41
2.2.2 <u>Directividad y Ganancia.....</u>	44
2.2.3 <u>Polarización.....</u>	47

	<u>Página</u>
2.3 TIPOS DE ANTENAS Y PARAMETROS IMPORTANTES.....	51
2.3.1 <u>Antenas Vagi</u>	53
2.3.2 <u>Antena reflectora tipo Corner</u>	56
2.4 POTENCIA DE UNA ANTENA.....	61
2.5 CONJUNTOS: ANTENAS-LINEAS DE TRANSMISION.....	64
2.6 PARTICULARIDADES FUNCIONALES.....	67
CAPITULO III	
<u>PROPAGACION DE ONDAS</u>	72
3.1 INTRODUCCION.....	72
3.2 PROPAGACION SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE.....	73
3.2.1 <u>Línea de Vista</u>	73
3.2.2 <u>Superficie Esférica</u>	76
3.3 ENLACES DE MICROONDAS.....	84
3.4 PERDIDAS DE PROPAGACION.....	87
3.4.1 <u>Pérdidas en el espacio libre</u>	87
3.4.2 <u>Pérdidas en las líneas de alimentación de las antenas</u>	87
3.4.3 <u>Pérdidas de Fresnel</u>	88
3.4.4 <u>Pérdidas por Difracción</u>	88
3.4.5 <u>Otras pérdidas</u>	89
3.5 FACTORES DE IONOSFERA.....	89
3.6 ANTENAS DIRECCIONALES DE PROPAGACION.....	92
3.6.1 <u>Ganancia de Antenas</u>	93
3.6.2 <u>Nivel de Portadora Recaptada</u>	94
3.6.3 <u>Umbral en el Receptor</u>	94
3.6.4 <u>Márgen de Desvanecimiento</u>	95
3.6.5 <u>Confiabilidad del Sistema</u>	95
3.7 ALTURA MINIMA DE ANTENAS TRANSMISORAS Y RECEPTORAS.....	95
3.7.1 <u>Zona de Frésnel</u>	97
3.7.2 <u>Punto de Reflexión</u>	102

	<u>Página</u>
CAPÍTULO IV	
FUNDAMENTOS DEL DISEÑO.....	107
4.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE CANAL 13.....	107
4.2 CENTROS DE TRANSMISIÓN Y REPETICIÓN.....	108
4.3 MEDIOS DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL.....	108
4.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	108
4.5 ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A LOS EQUIPOS.....	138
4.6 COBERTURA DEL SISTEMA.....	139
4.6.1 <u>Estación Transmisora de la Isla San Cristóbal</u>	141
4.6.2 <u>Estación Repetidora de la Isla Santa Cruz</u>	146
4.6.3 <u>Estación Repetidora de la Isla Isabela</u>	150
4.6.4 <u>Estación Repetidora de la Isla Floreana</u>	154
4.7 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.....	158
4.8 COSTO DEL SISTEMA.....	160
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	162
APÉNDICES.....	164
BIBLIOGRAFÍA.....	169

INTRODUCCIÓN

Uno de los sistemas más importantes de comunicación en el desarrollo del hombre, es la televisión por cuanto le permite estar al tanto con los acontecimientos que se desarrollan diariamente en el mundo.

Ante esta situación, en el año de 1980 la Misión Franciscana instala un canal de TV (Tele-Galápagos-Canal 13) en la Isla San Cristóbal, el mismo que en parte viene a satisfacer la necesidad de este tipo de comunicación entre los habitantes de Puerto Baquerizo Moreno.

Sin embargo, la gran aspiración de la Misión Franciscana es el poder llegar con la señal de este Canal a las demás Islas habitadas (Santa Cruz, Isabela y Floreana), de igual manera mejorar la señal en la Isla San Cristóbal y así también poder llegar a la Parroquia El Progreso ubicada a 7 Kilómetros de Puerto Baquerizo Moreno.

Ante esta situación este trabajo presenta un estudio para ampliar el actual sistema de Telegalápagos. Este sistema debe ser diseñado de tal manera que cubra los sitios más densamente poblados de cada Isla.

Con respecto a ciertos parámetros requeridos de los equipos para el diseño, se escogerán datos reales, dándole una flexibilidad al sistema de modo que pueda ser optimizado y permita una gran cobertura en su implementación.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DE LA PROVINCIA DE GALAPAGOS

1.1 SITUACION POLITICA Y UBICACION GEOGRAFICA

La Provincia de Galápagos, situada sobre la plataforma submarina - Galápagos, en el Océano Pacífico a 972 Kms. de las Costas Occidentales ecuatorianas, tiene características peculiares, tanto por su aislamiento del Continente y entre las Islas Pobladas, así como por su configuración física que con una superficie aproximada de 8.000 Kms.² distribuidos en un importante número de islas e islotes, la mayoría de los cuales se encuentran deshabitados y con una población estimada para 1990 de 10.000 habitantes, siendo el 90% población urbana y el 10% población rural, ocupan una superficie real de 243,73 Kms.² quedando la diferencia para lo que constituye el Parque Nacional Galápagos.

Territorialmente la Provincia de Galápagos está formada por las siguientes Islas: Isabela, San Cristóbal, Santa Cruz, Floreana, Española, Fernandina, Genovesa, Marchena, Pinta, Pinzón, Rábida, San Salvador, Santa Fé, Baltra, Teodoro Wolf y Charles Darwin, con sus Islotes adyacentes. Políticamente está conformada por los Cantones: San Cristóbal, Santa Cruz e Isabela.

El Cantón San Cristóbal con su cabecera Cantonal Puerto Baquerizo Moreno, tiene como Parroquia la población El Progreso con sus Re -

cintos La Soledad, El Socavón, Tres Palos y El Chino; y la Isla Floreana con el Puerto Velasco Ibarra.

El Cantón Santa Cruz con su cabecera Cantonal Puerto Ayora, tiene como Parroquia la población Bellavista con sus Recintos: El Occidente, El Carmen, Santa Rosa, El Camote y El Cascajo.

El Cantón Isabela con su cabecera Cantonal Puerto Villamil, tiene como Parroquia la población Santo Tomás con sus Recintos: Las Merceditas, Esperanza, San Antonio, Cerro Azul y Alemania.

El régimen Administrativo está a cargo de un Gobernador quien ejerce las funciones de Jefe Político y Jefe del Registro Civil en San Cristóbal y en la Isla Santa Cruz.

En cada Cantón existe un Comisario nacional que hace las veces de Inspector de Trabajo y en cada parroquia un Teniente Político. Cada Cantón tiene un Municipio. La administración de Justicia es ejercida por un Juez Provincial con asiento en Puerto Baquerizo Moreno; por un Juez Cantonal, un Juez de Trabajo e Inquilinato y un Agente Fiscal de lo Penal que ejerce sus funciones en Puerto Ayora.

2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EXISTENTES

En el campo de las telecomunicaciones, la provincia está relegada, contando únicamente con servicio telefónico local que se brinda a través de dos centrales semiautomáticas, el servicio de larga distancia nacional es atendido mediante Operadoras en cabinas telefóni

cas públicas con horario establecido y con un terminal para el servicio gentex. No existe discado directo con la parte Continental - del Ecuador.

Pese al reducido número de habitantes que se encuentran concentrados en pocas poblaciones distribuidos en las cuatro principales Islas, únicamente Puerto Baquerizo Moreno y Puerto Ayora disponen de servicio telefónico local contando con 90 abonados en el un caso y con 60 en el otro. Por otra parte en la provincia existen cuatro parroquias rurales que no tienen ningún tipo de comunicación pública.

En general, el servicio es de regular calidad y poco confiable. La falta de comunicación tanto local como inter-islas y nacional, no solo afecta a la población residente sino también al creciente flujo turístico que se estima ya es alrededor de las 50.000 personas - por año que utilizan las 11 frecuencias de vuelo desde el Continente hacia Galápagos.

Las características de los servicios que se dan a las distintas poblaciones y su situación se puede apreciar a continuación.

1.2.1 Servicio de Telefonía, Telegrafía y Telex

PUERTO BAQUERIZO MORENO (San Cristóbal)

Se encuentra instalada una central AKD semiautomática de 100 líneas para el servicio telefónico para 90 abonados en un edificio funcional de dos plantas.

Cuenta con un moderno sistema de radio HF para el servicio telefónico de larga distancia con el Continente (Guayaquil) con posibilidad de transmisión simultánea del sistema Gen - tex, para el servicio telegráfico se dispone de un enlace adicional HF con Guayaquil, de regulares condiciones de funcionamiento.

PUERTO AVORA (Santa Cruz)

Se encuentra instalada una central AKD semiautomática de 100 líneas de abonado para el servicio telefónico con 60 abonados.

Para la comunicación con el Continente (Guayaquil) se encuentra en operación un sistema de radio HF de regulares condiciones de funcionamiento.

Para la comunicación entre las dos islas arriba citadas se encuentra en operación un sistema de radio VHF monocañal para el servicio telefónico.

1.2.2 Servicio de Radiocomunicación

Debido al escaso servicio de comunicaciones que se proporciona en Galápagos se ha producido una explosiva utilización de sistemas propios de radiocomunicación tanto para el sector público como para el privado, siendo administrados por el IETEL en lo relacionado con la planificación, control, regulación y concesión de frecuencias, y son los siguientes:

1.2.2.1 Servicios de Radiodifusión

<u>BANDA</u>	<u>NOMBRE DE LA ESTACION</u>	<u>POTENCIA</u>	<u>UBICACION</u>
SW	La Voz de Galápagos	5 Kw	S. Cristóbal
MW	La Voz de Galápagos	5 Kw	S. Cristóbal
MW	Santa Cruz	1 Kw	S. Cruz
FM	Galápagos	100 W	S. Cristóbal
TV	Telegalápagos	200 W	S. Cristóbal

1.2.2.2 Servicio fijo móvil bajo 30 Mhz para comunicación con el Continente [HF].

<u>CONCESIONARIO</u>	<u>MATRIZ</u>	<u>Nº EST. FIJA</u>	<u>MOVIL</u>
Contraloría General de la Nación.	Quito	1 Puerto Baquerizo.	--
YAGUA servicios generales.	Quito	1 Puerto Ayora	--
IEOS	Quito	1 Puerto Ayora	--
		1 Puerto Baquerizo.	--
		1 Isabela	--
Banco de Fomento.	Quito	1 Puerto Ayora	--
		1 Puerto Baquerizo.	--

<u>CONCESIONARIO</u>	<u>MATRIZ</u>	<u>Nº EST. FIJA</u>	<u>MOVIL</u>
Banco Central	Quito	1 Puerto Baque rizo.	--
Dirección Na - cional de De - fensa Civil.	Quito	1 Puerto Baque rizo.	--
Coltur	Quito	2 Santa Cruz	--
Beltrán Pache- co.	Quito	1 Santa Cruz	--
Etnotur	Quito	1 Santa Cruz 1 San Cristóbal	-- --
Unitrav	Quito	1 Santa Cruz	--
Charles Darwin	Quito	1 Puerto Ayora	--
Granito	Quito	1 Puerto Ayora	--
INAMI	Quito	2 San Cristóbal	--
Samoa Turismo	Quito	1 Santa Cruz	--
M.O.P.	Quito	1 San Cristóbal	--

<u>CONCESIONARIO</u>	<u>MATRIZ</u>	<u>Nº EST. FIJA</u>	<u>MÓVIL</u>
Cruceros Lobo	Quito	1 Santa Cruz	--
J. Valdivieso	Quito	1 San Cristóbal	--
INECEL	Quito	1 San Cristóbal	--
Prefectura Apostólica.	Quito	1 San Cristóbal	--
		1 Santa Cruz	--
		1 Isabela	--
M. A. G.	Quito	1 Santa Cruz	--
TAME	Quito	1 San Cristóbal	--
GALASAM	Guaya- quil.	1 Santa Cruz	--
		1 San Cristóbal	--
		1 Isabela	--
		1 Floreana	--
Dir. General de Pesca.	Guaya- quil.	1 San Cristóbal	--
Municipio Santa Cruz.	Puerto Ayora.	Quito	--

1.2.2.3 Servicio Fijo Móvil sobre 30 MHz para comunicación entre islas (VHF).

<u>UBICACION</u>	<u>MATRIZ</u>	<u>Nº EST. FIJA</u>
Puerto Baquerizo Moreno.	1	--
Puerto Ayora	--	1
Puerto Villamil	--	1

1.2.2.4 Servicio Móvil Marítimo y Radioaficionados

Existen 36 estaciones de radioaficionados en Galápagos. El servicio móvil Marítimo es administrado por el Ministerio de Defensa Nacional a través de la Armada Nacional y con la coordinación del IETEL.

1.2.2.5 Operación y Mantenimiento de los servicios de telecomunicaciones.

Los servicios de larga distancia nacional son de regular calidad y se efectúan en los siguientes horarios.

de 08h00 a 13h00 y de 13h00 a 20h00

Para la operación del sistema se cuenta con el siguiente personal:

4 Operadoras en Puerto Baquerizo Moreno

2 Operadoras en Puerto Ayora

1.3 IDENTIFICACION DE PROBLEMAS A CORTO Y MEDIANO PLAZO

En un estudio realizado por la Gerencia General del IETEL en el año de 1987, se planteó los problemas centrales políticas y acciones - que debieron y deberán llevarse a cabo para solucionar los problemas que en materia de telecomunicación afronta la Provincia de Galápagos. Estos problemas hasta la actualidad no han sido resueltos, están resumidos en la Tabla N° 1.1.

1.4 DEFINICION DE POLÍTICAS DE SOLUCIÓN

Al igual que en el caso anterior, en la Tabla N° 1.2 se presentan - los principales proyectos que debieron y deberán implementarse durante el período 1987-1990 por medio del IETEL, para atender la - prestación de los servicios de comunicaciones. Lamentablemente han transcurrido casi tres años desde que este proyecto fue elaborado y apenas un 10% de él ha sido ejecutado.

Deficiente cobertura del servicio telefónico. Únicamente dos poblaciones disponen de este servicio para la comunicación local.	Ampliar y construir la Planta Externa para las centrales existentes y atender la instalación de nuevos abonados.
Proporcionar el servicio telefónico en otras poblaciones de acuerdo con el número de habitantes con que cuentan.	Construir las obras civiles necesarias y adquirir centrales telefónicas automáticas para mejorar el servicio local y nacional.
Reducida comunicación inter-islas quedando aislados un considerable número de habitantes.	Instalar cabinas telefónicas mediante líneas físicas entre: Pto. Villamil y Tomás de Berlanga Pto. Baquerizo y El Progreso Pto. Ayora y Bellavista
Modernizar los sistemas de comunicación - nes interislas existentes y ampliar su cobertura a otras islas pobladas.	Instalación de un sistema de radio mono canal para comunicar: Pto. Ayora, Pto. Villamil, Baltra, Pto. Baquerizo y Pto. Velasco Ibaña.
Instalar un sistema de radio multicanal entre Pto. Ayora y Pto. Baquerizo.	Instalar un sistema multiacceso para - las comunicaciones entre las islas y - los barcos.

TABLA 1.1

PROBLEMAS CENTRALES. POLITICAS Y ACCIONES

PROBLEMAS GENERALES	P O L I T I C A S	A C C I O N E S
<p>Reducida vinculación entre el Continente y las Islas Galápagos.</p>	<p>Contribuir al fortalecimiento de la soberanía nacional y mejora del bienestar social de los pobladores de las Islas mediante el aumento del número de canales de comunicación y mejora de los sistemas de transmisión con el Continente.</p>	<p>Instalar un sistema H-F para comunicar la Isla Isabela con el Continente.</p> <p>Iniciar los trabajos correspondientes para la instalación del Sistema Satelital Doméstico de Telecomunicación que contribuya al mejoramiento de la calidad y confiabilidad del servicio.</p>
<p>No existe una racional utilización del espectro radioeléctrico en la Provincia.</p>	<p>Realizar un adecuado ordenamiento de la utilización del espectro.</p>	<p>Ejecutar un eficiente control del uso de las frecuencias y realizar una actualización del registro de las frecuencias.</p>

PROYECTO	LOCALIZACIÓN	METAS FÍSICAS	ACTIVIDADES GENERALES	RESPONSABLE
PERIODO 1987-1989 <u>TELEFONIA LOCAL</u> Instalación de centrales telefónicas automáticas y cabinas telefónicas públicas.	Pto. Ayora	Instalación de 300 Líneas de Central.	Construcción de las obras civiles y planta externa. Contratación y adquisición de la Central y materiales complementarios.	IETEL
	Pto. Saquerizo	Instalación de 200 Líneas de Central.	Contratación y adquisición de la Central y materiales complementarios.	IETEL
	Tomás de Ber - Langa.	Instalación de cabina telefónica pública.	Tendido de la línea física de 13 Km. e instalación de la cabina.	IETEL
	El Progreso	Instalación de cabina telefónica pública.	Tendido de la línea física de 8 Km. e instalación de cabina.	IETEL
	Bellavista	Instalación de cabina telefónica pública.	Tendido de línea física de 8 Km. e instalación de cabina.	IETEL
<u>SISTEMA DE TRANSMISION</u>	Pto. Ayora Pto. Saquerizo Pto. Villamil Galbra Pto. Ayora- Guayaquil.	Instalación de un sistema de radio V.H.F. (monocanales). Instalación de un sistema HF (voz-télex).	Entrena recepción de la estación repetidora, antenas y equipos.	IETEL
			Adquisición de los equipos	IETEL

TABLA 1.2

PROYECTO	LOCALIZACIÓN	OBJETIVO TÉCNICO	ACTIVIDADES DESEMPEÑADAS	RESPONSABLE
<u>SISTEMA SATELITAL DOMESTICO.</u> PERIODO 1989-1990	San Cristóbal	Estudio de factibilidad para la instalación de un sistema satelital doméstico entre Galápagos y el Continente.	Contratar la realización de los estudios.	IETEL
<u>SISTEMAS DE TRANSMISION</u>	Pto. San Lorenzo con Pto. Yema	Instalar sistemas de radio multicanal (50 canales).	Adquisición-Contratación e instalación de equipos.	IETEL
<u>TELEFONIA MOVIL</u>	Galápagos	Instalar un sistema multiacceso y telefonía móvil.	Adquisición-Contratación e instalación del equipo.	IETEL ARMADA
<u>SISTEMA SATELITAL DO - MESTICO.</u>	San Cristóbal	Instalar Estación Terrena Do - mástica.	Construcción de las obras civiles - Adquisición - Contratación e Instalación de los equipos.	IETEL

CAPITULO II FUNDAMENTOS DE ANTENAS

2.1 NOCIONES GENERALES

Toda información enviada por medio de un transmisor radio eléctrico, llega al receptor distante después de haber viajado por el espacio en forma de energía electromagnética.

Este tipo de energía es enviada al espacio y recibida a través de las antenas. Una antena en el espacio libre, puede ser representada por un punto irradiando energía electromagnética. En la figura 2.1, la energía radiante fluye desde el punto localizado en el origen de coordenadas en líneas radiales. La razón del flujo de energía por unidad de área es el Vector de Poynting o densidad de Potencia. Este vector posee solo componente radial (S_r) y si la magnitud de éste es igual a su componente radial entonces ($|S| = S_r$).

Una fuente que irradia uniformemente energía en todas las direcciones es una fuente isotrópica y a diferencia de éstas, existen antenas con características direccionales de radiación y son las llamadas antenas anisotrópicas.

Si el vector de Poynting es conocido en todos los puntos de una esfera de radio r . Desde una fuente en el origen, la radiación total de potencia estará dada por:

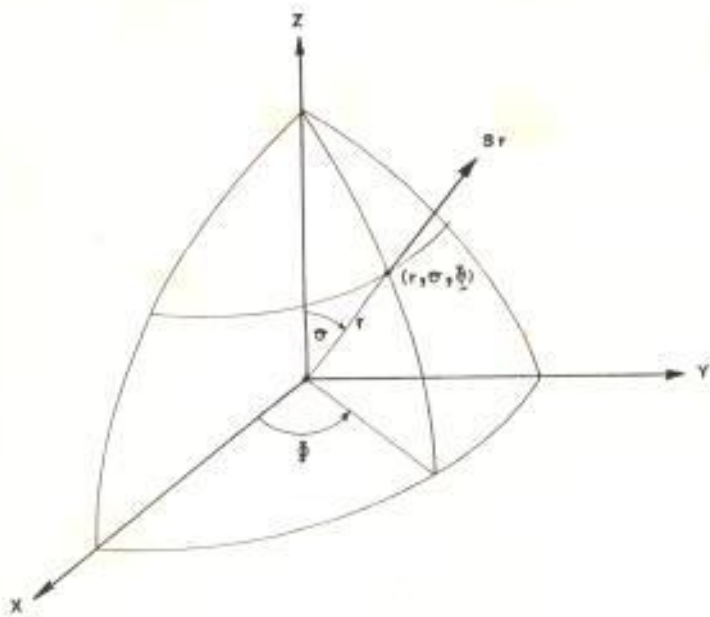


FIGURA 2-1

COMPONENTE RADIAL DE EL VECTOR DE POYNTING

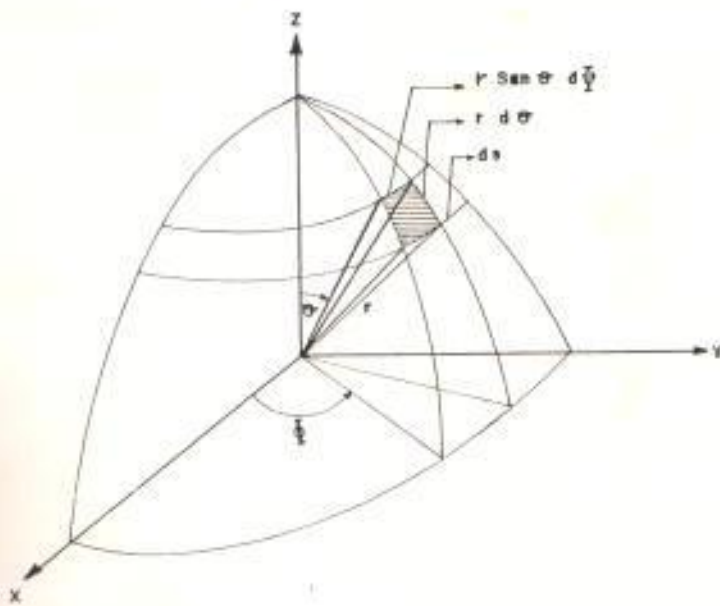


FIGURA 2-2

COORDENADAS ESFERICAS PARA UNA FUENTE PUNTUAL DE RADICACION

$$P = \iint S_r \cdot ds = \iint S_r \cdot ds \quad (2.100)$$

Donde:

P = Potencia total irradiada en vatios

S_r = Vector de Poynting en su componente radial en W/m^2 .

ds = Area infinitesimal de la esfera (Fig. 2.2) y es igual a =
 $r^2 \cdot \text{Sen } \theta \cdot d\phi \cdot d\theta$.

Para una fuente isotrópica, como S_r es independiente de θ y de ϕ .

$$P = S_r \iint ds = 4\pi \cdot r^2 \cdot S_r \quad (2.101)$$

De donde:

$$S_r = P / 4\pi \cdot r^2 \quad (2.102)$$

En términos de la Intensidad del campo eléctrico E_0 en el espacio libre. La densidad del flujo de potencia es igual al cuadrado de la intensidad de campo dividida para la impedancia intrínseca del medio:

$$S_r = E_0^2 / 120\pi \quad (2.103)$$

de donde:

$$P = E_0^2 (4\pi \cdot r^2) / 120 \quad (2.104)$$

Simplificando:

$$P = E_0^2 r^2 / 30 \quad (2.105)$$

Si E_0 está expresado en Vatios sobre metros cuadrados y r en metros. Esta ecuación nos queda:

$$E_0 = \frac{\sqrt{30 \cdot P}}{r} \quad (2.106)$$

Donde:

E_0 = Intensidad del campo eléctrico en Voltios por metro cuadrado.

Para el caso de un radiador que no es isotrópico y que presenta una ganancia directiva para una determinada dirección. La intensidad de campo con respecto al radiador isotrópico es:

$$E_0 = \frac{\sqrt{30 P_{ei}}}{r} \quad (2.107)$$

Donde:

P_{ei} = Potencia efectiva irradiada en esa dirección

Siendo:

$$P_{ei} = P \cdot D$$

Donde:

D = Directividad de la antena

La Tabla 2.1 resume el valor de la directividad para antenas usualmente usadas como referencia:

TIPO DE ANTENAS	GANANCIA DIRECTIVA	DIRECTIVIDAD.
Radiador Isotrópico	1.00	-
Dipolos pequeños	1.50	1.76 dB
Dipolos de media onda	1.64	2.15 dB
Dipolos de cuarto de onda	3.28	5.15 db

TABLA 2.1
DIRECTIVIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE ANTENAS

La ganancia está relacionada con la directividad por:

$$G = K.D. \quad (2.108)$$

Donde K es el factor de eficiencia de la antena y es igual a uno si la antena no presenta pérdidas eléctricas adicionales.

2.1.1 Dipolo eléctrico

Un sistema de dos cargas $+q$ y $-q$ separadas una distancia L muy pequeña se denomina un dipolo eléctrico.

Para el análisis, consideremos un elemento de corriente de longitud L y de amplitud uniforme ubicado en el origen de coordenadas y a lo largo del eje z , Figura 2.3. El vector de Potencial de la corriente eléctrica tiene un solo componente A_s y está definida por:

$$A_s = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{(I) \cdot dz}{x} \quad (2.109)$$

Donde:

$$(I) = I_0 e^{j\omega(t - r/c)} \quad (2.110)$$

I_0 = Valor pico de la corriente

z = distancia a un punto en el conductor

μ = permeabilidad del espacio

El potencial absoluto a una distancia S_1 y S_2 de las dos cargas puntuales está definido por:

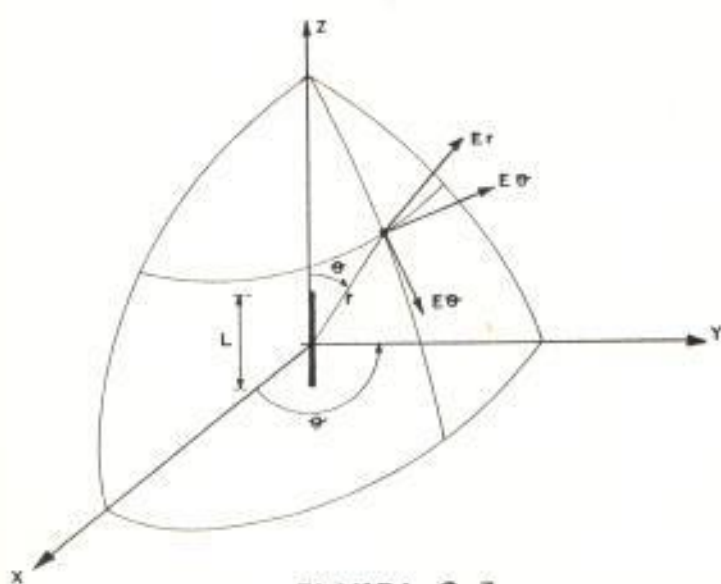


FIGURA 2-3

RELACION DE LAS COMPONENTES DEL CAMPO ELECTRICO DE UN
DIPOLO

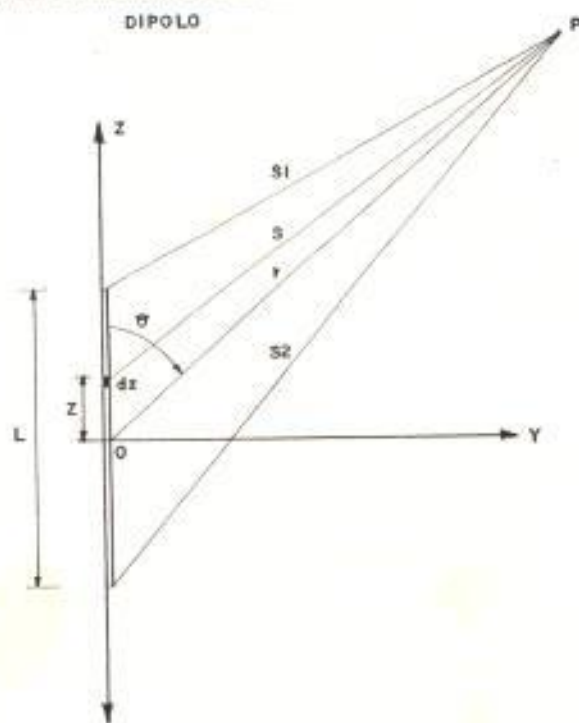


FIGURA 2-4

RELACION GEOMETRICA DE UN DIPOLO CORTO

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left[-\frac{q}{S_1} - \frac{q}{S_2} \right] \quad (2.111)$$

La carga y la corriente, están relacionadas por:

$$q = \int (I) dt = I_0 \int e^{j\omega(t-x/c)} dt \quad (2.112)$$

Sustituyendo 2.112 en 2.111 tenemos:

$$V = \frac{I_0}{4\pi\epsilon j\omega} \frac{e^{j\omega(t-S_1/C)}}{S_1} - \frac{e^{j\omega(t-S_2/C)}}{S_2} \quad (2.113)$$

Si consideramos que la distancia al punto de observación P es $r \gg L$ podemos hacer el análisis por el método de los rayos paralelos, para lo cual tendremos de la Figura 2.5:

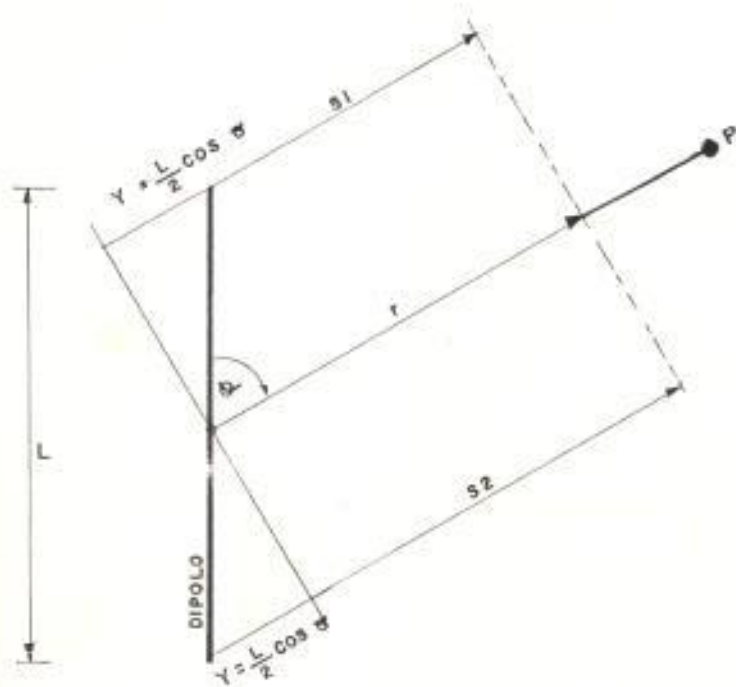


FIGURA 2.5
RELACIONES EN UN DIPOLLO CORTO CUANDO $r \gg L$

$$y = \frac{l}{2} (l \cos \theta) \quad (2.114)$$

$$S1 = r - \left(\frac{l}{2} \cos \theta \right) \quad (2.115)$$

$$S2 = r + \left(\frac{l}{2} \cos \theta \right) \quad (2.116)$$

Sustituyendo 2.116 y 2.115 en 2.113 tenemos:

$$V = \frac{I_0 e^{j\omega(t - \frac{r}{c})}}{4\pi\epsilon_j \omega} \left[\frac{e^{j\frac{\omega l \cos \theta}{2c} (r + \frac{l}{2} \cos \theta)} - e^{-j\frac{\omega l \cos \theta}{2c} (r - \frac{l}{2} \cos \theta)}}{r^2 - \frac{L^2 \cos^2 \theta}{4}} \right] \quad (2.117)$$

