

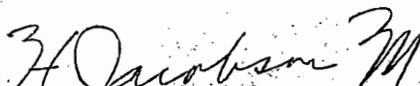
EJECUCION DE ESTACIONES DE COM -
PROBACION TECNICA DE EMISIONES
RADIOELECTRICAS PARA EL ECUADOR

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en
la especialización de Electrónica y Telecomunicaciones
de la Escuela Politécnica Nacional.

JOSE VIVANCO ARIAS

Quito, Octubre de 1.975

CERTIFICO QUE EL PRESENTE
TRABAJO HA SIDO REALIZADO
EN SU TOTALIDAD POR EL SE
ÑOR JOSE VIVANCO ARIAS.


Ing. Herbert P. Jacobson
DIRECTOR DE TESIS

Quito, Octubre de 1.975

DEDICATORIA

A

JOSE JOAQUIN Y ZOILA ELVIRA

MIS PADRES

A

GIOCONDA

MI COMPAÑERA

A

HERBERT JACOBSON

MI MAESTRO

A

LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

BENEMERITA INSTITUCION QUE ME EDUCO

A G R A D E C I M I E N T O

A mis profesores y compañeros por todas sus enseñanzas.

Al Ing. Herbert P. Jacobson, por el valioso tiempo que dedicó para entregarme su experiencia y por la confianza que me infundió. Yo admiro sus extraordinarios dotes de Profesor, lo inagotable de sus conocimientos y la abnegación que presta a todos quienes soliciten su ayuda. He tratado de captar sus enseñanzas y transcribirlas a través de este trabajo.

Al Dr. Kanty More, por la cotidiana preocupación y valiosos consejos para la culminación de este trabajo.

A Gioconda Chum Kuffó, por la colaboración en el diagrama y la transcripción de la Tesis.

A los Directivos y Personal de la Dirección Nacional de Frecuencias del IETEL, por colaborar de muchas maneras; en especial a los compañeros Milton Roldán Reascos, Gustavo Villogas Torres, César Lara Perugachi y Edison Romero Martínez.

I N D I C E G E N E R A L

	<u>Pág.</u>
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>GENERALIDADES</u>	5
2.1 CARACTERISTICAS DE LAS MEDICIONES	5
2.2 ESTACIONES FIJAS Y MOVILES	9
2.3 OCUPACION DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO Y RANGOS DE CONTROL	13
3. <u>PLANIFICACION GENERAL</u>	16
3.1 PLANIFICACION DE LAS ESTACIONES FIJAS	16
3.1.1 Elección de la ubicación	16
3.1.1.1 Ubicación de la Estación Fija Quito	19
3.1.1.2 Ubicación de la Estación Fija Guayaquil	24
3.1.2 Edificios e instalaciones anexas	29
3.1.2.1 Edificios	29
3.1.2.2 Instalaciones anexas	34
3.2 PLANIFICACION DE LAS ESTACIONES MOVILES	37
3.2.1 Estaciones principales	37
3.2.2 Estaciones secundarias	39
3.2.3 Comunicación de las estaciones móviles	40
3.3 DIAGRAMA CRONOLGICO DE TRABAJO	41
4. <u>INSTALACIONES TECNICAS</u>	42
4.1 SISTEMA DE ANTENAS DE RECEPCION	42
4.1.1 GENERALIDADES	42

	<u>Pág.</u>
4.1.2	ANTENAS PARA FRECUENCIAS INFERIORES A 30 MHz. .. 48
4.1.2.1	Antenas omnidireccionales para frecuencias inferiores a 30 MHz. 48
4.1.2.2	Antenas direccionales para frecuencias inferiores a 30 MHz. 56
4.1.3	ANTENAS PARA FRECUENCIAS SUPERIORES A 30 MHz ... 58
4.1.3.1	Antenas omnidireccionales para frecuencias superiores a 30 MHz. 58
4.1.3.2	Antenas direccionales para frecuencias superiores a 30 MHz. 59
4.1.4	ANTENAS PARA RADIOLOCALIZACION BAJO 30 MHz 64
4.1.4.1	Introducción 64
4.1.4.2	Antena de Cuadro 65
4.1.4.3	Antena Adcock tipo H 74
4.1.4.4	Conclusiones 86
4.1.5	CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE ANTENAS DE RECEPCION 86
4.2	ANTENAS PARA TRANSRECEPTORES 90
4.2.1	GENERALIDADES 90
4.2.2	FRECUENCIAS DE TRABAJO 91
4.2.3	DISEÑO 97
4.2.3.1	Características generales 97
4.2.3.2	Diseño de los resonadores 98
4.2.3.3	Líneas de transmisión y transformador de impedancias 103
4.2.3.4	Longitudes físicas de los dipolos (l_1 , l_2 y l_3).. 104
4.2.3.5	Altura de la antena 104

	<u>Pág.</u>
4.3	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN 106
4.4	SISTEMAS DE TIERRA 108
4.5	UBICACIÓN DE LAS ANTENAS EN LOS TERRENOS DE LAS ESTACIONES FIJAS QUITO Y GUAYAQUIL 112
4.6	CONMUTACIÓN DE ANTENAS 114
4.7	PROTECCIÓN CONTRA RAYOS 117
4.8	TORRES: BREVE ESTUDIO ESTRUCTURAL Y DE INS- TALACIÓN 120
4.8.1	Generalidades 120
4.8.2	Diseño 121
4.8.3	Forma de instalación 132
5.	<u>ESTUDIO EXPERIMENTAL DE ANTENAS DE BANDA ANCHA PARA RECEPCIÓN EN EL RANGO DE 10 kHz a 30 MHz</u> 134
5.1	ANTENAS DE BANDA ANCHA 134
5.2	ANTENA DE CONO INVERTIDO 137
5.2.1	Introducción 137
5.2.2	Características generales 139
5.2.3	Variación de la impedancia en función del ángulo del cono 140
5.2.4	Influencia de la longitud de las paredes del cono en la impedancia 143
5.3	ANTENA VERTICAL OMNIDIRECCIONAL CARGADA 143
5.3.1	Generalidades 143
5.3.2	Características y función del conductor vertical 145

	<u>Pág.</u>
5.3.3	Características y función de la carga de techo 148
5.4	SISTEMAS DE TIERRA 152
5.5	MODELOS A ESCALA 153
5.6	MEDICIONES 157
5.6.1	Mediciones de impedancia de entrada 157
5.6.1.1	Equipo utilizado 157
5.6.1.2	Procedimiento 158
5.6.2	Mediciones de Ganancia 172
5.6.2.1	Fundamentos 172
5.6.2.2	Equipo utilizado 173
5.6.2.3	Procedimiento 173
5.7	CONCLUSIONES 179
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 197

I N D I C E D E A N E X O S

	<u>Pág.</u>
ANEXO 1: Diseño de la antena "L Invertida".....	187
ANEXO 2: Diseño de la antena de "Cuadro" pa ra radiolocalización en el rango - de 10 kHz-4 MHz.	188
ANEXO 3: Diseño de la antena "Adcock Tipo H" para radiolocalización en el rango de 2.5-30 MHz	189
ANEXO 4: Diseño de la Antena de "Cono Inver tido".....	190
ANEXO 5: Diseño de la antena "Vertical Omni- direccional Cargada"	192
ANEXO 6: Conección de los aisladores de re- tensión en los tensores de antenas	196

INDICE DE FIGERAS

<u>Figura</u>	<u>Pág.</u>
3.1	33
3.2	33
3.3	35
4.1	51
4.2	52
4.3	53
4.4	54
4.5	55
4.6	60
4.7	61
4.8	62
4.9	63
4.10	67
4.11	68
4.12	69
4.13	69
4.14	74
4.15	75
4.16	76
4.17	79
4.18	82
4.19	83
4.20	84

<u>Figura</u>	<u>Pág.</u>
4.21	85
4.22	89
4.23 (a)	93
4.23 (b)	94
4.24	97
4.25	98
4.26	100
4.27	102
4.28	105
4.29	107
4.30	185
4.31	186
4.32	115
4.33	116
4.34	117
4.35	118
4.36	119
4.37	121
4.38	123
4.39 (a)	125
4.39 (b)	125
4.40	126
4.41	133
5.1	138

<u>Figura</u>	<u>Pág.</u>
5.2	139
5.3	141
5.4	141
5.5	142
5.6	144
5.7	147
5.8	149
5.9	150
5.10	151
5.11	159
5.12	161
5.13	164
5.14	165
5.15	166
5.16	169
5.17	170
5.18	171
5.19	175
5.20	178
5.21	183
 <u>Fotografias</u>	
5.1	155
5.2	156

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	<u>Pág.</u>
3.2	18
3.3	22
3.4	23
3.5	27
3.6	28
3.7	30
3.8	30
4.1	48
4.2	72
4.3	73
4.4	78
4.5	82
4.6	87
4.7	108
4.8	130
5.1	145
5.2	162
5.3	167
5.4	175
5.5	181

INDICE DE MAPAS

<u>Mapa</u>	<u>Pág.</u>
3.1	21
3.2	26

El incremento de las radiocomunicaciones en las últimas décadas ha causado la congestión del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias inferiores. Este problema se ha tornado crítico en las frecuencias menores que 30 MHz., debido al hecho de que éstas permiten establecer radiocomunicaciones de larga distancia en una forma relativamente fácil y económica. Para frecuencias superiores a 30 MHz. la situación es todavía más aliviada, sin embargo, el paulatino incremento de nuevos servicios que la técnica entrega a la colectividad, copará el espectro radioeléctrico en un futuro no lejano, de manera especial en el rango de frecuencias inferiores a 1.000 MHz.

El espectro radioeléctrico ha sido calificado por sus estudiosos, como una riqueza natural que tiene 3 dimensiones: espacio, tiempo y frecuencia. El globo terrestre está dividido en 3 regiones, con el objeto de que las dimensiones de tiempo y frecuencia permitan el empleo simultáneo de ciertos sectores del espectro, dependiendo de las características de propagación.

Para frecuencias de VHF y superiores, donde las características de propagación no permiten un gran alcance de las emisiones, un país cualquiera puede explotar por sí mismo el espectro, aunque con algunas limitaciones en los sectores fronterizos, sobre todo en zonas del Globo de gran concentración de países, como el caso de Europa.

En frecuencias que por sus características permiten una propagación

de emisiones a grandes distancias, no es posible que cada país pueda utilizar el espectro de acuerdo a una planificación aislada, puesto que -- ello causaría interferencias en otros países, lo que que ocasionaría un derroche del espectro a escala mundial. Esta última situación ha sido resuelta por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, mediante la creación de la Junta Internacional de Registro de Frecuencias, IFRB., cuya misión fundamental es la de asegurar la utilización ordenada del espectro, para ello, tiene como funciones principales [1] * las siguientes:

- Inscribir en el Registro Internacional de Frecuencias las asignaciones hechas en los diferentes países, de forma que queden determinadas, de acuerdo con el procedimiento establecido en el Reglamento, la fecha, la finalidad y las características técnicas de cada una de esas asignaciones, con el fin de garantizar su reconocimiento internacional oficial;
- Establecer las listas de frecuencias y otros documentos relativos a la asignación y utilización de las frecuencias;
- Recopilar los resultados de las observaciones de comprobación técnica de las emisiones que puedan facilitarse las administraciones o los organismos de comprobación;
- Revisar periódicamente las inscripciones del Registro, con objeto de suprimir las frecuencias no utilizadas, de acuerdo con las administraciones que hayan notificado las asignaciones correspondientes;

* En el transcurso de la tesis, los números encerrados entre paréntesis indican las referencias que se anotan al final.

- Investigar, a solicitud de una o varias administraciones interesadas, los casos de interferencia perjudicial, y formular las recomendaciones pertinentes;
- Realizar estudios sobre el empleo de las frecuencias y, en su caso, formular recomendaciones a las distintas administraciones para que modifiquen sus asignaciones de frecuencias, con miras a permitir la creación de nuevos circuitos.

En el artículo 8 del Reglamento de Radiocomunicaciones del Comité Consultivo Internacional de Radio, CCIR, aprobado en Ginebra en 1.959 se instituye un sistema de comprobación técnica internacional de las emisiones, en el que deben participar todos los países para colaborar con la I.F.R.B. y alcanzar una utilización racional y eficiente del espectro de frecuencias, en provecho de toda la humanidad.

El derecho que un país tiene sobre la utilización de ciertas frecuencias que puedan causar interferencias en otros países, depende de la inscripción en el Registro Internacional de Frecuencias de la I.F.R.B., la misma que garantiza a través de la UIT y de Naciones Unidas en última instancia, un reconocimiento internacional oficial, basándose en el Convenio Internacional de Telecomunicaciones (Málaga-Torre Molinos) de 1.973 y sus anexos.

La Dirección Nacional de Frecuencias del Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones, I.E.TEL., es el organismo del Estado Ecuatoriano encargado de la administración, preservación y control del espectro radioeléctrico. Es a este organismo al que le corresponde solicitar la inscripción de las frecuencias que deben ser aprovechadas en nuestro país y defender así los derechos internacionales que le asisten. Sin embargo,

el País no cuenta con estaciones de comprobación técnica apropiadas para hacer el análisis adecuado de las frecuencias que debe solicitar, y participar además activamente en la preservación del espectro a nivel internacional.

A nivel nacional la Dirección de Frecuencias tiene una tarea muy - compleja que realizar, pues los concesionarios al cumplir con sus debe - res, técnicos y económicos, exigen que las frecuencias a ellos asignadas estén libres de interferencias, tanto radioeléctricas como de origen in - dustrial o doméstico. Como medida de preservación del espectro, la Direc - ción Nacional de Frecuencias debe cuidar cotidianamente que los usuarios cumplan las normas técnicas establecidas en las leyes y reglamentos co - rrespondientes; para ello tiene como medio de control las Estaciones de Comprobación Técnica de Emisiones Radioeléctricas.

La presente tesis tiene como aspiración, la de constituirse en un - documento de trabajo que pueda servir para la pronta ejecución de las - mencionada estaciones, por lo que se ha cuidado de manera especial que - ésta tenga un carácter eminentemente práctico y presente soluciones defi - nitivas.

2.

GENERALIDADES2.1.- CARACTERISTICAS DE LAS MEDICIONES.

De acuerdo con el objetivo, una medición tiene diferentes características como son: su grado de precisión, la velocidad de ejecución, la frecuencia con la que se repite, etc.; éstas mediciones pueden realizarse mediante observaciones directas o mediante registros gráficos.

Las funciones que puede tener una estación de comprobación son extensas, por lo que será difícil delimitarlas; sin embargo se puede nombrar algunas de las principales, la mayoría de las cuales deben realizarse en forma sistemática o rutinaria, con el objeto de exigir a su debido tiempo a los concesionarios nacionales del espectro, en el caso de estaciones del País, o a la I.F.R.B. en el caso de estaciones extranjeras, que cumplan con las condiciones técnicas de la asignación. A continuación se presenta una nómina de las funciones de una estación de comprobación [2] las mediciones sistemáticas o de rutina se señalan con un asterisco:

- 1*. Medición sistemática de las frecuencias de operación de las estaciones nacionales.
- 2*. Identificación y medición sistemática de las frecuencias de operación de las estaciones extranjeras, que puedan causar interferencias perjudiciales en estaciones nacionales.
- 3*. Medición sistemática de la intensidad de campo eléctrico, de la frecuencia fundamental (para comprobar la potencia transmitida) y de las armónicas u otras emisiones no esenciales, de las estacio-

nes nacionales recibidas en las estaciones de comprobación por onda de superficie.

- 4*. Medición del índice de modulación de las estaciones nacionales que satisfacen las condiciones indicadas en el párrafo anterior, o de estaciones extranjeras cuyas condiciones de recepción sean suficientemente estables.
- 5*. Medición de la anchura de banda de las estaciones nacionales y, en ciertos casos, de algunas estaciones extranjeras que puedan interferir las estaciones nacionales.
6. Análisis de las condiciones de funcionamiento de las estaciones extranjeras, cuya frecuencia se notifique en la circular semanal de la I.F.R.B., cuando se considere que esas estaciones pueden causar interferencias a estaciones nacionales.
7. Análisis de las condiciones de funcionamiento de las estaciones extranjeras notificadas a la I.F.R.B., cuando esas estaciones puedan ser interferidas por una nueva asignación nacional.
- 8*. Observación auditiva y visual de todo el espectro radioeléctrico, para detectar radiaciones no esenciales, descubrir estaciones que operan sin licencia o que se identifican de manera irregular, o --comprobar si el tráfico cursado por las estaciones nacionales y horario de funcionamiento están en consonancia con los datos que han servido de base para la expedición de la licencia.
9. Desarrollo de programas de registro automático del grado de ocupación del espectro, con objeto de ayudar a elegir frecuencias para nuevos enlaces, o para integrar el registro de las emisiones recibidas.

10. Participación en los programas de comprobación técnica establecidos por la I.F.R.B.
11. Cooperación con organismos internacionales en las mediciones u observaciones que ellos soliciten.
12. Cooperación con las estaciones de comprobación técnica de otras administraciones, para ayudarlas a determinar e identificar casos de interferencia.
- 13*. Radiolocalización de estaciones interferentes o estaciones nacionales que funcionen ilegalmente, así como también de interferencias de origen industrial.
14. Observaciones o mediciones destinadas a recoger datos técnicos requeridos para estudios especiales.
15. Observaciones sobre la calidad de recepción.
16. Grabaciones en cinta magnetofónica de programas de radiodifusión y otras emisiones.

La comprobación sistemática de las condiciones de funcionamiento de los radiofaros marítimos y aeronáuticos nacionales, así como la escucha sistemática en 500 kHz y 2.182 kHz para contribuir a la seguridad de la vida humana en el mar, que en otros países están a cargo de las estaciones de comprobación técnica, no serán funciones de las estaciones puesto que de éstas mediciones se han hecho responsables las Fuerzas Armadas Nacionales.

En síntesis, las funciones principales de las estaciones del País serán:

- 1.- Verificar las condiciones técnicas de las estaciones nacionales:
 - Frecuencia de funcionamiento.

- Anchura de banda.
- Porcentaje de modulación.
- Intensidad de campo.
- Radiación de emisiones no esenciales.

2.- Verificar las condiciones de concesión de la frecuencia:

- Frecuencia de funcionamiento.
- Horario de operación.
- Número de estaciones auxiliares.
- Indicativos utilizados.
- Tipo de tráfico.

3.- Registrar la ocupación del espectro radioeléctrico, en forma manual y automática.

4.- Localizar estaciones no autorizadas.

5.- Localizar interferencias de origen radioeléctrico, industrial, doméstico, etc.

6.- Colaborar con el Departamento de Planeamiento y Normalización de la Dirección Nacional de Frecuencias en estudios técnicos especiales, como son: mediciones de la conductividad del suelo, plan de reordenamiento de frecuencias, áreas de cobertura, niveles de ruido atmosférico, etc.

7.- Determinar frecuencias para asignaciones a nuevas estaciones.

8.- Cooperar con la I.F.R.B., o directamente con otras estaciones de comprobación.

Para alcanzar un eficiente cumplimiento de las funciones menciona -

das, las estaciones deben utilizar equipos especialmente diseñados para comprobación técnica de emisiones radioeléctricas. Muchos países han dado la importancia debida a ésta rama de las comunicaciones y han llegado a perfeccionar equipos que sirven para ejecutar mediciones con alta precisión y rapidez, solucionando los graves problemas que ocasiona el hecho de realizar las mediciones agrupando aparatos en torno a un receptor. La rapidez con la que pueda realizarse una medición es básica en la eficiencia de una estación, debido a que el control de las emisiones abarca una amplia gama de frecuencias; mediante equipos ágiles se economiza en la cantidad de aparatos y trabajo del personal de medición. La precisión de los equipos es fundamental, pues basándose en las mediciones hechas, se comprueba si los usuarios cumplen con lo que establecen los reglamentos nacionales e internacional, por lo que será necesario que los equipos puedan medir parámetros con mayor precisión que la exigida a las estaciones emisoras, por los reglamentos.

2.2.- ESTACIONES FIJAS Y MOVILES.

La diferencia de propagación que tienen las ondas de acuerdo con su longitud, la potencia de los transmisores, la directividad de las antenas transmisoras, son los factores principales por lo que no es posible controlar desde una sola estación fija los distintos servicios de radiocomunicaciones.

La congestión de las diferentes bandas de frecuencias es otro factor que ha sido tomado en cuenta para la ubicación y número de las estaciones en el País. La banda más congestionada es la de ondas decamétricas (3 a 30 MHz), y por tanto, es a la que se le debe dar mayor importancia en el control radioeléctrico. La propagación de las emisiones en es

ta banda se hace, por lo general, a través de la ionósfera, siendo su al can ce muy grande. De tal manera éstas frecuencias no presentan mayor di fi cul ta d ad en cu an to a la ubicación de las estaciones.

Las frecuencias de la banda de radiodifusión local, 530 a 1.600 kHz, debido a la característica de sus ondas, de ser reflejadas por la ionósfera solamente durante horas de poca luz, podrán ser controladas durante el día únicamente a distancias cercanas a los transmisores (decenas de kilóme tro s).

En las bandas de frecuencias superiores a 30 MHz, el alcance de las ondas es, por lo general, dentro de línea de vista. Por lo tanto para co n tro lar estas emisiones es necesario estar cerca de donde se producen. Así mismo, estas bandas se utilizan por lo general, para servicios de co m un ic a ci o n o de radiodifusión dentro de una ciudad, por lo que es reco m en da ble instalar estaciones de comprobación en las principales ciudades, donde éstas se utilizan más, como son: Quito, Guayaquil y en menor grado Cuenca.

Las estaciones de comprobación fijas no pueden detectar muchas esta ci o ne s que operan en frecuencias superiores a 30 MHz, debido a que comunme n te utilizan antenas direccionales y/o bajas potencias. Para contro lar este tipo de estaciones transmisoras, es necesario contar con esta ci o ne s de comprobación móviles que puedan desplazarse a las cercanías del lugar donde se originan las emisiones.

De los análisis anteriores se deduce que para realizar un control ef ic ie n te de todas las emisiones nacionales y extranjeras sería deseable que en cada ciudad del País se construya una estación fija, sin embargo,

ello no justifica de ninguna manera el costo que implica tanto la inversión inicial como el funcionamiento.

Las funciones de una estación fija son las indicadas en los números 1 al 16 de éste párrafo. Una estación móvil puede ser diseñada y equipada para realizar todas las funciones de las estaciones fijas, teniendo sin embargo algunas limitaciones impuestas por las dimensiones de los equipos y el consumo de energía. La principal función de una estación móvil de comprobación consiste en verificar todas las características de las emisiones que no son fáciles de comprobar en los centros fijos, por la naturaleza misma de la medición o por las dificultades derivadas de la congestión del espectro. Se da este caso en particular en las observaciones en frecuencias superiores a 30 MHz, que las estaciones fijas no pueden efectuar eficazmente a causa de la poca potencia de algunos de los transmisores, de las características directivas de las antenas transmisoras y del alcance (dentro de línea de vista) que tienen las ondas en éstas frecuencias. Las mediciones sistemáticas o de rutina bajo 30 MHz, es en general, más conveniente realizarlas desde las estaciones fijas debido al monto de trabajo que implica estas funciones y a la dificultad de tener en las estaciones móviles antenas de alta sensibilidad en este rango.

Las funciones que son más convenientes realizar utilizando estaciones móviles son:

1.- Mediciones de intensidad de campo. Las principales finalidades de las mediciones de intensidad de campo son: estudio de las zonas de servicio de un transmisor (áreas de cobertura), trazado de diagramas de radiación de una antena, estudio para determinación de las inter

ferencias tanto de origen radioeléctrico como industrial y doméstico, elección de las características de servicios móviles, estudio de la repartición de frecuencias, estudios de propagación, evaluación a distancia de la potencia de un transmisor inaccesible, potencia efectiva radiada por un transmisor, etc. Para cumplir con éstas finalidades es necesario que las mediciones sean efectuadas en puntos determinados: cercanos, lejanos, alrededor de los transmisores, etc., que se puede lograr casi exclusivamente con el uso de estaciones móviles.

- 2.- Localización de transmisores desconocidos.
- 3.- Comprobación técnica de las características de transmisores de servicios móviles.
- 4.- Registro del espectro, para obtener datos relativos a la densidad local (de una ciudad) del tráfico y a los problemas locales de interferencias.
- 5.- Mediciones de comprobación técnica directamente de los transmisores, para controlar las características de concesión de los servicios radioeléctricos (en especial radiodifusión).

Para cubrir el control de las emisiones en el País sin realizar grandes inversiones será necesario tener por lo menos 3 estaciones fijas ubicadas en las cercanías de las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca. Para complementar sus funciones, las estaciones fijas deberán tener 2 estaciones móviles cada una de ellas: una estación principal y una secundaria. Las estaciones móviles principales tendrán como funciones las de desplazarse a provincias vecinas para realizar periódicamente mediciones tanto de rutina como especiales, similares a las que se hacen en las fi -

jas, serán en realidad estaciones fijas transportables. Las estaciones móviles secundarias serán equipadas especialmente para efectuar las mediciones que no pueden efectuarse desde las estaciones fijas, como son las de intensidad de campo, radiolocalización y análisis del espectro de radiación de transmisores de UHF y microondas.

Dado que la utilización del espectro en la actualidad no es lo suficientemente grande, y los ingresos que percibe el IETEL por concepto de arrendamiento de frecuencia son relativamente bajos, no se justifica la instalación de todas las estaciones mencionadas anteriormente, por lo que puede efectuarse en 2 fases. En la primera fase puede construirse las estaciones fijas de Quito y Guayaquil conjuntamente con sus estaciones móviles y las estaciones de Cuenca en una segunda fase. Si la ocupación del espectro y/o la situación económica no lo justifica, Cuenca podrá tener solamente una estación fija y, en ese caso se dividirá el País en 2 zonas de control con estaciones móviles utilizando las estaciones móviles principales. Para la división en zonas deberá tomarse en cuenta las facilidades de carreteras y las distancias que unen las capitales de provincias con las ciudades de Quito y Guayaquil. La planificación del trabajo deberá ser realizada por la Oficina Centralizadora que estará ubicada en la Ciudad de Quito.

2.3.- OCUPACION DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO Y RANGOS DE CONTROL.

La Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones realizada en Ginebra en 1.959, fijó los límites de utilización del espectro en: 10 kHz y 40 GHz; luego, la Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales realizada en Ginebra en 1.971 amplió la utiliza-

ción del espectro hasta 275 GHz, atribuyendo el rango de 40 a 275 GHz para comunicaciones espaciales.

En Ecuador la frecuencia más baja utilizada es de 220 kHz (Inecel - utilizará posteriormente 150 kHz) y la más alta 8.270 KHz.

Debido a una mala política de concesión de frecuencias llevada en el pasado, el País sufre en la actualidad un verdadero congestionamiento de la banda de radiodifusión local, que es, por sus características de propagación y por el bajo costo y gran número de receptores, la banda más apropiada para la radiodifusión. Esta banda deberá ser "reconstruída" valiéndose de una buena Ley de radiodifusión y de las estaciones de comprobación técnica. Como ejemplos de la ocupación de ésta banda se tiene:

Provincia de Pichincha:	49 estaciones.
Provincia del Guayas:	40 estaciones.
Provincia de Manabí:	25 estaciones.
Total en el País:	231 estaciones.

Las frecuencias inferiores a 530 kHz, están atribuidas a la Fuerza Aérea Ecuatoriana y Aviación Civil.

El rango de 1.605 hasta 3.151 igualmente está atribuído a Servicios públicos.

Como sucede en todos los países, la banda de mayor ocupación, por sus características de propagación y la economía de los equipos y antenas transreceptoras, es la banda de ondas decamétricas, por lo que es la que requiere mayor control.

En lo que respecta al rango de VHF, los sectores del espectro más -

· congestionados son los de 88-108 MHz destinado a Radiodifusión de Frecuencia Modulada (esto es en las ciudades de Quito y Guayaquil) y los rangos de 138-174 MHz y 225-235 MHz.

El rango de 300 a 1.000 MHz es menos utilizado que los anteriores; las frecuencias desde 300 a 470 MHz están en su mayoría utilizadas por el IETEL. De 470 a 915 MHz no existen asignaciones; el rango de 470 a 890 MHz será atribuido para radiodifusión (canales de TV). De 942 a 958 MHz está ocupado por enlaces estudio-transmisor de emisiones de Radiodifusión.

Desde la frecuencia de 958 a 1.468 MHz no hay ninguna asignación.

De 1.468 a 8.270 MHz., se tiene pocos concesionarios particulares, como son, los canales de televisión, Texaco, y Nasa, las demás frecuencias asignadas son utilizadas por el IETEL.

De esta breve visión de la ocupación actual del espectro en el País se concluye que el control de las emisiones deberá realizarse principalmente en frecuencias inferiores a 1.000 MHz., sin embargo las estaciones deberán ser construidas para controlar frecuencias más elevadas, puesto que se espera un rápido incremento de la utilización de éstos rangos.

Las estaciones de comprobación fija serán planificadas para controlar las emisiones en el rango de 10 kHz a 1.000 MHz. Frecuencias superiores a 1.000 MHz., hasta 11 GHz, se controlarán mediante estaciones móviles, pues éstas difícilmente podrán ser captadas por las estaciones fijas.

3. PLANIFICACION GENERAL

3.1.- PLANIFICACION DE LAS ESTACIONES FIJAS.

3.1.1.- Elección de la ubicación.

Mediante las 3 estaciones fijas: "Quito", "Guayaquil" y "Cuenca", se podrá cubrir en buena forma el control de la gran mayoría de las estaciones transmisoras del País. Cada estación fija cubrirá el rango de 10 kHz a 1.000 MHz.

Las condiciones fundamentales que deben tener los sitios para la construcción de las estaciones son las siguientes:

- Estar alejados de sectores industriales o poblados, existentes o potenciales, para evitar el ruido eléctrico producido por las maquinarias o artefactos domésticos.
- Estar alejados de fuentes de ruido acústico, como son: grandes carreteras, aeropuertos, líneas férreas, poblaciones, etc., puesto que, si bien la técnica ha permitido que muchas mediciones se realicen en forma automática, la mayoría de ellas están supeditadas al oído humano.
- Estar cerca de las ciudades y tener línea de vista a éstas, para lograr el doble propósito de facilitar el desplazamiento del personal de las estaciones y, fundamentalmente, tener recepción de emisiones en frecuencias superiores a 30 MHz.
- Estar lejos de centrales y redes eléctricas de alta potencia.
- Ser planos.

- Estar libres de campos intensos radiados por transmisores radioelétricos, cercanos eléctricamente; para ello los terrenos deben estar suficientemente separados de transmisores, de acuerdo con la siguiente consideración teórica:

La intensidad de campo E, que se espera a una distancia d del transmisor, cuya potencia aparentemente es Pt y la ganancia de su antena es Gt, se calcula con la fórmula:

$$E = \frac{1}{d} \sqrt{30Pt \cdot Gt} ;$$

donde no se considera la atenuación producida por la tierra. Si se asume, para el caso de una torre de 1/4 longitud de onda, que Gt = 3, se tiene:

$$E = \frac{300}{d} \sqrt{Pt} ; d(\text{km}) ; Pt(\text{kw}) ; E(\text{mV/m}).$$

El cuadro 3.2 presenta algunos cálculos de E, para varias distancias y potencias de interés para la ubicación de los terrenos. Para tener valores más prácticos, se consideró la atenuación de la tierra, utilizando para ellos las curvas de Intensidad de Campo Eléctrico de la Onda de Superficie, presentadas por la Dirección de Telecomunicaciones de Venezuela [3], se tomó como promedio de conductividad del suelo para el caso de Guayaquil 10 m.mhos/m, los valores de intensidad del cuadro serán menores para el caso de Quito, pues la conductividad promedio del suelo, de acuerdo a estudios realizados por el Sistema de Emisoras MCJB, es de 3 m.mhos/m. Para la atenuación de la tierra se tomó las curvas de 1.000 kHz.

Las recomendaciones del CCIR [4] para evitar interferencias por cam

pos intensos, se resumen así:

Gama de frecuencias

Intensidad de campo máxima en
las frecuencias fundamentales

menores a 50 MHz

10 mV/m = 80 dB μ

mayores a 50 MHz

50 mV/m = 94 dB μ

Cuadro 3.2: Intensidad de campo que se espera a las distancias de 1;5; 10 y 20 km. para varias potencias.

Potencia	1 km.	5 km.	10 km.	20 km.
1 kw	300 mV/m	47.4 mV/m	18.9 mV/m	7.5 mV/m
3 kw	520 mV/m	82.16 mV/m	32.76 mV/m	13.0 mV/m
5 kw	670 mV/m	105.86 mV/m	42.21 mV/m	16.75 mV/m
10 kw	950 mV/m	150.1 mV/m	59.85 mV/m	23.75 mV/m
20 kw	1.350 mV/m	213.3 mV/m	85.05 mV/m	33.75 mV/m

- No deben existir grandes elevaciones, superiores a 3 grados en el caso de instalar radiogoniómetros, según recomienda el CCIR, pues en ese caso no se tendrá indicaciones confiables de la dirección de las ondas.

Esta condición impide la instalación de radiogoniómetro en la Estación Fija Quito. Para ubicación de la Estación Fija Guayaquil, conviene dejar abierta la posibilidad de instalación futura de éstos equipos, por ello debe cumplirse la recomendación del CCIR, de escoger un terreno alejado por lo menos 1 km. de lagos y otras extensiones acuáticas importantes, esto se debe a la necesidad de tener suelos de conductividad más o menos constante.

Otras condiciones, menos importantes, que deben cumplir los terrenos son:

- Estar separados de carreteras de gran tráfico, para evitar que el ruido eléctrico producido por las bujías de los motores afecten las mediciones, y además evitar el ruido acústico.
- Prestar facilidades para: acceso de vehículos, obtención de energía eléctrica de la red pública, obtención de agua potable y estar en lo posible cerca de red de teléfonos automáticos o tener la posibilidad de instalación de este servicio por radioenlace.

La superficie necesaria para la Estación Fija Quito es de alrededor de 5 hectáreas; la Estación Fija Guayaquil necesita alrededor de 15 hectáreas puesto que puede ser equipada con radiogoniómetro.

3.1.1.1.- Ubicación de la Estación Fija Quito.

La singular topografía de los alrededores de la ciudad de Quito, ha hecho sumamente difícil encontrar un terreno que cumpla con todas las recomendaciones anteriores. Los terrenos más apropiados son los del sector sur y norte, sin embargo el sector sur quedó descartado, debido a que es un sector fabril y especialmente por existir un gran número de transmisores distribuidos en la zona, de tal manera que al realizar las mediciones de intensidad de campo en ondas medias se tuvieron muchos valores superiores a 100 mV/m, (El CCIR recomienda intensidades máximas de 10 mV/m en este rango).

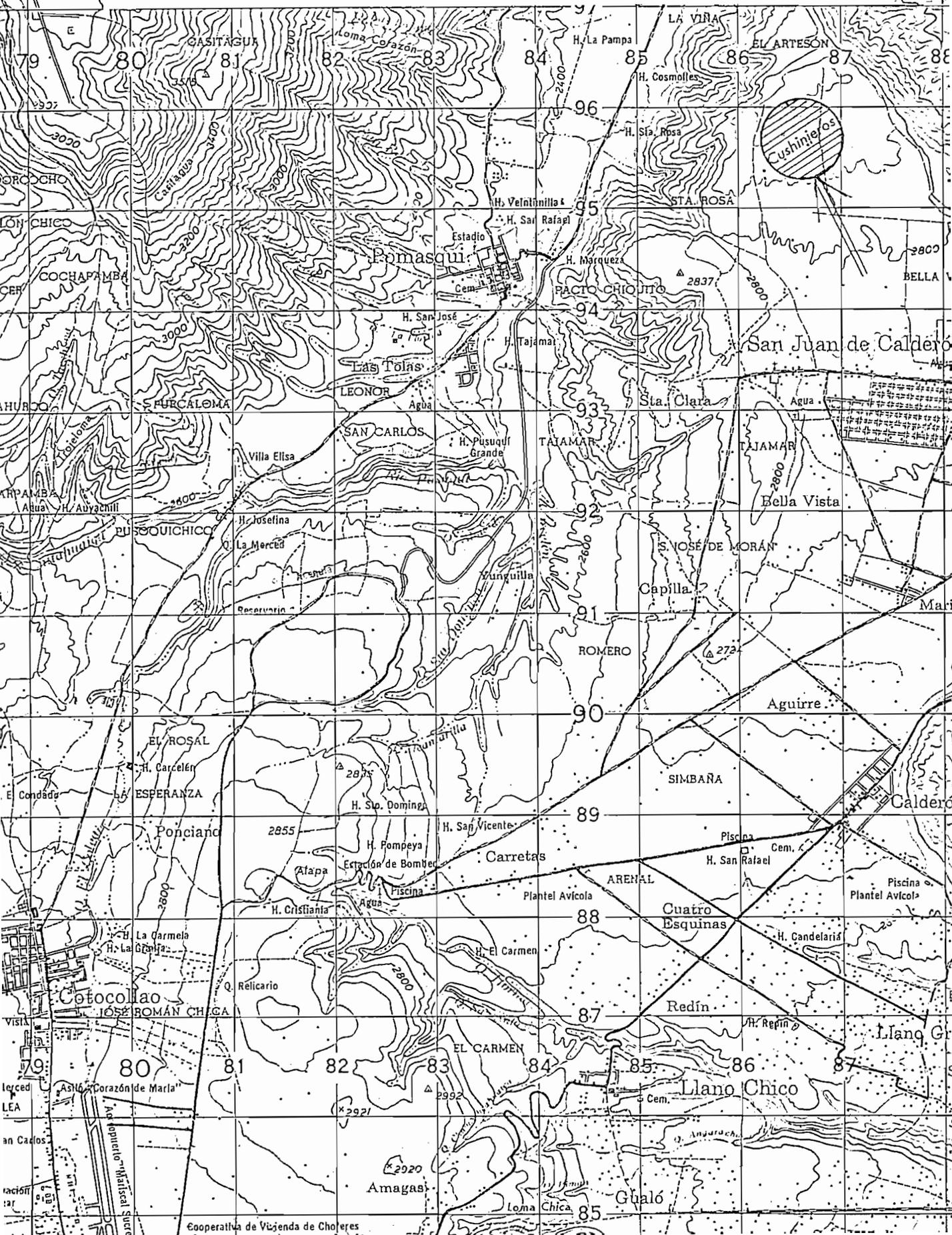
En el sector norte existen mejores condiciones en cuanto a los niveles de intensidad de campo, como también niveles de ruido eléctrico y acústico, aunque presentan mayores dificultades en cuanto a topografía,

altitud, conductividad del terreno y facilidades de obtención de servicios de agua, energía eléctrica, etc.

En general los terrenos llanos del sector norte, (Pomasqui, San Antonio) presentan bajos niveles en relación con el promedio de altitud de la ciudad de Quito, lo que perjudica la recepción en frecuencias superiores a 30 MHz. De los terrenos visitados se escogió el sitio Cushinjeros (ver ubicación en mapa 3.1) por ser el único que presenta condiciones aceptables de recepción en frecuencias superiores a 30 MHz, y además los niveles de intensidad de campo en frecuencias de radiodifusión local están muy cerca de cumplir con las recomendaciones del CCIR, el único nivel elevado es en 690 kHz, de HCJB, que llega al sitio con 50 mV/m.

En los cuadros 3.3 y 3.4 se presenta los niveles de intensidad de campo de las emisiones captadas en el sitio Cushinjeros, para frecuencias de radiodifusión local y superiores a 30 MHz.

Mapa 2.1: Ubicación de la Estación Fija Quito, sitio Cushinjeres.



Cuadro 3.3: Intensidad de campo en el sitio Cushinjeros, en frecuencias de radiodifusión local.

f (kHz)	\bar{E} (mV/m)	f (kHz)	\bar{E} (mV/m)
550	13	1.030	1.8
570	4.2	1.050	0.34
590	4.8	1.090	0.62
615	11	1.120	2.1
640	20.5	1.170	1.6
700	50	1.200	0.18
720	3	1.220	0.44
730	9.5	1.240	0.45
760	11	1.250	0.8
790	0.76	1.290	0.95
810	3.4	1.305	0.115
840	2.1	1.320	1.1
870	4.7	1.420	2.35
910	0.53	1.460	0.57
930	0.62	1.500	0.6
950	0.15	1.560	0.44
970	0.26	1.570	0.091
1.000	12.5	1.595	0.038

Cuadro 3.4: Intensidad de campo en el sitio Cushinjeros, en frecuencias superiores a 30 MHz.

f (MHz)	\bar{E} (mV/m)	f (MHz)	\bar{E} (mV/m)
40	14.125	186	9.660
89.3	1.122	193.3	1.778
91.2	0.013	198	0.133
94.85	0.021	208	0.015
99.2	0.018	210	0.004
99.9	0.014	230	0.032
103.7	17.782	248.5	0.094
115	0.035	250	0.123
141	0.005	310	0.018
149	0.017	342	0.079
162.6	0.013	355.5	0.478
164	0.017	382	0.005
170	0.071	452	0.042
175.7	0.501	463	0.078
181.5	9.120		

3.1.1.2.- Ubicación de la Estación Fija Guayaquil.

La topografía de los sectores aledaños a Guayaquil presenta ventajas considerables en relación a los de Quito, por lo que fue necesario realizar mayores estudios para escoger el terreno más apropiado. Utilizando los mapas publicados por el Instituto Geográfico Militar y tomando en consideración las recomendaciones iniciales de éste párrafo --- (3.1.1), se concluyó que los terrenos apropiados podrían estar ubicados en los sectores aledaños a las siguientes vías: A la Costa, Durán, Tambo, Yaguachi y Samborondón.

La vía Durán quedó descartada por las siguientes razones:

- Constituye zona industrial hasta el kilómetro 12 y potencialmente industrial hasta el km. 30.
- En esta vía están ubicadas 19 radiodifusoras, varias de ellas con alta potencia como son: Radio Cristal (km. 8 1/2) con 20 kw; y las radiodifusoras Mambo (km. 32), Carrousel (km. 14 1/2), Atalaya (km. 7), Guayaquil (km. 4 1/2) y Ondas del Pacífico (km. 8 1/2), que tienen todas ellas 10 kw.
- La zona occidental de Guayaquil quedaría sin un buen control de las emisiones en frecuencias muy altas debido a la cortina que presentan algunas elevaciones en esa dirección.

La zona sur de Guayaquil (El Guasmo), no es adecuada por las siguientes razones:

- La presencia de generadores y líneas de transmisión de energía.
- La presencia de transmisores de radio, como los de Radio IFESA (10 kw) y HCJB (5 kw), y algunos otros de menor potencia.

- Constituye zona industrial y potencialmente poblada.

Se visitaron los terrenos aledaños a las vías citadas como teóricamente apropiadas, se hicieron mediciones de intensidad de campo en varios lugares, descartando definitivamente aquellos que presentaron niveles muy altos en el rango de radiodifusión local. (Este rango es el que mayores problemas de recepción puede presentar en lo que se refiere a niveles excesivos de intensidad de campo).

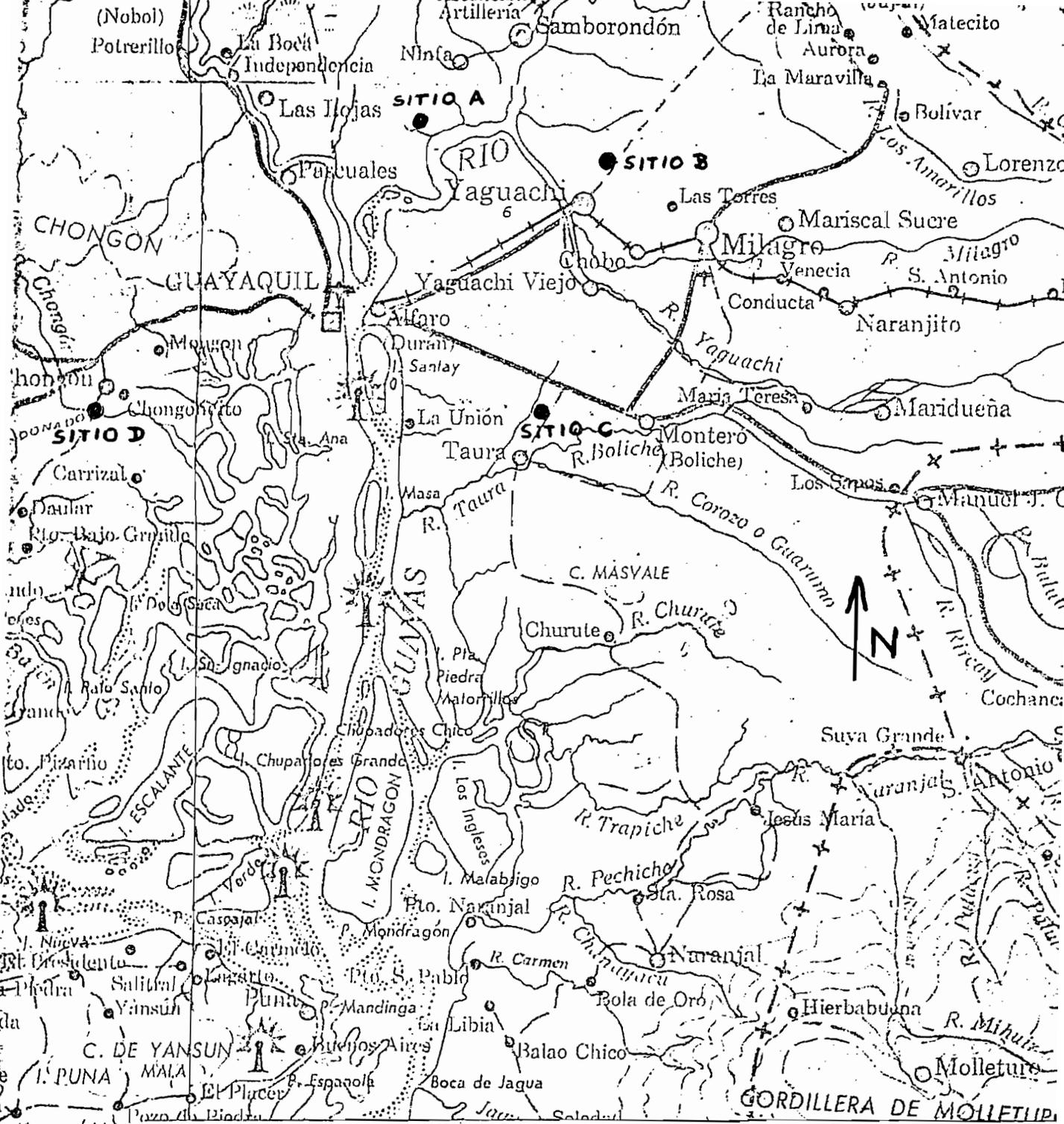
En el mapa 3.2 puede verse la ubicación de los sitios que presentan mejores condiciones, ellos son:

- A: Hacienda "El Rosario", km. 21 vía Samborondón.
- B: Vía Yaguachi, a 2 kilómetros pasando la población de Yaguachi.
- C: Carretera de entrada a la población de Taura, a 2 kilómetros del cruce con el km. 20 de la vía Durán-Tambo.
- D: Chongón, a 2 kilómetros de la población. Vía la Costa, km. 24.

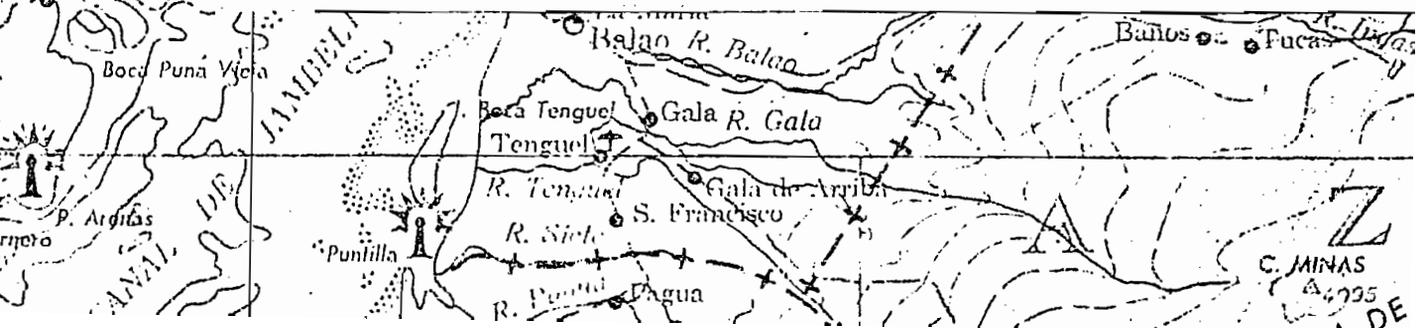
En el cuadro 3.5 se indica las principales características de los terrenos citados, y el cuadro 3.6 las mediciones de intensidad de campo. De estos cuadros se deduce que, de acuerdo con las recomendaciones iniciales de este párrafo 3.1.1, los sitios D (Taura) y E (Chongón) son los que presentan las mejores condiciones, se escogió el terreno de Taura, por tener las siguientes ventajas:

- Mejor recepción de señales débiles.
- No presenta mayores problemas en cuanto a campos intensos; lo que no sucede con el sitio de Chongón, donde la señal de Radio Tropicana (540 kHz), como puede verse en el cuadro 3.6, llega con 54 mV/m que resulta alto en comparación con las recomendaciones del CCIR. (máximo

001701



Mapa 3.2: Ubicación de los sitios que presentan mejores condiciones para la construcción de la Estación Fija Guayaquil.