Como $r \gg L$ asumimos que $(r^2 - \frac{L^2 \cos^2 \theta}{4}) \approx r^2$

de donde, aplicando el teorema de Moivre's en (2.117) nos queda:

$$V = \frac{I_0 e^{j\omega(t - r/c)}}{4\pi\epsilon_j \omega r^2} \left[\left(\cos \frac{\omega L \cos \theta}{2c} + j \operatorname{sen} \frac{\omega L \cos \theta}{2c} \right) \left(r + \frac{l}{2} \cos \theta \right) - \left(\cos \frac{\omega L \cos \theta}{2c} - j \operatorname{sen} \frac{\omega L \cos \theta}{2c} \right) \left(r - \frac{l}{2} \cos \theta \right) \right] \quad (2.118)$$

Como la longitud de onda es mucho mayor que la longitud del dipolo ($r \gg L$), podemos realizar la siguiente aproximación:

$$\cos \frac{\omega L \cos \theta}{2c} = \cos \frac{L \cos \theta}{\lambda} \approx 1 \quad (2.119)$$

$$\operatorname{sen} \frac{\omega L \cos \theta}{2c} \approx \frac{\omega L \cos \theta}{2c} \quad (2.120)$$

Reemplazando estas dos aproximaciones en 2.118 tenemos:

$$V = \frac{I_0 e^{j\omega(t - \frac{r}{c})}}{4\pi\epsilon j\omega r^2} \left[\left[1 + j \left(\frac{\omega L \cos \theta}{2C} \right) \right] \left(\frac{2r + L \cos \theta}{2} \right) - \left[1 - j \left(\frac{\omega L \cos \theta}{2C} \right) \right] \left(\frac{2r - L \cos \theta}{2} \right) \right] \quad (2.121)$$

De donde:

$$V = \frac{I_0 e^{j\omega(t - \frac{r}{c})}}{4\pi\epsilon j\omega r^2} \left[\frac{j\omega r L \cos \theta}{C} + L \cos \theta \right] \quad (2.122)$$

Finalmente, el Potencial será definido por:

$$V = \frac{I_0 L \cos \theta e^{j\omega(t - \frac{r}{c})}}{4\pi\epsilon\omega r^2} \left[\frac{1}{r} + \frac{c}{j\omega r^2} \right] \quad (2.123)$$

Para:

$$\lambda \gg L$$

$$r \gg L$$

Conociendo el Vector Potencial A y el escalar V , el campo eléctrico y magnético pueden ser obtenidos a partir de la siguiente relación.

$$E = -j\omega A - \nabla \cdot V \quad (2.124)$$

$$H = \frac{1}{\mu} \nabla \times A \quad (2.125)$$

Los componentes polares para el Vector Potencial y para el Campo Eléctrico son:

$$A = a_r A_r + a_\theta A_\theta + a_\phi A_\phi \quad (2.126)$$

$$E = a_r E_r + a_\theta E_\theta + a_\phi E_\phi \quad (2.127)$$

El gradiente del Potencial Eléctrico en coordenadas polares es:

$$\nabla \cdot V = a_r \frac{\partial V}{\partial r} + a_\theta \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} + a_\phi \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi}$$

Como el dipolo tiene componentes sólo en el eje z.

$$A_r = A_s \cos \theta \quad (2.128)$$

$$A_\theta = -A_s \sin \theta \quad (2.129)$$

$$A_\phi = 0$$

Para el Campo Eléctrico, de la ecuación 2.124) tenemos:

$$E_r = -j\omega A_r - \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.130)$$

$$E_\theta = -j\omega A_\theta - \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \quad (2.131)$$

$$E_\phi = -j\omega A_\phi - \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi} \quad (2.132)$$

Como V es independiente de ϕ y siendo $A_\phi = 0$, tenemos:

$$E_r = -j\omega A_r - \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.133)$$

$$E_\theta = -j\omega A_\theta - \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \quad (2.134)$$

Reemplazando valores nos queda:

$$E_r = -j\omega \left[\frac{u I_0 e \cdot l}{4 \pi r} \cos \theta e^{j\omega(t-r/c)} \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{I_0 l \cos \theta e^{j\omega(t-r/c)}}{4 \pi \epsilon_0 c} \left(\frac{1}{r} + \frac{c}{j\omega r^2} \right) \right] \quad (2.135)$$

$$E_\theta = j\omega \left[\frac{u I_0 e \cdot l}{4 \pi r} \sin \theta e^{j\omega(t-r/c)} \right] - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{I_0 l \cos \theta e^{j\omega(t-r/c)}}{4 \pi \epsilon_0 c} \left(\frac{1}{r} + \frac{c}{j\omega r^2} \right) \right]$$

(2.136)

Simplificando estas dos ecuaciones tenemos:

$$E_r = \frac{I_0 L \cos \theta e^{j\omega(t-r/c)}}{2\pi r \epsilon} \left[\frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] \quad (2.137)$$

$$E_\theta = \frac{I_0 L \sin \theta e^{j\omega(t-r/c)}}{4\pi r \epsilon} \left[\frac{j\omega}{c^2 r} + \frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] \quad (2.138)$$

Para obtener el Campo Magnético de la ecuación 2.216 tenemos:

$$\nabla \times A = \frac{a^r r}{r^2 \sin \theta} \left[\frac{\partial (r \sin \theta \cdot A_\theta)}{\partial \theta} - \frac{\partial (r A_\theta)}{\partial \theta} \right] \quad (2.139)$$

$$+ \frac{a^\theta}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial A_r}{\partial \theta} - \frac{\partial (r \sin \theta \cdot A_\theta)}{\partial r} \right]$$

$$+ \frac{a^\phi}{r} \left[\frac{\partial (r A_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \right]$$

A_r y A_θ son independientes de ϕ y como $A_\phi = 0$, esta expresión nos queda:

$$\nabla \times A = \frac{a^\phi}{r} \left[\frac{\partial (r A_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \right] \quad (2.140)$$

Reemplazando en 2.125 tenemos:

$$H = \frac{1}{\mu_0 r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left[r (-A_\theta \sin \theta) \right] - \frac{\partial}{\partial \theta} (A_\theta \cos \theta) \right] \cdot a^\phi \quad (2.141)$$

$$H_{\theta} = \frac{a \theta}{u r} \left[- \frac{\partial}{\partial r} \frac{r u I_0 e^{j\omega(t-r/c)} \text{Sen } \theta}{4 \pi r} \right] \quad (2.142)$$

$$- \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{u I_0 e^{j\omega(t-\frac{r}{c})}}{4 \pi r} \text{Cos } \theta \right]$$

Finalmente:

$$H_{\theta} = \frac{I_0 L \text{Sen } \theta e^{j(t-\frac{r}{c})\omega}}{4 \pi r} \left(\frac{j\omega}{rc} + \frac{1}{r^2} \right) \quad (2.143)$$

$$H_r = H_{\phi} = 0 \quad (2.144)$$

Como la distancia r (Fig. 2.4) es muy grande, los términos $1/r^2$ y $1/r^3$ contribuirán muy poco en relación a $1/r$. En las ecuaciones 2.143 y 2.139 por lo que finalmente tendremos solo dos componentes de campo que son:

$$E_{\theta} = \frac{j\omega I_0 \text{Sen } \theta e^{j\omega(t-\frac{r}{c})}}{4 \pi \epsilon_0 r^2} \quad (2.145)$$

$$H_{\theta} = j \frac{\omega I_0 \text{Sen } \theta e^{j\omega(t-\frac{r}{c})}}{4 \pi r} \quad (2.146)$$

De donde:

$$\frac{E_{\theta}}{H_{\theta}} = \frac{1}{\epsilon_0 c} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = Z_0 \quad (2.147)$$

Siendo $Z_0 = 370$ ohmios para el espacio libre y se la denomina Impedancia Intrínseca del medio.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS TRANSMISORAS Y RECEPTORAS

2.2.1 Resistencia de Radiación

Cuantitativamente la resistencia de radiación se define como aquella resistencia pura en la que se libera energía numéricamente igual a la de radiación. Para el caso de un dipolo Hertziano que es un radiador elemental y con corriente uniforme, considerémoslo ubicado en el centro y que coincida con el eje OZ de la esfera en la Figura 2.6.

Para este caso, las líneas de fuerza del campo eléctrico del dipolo se encuentran en el plano meridional y las del campo magnético que tienen forma de circunferencias están dispuestos en planos perpendiculares al eje OZ . El vector de Poynting S indica que las ondas electromagnéticas se propaguen en la dirección de los radios (r) que parten del centro de la esfera, las mismas que a una suficiente distancia del dipolo se les puede considerar planas.

La potencia total irradiada está dada por:

$P = I^2 \cdot R_r$, donde I es la corriente RMS en el dipolo y R_r es la resistencia de radiación del dipolo. El valor promedio del vector de Poynting está dado por:

$$S = 1/2 \operatorname{Re} (E \times H^*) \quad (2.200)$$

Los componentes del campo lejano son E_θ y H_ϕ , por lo que la componente radial del vector es:

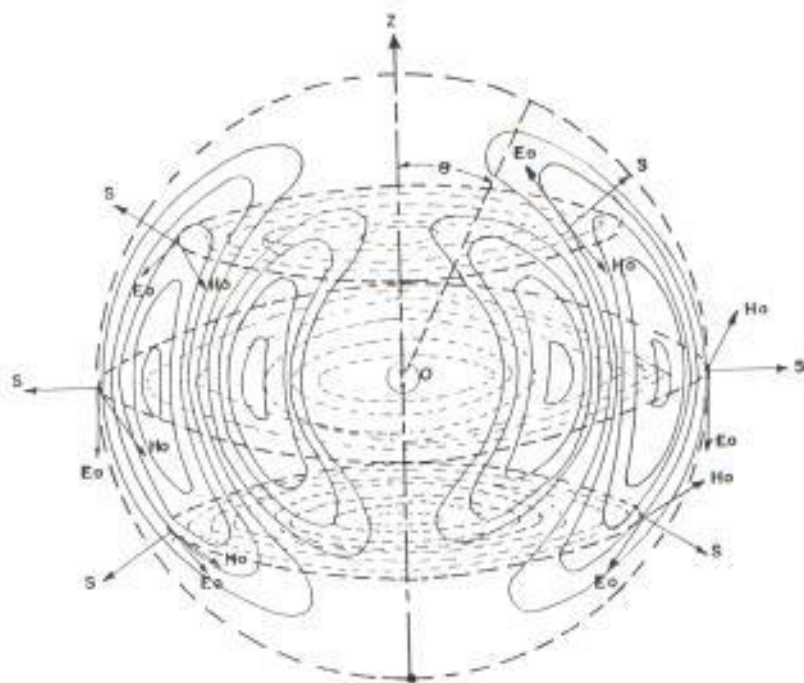


FIGURA 2-6

PATRON DE LOS CAMPOS DE RADIACION DE EL DIPOLO HERTZIANO

$$S_n = \frac{1}{2} \operatorname{Re} E_\theta H_\phi^* \quad (2.201)$$

De la ecuación 2.147 tenemos:

$$E_\theta = Z_0 H_\phi \quad (2.202)$$

Reemplazando en 2.201, nos queda:

$$S_n = \frac{1}{2} \operatorname{Re} Z_0 H_\phi H_\phi^* = \frac{1}{2} |H_\phi|^2 \operatorname{Re} Z_0 \quad (2.203)$$

$$S_n = \frac{1}{2} |H_\phi|^2 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2.204)$$

La Potencia total Radiada está dada por:

$$P = \iint S_n \, ds = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi |H_\phi|^2 \sin^2 \theta \, d\theta \, d\phi \quad (2.205)$$

El valor absoluto del campo magnético es:

$$H_\phi = \frac{\omega I_0 l \sin \theta}{4\pi cr} \quad (2.206)$$

Reemplazando 2.206 en 2.205 nos queda:

$$P = \frac{1}{32} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \left[\frac{\beta^2 I_0^2 l^2}{\pi^2} \right] \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin^3 \theta \, d\theta \, d\phi \quad (2.207)$$

Finalmente, la Potencia total irradiada será:

$$P = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{\beta^2 I_0^2 l^2}{12\pi} \quad (2.208)$$

Donde:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \omega \sqrt{\mu \cdot \epsilon} \quad (2.209)$$

Por lo tanto, asumiendo que no hay pérdidas, esta es la potencia liberada debida a una corriente I_{RMS} que fluye por el dipolo que presenta una resistencia de radiación R .

$$P = I_{RMS}^2 \cdot R \quad (2.210)$$

$$P = \left[\frac{I_0}{\sqrt{2}} \right]^2 \cdot R = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot \frac{\beta^2 I_0^2 L^2}{12\pi} \quad (2.211)$$

De donde el valor de R será:

$$R = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot \frac{L^2 \beta^2}{6\pi} \quad (2.212)$$

En el espacio libre $\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 120$ y como $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$R = 20 \cdot \beta^2 \cdot L^2 \quad (2.213)$$

$$R = 80 \pi^2 \cdot (L/\lambda)^2 \quad (2.214)$$

Que es la resistencia de radiación de un dipolo corto.

2.2.2 Directividad y ganancia

Las ondas ultracortas y las pertenecientes a los espectros VHF y UHF, presentan la particularidad de reflejarse muy fácilmente en cuantos obstáculos hallen en su camino tales como, montañas, edificios y aún simples cambios de densidad atmosférica producen la reflexión de las ondas. Esto obliga a que las antenas de TV deban tener una directividad excelente para que sólo capten o transmitan una onda sea directa o reflejada.

En una antena transmisora, la directividad está determinada por la densidad de flujo de potencia de radiación de tal antena en su dirección de propagación, donde la intensidad de campo queda plenamente caracterizada por la amplitud, la fase y la polarización.

Una característica importante de una antena es su ángulo de apertura, llamado también ángulo de captación, cuyos dos lados quedan determinados por las direcciones en las cuales la tensión captada o transmitida por la antena disminuye a un 71% del valor de la tensión máxima. Gráficamente este ángulo está mostrado sobre un diagrama de radiación en la Figura 2.7.

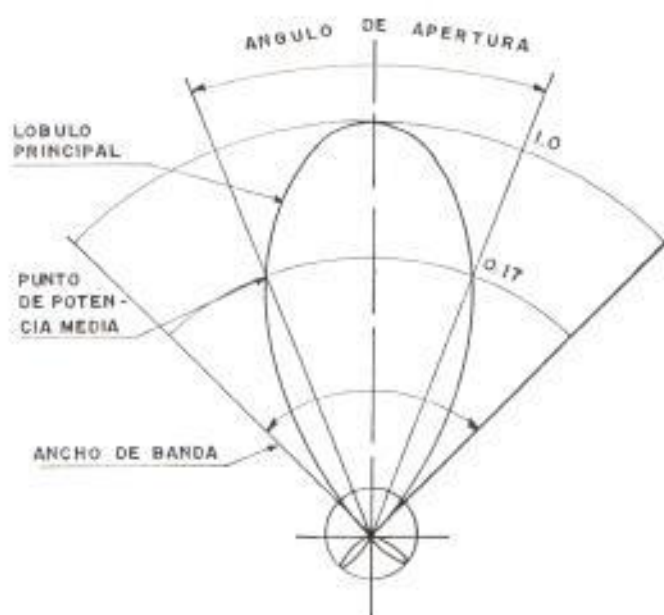


FIGURA 2-7

ANGULO DE APERTURA DE UNA ANTENA

Para simplificar, generalmente los diagramas de Directividad se limitan a dos planos, el horizontal y el vertical. Para construir un diagrama de directividad sobre el plano horizontal se varía el ángulo azimutal ϕ , permaneciendo constante el ángulo zenital $\theta = 90^\circ$, mientras que para construir un diagrama de directividad sobre el plano vertical, permanece invariable el ángulo ϕ y el que varía es el ángulo θ .

Físicamente este factor representa la relación entre la densidad del flujo de potencia emitido por la antena dada en una dirección determinada y la densidad de flujo de potencia que emitirá una antena absolutamente no direccional en cualquier dirección, siendo iguales las potencias de radiación de las antenas.

El producto del factor de directividad por el rendimiento de la antena se había definido en la sección 2.1.1, como la ganancia de antena (G). Usualmente es expresada con respecto a la referencia de un radiador isotrópico o de media onda.

$$G = K \cdot D \quad (2.220)$$

Expresada en decibelios tenemos:

$$G(\text{dB}) = 10 \text{ Log } G \quad (2.221)$$

Para la directividad nos queda:

$$D(\text{dB}) = 10 \text{ Log } D \quad (2.222)$$

2.2.3 Polarización

Cuando un transmisor alimenta potencia de señal a la antena, se crean campos Eléctricos y Magnéticos alrededor de la antena como en la Figura 2.8. Las líneas E son paralelas a la antena y las H (magnéticas) lo circundan. Como la naturaleza es de señal alterna, se desarrollan con una polaridad específica. Es uno cuando la antena y la onda tienen el mismo estado de polarización y es cero cuando son ortogonales entre sí.

Los campos compuestos que constituyen la señal en el espacio libre se componen de líneas magnéticas y eléctricas que se expanden como muestra la Figura 2.9.

Cuando la antena transmisora o receptora está en posición horizontal con respecto al suelo, la onda propagada está "polarizada horizontalmente" y las líneas eléctricas también están en un plano horizontal. Cuando la antena está en posición vertical el frente de onda de la señal tiene ahora las líneas eléctricas en posición vertical, situación conocida como "Polarización vertical".

Para que la transferencia de energía entre la antena transmisora y receptora sea máxima, uno de los factores esenciales es el mantenimiento de idéntica polarización entre las dos antenas. Comencemos considerando los casos de polarización lineal, circular y como un caso especial el de polarización

Elíptica.

Para el caso de una polarización lineal, la Figura 2.10 muestra la magnitud y dirección del Campo eléctrico como una función de la distancia para un tiempo determinado. Si la onda arriba al receptor sin ser despolarizada por el patrón de propagación, tanto la antena como la Onda estarán linealmente polarizadas y el factor de polarización tendrán su máximo valor igual a uno, en este caso se dice que la onda y la antena están copolarizadas. Si la onda y la antena son ortogonales se dice que están polarizadas de manera cruzada.

El caso de una polarización elíptica, está representado en la Figura 2.10 b con una propagación del campo E a lo largo del eje z. Un caso especial de esta polarización lo obtenemos cuando $E_1 = 0$ (polarización lineal) y para $E_1 = E_2$ (polarización circular). La variación de E para una polarización circular está representado en la Figura 2.10 c.

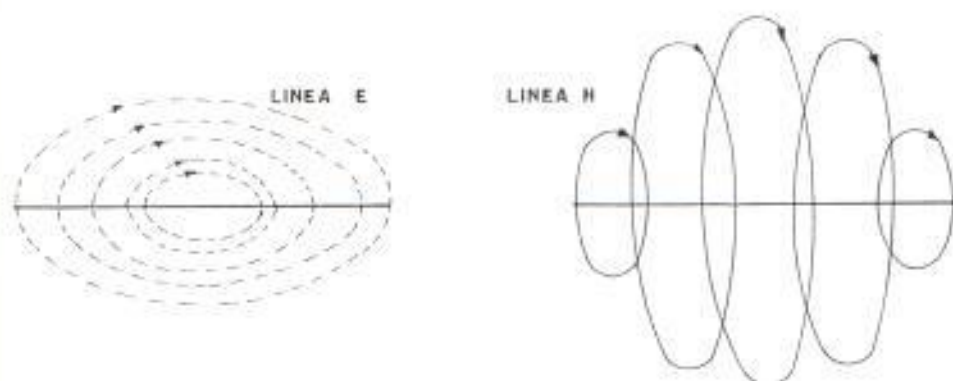
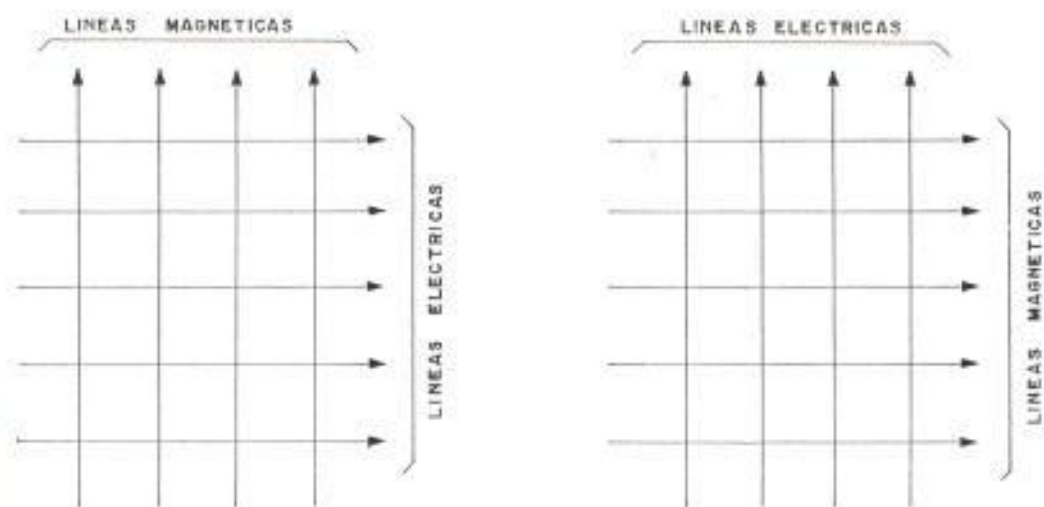


FIGURA 2 - 8

CAMPOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS DE UNA ANTENA DE MEDIA ONDA



ANTENA HORIZONTAL



ANTENA VERTICAL



FIGURA 2 - 9

POLARIZACION DE ANTENAS

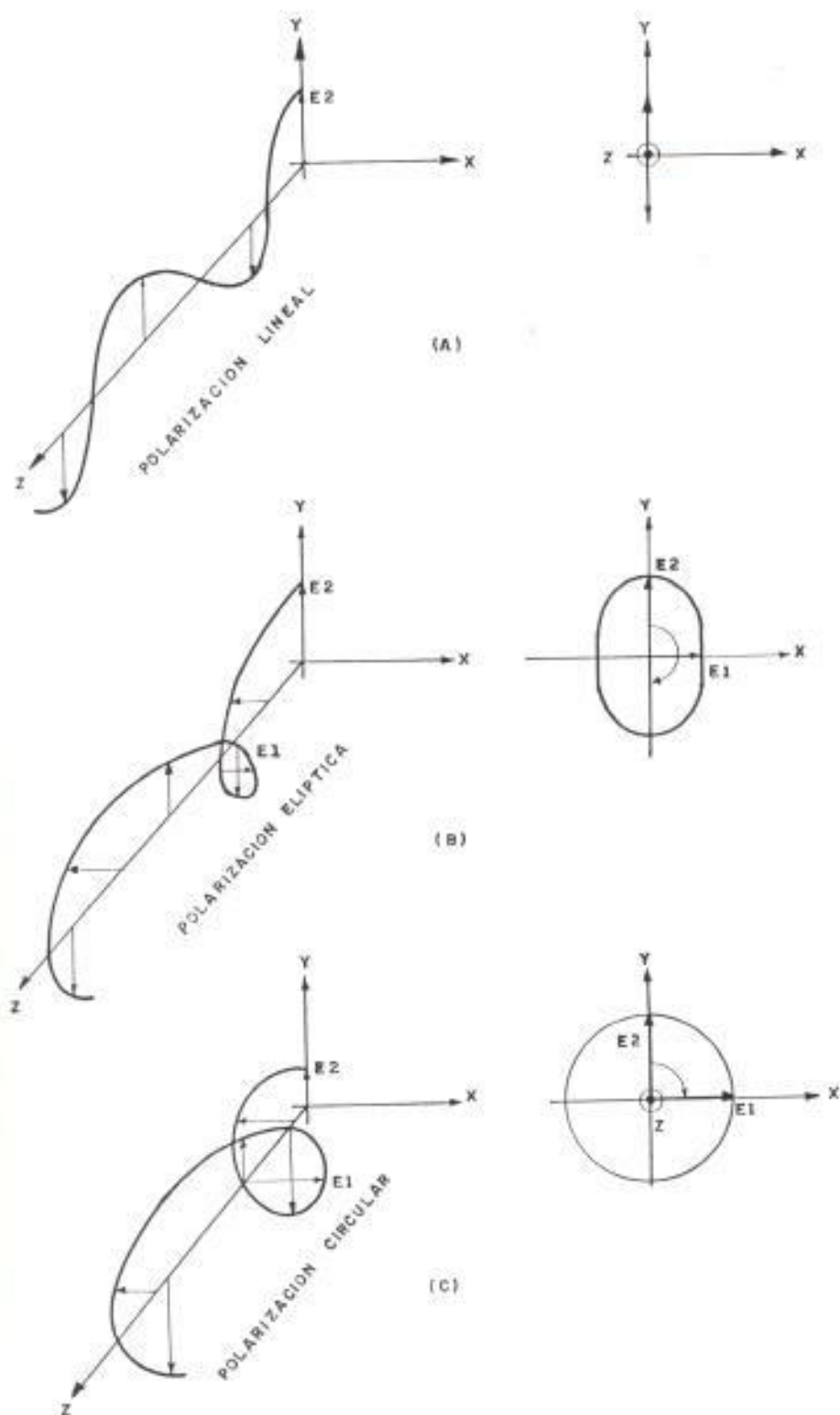


FIGURA 2-10

POLARIZACION LINEAL, ELIPTICA Y CIRCULAR

2.3 TIPOS DE ANTENAS Y PARAMETROS IMPORTANTES

Uno de los requerimientos más importantes de una antena es el patrón de radiación de su energía para una cobertura determinada.

Los más comunes patrones de radiación de una antena son:

Omnidireccional

Unidireccional

En abanico

Simétrico

Las antenas con patrón de radiación omnidireccional son utilizadas cuando los servicios de comunicación requieren una muy buena cobertura en todas las direcciones. Generalmente el patrón en el plano horizontal es circular y en el plano vertical la ganancia puede incrementarse en alguna dirección determinada.

Las antenas unidireccionales contienen una alta ganancia en una dirección determinada, se las utiliza en sistemas de comunicación punto a punto. El ancho de banda, generalmente en los dos planos son iguales.

Las antenas con patrón de radiación en forma de abanico, contienen alta ganancia, el ancho de banda en un plano puede ser más ancho que en el otro. La radiación en la sección cubierta es elíptica en forma más circular que la anterior.

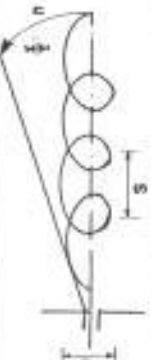
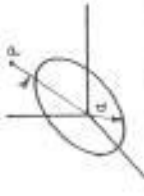


TIPO	PATRON	CONFIGURACION	GANANCIA
HELICOIDAL	$\left(\frac{\sin \frac{90^\circ}{n}}{n} \right) \frac{\sin(n\psi/2) \cos \phi}{\sin(\psi/2)}$ $C\lambda = \pi r = \sqrt{2} S \lambda$ $\psi = 360^\circ \left[S\lambda (1 - \cos \phi + 1/2n) \right]$		$15 C\lambda^2 \cdot n \cdot S \lambda$
LASO CIRCULAR	$\frac{120 \pi^2 [1] \sin \sigma}{r} \frac{A}{\lambda^2}$ $C\lambda = 2 \pi a/\lambda \quad C\lambda < 1/3$ $A = \pi \cdot a^2$		$\frac{3}{2}$
DIPOLO DE MEDIA ONDA	$\frac{\cos \left[\frac{\pi}{2} \sin \theta \right]}{\cos \theta}$		1.64
PARABOLICA			$DC \cdot 6 A \theta \frac{(\pi d^2)}{4 \lambda^2}$

TABLA 2 - 2

ANTENAS TÍPICAS UTILIZADAS EN EL ESPACIO LIBRE

En el caso de las antenas con patrón de radiación simétrico, son utilizadas cuando queremos tener una específica convergencia en uno de los dos planos. Se la utiliza principalmente en radares.

En la Tabla 2.2 hemos resumido los tipos de antenas más comunes con sus respectivas características y parámetros, siendo éstas frecuentemente las más utilizadas en Televisión.

2.3.1 Antena Yagi

Son las más utilizadas en el rango de alta frecuencia (HF), ultra alta frecuencia (UHF) y muy altas frecuencias (VHF). Está constituida por directores y reflectores, los mismos que sirven para producir características direccionales de propagación, proveen una alta ganancia a bajo costo sobre un rango determinado de frecuencias.

Los cálculos de las antenas YAGI, son demasiado complicados debido a las interacciones mutuas de los elementos, así como por la cantidad de variables que hay que prefiar, por lo que los datos obtenidos son experimentalmente.