Cuadro 3.5: Principales características técnicas de los terrenos visitados.

Nombre del lugar	Configuración del terreno.	Conductividad del terreno, utilización actual.	Localización respecto a sectores industriales y densamente poblados.	Línea de vista a Guayaquil.	Carretera	Energía eléctrica	Agua potable	Teléfono y Telex	Presencia de línea férrea.
A: Hacienda el Rosario Km. 21 Vía - Sababondón.	Plano	Muy buena ganadería	A 21 kms. de Guayaquil y 17 kms. de Daule.	Interrumpida para todo el sector Occidental de Guayaquil.	11 kms. de vía asfaltada y 70 kms. de vía no asfaltada.	A 15 kms.	Fácil obtención, cisterna en tratamiento.	Mediante radioenlace.	No
B: Yaguachi, a 2 kms. dejando la población.	Plano	Muy buena agricultura.	A 24 kms. de Guayaquil y 2 kms. de Yaguachi.	Levemente interrumpida.	24 kms. asfaltada y 1 km. por construir.	A 2 kms.	A 2 kms.	Mediante radioenlace.	A lo largo de toda la vía. (Esto afecta la radiogoniometría).
C: Carretera de entrada a la población de Taura, a 3 kms. del cruce con el km. 20 de la Vía Durán-Tambo.	Plano	Muy buena Agricultura	A 24 kms. de Guayaquil y 6 kms. de Taura.	Sin interrupción para todo Guayaquil.	22 kms. asfaltada. Será necesario construir 200 mts. de carretera a relieve.	Pasará a 200 mts. a fin de 1.975	A 4 kms.	A 3 kms.	No
D: Chongón, a 2 kms. de la población.	Levemente irregular.	Buena ganadería.	A 17 kms. de Guayaquil y 2 kms. de Chongón.	No tiene los hitos de Urcubamba, los Ceibos y Miraflores (el sector Norte en general).	24 kms. asfaltada, 3 kms. no asfaltada y 2 kms. de vía para Jeep.	A 2 kms.	Transportada desde Guayaquil.	Mediante radioenlace.	No

Cuadro 3.6: Niveles de intensidad de campo, en el rango de radiodifusión local para los sitios: A, B, C y D.

S I T I O:	A: SAMBORON DON.	B: YAGUACHI	C: TAURA	D: CHONGON
Frecuencia (kHz)	(mV/m)	(mV/m)	(mV/m)	(mV/m)
540	33	23	30	54
560	30	14	13	
580	12.5		3	3
625			0.15	16
635		34	0.09	
640			0.06	
660	33		22	17
675	46	41	29	28
730	20.4	5.5	6.5	
750	13		11	
780	12		10	6.5
800	39.2	33	25	14
840	7.5		5	2.4
870	50	40	24	12
905	5		6	8
925	2.2		3.5	15
945	35	27	20	
975	30	24	17	7
995			20	6
1030	8	10	20	5
1050	16	18	22	25
1115	4		2.2	1.9
1150	16			
1090			0.3	
1210	2.5		0.01	
1250		12	0.01	
1270	32	28	0.01	4.7
1300		14	2	
1330			0.045	
1345			0.5	0.1
1380			3	0.5
1420	3		0.012	
1485	0.2		0.25	0.8
1550	0.6		0.8	0.36
1570			0.08	0.06
1590			0.23	0.17
1600	0.1			0.02

10 mV/m); además, la emisora Porteña (580 kHz) ha solicitado permiso para elevar su potencia de 5 kw a 20 kw, entonces, llegaría a Chongón teóricamente con una intensidad de campo de 70 mV/m, y ocasionaría además - problemas de intermodulación, debido a la cercanía física y de frecuencia con Radio Tropicana.

- Presenta mejor conductividad del terreno.
- Mayores facilidades para obtener servicios de carretera, red eléctrica, agua y teléfonos.

La desventaja que presenta Taura es el peligro de inundación, pero para ello se ha previsto rellenar los sitios destinados a los edificios, como se verá posteriormente; este relleno se realizará únicamente por precaución, puesto que aproximadamente 4 hectáreas del terreno no han sufrido inundación ni en los inviernos más pronunciados.

3.1.2.- Edificios e instalaciones anexas.

3.1.2.1.- Edificios.

Cada estación de comprobación deberá tener 2 edificios, uno para la comprobación técnica y administración y otro para vivienda del conserje, grupo electrógeno de emergencia y garages.

Para la planificación de los edificios se determinó las necesidades de personal para el funcionamiento de las estaciones; el número total de personas que se ha previsto es de 20 a 23 distribuidas en las diferentes funciones que se indican en el cuadro 3.7.

El cuadro 3.8 indica el número de salas necesarias, sus funciones, el área y el número de personas que laborarán en cada una de ellas.

Cuadro 3.7: Personal de la Estación:

Función	Nº de personas	Observaciones
Jefe	1	
Supervisor y Subjefe.	1	Analizar y elaborar informes de los trabajos del personal técnico de mediciones, adecuar las órdenes especiales y, reemplazar al Jefe.
Secretaria	1	Atender servicio de correspondencia; archivo, tráfico telefónico y de telex.
Personal de mediciones.	12 a 14	Distribuidos en cuatro turnos; trabajarán las 24 horas del día.
Chofer	2 a 3	
Conserje	1	

Cuadro 3.8: Salas necesarias del Edificio principal:

Función	Area necesaria (m ²).	Nº de personas.	Observaciones
1. Medición y comprobación.	90	4	Sala principal de la estación.- Necesita ejecución especial.
2. Reparaciones y mantenimiento.	30	2 a 3	Deberá tener torno, una perforadora, equipos necesarios para mediciones de mantenimiento, armario de repuestos y cables; pequeño archivo.

Continuación del Cuadro 3.8:

Función	Area necesaria (m ²)	Nº de personas.	Observaciones
3. Supervisión y análisis de trabajos del personal técnico (Subjefe)	12	1 a 2	Deberá ser adjunto a la sala de mediciones, separada con un ventanal y puerta de acceso.
4. Oficina del Jefe.	15	1 a 2	Deberá tener un puesto para trabajos ocasionales de la Secretaria.
5. Secretaría, - archivo, tráfico de telex y telefónico.	18	1	Adjunta a las salas 3 y 4.
6. Almacén.	6		Almacenamiento de equipos y repuestos, material de escritorio, etc.
7. Bodega.	16		Antenas, equipos de reserva, equipo de uso único de las estaciones móviles, equipos en desuso, etc. Preferentemente estará adjunta y tendrá conexión con la sala 2.
8. Cocina-comedor.	16	6	Deberá tener cocineta, refrigeradora y pequeña mesa.
9. Dormitorio.	12	3	Una cama doble tipo litera y una simple para personal de turnos nocturnos.
10. Descanso y - recibo.	20 a 25	8	
11. Baños.			

Ejecución especial de la sala de mediciones.

- Las señales que lleguen a la estación deben ser captadas únicamente por las antenas y conducidas a la sala de mediciones mediante líneas de transmisión; el ingreso de señales directamente a la sala de mediciones ocasionaría interferencias en la comprobación, por lo que se debe proteger la sala cubriéndola de una malla metálica (caja de Faraday) para evitar el ingreso de señales intensas. Esta malla debe estar en todas las paredes de la sala, el cielo y el piso, puesto que las señales pueden tener distintos ángulos de llegada. La separación entre alambres de la malla será de 50 cm. o menos, de esta manera se impide la entrada de señales hasta de 1 m. de longitud (300 MHz), ondas más pequeñas no causarían interferencias puesto que a frecuencias superiores de 300 MHz las señales son generalmente débiles. Si la construcción es de cemento armado se recomienda usar la estructura metálica de las lozas como malla, igualmente, debe aprovecharse las estructuras metálicas de las ventanas, en ambos casos debe asegurarse buenos contactos eléctricos.

La malla puede construirse con alambre de hierro Nº 10, diámetros mayores no son necesarios eléctricamente, puesto que las corrientes serán pequeñas.

- El tumbado llevará revestimiento de material antisonoro.
- Para permitir el paso de cables coaxiales y alambre de sistemas de conmutación automático de antenas, que deberán estar conectados entre los puntos de medición y el armario de conmutación de antenas, se debe prever la instalación de ductos bajo el piso. Para la Estación Fija Qui to se tendrá una fosa bajo la sala de mediciones, para lograr el doble

propósito de evitar humedad y lograr fácilmente las conexiones citadas. Para la Estación Fija Guayaquil, no es conveniente esta ejecución debido a la dificultad de que la fosa se constituya en un nido de bichos; por ello se ha previsto construir canales bajo el piso con pozos de instalación y revisión.

Otros requisitos en la ejecución del edificio principal:

- Todos los hierros existentes en la estructura del edificio deberán ir soldados entre sí y no amarrados, como es práctica en edificaciones comunes; esto es necesario para evitar la formación de diodos entre las uniones de los hierros, los mismos que pueden producir ruidos eléctricos.
- Las lámparas a instalarse en toda la estación deberán ser del tipo común de alumbrado doméstico, mas no de tipo fluorescente, que a pesar de presentar buena iluminación y consumo de energía bajo, pueden constituir fuentes de ruido eléctrico.

Los proyectos de planta de los edificios principales de las Estaciones Quito y Guayaquil se presentan en las figuras 3.1 y 3.2. La diferencia se debe básicamente a consideraciones climáticas.

Edificio de conserjería, garage y grupo electrógeno de emergencia.-

Este edificio debe estar suficientemente separado del edificio principal, para evitar molestias del ruido producido por el generador; el lugar destinado para el generador debe estar en la esquina opuesta en relación a la sala de mediciones (la distancia del generador a la sala de mediciones será de por lo menos 50 m.) y estar acondicionado para tener buena ventilación.

FIGURA
3.1

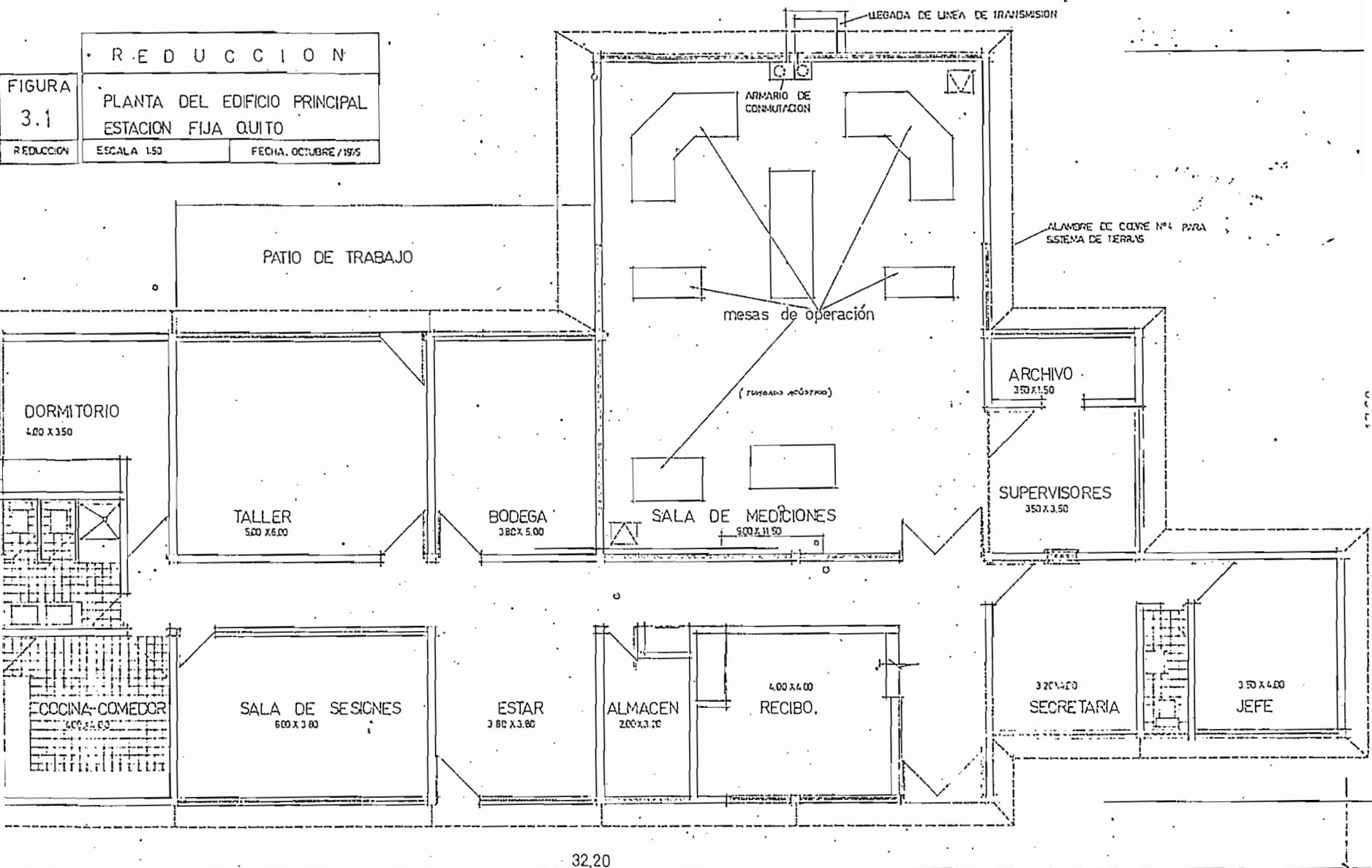
REDUCCION

REDUCCION

PLANTA DEL EDIFICIO PRINCIPAL
ESTACION FIJA QUITO

ESCALA 1:50

FECHA: OCTUBRE / 1975



FIGURA

3.2

PLANTA DEL EDIFICIO PRINCIPAL
ESTACION FIJA GUAYAQUIL

REDUCCION:
ESCALA 1:50

FECHA: OCTUBRE 1975

LEBACA DE LINEA DE TRANSMISION

ARMARIO DE
COMUNICACION

TALLER
5.70 X 5.80

BODEGA
3.70 X 3.50

ALMACEN
3.07 X 2.10

PATIO DE TRABAJO
6.80 X 6.00

SALA DE MEDICIONES
10.50 X 7.50

COCINA
2.50 X 5.80

DORMITORIO
2.50 X 6.00

SESIONES
4.00 X 6.00

ESTAR

1.70 X 3.50

ARCHIVO

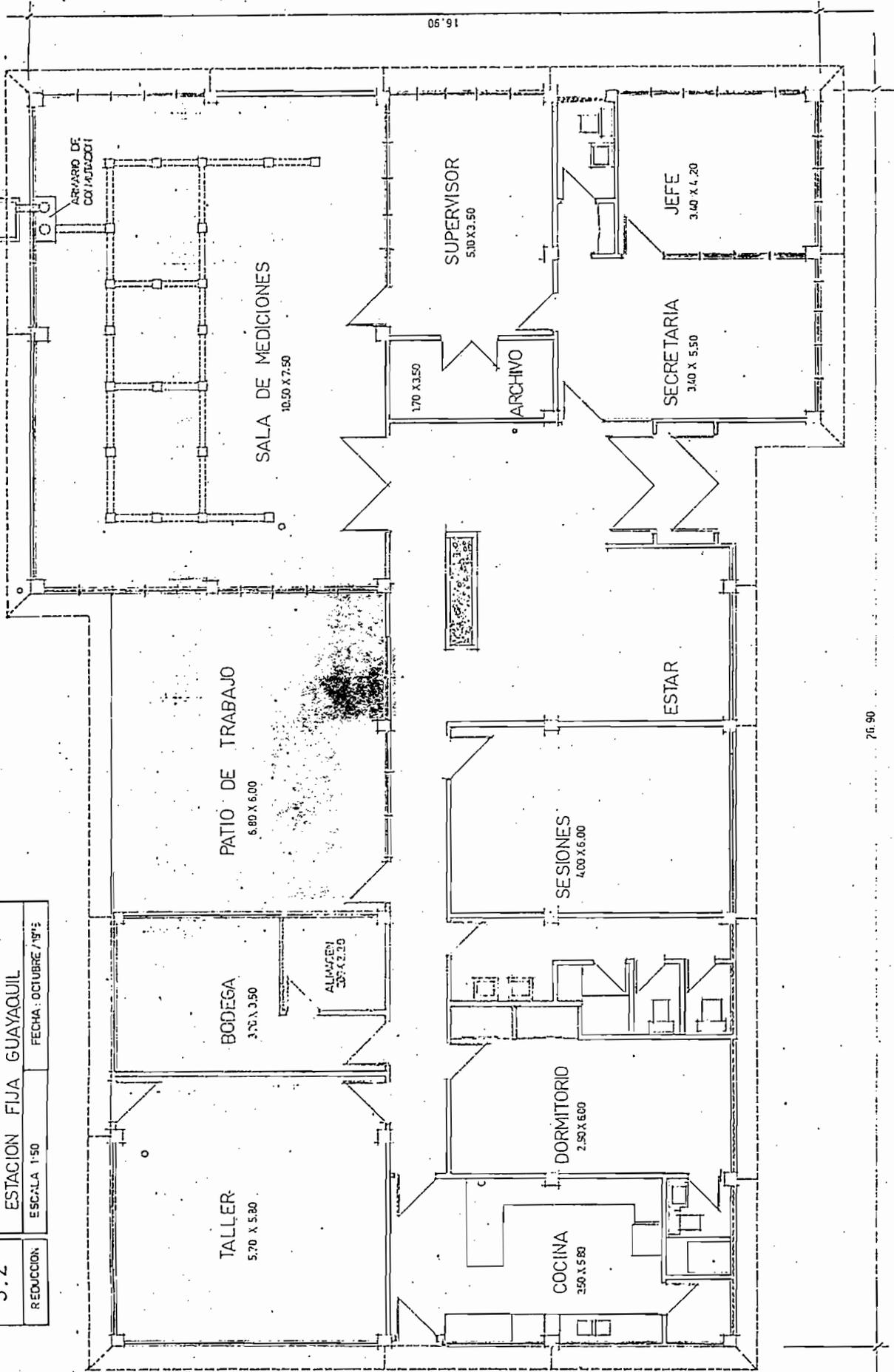
SUPERVISOR
5.10 X 3.50

SECRETARIA
3.40 X 5.50

JEFE
3.40 X 4.20

06.91

70.90



El edificio deberá tener 2 garages cerrados para guardar las estaciones móviles, que serán vehículos de 3 y 1 1/2 toneladas. La altura de la estación móvil principal con su mástil telescópico es de 3.1 m.

La conserjería tendrá básicamente 2 dormitorios, sala, comedor, cocina y baño.

3.1.2.2.- Instalaciones anexas.-

Energía eléctrica.-

El requerimiento máximo de energía que tienen las estaciones es de 20 kw., en los cálculos se ha tomado en cuenta: iluminación, equipos - de medición, calefacción de agua, motores de giro para antenas, etc. - Sin embargo debe preverse la instalación de mayor capacidad, para necesidades futuras.

La ejecución de las redes eléctricas deben observar requisitos especiales. Una línea de alta tensión es una fuente de ruido eléctrico, que puede afectar el funcionamiento de las estaciones, por lo que su - instalación debe efectuarse como se indica a continuación: la línea de alta tensión será conducida a los terrenos hasta una distancia de 200 m, si es posible. En este sitio deberá instalarse el transformador para - modificar la tensión en 2 x 110 V. La tensión baja será conducida has- ta el sitio del grupo electrógeno mediante conductores subterráneos, para evitar interferencias a las antenas de recepción de baja frecuencia.

En este sitio se instalará un conmutador de tensión de la red a la del generador; la conmutación será automática mediante el uso de relés alimentados por baterías. Luego del conmutador debe distribuirse la e-

nergía en los edificios mediante instalaciones subterráneas. En el edificio principal se instalará un regulador de voltaje automático para 2 KVA; este circuito será para proporcionar energía estable a los equipos de medición.

El generador será de 15 a 20 kw efectivos, deberá ser trifásico para acoplarse al circuito de la red. Es esencial que el combustible sea diesel, para evitar el encendido de las bujías de un generador a gasolina que produce ruido eléctrico. Debe instalarse un silenciador especial, a más del propio del generador; en la figura 3.3 se indica dichas instalaciones. La base del generador deberá tener amortiguamiento contra vibraciones.

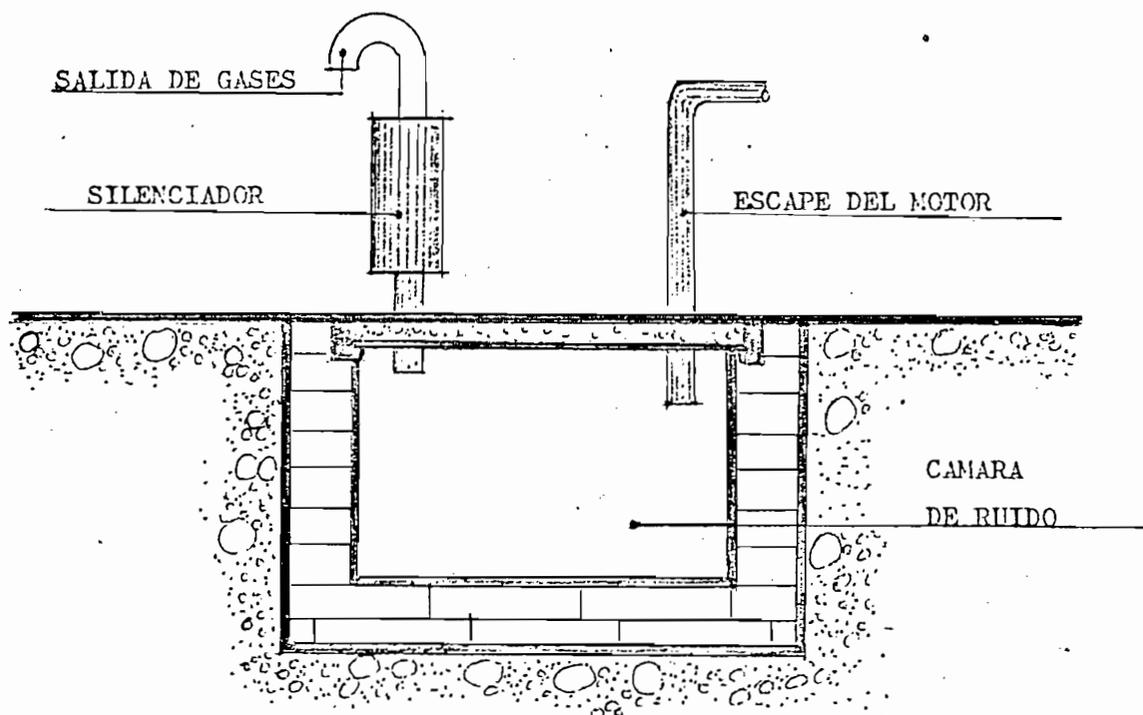


Fig. 3.3: Sistema silenciador para el generador.

Carreteras.-

La estación de Taura tiene al borde del terreno la carretera asfaltada, de poco tráfico, que conduce a la población de Taura.

Para la estación de Calderón será necesario la reconstrucción de - por lo menos 4 km. de carretera.

Servicio de agua.-

La estación de Taura tiene a una distancia de 4 1/2 km. los tan - ques de almacenamiento de agua potable de la Base Aérea de Taura. El - costo estimativo de la instalación de una tubería para obtener este ser - vicio es de 350.000 sucres, sin embargo si la situación económica no lo permite, puede construirse una sisterna y tener agua potable mediante - transporte en tanqueros y/o agua de pozo.

En la estación de Calderón se puede tener agua mediante transporte en tanqueros únicamente, por lo que será necesario construir una sisterna.

Servicio telefónico y de telex.-

Las estaciones necesitan de 4 canales telefónicos y uno de telex, para comunicación tanto nacional como internacional entre estaciones de comprobación y con la oficina centralizadora que estará ubicada en la - ciudad de Quito.

La estación Guayaquil podrá servirse de la postería que tiene la - Base Aérea de Taura para éste servicio. Para la Estación Quito se rea - lizarón estudios tanto para instalación de línea física como por radio.

La línea física quedó descartada por el costo inicial como de man-

tenimiento, por lo que se debe instalar el servicio telefónico y de telex por medio de radio enlace. La frecuencia más conveniente es 148 MHz, que tiene buenas características de transrepción con los equipos de radio del IETEL de la loma de San Juan, y además existen frecuencias disponibles (144-148 MHz).

3.2.- PLANIFICACION DE LAS ESTACIONES MOVILES.

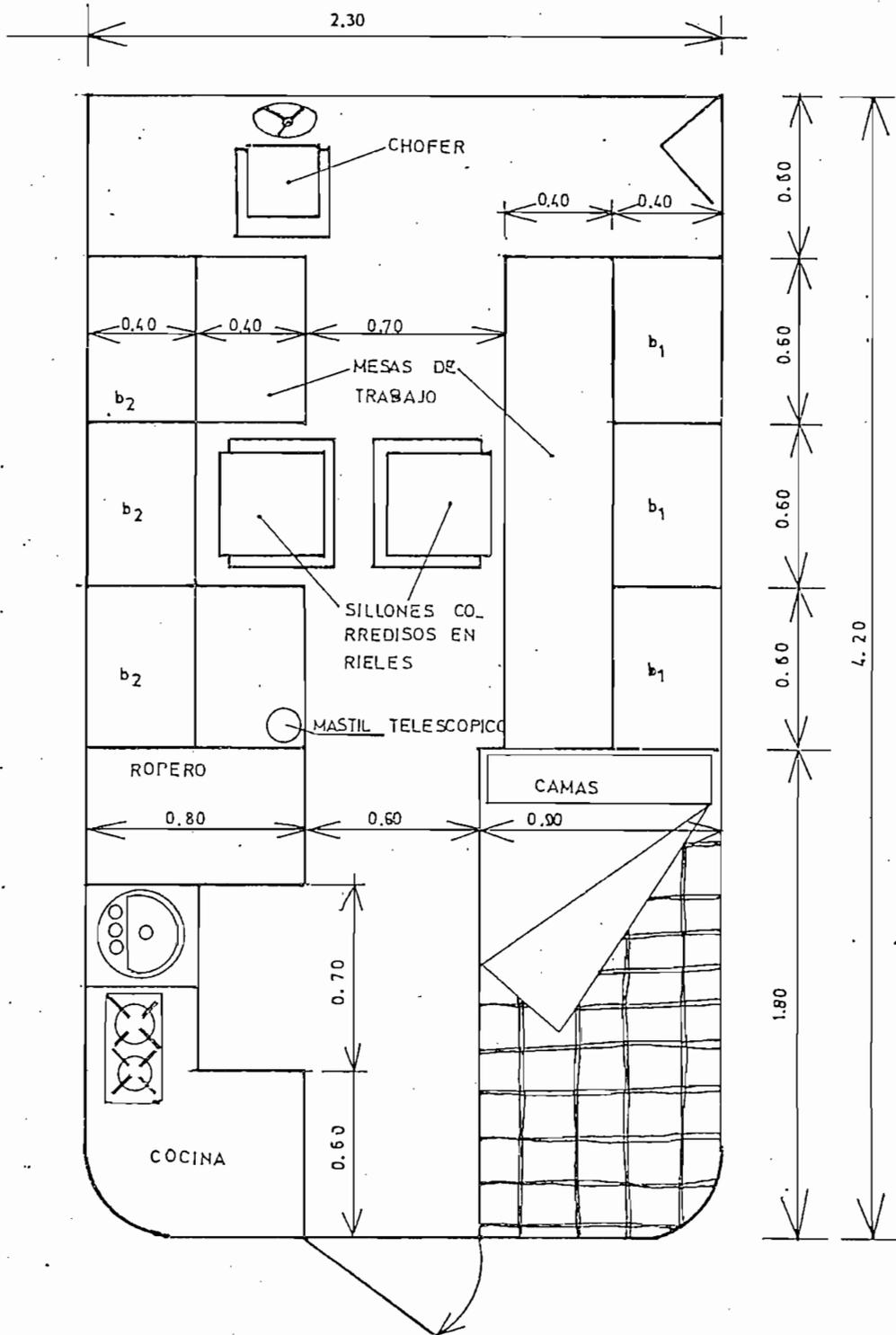
3.2.1.- Estaciones principales.-

Las estaciones móviles principales serán equipadas para efectuar todas las mediciones que se realizan en las estaciones fijas, y además dada la condición de estas estaciones, de constituirse temporalmente en fijas, debe preverse las adecuaciones necesarias, para el descanso, alimentación y aseo del personal de medición (2), estas son: 2 camas tipo litera, cocineta, lavabo y depósito de agua. Estos servicios estarán instalados en la parte trasera de la carrosería y la parte delantera será acondicionada con los bastidores y puestos de medición.

El motor del vehículo debe ser a diesel, para evitar el ruido eléctrico que produciría el encendido de las bujías de un motor a gasolina cuando se realicen mediciones móviles.

La carrosería más apropiada es del tipo autobús; en la figura 3.4 se presenta un proyecto de dimensiones y distribución de servicios de la carrosería. La altura necesaria es de 1.80 m.

Debido a las características de las carreteras en el País, y a la necesidad de realizar mediciones en lugares que son accesibles por caminos vecinales e incluso, en ciertos casos, a campo travieso; es preferi



b_1 : BASTIDORES PARA EQUIPOS DE MEDICION, BAJO 30 MHz.

b_2 : BASTIDORES PARA EQUIPOS DE MEDICION, SOBRE 30 MHz.

Fig. 3.3: Proyecto de ubicación de los diferentes servicios en la estación móvil principal.

ble un vehículo con tracción en las cuatro ruedas. La carrosería, así como los equipos deberán tener un sistema de amortiguamiento especial.- Para ello los equipos deberán ir montados en forma fija, en bastidores de modelo corriente, los mismos que deberán ser sostenidos mediante pinzas de fijación elásticas.

En cuanto al espacio de las mesas de trabajo debe preverse, estanterías para documentos de servicio, accesorios, cables, piezas de recambio para los equipos de medición, y herramientas necesarias para reparaciones pequeñas.

En la parte alta de la carrosería y/o en el piso debe colocarse soportes tipo correa, para el transporte de antenas desarmables que serán instaladas en los lugares de medición.

3.2.2.- Estaciones secundarias.-

Las estaciones móviles secundarias estarán equipadas básicamente - para realizar mediciones de intensidad de campo y localización de emi - siones no autorizadas o interferentes, tendrán por tanto instalaciones radiogoniométricas; además deberán ser equipadas para realizar mediciones de rutina en frecuencias superiores de 30 MHz, hasta 11 GHz. El - desplazamiento de las estaciones será fundamentalmente dentro de las - ciudades, pero será necesario, en ciertos casos, que se desplacen a lugares más lejanos y transiten por malos caminos, por lo que el vehículo deberá tener doble transmisión; será un vehículo liviano, de 1 tonelada, que se adquirirá con carrosería para acondicionarla. El más apropiado es el tipo furgoneta y su motor deberá ser a diesel.

Como fuente de energía se utilizará baterías de 24 V.CC. por lo -

que todos los equipos de medición deberán ser adquiridos para funcionar con esta fuente.

3.2.3.- Comunicación de las estaciones móviles.-

Las estaciones móviles tanto principales como secundarias, deberán tener un transreceptor para comunicación con las estaciones fijas, con la oficina centralizadora y con otras estaciones móviles.

El transreceptor será de 100 a 200 wátios; las antenas tipo látigo serán instaladas a los vehículos en forma fija; las estaciones principales deberán ser provistas además de antenas dipolos para instalación en los lugares de comprobación lejanos de las estaciones fijas. El diseño de estas será similar al presentado en el capítulo 4, para el transreceptor de las estaciones fijas.

4. I N S T A L A C I O N E S T E C N I C A S

4.1.- SISTEMA DE ANTENAS DE RECEPCION.

4.1.1.- GENERALIDADES.-

Se ha realizado un análisis técnico económico de la conveniencia de construir las antenas en el País, y se ha llegado a la conclusión de que es preferible en todo sentido efectuar la construcción de antenas; pero no de aquellas que requieren de largas investigaciones para la determinación de las características eléctricas apropiadas, ya que en este caso resulta más conveniente la compra a casas productoras, para economizar tiempo y equipos de investigación costosos.

Una antena receptora es la estructura asociada con la región de -- transición entre una onda libre en el espacio y una onda guiada en la línea de transmisión, es por tanto necesario hacer un estudio de las características de las ondas libres que se pueda tener en el espacio.

La propagación de la onda radiada por una antena transmisora se efectúa por diferentes medios teniendo diversas atenuaciones, reflexiones, refracciones y distorciones, dependiendo de la longitud de la misma.

En forma general la tierra es un buen conductor de ondas largas, su conductividad crece con la longitud de la onda, mientras que es mal conductor de ondas cortas. Las ondas métricas y más pequeñas sufren altas atenuaciones de la tierra por lo que la propagación de estas ondas por tierra se hace imposible (o alcanzan distancias despreciables). La atmósfera por su parte presenta también algunas dificultades para la trans

misión de ondas métricas y más pequeñas, puesto que ellas difícilmente - son reflejadas por la ionósfera, y solo ocurre reflexiones intermitentes por acción de la capa E esporádica en la gama de 30 a 60 MHz y a veces - hasta 100 MHz.

Debido a estas grandes diferencias de las ondas cuya longitud es me nor o mayor que 10 m. al tratar de emisiones radioeléctricas, se habla - comúnmente de frecuencias superiores o inferiores a 30 MHz.

Según el camino que sigan, las ondas se dividen en ondas terrestres o superficiales, ondas celestes o ionosféricas y ondas espaciales o tro-
posféricas.

Las ondas terrestres o superficiales son aquellas que utilizan como medio conductor la tierra, por lo que las antenas transmisora y recepto-
ra deben estar sobre la superficie de la tierra y ser de polarización - vertical.

Las ondas celestes o ionosféricas son aquellas que utilizan la io -
nósfera como medio reflector, son responsables de la gran mayoría de las comunicaciones a larga distancia (frecuencias inferiores a 30 MHz).

Las ondas espaciales o troposféricas, representan la energía que -
viaja desde la antena transmisora a la receptora a través de la tropósfe
ra. Tienen comúnmente 2 componentes: un rayo directo de la antena trans
misora a la receptora y otro que llega a la antena receptora luego de re
flejarse en la superficie de la tierra. La energía de la onda espacial
puede también llegar al receptor como resultado de las reflexiones o re-
fracciones producidas por las variaciones de las características eléctri
cas de la tropósfera o por difracción alrededor de la curvatura de la -

tierra en las colinas, etc. Estas ondas normalmente son las responsables de las transmisiones en frecuencias superiores a 30 MHz.

Con el objeto de visualizar mejor las necesidades de antenas de recepción, se hace a continuación un breve análisis de la propagación de acuerdo a los rangos de uso práctico y las probables emisiones que puedan llegar a las estaciones fijas de Quito y Guayaquil.

Gama de 10 a 100 kHz.

La mayor parte de la energía proveniente de distancias del orden de 1.000 km. es captada por medio de la onda terrestre, puesto que la propagación de las ondas a estas frecuencias sufren muy poca atenuación de la tierra. En este caso, las señales que se tengan en las estaciones sufren muy ligeras variaciones diarias, estacionales o anuales. Para emisiones más lejanas, la mayor parte de la energía recibida se debe a las reflexiones ionosféricas. En este caso, la intensidad de la señal recibida ofrece variaciones diarias y estacionales siendo mayor en la noche y en el invierno; esto se debe a que la pérdida de energía en la ionósfera depende de las condiciones en que se encuentra la parte inferior de la región ionizada.

Gama de 100 a 535 kHz

Por sobre los 100 kHz la onda terrestre comienza a atenuarse más rápidamente y la absorción ionosférica tiende a aumentar de día, aunque permanece pequeña durante la noche. El alcance de la onda terrestre va así reduciéndose a medida que aumenta la frecuencia y las señales que lleguen por onda terrestre serán de distancias menores que para la gama anterior y la energía que llegue de distancias moderadas se deberá a la onda ionosférica; sin embargo, a causa de la absorción relativamente pronunciada de esta onda no se tendrá señales de distancias grandes durante el día, --

particularmente con las frecuencias de extremo superior de esta gama; en cambio, durante la noche se tendrá señales provenientes de grandes distancias.

Gama de 535 a 1.600 kHz

Esta gama está designada exclusivamente para radiodifusión local. - En ella se tiene las mayores diferencias de propagación diurnas y nocturnas, debido a que la capa E de la ionósfera refleja las ondas solamente por la noche puesto que durante el día se tiene la presencia de la capa D que impide su paso. Por esta razón las recepciones diurnas serán únicamente de ondas terrestres, y dependiendo de la potencia del transmisor se tendrá señales de distancia de hasta 100 y 200 kms. y esto en la estación fija Guayaquil donde la conductividad del terreno que une estas distancias es muy buena, (se puede decir de las provincias de el Oro, los Ríos, Manabía); para el caso de la estación Fija Quito se podrá captar emisiones diurnas de distancias más cortas. Si la señal proviene de una emisora de alta potencia (30-50 kw) y si la frecuencia está ubicada en la parte inferior de esta gama, se tendrá emisiones de distancias de algunos centenares de kilómetros.

Por la noche, cuando la capa E refleja la onda celeste se tiene algunas posibilidades de recepción, dependiendo de la distancia a la que está ubicada el transmisor. Si el transmisor está cercano, la onda terrestre es generalmente más fuerte que la onda celeste, por lo que la mayor parte de la energía es captada mediante la onda terrestre. A medida que aumenta la distancia de ubicación de los transmisores, la onda terrestre se atenúa, mientras que aumenta la intensidad de la onda celeste, -

hasta que ambas señales se igualan en intensidad. Si los transmisores son más lejanos, y a medida que la distancia crece, la onda celeste se hace cada vez más fuerte y permite que se pueda mantener una señal relativamente intensa y constante a distancias de miles de kilómetros, dependiendo lógicamente del ángulo de elevación de los lóbulos de las antenas transmisoras, siendo esta energía tanto mayor cuando menor sea el ángulo. Comúnmente se tendrá emisiones de países vecinos, las mismas que son consideradas como interferencias.

Gama de 1.600 kHz a 30 MHz

En esta gama las ondas terrestres se atenúan rápidamente, por lo que prácticamente todas las señales que se reciben en las estaciones será debido a la onda ionosférica. Se tendrá emisiones por onda terrestre únicamente provenientes de distancias muy cortas (30-50 km.) y de manera especial en la parte inferior de la gama.

La propagación de ondas ionosféricas en esta gama resulta complicada debido a las grandes variaciones que se presentan en la intensidad de las capas ionosféricas tanto en las horas de luz y sombra como en forma anual.

Gama de frecuencias superiores a 30 MHz

Como se expresó anteriormente las frecuencias superiores a 30 MHz., difícilmente son reflejadas por la ionósfera y la recepción en estas frecuencias quedará limitada a la propagación de onda troposférica, por lo que se espera recepción de señales provenientes de distancias moderadas, dentro de línea de vista.

Se puede tener también emisiones de distancias más allá de línea de

vista de algunos cientos de kilómetros, debido al fenómeno de dispersión que se produce por la existencia de discontinuidades troposféricas, o por la presencia de picos altos dentro del perfil topográfico. Esto sucede especialmente en frecuencias de UHF y mayores.

Cambios de polarización de las ondas en la propagación.

Las ondas terrestres no sufren cambios en lo que respecta a la polarización, ellas son de polarización vertical y las antenas deben tener esta misma polarización.

Las ondas troposféricas sufren pocos cambios en la polarización al propagarse, y la polarización de las antenas depende del rango de frecuencias.

En lo que respecta a la onda ionosférica, esta sufre considerables cambios en el trayecto de propagación, ya sea debido a las constantes reflexiones y refracciones, así como al efecto que ejerce sobre ellos el campo magnético de la tierra. Por lo que ondas emitidas con polarización horizontal pueden llegar a un lugar lejano con polarización vertical y viceversa, sería conveniente utilizar antenas de polarización elíptica o circular, especialmente para señales lejanas. En la práctica señales de polarización horizontal, pueden llegar con la misma polarización hasta distancias de 600 kms.

Resúmen:

Se ha realizado una brevísima exposición de la propagación de las ondas. En realidad el estudio de propagación requiere de muchas investigaciones y esto se realiza no solo para regiones determinadas que han sido efectuadas ya por muchos organismos internacionales, sino también pa-

ra cada país, puesto que en la práctica muchos análisis teóricos resultan inválidos.

En el cuadro 4.1 se resume las características de propagación y la polarización que deben tener las antenas receptoras, en el rango de 10 kHz a 1.000 MHz.

Cuadro 4.1: Principal propagación de las emisiones de acuerdo con los diferentes rangos de utilización práctica.

RANGO DE FRECUENCIAS:	PRINCIPAL PROPAGACION POR:	POLARIZACION DE LA ANTE NA RECEPTORA:
Menores que 535 kHz.	Onda terrestre.	Vertical.
535 kHz-1.6 MHz.	Onda terrestre para cortas distancias y onda ionosférica para largas distancias.	Vertical.
1.6-30 MHz.	Onda ionosférica.	Horizontal y vertical.
30-1.000 MHz.	Onda espacial.	Horizontal, vertical y elíptica o circular.

4.1.2.- ANTENAS PARA FRECUENCIAS INFERIORES A 30 MHz.-

4.1.2.1.- Antenas omnidireccionales para frecuencias inferiores a 30 MHz.

Estas antenas tienen la función de cubrir la recepción para la comprobación general del espectro. Algunas administraciones de frecuencias utilizan una sola antena para cumplir esta función en todo el rango de frecuencias inferiores a 30 MHz, otras utilizan un número mayor de ellas, dependiendo esto tanto del grado de ocupación del espectro como de las

posibilidades económica y de espacio.

Las antenas omnidireccionales de polarización vertical más utilizadas son:

- Antena de cono invertido.
- Antena tipo jaula.
- Antena vertical omnidireccional cargada.
- Antena tipo L invertida.
- Antena tipo T.
- Antenas de látigo (formaciones de látigos).

Las antenas tipo L invertida y tipo T, dejan de ser omnidireccionales cuando por sus dimensiones eléctricas son resonantes, por tanto en las frecuencias de resonancia no pueden ser utilizadas como tales, además son antenas de banda muy estrecha. Por estas razones éstas antenas pueden servir como auxiliares, más no como antenas únicas para este rango.

La antena tipo jaula vertical es muy utilizada para la comprobación general en las ondas decamétricas (banda 7). Esta antena puede asegurar una recepción omnidireccional en una gama en que la relación de las frecuencias extremas es de 2.5 a 1. Debido a esta característica una sola antena tipo jaula no puede ser utilizada para cubrir toda la banda de ondas decamétricas, será necesario 2 ó 3 de ellas de diferentes dimensiones de acuerdo al rango de frecuencias que deba cubrir.

La antena de cono invertido así como la antena vertical omnidireccional cargada, son recomendadas [4] por el CCIR para cubrir con cualquiera de ellas todo el rango de frecuencias inferiores a 30 MHz. Con

el objeto de tener las características de estas antenas se realizó un estudio experimental comparativo de las mismas; los resultados se presentan en el capítulo 5. Como conclusión del estudio se obtuvo que la antena de cono invertido puede cubrir por sí sola toda la gama de frecuencias, siendo menos favorable la antena vertical omnidireccional cargada, que presenta grandes variaciones de impedancia; esta antena sin embargo puede ser utilizada para el rango inferior a 2 MHz, como antena suplementaria para el registro rutinario del espectro.

Las antenas omnidireccionales de polarización vertical son buenas receptoras de señales que llegan con ángulos bajos, mas no de señales de provincias cercanas a Quito o Guayaquil, donde serán ubicadas las estaciones fijas. Para cubrir con la recepción de estas señales es necesario la instalación de una antena de polarización horizontal que cubra el rango de frecuencias superiores a 3 MHz., puesto que la gran mayoría de las señales que llegan con ángulos altos están dentro de éste rango.

Para cubrir esta necesidad puede utilizarse un conjunto de cuatro antenas logarítmico periódicas (o log-periódicas), ubicadas en tal forma que sus lóbulos cubran los 360° horizontales como indican la fig. 4.1.

Esta solución presenta como ventaja principal, el hecho de que cada una de las antenas logarítmico periódicas pueden ser utilizadas individualmente, de tal forma que se puede mediante mediciones sucesivas con cada una de ellas, ubicar la dirección de llegada de las señales.

La desventaja de utilizar estas antenas en las estaciones fijas está principalmente en el costo, puesto que a más de las 4 antenas se utilizan 4 torres y 4 líneas de transmisión.

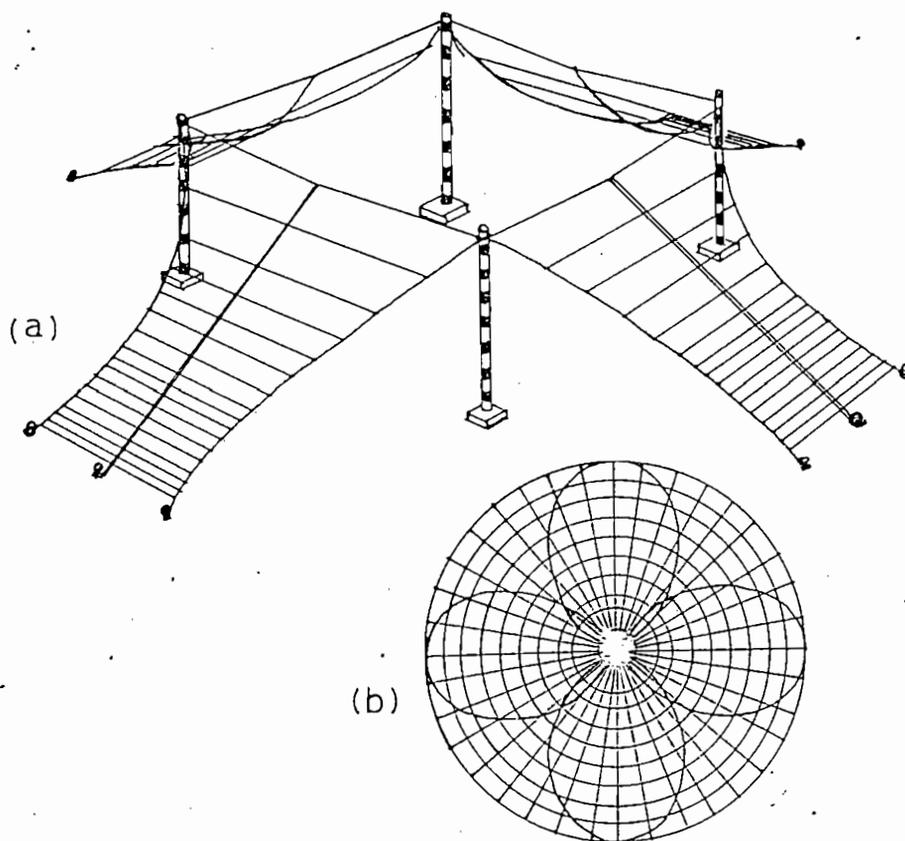


Fig. 4.1: Conjunto de 4 antenas logarítmico periódicas. (a): Vista general, (b): Lóbulos de radiación horizontales.

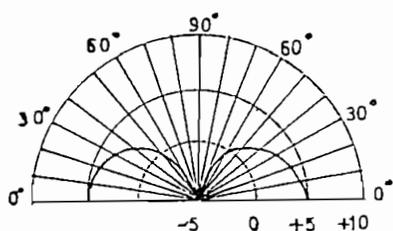
Otra desventaja se presenta en el hecho de que en la realidad los lóbulos de radiación en conjunto, no presentan una buena omnidireccionalidad, como puede verse en la fig. 4.1 (b).

Una mejor solución se tiene mediante una antena log-periódica omnidireccional, que a más de presentar características omnidireccionales - mejores que el conjunto citado, resulta considerablemente más económica, ya que utiliza una sola torre y una sola línea de transmisión. Además, ocupa una área menor que el conjunto de 4 antenas log-periódicas omnidireccional.

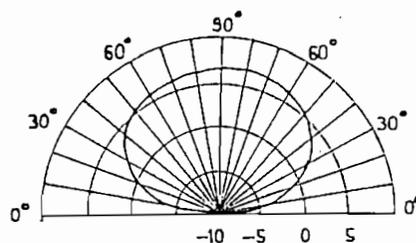
reccionales.

La Casa T.C.I. (Technology for Communications International) pre-

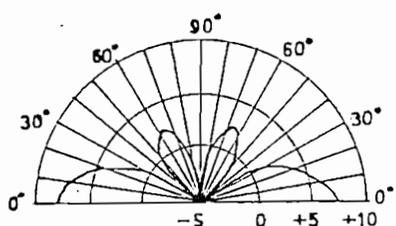
(a) ANTENA DE CONO INVERTIDO (VERTICAL)



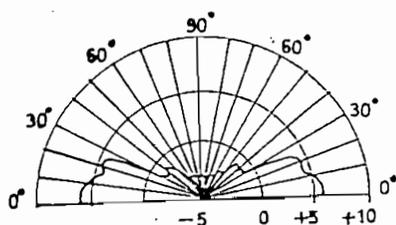
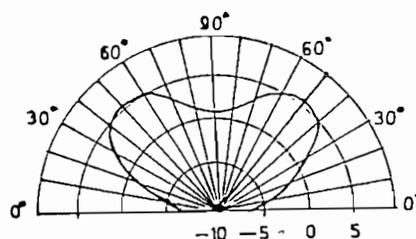
(b) ANTENA LOG-PERIODICA OMNIDIRECCIONAL (HORIZONTAL)



2 MHz



10 MHz



30 MHz

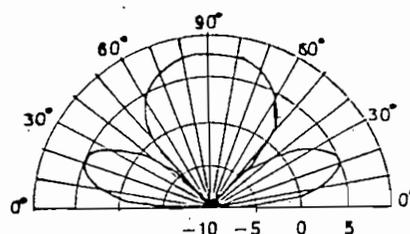


Fig. 4.2: Lóbulos de radiación vertical de las antenas. (a): De cono invertido, (b): Log-periódica omnidireccional modelo 530 de la Casa T.C.I.

senta [5] una antena log-periódica apropiada para las necesidades expuestas: modelo 530-3-02, cuya característica principal es un lóbulo de radiación vertical que se representa en la fig. 4.2 (b).

La fig. 4.2 muestra los lóbulos de radiación vertical de las dos antenas. De tal manera, la antena de cono invertido y la logarítmico periódica modelo 530-3-02 de la T.C.I., cubren conjuntamente las necesidades de recepción omnidireccional en el rango inferior a 30 MHz.

La configuración física de la antena log-periódica se representa en la fig. 4.3.

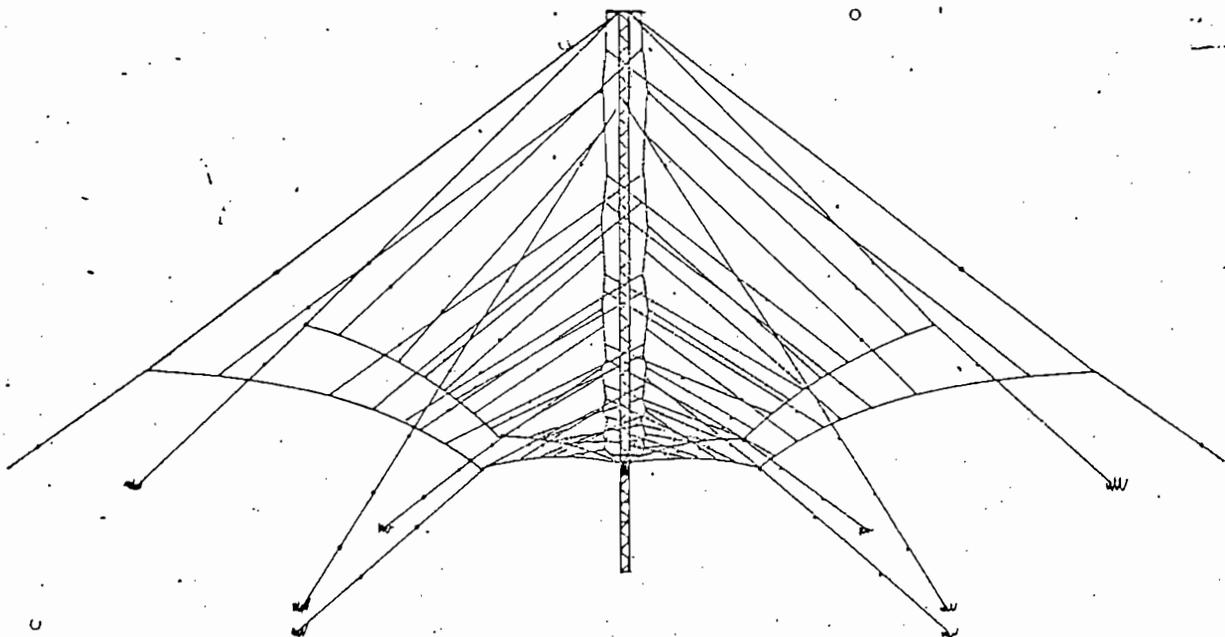


Fig. 4.3: Configuración física de la antena log-periódica modelo 530-3-02 de la Casa T.C.I.

Otro tipo de antena que sugiere [6] el CCIR es un conjunto de dipolos no acoplados para cubrir el rango de 1.5-30 MHz.

El conjunto, como lo expresa la fig. 4.4, se compone de dos dipolos horizontales y un dipolo vertical. El dipolo vertical que presenta un diagrama de radiación horizontal circular es suficiente para la recepción de las ondas que llegan con ángulos de elevación comprendidos entre

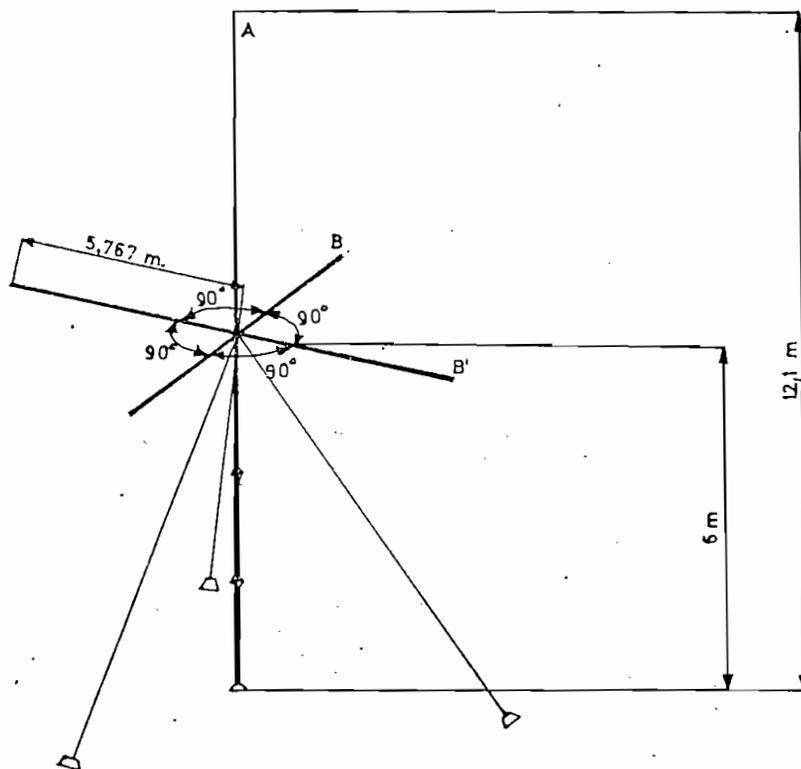


Fig. 4.4: Dispositivo de 3 dipolos no acoplados para el rango de 1.5-30 MHz.

0° y 65° , es decir ondas de superficie polarizadas verticalmente. Los dipolos horizontales presentan un diagrama vertical cuyo lóbulo principal se sitúa en un ángulo de elevación de 25° . Esto queda expresado gráficamente en la fig. 4.5 por los diagramas de radiación vertical de los dipolos que presenta el CCIR.

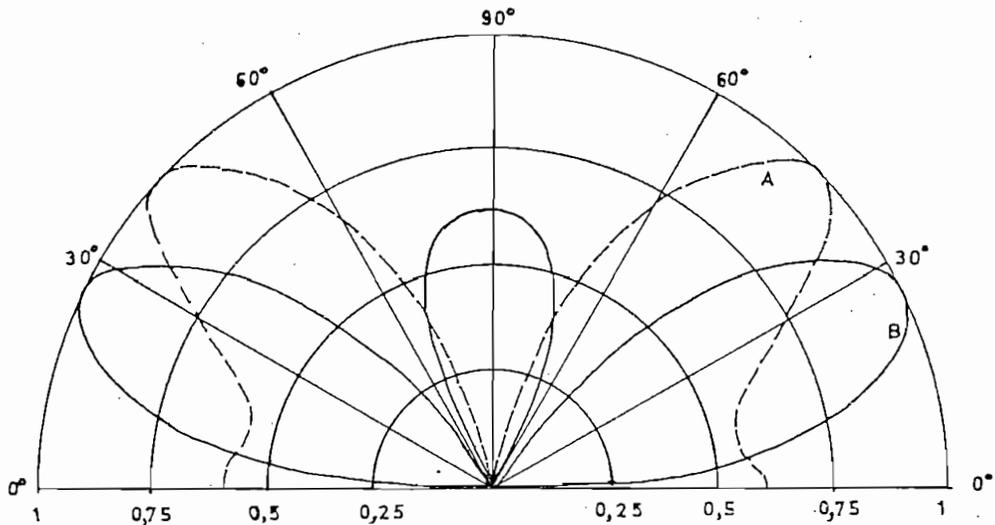


Fig. 4.5: Diagrama de radiación vertical del conjunto de dipolos para recepción en el rango de 1.5-30 MHz.

Curva A: Dipolo vertical.

Curva B: Dipolo horizontal.

Las ventajas de este conjunto son: la fácil y económica construcción, ocupa poco espacio, se puede determinar la polarización puesto que tiene salidas separadas el dipolo vertical y cada dipolo horizontal.

La desventaja principal es que, a pesar que el CCIR recomienda como rango utilizable 1.5-30 MHz., las variaciones de impedancia y de los lóbulos de radiación de los dipolos son considerablemente mayores que aquellas que puedan presentar las antenas de cono invertido (vertical) y logarítmico periódica (horizontal) mencionadas anteriormente. La ganancia de los dipolos será menor que 2, puesto que en el mejor de los casos los dipolos no llegan a 1.5 longitudes de onda. Una nueva versión de esta -

antena por la Casa Rohde & Schwarz [7] , utiliza preamplificadores de banda ancha en la antena misma para aumentar la sensibilidad y ancho de banda efectivo.

4.1.2.2.- Antenas direccionales para frecuencias inferiores a 30 MHz.-

Las antenas omnidireccionales presentan algunas limitaciones en la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas. Una señal cualquiera no podrá ser bien analizada ante la presencia de otra señal cercana en frecuencia utilizando antenas omnidireccionales, por lo que se hace necesario antenas directivas que seleccionan la señal y actúan como filtros. Las antenas directivas (giratorias) son usadas también para encontrar la dirección de llegada de la señal.

La antena directiva más apropiada y la más utilizada por su alta ganancia y amplio ancho de banda es la antena log-periódica. La antena log-periódica se utiliza en la práctica para el rango de HF, para frecuencias menores no es físicamente práctica puesto que sus dimensiones deberían aumentar considerablemente.

Otras antenas utilizadas por algunas administraciones de frecuencias son las antenas rómbricas para frecuencias de HF inferiores a 15 MHz y antenas Beverage para frecuencias comprendidas entre 500 y 2.000 kHz. Estas antenas que son de alta directividad y ganancia, no resultan prácticas para las estaciones del país, puesto que al ser antenas fijas debe instalarse muchas de ellas para cubrir las direcciones deseadas; además, la extensión que ocupa cada una de ellas es del orden de los 100 a 300 m.

Una desventaja de las antenas rómbricas, a más de que sus dimensiones son grandes, es que sus características de ganancia, directividad y

frecuencia son bastante irregulares. Como ventajas principales, a más de la alta ganancia, se tiene que: las antenas róbicas son de construcción sencilla, presentan buena directividad en una gama en la que la relación entre las frecuencias extremas es de 4 a 1, son bien estables en una gama de frecuencias extremas de 2.5 a 1 y mantienen buenas características de impedancia aún en frecuencias donde las características directivas no son apropiadas.

La antena log-periódica presenta generalmente una ganancia menor que la antena róbica que cubre la misma gama de frecuencias, pero su característica de respuesta directiva es, generalmente más regular.

Una de las ventajas de un sistema de antenas log-periódicas es la ausencia relativa de lóbulos laterales y posterior y la favorable relación entre las radiaciones anteriores y posteriores en la recepción; esto es importante para efectuar la comprobación de las emisiones en una banda tan congestionada como es la banda de ondas decamétricas, y de manera especial en el rango de 4 a 28 MHz.

La desventaja, económicamente hablando, que presenta la instalación de un conjunto de antenas log-periódicas, es que el costo de construcción tiende a ser más elevado que el costo de un conjunto comparable de antenas róbicas. Esto podría ser en parte compensado por la diferencia de extensión que ocuparía los 2 conjuntos.

En conclusión, para la recepción de ondas decamétricas resulta más conveniente para las estaciones del País un conjunto de antenas log-periódicas fijas (distribuidas de tal forma que puedan cubrir los 360°) que un conjunto de antenas róbicas.

Dentro de las antenas directivas para frecuencias inferiores a 30 - MHz están las de radiolocalización, estas antenas serán tratadas en forma especial en el párrafo 4.1.4.

4.1.3.- ANTENAS PARA FRECUENCIAS SUPERIORES A 30 MHz.-

4.1.3.1.- Antenas omnidireccionales para frecuencias superiores a 30 MHz.

Existen varios tipos de antenas omnidireccionales que son utilizadas en el rango de 30-1.000 MHz, pero no se sabe de la existencia de una sola antena que cubra todo el rango.

Las antenas discono son apropiadas para la recepción en este rango y su construcción es relativamente fácil y económica, pero su ancho de banda es relativamente corto y además presenta únicamente polarización vertical.

La Administración de Correos de la República Federal de Alemania en el Doc. VIII/5 de 1966 - 1969 [8] , propone un juego de 4 antenas de doble cono que son utilizadas solo para la recepción de señales de polarización vertical. Esta proposición tiene valor de manera especial cuando se tiene un número alto de receptores en este rango; pero en el caso de las estaciones del País, donde el número de receptores es reducido, es preferible ocupar el menor número de antenas.

Las antenas log-espinales son antenas de elevado ancho de banda -- (10 : 1) por lo que pueden ser utilizadas con muy buena efectividad. Su funcionamiento se basa en los principios de Runsey: condición angular y condición de escalamiento, que serán tratados posteriormente en el Estudio Experimental de Antenas de Banda Ancha.

La Casa ROHDE & SCHWARZ propone en sus catálogos [9] la antena tipo

HW007 formada de 2 partes, una antena de látigo para el rango de 30-100 MHz y una antena logarítmico-espiral para el rango de 100-1000 MHz. Mediante el uso de un filtro propio de acoplamiento ambas antenas pueden dar una sola señal de salida formado así un conjunto cuyo rango es de 30-1000 MHz. La impedancia de antena es de 50Ω , por lo que puede acoplarse directamente a la línea de 50Ω desbalanceada que se usa en toda la Estación. La parte logarítmico espiral tiene una relación de onda estacionaria menor que 2.

Esta antena es la más conveniente para las estaciones debido a la ventaja de cubrir por sí sola toda la gama de 30 a 1000 MHz y además tener polarización elíptica para frecuencias superiores a 100 MHz. Para una fase posterior se puede instalar como auxiliares dos antenas discontiguas una de 30 a 200 MHz y otra de 150 a 1000 MHz.

En la fig. 4.6 se representa la conformación física del conjunto de 2 antenas acopladas para dar una sola señal en la gama de 30-1000 MHz.

4.1.3.2.- Antenas direccionales para frecuencias superiores a 30 MHz.-

Existen varios tipos de antenas que son utilizadas para la comprobación técnica de las emisiones. Las antenas log-periódicas son las más apropiadas dada su alta ganancia y amplio ancho de banda. Las antenas mencionadas cumplen con la condición de escalamiento (ver Estudio Experimental de Antenas de Banda Ancha, capítulo 5), por lo que teóricamente son independientes de la frecuencia. En la práctica se ha conseguido relaciones de hasta 40-1 entre frecuencias extremas sin mayor variación de las características de ganancia directiva e impedancia de entrada, por tanto son antenas de gran ancho de banda, muy apropiadas para la recepción en

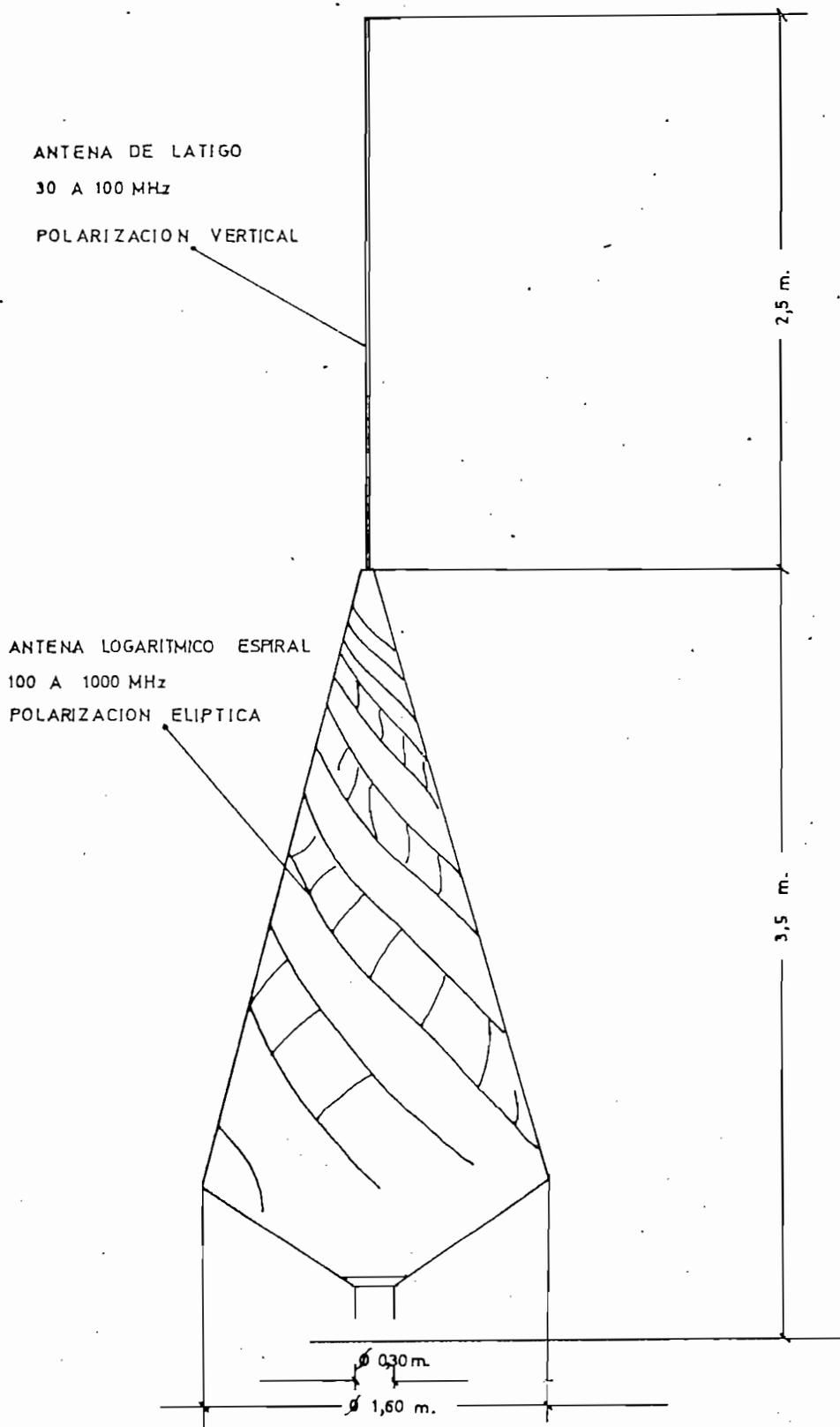


Fig. 4.6: Antena modelo HWO07 de la Casa ROHDE & SCHWARZ.

estaciones de comprobación.

Mediante antenas tipo Yagi se puede conseguir ganancias mayores que las obtenidas con antenas log-periódicas; pero el ancho de banda de una antena Yagi, aún de las llamadas Multicanales, resulta muy estrecho para que pueda prestar un buen servicio en la comprobación rutinaria del espectro.

Dada esta característica doble de alta ganancia y amplio ancho de banda y por la experiencia obtenida en todas las Administraciones del mundo, se recomienda que las estaciones del País cubran el rango de 30-1000 MHz utilizando antenas log-periódicas.

Con el objeto de no perder mucho en ganancia el rango se puede dividir en dos; vg.; 30-300 MHz y 200-1000 MHz.

La Casa ROHDE & SCHWARZ presenta un modelo HA226/512/50, cuya conformación física se representa en la fig. 4.7

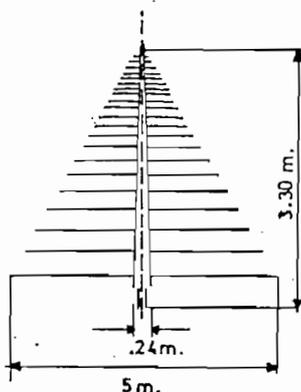


Fig. 4.7: Conformación física de la antena log-periódica modelo HA226/512/50 de la Casa ROHDE & SCHWARZ.

Este modelo presenta las siguientes características eléctricas:

- Rango de frecuencias: 30 a 400 MHz.
- Ganancia de potencia (promedio) referida a un dipolo de media longitud de onda: 4 dB.
- Relación de onda estacionaria: menor que 2.5.
- Impedancia de entrada: 50 ohmios.
- Relación entre las radiaciones anteriores y posteriores (promedio): 15 dB.
- Los diagramas de radiación principales se muestran en la fig. 4.8

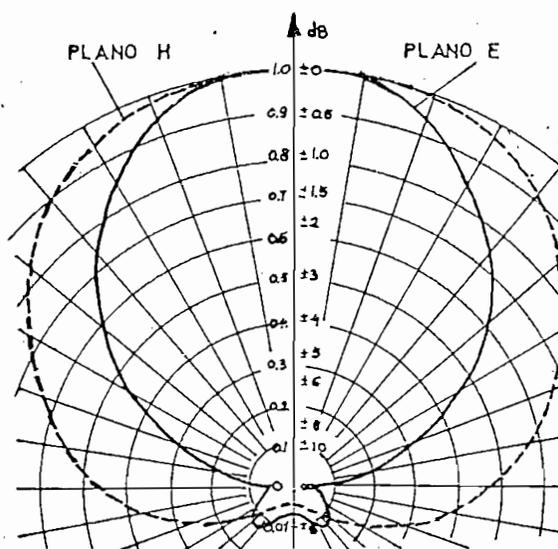


Fig. 4.8: Diagramas de radiación principales de la antena modelo HA226/512/50 de la Casa RONDE & SCHWARZ. --

Mediante esta antena se cubre todo el rango de 30 a 400 MHz, donde están los servicios de frecuencia modulada y televisión, que requieren de un control mayor que los otros servicios de la gama de 30 a 1.000 MHz.

Para cubrir con la recepción de la parte superior del rango la Casa Granger Associates [10] ofrece sus antenas log-periódicas modelos 720 y 720A. La 720 presenta las siguientes características:

Rango de frecuencias: 100-1000 MHz.

Configuración del ancho del rayo: Azimutal: 360 grados.

Elevación: 60 grados.

Relación de onda estacionaria: 3 : 1 (nom.) relativa a 50 ohmios.

Polarización: lineal, con selector remoto para horizontal o vertical.

La antena 720A, es un modelo tres veces reducido de la 720 y cubre el rango de 300-1000 MHz.

En la fig. 4.9 se representa la conformación física de estos modelos.

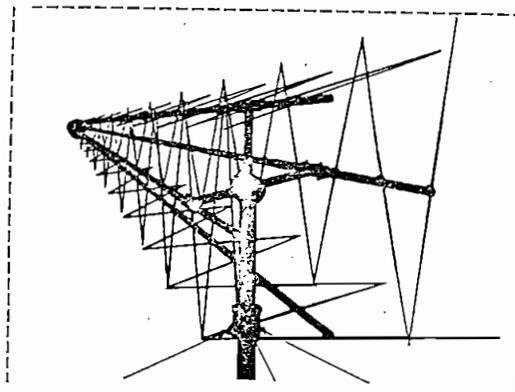


Fig. 4.9: Conformación física de las antenas log-periódicas modelos 720 y 720A de la Casa Granger Associates.

MODELO: 720

Alto: 75 pulgadas

Ancho: 75 pulgadas

Largo: 76 pulgadas

MODELO: 720A

Alto: 25 pulgadas

Ancho: 25 pulgadas

Largo: 26 pulgadas

Con el objeto de efectuar sin mayor interrupción las mediciones -

tanto rutinarias como especiales, dentro del rango de 100 a 400 MHz es -
preferible la instalación del modelo 720, de esta manera se cubre con -
dos antenas (HA226/512/50 RODE & SCHWARZ y 720 GRANGER ASSOCIATES), sec -
tores del espectro tan congestionados como son 138-174 MHz. 225-235 MHz,
así como la parte superior del rango de frecuencia modulada y televisión.

4.1.4.- ANTENAS PARA RADIOLOCALIZACIÓN BAJO 30 MHz.-

4.1.4.1.- Introducción.-

Las estaciones de comprobación técnica tienen generalmente instala -
ciones radiogoniométricas que constan de sistemas de antenas especiales.
y receptoras de dos o tres canales de alta sensibilidad, acoplados a in -
dicadores de dirección precisos. En las estaciones fijas para Ecuador -
no es recomendable la instalación de estos sistemas, tanto por el alto -
costo que implica su instalación como por el grado limitado de precisión
que puede alcanzarse, dada la ubicación de la Estación Fija Quito. El -
CCIR recomienda [1] la instalación de sistemas Radiogoniométricos en lu -
gares donde la elevación de las montañas no sea mayor de 5° ; en el caso
de la Estación Fija Quito se tiene montañas de elevación de 12° y más.

Esta situación hace aconsejable la instalación de antenas directi -
vas giratorias que acopladas a los receptores utilizados para la compro -
bación general del espectro, puedan cumplir, aunque con menor precisión
y rapidez, la tarea de encontrar las direcciones de emisiones interfe^{re} -
ntes o no autorizadas. El costo de estas antenas es mucho menor que el -
costo de los receptores y antenas especiales (Radiogoniómetro y antenas:
\$ 3'800.000; antenas a construirse con sus rotores: \$ 100.000).

Se deberá instalar 2 antenas: una antena de cuadro giratoria para

frecuencias inferiores a 2.5 MHz y una antena Adcock tipo II giratoria para el rango de 2.5 a 30 MHz. La razón de escoger estas antenas y rangos se verá en el estudio particular que se haga de cada una de ellas.

4.1.4.2.- Antena de Cuadro.-

4.1.4.2.1.- Fundamentos.-

La antena de cuadro puede dar una buena identificación de dirección de señales que llegan con ángulos bajos, esto es, ondas ionosféricas de transmisores lejanos y ondas terrestres; sin embargo, no define bien la dirección de señales que llegan con ángulos altos, o que tienen componentes apreciables de polarización horizontal.

La precisión en la localización de la dirección de las emisiones utilizando la antena de cuadro, depende en gran medida de la polarización y del ángulo vertical de llegada de la onda. Según el CCIR [12] "se pueden lograr precisiones aproximadas de $\pm 2^{\circ}$ en la recepción de señales de ondas de superficie en ausencia de una componente de onda ionosférica y cuando las reflexiones locales o la radiación secundaria de la señal provocan una deformación local muy pequeña, o incluso nula del frente de onda. En las condiciones que más a menudo se dan en la práctica cabe prever una precisión de $\pm 5^{\circ}$ aproximadamente, en cambio en las regiones en que las condiciones locales tienen por efecto deformar el frente de onda o en aquellas en las que está presente una componente de la onda ionosférica nada despreciable, el error previsible puede ser superior a ± 5 grados".

La razón de ello es que las señales que llegan con ángulos altos, inducen en los miembros horizontales del cuadro tensiones que no se can-

celan, aún cuando el plano del cuadro sea perpendicular a la dirección de las radioondas.

De tal manera la antena de cuadro podrá servir para la determinación de dirección de llegada de señales en frecuencias de radiodifusión en ondas medias e inferiores, aprovechando especialmente la onda terrestre.

La acción física de la antena de cuadro, se aclara mediante los gráficos de la fig. 4.10. En la figura se ilustra el efecto que las ondas de polarización vertical ejercen sobre un cuadro rectangular instalado verticalmente. Como puede verse, la mayor intensidad de la señal será captada cuando ésta arribe en forma paralela al plano del cuadro, como en los casos A y E, esto se debe a que la onda llega a las ramas 1₁ y 1₂ del cuadro en instantes diferentes lo que produce un defasamiento de la señal que origina una tensión resultante. En el caso C, la señal arriba frontalmente al plano del cuadro, las tensiones inducidas en las 2 ramas laterales son iguales y están en fase; ellas no producen corriente alguna en el cuadro debido a que están en oposición con respecto a la circulación alrededor del mismo.

Los casos A y E son máximos de recepción y el caso C es un mínimo de recepción o cero. Para la radiolocalización se aprovecha los mínimos, debido a que la variación de la intensidad de la señal con el ángulo es bastante rápida, permitiendo una determinación precisa del ángulo de llegada. Los máximos de recepción de señal son demasiado anchos y por tanto no bien definidos, para ser útiles en este propósito. Esto se visualiza mejor mediante los lóbulos de radiación de la antena que se deduce

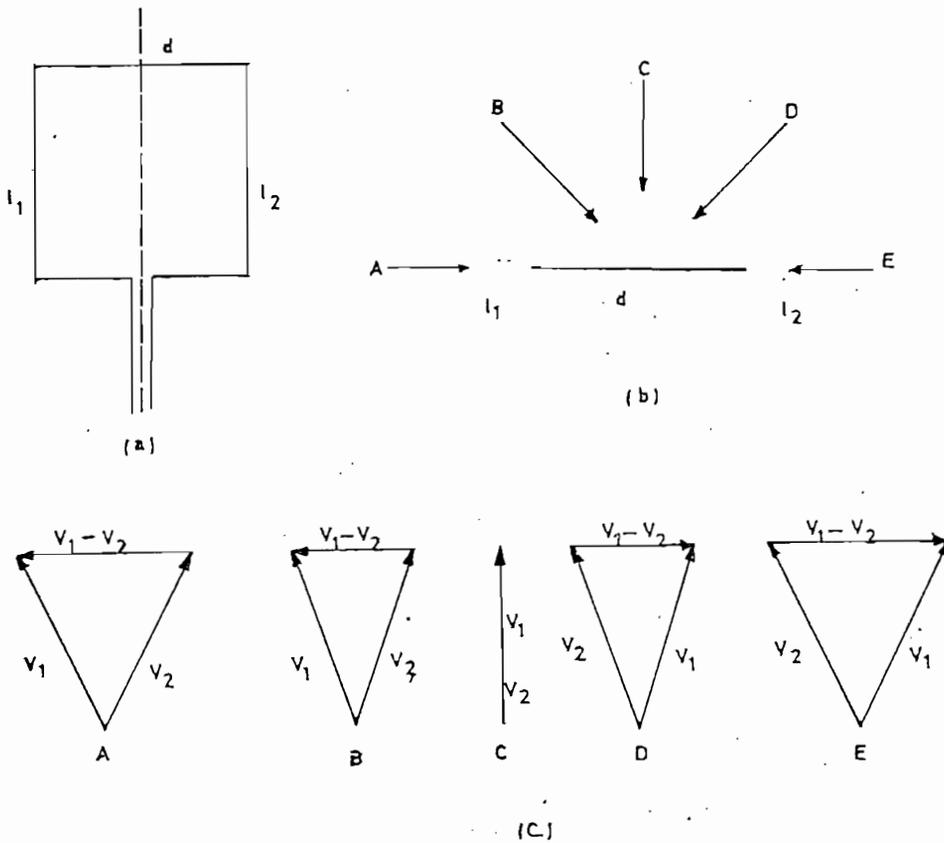


Fig. 410: Antena de cuadro vertical: (a) Vista frontal; (b) Vista superior del cuadro y ejemplos de dirección de arribo de una onda; (c) Diagramas vectoriales de tensiones inducidas en los lados del cuadro para los ejemplos dados en (b).

a continuación.

Una onda, como la del caso D de la fig. 4.10 arriba con un ángulo θ relativo al plano de los lados del cuadro según indica la figura 4.11. La onda al cortar los lados l_1 y l_2 del cuadro inducirá en ellos tensiones V_1 y V_2 respectivamente, que son de igual amplitud, pero con cierto desfase debido a que la onda llega a las ramas en instantes diferentes.

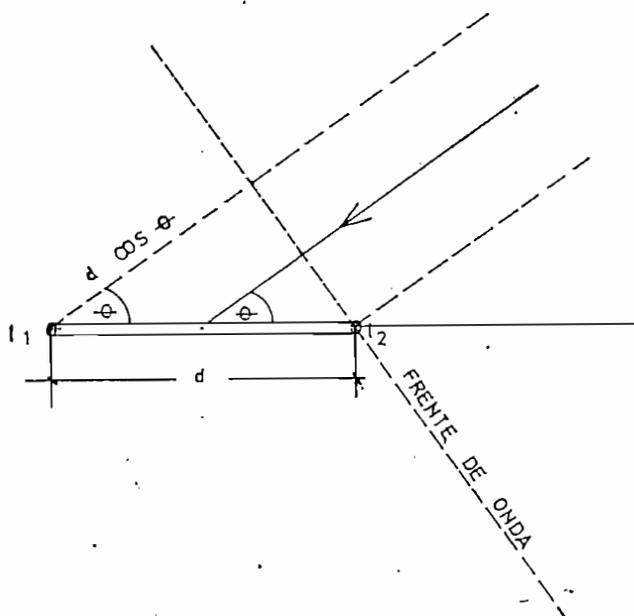


Fig. 4.11: Vista superior del cuadro instalado verticalmente y llegada de una onda con el ángulo θ relativo al plano del cuadro.

Este defasamiento es:

$$\phi = d^{\circ} \cos \theta$$

donde d° es la separación entre las ramas 1_1 y 1_2 en grados eléctricos.

La tensión resultante será:

$$V_r = 2V \operatorname{sen} \frac{d^{\circ} \cos \theta}{2}$$

que se deduce del gráfico de la figura 4.12; $V = V_1 = V_2$

El factor de directividad se define como V_r/V . Al grafizar esta relación se obtiene el lóbulo de radiación para la antena de cuadro representado en la figura 4.13 [13].

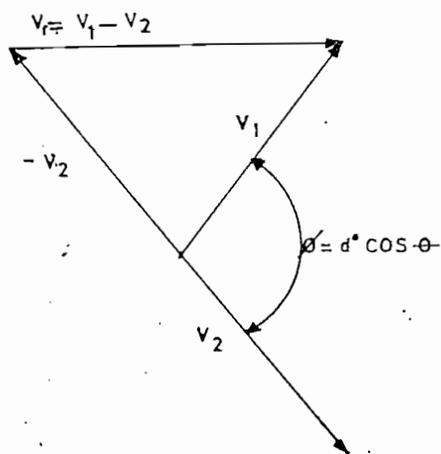


Fig. 4.12: Diagrama vectorial de tensiones inducidas en las ramas del cuadro (caso general).

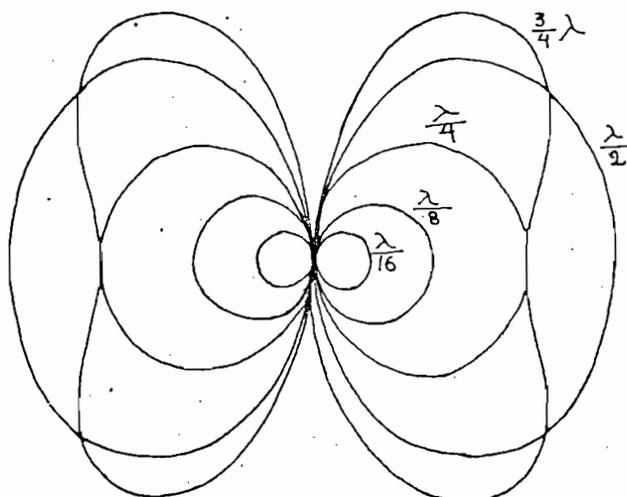


Fig. 4.13: Diagrama de radiación de una antena de cuadro con respecto al plano transversal a los lados, para diferentes valores de d - en longitudes de onda (d es la separación entre lados verticales del cuadro).

4.1.4.2.2.- Diseño de la antena de cuadro.-

4.1.4.2.2.1.- Consideraciones previas.-

De los lóbulos de radiación para diferentes valores de "d" en longitudes de onda, representados en la fig. 4.13, se deduce que mientras mayor sea "d", la sensibilidad de la antena será mejor. Para tener un rendimiento razonable será preferible que "d" sea de $\lambda/4$ ó mayor, es decir - que el perímetro del cuadro sea de 1 longitud de onda o mayor. Esto introduce sin embargo dificultades, puesto que cuando el perímetro del cuadro se aproxima o excede de medio largo de onda, la corriente del cuadro no es constante ni está necesariamente en fase en las diferentes partes del mismo. Esta última condición es necesaria para mantener características de ancho de banda aceptables.

En la práctica se diseña antenas con separaciones "d" menores que - $1/10$ de longitud de onda, con el objeto de garantizar corriente uniforme.

Como puede verse en la figura 4.13 la antena debe ser instalada para polarización vertical, es decir con su vértice perpendicular a tierra, para que pueda cumplir así con su función de encontrar la dirección de - llegada de la señal. Cuando el instrumento indicador de intensidad de - señales, sintonizado a la frecuencia de la señal cuya dirección se busca, tiene la menor intensidad, la dirección de la señal estará dentro del - plano vertical perpendicular al del cuadro, con un error que dependerá - de las características de llegada de la señal, como se expresó anteriormente.

4.1.4.2.2.2.- Longitud y forma de la antena.-

La forma de la antena no tiene importancia, siempre que el períme -

tro del anillo o cuadro sea menor que $1/3$ de longitud de onda, y mientras menor sea éste, en términos de longitud de onda, menor será la influencia de su forma puesto que se cumplirá la condición de tener corriente uniforme en amplitud y fase. Sin embargo al reducir el perímetro la sensibilidad de la antena disminuye.

Con el objeto de tener dimensiones no muy grandes, puesto que la antena será giratoria e irá instalada sobre una torre, se diseña la antena para una área de 2 metros cuadrados.

4.1.4.2.2.3.- Cálculo de la altura efectiva.-

La altura efectiva de una antena es la relación entre el voltaje inducido y la intensidad de campo eléctrico: $he = \frac{V}{E} \frac{\text{vol}}{\text{vol/m}}$, para la antena de cuadro está dada la fórmula:

$$he = \frac{2 \pi N A}{\lambda}$$

N = número de vueltas.

A = área por cada vuelta (metros cuadrados)

λ = longitud de onda (m)

En el cuadro 4.2 se tabula el cálculo de la altura efectiva de la antena de cuadro para $N = 1$ y $A = 2$ metros cuadrados.

4.1.4.2.2.4.- Cálculo de la impedancia.-

Si se supone una corriente uniforme, la componente resistiva de la impedancia será muy pequeña, o cuando más comparable con la componente resistiva de la línea de transmisión; de tal manera la impedancia de la antena estará dada por la componente reactiva, la misma que será inductiva, esto es:

Cuadro 4.2: Altura efectiva de la antena de cuadro simple de 2 metros cuadrados de área.

f (MHz)	λ (m)	he (m)
0.1	3.000	0.0042
0.5	600	0.0209
1	300	0.0419
2	150	0.0838
3	100	0.1257
4	75	0.1675
5	60	0.2094
6	50	0.2513
7	42.8	0.2936
8	37.5	0.3351

$$Z \approx X_L$$

$$X_L = 2 \pi f L$$

La inductancia de una sola espira se puede calcular mediante la fórmula:

$$L = \left(\frac{a}{100}\right) \times \left(7.353 \log \left(\frac{16a}{d'}\right) - 6.386\right) \text{ MHz} \quad [14], \text{ donde;}$$

a = radio de la circunferencia, en pulgadas.

d' = diámetro del conductor de la espira, en pulgadas.

debe cumplirse que $\frac{a}{d'} > 2.5$

Si el círculo es de 2 metros cuadrados, su radio será, a = 0.8 m. = 31.75".

Por razones de resistencia física se podrá construir la antena con tubo de diámetro $d' = 1 \frac{1}{2}$ " ó $d' = 2$ ".

En el cuadro 4.3 se tabula los cálculos de reactancia para $d' = 1.5$ " y $d' = 2$ " para varias frecuencias.

Cuadro 4.3: Reactancia de un cuadro de 0.8 m. de diámetro.

f (MHz)	$X_L(\Omega)$; $d' = 1.5$ "	$X_L(\Omega)$; $d' = 2$ "
0.1	2.34	2.27
0.5	11.69	11.57
1	23.34	22.75
2	46.76	45.49
3	70.14	68.24
4	93.52	90.98
5	116.90	113.72
6	140.27	136.48
7	163.65	159.21
8	187.03	181.96

Del cuadro 4.3 se deduce que la diferencia de reactancia, para los 2 diámetros del tubo es muy pequeña. Se escoge el tubo de 1.5" por tener menor peso.

La antena podrá acoplarse directamente a una línea de 50Ω , que tendrá su mejor transferencia de señal a la frecuencia de 2 MHz; para las frecuencias menores a ésta se puede lograr todavía un buen acoplamiento, puesto que la antena en este caso al ser receptora actúa como una

fuentes de voltaje de baja impedancia. Para las frecuencias superiores a 2 MHz se tendrán pérdidas por acoplamiento, pero estas serán compensadas por la mejor altura efectiva que presenta la antena a estas frecuencias (ver cuadro 4.2, pág. 72).

4.1.4.3.- Antena Adcock tipo H.-

4.1.4.3.1.- Fundamentos.-

El diagrama de radiación es similar al de la antena de cuadro y su utilización y funcionamiento se basa en los mismos principios. La antena a construirse consta de 2 dipolos verticales de igual longitud separados una distancia D .

La fig. 4.14 sintetiza la configuración física de la antena Adcock tipo H giratoria de polarización vertical.

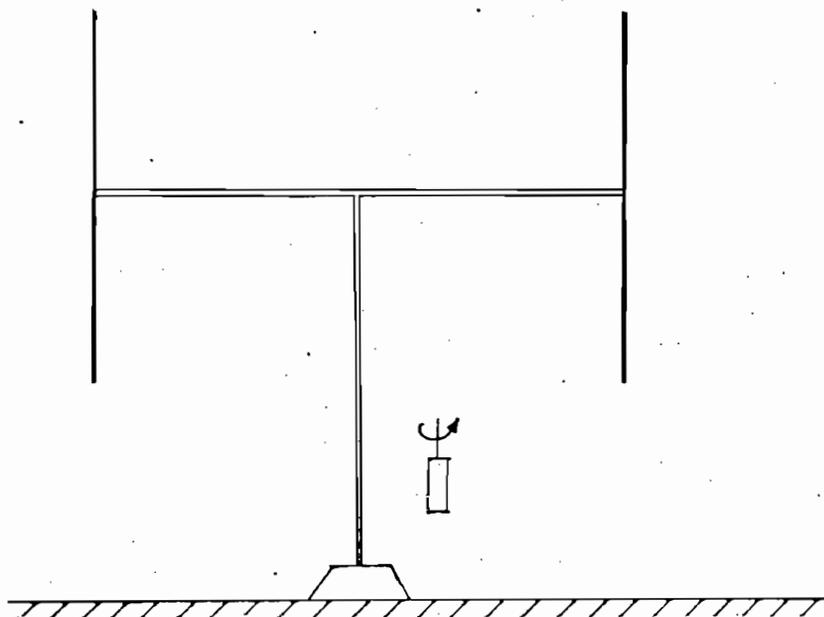


Fig. 4.14: Configuración física de la antena Adcock tipo H giratoria.

Su principio de funcionamiento es el siguiente: la señal incidente que arriba con un ángulo θ relativo al plano de los dipolos, inducirá sobre cada uno de ellos un voltaje V igual en amplitud, pero con un cierto defasamiento que será calculado a continuación:

En la figura 4.15 se representa la llegada de una señal en el plano transversal al de los dipolos.

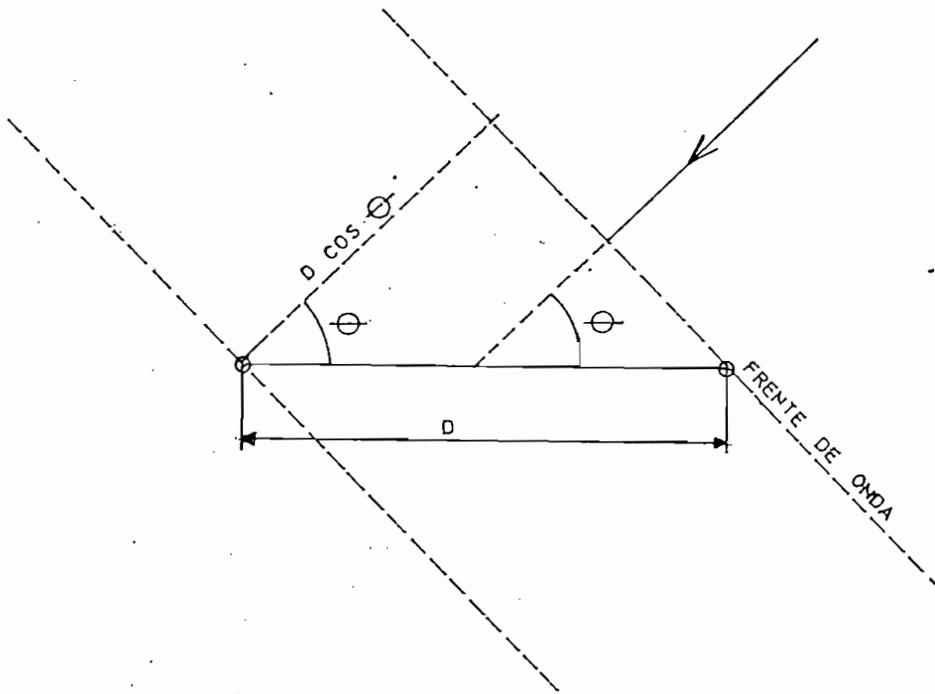


Fig. 4.15: Llegada de una señal en el plano transversal al de los dipolos de la antena Adcock.

La diferencia de la antena Adcock con la antena de cuadro está en el hecho de que la Adcock no tiene los componentes horizontales que tiene la de cuadro y en este caso la separación entre conductores verticales no está sujeta a la limitación de que sea menor a $1/10$ de longitud -

de onda y el diagrama puede variar como en la figura 4.13. Debe cuidarse sin embargo que la separación D (que corresponde a "d" en la figura 4.13 no llegue a 1 longitud de onda, ya que en este caso se tendrá 4 ceros en el lóbulo de radiación, lo que impide encontrar la dirección de llegada de la señal.

Con el objeto de que las tensiones inducidas en los monopolos opuestos no se anulen entre sí, es necesario hacer conexión cruzada entre los dipolos, como indica la figura 4.16 (a).

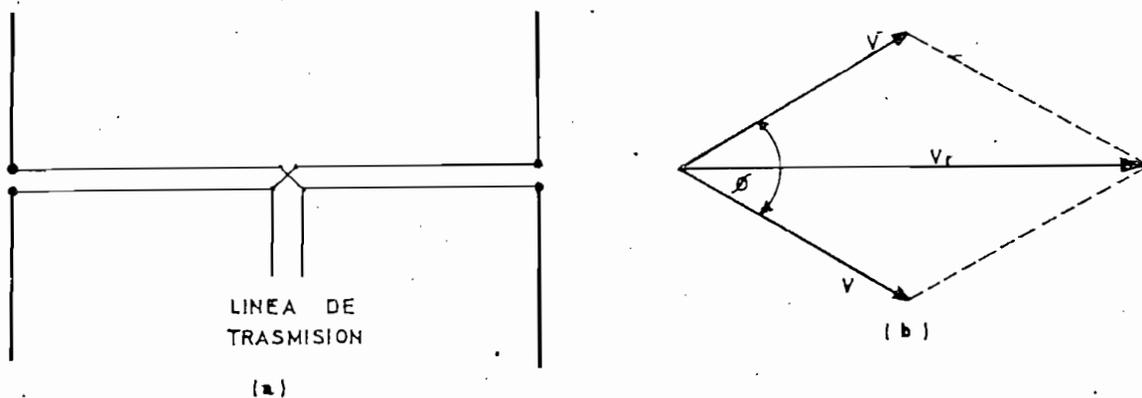


Fig. 4.16: (a): conexión de los dipolos de la antena Adcock, (b): diagrama vectorial de tensiones para este tipo de conexión.

El ángulo ϕ será:

$$\phi = 180^\circ + D^\circ \cos \theta$$

donde el defasamiento de 180° es producido por la conexión cruzada de los

dipolos y, $D^0 \cos \theta$, por la diferencia de tiempo de llegada de la señal a cada uno de los dipolos, como puede verse en la fig. 4.15, D^0 es la separación de los dipolos en grados eléctricos y θ el ángulo que forma en el plano horizontal la dirección de llegada de la señal con el plano de los dipolos.