En la Figura 2.11 tenemos el patrón de radiación de una antena dipolar simple que actúa sola y una antena Yagi que consiste de un dipolo con directores y reflectores. Los directores y reflectores se denominan elementos parásitos y el dipolo es el elemento impulsado o excitado. El espaciamiento óptimo entre el elemento reflector y el excitador es

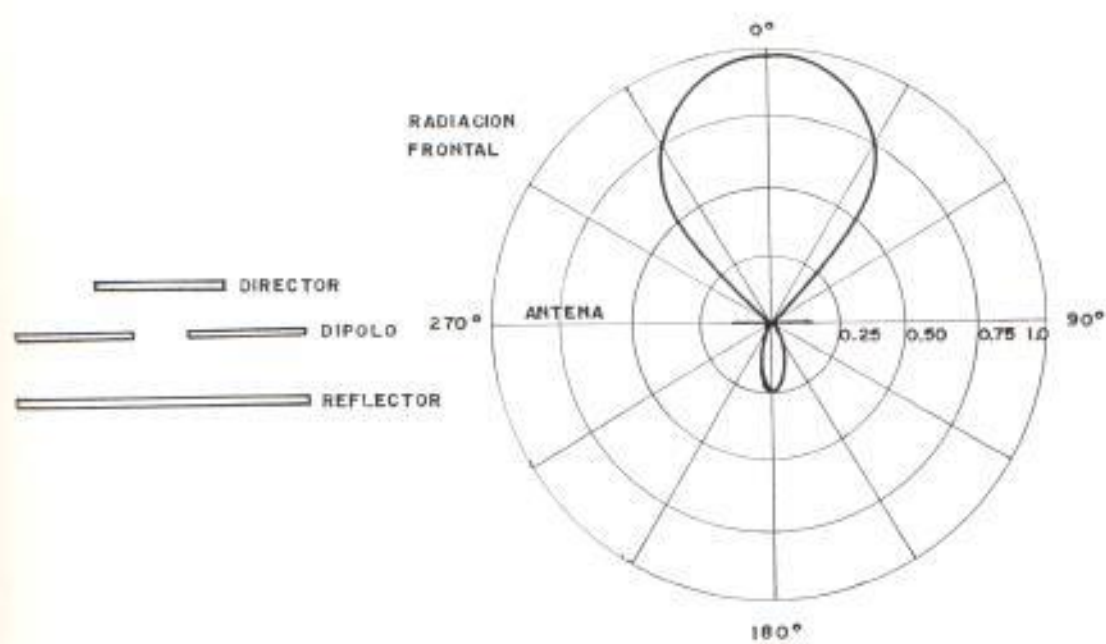
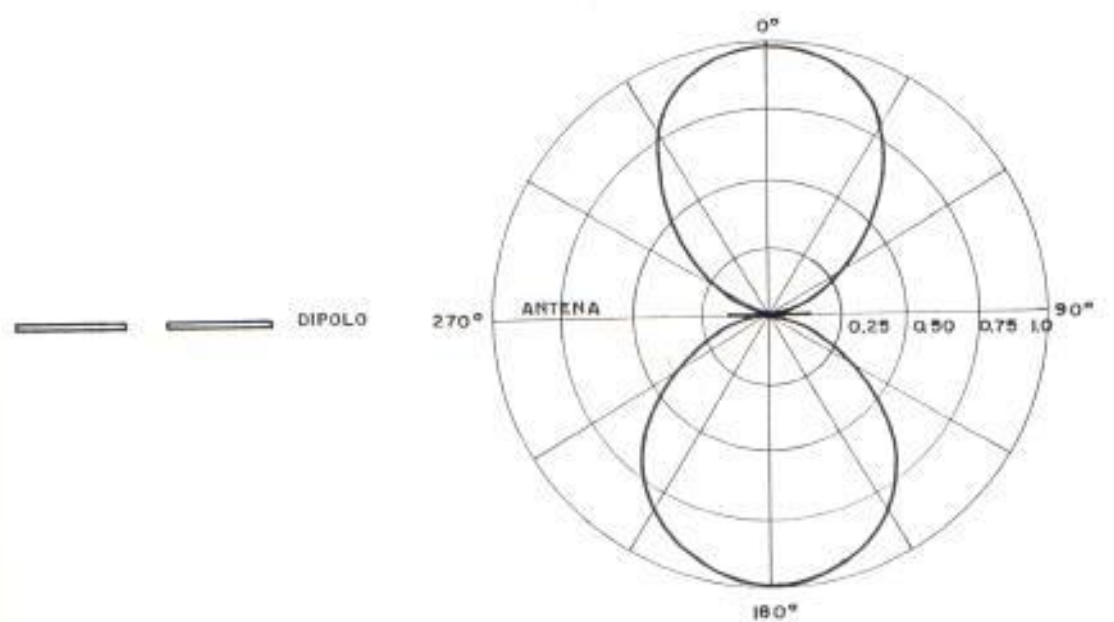


FIGURA 2-11

ANTENA DIPOLAR : (a) SIMPLE (b) CON UN SISTEMA DIRECTO

de 0.15 de longitud de onda si el reflector es 5% mayor que el dipolo.

En las siguientes tablas se dan ciertas características de antenas Yagi.

Diámetro del Conductor : 0.005

Espacio entre Directores : 0.34

Distancia del reflector : 0.25

# Direct.	Long. ()	Ancho Lóbulo (o)	G(dBs)
30	0.4	22	28
20	0.407	26	21
13	0.414	31	15
9	0.421	37	13
4	0.431	46	8

TABLA 2.3
ANTENAS YAGI PARA ANCHO DE LÓBULO 6 dB MAS BAJOS QUE
LA POTENCIA MAXIMA

Longitud de los directores : 0.414

Longitud del reflector : 0.51

Longitud del dipolo : 0.45

Espaciado reflector (λ)	DIRECTORES	
	Espac. 0.406 (ohmios)	Espac. 0.42 (ohmios)
0.25	62	50
0.18	50	43
0.15	32	27

TABLA 2.4
IMPEDANCIA DE UNA YAGI CON 13 DIRECTORES

2.3.2 Antena reflectora tipo Corner

Consta de un conductor irradiante, normalmente es un elemento de media onda de longitud asociado con un reflector construido de dos láminas conductoras planas unidas angularmente.

La Figura 2.12 muestra la configuración de la antena en el sistema de coordenadas.

El principal efecto de una antena corner, es la concentración de la radiación en la dirección del bisector del corner. La relación entre el espacio S y la ganancia está mostrada en la Figura 2.13 para diferentes ángulos.

Este tipo de antenas, principalmente se la utiliza para comunicaciones punto a punto y en estaciones de TV debido a su gran ancho de banda.

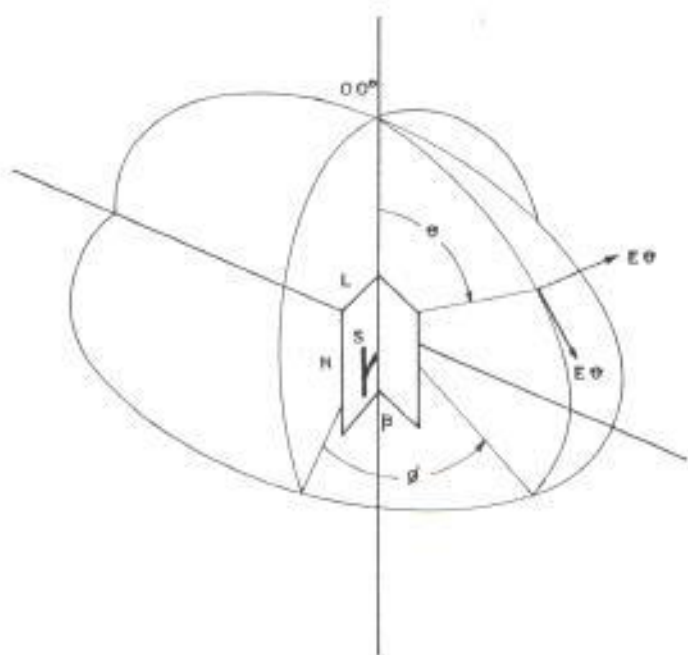
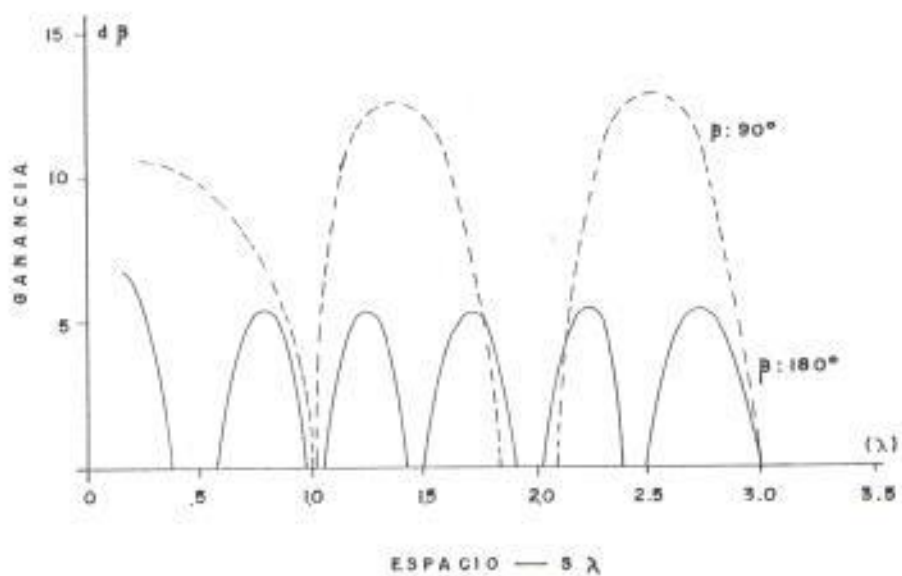


FIGURA 2-12

ANTENA REFLECTORA CORNER EN EL SISTEMA DE COORDENADAS



(A)

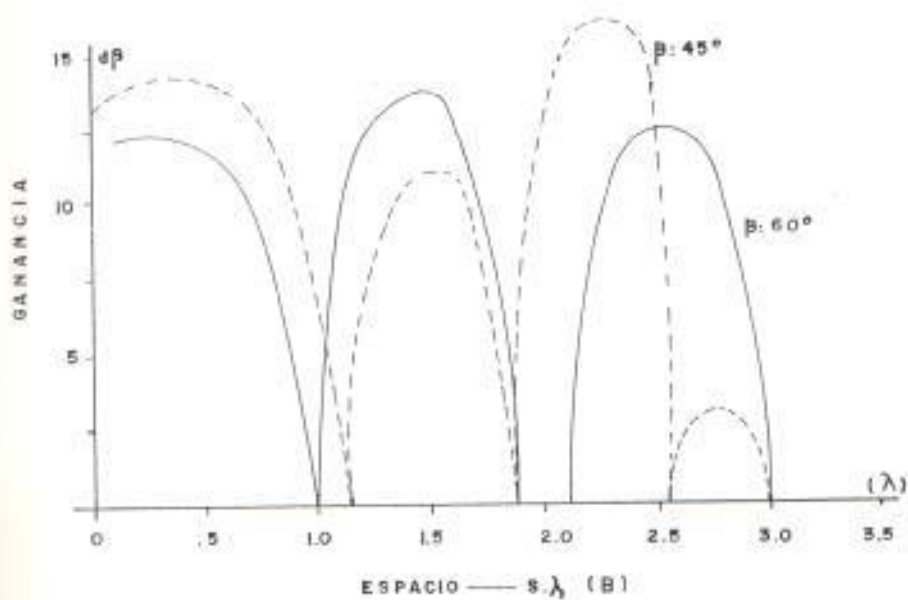
ESPACIO — $s \cdot \lambda$ (B)

FIGURA 2-13

GANANCIA VS ESPACIO PARA :

(A) : $\beta = 90^\circ$ y $\beta = 180^\circ$ (B) : $\beta = 45^\circ$ y $\beta = 60^\circ$

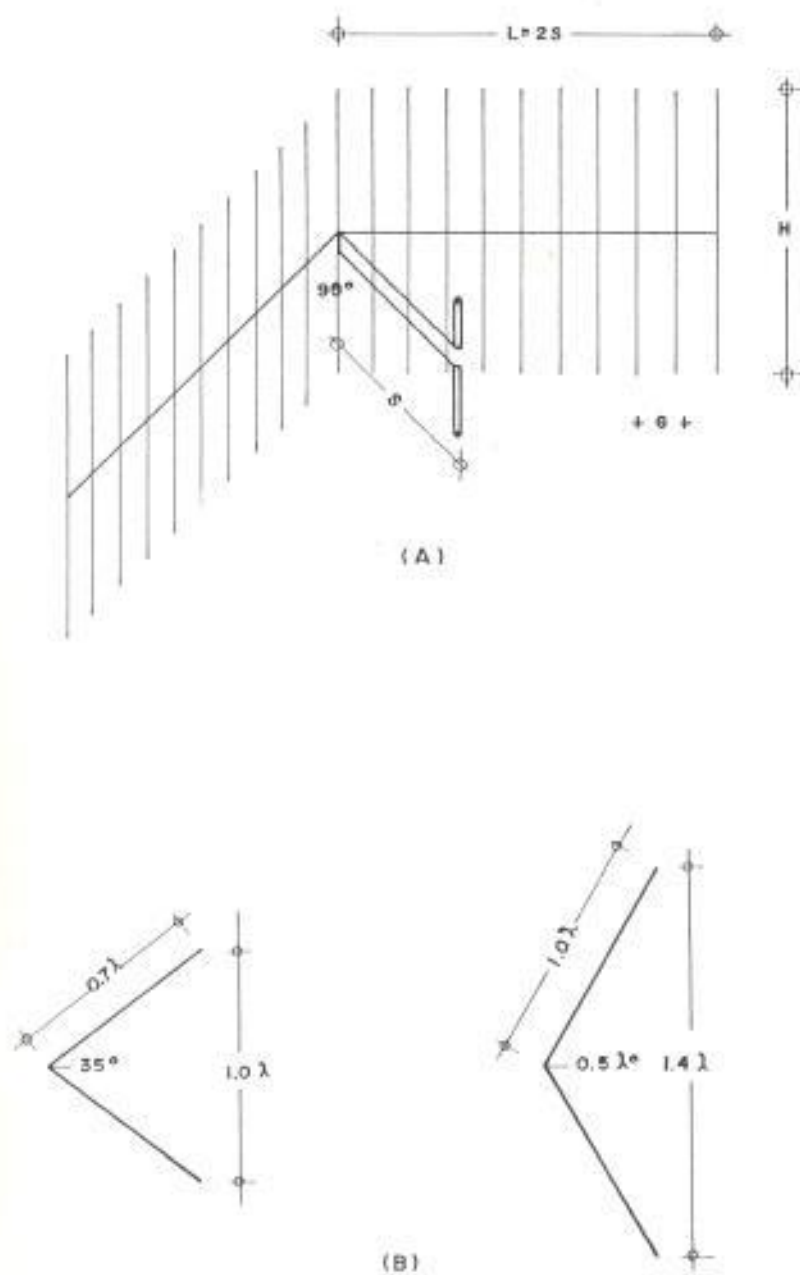


FIGURA 2-14

ANTENA DIEDRICA TIPO CORNER
 (B) DIMENSIONES DEL CORNER

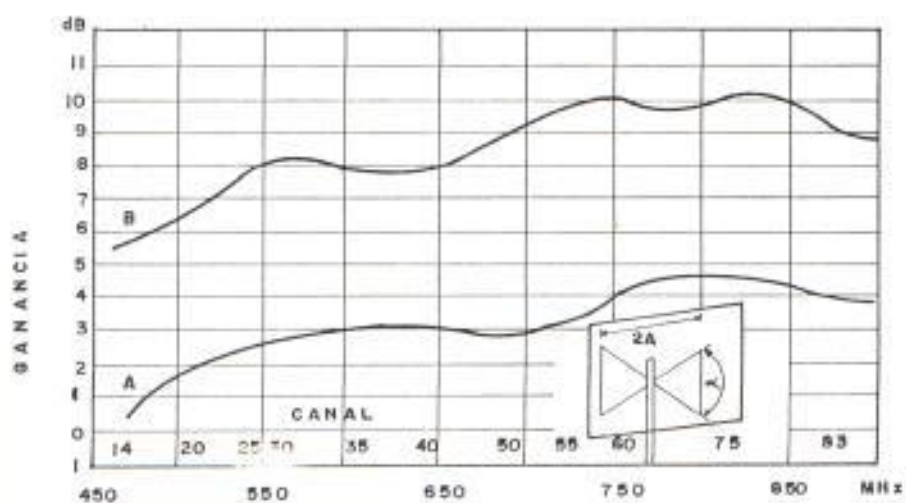


FIGURA 2-15

(A): DIPOLO TRIANGULAR ($\alpha = 70^\circ$; $A = 7\frac{1}{2}$ PULG.)
 (B): DIPOLO TRIANGULAR CON REFLECTOR.

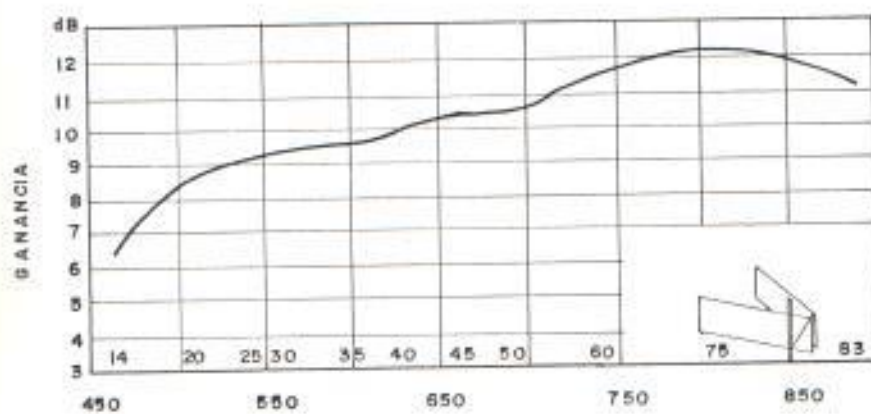


FIGURA 2-16

ANTENA TIPO - V

La Figura 2.14 muestra un tipo de antena para diferentes dimensiones. Para $S = 0.35$ y $L = 0.7$ tenemos un mayor ancho de banda. El valor típico de G es normalmente 0.1 y para $H = 0.6$.

Las Figuras 2.15 y 2.16 presentan otro tipo de antenas utilizadas para transmisión y recepción de TV.

2.4 POTENCIA DE UNA ANTENA

En un radioenlace, para dos antenas isotrópicas separadas una distancia r . Llamaremos P_t a la potencia de la antena transmisora y P_r a la potencia de la antena receptora. El área efectiva (A_{ef}) se establece partiendo del supuesto de que si la antena estuviera dispuesta perpendicularmente a la dirección de las ondas y absorbiera totalmente la energía de ésta, en la superficie debería liberarse la misma potencia (P) que captara una antena real. En otras palabras:

$$A_{ef} = \frac{P}{D} \quad (2.400)$$

Para una antena isotrópica transmisora, la densidad de potencia a una distancia r es:

$$S = \frac{P_t}{A_{ef}} = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (2.401)$$

En el caso de una antena que no sea isotrópica y con una directividad D_t . La densidad de flujo de potencia será:

$$S = \frac{D_t \cdot P_t}{A_{ef}} = \frac{D_t \cdot P_t}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (2.402)$$

El área efectiva está determinada en función de la longitud de onda y de la directividad de la antena por la siguiente ecuación:

$$A_{ef} = \frac{D \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi} \quad (2.403)$$

De la ecuación 2.400 tenemos que la potencia de recepción estará dada por:

$$P_r = S \cdot A_{ef} = S \cdot \frac{D_r \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot r)^2} \quad (2.404)$$

Finalmente reemplazando 2.402 en 2.404 nos queda:

$$P_r = P_t \frac{D_t \cdot D_r \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot r)^2} \quad (2.405)$$

Donde:

P_t : Potencia de la antena transmisora

P_r : Potencia de la antena receptora

D_t : Directividad de la antena transmisora

D_r : Directividad de la antena receptora

λ : Longitud de la onda

r : Distancia entre las antenas

Con el fin de cuantificar pérdidas en un sistema de transmisión fue incluido el término de la ganancia de antena (G).

De la ecuación 2.220 tenemos que la ganancia es igual a:

$$G = D \cdot K = A_{ef} \cdot \frac{4 \pi K}{\lambda^2} \quad (2.406)$$

Para determinar las pérdidas de transmisión en el sistema antena - transmisora- receptora, consideramos que las antenas tienen un rendimiento $(K = 1)$ igual a uno, por lo que de la ecuación 2.705 nos quedaría:

$$P_r = P_t \frac{G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot r)^2} \quad (2.407)$$

Donde:

G_t : Ganancia de la antena transmisora

G_r : Ganancia de la antena receptora

En forma logarítmica, esta ecuación nos queda:

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - 20 \text{ Log } r \text{ (Km)} \quad (2.408) \\ - 20 \text{ Log } (F \text{ MHz}) - 32.44$$

Donde las potencias están expresadas en decibels con respecto a un miliwat ($30 \text{ dBm} = 1 \text{ Wat}$).

Una igualdad a la longitud de onda y la frecuencia es:

$$\lambda = \frac{300}{f \text{ MHz.}} \quad (2.409)$$

2.5 CONJUNTOS ANTENAS-LINEAS DE TRANSMISIÓN

Las antenas sirven como resistencia de carga de propagación en el transmisor o como interceptor de señal en el receptor, por lo que tienen una doble función llamada Reciprocidad de Antenas. La eficiencia en la recepción y emisión de una señal en una antena, depende de la Potencia transferida desde el transmisor hasta la antena, o viceversa desde la antena al receptor.

Las condiciones de máxima transferencia de potencia se dan en función de los factores de adaptación de impedancias concernientes a las líneas de transmisión. La impedancia de una línea de transmisión depende de la capacitancia y la inductancia por unidad de longitud. La relación entre ellas es:

$Z_0 = (L/C)^{1/2}$, donde Z_0 es la impedancia característica de la línea de transmisión.



FIGURA 2-17

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

TIPO DE CABLE	CAPACITANCIA POR PIE pF	INDUCTANCIA POR PIE uH	Z ₀
RG-11 A/U	29.5	0.083	50.0
RG-17 A/U	29.5	0.115	50.0
RG-59 A/U	21.0	0.112	75.0
214-023	20.0	0.107	-
214-076	3.9	0.351	-

TABLA 2.5
CAPACITANCIAS, INDUCTANCIAS E IMPEDANCIAS PARA ALGUNOS
TIPOS COMUNES DE LINEAS DE TRANSMISION

Cuando la impedancia característica de la línea de transmisión no es igual a la impedancia de la carga, se crean ondas estacionarias. Son estacionarias desde el punto de vista de que sus máximos y mínimos se producen siempre en los mismos puntos físicos a lo largo de la línea o antena.

La razón de onda estacionaria (SWR) es la de corriente máximo o voltaje a lo largo de la línea, a la corriente mínima o el voltaje en esa línea. De donde:

$$VSWR = \frac{V_{rms-m\acute{a}x}}{V_{rms-m\acute{i}n}} \quad (2.500)$$

$$ISWR = \frac{I_{rms-m\acute{a}x}}{I_{rms-m\acute{i}n}} \quad (2.501)$$

$$SWR = VSWR = ISWR \quad (2.502)$$

Suponiendo que las ondas estacionarias de una línea de transmisión dada se deban totalmente a una falta de coincidencia entre la impedancia de carga y la característica de la línea, la SWR estará relacionada con Z_0 y R_1 de conformidad con:

$$SWR = \frac{Z_0}{R_1} \quad \text{ó} \quad SWR = \frac{R_1}{Z_0} \quad (2.503)$$

La condición más buscada es la de una SWR de 1:1 puesto que indica una transmisión perfecta sin potencia reflejada y de este modo toda la potencia incidente en la carga le absorbe esta última con un bajo nivel de atenuación de la señal.

En estaciones VHF la línea coaxial rígida de 3 1/8" de diámetro es generalmente la más usada por su baja atenuación, mientras la línea de 6 1/8" es también común por la alta capacidad de manejo de potencia con baja atenuación.

Una consideración a tener en cuenta es en relación al uso de transmisores de alta potencia puesto que esto determina el uso de líneas de transmisión de grandes diámetros con alta capacidad de manejo de potencia, pero a medida que el diámetro se incrementa aparecen limitaciones de propagación de la señal. Esto es debido a la excesiva atenuación que presenta la línea a una frecuencia máxima de la señal. Las pérdidas desarrolladas en las líneas de transmisión y las características más importantes de ciertos conductores son obtenidas de las siguientes Tablas. (Fuente: BELDEN CORP).

LINEA DE CONDUCTOR DOBLE BLINDADO

AWG Y TRENZADO.	COLOR	DIAM. EXT. NOMINAL (Pulg.)	VELOC. DE PROPAGA.	ATENUACION	
				MHz.	dB/100 pies
22 (7x30)	Café	0.30x0.5	69.8%	57	1.7
				85	2.1
				177	3.2
				213	3.5
				473	5.4
				671	6.6

TABLA 2.6

CARACTERISTICAS DE UNA LINEA DE CONDUCTOR DOBLE BLINDADO

2.6 PARTICULARIDADES FUNCIONALES

Para un adecuado funcionamiento, una antena tanto de recepción como de transmisión debe satisfacer las siguientes condiciones de explotación:

1. Una alta *robustez* y seguridad mecánica en su explotación. Esta propiedad es importante en las antenas que funcionan en condiciones de gran variación de temperatura, humedad, presión atmosférica y vibraciones mecánicas.
2. Tamaño y peso mínimo. Esta propiedad es importante sobre todo en estaciones de radio terrestre y móviles.

LINEA DE CONDUCTOR DOBLE SIN BLINDAJE

AWG Y TRENZADO	COLOR	DIAM. EXT. NOMINAL (PULG.)	VELOC. DE PROPAGA	ATENUACION	
				MHZ	dB/100 PIES
22 (7x30)	CAFE	0.2x0.4	73.3%	100	1.4
				300	2.9
				500	3.8
				700	4.8
				900	5.6

TABLA 2-7

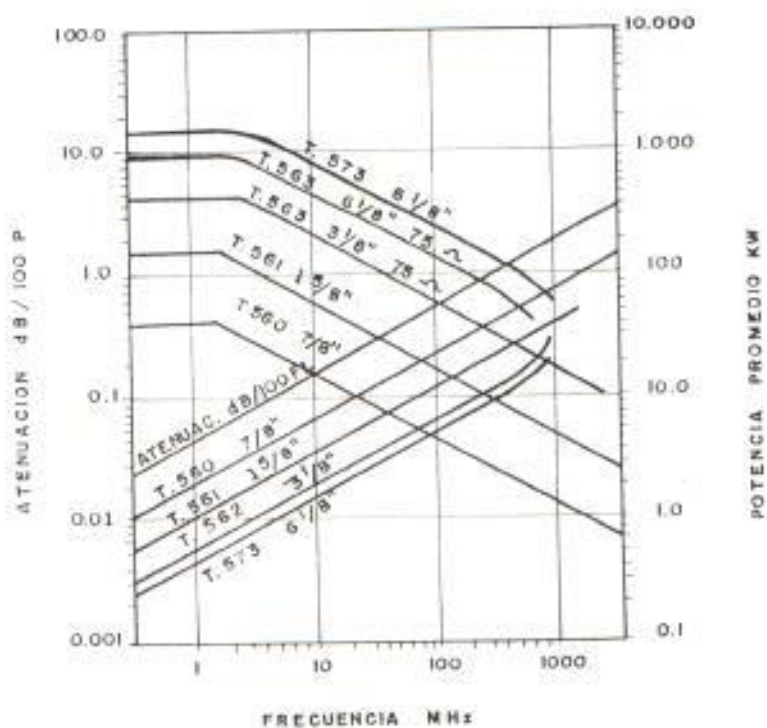
CARACTERISTICAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION DOBLE SIN
BLINDAJE

TABLA 2-8

CAPACIDAD NOMINAL DE POTENCIA Y ATENUACION
PARA CABLES COAXIALES RIGIDOS

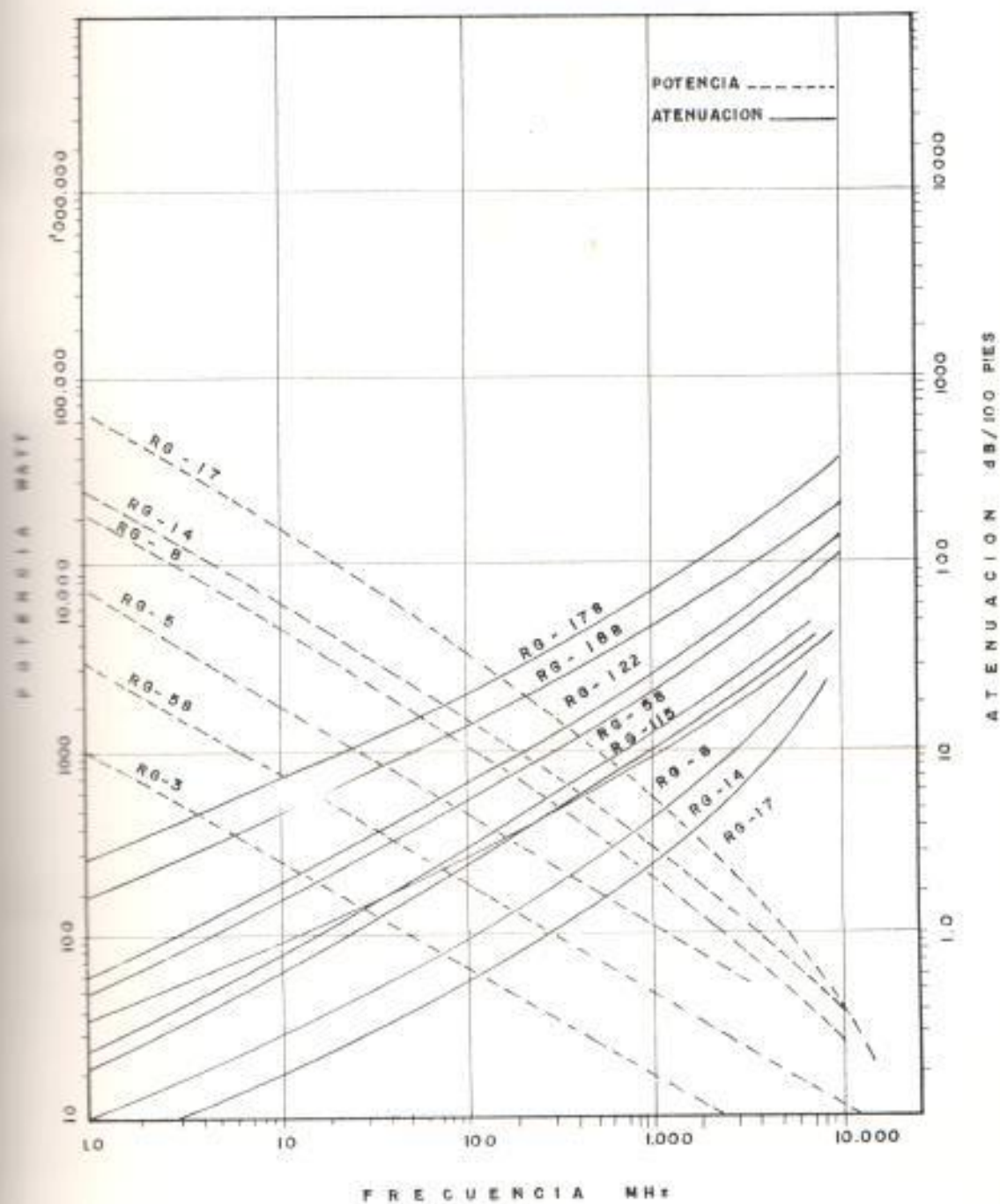


FIGURA 2-18

CAPACIDAD NOMINAL DE POTENCIA Y ATENUACION DE
 CABLE COAXIAL DE POLIETILENO

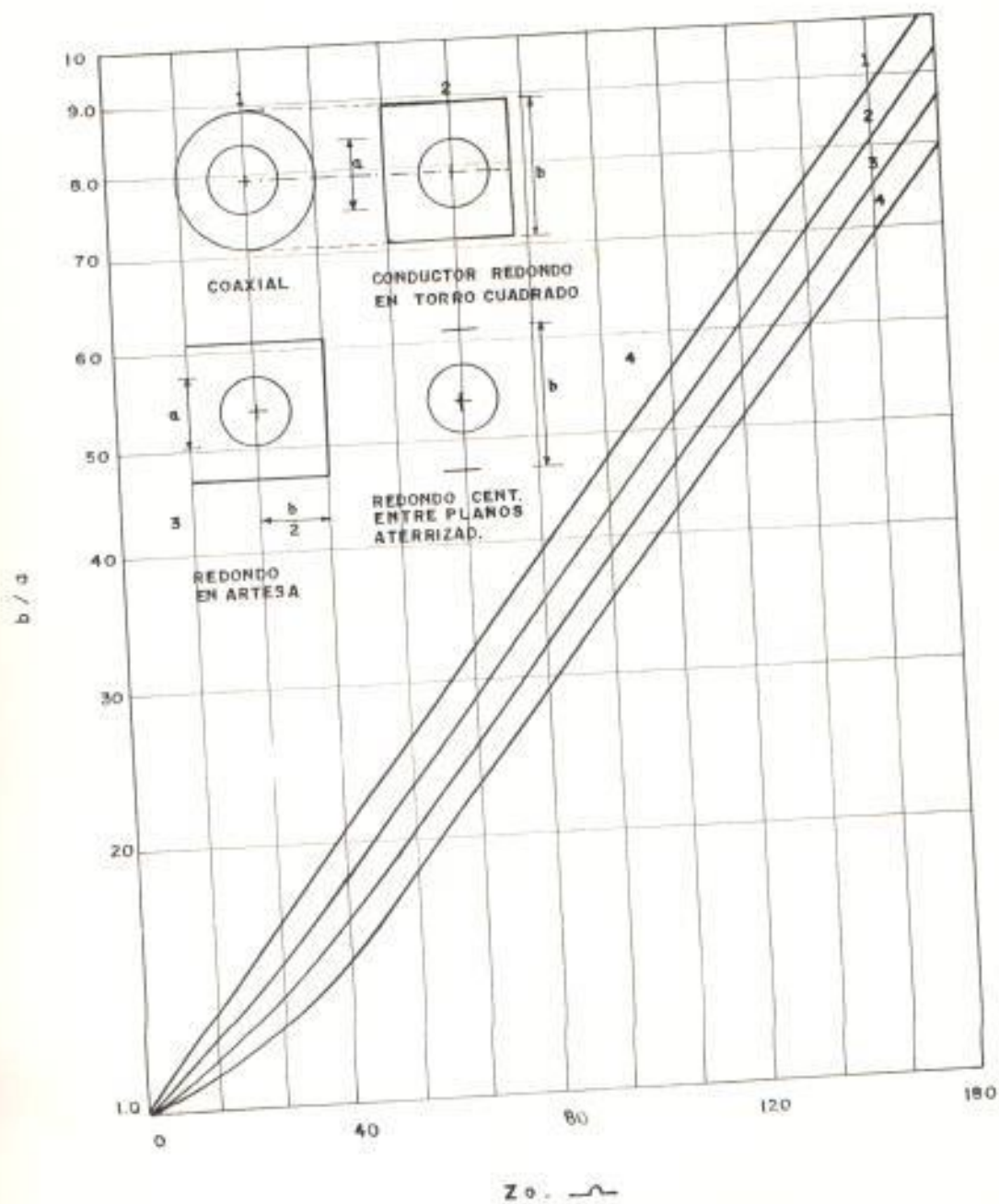


FIGURA 2-19

IMPEDANCIA CARACTERIZTICA DE LINEAS COAXIALES CON
MATERIALES DIELECTRICOS SOLIDOS

3. Sencillez y eficacia en la adaptación de los elementos del sistema de antena.
4. Costo mínimo de fabricación y de instalación de los dispositivos de antena.
5. Explotación exenta de peligro, especialmente en las potentes estaciones de radio, en cuyas antenas se excitan corrientes de una potencia que llega a varios centenares de Kv.
6. Adecuado sistema de protección contra descargas eléctricas que pueden ocasionar la destrucción de la antena.

CAPITULO III

PROPAGACION DE ONDAS

3.1 INTRODUCCION

Cuando una onda de radio es generada por un transmisor, ésta viaja en todas direcciones y puede ser reflejada en las superficies que incide, donde la calidad de reflexión depende de las irregularidades de la superficie, comparada con la longitud de onda de la onda incidente.

Dependiendo de la frecuencia, las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra por el fenómeno de difracción, a medida que la frecuencia se incrementa la influencia de la curvatura de la tierra sobre las ondas disminuye. Aquellas ondas que sufren predominantemente la influencia de la tierra se denominan ondas terrestres.

Esto es debido a que la tierra es semiconductor, produce pérdidas por penetración de las ondas en el espesor de la superficie y el proceso de difracción o esfericidad de la tierra a un cierto rango de frecuencias comienza a convertirse en un obstáculo.

Para transmisiones VHF y UHF, las condiciones de reflexión de las ondas en el espacio se produce en la tropósfera dispersándose la energía en la atmósfera. Esto es el resultado del cambio del índice de refracción cuando hay capas de aire en diferentes tempera-

turas sobre la tierra, así aunque las ondas VHF se propaguen por naturaleza en línea recta (transmisión de línea óptica o visual), redes especiales de antenas para transmisión y recepción son necesarias tras el horizonte óptico.

3.2 PROPAGACION SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Una onda es afectada por varios factores en su propagación, principalmente por la difracción y reflexión que se produce en el medio en que se propaga. Sin embargo la curvatura de la tierra es el factor que más afecta a la onda ya que impide a ésta alcanzar el punto receptor por una trayectoria en línea recta.

3.2.1 Línea de Vista

Entre los factores a considerar para el trazado de una trayectoria de línea de vista tenemos:

- a. Las ondas se propagan a frecuencias elevadas en las que se las considera un haz de luz.
- b. No se consideran los efectos de la tropósfera (aunque es la velocidad sí influyen).
- c. El análisis se lo realiza en base a la teoría de la óptica geométrica, donde la longitud de onda decrece a medida que la frecuencia aumenta.
- d. Para pequeños se considera a la onda emitida como si se tratase de un haz o rayo óptico.

La solución geométrica será:

Para el triángulo O-A-C. En la Figura 3.1 tenemos:

$$\cos \alpha = \frac{a}{a + h1} \quad (3.200)$$

Donde:

$$a = 6.37 \times 10^3 \text{ Kmts. (Radio de la tierra)}$$

$$r = \sqrt{(h1 + a)^2 - a^2} \quad (3.201)$$

$$r = \sqrt{h1^2 + 2h1a} \quad (3.202)$$

A medida que α tiende a 0 y considerando que $h1 \ll r$ nos queda:

$$r = \sqrt{2h1a} \quad r \approx h1 \quad (3.203)$$

Por lo tanto, si tenemos dos antenas elevadas, su alcance máximo será:

$$r = 3.57 \left[\sqrt{h1} \text{ (mts)} + \sqrt{h2} \text{ (mts)} \right] \text{Kmts.} \quad (3.204)$$

En la Figura 3.2, si Rx se mueve, se pierde la línea de vista y por la teoría de óptica geométrica no debería haber recepción, pero en realidad sí se produce radio enlace debido a que la onda se difracta ($E \neq 0$) recepción - baja.

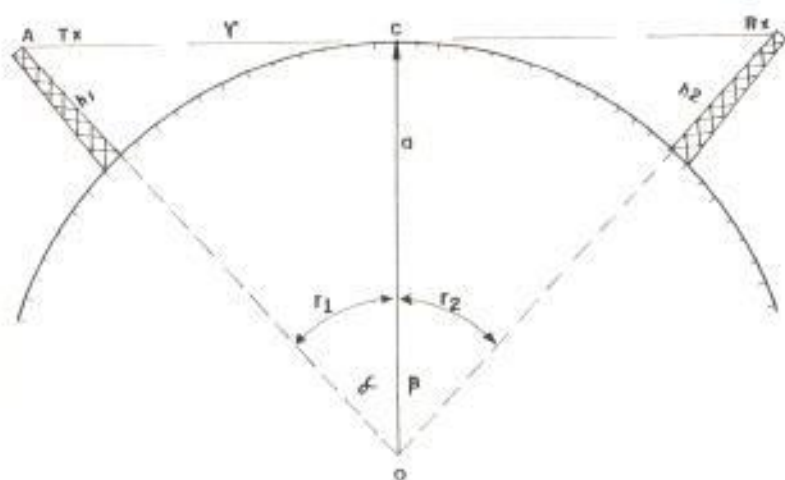


FIGURA 3-1

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL ALCANCE DE UNA SEÑAL
ELECTROMAGNÉTICA

3.2.2 Superficie esférica

Cuando la longitud de onda λ se incrementa, la concepción de rayo óptico se pierde por el proceso de difracción que consiste en tratar las ecuaciones de Maxwell en la frontera aire-terreno semiconductor. Por lo que la curvatura de la tierra afecta en el siguiente aspecto:

Al ser considerada la onda emitida, no como un haz o rayo óptico sino como un elipsoide, ésta presenta no un punto de reflexión sino una zona dada por la zona donde incide el elipsoide.

Para este caso se tendrá que:

$$\delta_{\text{sup-esf}} = \delta_{\text{sup-plana}}$$

Con respecto al plano tangencial tenemos:

$$R = \frac{2h'1 \quad h'2}{R_{m-n}} \quad [3.205]$$

Donde:

$$h'1 = h1 - h1$$

$$h'2 = h2 - h2$$

siendo $h'1$ y $h'2$ las alturas referidas al plano tangencial

Considerando $h1/a \ll 1$ y $h2/a \ll 1$; α y β tienden a cero por lo que: $B' B''$ tiende a ND , y $h'2 = h2$

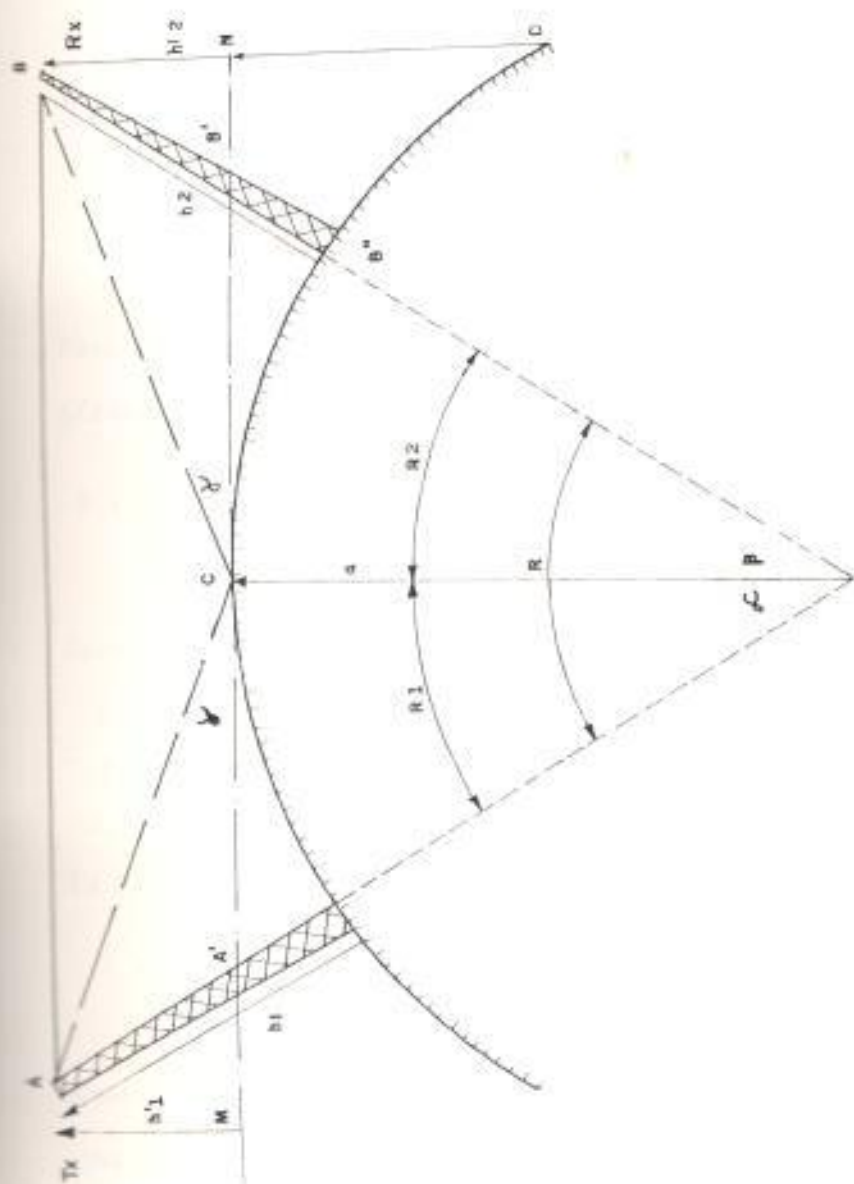


FIGURA 3-2

TRAYECTORIA GEOMETRICA DE ONDAS DIRECTAS Y REFlejADAS EN SUPERFICIES
ESFERICAS

Estas relaciones trigonométricas del efecto de la curvatura de la tierra, están tabulados en los gráficos de Dombis-Price y determinan el producto de las antenas $h'1$ y $h'2$ en función de las alturas reales donde el factor m , se lo define como el factor de corrección de la curvatura de la tierra.

$$m = \frac{h'1 \cdot h'2}{h1 \cdot h2} \quad (3.206)$$

Para una superficie plana, la atenuación con un coeficiente de reflexión R y $\beta = 180^\circ$ es:

$$F = \frac{4 m \cdot h'1 \cdot h'2}{R_{MN}} ; \quad \begin{matrix} (\alpha, \beta \rightarrow 0^\circ) \\ (\alpha m, \beta \rightarrow \beta) \end{matrix} \quad (3.207)$$

Donde:

R : Coeficiente de reflexión de la superficie terrestre

β : Angulo de la expresión compleja del coeficiente de reflexión

En una superficie esférica es:

$$F = \frac{4 m \cdot h1 \cdot h2}{R_{m-n}} \quad (3.208)$$

Cuando α y β tienden a cero, R tiende a $R1 + R2$, por lo que el ángulo de elevación para una superficie plana es:

$$\delta_{SP} = \frac{h'1 + h'2}{R} \quad (3.209)$$

$$\delta_{SE} = \frac{h1 + h2}{R} \cdot n \quad (3.210)$$

El factor P está definido como:

$$P = R / \sqrt{2 \cdot |1 - a|} \quad (3.211)$$

Donde:

h_1 : Es la antena más elevada, independiente de cual transmite.

R : Distancia entre los enlaces

a : Radio de la tierra

Tanto el factor m como el factor n , se los obtiene a partir de los gráficos 3.3 y 3.4.

Puesto que para el análisis estamos considerando la teoría de óptica geométrica. En un radio enlace entre dos antenas distantes. Debido al fenómeno difractorio se distinguen tres zonas diferentes.

1. Zona de claridad

$$r = 0,70 r_0$$

2. Zona semioscura

$$0,80 r_0 \leq r \leq 1,20 r_0$$

3. Zona oscura donde se da el proceso difractorio

La expresión matemática que determina estas zonas es una serie convergente de Bessel, su resolución matemática es muy compleja y presenta dificultades en los cálculos de intensidad de campo. Posteriores estudios de Bremmen-Fox dieron como resultado una expresión más práctica.

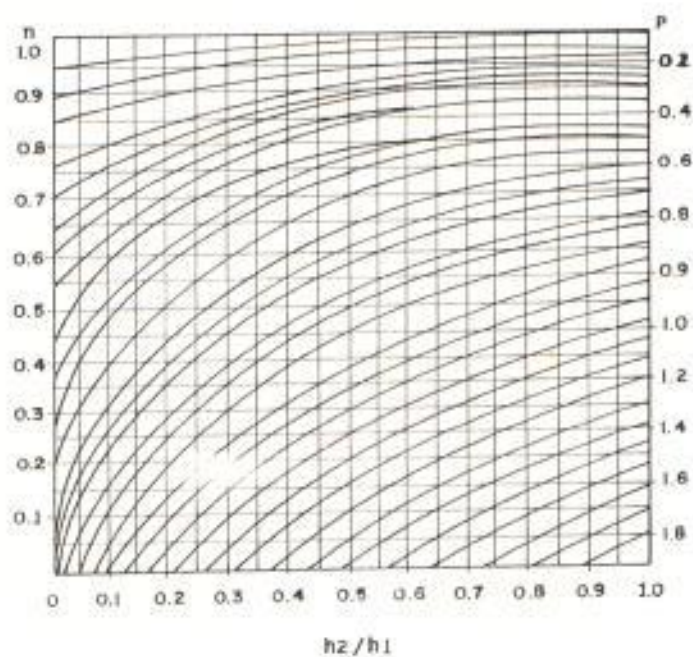


FIGURA 3-3

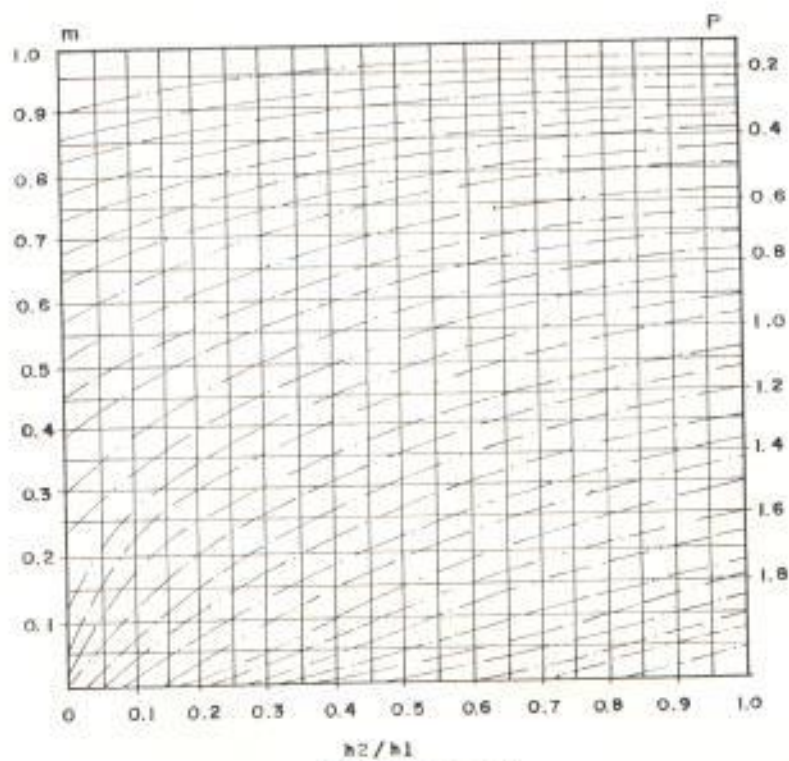
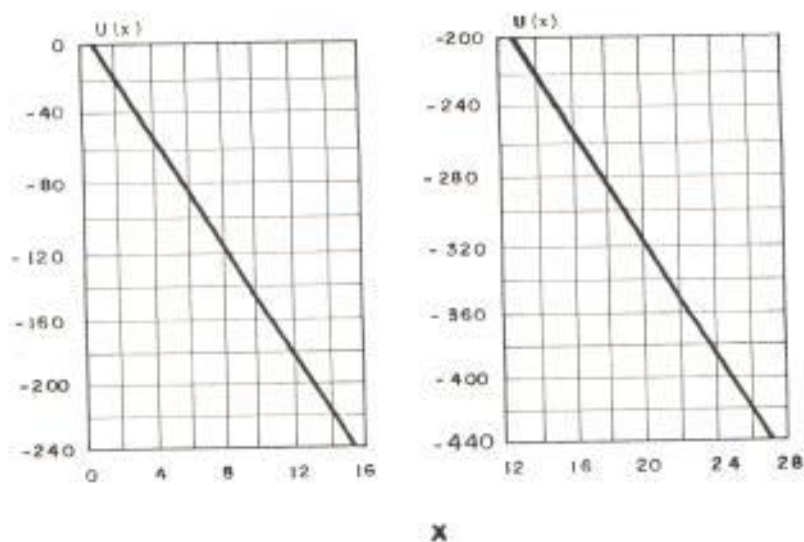
FACTOR n PARA EL ANGULO DE ELEVACION α 

FIGURA 3-4

FACTOR m Y P PARA EL CALCULO DE LA ATENUACION F

**FIGURA 3-5**

DISTANCIA NORMALIZADA PARA EL CALCULO DEL FACTOR
F EN LA ZONA OSCURA

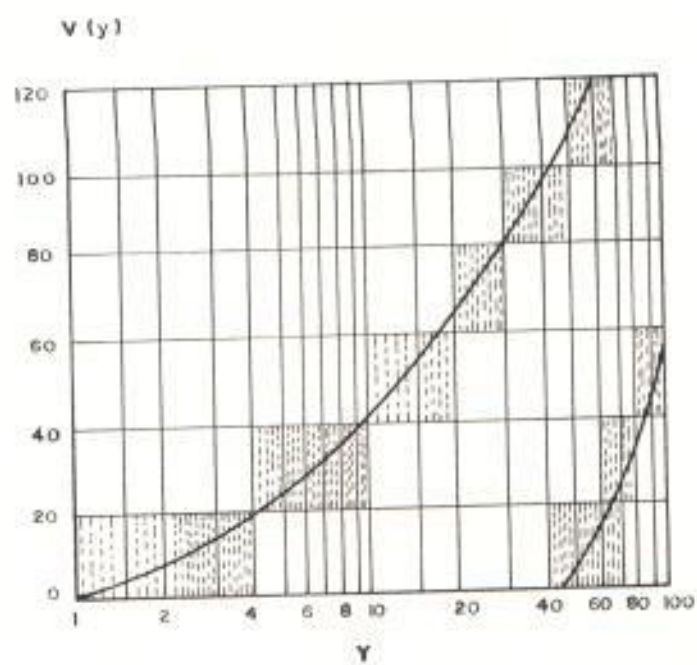
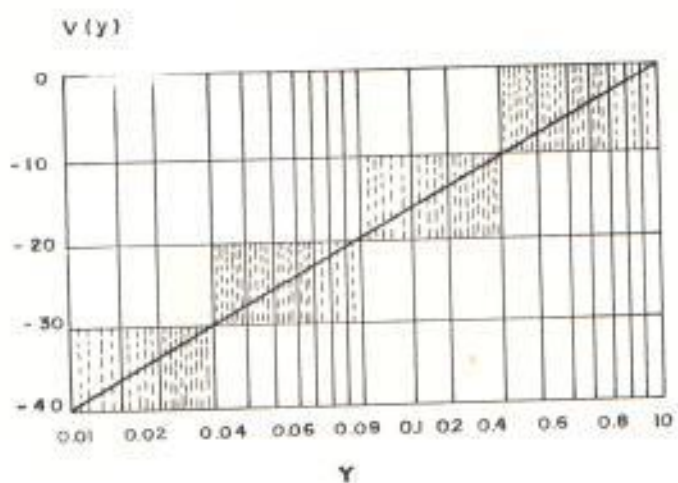


FIGURA 3-6

ALTURA NORMALIZADA PARA EL CALCULO DEL FACTOR F
EN LA ZONA OSCURA

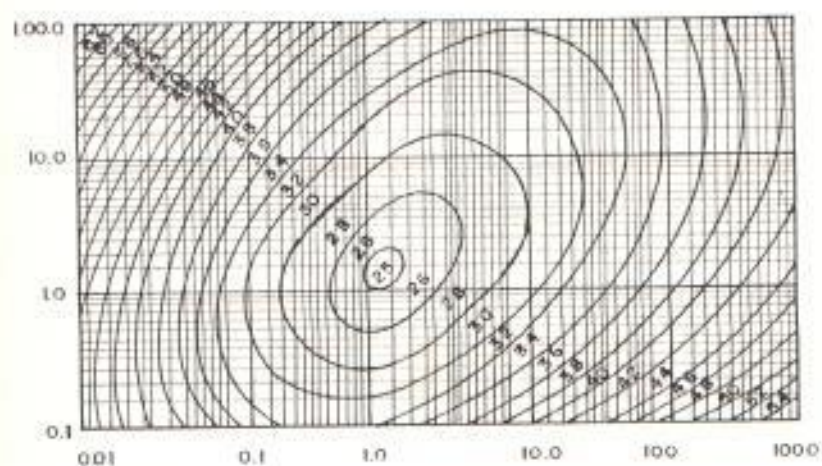


FIGURA 3-7

GRAFICO DE LOS CINCO PRIMEROS TERMINOS DE LA SERIE PARA ZONA SEMIOSCURA CON RESPECTO A LAS ALTURAS NORMALIZADAS Y_1 y Y_2 .

La Tabla 3.1, resume las propiedades de intensidad de campo y de atenuación F para cada una de estas zonas donde:

a : Radio de la tierra

r : Distancia del radio enlace

λ : Longitud de la onda en cms.

3.3 ENLACES DE MICROONDAS

La gama de microondas incluye frecuencias tan altas que los circuitos y las interconexiones se hacen comparables en tamaño a una longitud de onda. Los sistemas de transmisión de microondas para señales de TV, generalmente usan portadora comprendida hasta los 23 GHz del espectro con una modulación que es por frecuencia.

El proceso para el diseño de un sistema de comunicación en este tipo es el de línea vista, que resumidamente es el siguiente:

- a. Selección del sitio donde se instalará la estación transmisora o estación terminal del sistema.
- b. Diseño del trayecto de propagación de cada tramo (decisión de la clase de antenas a emplearse y cálculo relativo a la onda reflejada).
- c. Diseñar el sistema de antenas en cada tramo

TABLA 3.1
INTENSIDAD DE CAMPO Y ATENUACION

ZONA	INTENSIDAD DE CAMPO EN ESPACIO LIBRE (E ₀)	ATENUACION (F)	INTENSIDAD TOTAL DE CAMPO (E)
OSCURA (Proceso Difusivo)	$E_0 = \frac{\sqrt{245} P(Kw) \cdot D}{Kmts.}$ $U(X) : \text{Gráfico 3.5}$ $V(Y2) : \text{Gráfico 3.6}$ $V(Y1) : \text{Gráfico 3.6}$	$F(dB) = Ux(dB) + V. Y1(dB) + V. Y2(dB)$ $F(\text{veces}) = \text{AntiLog} \frac{F(dB)}{20}$ $Y1 = \frac{2h1}{\sqrt{\frac{\lambda^2 \cdot Q}{\pi^2}}} \quad Y2 = \frac{2h2}{\sqrt{\frac{\lambda^2 \cdot Q}{\pi^2}}}$ $X(\text{mts}) = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{\lambda \cdot Q^2}{\pi}}}$	$E = E_0 \cdot F$
SEMI OSCURA	$E_0 = \frac{\sqrt{245} P(Kw) \cdot D}{Kmts.}$ $E_0 \text{ (m V/mts)}$ $F(Y1, Y2) : \text{Gráfico 3.7}$	$F(dB) = 20 \text{ Log} \frac{Y_0}{1} + F(Y1, Y2)(dB)$ $F(\text{veces}) = \text{AntiLog} \frac{F(dB)}{20}$ $Y1 = \frac{2h1}{\sqrt{Q \lambda^2 / \pi^2}} \quad Y2 = \frac{2h2}{\sqrt{Q \lambda^2 / \pi^2}}$	$E = E_0 \cdot F$
CLARIDAD	$E_0 = \frac{\sqrt{245} P(Kw) \cdot D}{Kmts.}$ $m = \text{Figura 3.4}$	$F = \frac{4 \pi m h1 \cdot h2}{\lambda \cdot \lambda}$	$E = E_0 \cdot F$

- d. Estudiar la interferencia con sistemas de comunicación espaciales.
- e. Verificación de funcionamiento del sistema

Generalmente, las antenas para un sistema de micro-ondas consisten de un radiador primario cuyo campo por intermedio de un reflector da origen a un segundo patrón de radiación. Dependiendo de la frecuencia el radiador primario puede ser un dipolo localizado en el punto focal de la antena parabólica. Bajo ciertas condiciones las antenas parabólicas resultan menos direccionales que los repetidores pasivos por lo que dependiendo del sistema la elección de uno u otro es importante.

Un repetidor pasivo, simplemente consiste de una superficie metálica plana localizada entre un radio enlace que sirve para evitar obstáculos interpuestos entre los terminales.

Las funciones de estos repetidores, son similares a la de los repetidores activos con la diferencia de que éstos presentan una mayor facilidad de instalación.

En lo concerniente a las características eléctricas, estos repetidores pueden ser representados como dos antenas idénticas con ganancia unitaria, la una transmitiendo y la otra recibiendo la señal.

Como el enlace inter islas que pretendé canal 13 es en UHF y VHF, esta tesis no profundizará el estudio de enlaces en microondas, por cuanto su uso resultaría muy costoso y no justifica la demanda.

3.4 PERDIDAS DE PROPAGACIÓN

Un aspecto básico de considerar, son las pérdidas que se producen en la propagación de una señal, estas son:

3.4.1 Pérdidas en el Espacio Libre

Dependen principalmente de las condiciones ambientales por donde se propaga la señal, aunque para sistemas de ondas ultracortas y microondas, los factores que influyen son la frecuencia de propagación y la distancia del radioenlace.

Estas pérdidas se las obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$L(\text{dB}) = 92.44 + 20\text{Log } D(\text{Km}) + 20 \text{Log } F(\text{GHz}) \quad (3.410)$$

Donde:

D : Distancia en Kilómetros

F : Frecuencia de propagación en GHz

3.4.2 Pérdidas en las líneas de alimentación de las antenas

Las líneas de alimentación sirven para acoplar el equipo con la antena tanto en transmisión y recepción.

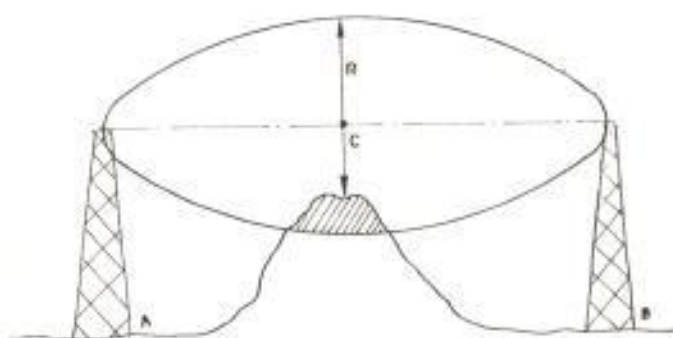
Las pérdidas dependen del tipo de línea, de la longitud y la frecuencia de operación. En el capítulo anterior (sección 2.5) se dan las características para diferentes tipos de líneas.