De la fig. 4.16 (b), se deduce que el voltaje inducido resultante será:

$$V_r = 2V \cos \frac{\theta}{2}$$

de donde se sigue que:

$$V_r = 2V \cos \left(90 + \frac{D^0}{2} \cos \theta \right)$$

$$V_r = 2V \sin \left(- \frac{D^0}{2} \cos \theta \right)$$

$$\frac{V_r}{V} = - 2 \sin \left(\frac{D^0}{2} \cos \theta \right)$$

donde $\frac{V_r}{V}$ es el factor de directividad. El signo menos puede ser eliminado, puesto que al llegar la onda por el otro frente se tendrá $\theta = 180^\circ - D \cos \theta$ y en tal caso $\frac{V_r}{V} = 2 \sin \left(\frac{D^0}{2} \cos \theta \right)$.

4.1.4.3.2.- Diseño.-

4.1.4.3.2.1.- Cálculo de "D".-

Como puede verse, el factor de directividad V_r/V depende exclusivamente de la separación D en grados eléctricos de los dipolos, y del ángulo θ de llegada de la señal, por lo que el lóbulo de radiación de la antena quedará determinado por D^0 .

Para cálculos previos se fija una separación $D = 6$ m. y se calcula

el factor de directividad para las frecuencias de 30, 20, 10, 5 y 2.5 - MHz. En el cuadro 4.4 se tabulan los resultados.

Para $D = 6\text{m.}$, se tiene que:

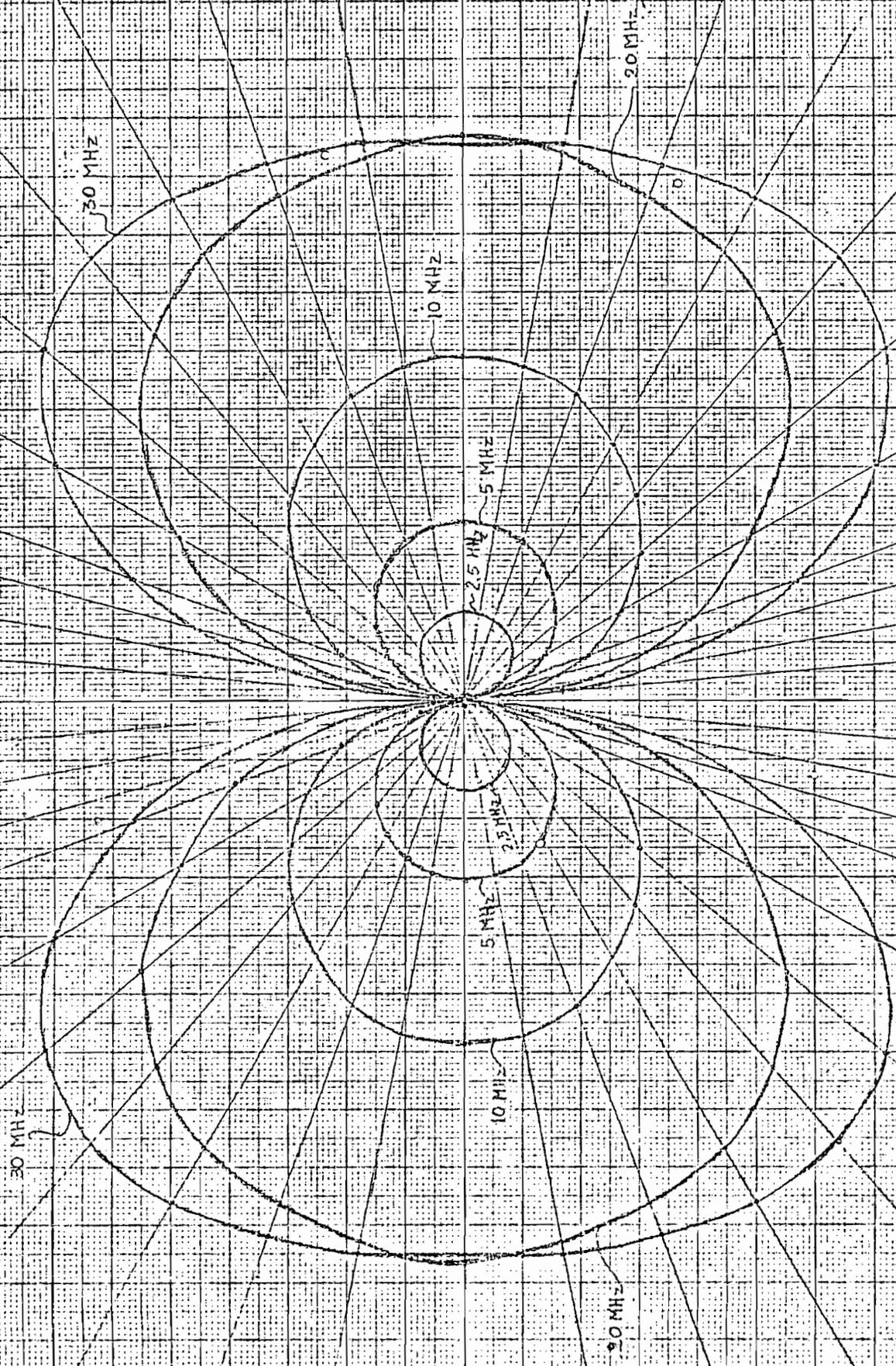
$$\frac{D^\circ}{2} = 108^\circ \text{ a } 30 \text{ MHz; } 72^\circ \text{ a } 20 \text{ MHz; } 36^\circ \text{ a } 10 \text{ MHz; } 18^\circ \text{ a } 5 \text{ MHz; } 9^\circ \text{ a } 2.5 \text{ MHz}$$

Cuadro 4.4:

Factor de directividad V_r/V para $D = 6 \text{ m.}$					
ϵ	30 MHz	20 MHz	10 MHz	5 MHz	2.5 MHz
90°	0	0	0	0	0
85°	0.3271	0.2186	0.1095	0.0548	0.0274
80°	0.6430	0.4330	0.2178	0.1091	0.0546
75°	0.9575	0.6391	0.3228	0.1624	0.0814
70°	1.2019	0.8534	0.4265	0.2145	0.1070
60°	1.6180	1.1756	0.6180	0.3129	0.1570
50°	1.8724	1.4455	0.7860	0.4011	0.2056
40°	1.9839	1.6414	0.9259	0.4767	0.2402
30°	1.9962	1.7717	1.0354	0.5375	0.2714
20°	1.9599	1.8499	1.1134	0.5819	0.2940
10°	1.9190	1.8900	1.1600	0.6089	0.3082
0°	1.9021	1.9221	1.1756	0.6180	0.3128

En la figura 4.17 se grafiza los valores correspondientes al cuadro 4.4; este gráfico será el diagrama de radiación horizontal de la antena, para las diferentes frecuencias anotadas y una separación $D = 6 \text{ m}$ entre los dipolos.

Fig. 4.17. Lóbulos de Radiación de la Antena Adcock Tipo H para $D = 16 \text{ m}$.



30 MHz

30 MHz

10 MHz

5 MHz

2.5 MHz

2.5 MHz

5 MHz

10 MHz

30 MHz

20 MHz

Del diagrama se deduce que la antena con una separación de $D = 6$ m. presenta para frecuencias inferiores a 5 MHz muy poca sensibilidad, lo que impedirá la ubicación de señales débiles, sin embargo para señales fuertes su lóbulo de radiación permite que la antena cumpla su función, pues presenta los ceros claramente marcados.

Para las frecuencias superiores a 5 MHz la antena tiene buena sensibilidad la misma que crece con la frecuencia, a los 30 MHz el lóbulo de radiación empieza a ovalarse, pero aún para frecuencias superiores a 30 MHz la antena presenta ceros bien definidos y puede cumplir con su función.

Con el objeto de tener mejor sensibilidad en las frecuencias inferiores a 5 MHz se puede aumentar la separación D a 7 u 8 metros, lo que complicaría la construcción física considerando que la antena será giratoria, pero puede resolverse con un buen diseño estructural.

En el cuadro 4.5 se tabulan los cálculos para $D = 7$ m. y $D = 8$ m. a las frecuencias de 30 MHz y 2.5 MHz y en la fig. 4.18 se grafizan estos cálculos.

En vista que las diferencias en los lóbulos para 2.5 MHz no son mayores y con el objeto de no complicar la estructura física, es más conveniente la construcción de la antena con $D = 7$ m.

4.1.4.5.2.2.- Cálculo de las dimensiones de los dipolos y de la impedancia de antena.-

En las figuras 4.19 y 4.20 [15], se tiene la resistencia y reactancia en un monopolo cilíndrico para varias relaciones L/D , donde L es la longitud y D el diámetro del monopolo. De las figuras se deduce que

Cuadro 4.5:

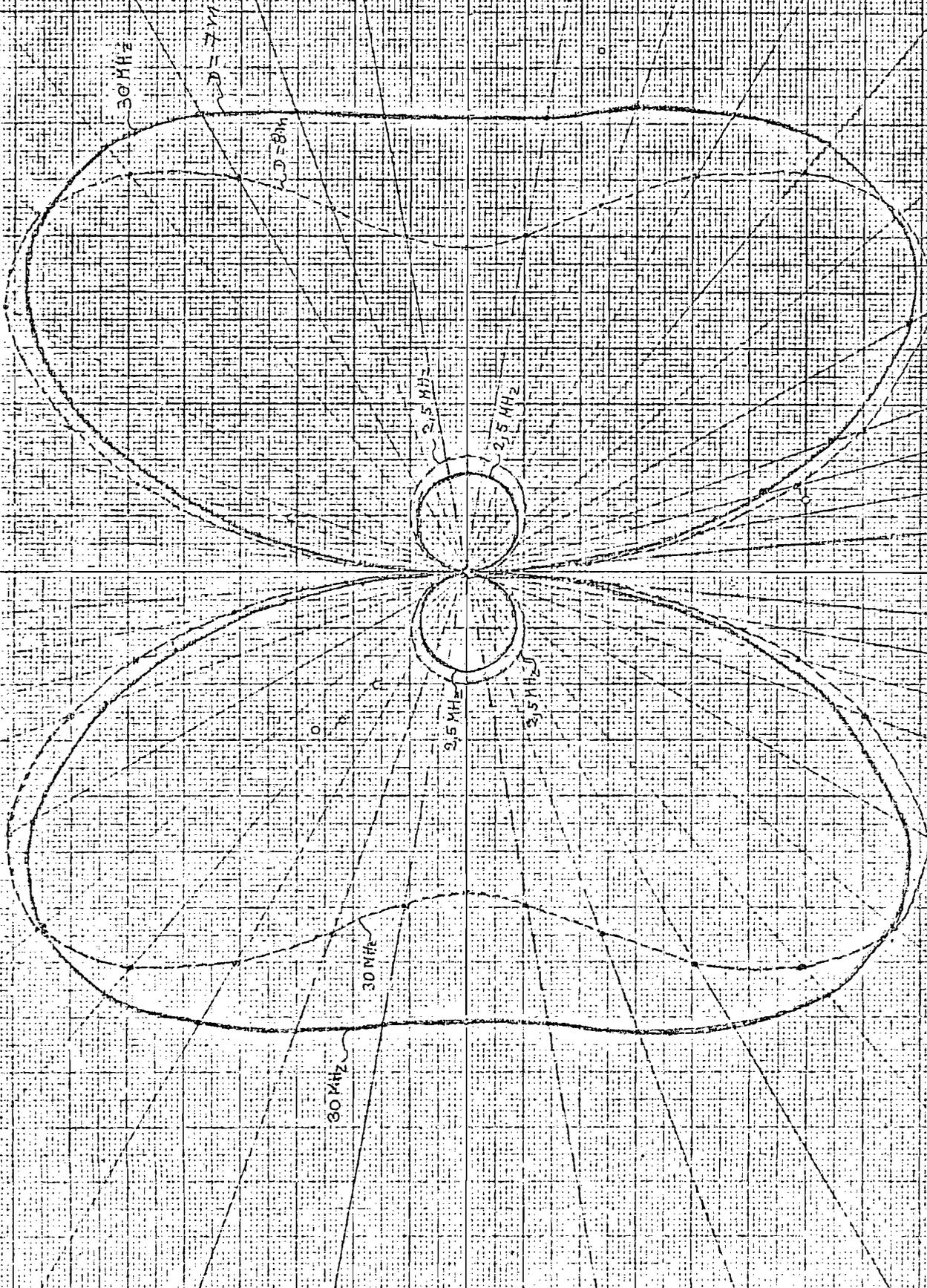
Factor de directividad V_r/V para $D = 7$ m. y $D = 8$ m.				
θ	$D = 7$ m.		$D = 8$ m.	
	$f = 30$ MHz	$f = 2.5$ MHz	$f = 30$ MHz	$f = 2.5$ MHz
90°	0	0	0	0
85°	0.3810	0.0320	0.4346	0.0336
80°	0.7454	0.0634	0.8452	0.0727
75°	1.0780	0.0942	1.2116	0.1087
70°	1.3660	0.1250	1.5151	0.1430
60°	1.7820	0.1830	1.9021	0.2091
50°	1.9754	0.2351	1.9980	0.2685
40°	1.9871	0.2795	1.8758	0.3192
30°	1.8897	0.3157	1.6446	0.3605
20°	1.7593	0.3427	1.4060	0.3913
10°	1.6564	0.3587	1.2364	0.4096
0°	1.6180	0.3655	1.1756	0.4158

mientras menor sea la relación A/D , menor será la variación de la impedancia; a 90° eléctricos (un cuarto de longitud de onda) se tendrá a -- aproximadamente 50 para relaciones A/D entre 30 y 200.

Para fijar la longitud ($2A$) de los dipolos es necesario considerar la sensibilidad que ellos presentan en relación con la longitud de onda.

Para la frecuencia de 30 MHz, $\lambda/2 = 5$ m.; para 25 MHz, $\lambda/2 = 6$ m. y para 2.5 MHz, $\lambda/2 = 60$ m. Estructuralmente resulta muy complicado -- construir una antena con dipolos de longitud mayor a 5 m., puesto que el

Fig. 4.18: Lóbulos de radiación de la antena Adcock Tipo HH para $D = 7$ m.
(curva continua) y $D = 8$ m. (curva punteada).



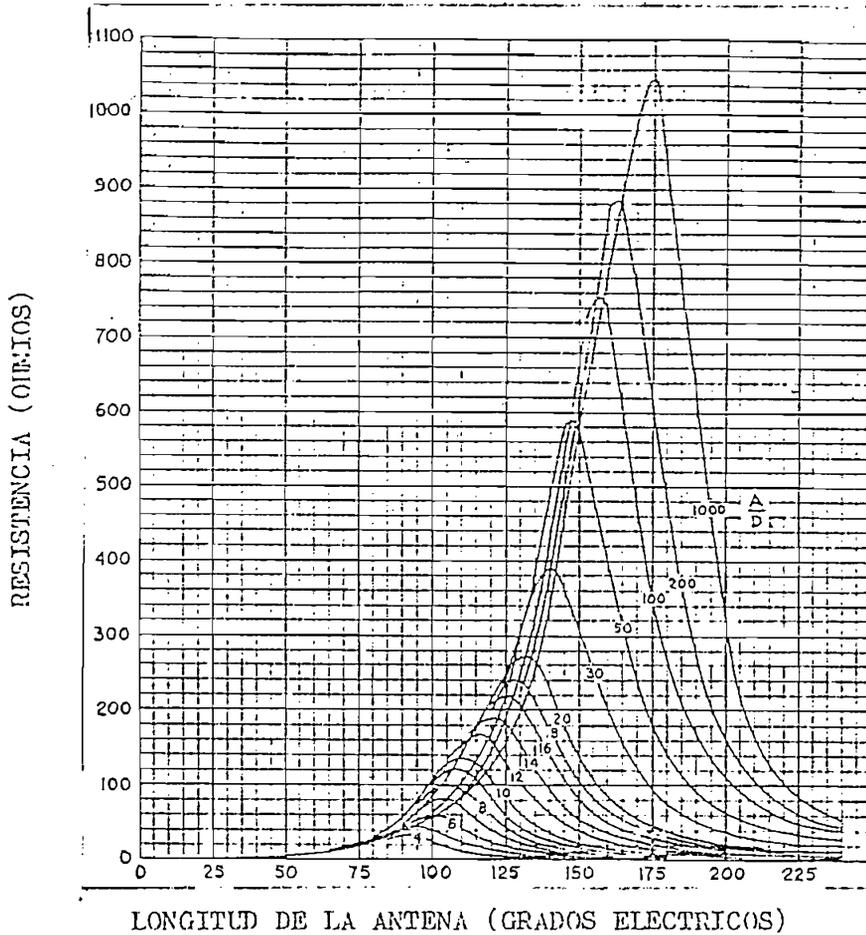


Fig. 4.19: Resistencia de un monopolo cilíndrico Vs. longitud de la antena en grados eléctricos (A°), para varias relaciones A/D, donde A es la longitud y D el diámetro del monopolo.

peso tenderá a arquear el soporte central "D", y además el coeficiente de torción aumentaría a tal punto de no tener los dipolos dentro de un mismo plano. De tal forma será conveniente fijar la longitud del dipolo en 5 m., que será media longitud de onda a 30 MHz.

Si se fija un diámetro de 3/4 de pulgada, la relación A/D para el monopolo será 125.

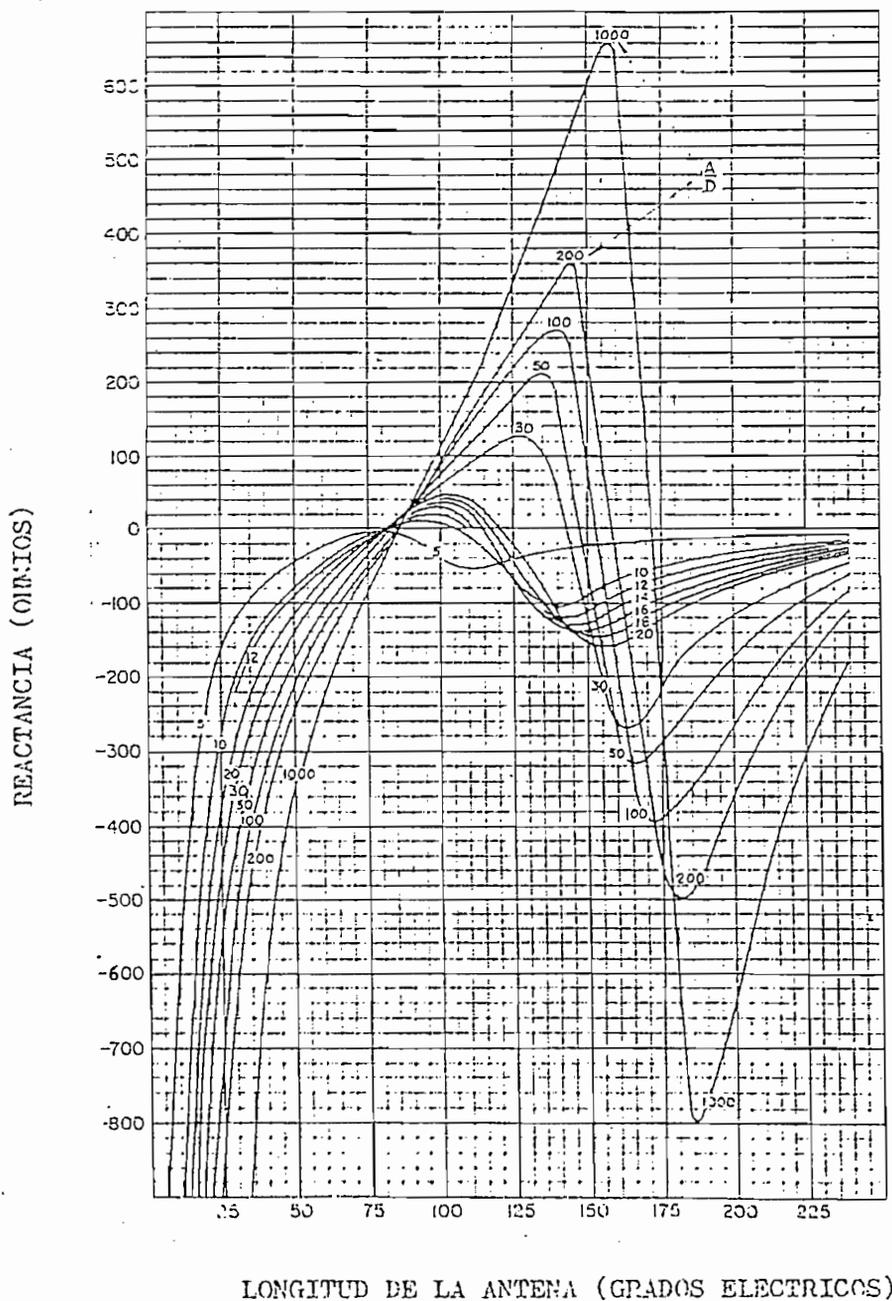


Fig. 4.20: Reactancia de un monopolo cilíndrico Vs. longitud de la antena en grados eléctricos (λ^0) para varias relaciones A/D, donde A es la longitud y D es el diámetro del monopolo.

La componente resistiva para longitudes inferiores a 60 grados eléctricos se hace prácticamente despreciable, como se ve en la fig. 4.19, - mientras que la componente reactiva (capacitiva) crece rápidamente alcanzando valores sumamente grandes y haciendo muy difícil un buen acoplamiento (fig. 4.20). De todas maneras las pérdidas producidas por el acoplamiento no afectarán significativamente la función de encontrar la dirección.

En la figura 4.21, se representa las instalaciones eléctricas de la antena. Se ha escogido el cable coaxial de 75Ω con el objeto de mejorar el acoplamiento de los dipolos a las frecuencias más bajas.

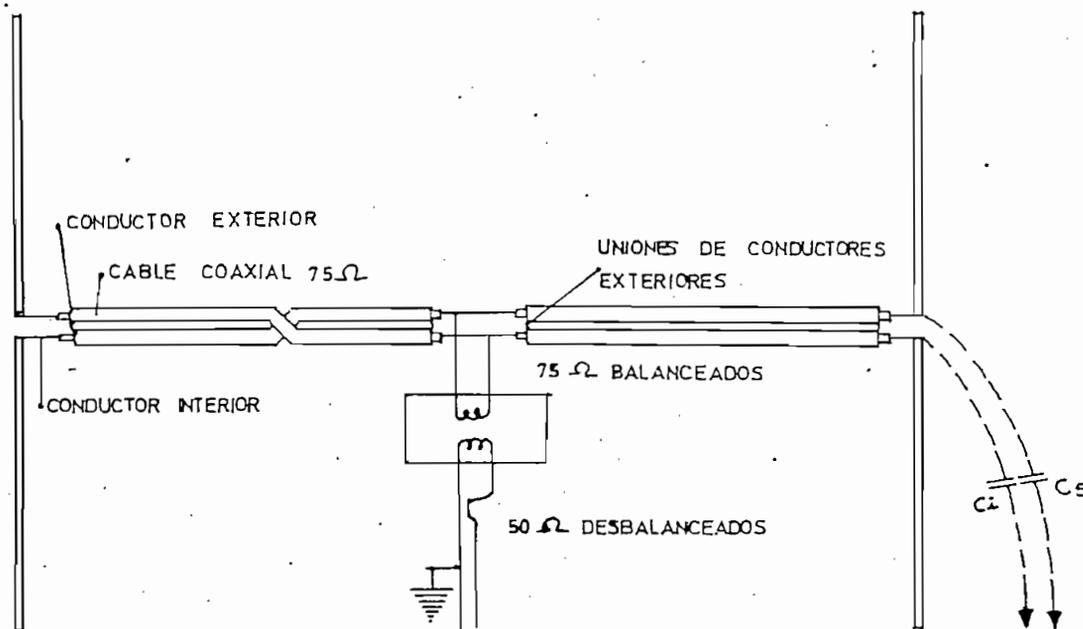


Fig. 4.21: Instalaciones eléctricas de la antena Adcock tipo H.

Dada la diferencia de altura que tendrán los monopolos la capacitancia a tierra será mayor para los inferiores. Con el objeto de tener igual capacitancia será necesario compensar esta desigualdad reduciendo la longitud de los monopolos inferiores hasta obtener igual capacitancia. Esto se logra mediante pruebas efectuadas con un medidor de impedancias, al momento de instalar la antena. Para estas mediciones se escogerá una frecuencia intermedia, que puede ser 15 MHz.

4.1.4.4.- Conclusiones.-

Mediante la utilización de la antena Adcock se logra eliminar los errores de marcación que puedan existir con la antena de cuadro ante la presencia de ondas descendentes de polarización horizontal.

Queda establecido que la antena Adcock será utilizada para rango de frecuencias de 2.5 a 30 MHz e incluso superiores mientras que la antena de cuadro se utilizará para frecuencias inferiores a 2.5 MHz y podrá servir también para frecuencias superiores con algunas limitaciones.

4.1.5.- CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE ANTENAS DE RECEPCION.-

El cuadro 4.6 sintetiza el sistema de las antenas de recepción para las estaciones fijas Quito y Guayaquil.

La estación contará con cuatro puestos principales de medición, a saber: puesto I y puesto II que serán utilizados para comprobación rutinaria del espectro y órdenes especiales; puesto III para registro y grabación y puesto IV para comprobación rutinaria y órdenes especiales. Los 3 primeros son para frecuencias inferiores a 30 MHz y el puesto IV para

Cuadro 4.6: Antenas de recepción para las estaciones fijas.

Antena	Nominación	Rango	Polarización	Usos principales
a1	cono invertido (omnidireccional)	10 kHz-30 MHz.	vertical	mediciones sistemáticas y especiales
a2	cono invertido (omnidireccional)	10 kHz-30 MHz.	vertical	mediciones sistemáticas y especiales
a3	vertical omnidireccional cargada. (omnidireccional).	10 kHz-30 MHz.	vertical	registro y grabación.
a4	L invertida (omnidireccional)	10 kHz-30 MHz.	vertical	comparación.
a5	Log-periódica (omnidireccional)	2-30 MHz	horizontal	mediciones sistemáticas y especiales
a6	Cuadro (directiva).	10 kHz-2.5 MHz.	vertical	radiolocalización
a7	Adcock tipo H (directiva)	2.5-30 MHz.	vertical	radiolocalización
a8	Conjunto de 2 antenas: látigo y Log-espiral. (omnidireccional)	30-1000 MHz.	vertical en el rango 30-100 MHz. y elíptica en el rango 100-1000 MHz	Mediciones sistemáticas.
a9	Log-periódica (directiva).	100-1100 MHz.	horizontal y vertical	mediciones sistemáticas y radiolocalización.
a10	Log-periódica (directiva)	10-400 MHz.	horizontal	mediciones sistemáticas y radiolocalización.

frecuencias superiores a la misma.

Las antenas vertical omnidireccional cargada (a3) y L invertida (a4),

son consideradas auxiliares. La primera será utilizada para registro del espectro y la antena L invertida para los receptores de comparación.

Será necesario la instalación de 2 antenas de cono invertido, una de las cuales se ha previsto que funcione en 2 rangos, mediante filtros, para frecuencias mayores y menores que 1.6 MHz. Es necesario además instalar un amplificador distribuidor de señales para frecuencias superiores a 1.6 MHz con el objeto de aprovecharla en otros servicios. Para el caso de sintonizar una señal con la antena conectada al amplificador distribuidor y ante la presencia de una señal que parece ser de intermodulación, se hace necesario comprobar si éste es propio de la señal estudiada o es producto de intermodulación causada por el amplificador; para ello se utiliza la antena de cono invertido que no tiene conexión con el amplificador.

La antena log-periódica modelo 530-3-02 de la Casa T.C.I. será instalada con un amplificador distribuidor y la señal será distribuida en todas las mesas para comprobación de frecuencias inferiores a 30 MHz.

Las antenas log-periódicas para frecuencias superiores a 30 MHz deberán tener amplificadores, para compensar las atenuaciones del cable que se producen en altas frecuencias.

En la fig. 4.22 se presenta las instalaciones correspondientes a la recepción, amplificación y distribución de señales en las estaciones.

4.2.- ANTENAS PARA TRANSRECEPTORES.

4.2.1.- GENERALIDADES.-

Para la comunicación entre las estaciones de comprobación fijas y móviles, y móviles entre sí, se ha planificado la instalación de transreceptores en el rango de HF. Las irregularidades de la ionósfera es el factor que mayores problemas presenta en este rango, por lo que será necesario hacer un estudio prolijo de las frecuencias y horarios más adecuados, así como de las características direccionales de las antenas.

Las estaciones móviles llevarán instaladas las antenas de látigo propias de los equipos transreceptores. Las estaciones móviles principales llevarán además dipolos horizontales, para ser instalados cuando se realicen mediciones en lugares fijos y no se tenga buena comunicación al utilizar la antena de látigo.

Para las estaciones fijas se ha escogido el dipolo de media onda por ser de construcción sencilla y económica y además presentan buenas características direccionales. Los dipolos serán instalados horizontalmente, puesto que la propagación en estas frecuencias es fundamentalmente por ondas ionosféricas; la onda terrestre es rápidamente atenuada debido a la baja conductividad que presenta la tierra a estas ondas y a la baja potencia de los equipos (100 a 200 watio).

Se ha previsto que desde la estación fija Quito se cubra principalmente las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, y, además se tenga comunicación con la estación Guayaquil, por lo que la orientación del dipolo será 75° N. Desde la estación fija Cuenca se cubrirá principalmente las provincias sureñas de la Sierra y se

procurará comunicación con la estación Quito. Desde la estación Guayaquil se cubrirá principalmente la Costa, por lo que en la orientación de los di polos de las estaciones Cuenca y Guayaquil será $90^{\circ}N$.

En las figuras 4.30 y 4.31 (páginas 185 y 186), se presenta conjuntamente con las antenas receptoras, la ubicación de las antenas transrecepto ras. Se ha cuidado de manera especial ubicarlas lo más lejos posible de - las antenas logarítmico-periódicas omnidireccionales (modelo 530 de la Casa T.C.I.), puesto que estas antenas son de polarización horizontal y trabajan en el mismo rango de frecuencias; así se evita que los transmisores afecten significativamente la recepción para comprobación.

4.2.2.- FRECUENCIAS DE TRABAJO.-

Preferentemente los equipos transreceptores deben ser de frecuencia variable. Sin embargo debe elegirse frecuencias de trabajo fijas para evi tar interferencias con otras emisiones y facilitar la sintonía de recep - ción. Se trabajará en tres frecuencias para compensar así las grandes va riaciones que se presentan en el grado de ionización de las capas ionosfé- ricas durante el día, el año y períodos mayores de 11 años.

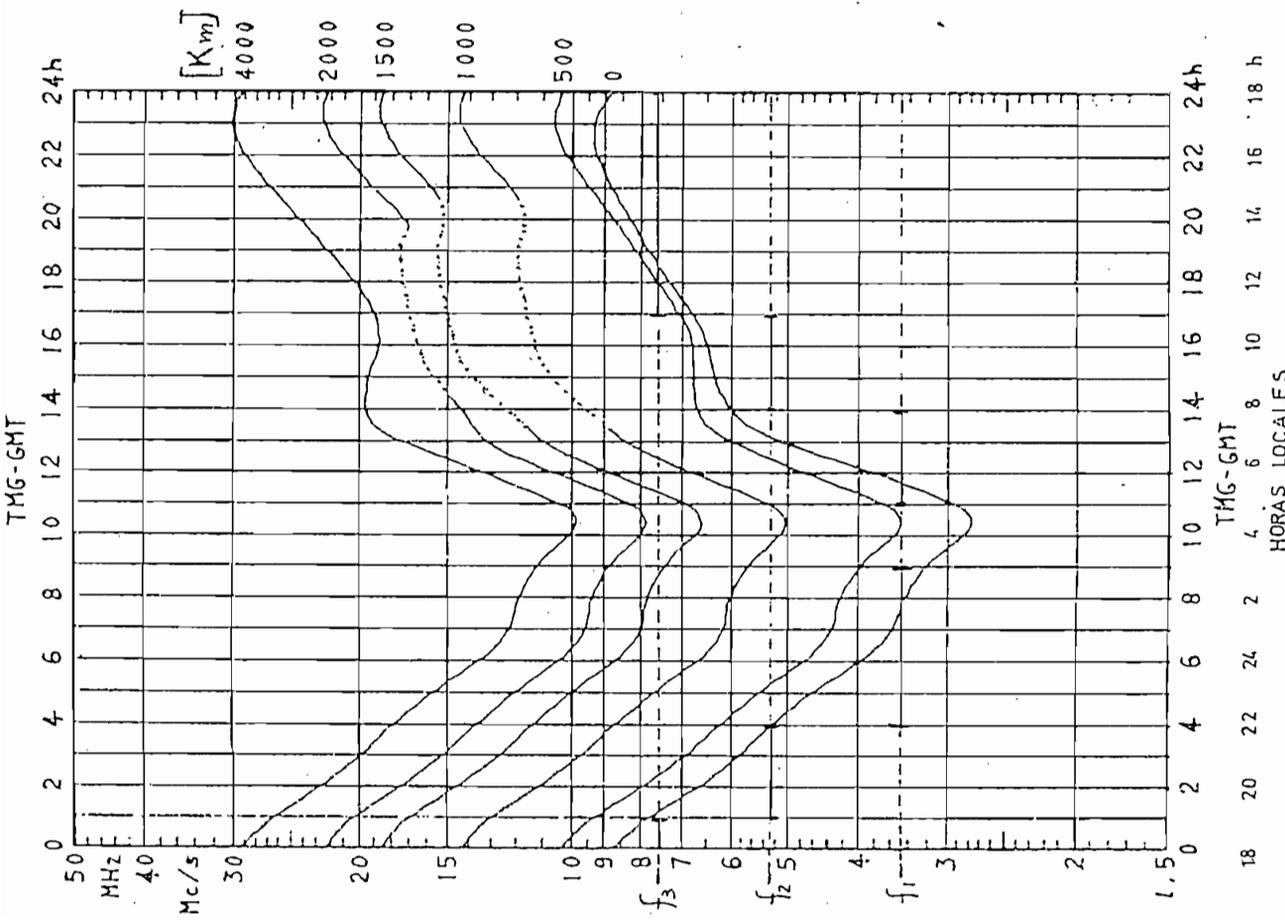
En términos generales la ionósfera está compuesta por capas de elec- trones libres, que varían en altitud y espesor en las diferentes partes - del Globo. Durante las horas nocturnas, cuando la atmósfera superior no - se halla iluminada por el sol, hay una capa relativamente permanente cono- cida como "capa F". Durante las horas diurnas, cuando el sol comienza a iluminar la atmósfera superior, esta capa se descompone por lo común en 2 extractos que son los "F₁" y "F₂", siendo este último el de mayor altitud. A la salida del sol se forma una capa de ionización menos elevada, llamada

"capa E", la que es muy estable y constante durante el día y desaparece a la puesta del sol. Hay también una región de ionización intensa transitoria conocida como capa "E esporádica", que puede presentarse más o menos erráticamente tanto de día como de noche.

Las altitudes de las capas ionosféricas además de las variaciones diarias, tienen variaciones con la latitud terrestre, con las estaciones del año y con la actividad solar (número de manchas solares). El conocimiento de estas variaciones es en realidad cuestión de estadísticas, llevadas a cabo mediante investigaciones de la Junta Internacional de Registro de Frecuencias, IFRB, para todo el globo terrestre, y presentadas semanalmente a las administraciones de frecuencias de todos los países. La IFRB presenta además predicciones sobre el comportamiento futuro de la ionósfera.

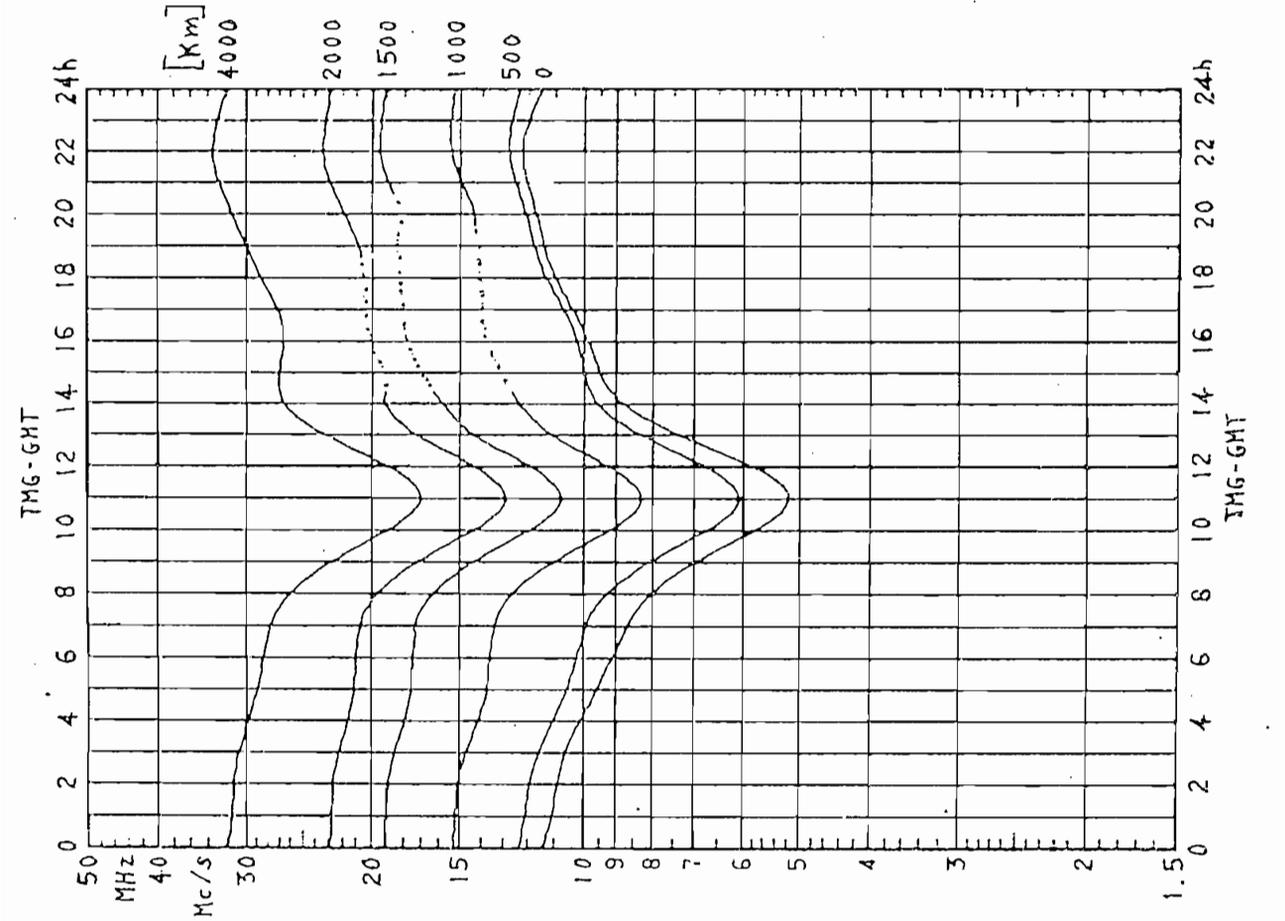
En las figuras 4.23 (a) y 4.23 (b), se tiene copias de las cartas enviadas por la IFRB [16] para el mes de junio y diciembre (existen para marzo, junio, septiembre y diciembre; las curvas correspondientes a marzo y septiembre son ligeramente diferentes a las de diciembre). Se ha escogido las curvas de latitud 0° y longitud 90°W , puesto que no existen para longitud 79°W que es la promedio de los puntos de reflexión ionosférica de la mayoría de las comunicaciones que interesan. Se puede obtener una aproximación buena a las condiciones a 79°W compensando la hora, restando 6 horas de la hora de Greenwich para obtener la hora local. (Son 6 horas en vez de 5 porque las curvas son para 90° de longitud).

En las curvas, la escala vertical da la frecuencia máxima utilizable (MUF) y cada diagrama tiene curvas para varias distancias, desde 0



$R_{12} = 5$

FIG. 4.23(a)



$R_{12} = 125$

LONG. 90°W LAT. 0°

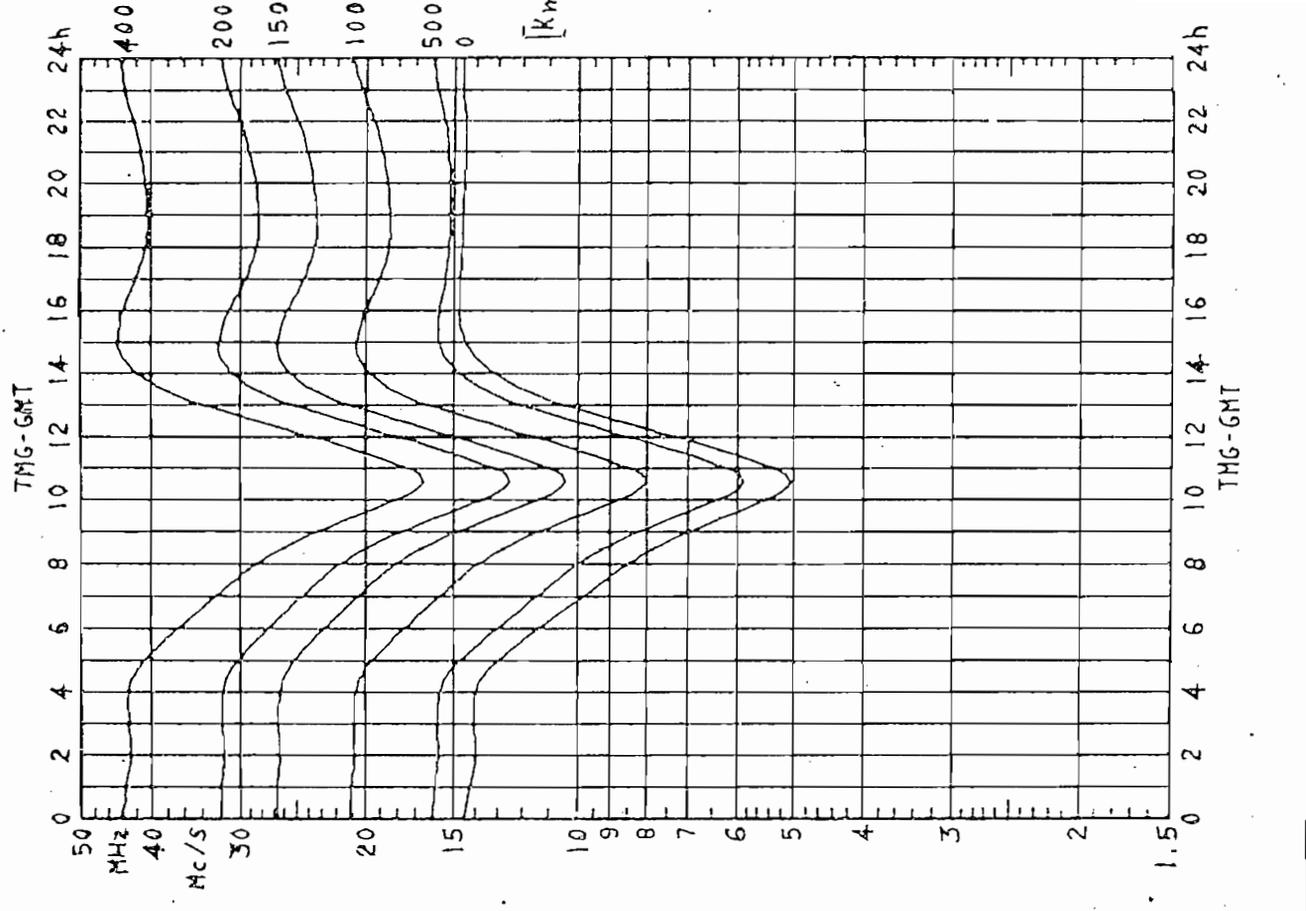
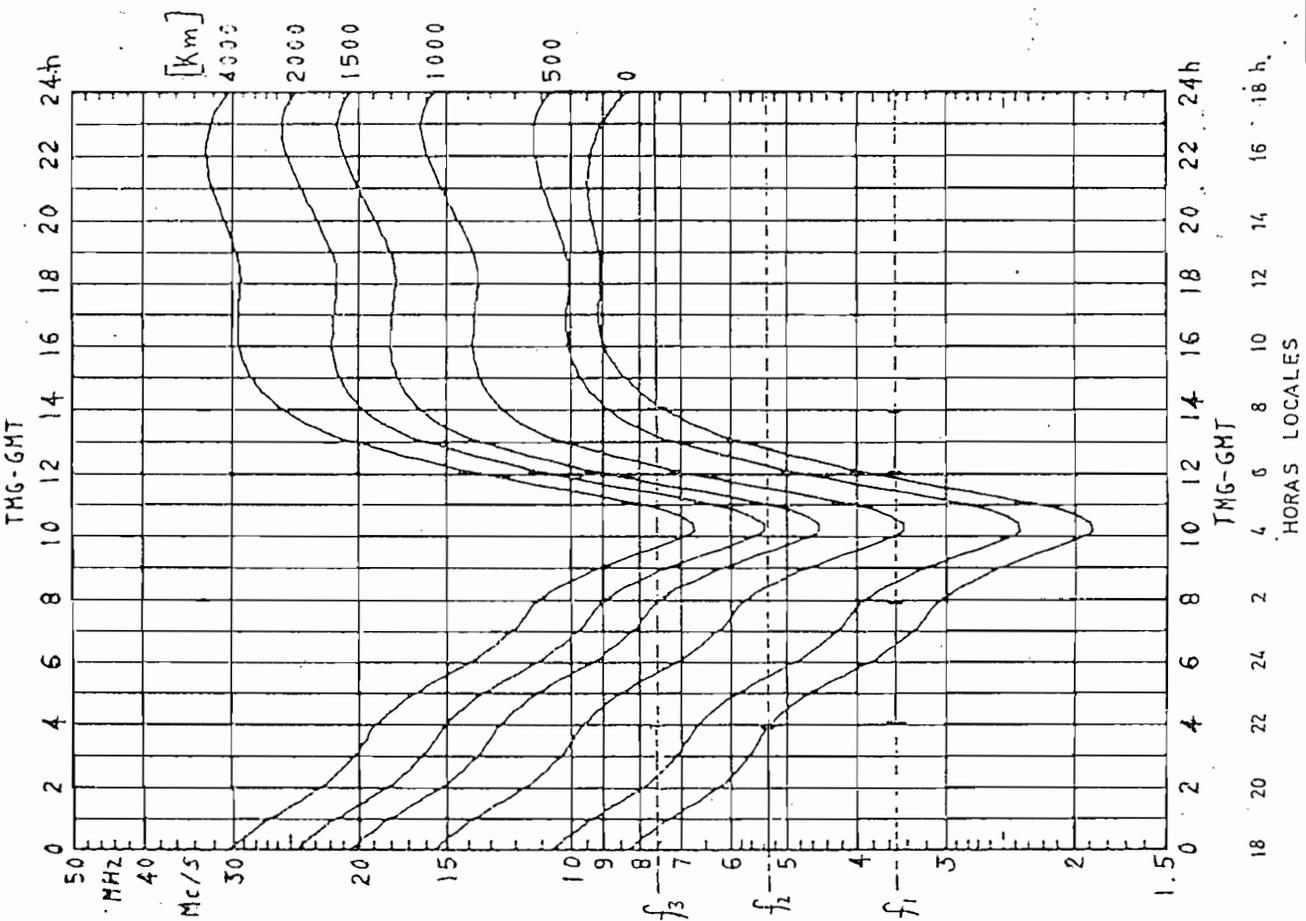


FIG.(4.23 b)

$R_{12} = 5$

$R_{12} = 125$ LONG. $90^{\circ}W$ LAT. 0°

hasta 4000 kilómetros. (Distancia indicada al extremo derecho de cada curva). Al pie del diagrama está indicada la hora de Greenwich y la hora local correspondiente.

La máxima frecuencia utilizable, se define como la máxima frecuencia que puede ser reflejada por la ionósfera hacia la tierra y en un lugar determinado. Cuando una onda electromagnética penetra en una de las regiones ionizadas, puede ocurrir una de tres cosas, según la longitud de onda. Si la frecuencia es mayor que la MFU, la onda atravieza la capa ionizada y sigue su camino por el espacio. Si la frecuencia es igual o menor que la MFU, la onda es curvada o reflejada hacia la tierra. Si la frecuencia es mucho menor que la MFU una gran parte de su energía es absorbida por la capa ionizada. Dado que la MFU es bastante crítica, para mantener una comunicación es necesario utilizar una frecuencia no muy diferente de la MFU. pero algo menor de ésta. La experiencia establece que la frecuencia óptima de trabajo es aproximadamente 85 % de la MFU [17], puesto que la máxima frecuencia utilizable, puede presentar variaciones respecto de las curvas hasta de un 15 %. En cuanto a la mínima alta frecuencia utilizable, ella depende de varios factores, como son: de la potencia efectiva radiada, de las características de absorción ionosférica para las trayectorias requeridas y de la intensidad de campo necesaria, factor este último que a su vez depende de la sensibilidad del receptor, su propio ruido y del ruido radioeléctrico existente en el lugar del receptor, entre otros. Tomando en cuenta todas estas consideraciones, es preferible que la frecuencia utilizada no sea menor que el 50 % de la MFU.