3.4.3 Pérdidas de Frésnel

Estas pérdidas se producen cuando la primera zona de Frésnel es interceptada por algún obstáculo. Está asociada con las Pérdidas por Difracción.

3.4.4 Pérdidas por Difracción

La Teoría de la Difracción concluye que el trayecto directo entre el transmisor y el receptor deben estar libres de obstáculos a partir de una claridad igual al 60% del radio de la primera zona de Frésnel.



$$C/R = 0.6 \text{ (mínimo)}$$

$$C/R \ll 1 \text{ (Alta pérdida por obstrucción)}$$

Para frecuencias mayores a 1 Ghz se puede asumir 0 dB de Pérdidas por Obstrucción.

3.4.5 Otras Pérdidas

Es aconsejable dejar un margen de error para el caso de que la zona de Frésnel se expanda por acción troposférica (aproximadamente de 2 a 4 dB). Para todo un sistema de radioenlace se deja 3 dB para transmisión y 3 dB para recepción.

3.5 FACTOR DE IONOSFERA

La ionósfera, es la región ionizada en la atmósfera terrestre extendida sobre los 50 Kilómetros hasta los 2.000 Kilómetros aproximadamente. Está dividida en tres regiones o capas D, E y F definidas en orden de creciente altitud (Figura 3.8).

Desde el punto de vista de propagación HF, las capas E y F actúan principalmente como reflectores de ondas de radio y permiten largos rangos de propagación entre terminales terrestres.

La región D actúa principalmente como un absorbente causando cierta atenuación en el rango HF, aunque ondas VLF y ELF son reflejadas en esta región. La transmisión a través de la capa D y E ocurre en las frecuencias medias, siendo la ionósfera un importante factor para comunicaciones VHF y altas frecuencias, sin embargo la señal es modificada y degradada en su paso a través de la atmósfera.

La principal causa de la ionización en la atmósfera, es la radiación electromagnética desde el sol extendiéndose sobre la porción de ultravioleta y rayos X del espectro. Sin embargo otras causas de la ionización son importantes como las partículas cargadas energéticamente de origen solar y los rayos cósmicos.

El grado de ionización a diferentes alturas depende de la intensidad de la radiación solar como una función de la longitud de onda y de la eficiente ionización de los gases atmosféricos neutrales. Sin embargo, la radiación solar es progresivamente absorbida en su paso a través de la atmósfera. Esta ionización residual habilitada depende del curso atmosférico y consecuentemente del ángulo cenital solar (X). La máxima variación de la ionización ocurre cuando el sol está sobre el ángulo ($X = 0$). Pero geográficamente variaciones diurnas y temporales de la densidad de ionización son encontradas.

CAPA D

Es la más cercana a la superficie terrestre, está comprendida entre los 50 a 90 Kilómetros de altitud con una densidad electrónica incrementada con la altura. Esta región presenta largas variaciones de densidad electrónica durante el día con valores típicos de 10^8 a 10^9 electrones/m³.

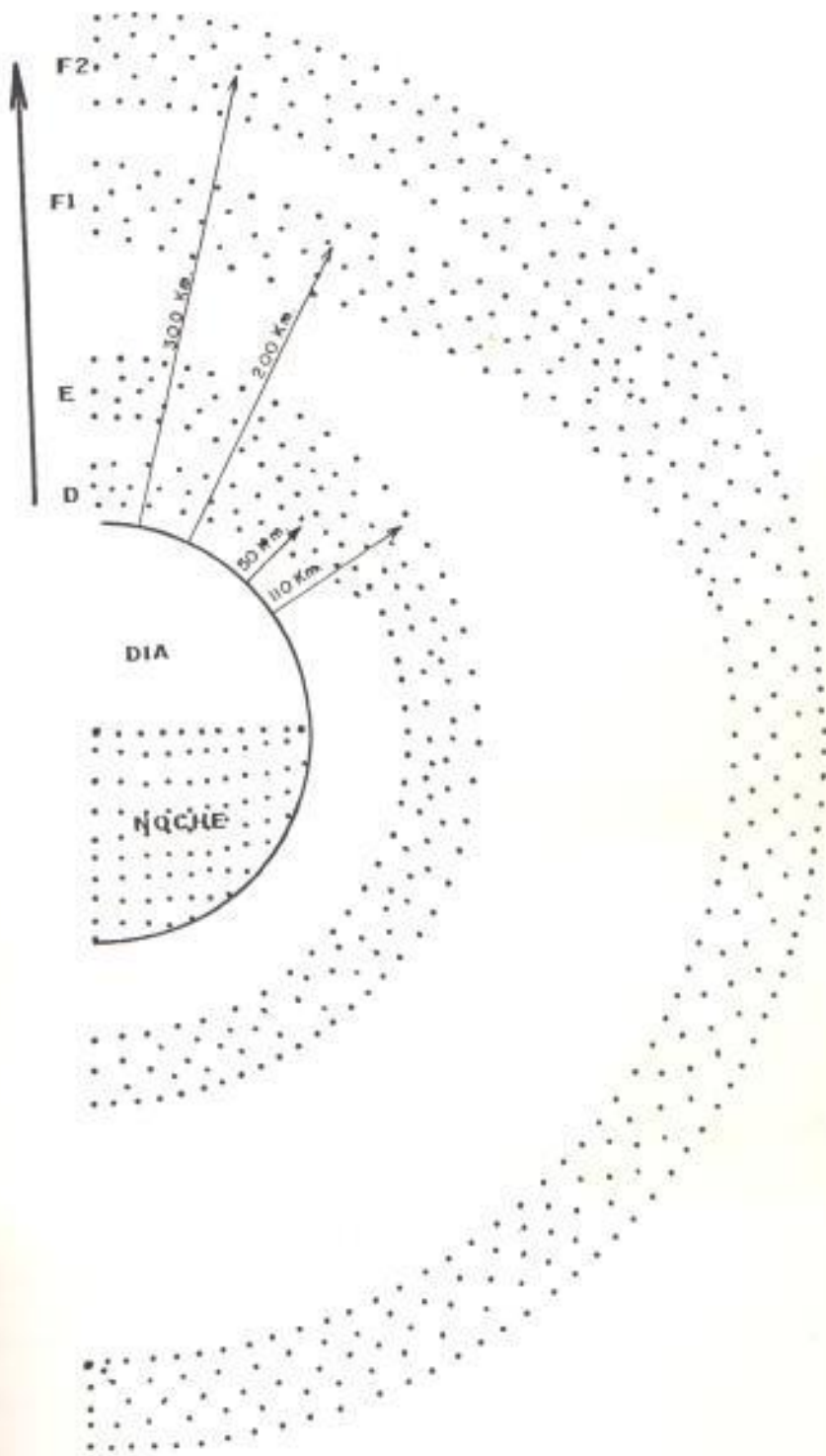


FIGURA 3 - 8

REGIONES DE LA IONOSFERA COMO UNA FUNCION DE LA
 ALTURA SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

CAPA E

Se encuentra en el rango de los 90 a 130 Kilómetros de altura con un valor de densidad máximo de 10^{11} electrones/m³ en el día, decreciendo en intensidad por la noche.

CAPA F1

Está comprendida entre los 130 a 210 Kilómetros de altura con una densidad de $2 \cdot 10^{11}$ electrones/m³ sobre la capa E.

CAPA F2

Abarca sobre los 210 Kilómetros de altura con un rango de densidad de 10^{12} electrones/m³ en el día y $5 \cdot 10^{10}$ electrones/m³ en la noche.

3.6 ANTENAS DIRECCIONALES DE PROPAGACIÓN

Las antenas complejas, al dirigir la energía propagada en direcciones específicas, producen intensidades de señal en un área dada - que equivalen a aumentar la potencia suministrada a la antena.

Así, las antenas directivas pueden enviar la onda propagada en la dirección correspondiente a ángulos prescritos horizontales o verticales y aumentar la intensidad de la señal en tales direcciones - utilizando la energía radiada normalmente transmitida en ángulos - des favorables.

Un factor que interviene en la direccionalidad de propagación de una señal en las regiones VHF-UHF, es la altura de antena sobre el

suelo, en que un aumento eleva la señal recibida en áreas distantes (transmisión en línea visual), así, la referencia comúnmente utilizada a la potencia del transmisor para TV y FM en áreas de UHF y VHF es la potencia efectiva radiada.

Otra consideración importante es la atenuación de señal que tiende a aumentar cuando se eleva la frecuencia de la señal transmitida. Así cuando una estación de televisión de banda baja (Canal 2 al 6) puede obtener una potencia efectiva asignada de 100 Kw. La FCC asigna una potencia de hasta 300 Kw para los Canales del 7 al 13.

El patrón de propagación en VHF (54 a 216 Mhz) y en UHF (470 a 806 MHz) para antenas direccionales se lo establece a partir del valor de intensidad de campo. Para distancias determinadas la FCC de - cartas para predecir niveles en dB de las señales sobre un micro - voltio por metro en una antena receptora con una elevación de 30 - piés sobre el nivel de la tierra como una función de la PEI y de - la antena de transmisión.

3.6.1 Ganancia de Antenas

Viene asociada directamente con la potencia de transmisión y es determinada en un radioenlace del análisis completo - de pérdidas y ganancias de tal modo que con la potencia - del transmisor se logre tener un Margen de Desvanecimiento que permita recibir en el umbral del receptor un nivel apre - ciable de la señal. Para el caso de antenas parabólicas - su valor viene determinado por la siguiente expresión:

$$G(\text{dB}) = 20 \text{ Log } D(\text{mt}) + 20 \text{ Log } F(\text{Ghz}) + 17,80 \quad (3.610)$$

Donde:

F : Frecuencia de Operación en GHz

D : Diámetro de la antena en metros

En otros casos, la ganancia viene establecida en los manuales como una función de la frecuencia o de la potencia del transmisor.

3.6.2 Nivel de Portadora receptada

Se lo establece como la diferencia entre las ganancias totales y las pérdidas.

$$\text{Nivel de Portadora Receptada (NPR)} = \text{Ganancias totales} - \text{Pérdidas totales (dBw)}$$

$$\text{NPR} = \text{GT} - \text{PT} \quad (\text{dBw}) \quad (3.611)$$

3.6.3 Umbral en el Receptor

Es la potencia de recepción sensible capaz de operar al receptor. Debe estar sobre el equilibrio (ruido) para que éste no interfiera. Mientras menos es el umbral el aparato es más sensible. Está asociado con la intensidad de campo capaz de existir un voltaje en la entrada del receptor. Se lo determina por la expresión:

$$U_x (\text{dBw}) = 10 \text{ Log } \frac{V_{in}^2 (V)}{Z_{in} (\Omega)} \quad (3.612)$$

Donde:

V : Voltaje de entrada en el receptor

Z_{in} : Impedancia de entrada al receptor

3.6.4 Márgen de Desvanecimiento

Se lo define como la diferencia entre el nivel del umbral y el de la portadora.

$$M = U_x - NPR \text{ (DBW)} \quad (3.613)$$

3.6.5 Confiabilidad del sistema

Se la obtiene a partir del margen de desvanecimiento y la distancia del radioenlace en millas. Este valor se lo obtiene extrapolando en el gráfico 3.9.

3.7 ALTURA MINIMA DE ANTENA TRANSMISORA Y RECEPTORA

Para determinar la altura de la torre debemos determinar la posición y altura de los obstáculos en el camino entre las estaciones de las cuales se desea establecer un sistema de radiocomunicación. A la altura de cada obstáculo se le debe sumar la curvatura de la tierra.

La altura de la curvatura en pies, en cualquier punto del camino es determinado por:

$$h = 0.667 d_1 \cdot d_2 \quad (3.700)$$

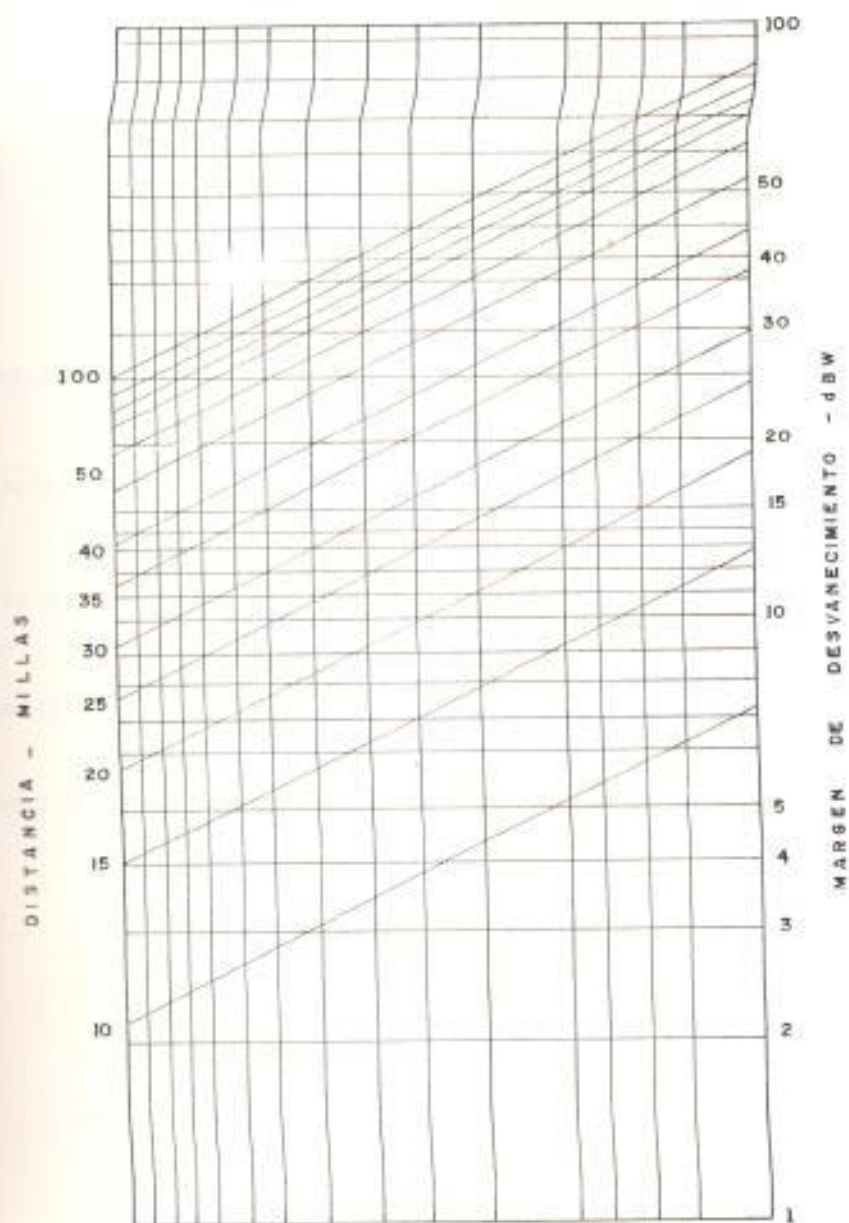


FIGURA 3-9

CONFIABILIDAD DE EL ENLACE

Donde:

d_1 : Distancia más cercana del final del enlace al punto del obstáculo.

d_2 : Distancia más lejana del final del enlace al punto del obstáculo.

Agregando el factor K , curvatura de la tierra tenemos:

$$h_{(\text{pies})} = \frac{0.667 d_1 \cdot d_2}{K} \quad (3.701)$$

Donde d_1 y d_2 están en millas

$$h_{(\text{mts})} = \frac{0.078 d_1 \cdot d_2}{K}$$

Donde, d_1 y d_2 están en Kilómetros.

3.7.1 Zona de Fresnel

Otro factor que debe ser agregado a la altura del obstáculo para obtener la altura efectiva del obstáculo es la claridad de la zona de Fresnel.

En la Figura 3.10 el radio b_x delimita el elipsoide de la primera zona de Fresnel. Puesto que la mayor cantidad de energía irradiada por la antena transmisora está contenida en la primera zona de Fresnel. Esta debe estar libre de obstrucción como mínimo en un 60%. Para la delimitación de las diferentes zonas de Fresnel se sigue el siguiente proce

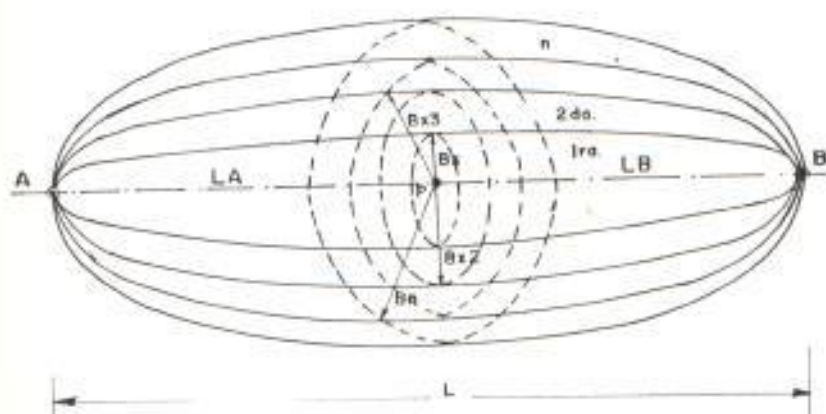


FIGURA 3-10

ELIPSOIDES DE LAS ZONAS DE FRESNEL

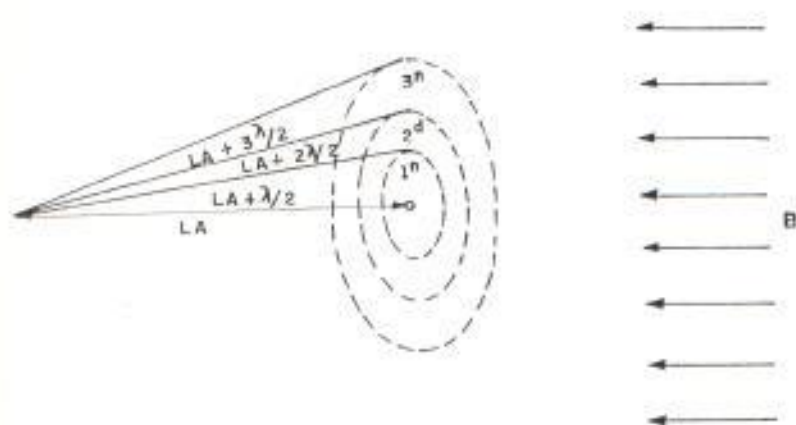


FIGURA 3-11

ZONAS DE FRESNEL

dimiento.

En la Figura 3.12 para la trayectoria entre las antenas ubi-
cadas en el punto A y B, determinamos el punto P que define
un trayecto indirecto de media longitud de onda de recorri-
do adicional. Idealmente al desplazar este punto va defi-
niendo diferentes trayectos posibles de longitud igual a -
 $\lambda + \lambda/2$. Los límites desde los cuales la onda puede re-
flejarse determinando la primera zona de Fresnel. Los lími-
tes de las sucesivas zonas, se representan con distancias -
que aumentan en múltiplos de media longitud de onda al reco-
rrido reflejado de tal forma que:

$$AP_1 + PB_1 = AB_1 + \lambda/2$$

$$AP_2 + PB_2 = AB_2 + 2\lambda/2$$

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots$$

$$AP_n + PB_n = AB_n + n\lambda/2$$

Estas ecuaciones, pueden ser expresadas como:

$$\begin{aligned} \sqrt{R_1^2 + La^2} + \sqrt{R_1^2 + Lb^2} &= La\sqrt{\left(\frac{R_1^2}{La^2} + 1\right)} + \\ &Lb\sqrt{\left(\frac{R_1^2}{Lb^2} + 1\right)} \\ &= La + Lb + \lambda/2 \end{aligned}$$

Siendo:

$$\frac{R_1^2}{La^2} \text{ y } \frac{R_1^2}{Lb^2} \ll 1$$

Donde, si aproximamos:

$$\sqrt{1+L} \approx 1 + 1/2 L \quad \text{si, } L \ll 1$$

Nos queda:

$$La \left[1 + 1/2 \left(\frac{R1^2}{La^2} \right) \right] + Lb \left[1 + 1/2 \left(\frac{R1^2}{Lb^2} \right) \right] = La + Lb + \lambda/2$$

$$R1^2 \left[\frac{1}{2 La} + \frac{1}{2 Lb} \right] = \lambda/2$$

Por lo que el radio $R1$ de la primera zona de Fresnel será:

$$R1 = \sqrt{\frac{La \cdot Lb \cdot \lambda}{La + Lb}} \quad . \quad = 17.3 \sqrt{\frac{d1 \cdot d2}{d \cdot f}} \quad (3.710)$$

Similarmente:

$$R2 = \sqrt{\frac{2(La \cdot Lb \cdot \lambda)}{La + Lb}} \quad (3.711)$$

Generalizando:

$$Rn = \sqrt{\frac{n \cdot La \cdot Lb \cdot \lambda}{La + Lb}} \quad (3.712)$$

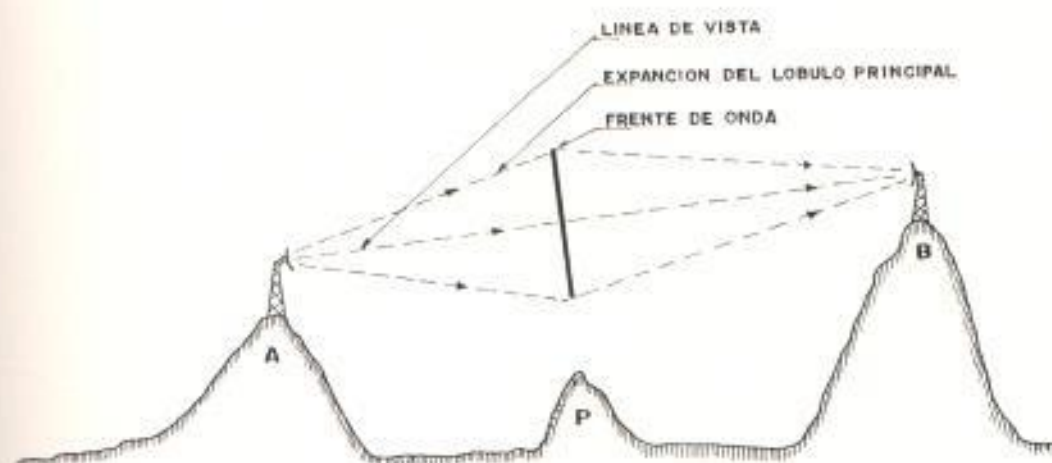
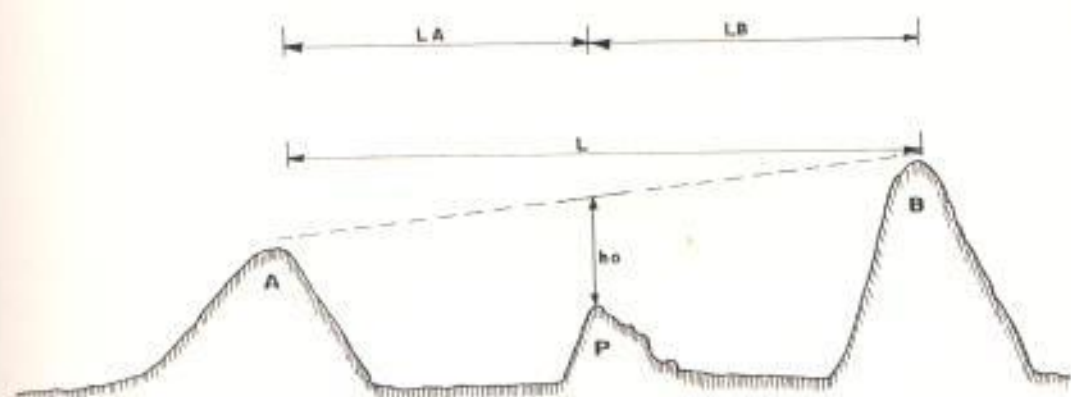


FIGURA 3 - 12

EXPANCIÓN DE UNA SEÑAL PARA COMUNICACIÓN EN LINEA
DE VISTA

3.7.2 Punto de reflexión

En un sistema de radio propagación en el espacio libre a más de la onda transmitida, uno o más rayos indirectamente pueden ser llevados a la antena receptora. Estos rayos pueden ser reflejados en la superficie terrestre o en superficies reflectoras cercanas. La intensidad de un rayo reflejado y las pérdidas que se producen dependen del coeficiente de reflexión de la superficie donde se refleja.

Analizando la Figura 3.13 mediante un procedimiento geométrico de semejanzas de triángulos se determinan las siguientes ecuaciones:

$$h_c = h_1 - \frac{d_1}{d}(h_1 - h_2) - d_1 \cdot \frac{d_2}{2R_c} - h_s \quad (3.720)$$

Esto nos determina el margen sobre obstáculos para determinar la altura de las antenas en condiciones de trayecto libre, esta condición establece que el margen sobre el obstáculo sea mayor que el radio de la primera zona de Fresnel.

La altura de la antena receptora h_2 sobre el nivel del mar, está dada por la siguiente ecuación.

$$h_2 = \frac{d}{d_1}(h_c + h_s) - \frac{d_2}{d_1} \cdot h_1 + \frac{d \cdot d_2}{2R_c} \quad (3.721)$$

Para $K = 4/3$

- h_s : Elevación del obstáculo
 h_c : Margen sobre el obstáculo
 h_1 : Extremo de mayor altura
 h_2 : Extremo de menor altura
 d_1 : Distancia desde el punto 1 al punto s
 d_2 : Distancia desde el punto s al h_2
 d : Distancia del trayecto
 $R_e = K \cdot a$ siendo $(a = 6.37 \times 10^3 \text{ Km})$

Una vez determinada la altura de las antenas, procedemos a encontrar con exactitud el punto de reflexión. Si se encuentra en el río, mar o si existe un obstáculo reflector en las vecindades de la trayectoria, se calcula nuevamente las alturas de las antenas de modo que el punto de reflexión sea desplazado a un terreno donde los efectos negativos de la onda sean atenuados al mínimo.

Este punto de reflexión se calcula por el desarrollo de una ecuación cúbica que expresa la ubicación del punto para cualquier valor de K . Los parámetros r , t y φ se evalúan por medio de las siguientes ecuaciones:

$$r = 6.37 K/4 \quad d(h_2 - h_1) \quad (3.722)$$

$$t = d^2/12 + 8.5 K/4 (h_1 + h_2) \quad (3.723)$$

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{r}{t \sqrt{t}} \quad (3.724)$$

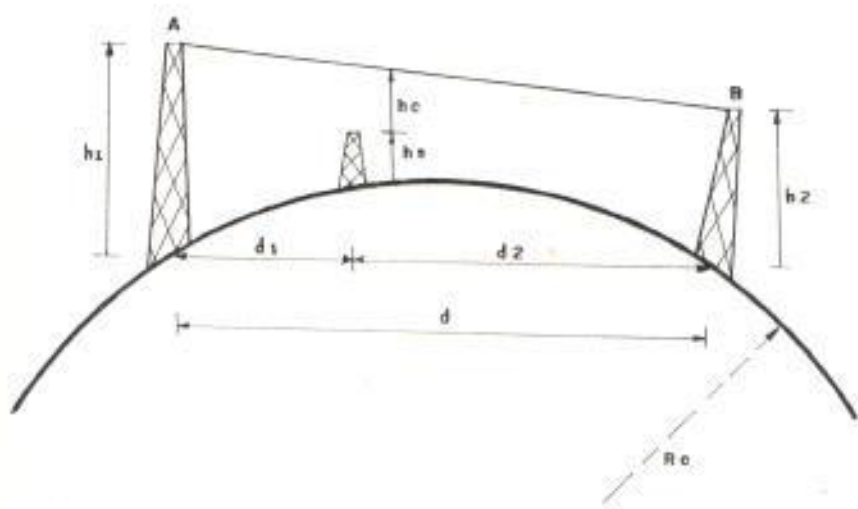


FIGURA 3-13

MARGEN SOBRE EL OBSTACULO

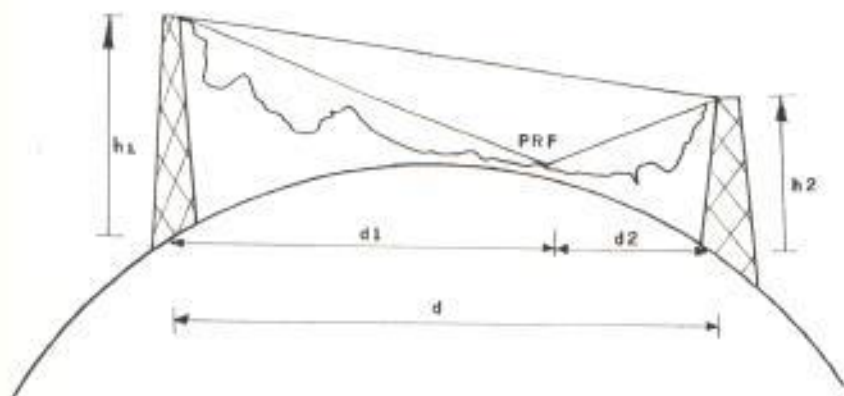


FIGURA 3-14

PUNTO DE REFLEXION SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

De la Figura 3.14, la distancia entre el punto medio del trayecto y el punto de reflexión d_3 dependen de los parámetros t y ϕ en la siguiente forma.

$$d_3 = 2 \sqrt{t} \cos \left(-\frac{\phi}{3} + 240^\circ \right) \quad (3.725)$$

Por lo que el punto de reflexión (PRF) estará localizado en:

$$d_1 = \frac{d}{2} + d_3 \quad (3.726)$$

$$d_2 = d - d_1 \quad (3.727)$$

CAPITULO IV
FUNDAMENTOS DEL DISEÑO

4.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICA FUNCIONAL DE CANAL 13

Este sistema deberá abarcar una cobertura a las principales zonas pobladas de San Cristóbal, Santa Cruz, Isabela y Floreana.

Actualmente se logra cubrir con la señal Puerto Baquerizo Moreno y de una manera aleatoria El Progreso (San Cristóbal) y Puerto Ayora (Santa Cruz). Para mejorar este sistema y poder llegar con la señal de TV a las demás Islas habitadas desde San Cristóbal, se propone la instalación de un transmisor en el Cerro San Joaquín (896 metros de altura). Los trayectos de propagación a las diferentes Islas (puntos de repetición) considera: Un enlace VHF (214 Mhz-Canal 13) entre el Cerro San Joaquín y Santa Cruz y un Enlace UHF (540 Mhz-Canal 25) entre San Joaquín-Isabela y San Joaquín-Pto. Velasco.

El estudio de los diferentes enlaces se lo ha hecho considerando la posibilidad de una implementación dependiendo de las posibilidades económicas de la Misión Franciscana, propietaria de este Canal. Así por ejemplo una primera fase podría comprender la implementación del enlace Cerro San Joaquín (Isla San Cristóbal) y la Isla Santa Cruz, puesto que siendo las dos Islas las más pobladas y las más económicamente activas, se estaría abarcando el 70% de

la cobertura total del sistema.

4.2 CENTROS DE TRANSMISIÓN Y REPETICIÓN

Los centros de transmisión han sido ubicados considerando factores geográficos de cada sitio, vías de acceso, suministro de energía a los equipos y aspectos técnicos acordes al diseño y a las actuales instalaciones existentes. Estas características están resumidas en diferentes tablas tanto para el punto de transmisión como para los de repetición.

4.3 MEDIOS DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL

El análisis estará basado en la teoría de la óptica geométrica y se hará un estudio de radiopropagación de la señal para cada enlace y a las diferentes frecuencias.

4.4 LINEAS DE TRANSMISIÓN

Como vamos a diseñar un sistema que trabaje bajo los 7.000 MHz, utilizaremos líneas coaxiales de transmisión, cuyas características son:

<u>TIPO</u>	<u>FRECUENCIA</u>	<u>IMPEDANCIA</u>	<u>ATENUACION</u>
RG-14 A/U	214 MHz	50 ohm	2.2 dB/100 p
RG-17 A/U	540 Mhz	50 ohm	2.2 dB/100 p

Todos estos aspectos técnicos serán considerados en el estudio y diseño de este sistema, tanto para cada enlace como para cada centro de transmisión y repetición.

ESTACION TRANSMISORA	ESTACION REPETI CION.	DISTANCIA Kmts.	FRECUENCIA GHZ	ALTURA Trans. - ANTENAS (M) Repet.
C. SAN JOAQUIN	STA. CRUZ	92.0	0.214	20.0 20.0
C. SAN JOAQUIN	PTO. VELASCO I.	110.60	0.540	20.0 9.0
C. SAN JOAQUIN	ISABELA	165.20	0.540	80.0 30.0

TABLA 4.1
DISTANCIAS Y ENLACES DEL SISTEMA

ESTACION	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	ALTURA (M)
C. SAN JOAQUIN	00° 53' 30"	89° 30' 00"	870.0
STA. CRUZ	00° 44' 10"	90° 18' 15"	100
ISABELA	00° 56' 10"	91° 00' 00"	270
PTO. VELASCO	01° 16' 50"	90° 29' 01"	10.0

TABLA 4.2
POSICION GEOGRAFICA Y ALTURA DE LAS ESTACIONES

AZIMUTS DEL TRAVECTO:

TRAVECTO: CERRO SAN JOAQUIN - ISLA SANTA CRUZ

	LATITUD SUR (ϕ)	LONGITUD OESTE (λ)
SAN JOAQUIN	00° 53' 30"	89° 30' 00"
ISLA SANTA CRUZ	00° 44' 10"	90° 18' 15"
	00° 09' 20"	00° 48' 15"

$$\Delta \phi \text{ (Latitud)} = 00^{\circ} 09' 20''$$

$$\Delta \lambda \text{ (Longitud)} = 00^{\circ} 48' 15''$$

$$\phi_m = \phi \text{ menor} + \frac{\Delta \phi}{2} \text{ seg} = 00^{\circ} 44' 10'' + \frac{560}{2}$$

$$\phi_m = 0,8139^{\circ} = 00^{\circ} 48' 50''$$

$$\text{LOG}(\text{Ctg } W) = 0,002949 + \text{Log}(\text{Cos } 0,8139^{\circ}) + \text{LOG}(2895) - \text{LOG}(560)$$

$$\text{LOG}(\text{Ctg } W) = 0,7163$$

$$W = 10,87^{\circ}$$

$$C = \frac{\Delta \lambda}{2} \cdot \text{Sen } \phi_m$$

$$C = 0,00571^{\circ}$$

CASO 2

$$\text{AZIMUT OESTE} : 90^{\circ} + W + C = 100^{\circ} 52' 00''$$

$$\text{AZIMUT ESTE} : 270^{\circ} + W - C = 280^{\circ} 51' 00''$$

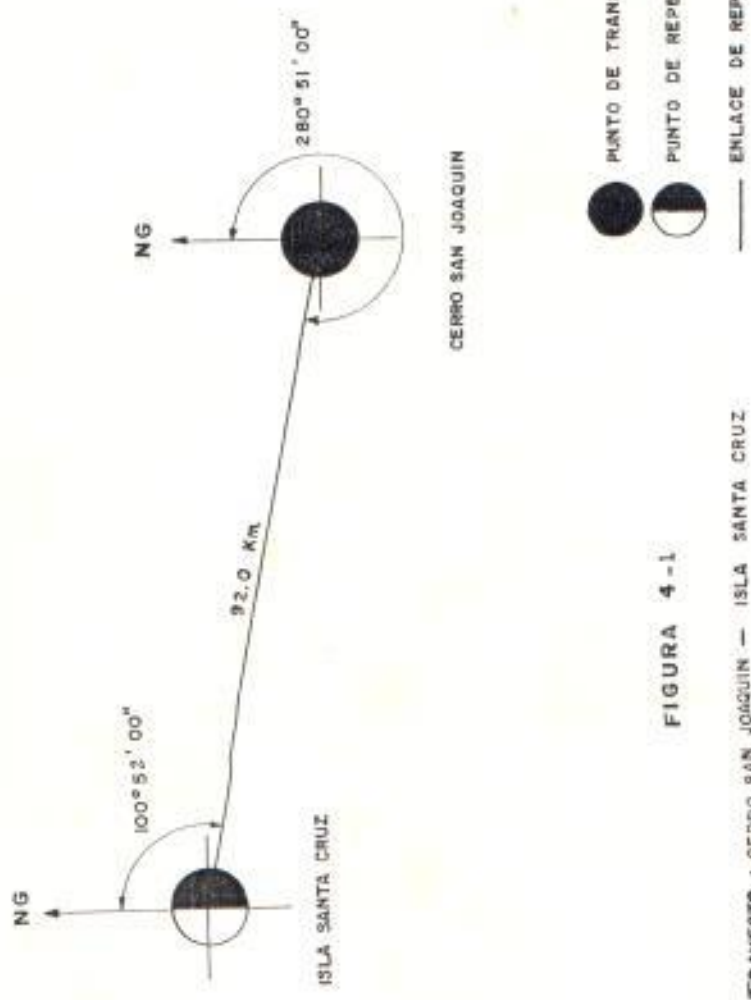


FIGURA 4-1

TRAYECTO : CERRO SAN JOAQUIN — ISLA SANTA CRUZ

ZONA DE FRESNELTRAYECTO: CERRO SAN JOAQUIN - ISLA SANTA CRUZ

Distancia : 92.0 Km

Frecuencia : 0.214 Ghz

$$b_x = 3.89 \sqrt{d_1 \cdot d_2}$$

DISTANCIAS		bx (mts)
d1 (Km)	d2 (Km)	
0.00	92.0	0.0
2.00	90.0	52.32
10.00	82.0	111.68
20.00	72.0	147.99
50.00	42.0	178.72
80.00	12.0	120.83
90.00	2.0	52.32
0.00	92.0	0.00

PUNTO DE REFLEXION

$$h_1 = 890 \text{ mts}$$

$$h_2 = 120 \text{ mts}$$

$$d = 92.0 \text{ Km}$$

$$K = 4/3$$

$$r_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ mts.}$$

$$n = 6.37 \times K/4 \times d(h_2 - h_1)$$

$$n = -150\,416.93$$

$$t = d^2/12 + 8.5 \times K/4 (h_1 + h_2)$$

$$t = -3567$$

$$Q = \cos^{-1} \frac{x}{t \sqrt{t}}$$

$$Q = 134.92^\circ$$

$$d_3 = 2 \sqrt{t} \cos (Q/3 + 240^\circ)$$

$$d_3 = 30.85 \text{ m}$$

$$d_1 = d/2 + d_3$$

$$d_1 = 76.85 \text{ Km}$$

$$d_2 = d - d_1$$

$$d_2 = 15.14 \text{ Km}$$

PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE

CERRO SAN JOAQUIN - ISLA SANTA CRUZ

Distancia : 92,0 Km.

Frecuencia : 0,214 Ghz

-EN EL ESPACIO LIBRE-

$$L \text{ (dB)} = 92,44 + 20\text{Log } D(\text{Km}) + 20\text{Log } F(\text{Ghz})$$

$$L \text{ (dB)} = 118,32$$

-EN LAS LINEAS DE ALIMENTACION DE LAS ANTENAS-

Tomando en cuenta las características de las líneas de transmisión que se utiliza tenemos:

	LONGITUD DE LA LINEA DE TRANSMISION	ATENUACION
Transmisión :	65,51p x 2,2 dB/100 p	1,44 dB
Recepción :	49,20p x 2,2 dB/100 p	1,08 dB

-PERDIDAS DE FRESNEL-

Como no existe interferencia en el trayecto del radio enlace:

$$\text{PERDIDAS DE FRESNEL (PF)} = 0,00 \text{ dB}$$

-OTRAS PERDIDAS-

Como margen de seguridad del sistema asignamos:

$$\text{Transmisión (OPTX)} = 3.0 \text{ dB}$$

$$\text{Recepción (OPRX)} = 3.0 \text{ dB}$$

-PERDIDAS POR DIFRACCIÓN-

Como la relación C/R ≥ 0.6 tenemos:

$$\text{Pérdidas por Difracción (PPD)} = 0.00 \text{ dB}$$

Por lo tanto, las pérdidas totales del enlace serán:

$$\text{PERDIDAS TOTALES (PT)} = 118.32 + 2.52 + 6.00 \text{ dB}$$

$$\text{PERDIDAS TOTALES (PT)} = 126.84 \text{ dB}$$

GANANCIAS TOTALES DEL SISTEMA

-POTENCIA DE TRANSMISIÓN-

$$P_t = 200 \text{ W}$$

$$P_t = 10 \text{ Log} \frac{200.00}{1\text{W}} \text{ W}$$

$$P_t = 23.01 \text{ dBW}$$

-GANANCIA DE ANTENAS-

$$\text{Transmisión (Gat)} = 6.915 \text{ dB}$$

$$\text{Recepción (gar)} = 6.915 \text{ dB}$$

-GANANCIAS TOTALES-

$$\text{Ganancias Totales (GT)} = P_t + G_{at} + G_{ar} \text{ (dB)}_v$$

$$GT = 23.01 + 6.915 + 6.915$$

$$GT = 36.84 \text{ dB}_v$$

-NIVEL DE PORTADORA RECEPTADA-

$$\text{Nivel de Portadora receptada (NPR)} = GT - PT \text{ (dB)}_v$$

$$NPR = 36.84 - 126.84$$

$$NPR = -90.0 \text{ dB}_v$$

-UMBRAL EN EL RECEPTOR-

Es el mínimo nivel de señal que se debe tener en el receptor. En el manual de la RÖHDE & SCHWARZ tenemos que el nivel de entrada está en el rango de 0.16 - 10 mV con una impedancia de 50 ohm. Para nuestros cálculos vamos a fijar $V_{in} = 1 \text{ mV}$ y Z_{in} en 50 ohm. Aplicando en la fórmula:

$$U_x \text{ (dB)}_v = 10 \text{ Log} \frac{V_{in}^2 \text{ (V)}}{Z_{in} \text{ (}\Omega\text{)}}$$

$$U_x \text{ (dB)}_v = 10 \text{ Log} \frac{(1 \times 10^{-3})^2}{50}$$

$$U_x \text{ (dB)}_v = -76.98$$

-MARGEN DE DESVANECIMIENTO-

Está definido como la diferencia entre el nivel del umbral y el de la portadora.

$$\text{Margen de desvanecimiento (M)} = U_x - \text{NPR} \quad (\text{dB})$$

$$M = -76.98 - (-90.00)$$

$$M = 13.02 \quad \text{dB}$$

f

-CONFIABILIDAD DEL SISTEMA-

Distancia en millas : 57.5

Del gráfico 3.9 Tenemos extrapolando:

CONF. SISTEMA = 90%

AZIMUTS DEL TRAYECTO: CERRO SAN JOAQUIN - PTO. VELASCO I.

	LATITUD SUR (ϕ)	LONGITUD OESTE (λ)
C. SAN JOAQUIN :	00° 53' 30"	89° 30' 00"
PTO. VELASCO I. :	01° 16' 50"	90° 29' 01"
	00° 23' 20"	00° 59' 01"

$$\Delta \phi \text{ (LATITUD)} = 00^{\circ} 23' 20''$$

$$\Delta \lambda \text{ (LONGITUD)} = 00^{\circ} 59' 01''$$

$$\phi_m = \text{menor} + \frac{\Delta \text{seg}}{2} = 01^{\circ} 16' 50'' + 1400/2$$

$$\phi_m = 1.475^{\circ}$$

$$\text{LOG}[\text{Ctg } W] = 0.002949 + \text{LOG}[\text{Cos } 1.475^{\circ}] + \text{LOG}[3541] - \text{LOG}[1400]$$

$$\text{LOG}[\text{Ctg } W] = 0.406$$

$$W = 21,4372^{\circ}$$

$$C = 1/2 \cdot \text{Sen } (\phi_m)$$

$$C = \frac{3541''}{2} \cdot \text{Sen } (1.457^{\circ}) = 0.0127^{\circ}$$

CASO 1:

$$\text{AZIMUT ESTE} = 270^{\circ} - W - C = 248,55^{\circ} = 248^{\circ} 33' 00''$$

$$\text{AZIMUT OESTE} = 90^{\circ} - W + C = 68,57^{\circ} = 68^{\circ} 34' 12''$$

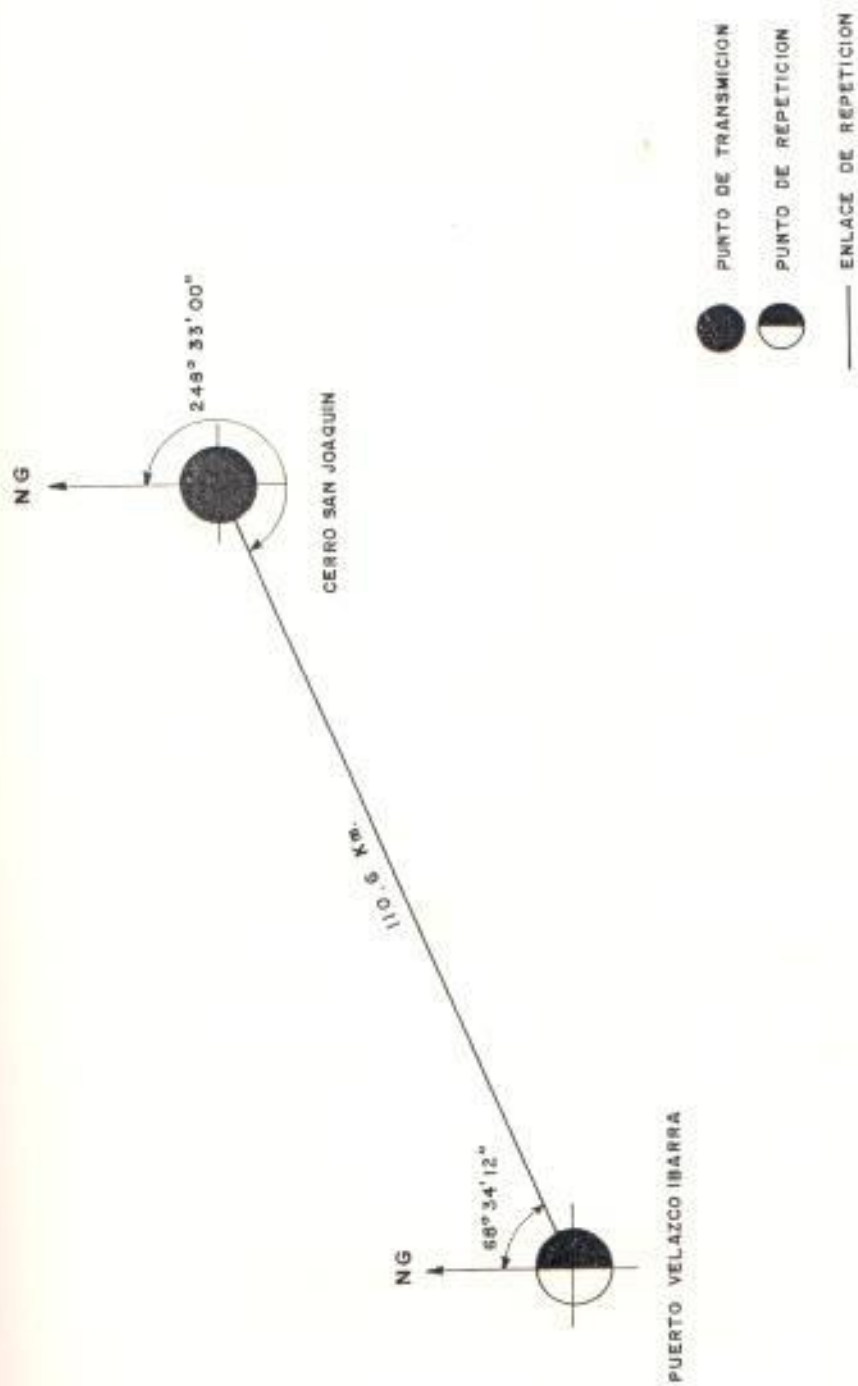


FIGURA 4-3

TRAYECTO: CERRO SAN JOAQUIN - PUERTO VELAZCO IBARRA

ZONA DE FRESNELTRAYECTO: CERRO SAN JOAQUIN - PTO. VELASCO IBARRA

Distancia : 110.6 Km

Frecuencia : 0.540 Ghz

$$bx = 2.23 \sqrt{d1 \times d2}$$

DISTANCIAS		bx (m)
d1 (Km)	d2 (Km)	
0.0	110.6	0.0
2.0	108.6	32.99
5.0	103.6	50.94
8.0	102.6	64.13
20.0	90.6	95.29
50.0	60.6	123.22
80.0	30.6	110.75
105.0	5.6	54.28
110.6	0.0	0.00

PUNTO DE REFLEXION

$$h1 = 890 \text{ mt}$$

$$h2 = 20 \text{ mt}$$

$$d = 110.6 \text{ Km}$$

$$K = 4/3$$

$$r_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ mts}$$

$$n = 6.37 \times 110.6/3 \times (20 - 890)$$

$$n = -204311.38$$

$$t = (110.6)^2/12 + 8.5/3 \times (890 + 20)$$

$$t = 3597.69$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{n}{t\sqrt{t}}$$

$$\phi = -161.23^\circ$$

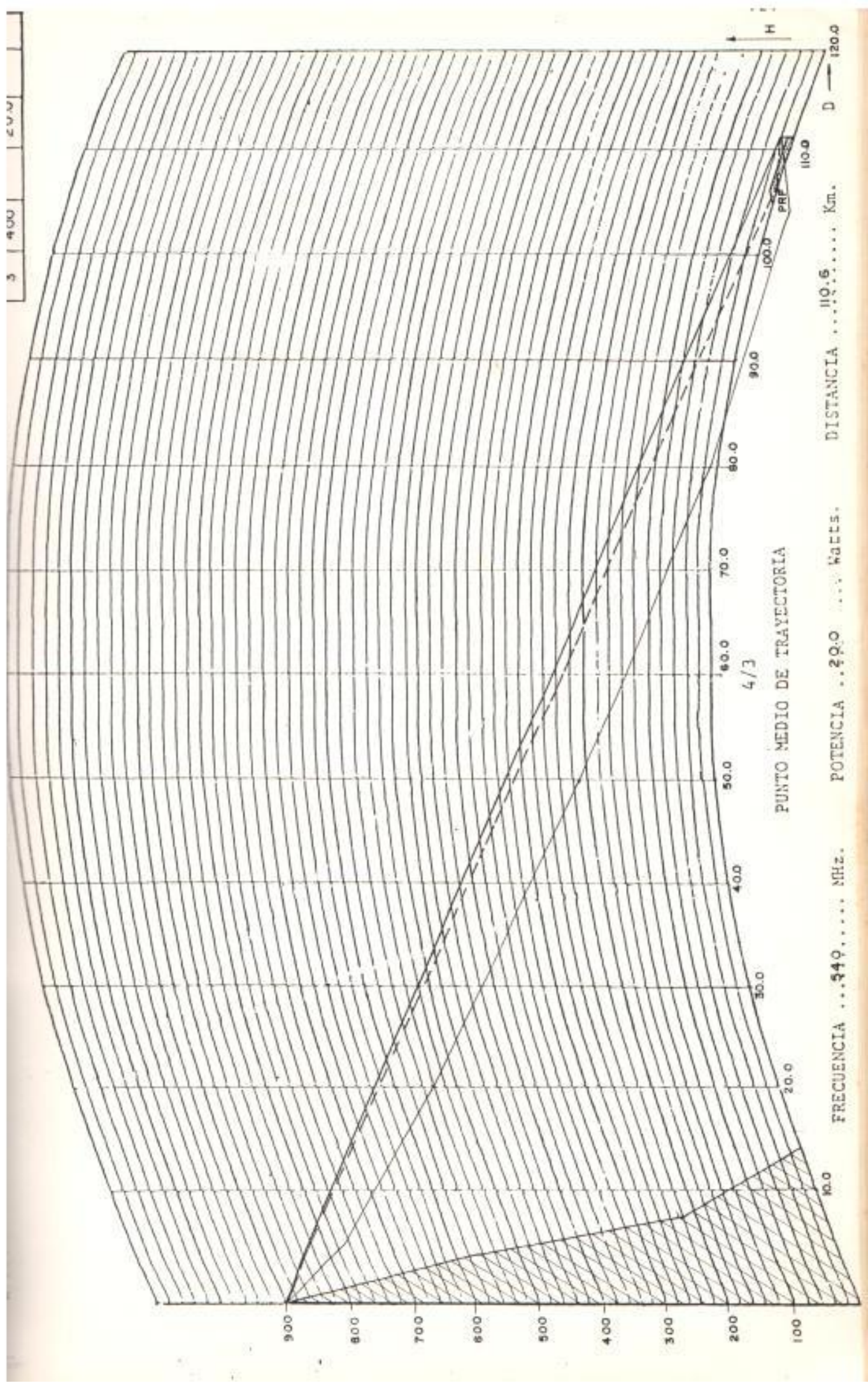
$$d3 = 2\sqrt{t} \cos(\phi/3 + 240^\circ)$$

$$d3 = 48.30 \text{ Km}$$

$$d1 = 110.6/2 + d3$$

$$d1 = 103.6 \text{ Km}$$

$$d2 = 7.0 \text{ Km}$$



900
800
700
600
500
400
300
200
100

PUNTO MEDIO DE TRAYECTORIA

4/3

20.0
30.0
40.0
50.0
60.0
70.0
80.0
90.0
100.0
110.0

DISTANCIA ... 110.6 ... Km.

POTENCIA ... 200 ... Watts.

FRECUENCIA ... 349 ... MHz.

D
H

3 400 2000

PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE

TRAYECTO : CERRO SAN JOAQUIN - PTO. VELASCO I.

Distancia : 110,6 Km

Frecuencia : 0.540 Ghz

-EN EL ESPACIO LIBRE-

$$L(\text{dB}) = 92,44 + 20 \text{ Log } D(\text{Km}) + 20 \text{ Log } F(\text{Ghz})$$

$$L(\text{dB}) = 127,92$$

-EN LAS LINEAS DE ALIMENTACION-
DE LAS ANTENAS

Tomando en cuenta las características de las líneas de alimentación tipo RG-17 A/U tenemos:

	LONGITUD DE LA LINEA DE TRANSMISION	ATENUACION
Transmisión :	91,8p x 2,2 dB/100 p	2,02
Recepción :	80,0p x 2,2 dB/100 p	1,08

-PERDIDAS DE FRESNEL-

Como no existe interferencia en el trayecto del radio enlace:

$$\text{PERDIDAS DE FRESNEL (PF)} = 0,0 \text{ dB}$$

-OTRAS PERDIDAS-

Como margen de seguridad del sistema asignamos:

$$\text{Transmisión (OPTX)} = 3,0 \text{ dB}$$

$$\text{Recepción (OPRX)} = 3,0 \text{ dB}$$

-PERDIDAS POR DIFRACCION-

Como la relación C/R $\geq 0,6$ tenemos:

$$\text{Pérdidas por Difracción (PPD)} = 0,0 \text{ dB}$$

Por lo tanto, las pérdidas totales del enlace serán:

$$\text{PERDIDAS TOTALES (PT)} = 127,92 + 2,02 + 1,08 + 6,0$$

$$\text{PERDIDAS TOTALES (PT)} = 137,02 \text{ dB}$$

GANANCIAS TOTALES DEL SISTEMA

-POTENCIA DE TRANSMISION-

$$P_t = 200 \text{ W}$$

$$P_t = 10 \text{ Log } \frac{200,0}{10} \text{ W}$$

$$P_t = 23,01 \text{ dBW}$$

-GANANCIA DE ANTENAS-

$$\text{Transmisión (Gat)} = 9,01 \text{ dB}$$

$$\text{Recepción (Gar)} = 9,01 \text{ dB}$$

-GANANCIAS TOTALES-

$$\begin{aligned} \text{Ganancias Totales (GT)} &= P_t + G_{at} + G_{ar} \quad (\text{dBW}) \\ GT &= 23,01 + 9,01 + 9,01 \\ GT &= 41,03 \quad \text{dBW} \end{aligned}$$

-NIVEL DE PORTADORA RECEPTADA-

$$\begin{aligned} \text{Nivel de Portadora receptada (NPR)} &= GT - PT \quad (\text{dBW}) \\ NPR &= 41,03 - 137,02 \\ NPR &= -95,99 \quad \text{dBW} \end{aligned}$$

-UMBRAL EN EL RECEPTOR-

Al igual que en el caso anterior, para los cálculos fijamos el nivel de entrada $V_{in} = 1 \text{ mV}$, por lo que el umbral en el receptor es:

$$U_x \quad (\text{dBW}) = -76,98$$

-MARGEN DE DESVANECIMIENTO-

$$\begin{aligned} \text{Margen de Desvanecimiento (M)} &= U_x - NPR \quad (\text{dBW}) \\ M &= -76,98 - (-95,99) \\ M &= 19,01 \quad \text{dBW} \end{aligned}$$

-CONFIABILIDAD DEL SISTEMA-

Distancia en millas : 69,12

Conf Sistem : Del gráfico 3.9 extrapolando tenemos:

CONF-SISTEM : 98%

AZIMUTS DEL TRAYECTO: CERRO SAN JOAQUIN - ISLA ISABELA

	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE
SAN JOAQUIN :	00° 53' 30"	89° 30' 00"
I. ISABELA :	00° 56' 10"	91° 00' 00"
<hr/>		
	00° 02' 40"	01° 30' 00"

$$\phi_m \text{ (menor)} = 00^{\circ} 02' 40''$$

$$\Delta\lambda \text{ (Longitud 0)} = 01^{\circ} 30' 00''$$

$$\phi_m = \text{menor} + \frac{\Delta\lambda}{2} = 00^{\circ} 53' 30'' + \frac{5400}{2} = 01^{\circ} 38' 30''$$

$$\text{Log (CTG } W) = 0.002949 + \text{Log (Cos } 1.64^{\circ}) + \text{Log (5400)} - \text{Log (160)}$$

$$\text{LOG (CTG } W) = 1.53$$

$$W = 1.69^{\circ}$$

$$C = \frac{1}{2} \text{ Sen } \phi_m$$

$$C = \frac{5400}{2} \text{ Sen } 1.64^{\circ}$$

$$C = 77.27'' = 0.021^{\circ}$$

CASO 1:

$$\text{AZIMUT ESTE} : 270^{\circ} - W - C = 270^{\circ} - 1.69^{\circ} - 0.021^{\circ} = 268^{\circ} 17' 18''$$

$$\text{AZIMUT OESTE} : 90^{\circ} - W + C = 90^{\circ} - 1.69^{\circ} + 0.021^{\circ} = 88^{\circ} 19' 51''$$

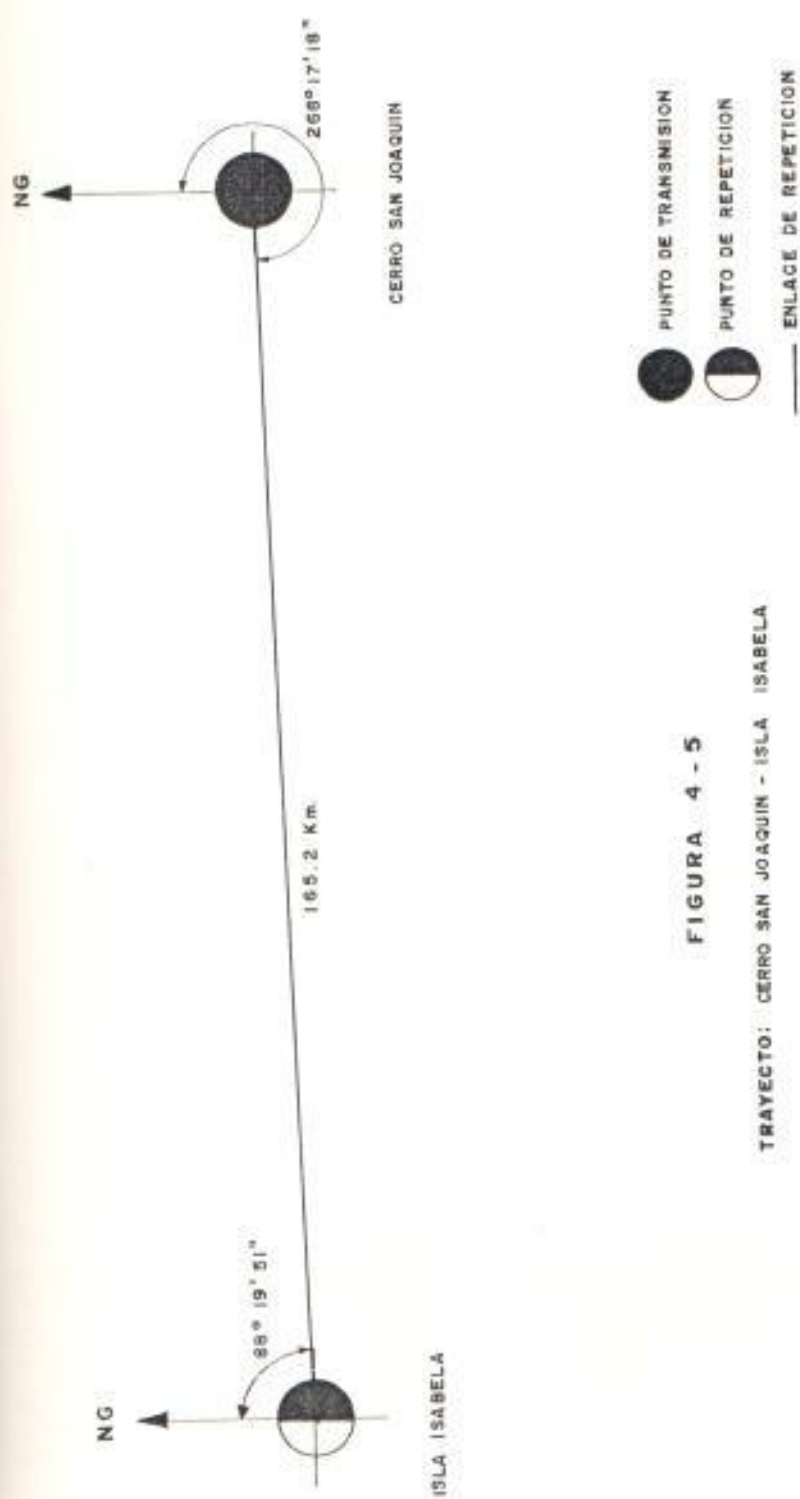


FIGURA 4 - 5

TRAYECTO: CERRO SAN JOAQUIN - ISLA ISABELA

ZONA DE FRESNEL

TRAYECTO: CERRO SAN JOAQUIN - ISLA ISABELA

Distancia : 165.2 Km

Frecuencia : 0.540 Ghz

$$bx = 1.81 \sqrt{d1 \cdot d2}$$

DISTANCIAS		bx (mts)
d1 (Km)	d2 (Km)	
0.0	165.2	0.0
10.0	155.2	71.3
30.0	135.2	115.3
60.0	105.2	143.8
90.0	75.2	148.9
140.0	25.2	107.5
160.0	5.2	52.2
165.2	0.0	0.0