En cada una de las figuras 4.23, se presenta dos grupos de curvas -

que corresponden a R_{12} (número de manchas solares) = 5 y $R_{12} = 125$, que son los valores de menor y mayor actividad solar.

En cuanto a las distancias a cubrirse, ellas están entre 0 y 250 kms por lo que deberá tomarse como referencia una curva que esté entre las de 0 y 500 kms.

Las frecuencias escogidas, considerando que el número de manchas solares en la actualidad es aproximadamente 20 y que en el lapso de un año bajará hasta cerca de 5, (de acuerdo con las predicciones de la IFRB), para subir nuevamente en el período de 11 años hasta cerca de 125 manchas solares, son las siguientes:

$$f_1 = 3540 \text{ kHz} ; f_2 = 5340 \text{ kHz} ; f_3 = 7585 \text{ kHz}.$$

Para el año 1.978 aproximadamente, las condiciones atmosféricas mejorarán y se podrá tener buena comunicación utilizando unicamente las 2 frecuencias superiores hasta 1.985 aproximadamente. Los horarios más apropiados de trabajo con las diferentes frecuencias se establecerán en la práctica; sin embargo, de las figuras 4.23 (a) y 4.23 (b) puede anticiparse los siguientes horarios locales (para períodos de baja actividad solar):

para la mayor parte del año:

f_1 : 22 a 2 y 6 a 8 horas

f_2 : 18 a 22 horas

f_3 : 8 a 18 horas.

para los meses de mayo, junio y julio:

f_1 : 22 a 3 y 5 a 8 horas

f_2 : 8 a 11 y 19 a 22 horas

f_3 : 11 a 19 horas.

4.2.3.- DISEÑO.-

4.2.3.1.- Características generales.-

Las 3 frecuencias escogidas, necesitan cada una de ellas de un dipolo de media longitud de onda. Con el objeto de no tener 3 antenas diferentes, que ocasionarían problemas tanto económicos como de espacio y de conmutación, se ha diseñado una sola antena, utilizando para ello resonadores o "trampas" conectados como se indica en la figura 4.24, en la que se representan las características generales de la antena.

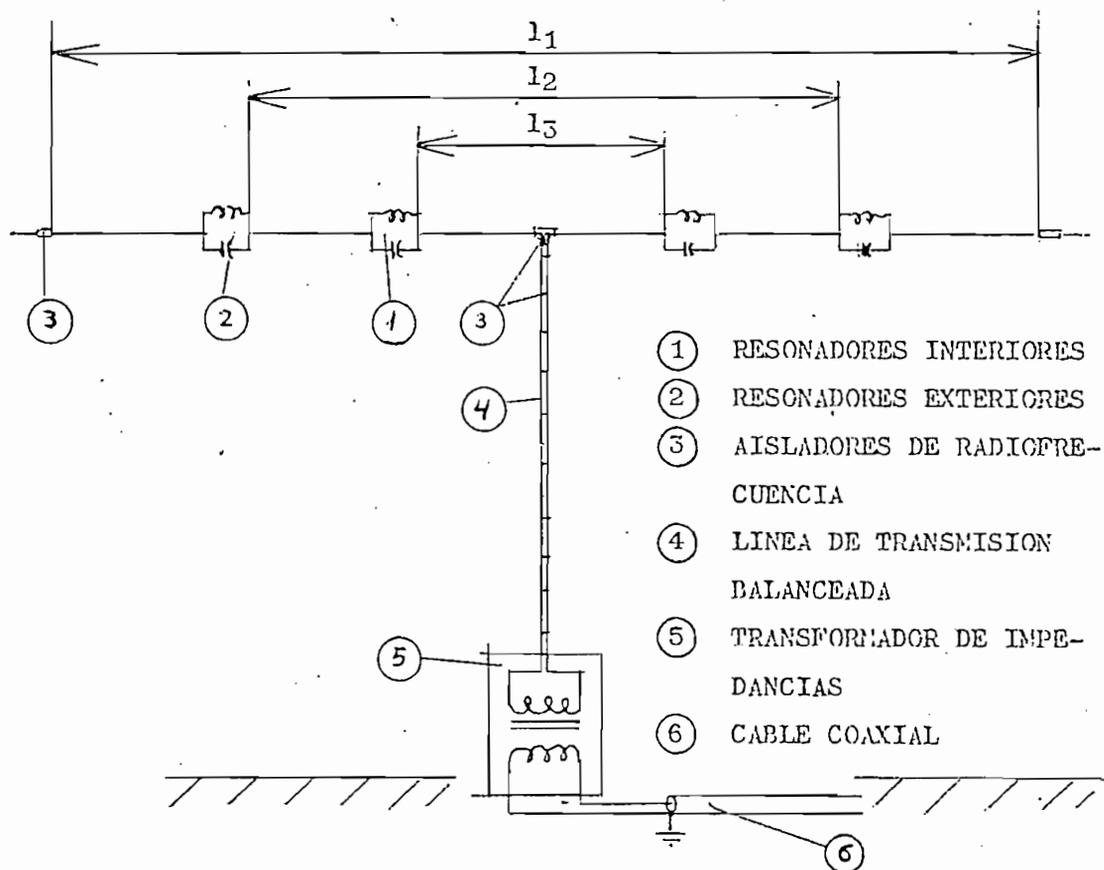


Fig. 4.24: Características generales de la antena dipolo, cortada para 3 frecuencias.

Los resonadores permiten "cortar" la antena en tres longitudes eléctricas, que son L_1 , L_2 y L_3 , que corresponderán a media longitud de onda de las frecuencias f_1 , f_2 y f_3 . Para ello las trampas interiores deberán resonar a f_3 , y las exteriores a f_2 , que al tener impedancia muy elevada a esas frecuencias cortarán el paso de corriente y se obtendrá dipolos requeridos. Las trampas permiten el paso de corriente a otras frecuencias diferentes a la de resonancia.

4.2.3.2.- Diseño de los resonadores.-

Los resonadores más apropiados, por la facilidad de construcción, - economía y resistencia física, son los resonadores elicoidales, los que se representan en la figura 4.25 [18].

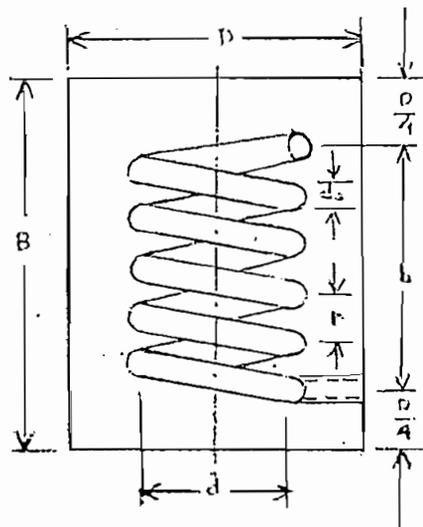


Fig. 4.25: Resonador elicoidal.

La simbología de la figura 4.25 es la siguiente:

b = longitud axial de la bobina, pulgadas.

B = longitud interior de la coraza, pulgadas.

d = diámetro medio de las vueltas, pulgadas.

D = diámetro interior de la coraza, pulgadas.

d_o = diámetro del conductor, pulgadas.

f_o = frecuencia de resonancia, megahertzios.

n = número de vueltas por pulgada.

N = número total de vueltas de alambre.

Q_u = Q sin carga.

δ = profundidad de penetración de la corriente a la frecuencia de trabajo, pulgada.

γ = $1/n$ = separación entre vueltas, pulgadas.

El resonador elicoidal consiste de una coraza (conductor exterior), que encierra a una bobina (conductor interior). Un terminal de la bobina es sólidamente conectado a la coraza y el otro terminal está en circuito abierto. Este funciona como un sistema de parámetros distribuidos equivalente a un resonador de línea de transmisión coaxial de $1/4$ de onda.

En la figura 4.26 se presenta la curva del Q sin carga en función de la frecuencia de resonancia y del diámetro de la coraza. Dentro de la región sombreada se obtiene un mejor Q , para un volumen dado, que otros tipos de resonadores. Para alcanzar Q y frecuencias más altas es preferible un resonador coaxial convencional. Cuando el Q y la frecuencia deseada son más bajos que los de la región sombreada es más económico un circuito resonador de elementos LC individuales.

Las ecuaciones simplificadas y empíricas útiles para el diseño son las siguientes:

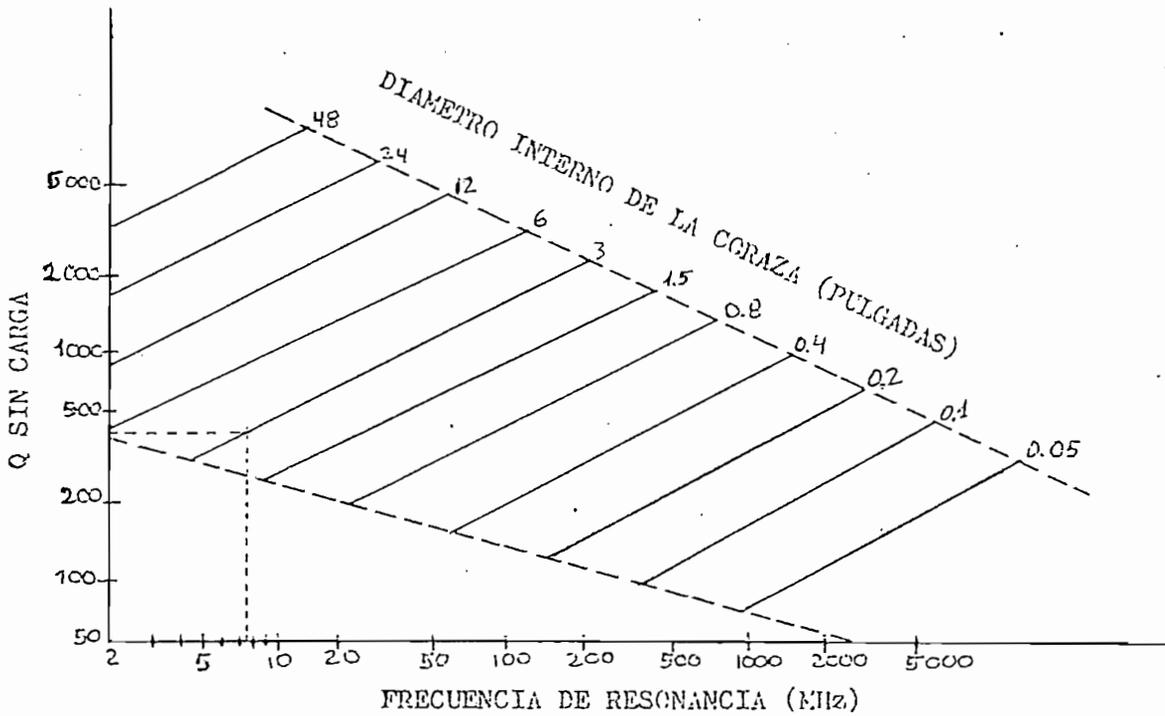


Fig. 4.26: Curva del Q sin carga en función de la frecuencia de resonancia y del diámetro de la coraza, para resonadores helicoidales de la fig. 4.25. [19]

$L = 0.025n^2d^2(1 - (d/D)^2)$ microhenrios por pulgada axial.

$C = 0.75/\log_{10}(D/d)$ picofaradios por pulgada axial.

$b = 235 f_0^{-1}(LC)^{-1/2}$ pulgadas.

$Z_0 = 235000 (bf_0C)^{-1}$ ohmios.

Estas ecuaciones son válidas dentro de los siguientes límites:

$$0.45 < d/D < 0.6$$

$$b/d > 1.0$$

$$0.4 < d_0/r < 0.6 \text{ para } b/d = 1.5$$

$0.5 < d_0/r < 0.7$ para $b/d = 4.0$

$d_0 \geq 5 \delta$

El número total de vueltas está dado por:

$N = 1.900 (f_0 D)$ vueltas

para $d/D = 0.55$, y $b/d > 1.0$

La separación entre vueltas y la impedancia característica por:

$r = 1/n = (f_0 D^2)/2300$ pulgadas por vuelta

$Z_0 = 98000/(f_0 D)$ ohmios

para $d/D = 0.55$, y $b/d = 1.5$

En todas las ecuaciones debe cumplirse que:

$B = (b + D/2)$

$\gamma < d/2$

NOTA: Las fórmulas (empíricas) y consideraciones anteriores son obtenidas del estudio de resonadores elicoidales, del libro REFERENCE - DATA FOR RADIO ENGINEERS de la "International Telephone and Telegraph Corporation" [20].

4.2.3.2.1.- Cálculo de los resonadores interiores:

$f_0 = 7585$ kHz.

de la figura 7.4, se obtiene:

$D = 3$ pulgadas

$Q = 400$

luego, para cumplir la condición: $0.45 < d/D < 0.6$, se fija:

$d = 1.5$ pulgadas.

tentativamente se fija:

$$n = 10 \text{ vueltas/pulgada}$$

$$d_o = 0.064 \text{ pulgadas (alambre N}^\circ 14)$$

luego:

$$L = 0.025n^2d^2 (1 - (d/D)^2) = 0.025 \times 100 \times 2.25 (1 - (1.5/3)^2) =$$

$$L = 4.18 \text{ uhy/pulgada.}$$

$$c = 0.75/\log(d/d) = 0.75/\log(3/1.5) = 2.5 \text{ pF/pulgada.}$$

$$b = 235/(f_o/\sqrt{LC}) = 235/7.58 \times 3.22 = 9.63 \text{ pulgadas.}$$

$$L \text{ (total)} = L \times b = 40.3 \text{ } \mu\text{hy.}$$

$$C \text{ (total)} = C \times b = 24 \text{ pF.}$$

$$Z_o = 235000/(bfoC) \text{ ohmios} = 235000/(9.63 \times 7.58 \times 2.5) = 1220 \text{ ohmios.}$$

$$B = b + D/2 = 11.13 \text{ pulgadas.}$$

$$N = n \times b = 96.3 \approx 96 \text{ vueltas.}$$

Para la construcción del resonador debe utilizarse tubo de aluminio de 3 pulgadas de diámetro, y el embobinado se realizará en un aislador de retención de porcelana, de 1.5 pulgadas de diámetro. En la figura 4.27 se presenta la configuración física del resonador.

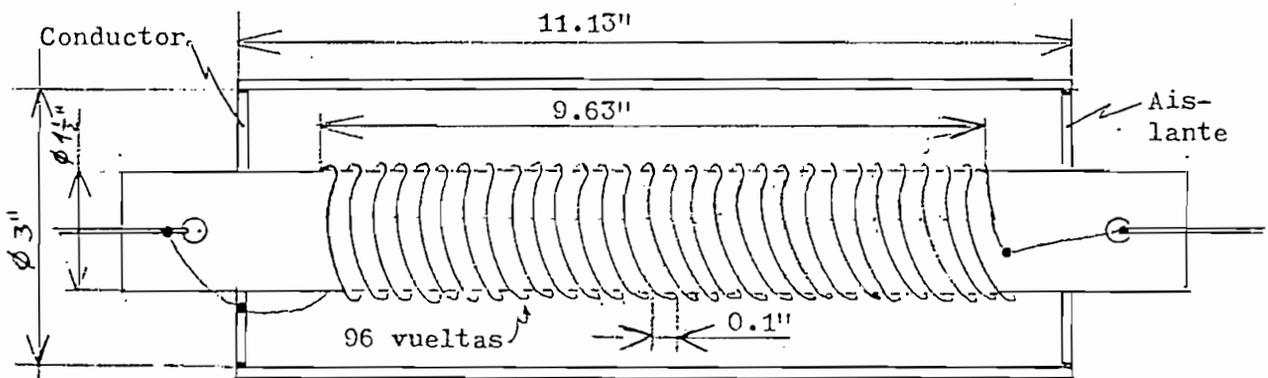


Fig. 4.27: Configuración física del resonador helicoidal interior.

4.2.3.2.2.- Resonadores exteriores.-

Debido a que existe una relación directa entre las frecuencias y las longitudes eléctricas de los resonadores, los exteriores podrán construirse utilizando el mismo tubo de aluminio de 3" y el aislador de 1.5", variando unicamente la longitud de los mismos en forma lineal e inversa a la frecuencia:

$b_i = 9.63$ pulgadas para $f_{oi} = 7585$ kHz, (i: interior)

$b_e = 13.67$ pulgadas para $f_{oe} = 5340$ kHz, (e: exterior)

luego:

$B_e = b_e + D/2 = 15.17$ pulgadas .

Se conserva los mismos valores de $n = 10$ vueltas/pulgada,

$d_o = 0.064$ (alambre Nº 14)

$N = 10 \times 13.67 \approx 137$ vueltas.

La configuración física es similar a la de los resonadores interiores.

4.2.3.3.- Líneas de transmisión y transformador de impedancias.-

Un dipolo de media longitud de onda tiene como impedancia característica 73 ohmios, por lo que la línea de bajada de antena balanceada que se muestra en la figura 7.2, será de 72 ohmios (por existir en el mercado).- La transmisión bajo tierra, al puesto del equipo transreceptor, será de cable coaxial de 50 ohmios, que se usa en toda la estación. De tal manera deberá instalarse un transformador de impedancias de 72 ohmios balanceados a 50 ohmios desbalanceados. El transformador deberá ser de banda ancha, para el rango de 3 a 10 MHz.

4.2.3.4.- Longitudes físicas de los dipolos (l_1 , l_2 y l_3).-

En la práctica, debido al efecto de punta, la longitud física de un dipolo de alambre de media longitud de onda es un 5 % menor que la longitud teórica. La longitud del dipolo interior, l_3 , podrá calcularse bajo esta consideración, es decir:

$$l_3 = \frac{3}{2} - \frac{3}{40} = 18.8 \text{ m.}$$

Para obtener l_2 y l_1 se debe tomar en cuenta que la presencia de los resonadores intercalados entre los dipolos, incrementan la longitud eléctrica y por tanto reducen la longitud física necesaria para obtener los dipolos de $\lambda/2$, estos cálculos son complicados de realizar y no confiables, por lo que resulta más práctico "ajustar" los dipolos al momento de efectuar la instalación; sin embargo se puede anticipar, a priori, que l_2 estará entre 0.3 y 0.35 de λ_2 y l_1 entre 0.2 y 0.3 de λ_1 .

4.2.3.5.- Altura de la antena.-

El lóbulo de radiación vertical de la antena es función de la altura. En la figura 4.28 se presenta los lóbulos de radiación vertical de un dipolo de media longitud de onda [21] .

Tomando en cuenta que la mayoría de las comunicaciones utilizarán los ángulos de elevación entre 60° y 90° será preferible que la altura sea de 0.25 longitud de onda. Sin embargo debe considerarse que la antena trabaja en 3 frecuencias diferentes, en cuyo caso se procurará que la altura esté entre 0.15 y 0.3 longitud de onda; para ello se tiene:

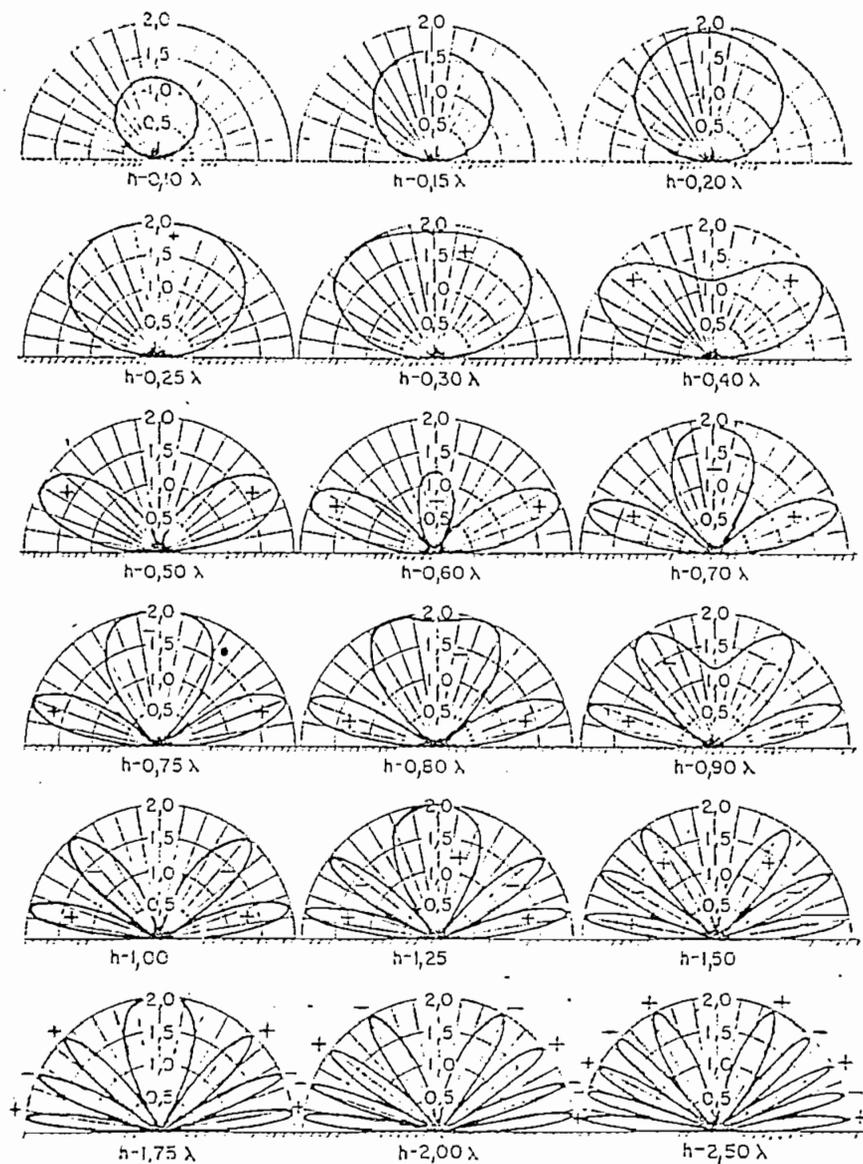


Fig. 4.28: Diagramas verticales de radiación en el plano normal a una antena dipolar horizontal.

$f_1 = 3540 \text{ kHz};$	$\lambda_1 = 84.7 \text{ m.}$	12 m. = 0.14	$\lambda_1 = 0.21$	$\lambda_2 = 0.30$	λ_3
$f_2 = 5340 \text{ kHz};$	$\lambda_2 = 56.2 \text{ m.}$	13 m. = 0.15	$\lambda_1 = 0.23$	$\lambda_2 = 0.33$	λ_3
$f_3 = 7585 \text{ kHz};$	$\lambda_3 = 39.6 \text{ m.}$	14 m. = 0.16	$\lambda_1 = 0.25$	$\lambda_2 = 0.35$	λ_3
		15 m. = 0.17	$\lambda_1 = 0.27$	$\lambda_2 = 0.38$	λ_3

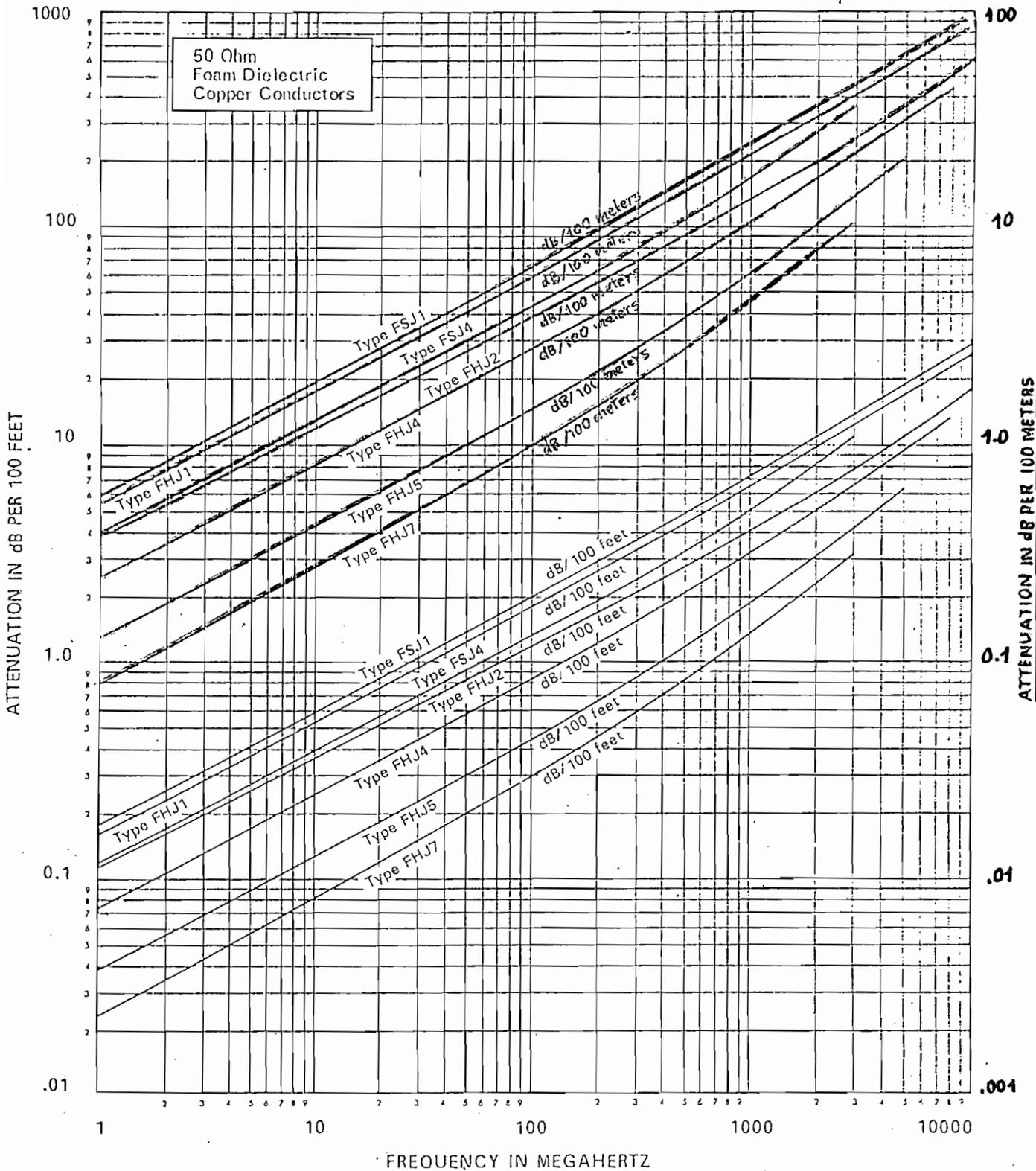
de donde se deduce que la altura más conveniente de las torres de soporte de la antena es de 13 m. (ver figura 4.28).

4.3.- LINEAS DE TRANSMISION.

La transmisión de señales se hará utilizando cable coaxial subterráneo de 50Ω de impedancia característica. Líneas paralelas aéreas causarían interferencias en la recepción. En la figura 4.29 se presenta la atenuación de diferentes tipos de cables con conductores de cobre y dieléctrico de espuma (resistentes a la intemperie) presentados por la Casa - Andrew. [22]

De los tipos de cable presentados en la figura 4.29 se ha escogido - el FHJ4 para frecuencias inferiores a 30 MHz y el FHJ5 para frecuencias superiores a 30 MHz. Se consideró para ello los precios y las distancias que unen el bastidor de conmutación con las antenas. En el cuadro 4.7 se presenta la lista de precios FOB (fábrica), de los tipos de cable de la - figura 4.29.

La cantidad total necesaria para cada estación es: 3.500 pies de cable FHJ4-50B y 1.100 pies de cable FHJ5-50A (50B y 50A es la nomenclatura de la Casa para indicar 50Ω de impedancia característica).



Attenuation Curves based on
VSWR 1.0
Ambient Temperature 24° C (75° F)

Fig. 4.29: Atenuación de diferentes tipos de cables coaxiales con conductores de cobre y dieléctrico de espuma, de la Casa Andrew.

Cuadro 4.7: Precios FOB de los cables presentados por la Casa Andrew.

TIPO	PRECIO FOB EN DOLARES U.S.A. POR PIE.
FSJ1	0.62
FHJ1	0.48
FSJ4	1.26
FHJ2	0.68
FHJ4	0.88
FHJ5	2.24
FHJ7	5.20

4.4.- SISTEMAS DE TIERRA.

Conforme se verá en párrafo 5.4, (capítulo 5), con el objeto de reducir las pérdidas de señal producidas por la resistencia de tierra, es necesario aumentar la conductividad del terreno mediante la instalación de conductores enterrados.

Si se supone que la tierra es conductor perfecto, una onda polarizada verticalmente tiene el vector de intensidad de campo eléctrico perpendicular a la superficie de la tierra, esto permite una mejor propagación de las ondas. A medida que la conductividad de la tierra disminuye, el vector de intensidad de campo se inclina en la dirección de propagación, es decir que la resultante de los vectores E y H (propagación de onda) en la superficie de la tierra se inclina hacia abajo y tiene así una compo-

nente normal a la superficie de la tierra que representa un flujo de potencia disipado en ésta y reduce la cantidad de energía propagada.

Las corrientes que circulan a través de la antena son corrientes de desplazamiento y al llegar a la base de la antena conectada a tierra éstas se transforman en corrientes de conducción, que se alejan (en el caso de transmisión; para recepción se da el proceso inverso) de la antena en forma de líneas radiales. Por esta razón es preferible la instalación de los conductores en forma radial.

La longitud y número de radiales es cuestión de estudios experimentales realizados por Edmund A. Laport; en su libro "Ingeniería de Antenas" [23] , presenta un estudio realizado para sistemas de tierras de torres radiantes a la frecuencia de 3 MHz, y concluye que: "la distancia medida desde la antena a partir de la cual la densidad de la corriente de tierra es lo suficientemente baja como para poder desdeñarla es del orden de 0.5 longitud de onda, el aumento de rendimiento que se logra prolongando los alambres de tierra rara vez justifica la mayor inversión cuando se usa un número suficientemente grande de radiales. Las mediciones sistemáticas han demostrado que la longitud efectiva de un alambre enterrado disminuye a medida que disminuye el número de radiales.

La resistencia de tierra disminuye al aumentar la longitud y el número de los alambres radiales enterrados. Sin embargo cuando el número de radiales llega a 120 y su longitud a 0.4 de onda, se llega a un punto en que los beneficios de estos aumentos se tornan magros".

El estudio experimental de las antenas verticales, omnidireccional-cargada y de cono invertido (capítulo 5), se realizó con sistemas de tie

rra conformados por 180 alambres de 3 m. de longitud a frecuencias 10 veces mayores. Para los modelos reales se puede reducir considerablemente el número de radiales, en vista de que la conductividad de la tierra es mucho mayor para las frecuencias bajas. Estas antenas están planificadas para trabajar en el rango de 10 kHz a 30 MHz, si se toma como frecuencia central 15 MHz (longitud de onda: 50 m.), con la longitud de los radiales a 20 m. se cumple con las recomendaciones de Laport, pero las frecuencias más bajas quedan lejos de cumplirla. Al instalar radiales de 30 m., se tiene a las frecuencias de 4 MHz la condición de tener 0.4 longitud de onda según recomienda Laport. Aumentar la longitud de los radiales no resulta económicamente recomendable, puesto que para frecuencias inferiores a 4 MHz las antenas también son radiadores cortos. Como conclusión, los radiales de la antena de cono invertido serán de 30 m.; que corresponde a 2 veces la altura física de la antena y, para la vertical omnidireccional cargada se instalarán radiales de 18 m. que corresponde igualmente a 2 veces de altura física de la antena.

Las recomendaciones de Laport en cuanto al número de radiales son hechas para antenas transmisoras donde las corrientes de tierra son grandes comparadas con las de antenas receptoras. La instalación de 30 radiales presenta un buen sistema de tierras para recepción.

Las antenas de polarización horizontal no necesitan de manera especial la instalación de radiales, puesto que las ondas de polarización horizontal no se propagan por tierra. Sin embargo la antena modelo 530-3-02 de la T.C.I., de polarización horizontal llevará algunos radiales que servirán especialmente para conectar el sistema de pararrayos.

En cuanto al tipo de conductor, es preferible la instalación de alambre de cobre debido a su característica de presentar muy alta resistencia a la corrosión y además a su condición de ser un buen conductor. El alambre Nº 10 (2.5 mm. de diámetro) es el más conveniente para utilizarlo como conductor radial. La utilización de alambre de mayor diámetro no se justifica porque a más de no tener ninguna ventaja eléctrica apreciable, su costo es significativamente mayor. Alambres de menor diámetro son eléctricamente aceptables (debido a que las corrientes que circularán por ellos son muy pequeñas) pero pueden ocasionar problemas derivados de su poca resistencia mecánica y menor tiempo de duración en caso de corrosión.

En cuanto a la profundidad de instalación de los radiales, ella depende de la frecuencia, las corrientes de ondas medias y más cortas son superficiales, mientras que las corrientes de ondas largas penetran más en la tierra. En cualquiera de los casos la situación no es crítica y se podrá instalar los radiales a una profundidad de 30 a 40 cm.; con el objeto de que no sean dañados en caso de utilizar los terrenos para agricultura.

Para garantizar una buena conexión eléctrica los radiales deben ir soldados, más no amarrados, a un conductor común en forma de circunferencia que debe ir alrededor de la base de la antena. La suelda debe ser de bronce (autógena) y no de estaño, porque al soldar con estaño la diferencia eléctrica y química entre los metales es muy fuerte y se oxidan las conexiones rápidamente; el bronce es mucho más compatible con el cobre y mucho más resistente a efectos oxidantes.

4.5.- UBICACION DE LAS ANTENAS EN LOS TERRENOS DE LAS ESTACIONES FIJAS
QUITO Y GUAYAQUIL.

Para la ubicación de las antenas se han seguido las consideraciones siguientes:

- a) Separación de las antenas entre sí y el edificio y anexos, de acuerdo con la frecuencia y la polarización.
- b) Pérdidas debidas a la longitud del cable coaxial, y;
- c) Disponibilidad de terreno.

En cuanto a la separación de antenas entre sí se busca que ninguna de ellas interfiera en las características de impedancia y lóbulos de radiación de las otras. Al hacer el estudio experimental de las antenas de banda ancha para recepción en frecuencias inferiores a 30 MHz, (capítulo 5), se experimentó sobre la influencia que tenía la cercanía de cuerpos conductores de longitud eléctrica comparable en la impedancia de entrada de las antenas y se obtuvo como conclusión que separaciones de aproximadamente $1/2$ longitud de onda tenían muy poca influencia en la impedancia, casi imperceptible; para separaciones mayores no se encontró ninguna variación. Para todas las frecuencias superiores a 2 MHz se puede cumplir el hecho de tener por lo menos $1/2$ longitud de onda de separación, pero para frecuencias inferiores resulta muy difícil, por lo que será nuevamente necesario considerar para estas frecuencias la condición de tener radiadores cortos, y en este caso se tomará como base la longitud física de las antenas. Una consideración a priori pero sin alternativa, por disponibilidad de terreno, será tener una separación entre antenas y otros cuerpos interferentes de por lo menos 3 veces la altura física de la antena considerada.

En cuanto a las pérdidas por atenuación de las señales en el cable, estas son mayores mientras mayor es la frecuencia, por lo que las antenas de frecuencias superiores a 30 MHz se han ubicado en torres cercanas al conmutador de antenas. Estas torres tendrán una altura de 24 m.; torres más altas serían beneficiosas para mejorar la eficiencia de las antenas; pero se tendría mayores pérdidas por atenuación en el cable y además la excesiva altura de estas torres afectan la recepción de las antenas verticales de frecuencias inferiores a 30 MHz.

En las figuras 4.30 y 4.31 se muestran los proyectos de ubicación de las antenas en los terrenos de las estaciones fijas (págs. 185 y 186).

La ubicación de las antenas siguen los criterios generales expuestos anteriormente. La antena de cuadro giratoria será instalada en la cúspide de una torre, conjuntamente con la antena log-periódica modelo HA226/512/50 de la Rohde & Schwarz; esto se hace debido a que no existe un lugar despejado que pueda garantizar una buena precisión en la ubicación de la dirección de las señales mediante la antena de cuadro. La separación entre las 2 antenas será de por lo menos 2.5 m. que corresponde a 0.25 de onda de la frecuencia más baja (30 MHz) de trabajo de la antena log-periódica. Esta separación es para preservar de influencias en las impedancias de las antenas. En los lóbulos de radiación no se tendrá mayor influencia puesto que las antenas son de diferente polarización. En el Anexo 2 se ilustra la forma de instalación de estas antenas.

La antena log-periódica y látigo de la Casa Rohde & Schwarz que servirá para recepción omnidireccional en frecuencias de 50-1000 MHz, se ha ubicado lejos de la sala de mediciones, con el objeto de utilizar la to-

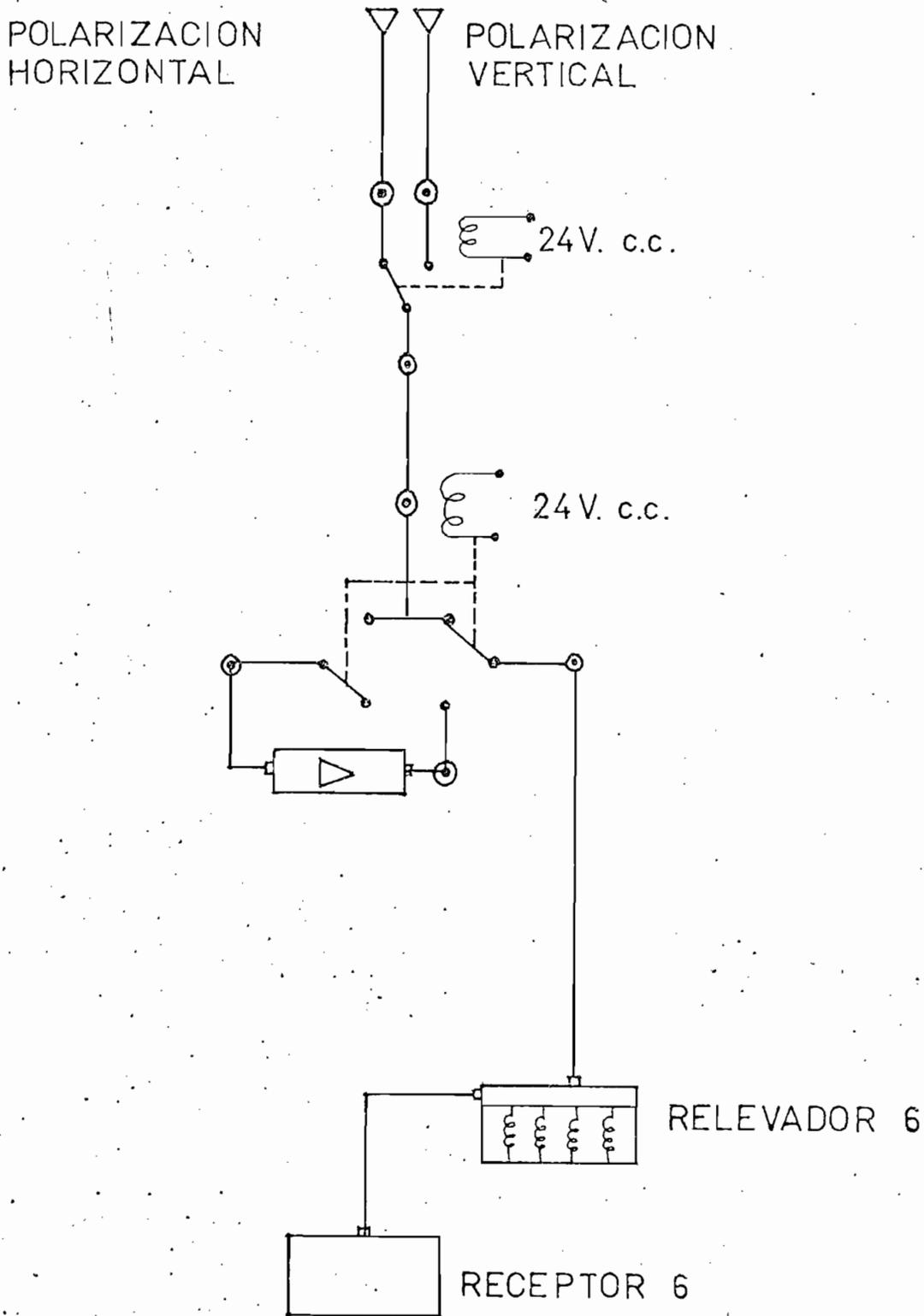
re de la antena log-periódica omnidireccional de la Casa T.C.I. Como puede verse en las figuras 4.30 y 4.31 el cable de transmisión de la antena es de aproximadamente 220 m., lo que da una atenuación de 11 dB a la frecuencia de 1000 MHz (ver figura 4.29, curva FHJ5). Para frecuencias menores la atenuación se reduce (6.6 dB a 500 MHz, 3.3 dB a 100 MHz; 1.5 dB a 30 MHz.).

4.6.- CONMUTACION DE ANTENAS.

La conmutación de antenas se hará en forma automática, utilizando los relevadores coaxiales de 50Ω de impedancia característica que se muestra en el gráfico de recepción, amplificación y distribución de señales de la figura 4.22 (pág. 89).

La figura 4.32 representa las instalaciones necesarias para activar los relevadores coaxiales.

En la figura 4.33 se representa la conmutación de polarización de la antena (a10) modelo 720 de la Granger Associates. La antena tendrá un amplificador, que será instalado cerca de ella. Con el objeto de saber si una frecuencia de intermodulación es propia de la señal en estudio o si es producida por el amplificador, se debe instalar un conmutador como se indica en la misma figura 4.33. El conmutador debe ser de dos polos para evitar oscilación del amplificador.



Fig, 433: Conmutación de la polarización de la antena modelo 720 de la "Granger Associates" (a₁₀).

4.7.- PROTECCION CONTRA RAYOS.

Para la protección contra rayos de las estaciones fijas, se ha previsto utilizar 2 métodos que son:

- El método convencional, que consiste en instalar dispositivos de descarga de sobre voltajes a tierra. Estos deben instalarse en todas las líneas de transmisión, así como en las torres altas, y en las líneas de fuerza eléctrica.

En las figuras 4.34 y 4.35 se dan ejemplos de instalación de dispositivos de protección contra rayos:

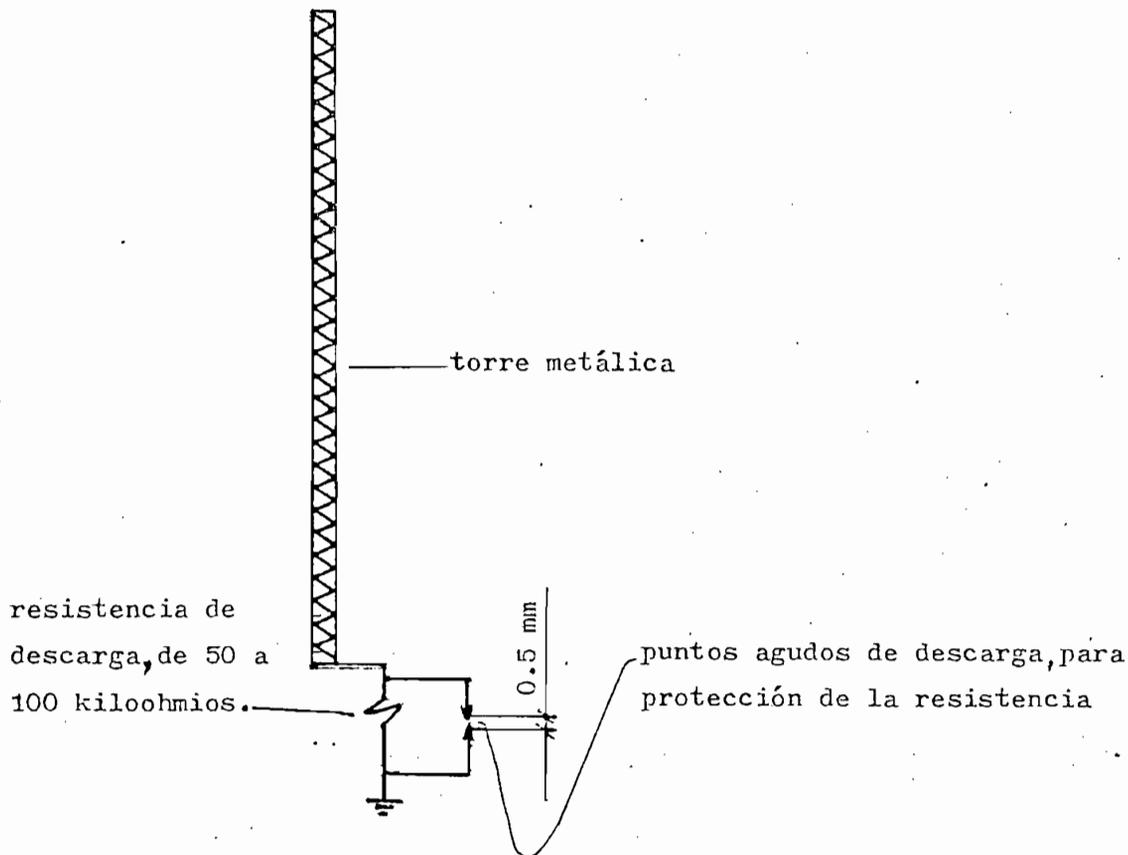


Fig. 4.34: Instalación de "protectores" en las torres metálicas.

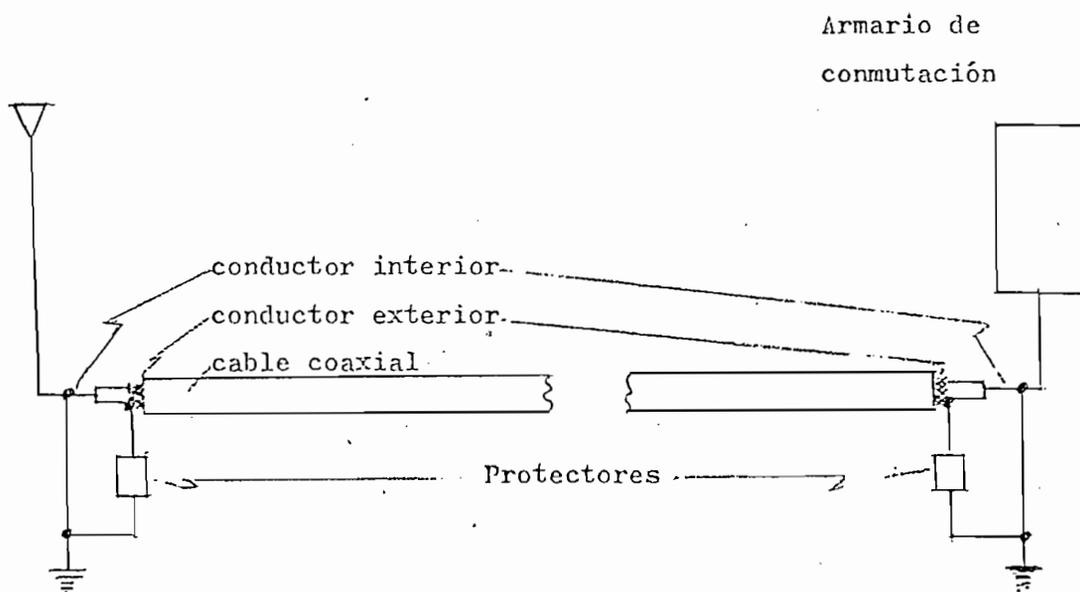


Fig. 4.35: Instalación de "protectores" en las líneas de transmisión.

El hecho de tener las líneas de transmisión subterráneas, además - de evitar interferencias en la recepción de señales, también ayuda a atenuar los sobre voltajes que producen los rayos, puesto que en este caso se tiene una línea de transmisión con pérdidas altas debido a que su dieléctrico es la tierra.

Los protectores más utilizados son los de chispa, que tienen 2 elementos separados a pequeña distancia, estos son introducidos en un bombillo de gas inerte para evitar su oxidación. Deben tener baja capacitancia para no aumentar la impedancia de radiación y producir pérdidas de señales.

- El otro método a emplearse [24], consiste en descargar los niveles de voltaje de las nubes, evitando así que se lleguen a producir rayos. - Para lograr esto debe instalarse en la zona a protegerse la mayor cantidad de puntos de descarga, que son puntas afiladas de más o menos 2 cm. de largo, estos serán instalados aprovechando toda estructura metálica - alta de las estaciones, cuidando de no producir interferencias en la recepción de señales. Así por ejemplo, se instalará en la cúspide de las torres especies de árboles, donde pueda ponerse el mayor número de puntos de descarga; igualmente la cerca del terreno de la estación deberá ser - construída con dos o tres hilos de alambre de puas de 1.5 a 2 cm. de largo y afilados, especialmente construído para el efecto.