PUNTO DE REFLEXION

h1 : 950.0 mts

h2 : 300.0 mts

d : 165.2 Km

K = 4/3

$$n_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$$

$$n = 6.37 \times K/4 \times d(h_2 - h_1)$$

$$n = -228003$$

$$t = \frac{d^2}{12} + 8.5 \times K/4 (h1 + h2)$$

$$t = 5815.91$$

$$= \cos^{-1} \frac{h}{t \sqrt{t}}$$

$$= 120.66$$

$$d3 = 2 \sqrt{t} \cos (160/3 + 240^\circ)$$

$$d3 = 27.06 \text{ Km}$$

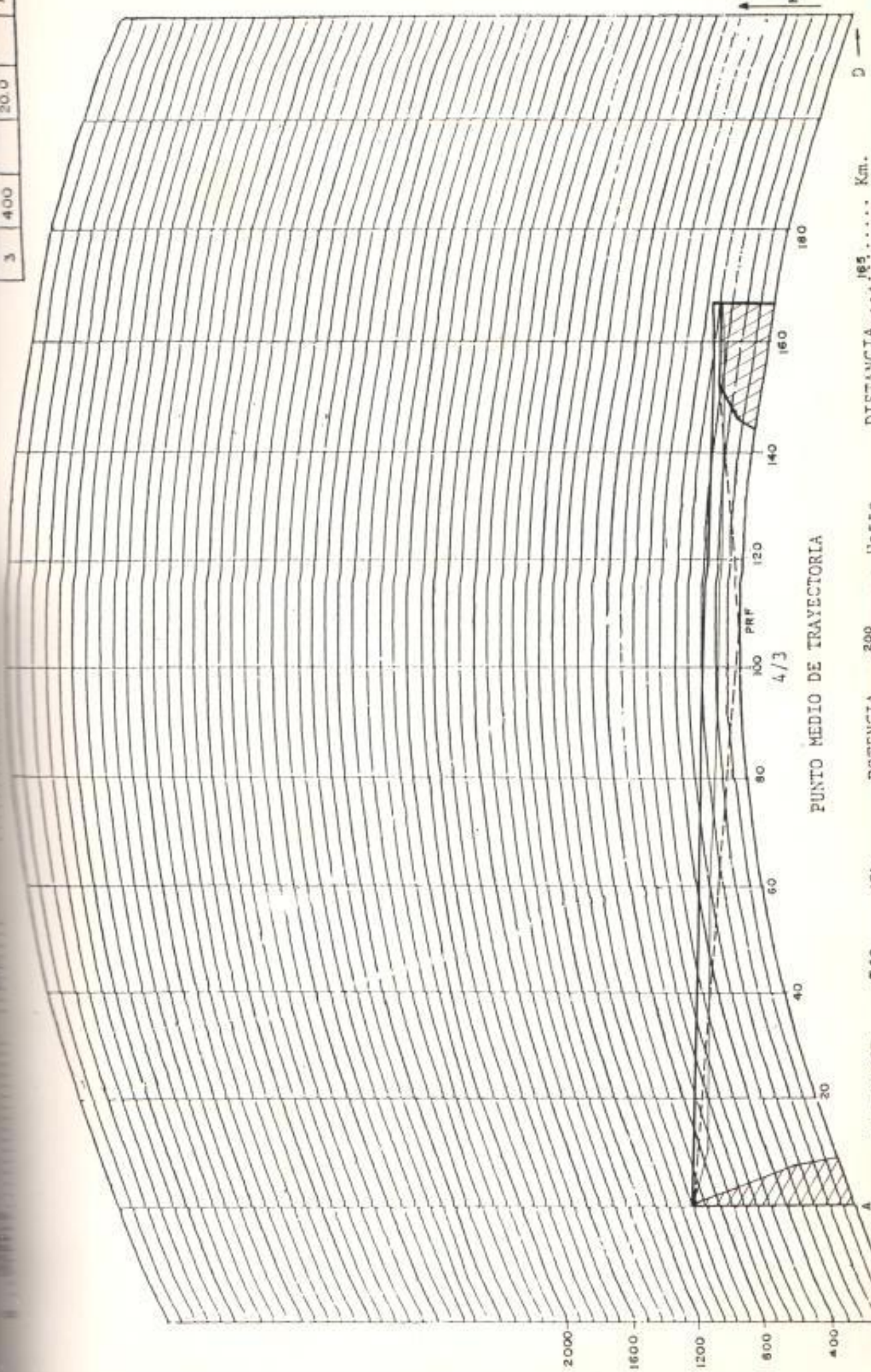
$$d1 = d/2 + d3$$

$$d1 = 82.6 + 27.06$$

$$d1 = 109.66 \text{ Km}$$

$$d2 = 55.54 \text{ Km}$$

3	400	20.0	x
---	-----	------	---



PUNTO MEDIO DE TRAYECTORIA

FRECUENCIA ... 5.40 ... MHz.
 POTENCIA ... 300 ... WATTS.
 DISTANCIA ... 165 ... Km.

D

PERDIDAS TOTALES EN EL ENLACE

CERRO SAN JOAQUIN - ISLA ISABELA

Distancia : 165,2 Km

Frecuencia : 0,540 Ghz

-EN EL ESPACIO LIBRE-

$$L \text{ (db)} = 92,44 + 20 \text{ Log } D(\text{Km}) + 20 \text{ Log } F \text{ (Ghz)}$$

$$L \text{ (db)} = 131,44$$

-EN LAS LINEAS DE ALIMENTACION-
DE LAS ANTENAS

Tomando en cuenta las características de las líneas de alimentación tipo RG-19 A/U tenemos:

	LONGITUD DE LA LINEA DE TRANSMISION	ATENUACION (dB)
Transmisión :	295,2 p x 2,2 dB/100 p	6,49
Recepción :	49,2 p x 2,2 dB/100 p	1,08

-PERDIDAS DE FRESNEL-

Como no existe interferencia en el trayecto del radio enlace:

$$\text{PERDIDAS DE FRESNEL (PF)} = 0,00 \text{ dB}$$

-OTRAS PERDIDAS-

Como margen de seguridad se asigna a un sistema de radio enlace:

$$\text{Transmisión (OPTX)} = 3,00 \text{ dB}$$

$$\text{Recepción (OPRX)} = 3,00 \text{ dB}$$

- PERDIDAS POR DIFRACCIÓN-

Como la relación C/R $\geq 0,6$ tenemos:

$$\text{Pérdidas por Difracción (PPD)} = 0,0 \text{ dB}$$

Por lo tanto, las pérdidas totales del radioenlace serán:

$$\text{PERDIDAS TOTALES (PT)} = 131,44 + 6,49 + 1,08 + 6,0 \text{ dB}$$

$$\text{PERDIDAS TOTALES (PT)} = 145,01 \text{ dB}$$

GANANCIAS TOTALES DEL SISTEMA

- POTENCIA DEL TRANSMISOR -

$$P_t = 200 \text{ W}$$

$$P_t = 10 \text{ Log } \frac{200,0}{1\text{W}} \text{ W}$$

$$P_t = 23,01 \text{ dBW}$$

-GANANCIA DE ANTENA-

$$\text{Transmisión (Gat)} = 9,01 \text{ dB}$$

$$\text{Recepción (Gar)} = 9,01 \text{ dB}$$

-GANANCIAS TOTALES-

$$\text{Ganancias Totales (GT)} = P_t + G_{at} + G_{ar} \quad (\text{dBW})$$

$$GT = 23,02 + 9,01 + 9,01$$

$$GT = 41,03 \text{ dBW}$$

-NIVEL DE PORTADORA RECEPTADA-

$$\text{Nivel de Portadora receptada (NPR)} = GT - PT \quad (\text{dBW})$$

$$NPR = 41,03 - 145,01$$

$$NPR = -103,98 \text{ dBW}$$

-UMBRAL EN EL RECEPTOR-

Para un $V_{in} = 1 \text{ mV}$ y una impedancia $Z_{in} = 50 \text{ ohm}$ tenemos:

$$\text{Umbral en el receptor (Ux)} = -76,98 \text{ dBW}$$

-MARGEN DE DESVANECIMIENTO-

$$\text{Margen de Desvanecimiento (M)} = U_x - NPR \quad (\text{dBW})$$

$$M = -76,98 - (-103,98)$$

$$M = 27 \text{ dBW}$$

-CONFIABILIDAD DEL SISTEMA-

Distancia en Millas : 103,25

Del gráfico 3.9 extrapolando tenemos:

$$\text{CONF - SISTEM} = 99,5 \%$$

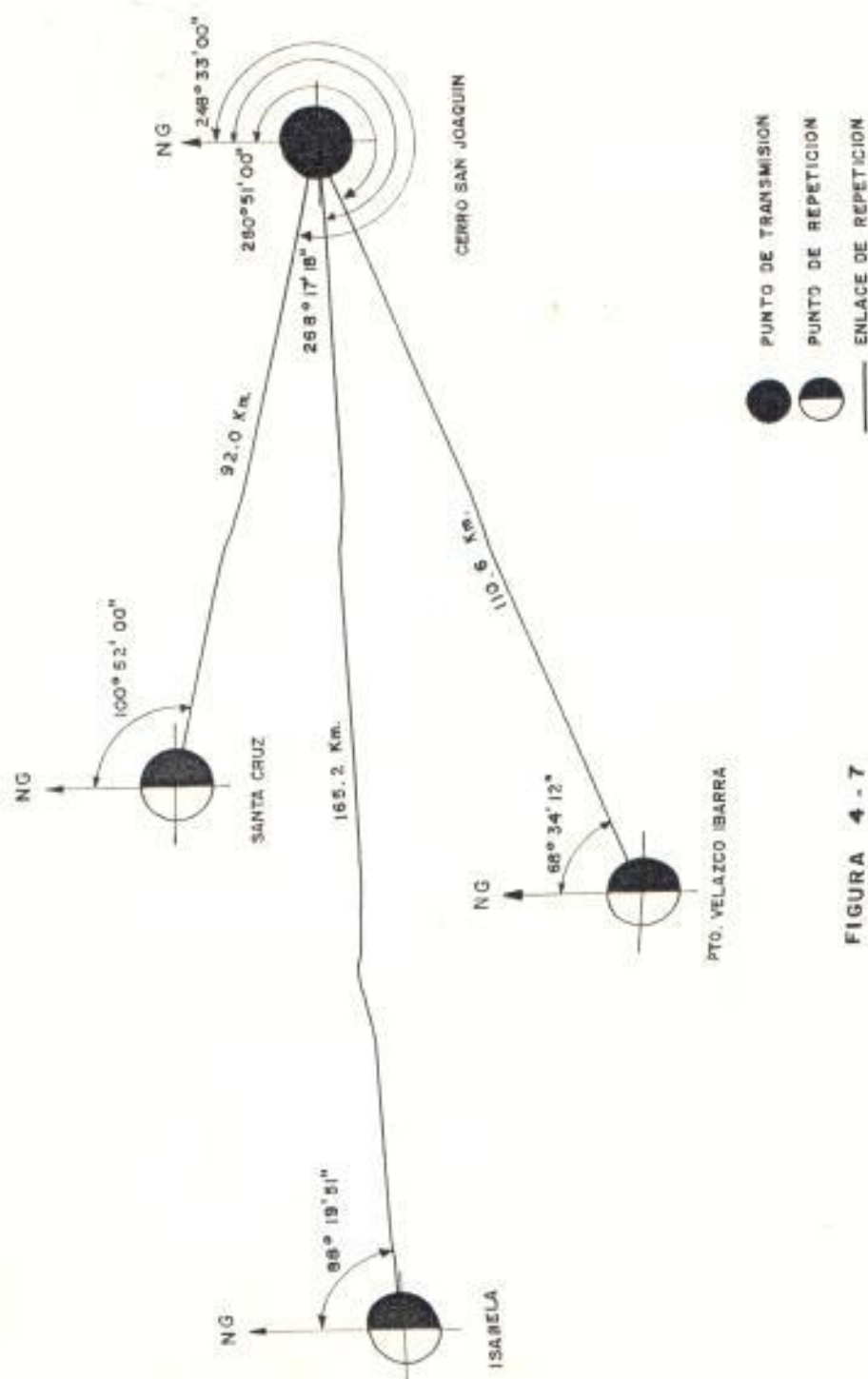


FIGURA 4 - 7
 TRAYECTOS Y DISTANCIAS DEL
 SISTEMA

D A T O S	T R A Y E C T O S		
	SAN JOAQUIN-PTO. VELASCO	SAN JOAQUIN-PTO. VILLAMIL	SAN JOAQUIN-SANTA CRUZ
Distancia (Km)	110.60	165.20	92.00
Frecuencia (GHZ)	0.540	0.540	0.214
P. Espacio Libre (dB)	127.92	131.44	118.32
P. Alimentadores (dB)	3.00	7.57	2.52
P. Fresnel (dB)	0.00	0.00	0.00
P. Difracción (dB)	0.00	0.00	0.00
P. Adicionales (dB)	6.00	6.00	6.00
Potencia del Transmisor (dBW)	23.01	23.01	23.01
Gan. Ant. Transmisora (dB)	9.01	9.01	6.91
Gan. Ant. Receptora (dB)	9.01	9.01	6.91
Umbral en el Receptor (dBW)	- 76.98	- 76.98	- 76.98
Nivel de Portadora Recaptada (dBW)	- 95.99	-103.99	- 90.00
Margen de Desvanecimiento (dBW)	19.0	27.0	13.02
Confiabilidad %	98.0	99.5	90.0

TABLA 4.3
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS RADIO ENLACE

4.5 ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A LOS EQUIPOS

Los puntos de transmisión y de repetición han sido localizados en lugares de fácil acceso y cercanos a la red de energía pública.

Como la alimentación a los equipos debe ser continua y segura, se prevee una instalación auxiliar de alimentación.

Un generador diesel de 2 KVA es necesario para casos de emergencia para el transmisor de Cerro San Joaquín (Isla San Cristóbal).

Para el caso de las estaciones repetidoras de la Isla Santa Cruz e Isabela, se prevee la instalación de un generador diesel de 0.5 KVA.

Para la estación repetidora de la Isla Floreana se prevee la instalación de un generador de 0.2 KVA.

4.6 COBERTURA DEL SISTEMA

De acuerdo con la Tabla 4.4, la potencia necesaria para irradiar cierta potencia dependerá, del grado de servicio de televisión. El grado A se usa para ciudades pequeñas, el grado B se usa para poblaciones rurales y el grado local para ciudades industriales y de gran tamaño.

En este caso para Canal 13 tenemos que para el grado A la intensidad de campo es de 71 dBu que es equivalente a 5 mv/m.

La Potencia Efectiva Irradiada (PEI) en un radial determinado está dada por la ecuación:

$$PEI (W) = P_t \times \text{Anti-Log. } A_v$$

Donde:

P_t : Potencia del transmisor en Watios

A_v : Ganancia directiva de la antena en la dirección determinada

El alcance máximo de la señal se lo determina a partir de la fórmula de intensidad de campo y es igual a la siguiente expresión:

$$d = \frac{\sqrt{30 \times PEI}}{E} \quad (\text{mts})$$

Donde:

E : Intensidad de campo rms (mv/m)

CANAL	FRECUENCIA	GRADO A	GRADO B	COMUNIDAD LOCAL
2-G (VHF Bajo)	54-88 MHz	63 dBu	47 dBu	54 dBu
7-13 (VHF Alto)	174-210 MHz	71 dBu	56 dBu	77 dBu
14-59 UHF	470-800 MHz	74 dBu	64 dBu	80 dBu

TABLA 4.4
GRADOS DEL SERVICIO DE TELEVISION

4.6.1 Estación transmisora de la Isla San Cristóbal

Para mejorar la señal de Telegalápagos-Canal 13 en la Isla San Cristóbal, se propone la instalación del transmisor conforme a las siguientes características técnicas.

Ubicación

En el Cerro San Joaquín a once kilómetros de Pto. Baquerizo Moreno con las características geográficas y la altura establecida en las Tablas 4.1 y 4.2.

Área de cobertura

Puerto Baquerizo Moreno, El Progreso y zonas aledañas.

Potencia de transmisión 200 W

Con esta potencia y con las antenas propuestas se tendrá las siguientes características de radiación.

	Azimut Magnético [°]	Distancia del Transmisor.
El Progreso	15°	4.000 mts
Pto. Baquerizo	0°	11.000 mts

La PEI en cada radial para un alcance máximo es:

$$A \quad 15^\circ \quad PEI = \frac{(E \times d)^2}{30} = 1165,63 \text{ W}$$

siendo $d = 37.400 \text{ mts}$

$$A \quad 0^\circ \quad PEI = \frac{(5 \text{ mV/m} \times 55.000 \text{ mts})^2}{30} = 2520,8 \text{ W}$$

siendo $d = 55.000 \text{ mts}$.

Por lo tanto, la intensidad de campo que vamos a tener en estas dos poblaciones son:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times PEI}}{d'} = \frac{\sqrt{30 \times 1165,63}}{4.000}$$

$$E = 46,75 \text{ mv/m} \quad \text{Para El Progreso}$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \times PEI}}{d''} = \frac{\sqrt{30 \times 2520,80}}{11.000}$$

$$E = 2' \text{ mv/m} \quad \text{Para Pto. Baquerizo Moreno}$$

Por un procedimiento parecido, todos los valores requeridos para el patrón de radiación han sido tabulados para diferentes ángulos y representados gráficamente.

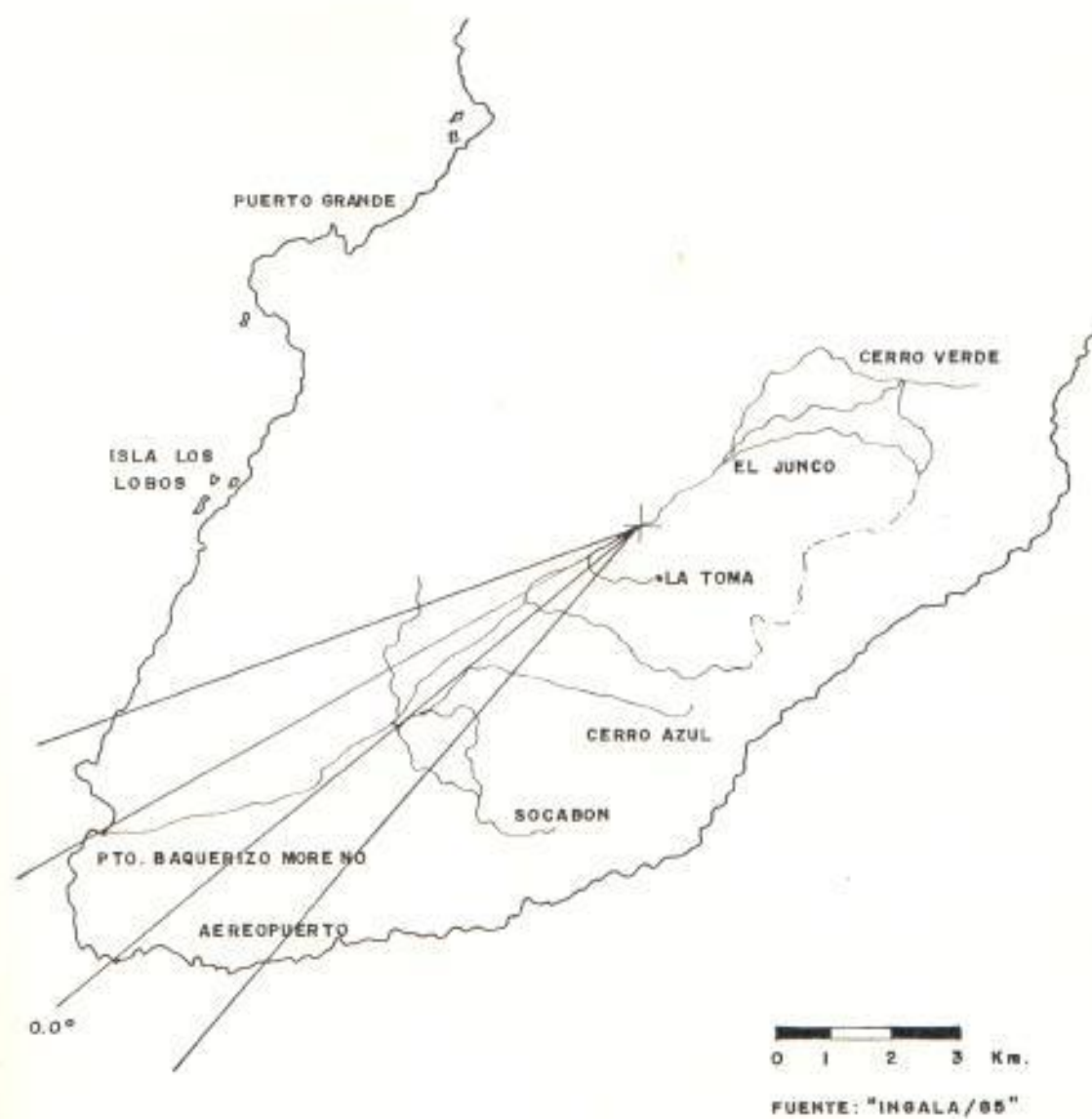
Tipo de Antenas

Se cuenta con cuatro antenas diédricas, las mismas que en un arreglo unidireccional dan una ganancia total de 11.0 d*B*. Están montadas sobre una torre de 20 mts.

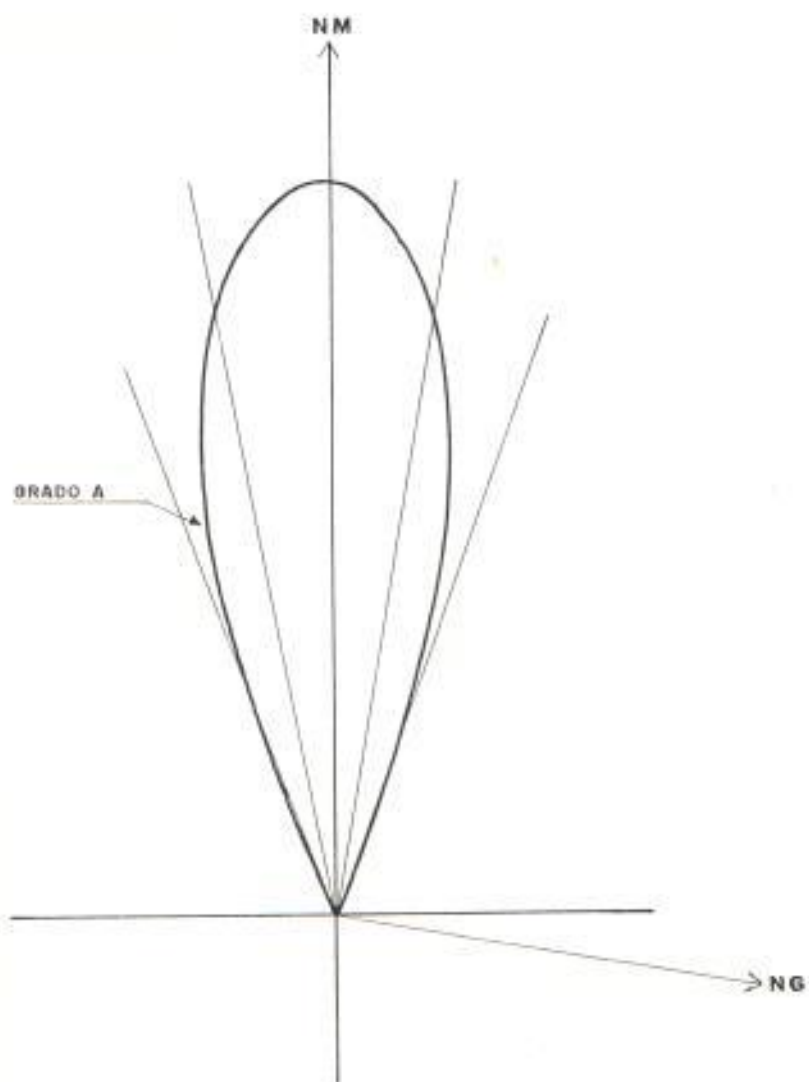
La impedancia es de 50 ohm, la relación de onda estacionaria menor que 1.15 y la polarización es horizontal.

CARACTERÍSTICAS DEL PATRÓN DE IRRADIACION

AZIMUT MAGNETICO (°)	ALCANCE MAXIMO (Km)	POTENCIA IRRADIADA (PEI) W	GANANCIA DE ANTENA (DB)
0	55	2520,8	11
10	44	1613,3	9
20	25	520,8	4

**FIGURA 4 - 8**

COBERTURA PARA LA ISLA SAN CRISTOBAL



00 5.5 11.0 16.5 Km.

FIGURA 4-9

PATRON DE IRRADIACION DEL TRANSMISOR DE LA ISLA SAN CRISTOBAL.

4.6.2 Estación repetidora de la Isla Santa Cruz

Para dar servicio de TV a las principales zonas pobladas de Santa Cruz se propone la instalación de una repetidora cuyas características técnicas se detallan a continuación:

Ubicación

A cuatro kilómetros de Puerto Ayora, vía a Bellavista con las características geográficas y la altura establecida en las Tablas 4.1 y 4.2.

Área de cobertura

Las principales zonas pobladas de Santa Cruz (Puerto Ayora y Bellavista).

Potencia de Transmisión 10 W

Con esta potencia y con las antenas propuestas se tendrá las siguientes características de radiación.

	Azímüt Magnético (°)	Distancia del Transmisor
Bellavista	180	1380 mts
Bahía Academy	0	5200 mts

La PEI en cada radial para un alcance máximo es:

$$A \ 180^\circ \quad PEI = \frac{(E \times d)^2}{30} = 9,075 \text{ W}$$

siendo $d = 3.300 \text{ mts.}$

$$A \quad 0^\circ \quad PEI = \frac{(10.000 \times 0.005)^2}{30} = 83,3 \text{ W}$$

siendo $d = 10.000 \text{ mts.}$

Por lo tanto, la intensidad de campo que vamos a tener en es las dos poblaciones son:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times PEI}}{d'} = \frac{\sqrt{30 \times 9.075}}{1380.0}$$

$$E = 11,95 \text{ mv/m} \quad \text{Para Bellavista}$$

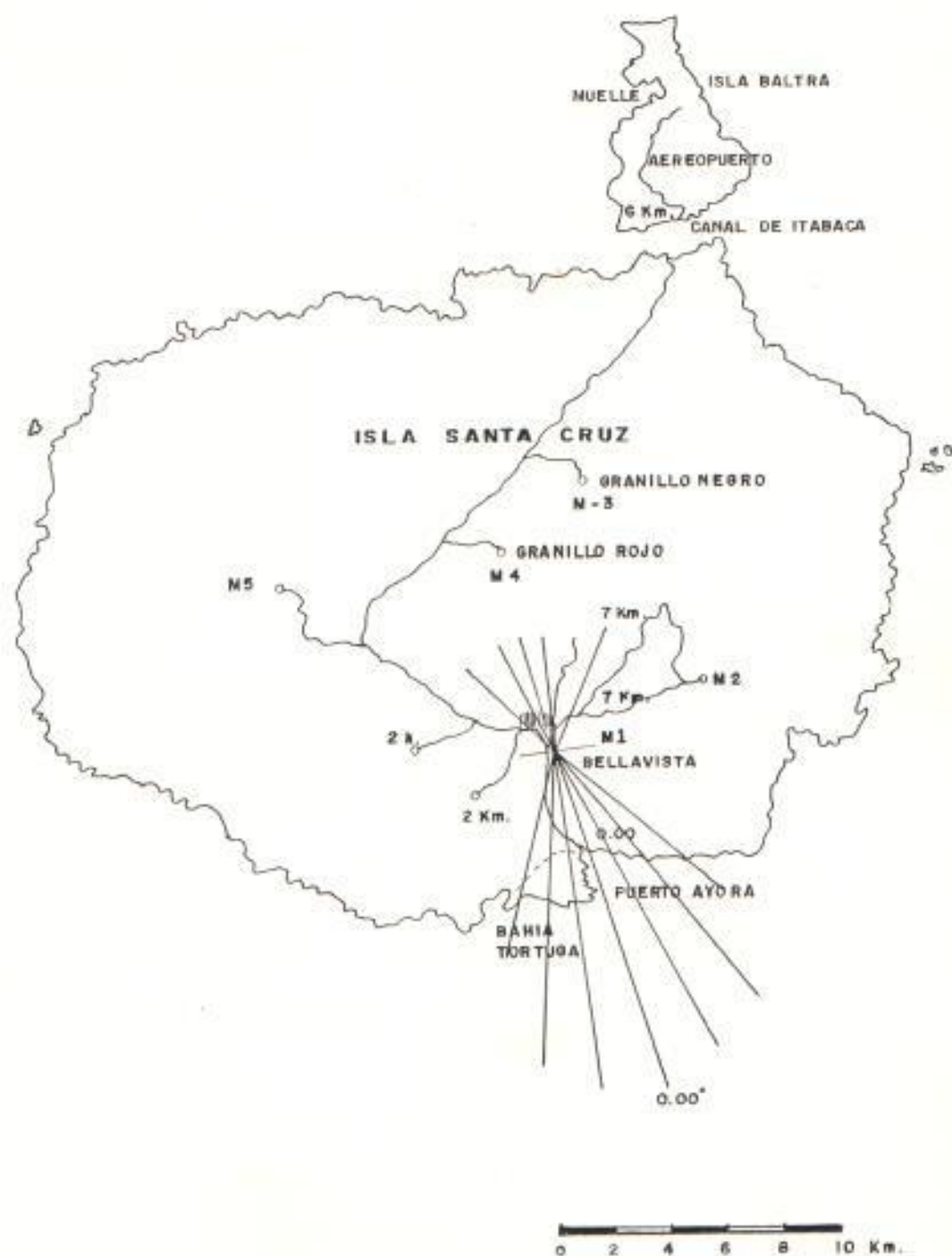
$$E = \frac{\sqrt{30 \times PEI}}{d''} = \frac{\sqrt{30 \times 83,3}}{5.200}$$

$$E = 9.61 \text{ mv/m} \quad \text{en La Bahía Academy}$$

Por un procedimiento parecido, todos los valores requeridos para el patrón de radiación han sido tabulados para diferentes ángulos y representados gráficamente.