Esta cerca debe instalarse a baja altura (1.20 m) para evitar interferencias en la recepción de señales. Cada 10 a 15 metros se instalará un soporte metálico de 2 m de altura como máximo que tendrá una ejecu -- ción especial, como indica la figura 4.36.

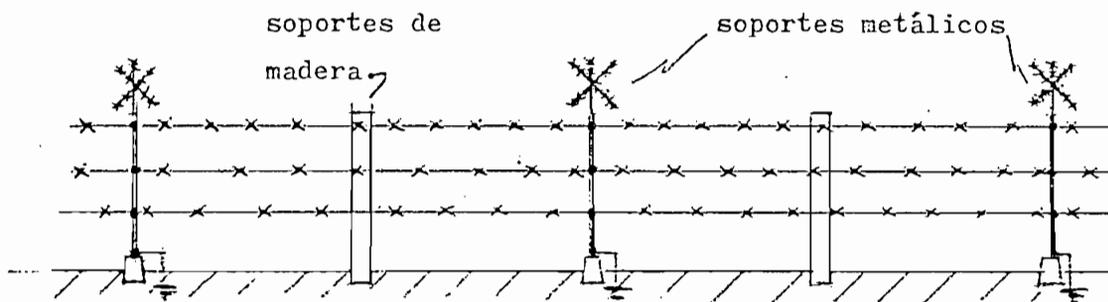


Fig. 4.36: Construcción especial de la cerca de los terrenos de las esta ciones fijas, para procurar la descarga de sobrevoltaje de - las nubes.

4.8.- TORRES: BREVE ESTUDIO ESTRUCTURAL Y DE INSTALACION.

4.8.1.- Generalidades.

La ubicación, altura y uso de las torres que necesita cada esta -
ción fija puede verse en las figuras 4.30 y 4.31 (pág. 185 y 186). To
das ellas son de sección triangular de 60 cm. de lado.

Para el diseño de torres se seguirán las siguientes consideracio-
nes, tomadas de "American Standard Minimum Design Loads in Building and
Other Structures, A58.1 - 1955", USA Standards Institute. [25] .

- 1) Torres menores que 600 pies de altura serán diseñadas para una pre-
sión horizontal del viento de 20 lib/pie² sobre superficies planas
y 13.3 lib/pie² sobre superficies cilíndricas.
- 2) Todas las partes de la estructura serán diseñadas de tal manera que
las unidades de esfuerzos que resultan de carga_g específicas no ex-
cedan de los siguientes valores en lib/pie²:

- Tensión axial sobre la sección neta = 20000 lib/pie².

- Compresión axial sobre la sección bruta:

Para miembros con valores de L/R no mayores que 120:

$$C = \frac{18000}{1 + (L^2/18000 R^2)} \quad \text{lib/pie}^2$$

donde L = longitud de los miembros libres, y

R = radio de giro correspondiente, ambos en pulgadas.

Máximo L/R para miembros longitudinales principales = 140.

Máximo L/R para otros miembros de compresión con esfuerzos calcula
dos = 200

Máximo L/R para miembros con esfuerzos no calculados = 250.

4.8.2.- Diseño.

Para el diseño se tomó en cuenta la fuerza del viento y el peso de los materiales. La fuerza que ejerce el viento se consideró uniforme - en toda la torre. Estas fuerzas serán soportadas por los tensores (vientos) y por los tubos verticales y transversales de la estructura. Los tensores soportan fuerzas de tracción mientras que la estructura soporta fuerzas de tracción, compresión y torsión.

Si F_v es la fuerza del viento por unidad de longitud, en cada extremo de sujeción deberá existir una contrafuerza horizontal --
 $F = \frac{F_v \cdot L}{2}$; donde L es la longitud total del tramo considerado. El tensor soportará la fuerza $F_{te} = F/\text{sen } \theta$, donde θ es el ángulo que forma éste con la torre, mientras que la torre soportará la componente vertical de F_{te} : $F_{to} = \frac{F}{\text{tg } \theta}$.

La torsión que soporta una torre o tramo de torre se representa en la figura 4.37. Se toma como referencia el punto P.

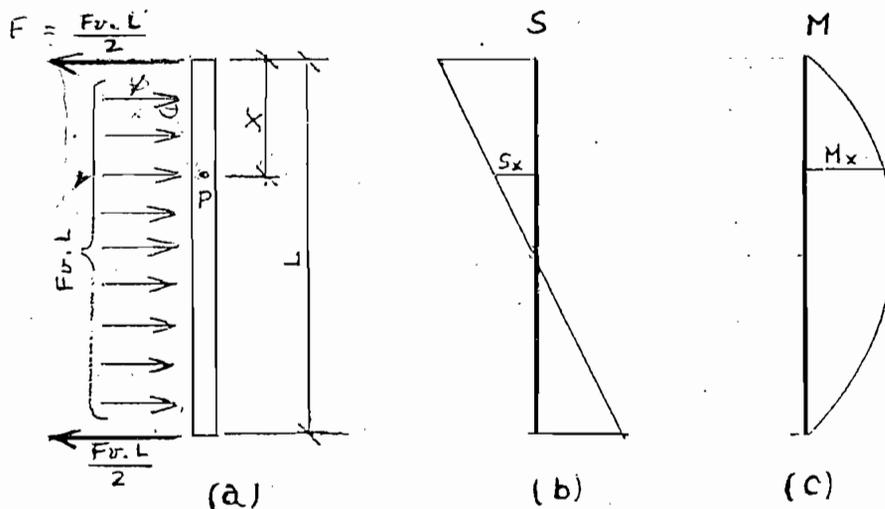


Fig. 4.37: (a) Fuerzas que actúan sobre una torre o tramo de torre libres (sin tensores intercalados); (b) Distribución de fuerzas laterales internas; (c) Distribución de momentos.

F_v : fuerza del viento por unidad de longitud.

S_x : fuerza lateral interna de la torre en el punto P.

M_x : momento de torsión de la torre en el punto P.

$$S_x = \frac{F_v \cdot L}{2} - F_v \cdot X = F_v \left(\frac{L}{2} - X \right)$$

$$M_x = \frac{F_v \cdot L}{2} \cdot X - F_v \cdot X \cdot \frac{X}{2} = \frac{F_v}{2} (L \cdot X - X^2)$$

Para encontrar el máximo de momentos en la torre se tiene:

$$\frac{dM_x}{dX} = \frac{F_v}{2} (L - 2X) = 0, \text{ al máximo de } M$$

$$L - 2X = 0 \quad ; \quad X = \frac{L}{2}$$

Por lo que la máxima torsión que deberá soportar cada tramo de torre será en la mitad de cada longitud libre (sin tensores intercalados).

La estructura general de las torres se presenta en la figura 4.38, donde se muestra un tramo base y un tramo superior. Estos serán contruidos de 6 m. de largo, que es la longitud normal de los tubos en el mercado. La forma angular de la base, se debe a la necesidad de evitar fuertes torsiones que puedan producir los movimientos de la torre.

Si se considera, por precaución, que la máxima velocidad del viento es de 70 $\frac{\text{mill}}{\text{hora}}$ ($112 \frac{\text{km}}{\text{hora}}$), este ejercerá sobre superficies cilíndricas, como es el caso de las torres diseñadas, una presión de 13.3 lib/pie² (4.89 kg/m²) [25].

Luego, al fijar que los soportes verticales sean tubos de 1 pulgada (1.31 pulg. de diámetro exterior) y los transversales de 3/8 de pulgada (0.675 pulg. de diámetro exterior), se tiene que el área por pie de altura que presenta este tipo de estructura es: 0.75 pies² (0.069 m²) y por

tanto la fuerza (máxima) del viento será: $13.3 \times 0.75 = 10$ lib. por pie de altura o 15 kg. por metro.

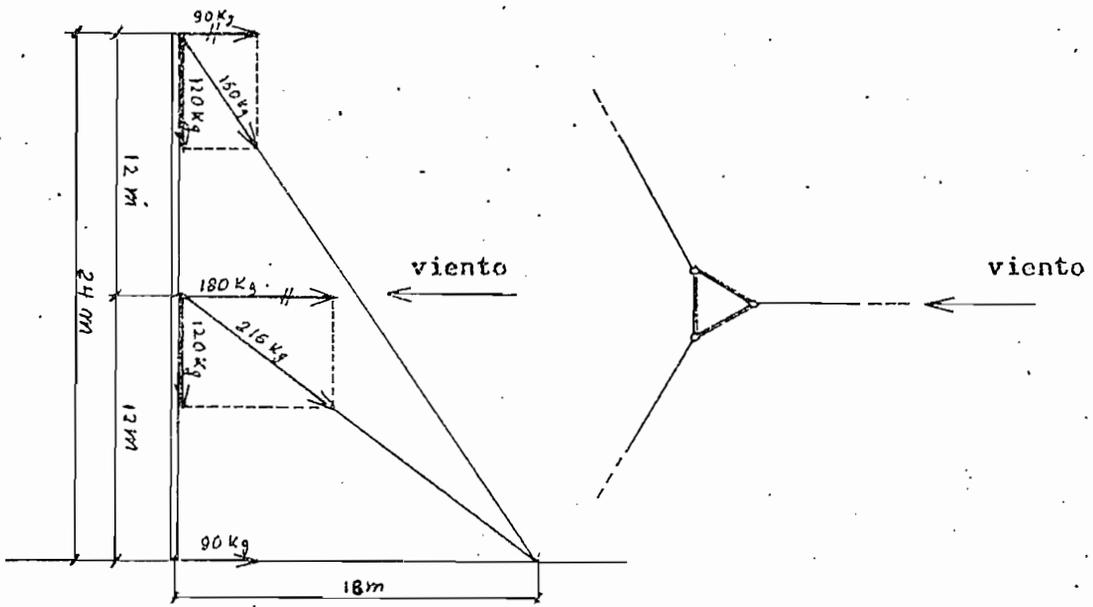
Se consideran dos casos extremos: a): cuando el viento llega perpendicularmente a un vértice, que es el caso más favorable y b): cuando el viento llega perpendicularmente a un lado (de la sección triangular), que es el caso menos favorable. En las figuras 4.39 (a) y 4.39 (b) se presenta el cálculo de las fuerzas para torres de 24 m. para las que se ha considerado necesario 2 juegos de tensores conectados a 12 y 24 metros de altura, como indican las figuras, con el objeto de evitar grandes torsiones en el centro de la torre. La distancia desde la base de la torre a la base de sujeción de los tensores en tierra es de $3/4$ la altura de la torre, que es un compromiso entre las fuerzas en los tensores, su longitud, y el espacio que ocupan.

De las figuras se deduce que la mayor tensión deben soportar los tensores inferiores: 216 kg., y que la mayor fuerza vertical (debida al viento) ejercida por los tensores sobre la torre es de 480 kg., que corresponde al caso b). Considerando que las torres llevarán en su cúspide una o dos antenas con una superficie cilíndrica estimativa de 8 pies², se incrementará la fuerza horizontal en el terminal superior de la torre en 50 kg., lo que dará una fuerza horizontal total de 140 kg., que será soportada por los tensores superiores en 233 kg. y por la torre como presión vertical en 187 kg. La tensión máxima en los tensores superiores será entonces 233 kg.

Para tensores podrá utilizarse cable de hierro de 7 hilos y $1/4$ de pulgada de diámetro, puesto que éstos pueden resistir tensiones de hasta 2170 kg. para hierro de alta resistencia o 1300 kg. para hierro común -

VISTA FRONTAL

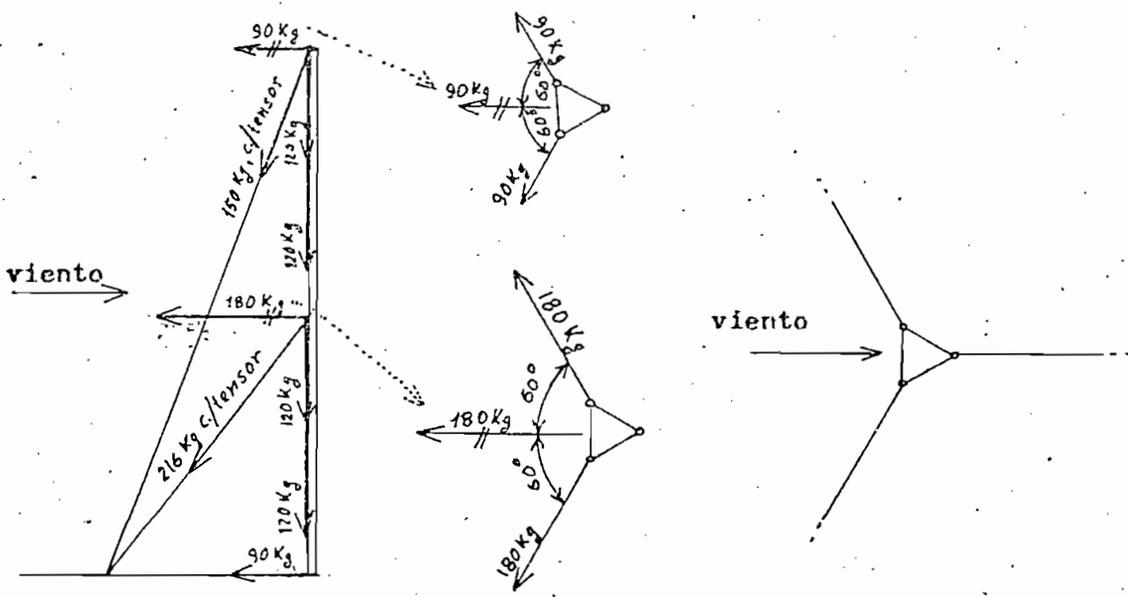
VISTA SUPERIOR



(a)

VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR



(b)

Fig. 4.39: Fuerzas producidas por el viento. (a): cuando éste llega perpendicular a un vértice. (b): cuando éste llega perpendicular a un lado.

[26] , con lo que se tendrá un factor de seguridad (siendo 233 kg. la máxima fuerza que deben soportar) de 8.3 en el primer caso y de 4.6 en el otro.

La fuerza vertical total ejercida por los tensores sobre la torre, debida al viento, para el caso menos favorable, será: $187 \times 2 + 120 \times 2 = 614$ kg. El peso de la torre calculado para esta estructura es de 18 kg/m [27] , que da un total de: 430 kg. Sumados el peso y la fuerza vertical debida al viento da 1044 kg., que es la mayor fuerza que deberá soportar la base de la torre.

La máxima torsión que soportarán las torres de 24 m. instaladas con dos juegos de 3 tensores, en la cúspide y en la mitad, estará en los 6 y los 18 metros, que corresponden a la mitad de cada tramo libre. En la figura 4.40 se indica la máxima fuerza de torsión para el caso menos favorable: cuando el viento llega perpendicularmente a un lado (del triángulo) de la torre.

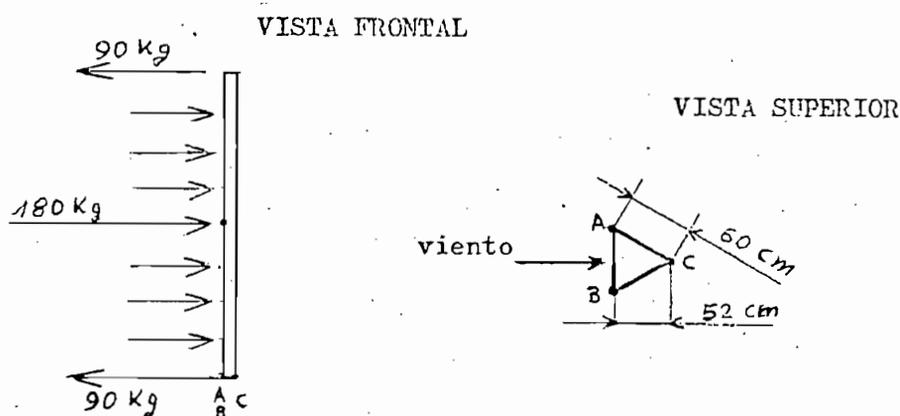


Fig. 4.40: Máxima fuerza de torsión para el caso menos favorable (cuando el viento llega perpendicularmente a un lado de la torre)

$$M_{\max} = (90 \text{ kg} \cdot 6\text{m}) - (90 \text{ kg} \cdot 3\text{m}) = 270 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Esta es una fuerza de compresión sobre los parantes A y B. La máxima fuerza será soportada por el parante C y es la fuerza de tracción:

$$M = F \cdot d$$

$$F_{\max} = \frac{M_{\max}}{d} = \frac{270 \text{ kg} \cdot \text{m}}{0.52 \text{ m.}} = 520 \text{ kg.}$$

Para cumplir con la condición 2), propuesta en el párrafo 4.8.1 - (véase pág. 120), se procede a calcular las fuerzas máximas axiales que pueden soportar los miembros de la estructura, ellos son: verticales, horizontales y oblicuos, siendo sus longitudes (ver figura 4.38): --
 $L_v = 74 \text{ cm.}; L_h = 60 \text{ cm.}; L_o = 95 \text{ cm.}$

Fuerza máxima axial de trabajo que pueden soportar los miembros verticales.-

Tubo: 1 pulgada (diámetro nominal): radio interior $r_i = 0.5485 \text{ pulg.};$
 radio exterior, $r_e = 0.6575 \text{ pulg.}$ [27]

$$L = 74 \text{ cm.} = 29 \text{ pulg.}$$

$$R \text{ (radio de giro)} = \frac{r_i^2 + r_e^2}{2}$$

$$L/R = 67 < 120, \text{ por tanto:}$$

$$\text{carga por pulgada cuadrada: } C = (17000 - 0.485 L^2/R^2) \frac{\text{lib}}{\text{pulg}^2}$$

$$C = 14800 \text{ lib/pulg}^2$$

$$F_{\max} \text{ axial} = C \times A$$

$$A = \pi r_e^2 - \pi r_i^2 = 0.41 \text{ pulg}^2.$$

$$F_{\max} \text{ axial} = 6070 \text{ lib.} = 2756 \text{ kg.}$$

Fuerza máxima axial de trabajo que pueden soportar los miembros horizontales.-

Tubo: 3/8 pulgada (diámetro nominal): radio interior, $r_i = 0.247$ pulg.

radio exterior, $r_e = 0.338$ pulg. [27]

$L = 60$ cm. = 23.6 pulg.

$R = 0.223$ pulg.

$L/R = 105.8 < 120$; por tanto:

$$C = (1700 - 0.485 L^2/R^2) \frac{\text{lib}}{\text{pulg}^2}$$

$$C = 11.570 \text{ lib/pulg}^2$$

$$A = \pi r_e^2 - \pi r_i^2 = 0.090 \text{ pulg}^2$$

$$F_{\text{max axial}} = 11570 \text{ lib/pulg}^2 \times 0.090 \text{ pulg}^2$$

$$F_{\text{max axial}} = 1040 \text{ lib.} = 470 \text{ kg.}$$

Fuerza máxima axial de trabajo que pueden soportar los miembros oblicuos.-

Tubo: 3/8 pulgada (diámetro nominal): radio interior, $r_i = 0.247$ pulg.

radio exterior, $r_e = 0.338$ pulg.

$L = 95$ cm. = 37.4 pulg.

$R = 0.223$ pulg.

$L/R = 167.7 > 120$; por tanto:

$$C = \frac{18000}{1 + (L^2/18000 R^2)}$$

$$C = 7024 \text{ lib/pulg}^2$$

$$A = 0.090 \text{ pulg}^2$$

$$F_{\text{max axial}} = 7024 \text{ lib/pulg}^2 \times 0.09 \text{ pulg}^2$$

$$F_{\text{max axial}} = 632 \text{ lib.} = 287 \text{ kg.}$$

En resumen las fuerzas máximas axiales de trabajo que pueden soportar los miembros son:

miembros verticales: 2756 kg.

miembros horizontales: 470 kg.

miembros oblicuos: 287 kg.

Fuerzas máximas axiales necesarias en los diferentes miembros.-

Los miembros verticales que más fuerza axial deben soportar son los situados en la mitad del tramo libre inferior de la torre, puesto que éstos resisten: la máxima fuerza de torsión (520 kg.), las presiones verticales de todos los tensores y el peso de los miembros superiores; por facilidad se desprecia el peso de los miembros inferiores y se considera que sobre ellos recae toda la fuerza de la base (1044 kg.; - pág. 126). Se considera, para el caso menos favorable, que la fuerza de torsión es soportada por uno solo de los parantes, mientras que las fuerzas del peso y presión de los tensores es soportada por los 3 parantes; por tanto, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza máxima necesaria en los miembros verticales} &= 520 \text{ kg.} + \frac{1044}{3} \text{ kg} = \\ &= 868 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Los miembros horizontales deberán soportar el máximo de la fuerza lateral interna de la torre, esto sucede en las uniones de los tensores (ver fig. 4.37), es decir:

$$\text{Fuerza máxima necesaria en los miembros horizontales} = 90 \text{ kg.}$$

Los miembros oblicuos deberán soportar la componente correspondiente de los miembros horizontales contiguos, esto es:

$$F_{\text{max oblicua}} = \frac{F_{\text{max horizontal}}}{\cos \theta}, \text{ donde } \theta \text{ es el ángulo que forman los dos miembros (ver figura 4.38); por tanto:}$$

Fuerza máxima necesaria en los miembros oblicuos = $\frac{90 \text{ kg}}{0.63} = 142 \text{ kg}$.

En resumen las fuerzas máximas axiales necesarias en los diferentes miembros son:

miembros verticales: 868 kg.

miembros horizontales: 90 kg.

miembros oblicuos: 142 kg.

Al comparar estos valores con las fuerzas máximas axiales de trabajo que pueden soportar los miembros (pag. 129), se deduce que los tubos escogidos en el diseño son los apropiados para la construcción de las torres de 24 m. y más pequeñas.

Siguiendo este método de cálculo se ha elaborado una tabla que servirá para el diseño de otras torres. Se ha tenido presente para ello las consideraciones del párrafo 4.8.1. La tabla se presenta en el cuadro 4.8.

Cuadro 4.8: Compresión axial máxima sobre secciones brutas, C, para diferentes valores de L/R. Donde L es la longitud del miembro libre y R el radio de giro.

L/R	C lib/pulg ²	C kg/cm ²
0	17000	1196
10	16952	1193
20	16818	1183
30	16591	1168
40	16274	1145

Continuación del Cuadro 4.8:

L/R	C lib/pulg ²	C kg/cm ²
50	15865	1116
60	15366	1081
70	14775	1040
80	14094	992
90	13323	938
100	12150	855
110	11132	783
120	10462	736
130	9283	653
140	8617	606
150	8000	563
160	7432	523
170	6907	486
180	6429	452
190	5990	422
200	5587	393

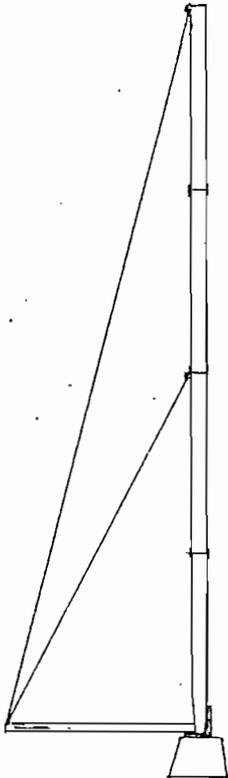
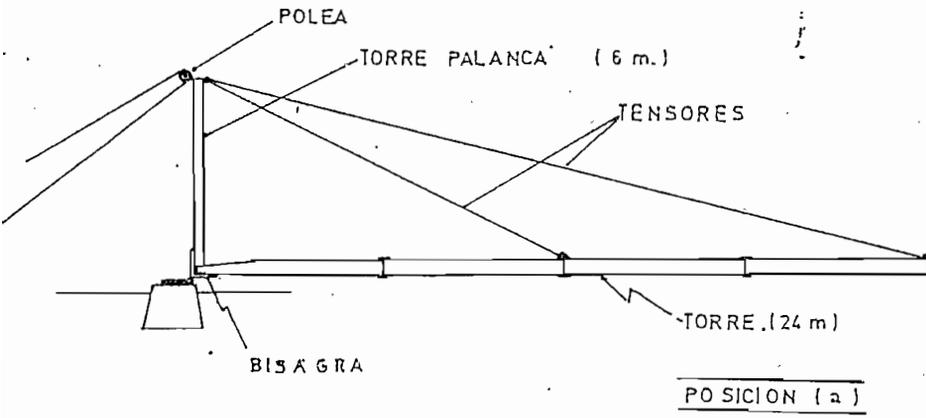
4.8.3.- Forma de instalación.

En vista de la dificultad de tener grandes palas mecánicas para levantar las torres armadas, se propone el siguiente método, que consiste en utilizar una "torre palanca":

- 1.- Se instala en la base de hormigón una bisagra grande, capaz de soportar las fuerzas de la base de la torre al levantarla.
- 2.- Se conecta a la bisagra la torre palanca y se la levanta hasta tenerla en posición vertical. Se conecta la torre a levantarse en el otro lado de la bisagra. Como indica la figura 4.41, posición (a).
- 3.- Se levanta la torre instalada, hasta tenerla en posición vertical. - Figura 4.41, posición (b).
- 4.- Se desarma la torre palanca y se retira la bisagra utilizando gatas hidráulicas para levantar levemente la torre.
- 5.- Se gira lentamente la torre hasta que coincidan los agujeros de la base y contrabase de la torre, para colocar los pernos correspondientes.
- 6.- Se ajusta las tensiones en los tensores definitivos, mediante los templadores, y se retira los tensores provisionales.

VISTA LATERAL IZQUIERDA

VISTA FRONTAL



POSICION (b)

Fig. 4.41: Forma de instalación de las torres (24 m.).

5. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE ANTENAS DE
BANDA ANCHA PARA RECEPCION EN EL
RANGO DE 10 KHz. A 30 MHz.

5.1.- ANTENAS DE BANDA ANCHA.-

Un radiador sencillo, actúa de conformidad con su longitud eléctrica, es decir, sus dimensiones en relación a la longitud de onda de la frecuencia transmitida o recibida. Aunque hay radiación apreciable de cualquier conductor cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda, las antenas cuyas dimensiones producen resonancia a las frecuencias deseadas de transmisión o recepción, presentan impedancias esencialmente resistivas a sus líneas de transmisión y por lo general son fácilmente acopladas a los equipos de transmisión o recepción. Por esta razón en instalaciones que trabajan en una frecuencia fija, muchas veces se utilizan antenas resonantes, como el monopolo vertical de $1/4$ de longitud de onda o el dipolo horizontal de $1/2$ longitud de onda. Estas antenas son menos útiles para comprobación técnica, porque para ello es necesario captar señales sobre un gran rango de frecuencias.

Las antenas resonantes mantienen su impedancia resistiva y acoplamiento bueno solamente dentro de un rango relativamente limitado y generalmente la relación entre la intensidad de campo incidente y la señal entregada al receptor, tendrá variaciones relativamente grandes sobre un rango amplio de frecuencias. Para minimisar este problema existen algunos diseños de antenas especiales de banda ancha.

Una antena es de banda ancha, cuando sus características eléctricas como son: impedancia de entrada, diagrama de radiación, altura efectiva, presentan pequeñas variaciones en un amplio rango de frecuencias.

Existe un gran número de antenas de banda ancha tanto direccionales como omnidireccionales, las mismas que generalmente se basan en los principios de Rumsey: condición angular y condición de escalamiento.

- "Condición Angular":

Cualquier estructura cuya forma esté completamente especificada por ángulos y no por alguna dimensión longitudinal en particular (implica longitud infinita) tendrá propiedades de independencia de la frecuencia.

- "Condición de escalamiento":

Este segundo postulado de Rumsey dice: si una estructura llega a ser igual a sí misma al multiplicar sus dimensiones por una constante de relación t , tendrá las mismas propiedades eléctricas a la frecuencia f y a la frecuencia tf .

La condición angular es satisfecha teóricamente por 2 clases de antenas como son, las antenas tipo cónico y las tipo espiral equiangular. En la práctica, esta condición no puede ser satisfecha estrictamente -- puesto que para ello deberían extenderse desde el origen o punto de alimentación, hasta el infinito. De tal manera, dada las limitaciones de sus dimensiones, las antenas son independientes de la frecuencia en un rango finito determinado.

Para que se cumpla estrictamente la condición de escalamiento, también es necesario tener estructuras de extensión infinita. Estructuras finitas pueden dar buena aproximación a esta condición sobre rangos fini

tos de frecuencia. Una antena satisface estrictamente la condición de escalamiento a las frecuencias: f , ft , ft^2 , ft^3 , ... ft^n . En este caso sus características eléctricas como son: impedancia, diagramas de radiación, distribución de corriente, etc., tendrán los mismos valores en estas diferentes frecuencias.

Si se hace t suficientemente cercana a la unidad, se tiene que las características eléctricas permanecen casi constantes sobre los rangos de frecuencias (f a ft); (ft a ft^2); (ft^2 a ft^3); ..., y se consigue así características casi independientes de la frecuencia.

El principio de escalamiento es utilizado para el diseño de antenas logarítmico-periódicas, puesto que si a la serie de frecuencias: f , ft , ft^2 , ft^3 , se la expresa en forma logarítmica, se tendrá: $(\log f)$, $(\log f + \log t)$, $(\log f + 2\log t)$, $(\log f + 3\log t)$... que es una serie, con periodo $\log t$, del logaritmo de la frecuencia.

Dentro de las antenas de banda ancha se estudiarán experimentalmente antenas omnidireccionales de polarización vertical para recepción en frecuencias inferiores a 30 MHz, que serán utilizadas en el registro general del espectro radioeléctrico.

El Comité Consultivo Internacional de Radio, C.C.I.R., recomienda dos alternativas para cubrir todo el rango de frecuencias inferiores a 30 MHz. Ellas son: antena cónico invertida y antena vertical omnidireccional cargada.

Se hará un estudio experimental de las características de impedancia de entrada de cada una de ellas y un análisis comparativo de ganancia entre las dos antenas, para escoger la más apropiada.

5.2.- ANTENA DE CONO INVERTIDO.

5.2.1.- Introducción.

Las antenas cónicas cumplen con la condición angular, por tanto su diseño para un rango de frecuencias determinado dependerá fundamentalmente de las dimensiones de las paredes del cono. En el caso práctico de antenas cónicas para bajas frecuencias, debido a las longitudes de onda, no es necesario que el cono tenga paredes macisas. La conformación del cono mediante conductores convenientemente espaciadas presenta resultados satisfactorios.

El C.C.I.R. recomienda [4] una antena cónica que puede utilizarse para cubrir toda la gama de 12 kHz a 30 MHz. "Está constituida por 16 conductores uniformemente espaciados, de 7.6 m. de altura, que terminan en una conexión soldada en el vértice... Una característica propia de esta antena en cono invertido, reside en que la impedancia (valor nominal 75 ohmios) varía poco en la banda de frecuencias utilizada; puede pues, conectarse directamente a un cable coaxial de una impedancia característica de 75 ohmios sin introducir ningún defecto de adaptación importante".

La figura 5.1 sintetiza la conformación física de la antena según las recomendaciones del CCIR.

Si se aumenta la longitud del cono, mejoran las características de la antena en las frecuencias más bajas, y al variar el ángulo del cono varía la impedancia de entrada. El objetivo del presente estudio es encontrar las mejores características de estabilidad dentro de todo el rango de 10 kHz a 30 MHz, tratando de obtener además una impedancia de

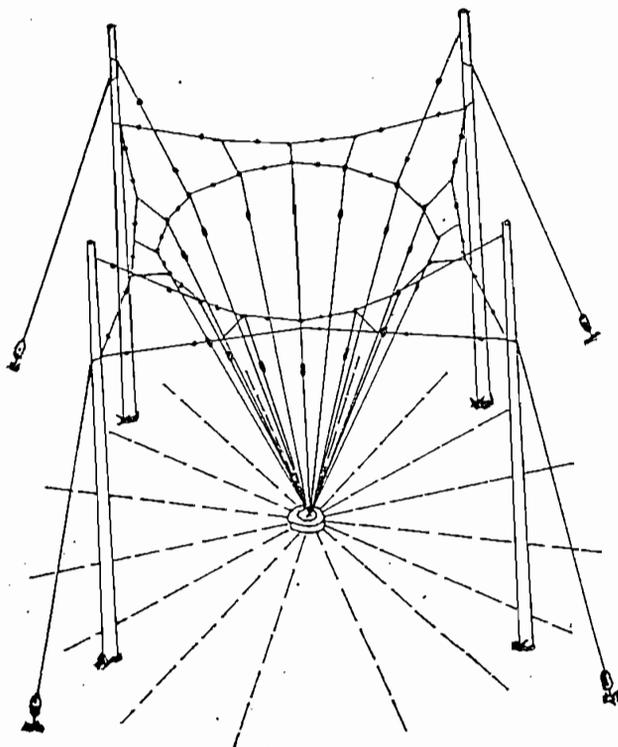
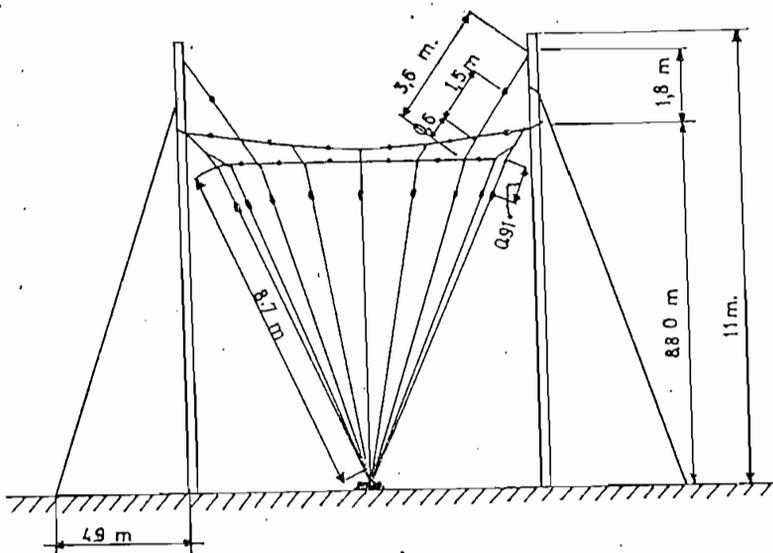


Fig. 5.1: Configuración física de la antena de cono invertido, según la recomendación del C.C.I.R. [4].

entrada de 50Ω , para poder acoplar directamente al cable coaxial de 50Ω que se utiliza en la estación.

5.2.2.- Características generales.-

Las características de la antena de cono invertido pueden deducirse de las características del dipolo bicónico. La antena cónica colocada con su vértice a tierra, conductora perfecta, forma con su imagen, que produce la tierra como plano reflector, un dipolo bicónico como lo indica la figura 5.2.

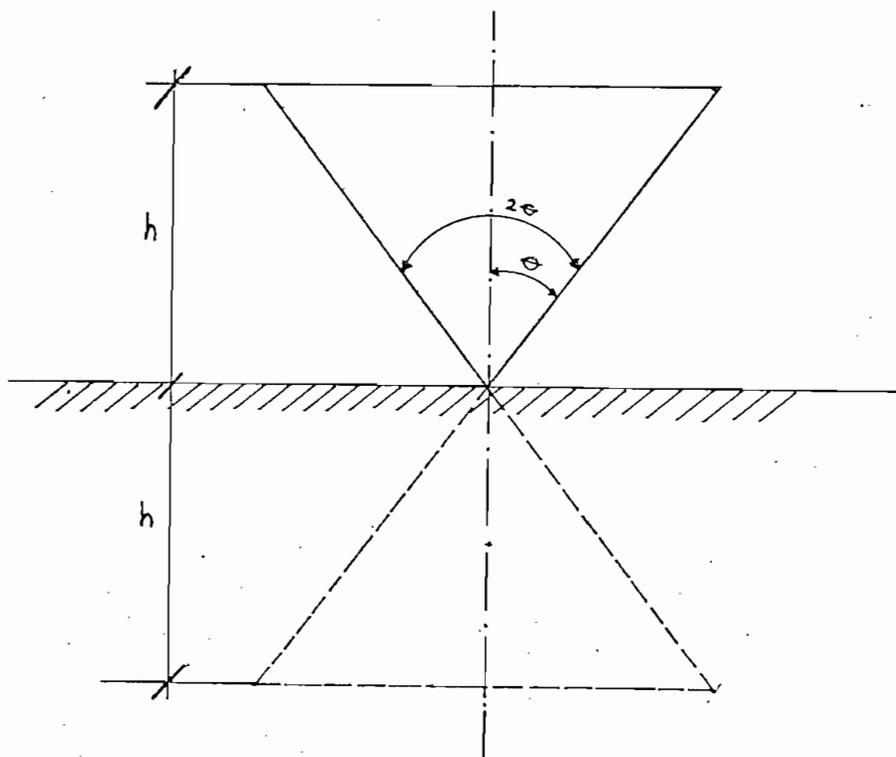


Fig. 5.2: Representación de un dipolo bicónico formado por un cono y su imagen.

Las características de impedancia de la antena cónica alimentada en el vértice, corresponden a la mitad de los valores del dipolo bicónico - alimentado en el centro.

La configuración de radiación para el monocono será la misma que la del dipolo bicónico en el espacio libre, pero existirán solamente los - diagramas correspondientes al sector que separa el plano reflector.

5.2.3.- Variación de la impedancia en función del ángulo del cono.-

Si el ángulo del cono (ver fig. 5.2) es muy pequeño, las caracterís- ticas del dipolo bicónico se aproximan a las de un dipolo de alambre, - presenta por tanto grandes variaciones de impedancia con la variación de la frecuencia.

Al aumentar el ángulo se reducen las variaciones de impedancia. Es to ocurre cuando θ está comprendido entre 30° y 60° , sin que estos valo- res sean críticos, según investigaciones de muchos autores.

Las figuras 5.3 y 5.4 [28] representan las variaciones de resis- tencia y reactancia en función del ángulo α del cono ($\alpha = 2\theta$).

Como puede verse en las figuras 5.3 y 5.4, el ángulo del cono que - presenta menores variaciones es el ángulo de 90° , por lo que resulta el más conveniente dentro del propósito de tener una antena de banda ancha. A frecuencias altas (longitudes eléctricas mayores) esta característica es mucho más pronunciada.

Las variaciones de impedancia característica en función del ángulo del cono se presentan en la fig. 5.5. El ángulo θ de 45° , que correspon- de a un ángulo del cono de 90° , da una impedancia de 100Ω para el dipo- lo bicónico, que equivale a 50Ω para el monocono. [28]

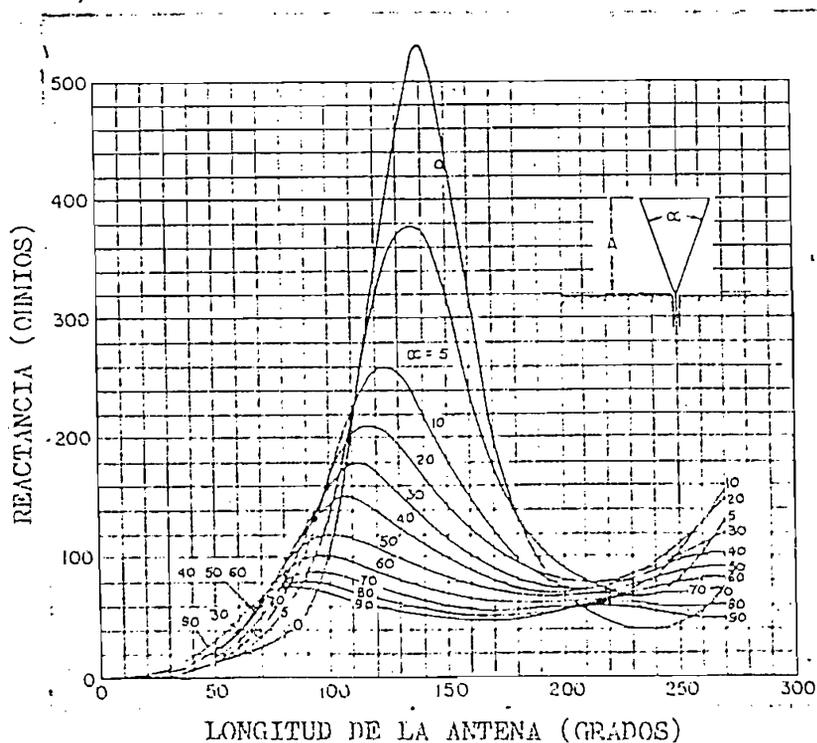


Fig. 5.3: Variaciones de resistencia en función del ángulo α del cono ($\alpha = 2\theta$) [28].

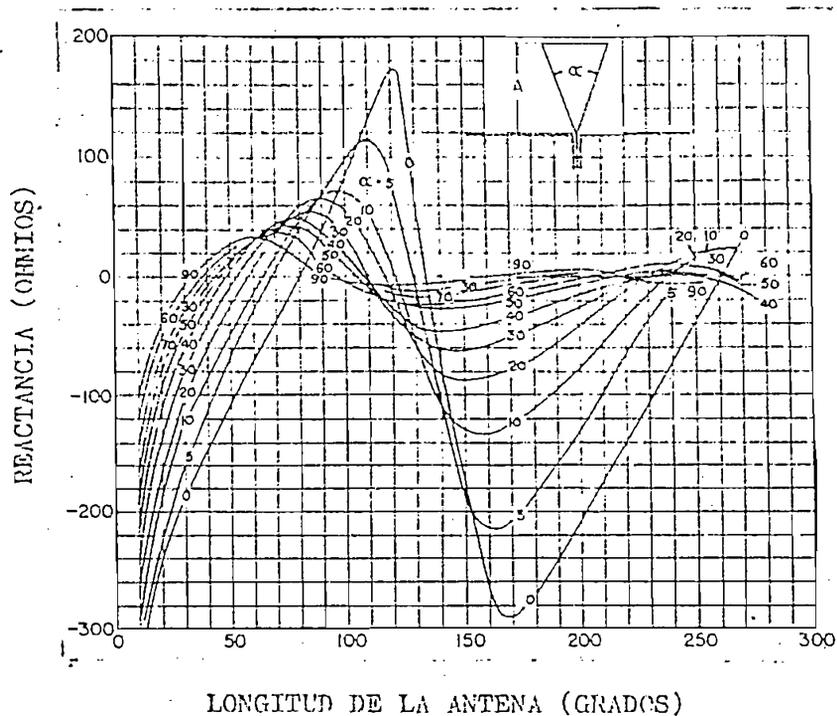


Fig. 5.4: Variación de reactancia en función del ángulo α del cono ($\alpha = 2\theta$) [28].

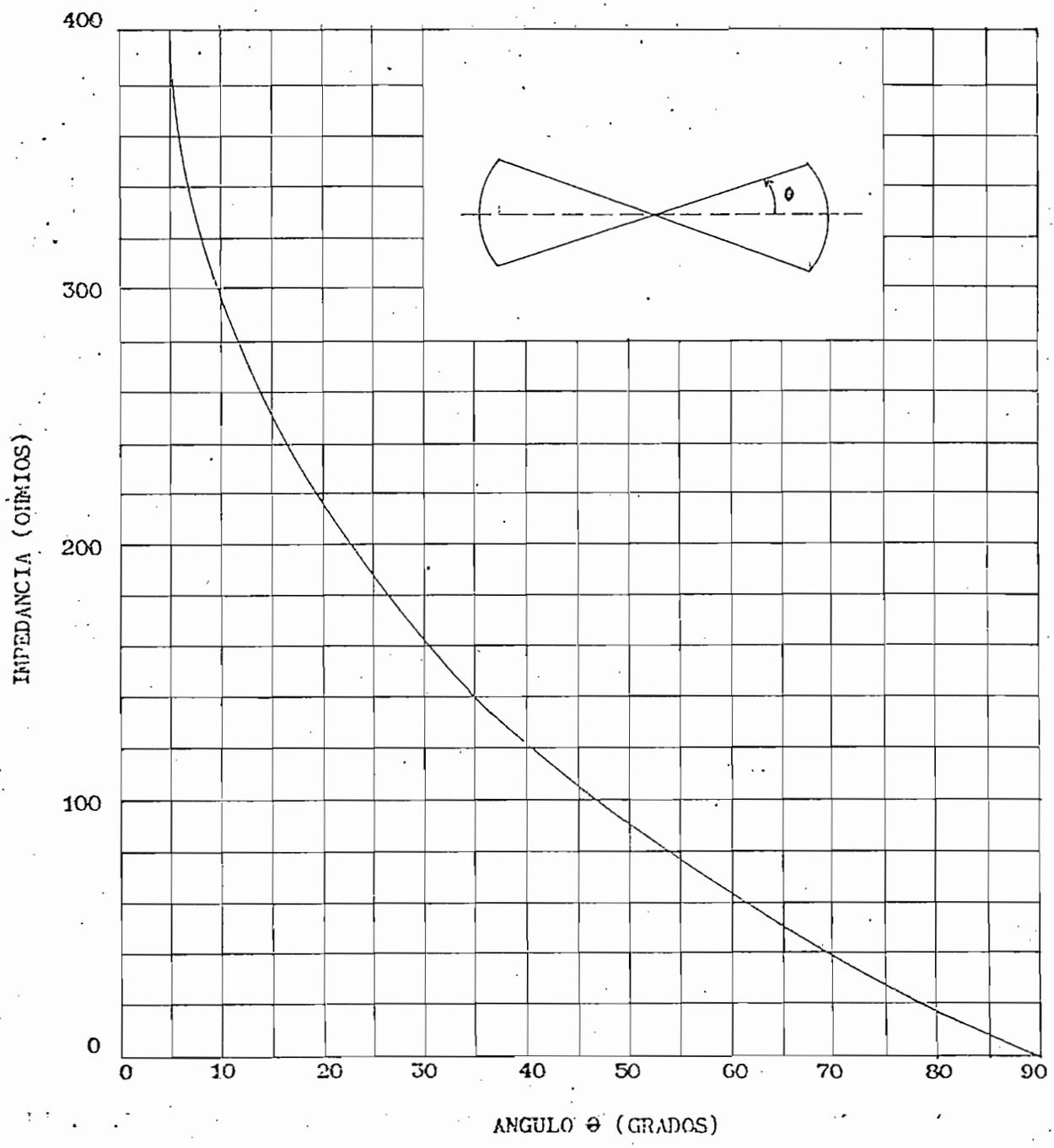


Fig. 5.5: Variaciones de impedancia caracteristica en función del ángulo θ .

Se concluye por tanto que al tener un cono cuyo vértice tenga 90° , - se cumple teóricamente con el doble propósito de tener la menor variación de impedancia, y $50\ \Omega$ de impedancia de entrada.

5.2.4.- Influencia de la longitud de las paredes del cono en la impedancia.-

Si la longitud eléctrica de las paredes del cono es mayor que $1/2$ longitud de onda, la impedancia es relativamente constante y resistiva.

Longitudes inferiores a $1/4$ de longitud de onda, producen un aumento acelerado de la reactancia capacitiva de la antena.

La dimensión promedio de las paredes del cono fijadas para el presente estudio es de 19.3 m. Si 19.3 m. es $\lambda/2$, la frecuencia correspondiente será de 7.8 MHz. y si 19.5 m. es $\lambda/4$, la frecuencia correspondiente será de 3.9 MHz.

De tal manera, se tendrá que para frecuencias inferiores a 3.9 MHz - la impedancia empezará a crecer considerablemente, y que para frecuencias superiores a 7.8 MHz será relativamente constante y resistiva. Entre estas dos frecuencias hay una transición gradual.

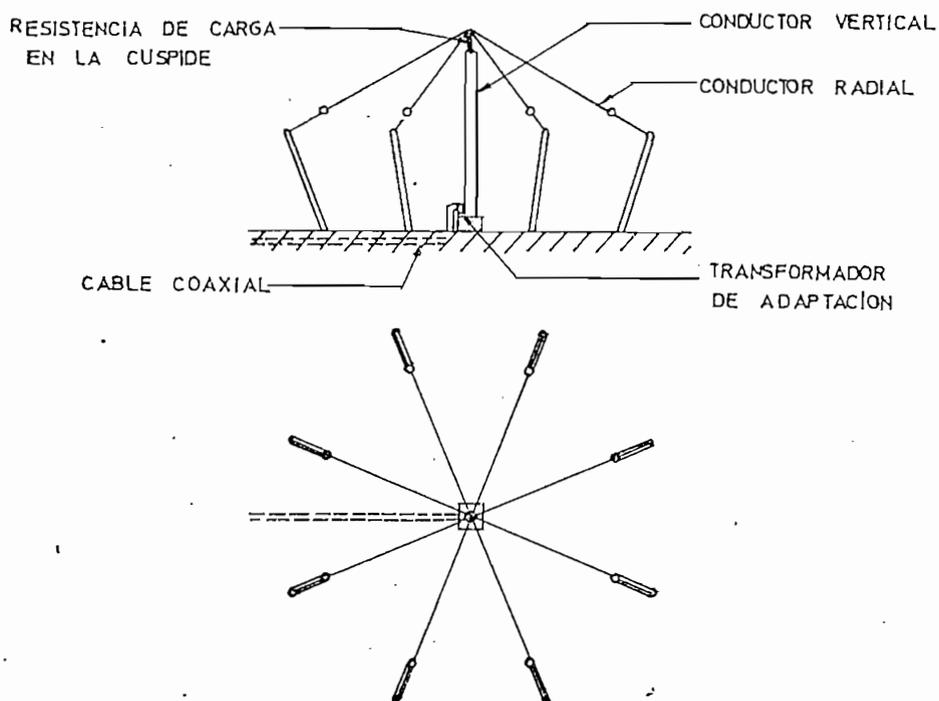
Debe considerarse que estos valores son teóricos y que en la práctica pueden variar significativamente. Esto se comprobará posteriormente con las mediciones de impedancia de entrada.

5.3.- ANTENA VERTICAL OMNIDIRECCIONAL CARGADA.

5.3.1.- Generalidades.-

La antena vertical omnidireccional cargada, llamada comunmente Araña:

Japonesa, está constituida eléctricamente por un radiador vertical terminado en su cúspide en una carga capacitiva. La figura 5.6 sintetiza la configuración física de la antena según las recomendaciones del C.C.I.R. [4].



Resistencia de carga: 250Ω .

Longitud del conductor radial: 8 m.

Longitud del conductor vertical: 8 m.

Fig. 5.6: Antena vertical omnidireccional cargada según las recomendaciones del C.C.I.R. [4].

5.3.2.- Características y función del conductor vertical.-

El conductor vertical constituye el radiador de la antena. Sus características serán estudiadas de acuerdo con la variación de su longitud eléctrica. En el cuadro 5.1 puede verse las variaciones de su longitud eléctrica para el rango en el que funcionará la antena. Los cálculos son efectuados para un radiador de 9 m. de altura.

Cuadro 5.1: Altura eléctrica de un radiador vertical de 9 m.

f	λ (m)	$h_e = \frac{9 \times 360^\circ}{\lambda \text{ (m)}}$ (grados eléctricos)
10 (kHz)	30.000	0.108
100 (kHz)	3.000	1.08
500 (kHz)	600	5.4
1 (MHz)	300	10.8
5 (MHz)	60	54
10 (MHz)	30	108
15 (MHz)	20	162
20 (MHz)	15	216
25 (MHz)	12	270
30 (MHz)	10	324

Según puede verse en el cuadro, para las frecuencias inferiores a 5 MHz el radiador será corto (menor que 1/8 de longitud de onda). A --

17 MHz el radiador tendrá aproximadamente $1/2$ longitud de onda (180 grados eléctricos). A 30 MHz se aproxima a una longitud de onda (360° eléctricos).

Un radiador corto, tiene una resistencia de radiación baja y una reactancia capacitiva alta.

La resistencia de radiación para antenas cortas está dada aproximadamente por la fórmula [29] :

$$R_R = \frac{h^2}{312}$$

y la reactancia capacitiva por la fórmula [29] :

$$X_c = 60 \left(\ln \left(\frac{h}{r} \right) - 1 \right) \cotg h.$$

R_R = resistencia de radiación en la base.

X_c = reactancia capacitiva en la base.

h = altura del radiador en grados eléctricos.

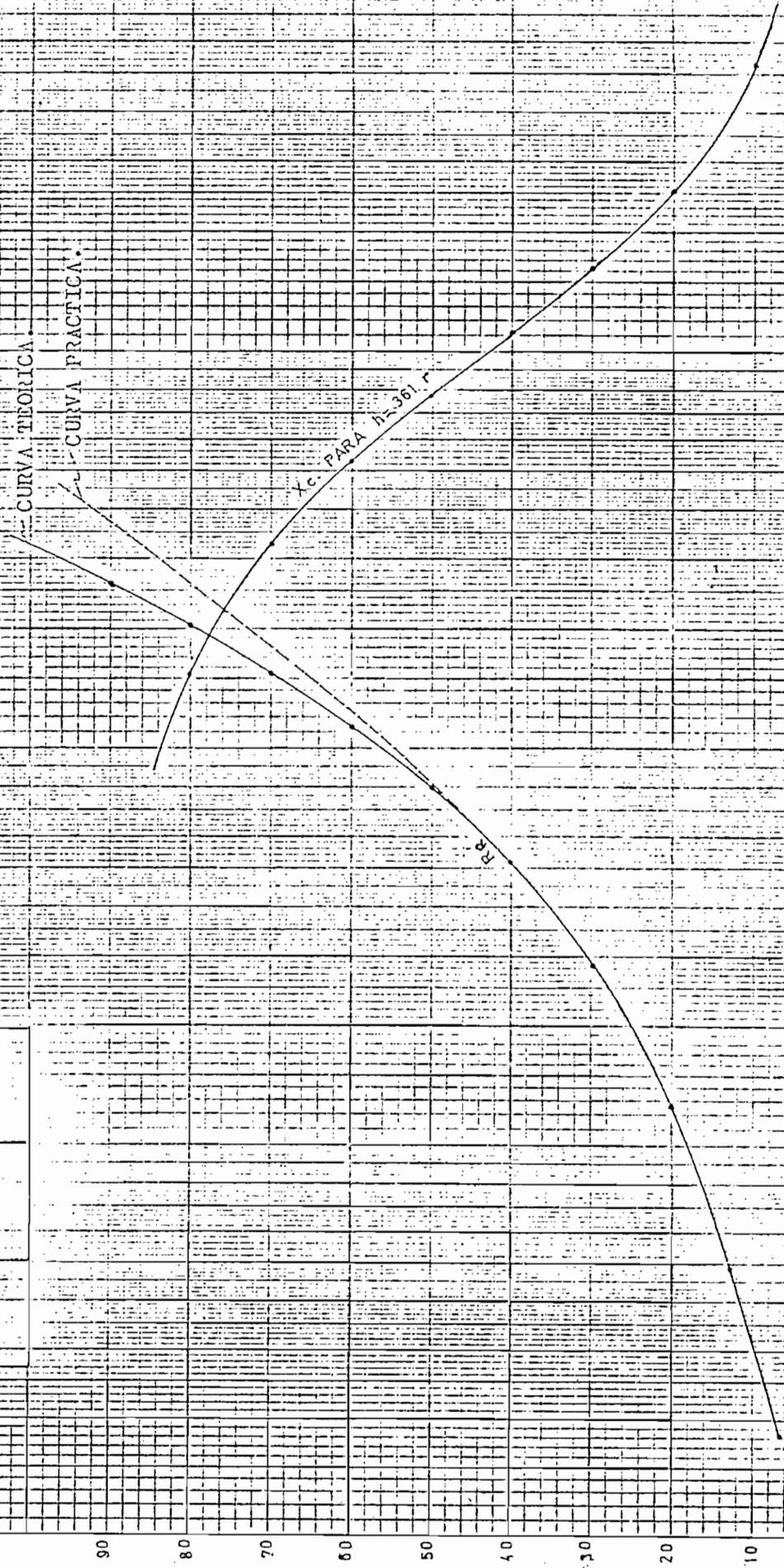
r = radio en grados eléctricos del radiador.

Se deduce de las fórmulas anteriores, que mientras la resistencia de radiación crece con el cuadrado de la altura eléctrica, la reactancia capacitiva decrece, puesto que la $\cotg h$ es mayor mientras menor sea h . El término $60 \left(\ln \left(\frac{h}{r} \right) - 1 \right)$ de la fórmula es una constante, puesto que las dimensiones son fijas. Las curvas de la fig. 5.7 indican estas variaciones, la parte punteada de la curva R_R corresponde a la variación práctica de la resistencia de radiación obtenida de las investigaciones de Carl E. Smith. [29]

Un radiador corto vertical tiene una altura efectiva h_e (relación entre intensidad de campo incidente y voltaje inducido) que es casi -

h	X_c	R_r
10	529,01	0,32
20	255,64	1,28
30	161,41	2,88
40	111,03	5,13
50	78,37	8,01
60	53,18	11,54
70	33,59	15,70
80	15,86	20,51
90	0,09	25,96

Fig. 5.7: VARIACIONES DE RESISTENCIA DE RADIACION (R_r) Y REACTANCIA CAPACITIVA (X_c) EN LA BASE DE UN RADIADOR VERTICAL CORTO, EN FUNCION DE LA LONGITUD ELECTRICA.



constante. Varía desde $h_e = \frac{1}{2} h_f$ para una antena corta hasta $h_e = \frac{\pi}{4} h_f$ cuando h_f (altura física) es igual a $\frac{\lambda}{4}$. Sin embargo es difícil aprovechar esta característica al acoplar la antena a una línea de transmisión, debido a sus grandes variaciones de impedancia con variación de frecuencia.

Cuando la altura física es mayor que $1/8$ de longitud de onda, las características capacitivas van disminuyendo con el incremento de la altura, presentando características de resonancia cuando ella se acerca a $1/2$ longitud de onda.

5.3.3.- Características y función de la carga de techo.-

La carga de techo es una carga capacitiva que tiene por objeto aumentar la altura efectiva, principalmente en las frecuencias bajas, y procurar una distribución de corriente de ondas progresivas con el fin de obtener una antena no resonante, aperiódica, o de banda ancha.

La resistencia de radiación está dada esencialmente por la distribución de corriente en el radiador vertical. La fig. 5.8, representa la distribución de corriente para un radiador vertical de $1/4$ longitud de onda.

Un radiador muy corto, menor que 5 grados de altura, que corresponderá para el presente estudio a frecuencias inferiores a 500 kHz, (ver cuadro 5.1) constituirá un radiador relativamente insuficiente a causa de su pequeña exposición al espacio y su resistencia de radiación consecuentemente baja.

Mediante una carga de techo se puede aumentar la altura efectiva del radiador y lograr además mejorar la distribución de corriente, ha --

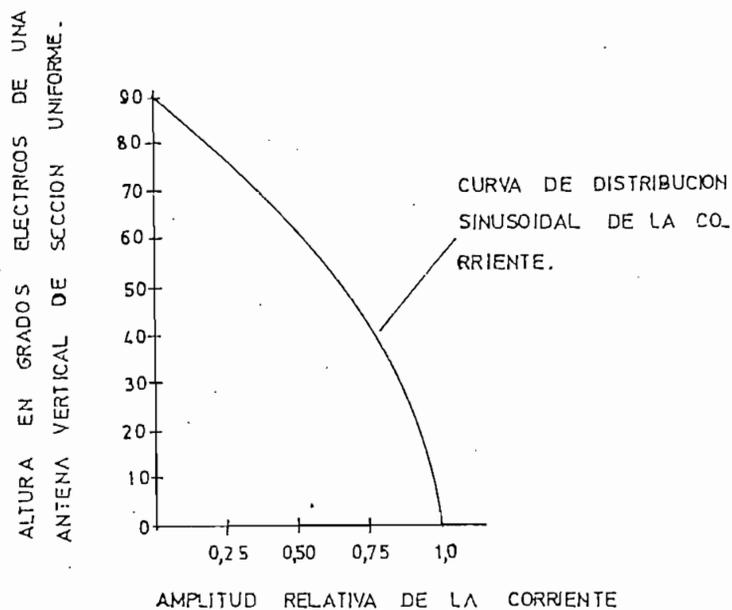


Fig. 5.8: Distribución de corriente para un radiador vertical de $1/4$ longitud de onda.

ciéndola más continua, por ejemplo: si se tiene un radiador de 30° de altura y mediante una conveniente carga de techo se incrementa su altura en 20 grados, se tendrá un radiador de 50° de altura efectiva y una distribución de corriente más continua como indica la figura 5.9.

La distribución de corriente sobre un conductor, puede ser de onda estacionaria o de onda progresiva. En el radiador vertical puede existir conjuntamente ondas estacionarias y progresivas. En un radia

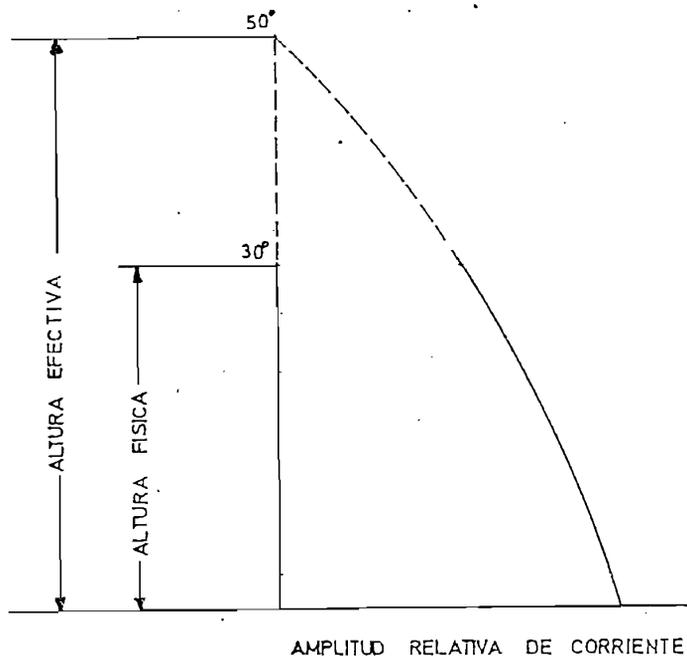


Fig. 5.9: Distribución de corriente para un radiador vertical de 30° de altura física, con carga en la cúspide.

En un radiador corto predominan las ondas estacionarias mientras que en un radiador largo, de muchas longitudes de onda, predominan las ondas progresivas.

La figura 5.10 representa la distribución de corriente y voltaje en un conductor de onda completa, en circuito abierto como es el caso de un radiador sin carga terminada.

Según puede verse en la figura, la corriente es mínima en la cúspide y el voltaje máximo. Se tendrá en la antena predominantemente on

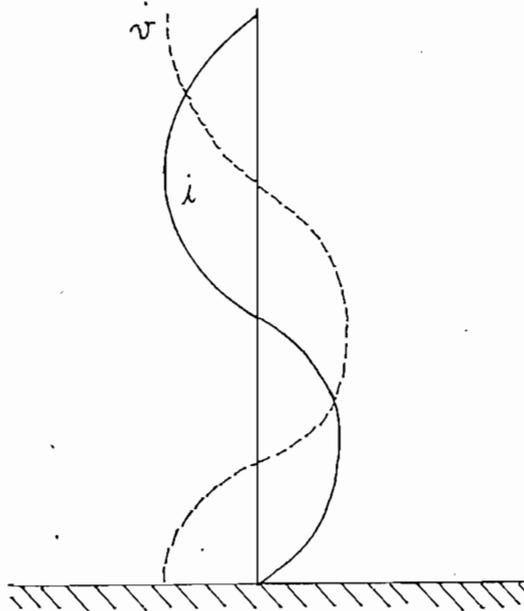


Fig. 5.10: Distribución de corriente y voltaje en un conductor de onda completa, sin carga de cúspide.

das estacionarias que dan a la antena características de resonancia a frecuencias determinadas cuyas longitudes de onda son múltiplos de $\lambda/2$ (en la práctica la resonancia se presenta en longitudes menores que múltiplos de $\lambda/2$, debido al ancho del conductor y al efecto de punta).

Con el objeto de tener en el radiador preferentemente ondas progresivas, para hacer a la antena aperiódica o no resonante, se coloca en la cúspide la carga de impedancia característica igual a la del radiador, de esta manera se tiene una distribución continua de corriente y se logra además aumentar la altura efectiva de la antena.

De acuerdo con las investigaciones del C.C.I.R., esta impedancia es tará conformada por 8 radiales de igual longitud del radiador, conecta - dos en serie con una resistencia de 250Ω .

5.4.- SISTEMAS DE TIERRA.

La tierra influye significativamente en las características eléctricas de una antena, especialmente en su impedancia y lóbulo de radiación. La corriente de base de una antena está formada por la suma de las co - rrientes de antena propiamente dicha y las corrientes de tierra, por tanto se hace necesario que la tierra tenga una resistencia lo más baja po - sible.

La resistencia total del sistema de antena está formada por: resistencia de radiación R_R , resistencia equivalente a las pérdidas en los - conductores de antena R_c , resistencia equivalente a las pérdidas de ais - lación R_a y resistencia de tierra R_t .

El rendimiento de la antena está dado por:

$$N = \frac{R_R}{R_R + R_c + R_a + R_t}$$

La resistencia de tierra por lo general es alta comparada con las - demás resistencias. La tierra por sí misma se comporta de manera dife - rente ante ondas de diferente longitud, es mejor conductor de ondas lar - gas. La humedad así como el grado de salinidad de los suelos son benefi - ciosos para mejorar la conductividad. En cualquier caso siempre es necesario aumentar la conductividad de la tierra para disminuir R_t y mejorar por tanto el rendimiento de la antena. Esto se logra mediante alambres

conductores que son instalados en forma radial bajo la superficie de la tierra. Los "radiales" así instalados constituyen el sistema de tierra de la antena, que va conectado al conductor exterior del cable coaxial.

5.5.- MODELOS A ESCALA.

Con el objeto de obtener experimentalmente las características eléctricas de una antena, cuando los estudios teóricos por su conformación se vuelven complicados y sus dimensiones imprácticas para experimentación, se construye modelos convenientemente reducidos.

La validez de los resultados obtenidos de mediciones en antena a escala, se basa en el principio de escalamiento que establece, que si una antena es igual a otra, pero multiplicada por un factor de escalamiento t , las características eléctricas son iguales a las frecuencias " f " y " ft " respectivamente.

Es decir, el comportamiento de antenas de igual tamaño eléctrico es el mismo. Esto debe cumplirse con la exactitud en el espacio libre donde la tierra no ejerce influencia. Si la frecuencia es mayor para igual tamaño eléctrico, debe mejorarse la conductividad de la tierra para experimentación en modelos reducidos, puesto que la tierra es mejor conductor de ondas largas.

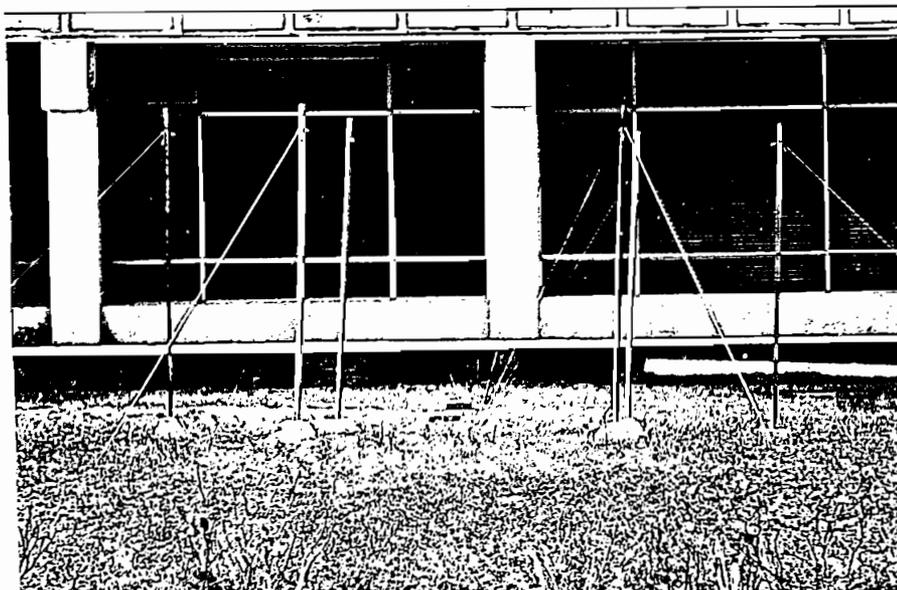
Mediante los modelos a escala puede obtenerse todos los datos necesarios para computar el comportamiento del sistema real, excepto los factores asociados con el sistema de tierra, puesto que el suelo como conductor es variable con la frecuencia. Para solucionar en parte este

problema se tiende una superficie metálica grande, en comparación con el área que ha de cubrir la antena real, que servirá como superficie de tierra.

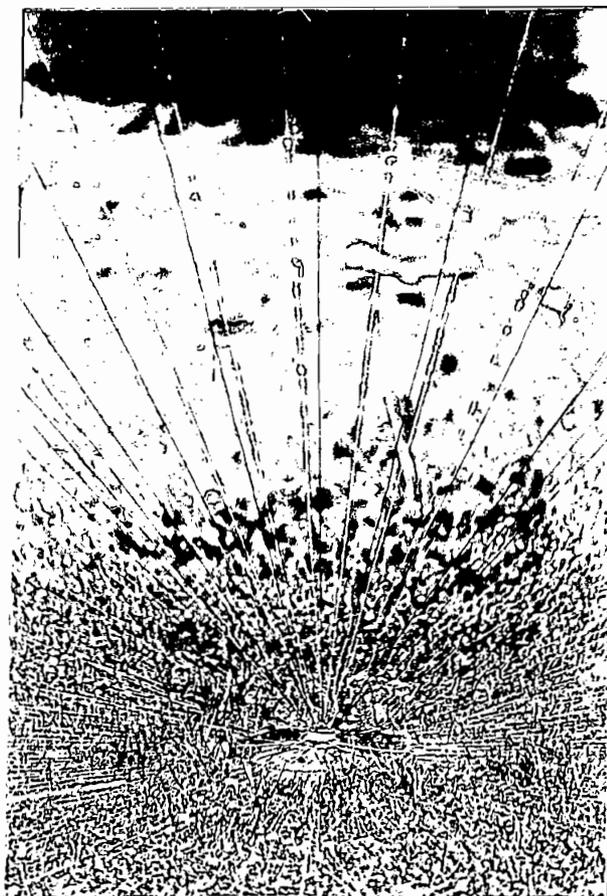
En conclusión, para un modelo t veces reducido debe hacerse mediciones a la frecuencia tf , donde f es la frecuencia real de trabajo de la antena. Al reducir las dimensiones t veces, debería aumentarse la conductividad t veces. Esto en realidad se hace imposible, puesto que generalmente una antena es construida de cobre o aluminio cuya conductividad en la práctica no puede ser superada; afortunadamente las pérdidas de conductividad para frecuencias no muy altas afecta la operación en bajo grado. De todas maneras, para tener en forma más exacta las características se efectuarán mediciones en la antena real.

Las mediciones en el presente estudio se realizarán en modelos 10 veces reducidos, de tal forma que los modelos de la antena de cono invertido y antena vertical omnidireccional cargada, resultarán ser de 1.5 y 0.9 metros de altura respectivamente, puesto que dichas antenas se diseñaron para una altura de 15 y 9 metros.

Todas las dimensiones de las antenas diseñadas fueron reproducidas cuidadosamente en las dimensiones de los modelos escogidos. Se utilizó alambre de cobre y aisladores de porcelana. Los tensores y postes se construyeron de material no conductor para evitar reflexiones e interferencias en la antena propiamente dicha. El sistema de tierra fue construido mediante 180 conductores de hierro galvanizado Nº 22, con una longitud de 3 metros, conectados al ras de la tierra en forma radial uniformemente espaciados. En las fotografías 5.1 y 5.2 puede verse los modelos construidos en el patio de la Escuela Politécnica Nacional.

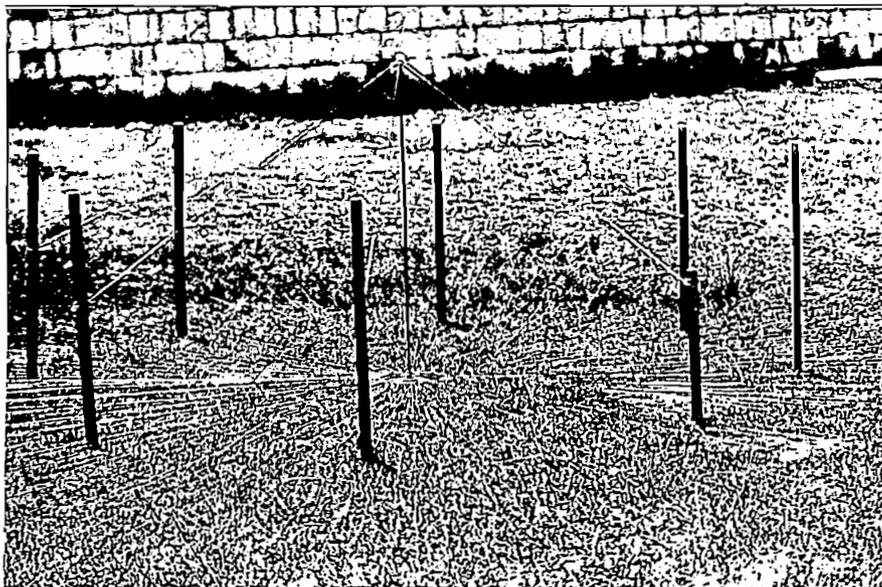


(a)

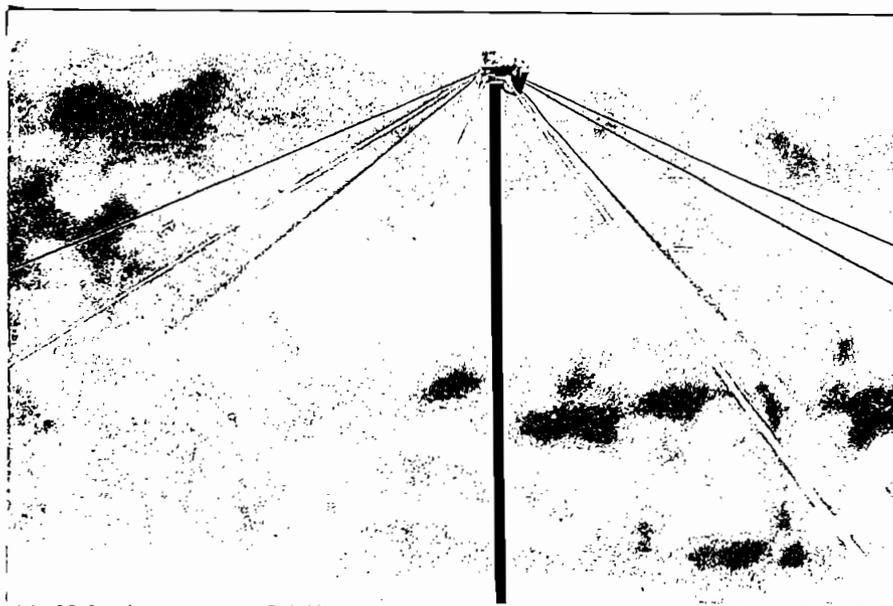


(b)

Fotografía 5.1: Antena de Cono Invertido, modelo 10 veces reducido.
(a): Vista general. (b): Vista del vértice del cono y radiales.



(a)



(b)

Fotografía 5.2: Antena Vertical Omnidireccional Cargada, modelo 10 veces reducido. (a): Vista general. (b): Vista de la carga de cúspide.

5.6.- MEDICIONES.

En el estudio experimental se hicieron mediciones de impedancia de entrada y, mediciones de intensidad de campo captadas por las 2 antenas estudiadas y por un dipolo de media longitud de onda para obtener la ganancia relativa al dipolo.

5.6.1.- Mediciones de impedancia de entrada.-

5.6.1.1.- Equipo utilizado.-

Rango: 0.6 - 20 MHz.

a) Puente de impedancias.

Marca: GENERAL RADIO COMPANY.

Tipo: 916 P.

b) Detector del puente

Receptor Heathkit Mohican

Rango: 15 - 100 MHz.

a) Puente de admitancias de VHF

Marca: WAYNE KERR.

Tipo: B801.

b) Fuente del puente (generador de señales)

Marca: WAYNE KERR.

Tipo: S161B.

c) Detector del puente.

Marca: WAYNE KERR

Tipo: R161

d) Voltímetro (indicador del nivel de señales)

Marca: HEWLETT - PACKARD

Tipo: 400 F.

Rango: 90 - 300 MHz.

a) Medidor de admitancias

Marca: GENERAL RADIO COMPANY

Tipo: 1602B.

b) 2 Osciladores

Marca: GENERAL RADIO COMPANY.

Tipo: 1215-C.

5.6.1.2.- Procedimiento.-

Las características eléctricas de una antena, como son: diagramas de radiación, impedancia, longitud efectiva, son idénticas cuando la antena actúa como transmisora o receptora de una misma señal. Por facilidad se utilizó las antenas como transmisoras. Las características de impedancia son independientes de la potencia de la señal y dependen únicamente de la frecuencia. La fig. 5.11 sintetiza el procedimiento utilizado para obtener la impedancia de entrada (método con el puente de admitancias WAYNE KERR).

El procedimiento seguido para obtener la impedancia de antena a una frecuencia determinada o frecuencia de medición, es:

1º.- Calibración de los equipos.

a) Mediante el generador se envía una señal a la frecuencia de medición.

b) El puente debe tener todas sus escalas indicadoras enceradas.

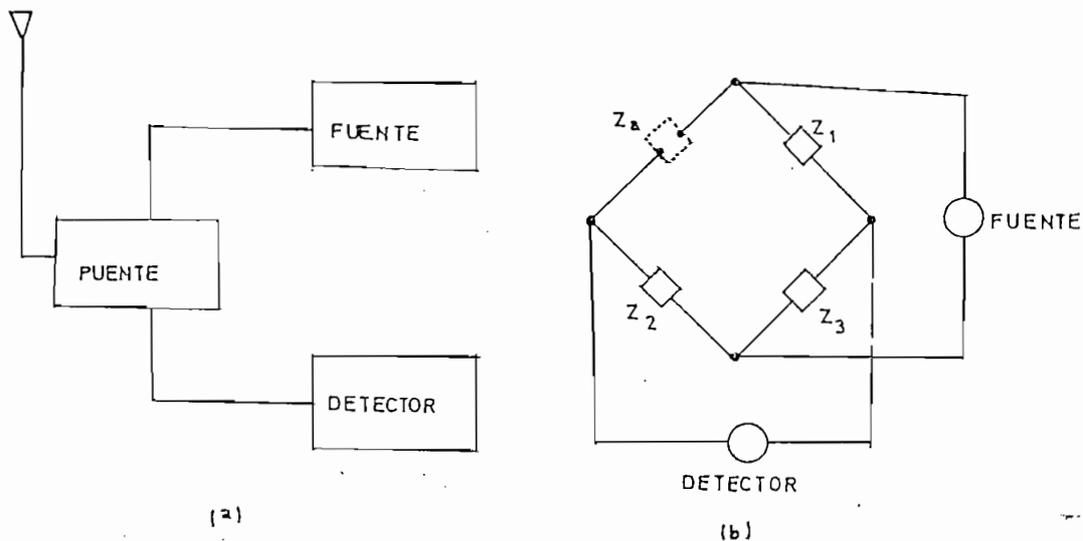


Fig. 5.11: (a): Diagrama del procedimiento seguido para obtener la impedancia de entrada de la antena. (b): Circuito básico del puente.

c) La frecuencia del detector debe ser igual a la frecuencia de medición menos la frecuencia de indicación (propia del aparato). Esto se logra obteniendo resonancia, es decir señal máxima del instrumento que se utilice como indicador (en el procedimiento se utilizó un voltímetro).

22.- Medición.-

- a) Se ajusta el puente para tener un nivel de referencia mínima, esto se logra mediante botones exteriores propios del puente y con la ayuda del indicador.
- b) Se conecta la antena, lo que produce un desbalanceamiento del nivel

de referencia fijado.

- c) Se busca nuevamente llegar al nivel de referencia mínimo, mediante la variación de impedancias para balancear el puente.

Los valores obtenidos mediante este último paso dan la impedancia de entrada de la antena.

Se utilizó como línea de transmisión 6 metros de cable RGSU (50Ω - de impedancia característica). La curva de atenuación del cable se presenta en la fig. 5.12.

Se midieron las impedancias del cable y las impedancias de las antenas y cable conjuntamente. Mediante la Carta de Smith se encontró las impedancias de entrada reales de las antenas, que se tabulan en los cuadros 5.2 y 5.3 transformadas ya a las frecuencias reales de trabajo, y las curvas correspondientes representadas tanto en la Carta de Smith como en coordenadas cartesianas en las figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, -- 5.17 y 5.18.

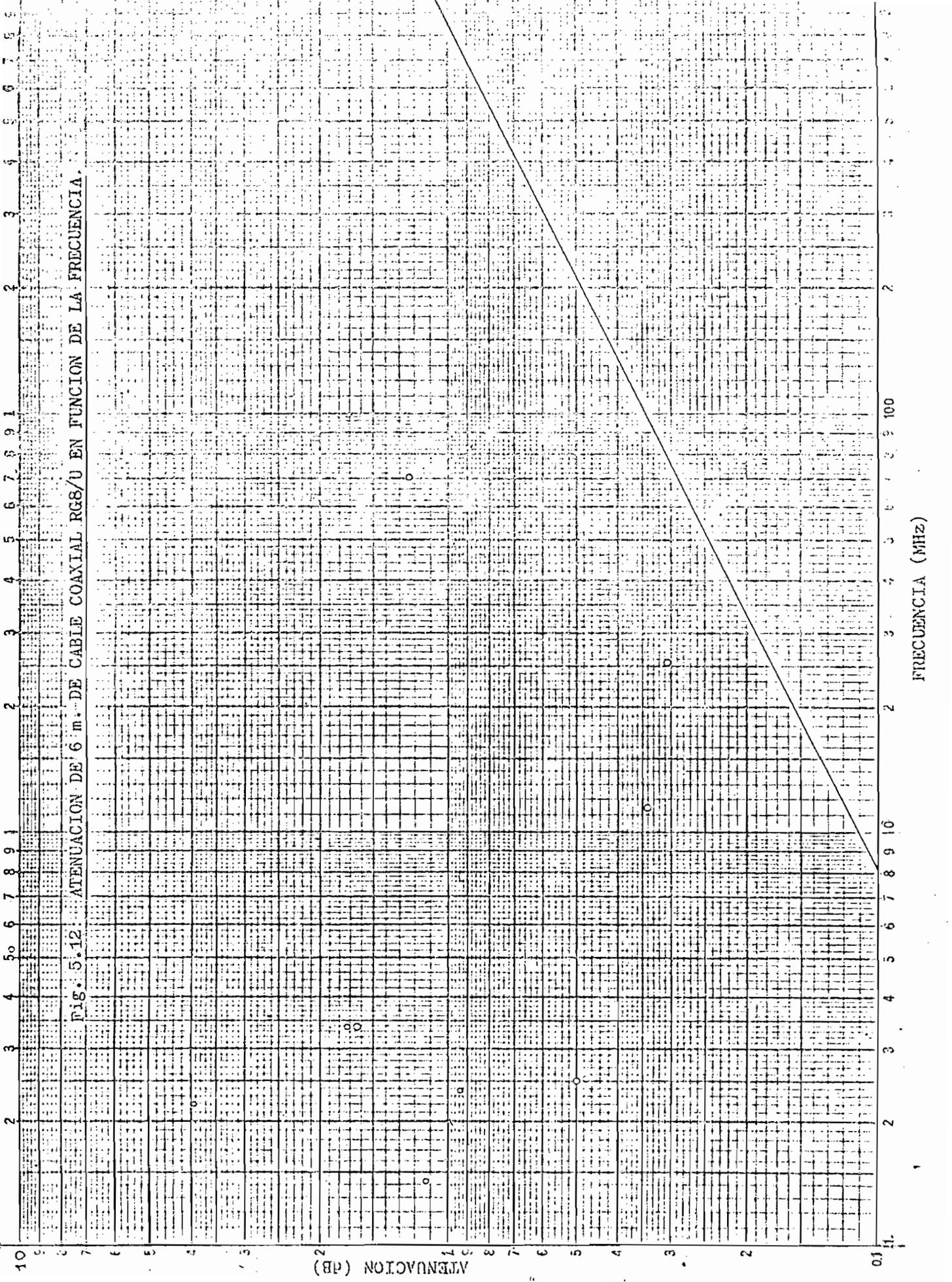


FIG. 5.12. ATENUACION DE 6 m. DE CABLE COAXIAL RGS/U EN FUNCION DE LA FRECUENCIA.

FRECUENCIA (MHz)

ATENUACION (dB)

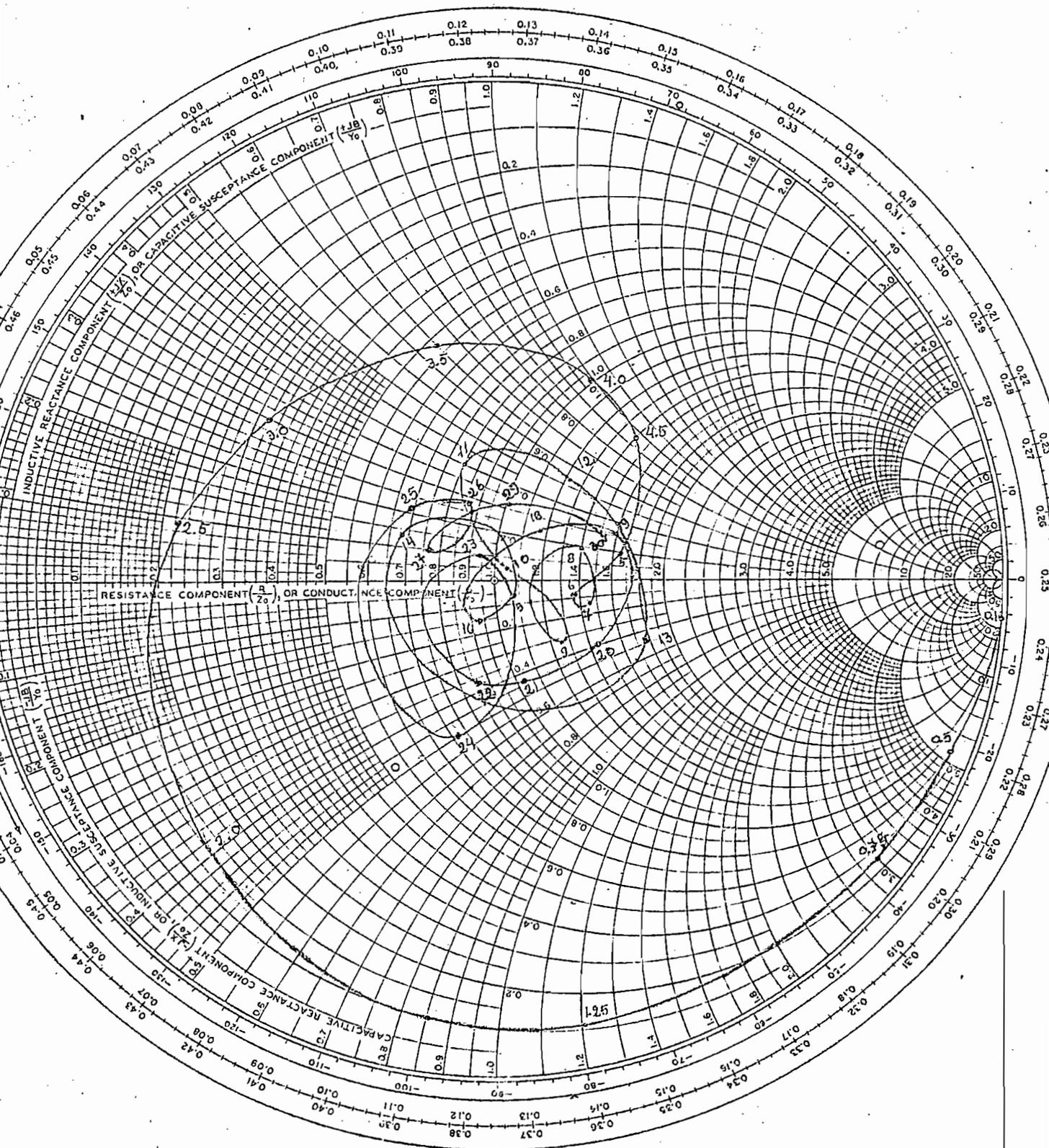
Cuadro 5.2: Impedancia de entrada de la antena de cono invertido.

f (MHz)	grados eléctricos. 360° x 15 m. λ (m)	Z/Z ₀		Z(Ω)	
		R/Z ₀	X/Z ₀	R	X
0.06	1.080	0	-j 40	0	-j 2000
0.08	1.440	0	-j 35	0	-j 1750
0.1	1.8	0	-j 32	0	-j 1600
0.12	2.16	0	-j 18	0	-j 900
0.5	9	0.6	-j 515	30	-j 257.5
0.75	13.5	0.35	-j 3	17.5	-j 150
1.0	18	0.18	-j 1.7	9	-j 85
1.25	22.5	0.12	-j 1.2	6	-j 60
1.5	27	0.1	-j 0.9	5	-j 45
2.0	36	0.14	-j 0.4	7	-j 20
2.5	45	0.23	+j 0.06	11.5	+j 3
3.0	54	0.32	+j 0.3	16	+j 15
3.5	63.01	0.52	+j 0.64	26	+j 32
4.0	72	1	+j 0.975	50	+j 48.75
4.5	81.081	1.38	+j 0.95	69	+j 47.5
5.0	90	1.65	+j 0.2	82.5	+j 10
5.5	99.082	1.7	+j 0.1	85	+j 5
6.0	108	1.45	+j 0.05	72.5	+j 2.5
6.5	116.883	1.38	-j 0.07	69	-j 3.5
7.0	125.874	1.44	-j 0.14	72	-j 7
7.5	135	1.64	-j 0.04	82	-j 2
8.0	144	1.4	+j 0.2	70	+j 10

Continuación del cuadro 5.2.

f (MHz)	grados eléctricos. $\frac{360^\circ \times 15 \text{ m.}}{\lambda \text{ (m)}}$	Z/Z ₀		Z(Ω)	
		R/Z ₀	X/Z ₀	R	X
8.5	152.974	1.2	-j 0.1	60	-j 5
9.0	162.162	1.25	-j 0.37	62.5	-j 18.5
9.5	170.886	1.3	-j 0.1	65	-j 5
10	180	1.08	+j 0.06	54	+j 3
12.0	216	1.23	+j 0.52	61.5	+j 26.0
13.0	233.766	1.78	-j 0.5	89.0	-j 25
14.0	252.336	0.68	+j 0.14	34	+j 7
15.0	270	1.08	-j 0.15	54	-j 7.5
16.0	288	0.93	-j 0.15	46.5	-j 7.5
17.0	306.296	1.1	+j 0.2	55	+j 10
18.0	327.272	1.2	+j 0.22	60	+j 11
19.0	342	1.6	+j 0.4	80	+j 20
20	360	1.45	-j 0.4	72.5	-j 20
21	377.622	1.02	-j 0.44	51.0	-j 22
22	396.475	0.84	-j 0.33	42	-j 16.5
23	414.428	0.95	+j 0.12	47.5	+j 6
24	432	0.72	-j 0.5	36.0	-j 25
25	450	0.67	+j 0.21	53.5	+j 10.5
26	468.750	0.87	+j 0.275	43.5	+j 10
27	486.486	0.815	+j 0.11	40.75	+j 5.5
28	504.672	0.87	+j 0.22	43.5	+j 11
29	523.255	1	+j 0.32	50	+j 16.0
30	540	1.55	+j 0.28	77.5	+j 14

Fig. 5.13: IMPEDANCIA CARACTERISTICA DE LA ANTENA DE CONO INVERTIDO.



SOBRE LOS PUNTOS SE LEE LA FRECUENCIA EN MHz.

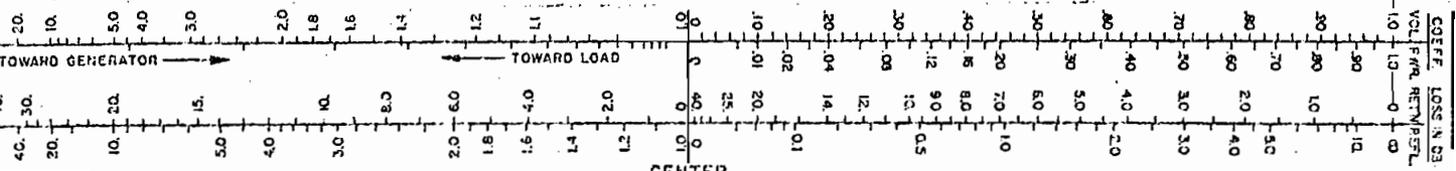
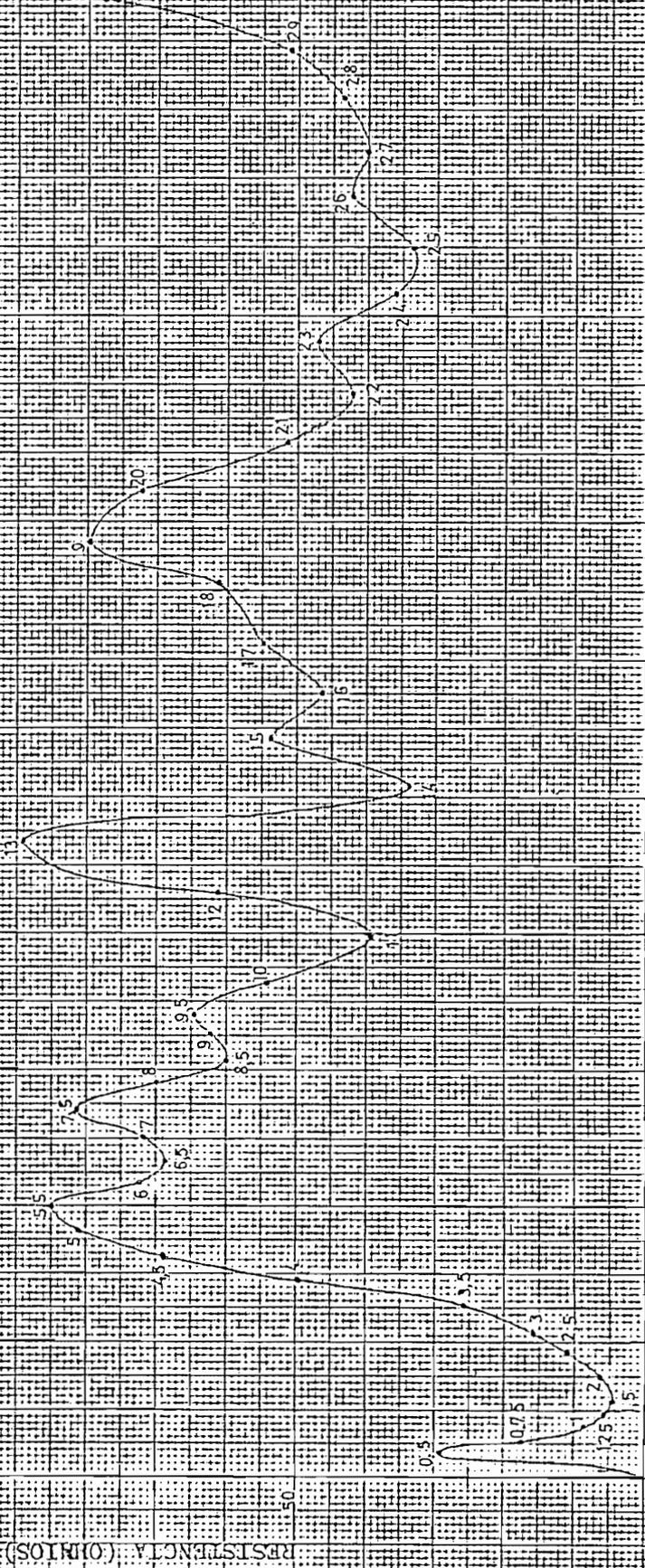


FIG. 5.14. RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE LA ANTENA DE CONVERTEIDO.

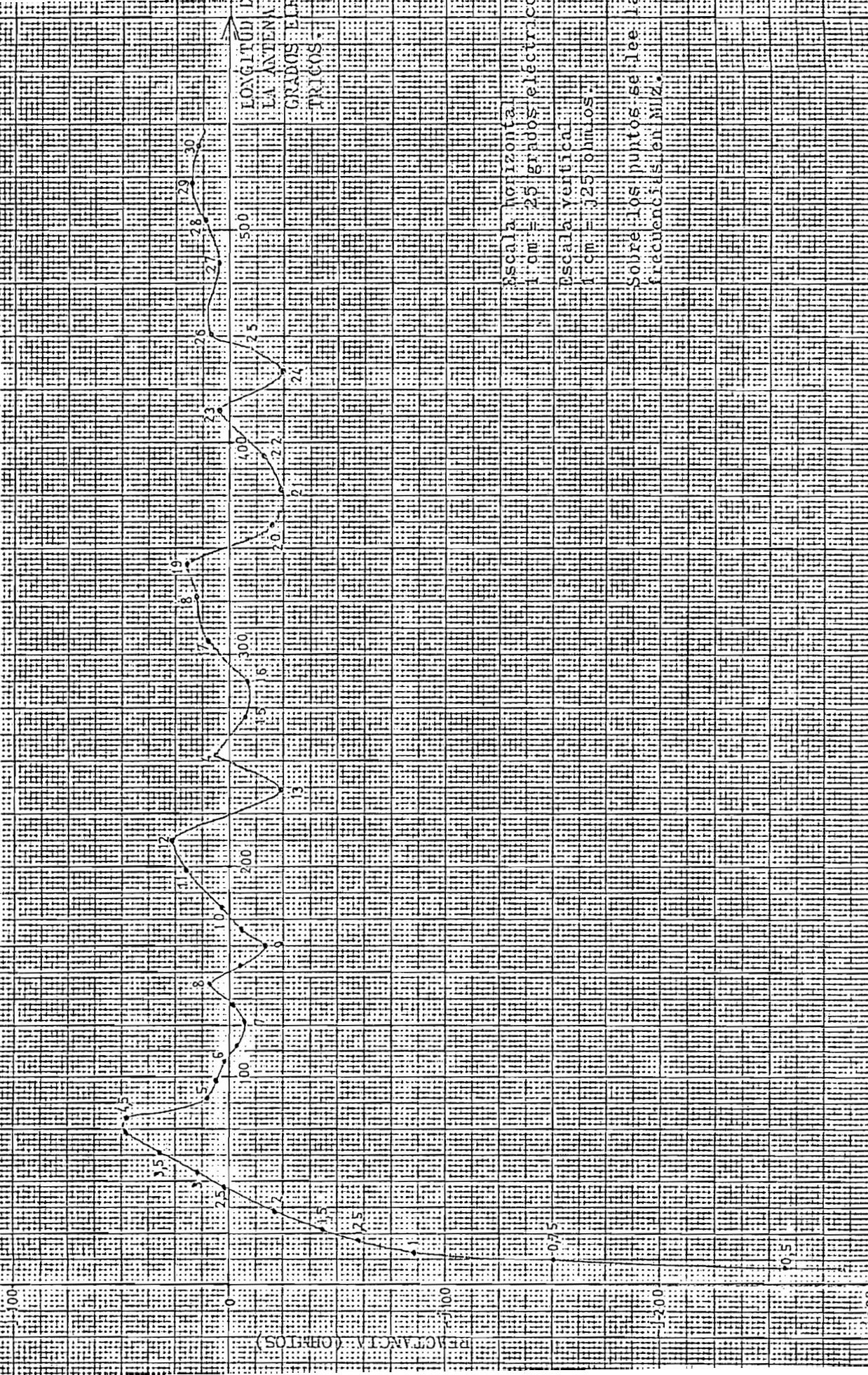
Escala horizontal
1 cm = 25 grados eléctricos.
Escala vertical
1 cm = 10 ohmios
Sobre los puntos se lee la
frecuencia en MHz.