CARACTERISTICAS DEL PATRÓN DE IRRADIACION

AZIMUT MAGNETICO (°)	ALCANCE MAXIMO (Km)	POTENCIA IRRADIADA (PEI) W	GANANCIA ANTENA (dB)
0	10,0	83,3	9,20
10	8,8	64,5	8,09
30	3,3	9,1	-
120	3,3	9,1	-
180	3,3	9,1	-



FUENTE : "INGALA" / 85°

FIGURA 4-10
COBERTURA PARA LA ISLA SANTA CRUZ

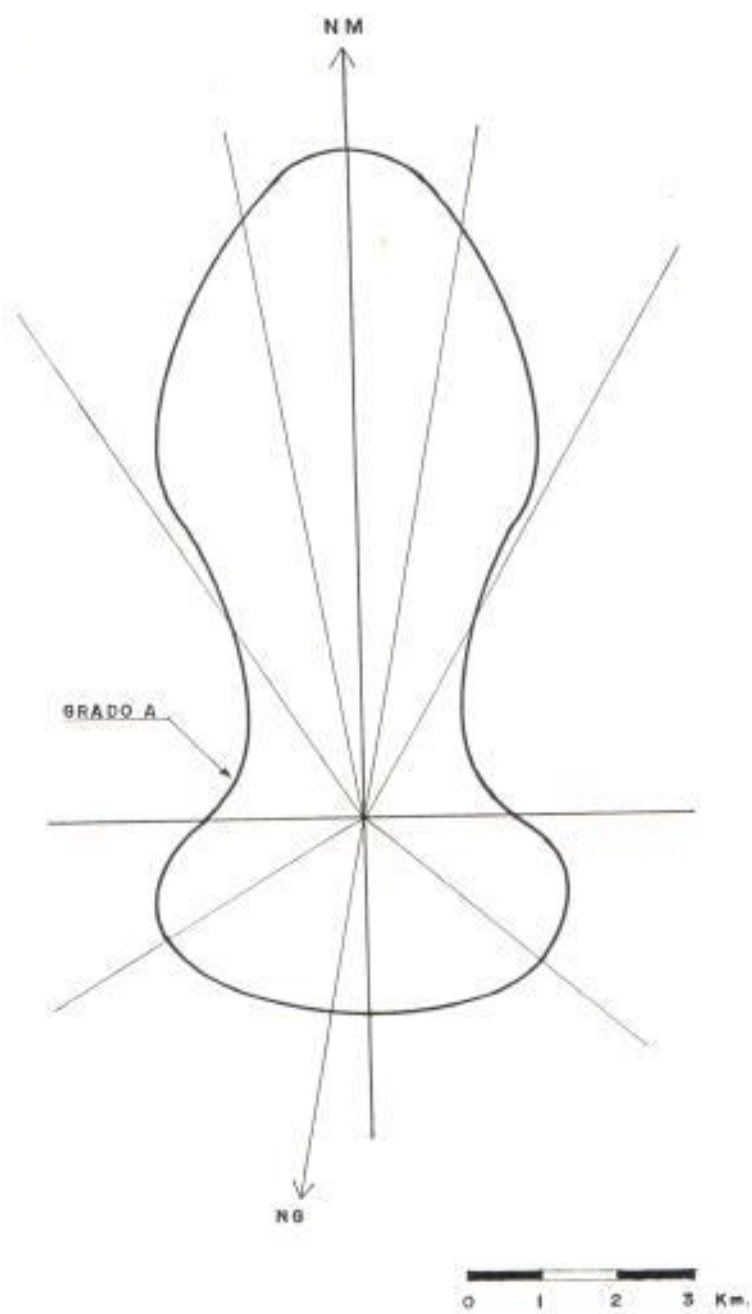


FIGURA 4-11

PATRON DE IRRADIACION DE LA REPETIDORA DE LA ISLA SANTA CRUZ

Tipo de Antena

Para reflector con una ganancia de 9,20 dB con respecto a la antena isotrópica, relación de onda estacionaria menor que 1.15.

Forma de recepción de la señal

Se la recibe desde el transmisor de Canal 13 de San Cristóbal. Para evitar posibles interferencias la transmisión en Santa Cruz se realizará por Canal 11.

4.6.3 Estación repetidora de la Isla Isabela

Para dar servicio de TV a la Isla Isabela, se propone la instalación de una estación repetidora cuyas características técnicas se detallan a continuación.

Ubicación

A cinco kilómetros de Puerto Villamil vía al Recinto Santo Tomás, con las características geográficas y la altura establecida en las Tablas 4.1 y 4.2.

Área de cobertura

La zona de Puerto Villamil hasta el límite urbano de la población.

Potencia de Transmisión 10 W

Con esta potencia y con las antenas propuestas se tendrá las siguientes características de radiación.

	Azimut Magnético (°)	Distancia del Transmisor.
Puerto Villa mil.	0	5.000 mt.

La PEI para un alcance máximo en este radial es:

$$A \quad 0^\circ \quad PEI = \frac{[E \times d]^2}{30} = \frac{(0.005 \times 9000)^2}{30}$$

$$PEI = 67.5 \text{ W para una distancia } d = 9000 \text{ mt}$$

Por lo tanto tendremos en Puerto Villamil una intensidad de campo de:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times PEI}}{d} = \frac{\sqrt{30 \times 67,5}}{5.000} = 9 \text{ mv/mt}$$

CARACTERISTICAS DEL PATRON DE IRRADIACION

AZIMUT MAG- NETICO (°)	ALCANCE MAXI- MO (Km)	POTENCIA IRRADIADA (PEI) W	GANANCIA DE ANTENA (dB)
0	9,0	67,5	8,3
10	8,6	62,5	7,9
20	7,5	46,7	6,7
30	5,8	28,8	4,5

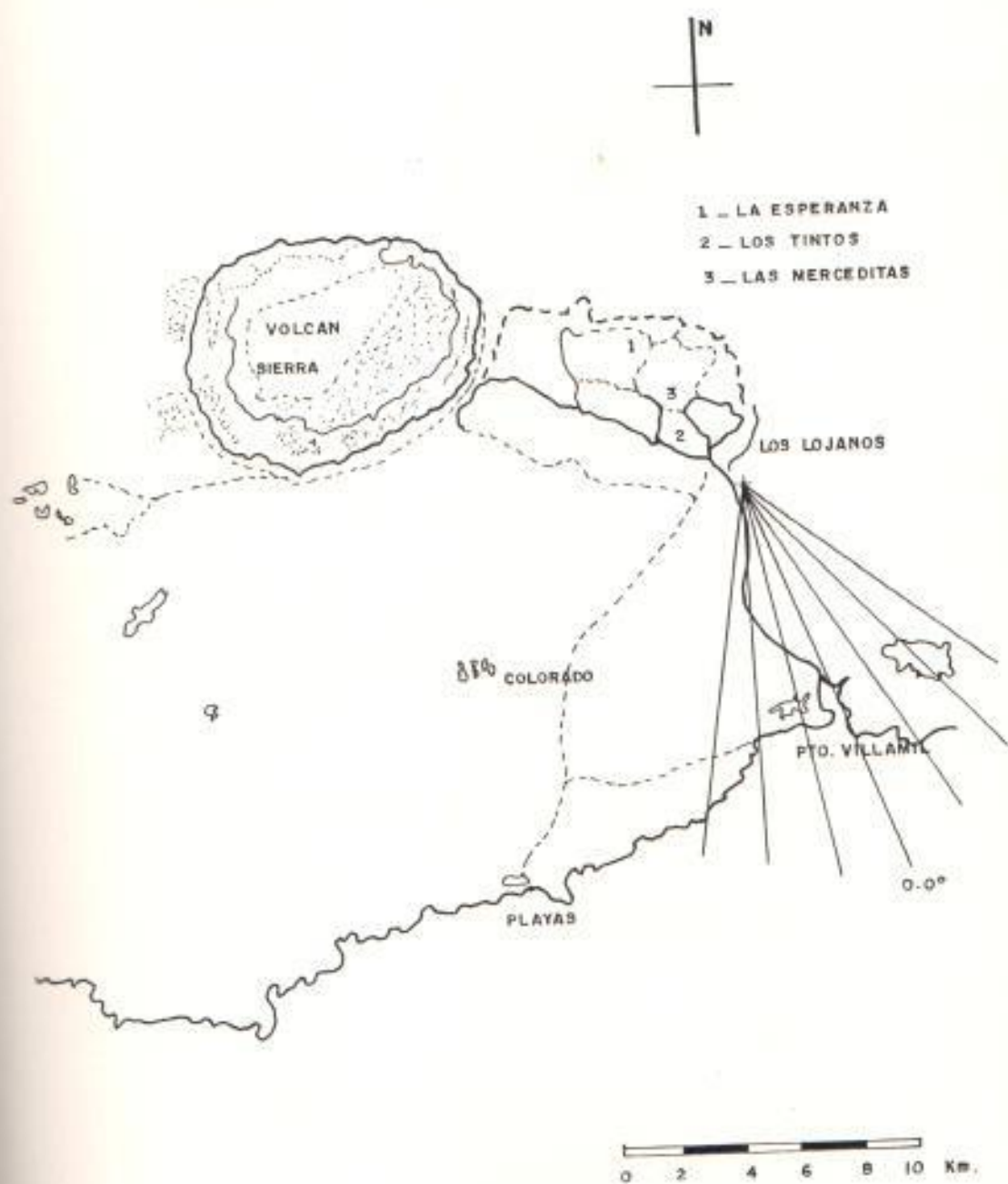
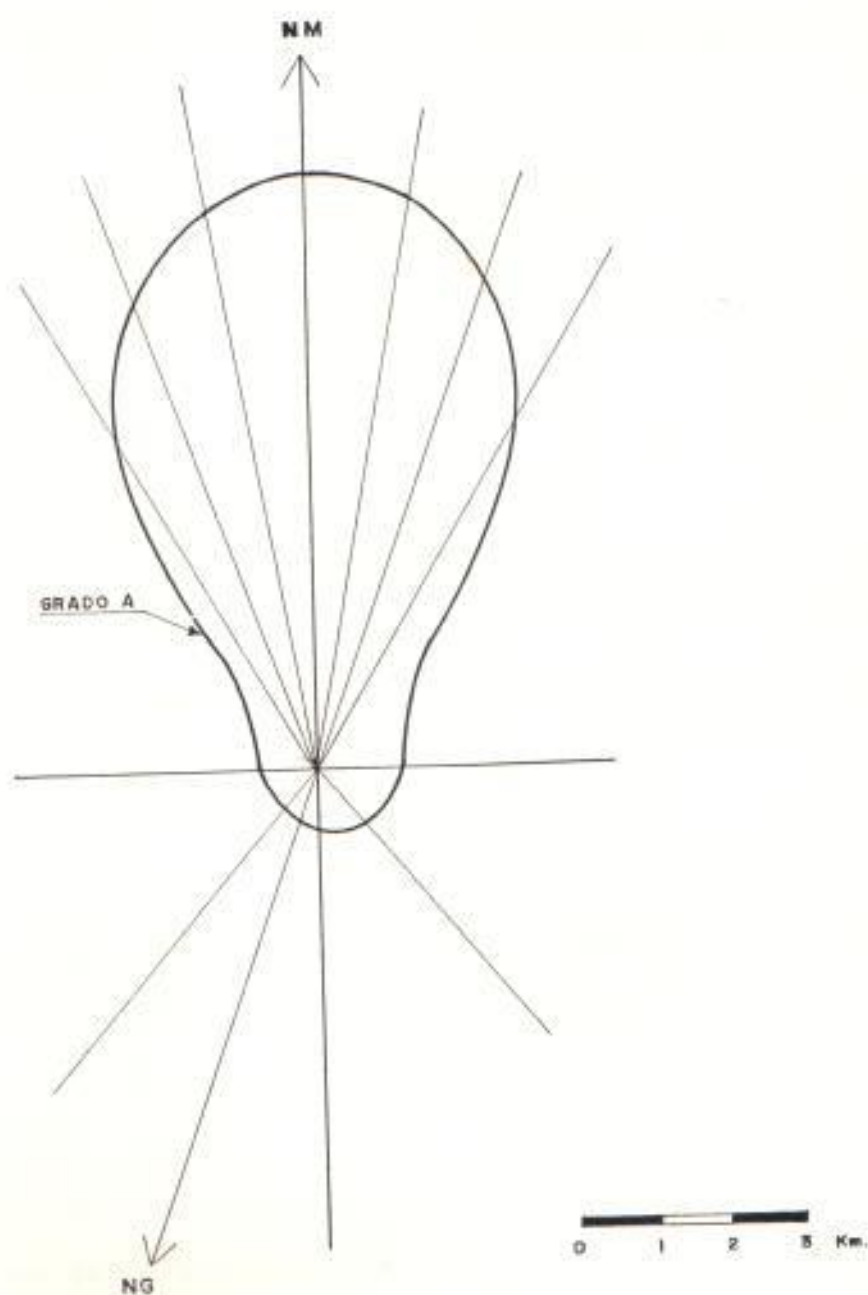


FIGURA 4-12

COBERTURA PARA LA ISLA ISABELA

**FIGURA 4 - 13**

PATRON DE IRRADIACION DE LA REPETIDORA DE LA ISLA ISABELA

Tipo de Antena

Para reflector con una ganancia pico respecto a la antena isotrópica de 8,3 dB, relación de onda estacionaria menor que 1,1.

Forma de recepción de la señal

Se la recibirá desde el transmisor del Cerro San Joaquín en Canal 25.

4.6.4 Estación repetidora de la Isla Floreana

Para dar servicio de televisión a la zona urbana de la Isla Floreana, se propone la instalación de una estación repetidora cuyas características técnicas se detallan a continuación.

Ubicación

En Puerto Velasco Ibarra con las características geográficas y la altura establecida en las Tablas 4.1 y 4.2.

Area de Cobertura

Toda la zona poblada de la Isla Floreana hasta el límite urbano de la población.

Potencia de Transmisión 1,0 W

Con esta potencia y con las antenas propuestas se tendrá una intensidad de campo de 5,9 mv/m en los límites urbanos de la población.

CARACTERISTICAS DEL PATRON DE IRRADIACION

AZIMUT MAGNETICO (°)	ALCANCE MAXIMO (Km)	POTENCIA PEI (dB)	GANANCIA DE ANTENA (dB)
0	1.55	4.47	4.50
10	1.54	4.45	4.39
20	1.53	4.30	4.32
40	1.35	3.20	3.20

Tipo de Antena

La antena deberá tener una ganancia pico con respecto a la isotrópica de 4.50 dB. Una relación de onda estacionaria menor que 1.15 y debe estar montada sobre una torre de 9 metros de altura.

Forma de recepción de la señal

La señal se la recibirá desde el transmisor de Canal 13 en San Cristóbal. Para evitar problemas de interferencia en la zona de Fresnel el enlace será en UHF. Se ha seleccionado el Canal 25 para hacer el estudio de radio-propagación.

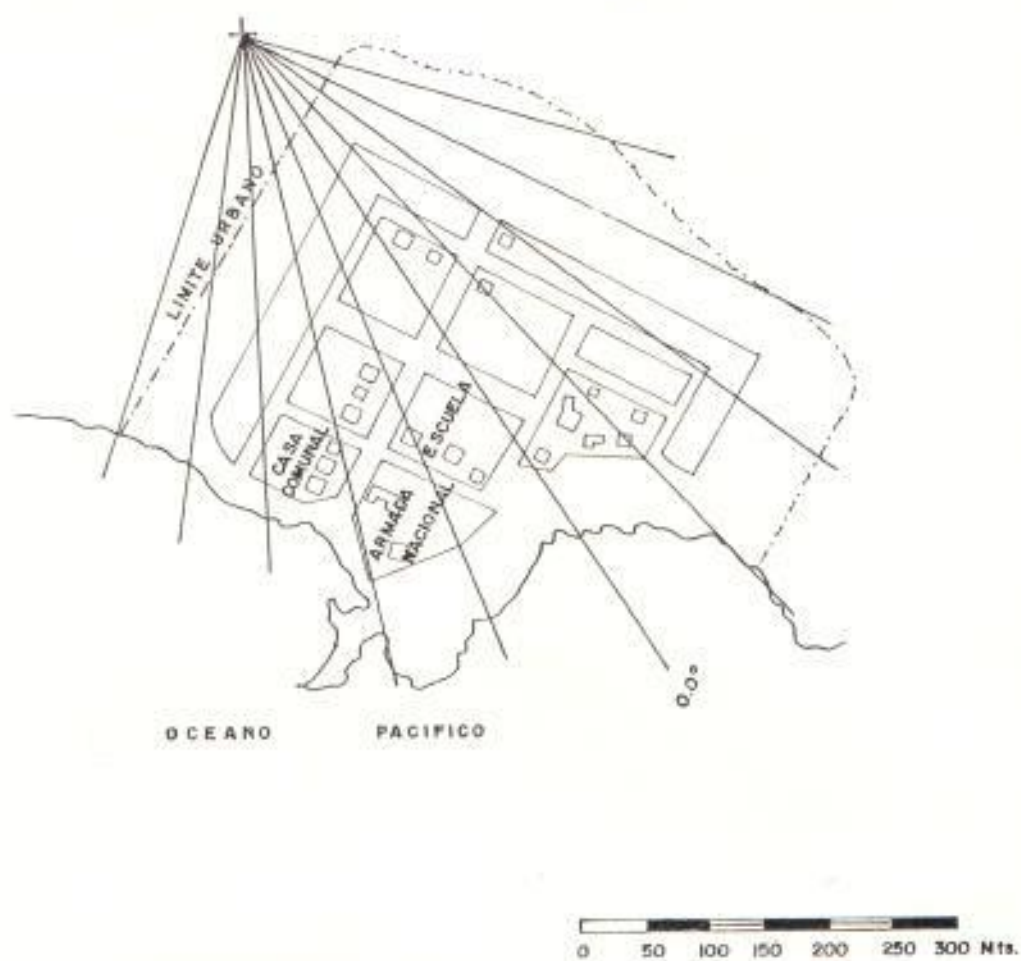
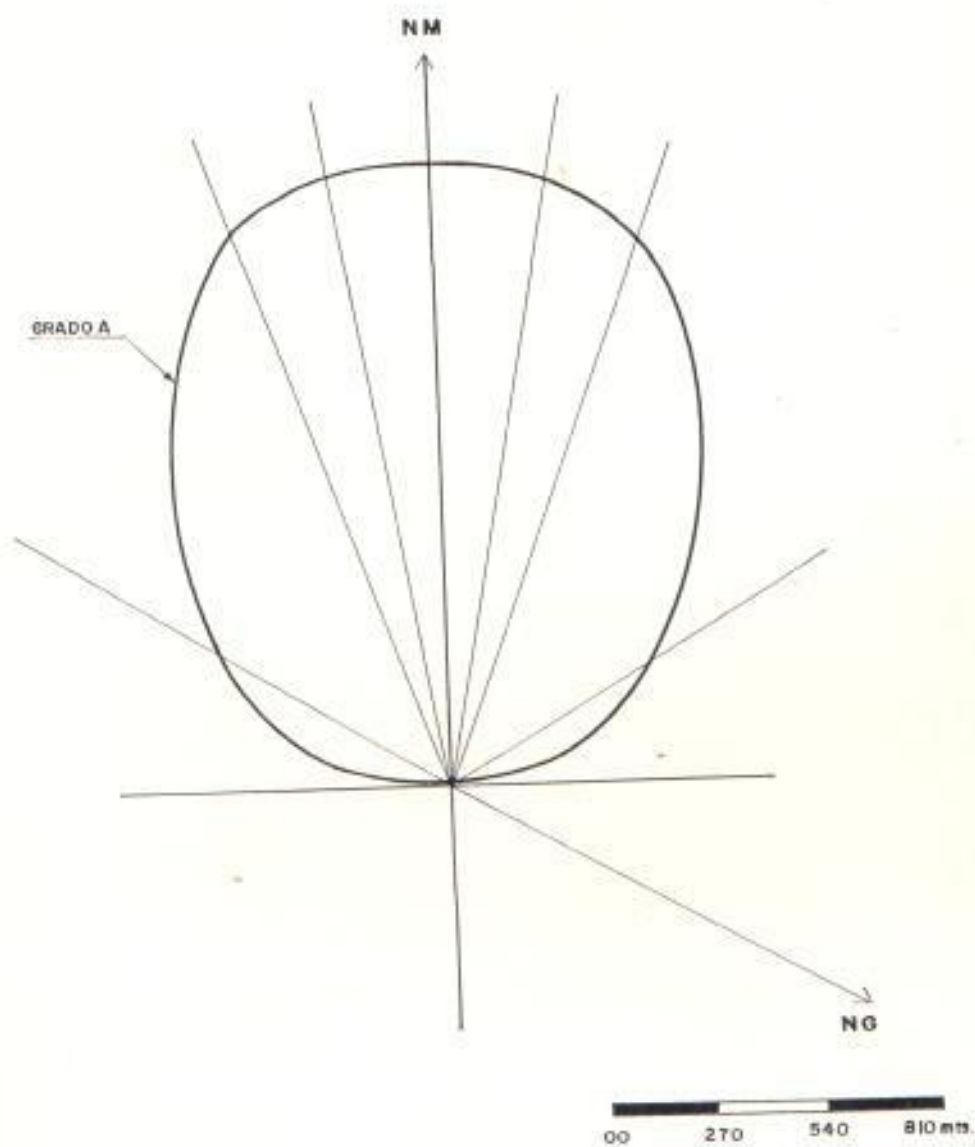


FIGURA 4-14
COBERTURA PARA LA ISLA FLOREANA

**FIGURA 4 - 15**

PATRON DE IRRADIACION DE LA REPETIDORA DE LA ISLA FLOREANA

4.7 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

El sistema diseñado consta de los siguientes elementos:

En SAN CRISTOBAL:

- Transmisor

Modelo V - 214
 Potencia de Salida : 200 W
 Impedancia de Salida : 50 ohm
 Conector tipo : N
 Consumo de Potencia : 1.2 KVA

- Antenas

Tipo : Arreglo de cuatro antenas diédricas
 Ganancia total : 11 dB
 Impedancia : 50 ohm
 VSWR : menor 1.5

Los elementos para las estaciones repetidoras en las otras Islas han sido tomados de un manual de TV de la firma RÖHDE&SCHWARZ-1982 y sirven como referencia para hacer un posible cálculo de costo en la ampliación de este sistema.

En SANTA CRUZ :

- Repetidor

Modelo : UT-020
 Potencia de Salida : 10 W
 Conector : N
 Consumo de Potencia : 0.18 KVA
 Voltaje de Entrada : 0.16 ± 10 mV

- Antena

Tipo	: HA87
Potencia	: 10 W
Ganancia de la antena pico con respecto a la antena isotrópica	: 7.3 dB
Polarización	: Horizontal o Vertical
Conector	: Tipo N
Impedancia	: 50 ohm

En ISABELA:

- Repetidor

Modelo	: UT011
Potencia de Salida	: 10 W
Conector	: 7/16
Consumo de Potencia	: 0.18 KVA
Voltaje de Entrada	: 0.16 a 10 mV

- Antena

Tipo	: HV303
Ganancia de la antena pico con respecto a la antena isotrópica	: 8.3 dB
Conector	: 7/16
Polarización	: Horizontal o Vertical
Impedancia	: 50 ohm

En FLOREANA:

- Repetidor

Modelo	:	UT001
Potencia de Salida	:	1 W
Conector	:	Tipo N
Impedancia	:	50 ohm
Consumo de potencia	:	0.1 KVA

- Antena

Tipo	:	HA88
Ganancia de antena pico con respecto a la antena isotrópica	:	4.50 dB
Polarización	:	Horizontal o Vertical
Conector	:	Tipo N
VSWR	:	menor que 1.15

4.8 COSTO DEL SISTEMA

Con el fin de dar una idea aproximada del costo del diseño, vamos a detallar el valor de los elementos que se utilizarán. Se ha tomado como referencia los modelos anteriormente señalados para los equipos del manual de la RÖHDE&SCHWARZ.

CANTIDAD	DETALLE	COSTO
1	Repetidor de 10 W modelo UT-020	\$ 6.000.-
1	Repetidor de 10 W modelo UT-011	6.000.-
1	Repetidor de 1 w modelo UT-001	2.000.-
1	Antena tipo HA87	500.-
1	Antena tipo HY303	600.-
1	Antena tipo HA88	300.-
2	Torres de antenas de 9 metros	600.-
1	Torre de antena de 6 metros	200.-
	Casetas de protección y accesorios adicionales.	2.000.-
TOTAL		\$ 18.200.-

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio realizado en esta Tesis se lo ha hecho tomando como punto de partida la situación actual de este medio alterno de comunicación en Galápagos, los criterios aquí utilizados se los ha escogido en base a un estudio teórico y tratando de obtener las mejores alternativas frente a los factores de costo y factibilidad.

Cada patrón de radiación ha sido diseñado hasta los límites urbanos de cada Isla y adquieren la forma de este sector que es determinado por el Parque Nacional Galápagos.

Para el enlace entre San Cristóbal e Isabela al igual que entre San Cristóbal y Floreana se ha escogido un enlace en UHF, dado que por efectos de la curvatura de la tierra, la poca altura de las Islas y la gran distancia que las separa es la mejor alternativa en función de costo. Un enlace de microondas no se justificaría por el momento dado su alto costo en función del poco número de Televidentes.

Como una primera medida se recomienda la ampliación y mejora del sistema San Cristóbal-Santa Cruz, por ser una de las viejas aspiraciones de Telegalápagos.

Finalmente, dado los actuales proyectos de instalación de la Estación Terrena en San Cristóbal y Guayaquil. Este diseño podría ser una alternativa para que a través de Telegalápagos se integre a toda la Provincia con el servicio de TV nacional.

APENDICES

AZIMUTS DE LOS TRAYECTOS

Con el fin de lograr la mejor alineación posible de las antenas y para calcular el azimut geográfico. Utilizaremos las coordenadas de las estaciones del trayecto de propagación y los valores tabulados en la Tabla A.

Esta Tabla contiene los valores de $\log Am$ y $\log Em/Am$ para los grados de latitud de 00° hasta 82° .

En el procedimiento a seguir para el cálculo del azimut utilizamos las siguientes ecuaciones.

$$\log \{Ctg W\} = \log (bm/am) + \log (\cos \phi_m) + \log C - \log \phi$$

$$W = \text{Antilog} \{Ctg W\}$$

Siendo:

W : El valor de una constante

La constante C viene dada por:

$$C = \Delta\lambda/2 \text{ Sen } \phi_m$$

En el cálculo de los ángulos que determinan la exacta posición de las antenas, consideramos que estamos en el Hemisferio Sur y analizamos dos casos.

TABLA "A"

LATITUD	LOG A _m	LOG B _m /A _m	LATITUD	LOG A _m	LOG B _m /A _m
00	2.509727	.002949	37	2.509194	.002888
01	726	.002949	38	169	.001834
02	725	.002946	39	144	.001784
03	723	.002941	40	118	.001733
04	719	.002935	41	093	.001683
05	715	.002927	42	066	.001631
06	711	.002917	43	042	.001580
07	705	.002906	44	2.509016	.001529
08	698	.002893	45	2.508990	.001477
09	691	.002878	46	965	.001426
10	682	.002861	47	939	.001374
11	673	.002843	48	913	.001323
12	663	.002823	49	888	.001272
13	652	.002801	50	862	.001221
14	641	.002778	51	837	.001170
15	628	.002753	52	812	.001120
16	615	.002726	53	787	.001071
17	601	.002698	54	762	.001021
18	586	.002669	55	738	.000973
19	571	.002638	56	714	.000925
20	555	.002606	57	690	.000877
21	538	.002572	58	667	.000830
22	520	.002537	59	644	.000784
23	502	.002501	60	621	.000739

LATITUD	LOG A_m	LOG B_m/A_m	LATITUD	LOG A_m	LOG B_m/A
24	483	.002463	61	599	.000695
25	646	.002424	62	578	.000652
26	444	.002384	63	557	.000610
27	423	.002343	64	536	.000568
28	402	.002301	65	516	.000528
29	381	.002258	66	496	.000489
30	359	.002214	67	478	.000452
31	336	.002169	68	459	.000415
32	2.509313	.002949	67	2.509194	.002884
33	290	.002077	70	425	.000346
34	267	.002029	71	409	.000313
35	243	.001981	72	393	.000282

CASO 1

La estación Este se encuentra al Norte de la estación Oeste, entonces el Azimut será:

$$\text{AZIMUT OESTE} : 90^\circ - W + C$$

$$\text{AZIMUT ESTE} : 270^\circ - W - C$$

CASO 2

Si la estación Este se encuentra al Sur de la estación Oeste, el azimut será:

$$\text{AZIMUT OESTE} : 90^\circ + W + C$$

$$\text{AZIMUT ESTE} : 270^\circ + W - C$$

BIBLIOGRAFIA

1. ANTENNA ENGINEERING HANDBOOK, Editorial Mc. Graw Hill
2. KRAUS J., ANTENNAS, Mc. Graw Hill, 1950
3. FUNDAMENTOS DE ANTENAS, Velotserkovski, Editorial Marcombo , 1983, Barcelona.
4. ROHDE & SCHWARTZ, SOUND AND TV BROADCASTING TRANSMITTER SYSTEMS MEASURING AND MONITORING EQUIPMENT, 1981-1982.
5. TELECOMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING, Freeman R.
6. ANTENNAS FUNDAMENTALS AND DEFINITIONS, Stutzman Thielz, Editorial Wiley.
7. ELECTROMAGNETIC WAVES AND RADIATING SYSTEMS, Prentice Hall , Jordan y Balmain.
8. LA PRACTICA DE ANTENAS, Editorial Marcombo, 1983, Ch. Gilbert
9. ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION UHF PARA TV. CANAL 25 PARA LA PROVINCIA DEL GUAYAS, Núñez V.