100° 200° 300° 400° 500°

LONGITUD DE
ANTENA EN C
DOS DECIMALES

Fig. 55-57. REACTANCIA CARACTERÍSTICA DE LA ANTENA EN DIFERENTES CONFINTECIDOS

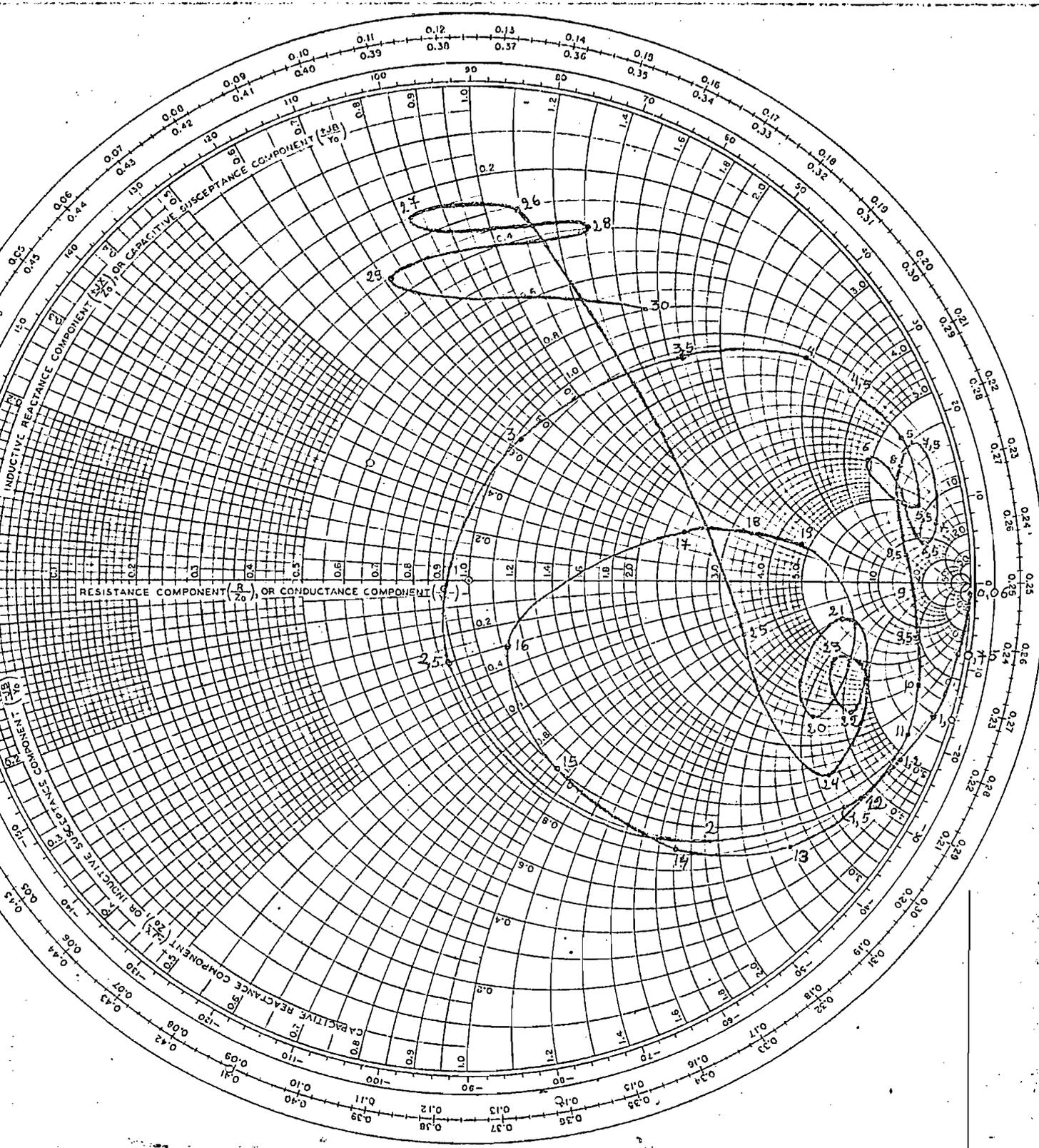


Cuadro 5.3: Impedancia de entrada de la antena vertical omnidireccional cargada.

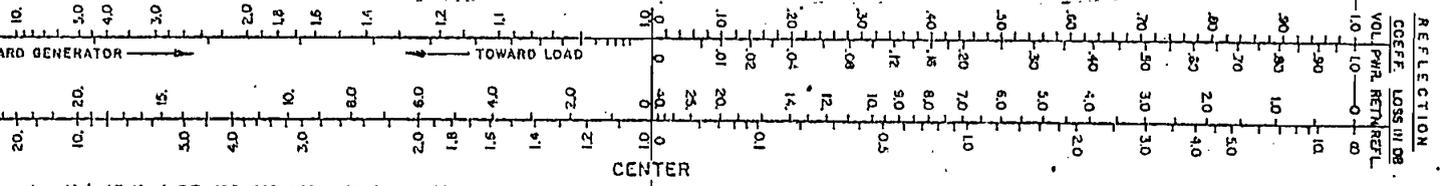
f (MHz)	grados eléctricos. $\frac{360^\circ \times 9}{\lambda \text{ (m)}}$	z/Z0		z(Ω)	
		R/Z0	X/Z0	R	X
0.06	0.648	0	-j 50	0	-j 2500
0.08	0.864	0	-j 50	0	-j 2500
0.10	1.08	0	-j 50	0	-j 2500
0.12	1.296	0	-j 50	0	-j 2500
0.50	5.4	2	-j 20	100	-j 1000
0.75	8.1	1.9	-j 11	95	-j 550
1.00	10.8	0.8	-j 6.9	40	-j 345
1.25	13.5	0.8	-j 4.8	40	-j 240
1.50	16.2	0.8	-j 3.35	40	-j 167.5
2.0	21.6	0.9	-j 1.92	45	-j 96.0
2.5	27	0.875	-j 0.3	43.75	-j 15
3.0	32.4	1.05	+j 0.64	52.5	+j 32.0
3.5	37.806	1.2	+j 1.7	60	+j 85
4.0	43.2	1.2	+j 2.7	60	+j 135
4.5	48.648	2.2	+j 3.8	70	+j 190
5.0	54	1.7	+j 5.8	85	+j 190
5.5	59.449	6	+j 9	300	+j 450
6.0	64.8	3	+j 4.8	150	+j 240
6.5	70.129	4	+j 6.5	200	+j 325
7.0	75.524	13	+j 6.8	650	+j 340
7.5	81	1.8	+j 7	90	+j 350
8.0	86.4	2.6	+j 7.5	130	+j 375

Continuación del Cuadro 5.3:

f (MHz)	grados eléctricos. $\frac{360^\circ \times 9}{\lambda \text{ (m)}}$	Z/Z0		Z(Ω)	
		R/Z0	X/Z0	R	X
8.5	91.784	12	+j 7	600	+j 350
9.0	97.297	14	-j 3	700	-j 150
9.5	102.531	8	-j 8	400	-j 400
10.0	108	3	-j 7.8	150	-j 390
11.0	118.899	1	-j 5.6	50	-j 280
12.0	129.6	0.8	-j 3.6	40	-j 180
13.0	140.259	0.75	-j 2.6	37.5	-j 130
14.0	151.401	0.87	-j 1.7	43.5	-j 85
15.0	162	1	-j 0.9	50	-j 45
16.0	172.8	1.12	-j 0.28	56.0	-j 14.0
17.0	183.777	2.4	+j 0.6	120	+j 30
18.0	196.365	3.4	+j 1	170	+j 50
19.0	205.323	4.9	+j 1.2	245	+j 60
20.0	216	2.6	-j 3.2	130	-j 160
21.0	226.573	6.2	-j 2	310	-j 100
22.0	237.885	2.8	-j 4.2	140	-j 210
23.0	248.656	4.8	-j 3.2	240	-j 160
24.0	259.2	1.4	-j 3.35	70	-j 167.5
25.0	270	3.42	-j 0.9	171.0	-j 45
26.0	281.25	0.32	+j 1.12	16.0	+j 56.0
27.0	291.891	0.25	+j 0.835	12.5	+j 41.75
28.0	302.803	0.4	+j 1.3	20	+j 65
29.0	313.953	0.35	+j 0.75	17.5	+j 36.5
30.0	324	0.8	+j 1.48	40	+j 74.0

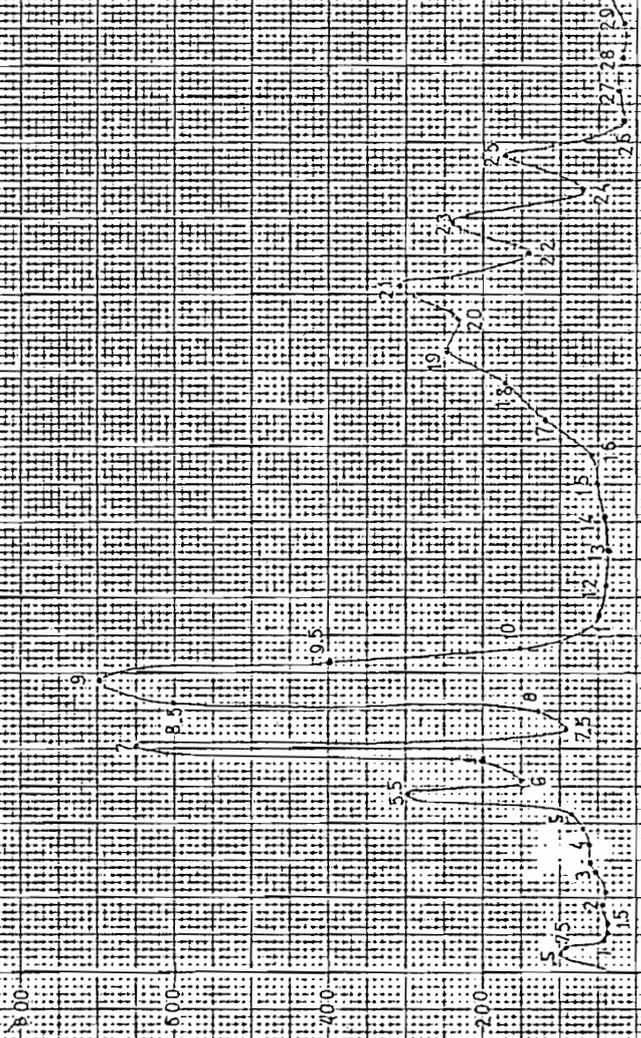


SOBRE LOS PUNTOS SE LEE LA FRECUENCIA EN MHZ.



RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE LA ANTENA VERTICAL OMNIDIRECCIONAL CARGADA

Fig. 15.17



RESISTENCIA (OHMS)

LONGITUD DE LA ANTENA EN GRADOS ELECTRICOS

Escala horizontal
1 cm = 25 grados electricos

Escala vertical
1 cm = 100 ohms

Sobre los puntos se lee la frecuencia en MHz

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

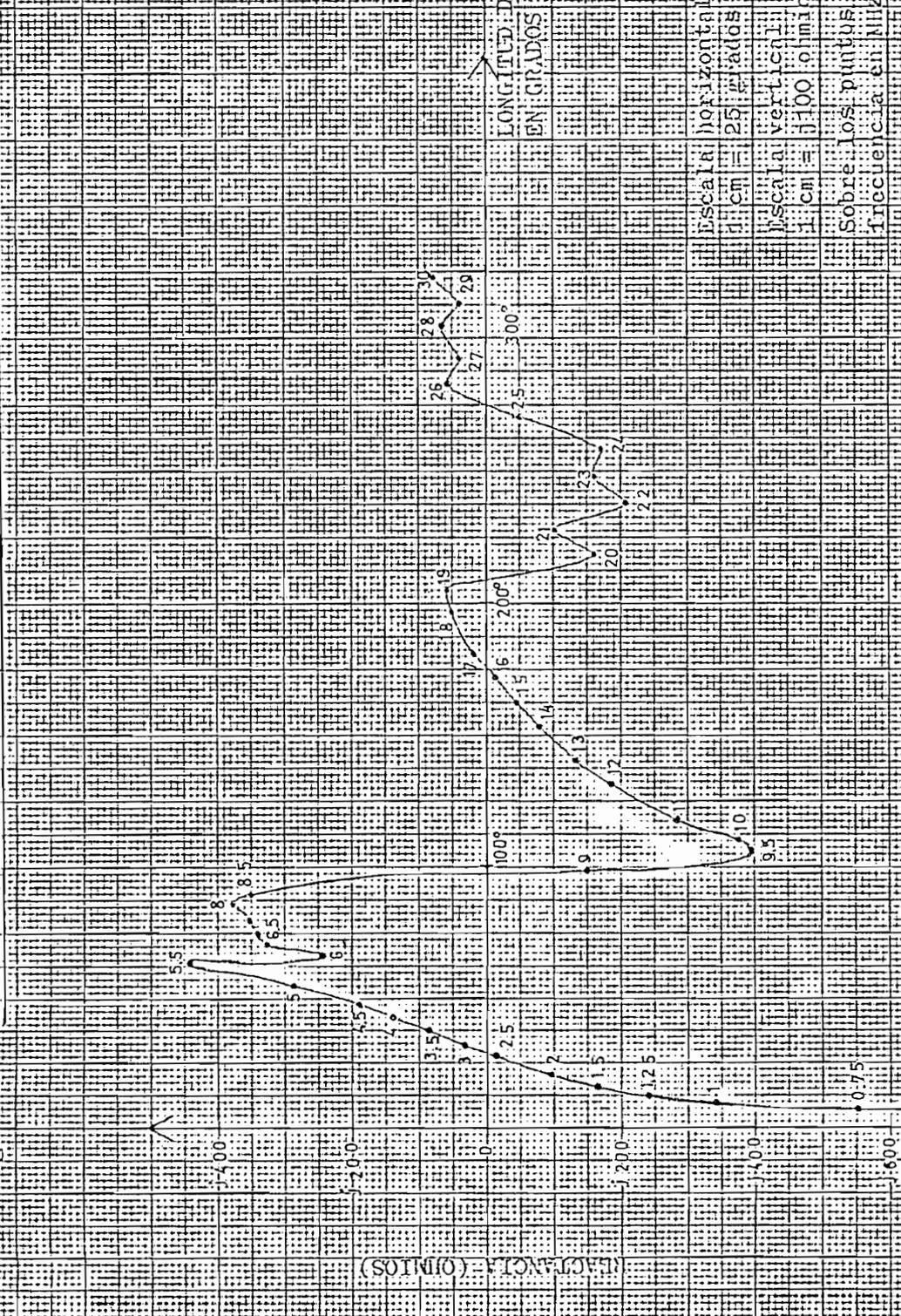
2.28129

2.28129

2.28129

2.28129

Fig. 5-18. REACTANCE CHARACTERISTICS OF AN ANTENNA VERTICAL ON A DIRECTIONAL CARRIER.



USUAL HORIZONTAL SCALE
1 CM = 25 METERS ELECTRICALLY
USUAL VERTICAL SCALE
1 CM = 100 OHMS

Over the points selected
frequency in MHz.

LONGITUDE OF THE ANTENNA
IN DEGREES ELECTRIC

5.6.2.- Mediciones de Ganancia.-

5.6.2.1.- Fundamentos.-

La ganancia es el aumento de la intensidad de campo debido a la directividad en comparación con la que produce una antena no directiva, - en la práctica no existe ninguna antena que no sea en cierto modo directiva, debido a la distribución dipolar del campo, en el caso de un conductor recto, y también debido a la interferencia entre las radiaciones de todos los elementos dipolares infinitesimales de su configuración geométrica y la interferencia de las ondas radiadas directamente al espacio con las reflejadas por el suelo y otros objetos. De tal manera, a pesar de llamarse las antenas en estudio omnidireccionales, no lo son en el sentido estricto de la palabra, y por tanto tendrán propiedades de ganancia.

La ganancia de las antenas será presentada como la intensidad de campo recibida por ellas en relación con la intensidad de campo recibida por una antena dipolo de media longitud de onda.

La ganancia real de la antena, será mayor que la relativa al dipolo en un factor multiplicador igual a la ganancia propia del dipolo referida a un radiador isotrópico.

$$G = G_r \times G_d$$

G = Ganancia real de la antena o ganancia referida a un radiador isotrópico.

G_r = Ganancia relativa al dipolo.

G_d = Ganancia del dipolo relativa a un radiador isotrópico.

5.6.2.2.- Equipo utilizado.-

1.- Medidor de intensidad de campo.

Marca: ANRITSU ELECTRIC Co. Ltda.

Tipo: ARM - 5705C

Antena: Dipolo graduable a media longitud de onda.

2.- Generador de señales (Voltaje de salida mayor que 1 Vol.)

a) Rango: 25 - 100 MHz.

Marca: WAYNE KERR.

Tipo: S16B.

b) Rango: 100 - 250 MHz.

Marca: GENERAL RADIO COMPANY.

Tipo: 1215-C.

c) Rango: 250 - 300 MHz.

Marca: GENERAL RADIO COMPANY.

Tipo: 1209-C.

5.6.2.3.- Procedimiento.-

El voltaje de salida del generador debe ser mayor que 1 Voltio, - pues la presencia de otras señales radioeléctricas en el espacio, de - intensidades que superan los 100 mv, pueden afectar las mediciones en la misma frecuencia o cercanas a ella.

La intensidad de la señal emitida por el generador se regula de a cuerdo con el límite de intensidad que puede cuantificar el medidor de intensidad de campo.

Se utilizó como antena transmisora un radiador vertical instalado a tierra. Sus dimensiones fueron recortadas para trabajar en aproxima

damente un cuarto de longitud de onda, con el fin de que la señal emitida por el generador sea radiada sin mayores pérdidas y tener así una señal fuerte, confiable.

Se efectuaron mediciones simultáneas de intensidad de campo con las tres antenas, para cada señal emitida por el generador, con el objeto de garantizar, que la intensidad de campo sea igual al momento de realizarse las mediciones con cada una de las antenas.

Todas las antenas receptoras fueron ubicadas a igual distancia de la antena transmisora para tener igualdad en la señal. Esta distancia (15 m.) es mayor que 1.5 longitudes de onda para las frecuencias más bajas en las que se efectuaron las mediciones (ver cuadro de medidas), y de algunas longitudes de onda para las frecuencias más altas, de esta manera se garantiza que las mediciones efectuadas están libres de errores por reflexión. La figura 5.19 representa la distribución de las antenas.

Los resultados de las mediciones se tabulan en el cuadro 5.4, y las curvas correspondientes se representan en la figura 5.20.

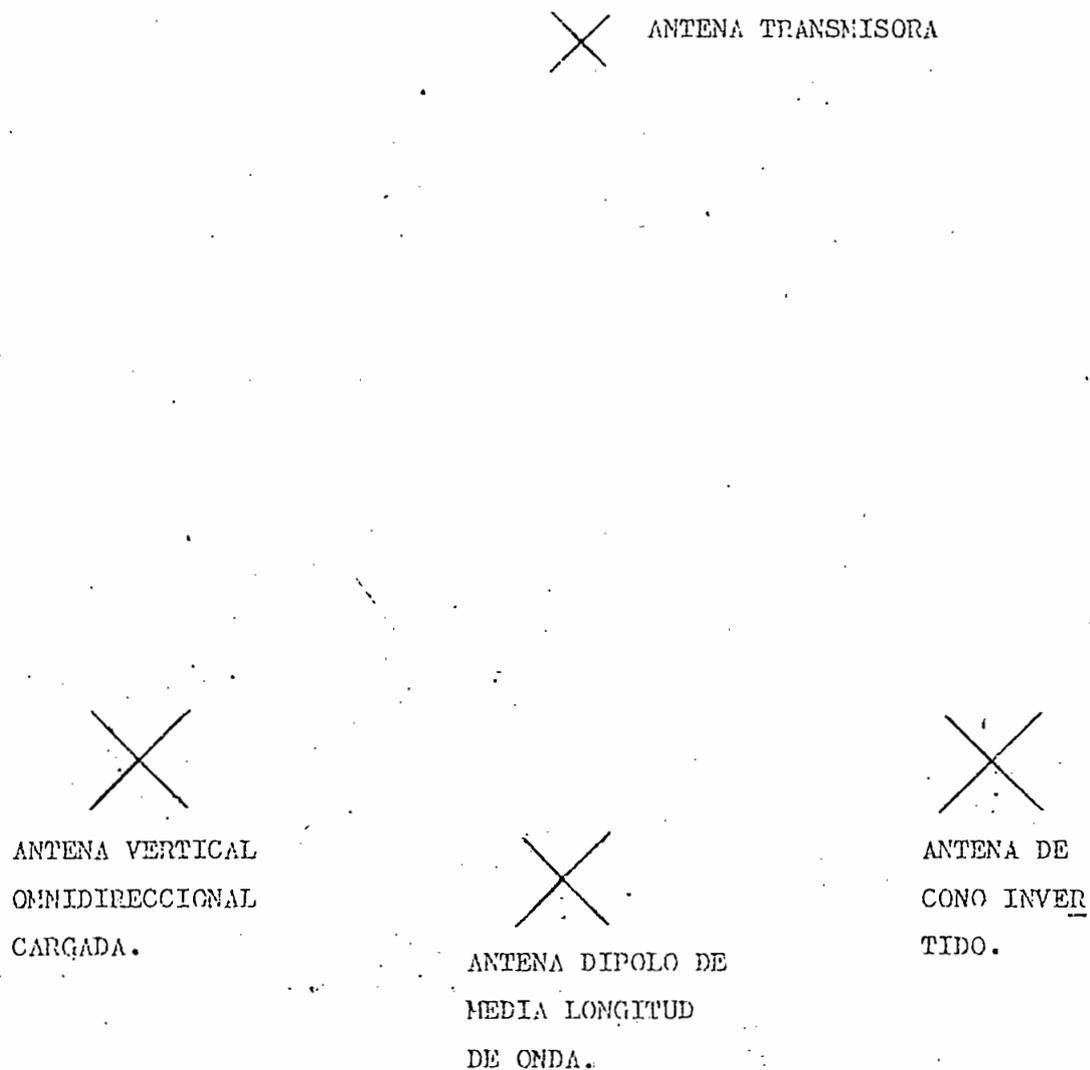


Fig. 5.19: Ubicación de las antenas transmisora y receptoras.

Cuadro 5.4: Mediciones de intensidad de campo y cálculo de la ganancia en relación con un dipolo de media longitud de onda.

f = frecuencia en MHz. (Nota: Las frecuencias que se indican en el cuadro son las frecuencias reales de trabajo de las antenas, es decir las frecuencias de medición divididas por 10).

E_o = Intensidad de campo eléctrico en dB, captado con un dipolo de media longitud de onda (antena de referencia).

E_v = Intensidad de campo eléctrico en dB, captado con la antena vertical omnidireccional cargada.

E_c = Intensidad de campo eléctrico en dB, captado con la antena de cono invertido.

G_v y G_c = Ganancia de las antenas, en relación al dipolo de media longitud de onda.

$$G_v = (E_v - E_o) \text{ dB} \quad ; \quad G_c = (E_c - E_o) \text{ dB}$$

f (MHz)	E_o (dB)	E_v (dB)	E_c (dB)
2.5	30.07	21.9	70.4
3.0	31.50	22.87	66.57
3.5	42.50	17.1	69.5
4.0	20.03	18.25	57.55
4.5	45.3	28.09	75.69
5.0	58.2	41.73	87.48
5.5	46	29.04	72.54
6.0	40.05	30.73	65.16
6.5	60.05	31.7	81.7
7.0	44.9	24.85	70.55
7.5	58.1	39.19	74.49
8.0	75.2	42.33	87.53
8.5	68.5	70.55	88.35
9.0	68.3	74.08	86.18

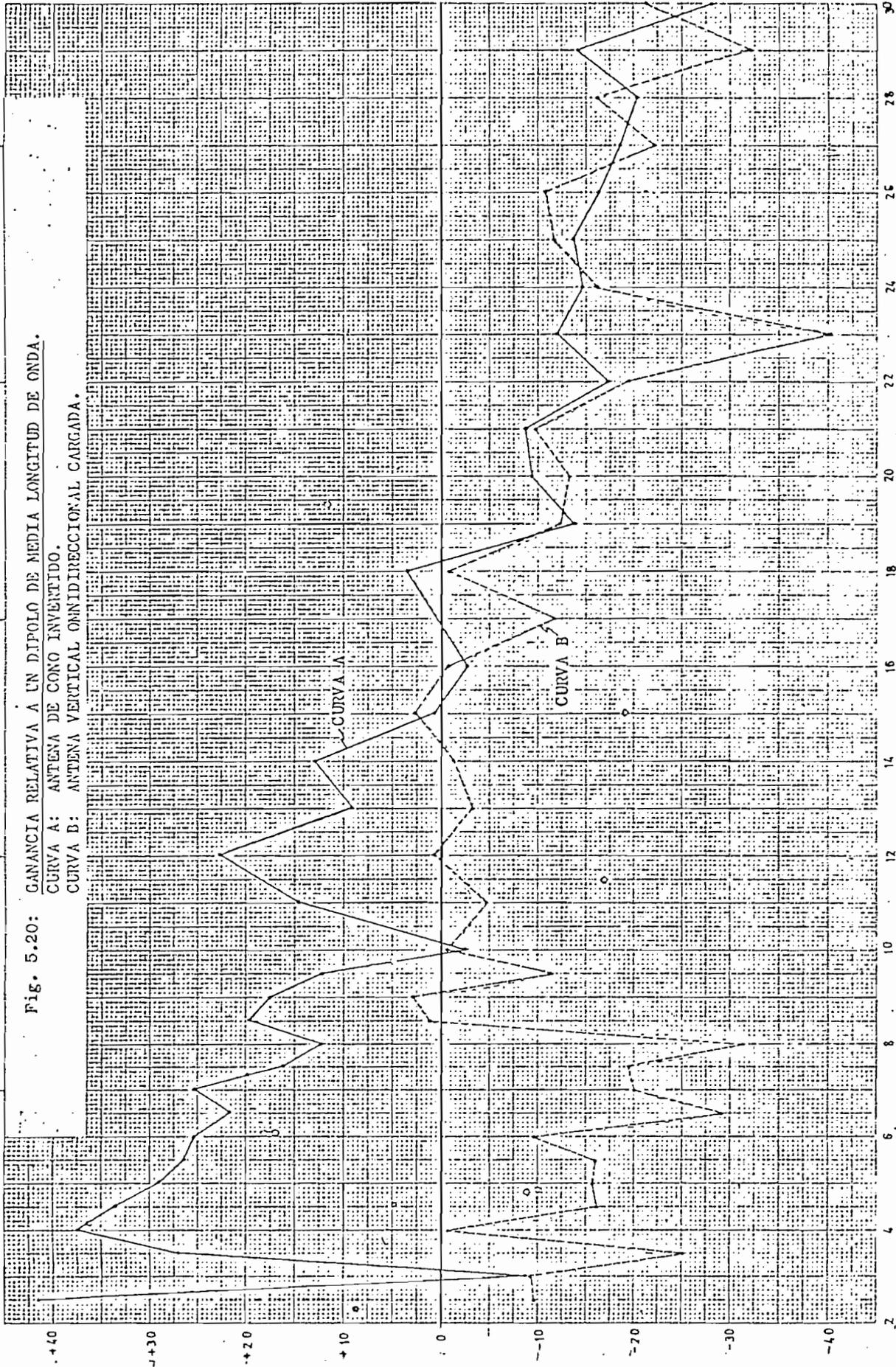
. Continuación del Cuadro 5.4:

f (MHz)	Eo (dB)	Ev (dB)	Ec (dB)
9.5	77.8	64.89	89.89
10	78.5	77.11	75.91
11	65.1	55.66	75.56
12	54.3	55.5	77.2
13	78.6	72.03	87.63
14	73.6	71	86.6
15	73	78.06	73.96
16	86	84.5	83.4
17	82.7	69.03	74.73
18	68.5	66.66	72.06
19	69.2	54.43	55.63
20	67.6	50.88	58.38
21	80.1	70.51	71.41
22	81	61.95	63.75
23	82.1	41.48	70.38
24	82.3	65.01	67.61
25	73	49.58	59.48
26	70	48.11	53.81
27	70.7	46.55	52.15
28	67.6	50.01	47.01
29	72.9	38.66	58.86
30	78.3	55.43	49.73
31	68.2	48.96	39.16

Fig. 5.20: GANANCIA RELATIVA A UN DIPOLO DE MEDIA LONGITUD DE ONDA.

CURVA A: ANTENA DE CONO INVERTIDO.

CURVA B: ANTENA VERTICAL ONNIDIRECCIONAL CARGADA.



FRECUENCIA (MHz)

5.7.- CONCLUSIONES.

Los gráficos de impedancia correspondientes mostrados en las figuras 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18 (pág. 164 ...), indican claramente que la antena de cono invertido, presenta características de estabilidad de impedancia mejores que la antena vertical omnidireccional cargada.

En el análisis teórico realizado de la antena de cono invertido se manifestó que se tendrá una impedancia de entrada de 50Ω , luego del estudio experimental (cuadro 5.2, pág. 162), se deduce que la impedancia de entrada tiene pocas variaciones y que se tendrá un buen acoplamiento con el cable de 50Ω . Para frecuencias inferiores a 1 MHz su acoplamiento no será bueno, debido a que la impedancia crece aceleradamente.

Si se compara los gráficos de las figuras 5.3 y 5.4 (pág. 141, ver curva 90°), que son para conos macisos, y los gráficos de las figuras obtenidas en los modelos de cono con 30 alambres, (fig. 5.14 y 5.15, pág. 165) se observa que las variaciones no son significativamente grandes, por lo que se considera que el experimento ha dado resultados satisfactorios.

En la sección 5.2.4 (pág. 143), se manifestó teóricamente que para frecuencias inferiores a 3.9 MHz, la impedancia de la antena de cono invertido empezará a aumentar considerablemente. En efecto esto puede corroborarse mediante el gráfico de la Carta de Smith de la fig. 5.13 (pág. 164). De la misma figura se deduce que para frecuencias superiores a 4 MHz se obtiene relaciones de onda estacionaria (relativas a 50Ω) inferiores a 2.5 y para frecuencias superiores a 5 MHz relaciones de onda estacionaria inferiores a 2.

En lo que respecta a la antena vertical omnidireccional cargada, -

se deduce que las variaciones de impedancia son grandes para utilizarla como antena única para la comprobación del espectro en el rango considerado. Esta antena puede ser instalada como auxiliar para utilizarla en registro y grabación.

Dado el hecho que su impedancia es alta comparada con los 50Ω del cable, con el cual se efectuó las mediciones, se calculó la impedancia de entrada que presenta la antena acoplándola a un transformador de impedancias de 50/200. Los resultados se presentan en el cuadro 5.5 y se grafizan en la Carta de Smith de la figura 5.21. Al comparar las impedancias características de la antena, relativa a 200Ω (fig. 5.21, pág. 183) y relativa a 50Ω (fig. 5.16, pág. 169) se deduce, que es ventajoso la instalación del transformador de 50/200, puesto que se reduce la relación de ondas estacionarias, de un promedio de 40 a 1 (sin transformador) a un promedio de 10 a 1 (con transformador), aproximadamente; por otra parte las variaciones de impedancia son más simétricas con respecto a la impedancia de la líneas

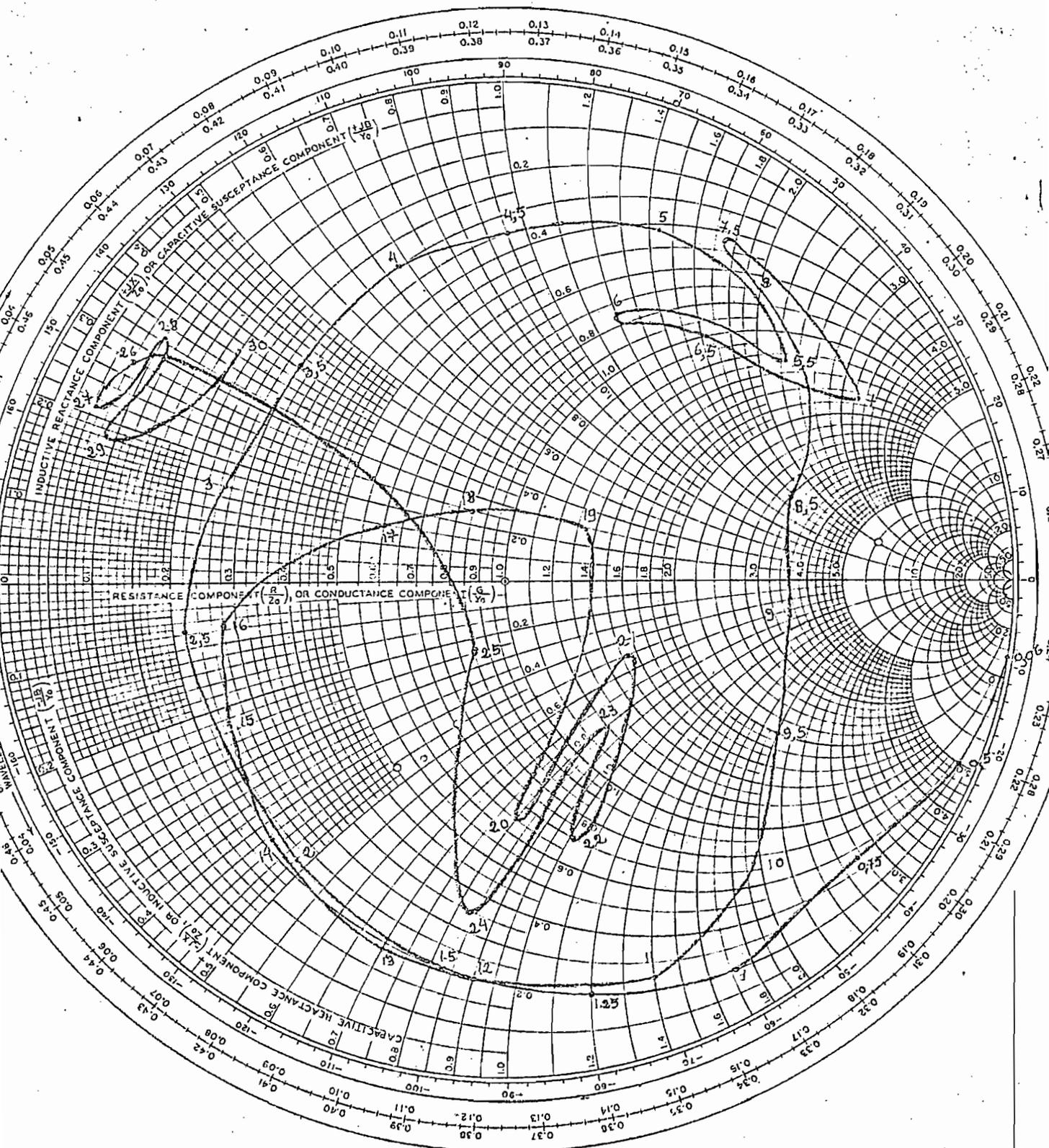
En el análisis comparativo de las características de ganancia se deduce del gráfico de la fig. 5.20 (pág. 178), que la antena de cono invertido presenta mejores características. Al revisar cuidadosamente los resultados experimentales se nota, que en las frecuencias bajas el cono invertido da una ganancia grande relativa al dipolo de referencia. Según el estudio teórico, es dudoso que esta ganancia sea totalmente verdadera. Parece probable que el dipolo de referencia fue afectado por su proximidad al suelo y en tal caso, un monopolo graduable de $\lambda/4$ puesto a tierra habría sido una antena de referencia más confiable, pe-

Cuadro 5.5: Impedancia de la antena vertical omnidireccional cargada acoplada con un transformador de impedancias de 50/200 - ohmios. ($Z_0 = 200 \Omega$).

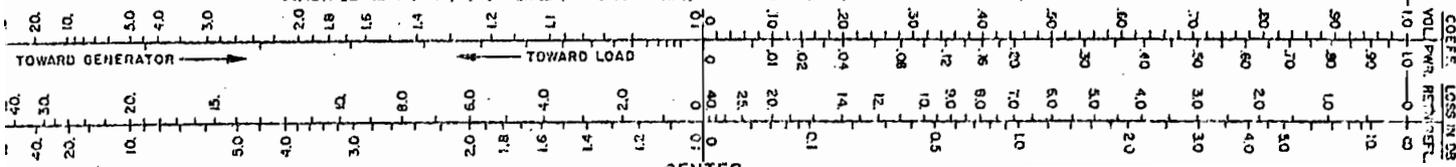
f (MHz)	Z(Ω)	
	R/Z ₀	X/Z ₀
0.06	0	-j 12.5
0.08	0	-j 12.5
0.10	0	+j 12.5
0.12	0	-j 12.5
0.50	0.5	-j 5
0.75	0.475	-j 2.75
10	0.2	-j 1.725
1.25	0.2	-j 1.2
1.5	0.2	-j 0.838
2.0	0.225	-j 0.48
2.5	0.219	-j 0.075
3.0	0.263	+j 0.16
3.5	0.3	+j 0.425
4.0	0.3	+j 0.675
4.5	0.35	+j 0.95
5.0	0.425	+j 1.45
5.5	1.5	+j 2.25
6.0	0.75	+j 1.2
6.5	1	+j 1.625
7.0	3.25	+j 1.7
7.5	0.45	+j 1.75

Continuación del Cuadro 5.5:

f (MHz)	Z(Ω)	
	R/Z ₀	X/Z ₀
8.0	0.65	+j 1.875
8.5	3	+j 1.75
9.0	3.5	-j 0.75
9.5	2	-j 2
10.0	0.75	-j 1.95
11.0	0.25	-j 1.4
12.0	0.2	-j 0.9
13.0	0.188	-j 0.65
14.0	0.218	-j 0.425
15.0	0.25	-j 0.225
16.0	0.28	-j 0.07
17.0	0.6	+j 0.15
18.0	0.85	+j 0.25
19.0	1.225	+j 0.3
20.0	0.65	-j 0.8
21.0	1.55	-j 0.5
22.0	0.7	-j 1.05
23.0	1.2	-j 0.8
24.0	0.35	-j 0.838
25.0	0.85	-j 0.225
26.0	0.08	+j 0.28
27.0	0.063	+j 0.209
28.0	0.1	+j 0.325
29.0	0.088	+j 0.183
30.0	0.2	+j 0.37

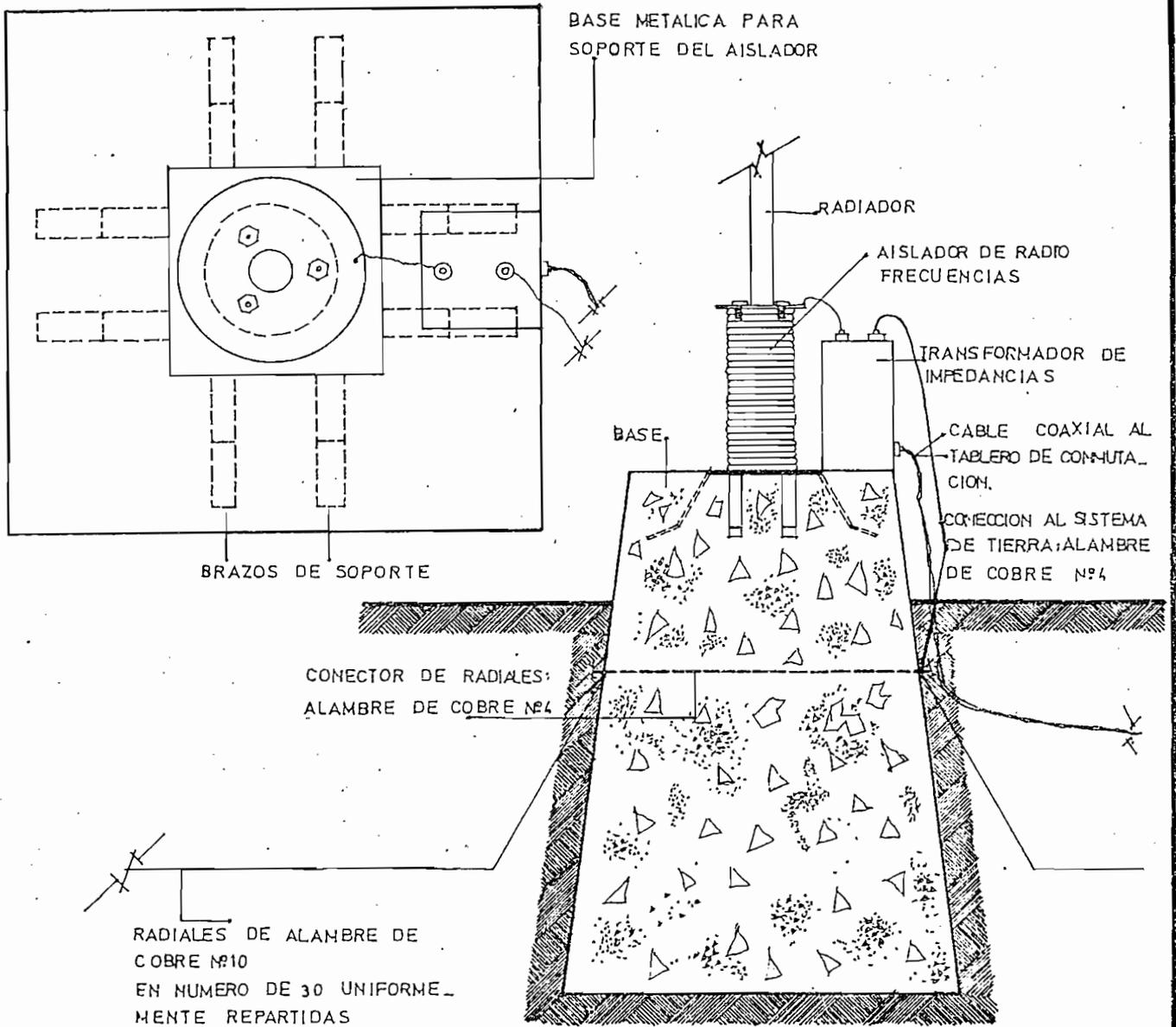


SOBRE LOS PUNTOS SE LEE LA FRECUENCIA EN MHz.



ro también más difícil de acoplar correctamente al medidor.

De todas maneras el cono invertido (debido a su impedancia más baja) entrega una señal significativamente mayor al receptor, en comparación con el radiador vertical cargado y tiene una variación más leve sobre todo el rango. Por eso se recomienda la construcción de dos antenas de cono invertido como antenas principales para este rango de frecuencias.



CORTE ESC. 1:10

ANTENA VERTICAL OMNIDIRECCIONAL CARGADA : DETALLE Nº 1

DISENADO: J. VIVANCO

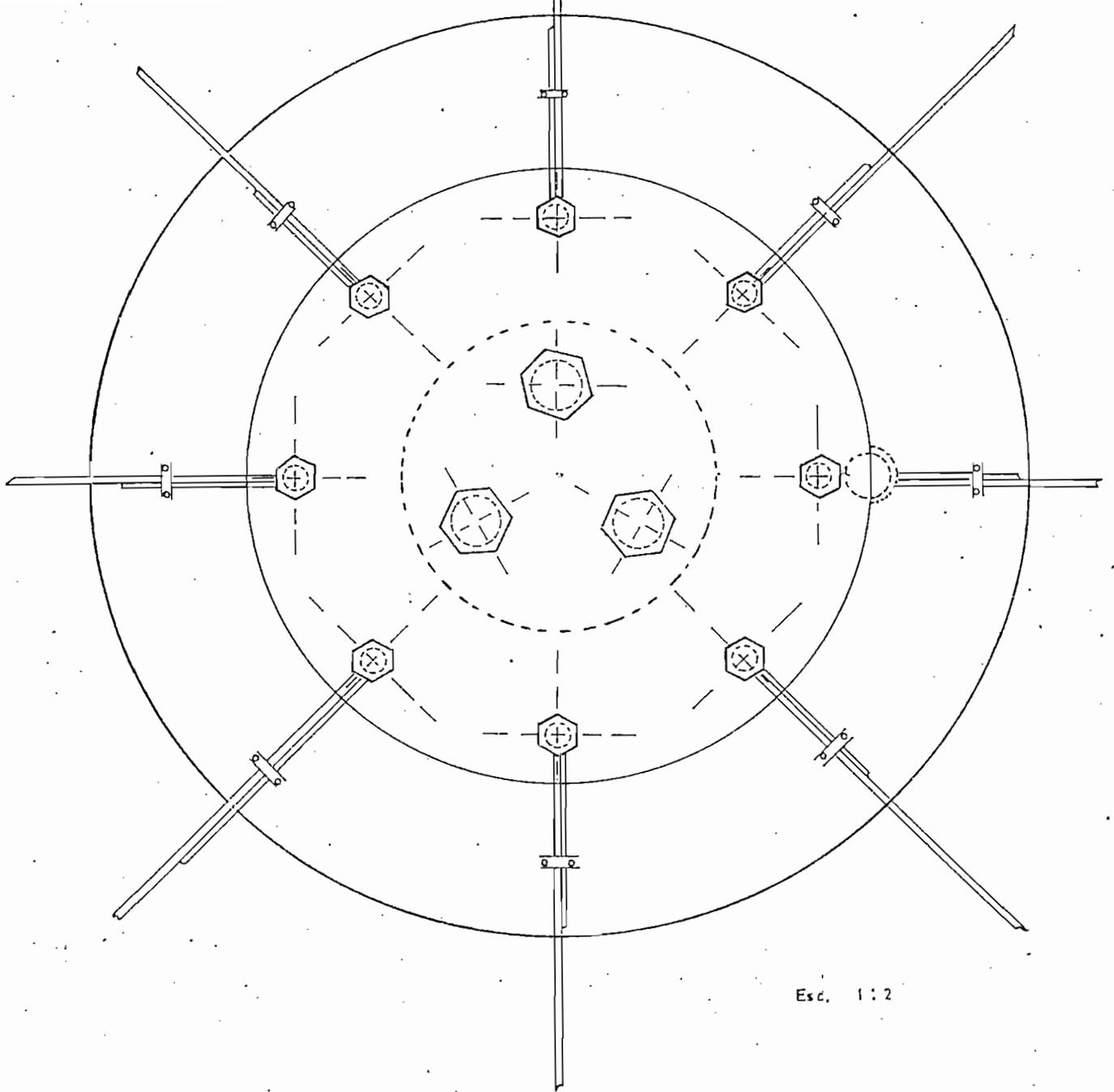
ESCALA: 1:5 1:10

REVIZADO: ING. JACOBSON

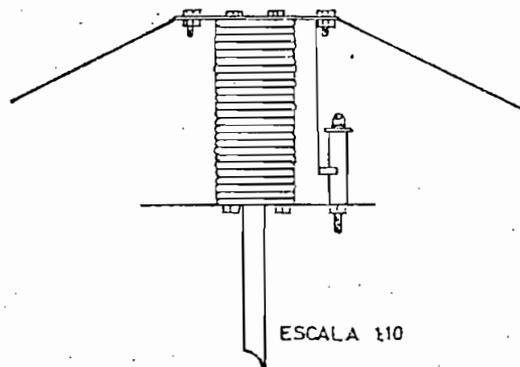
LAMINA 2 DE ANEXO 5

DIBUJADO: J. VIVANCO

OCTUBRE 75



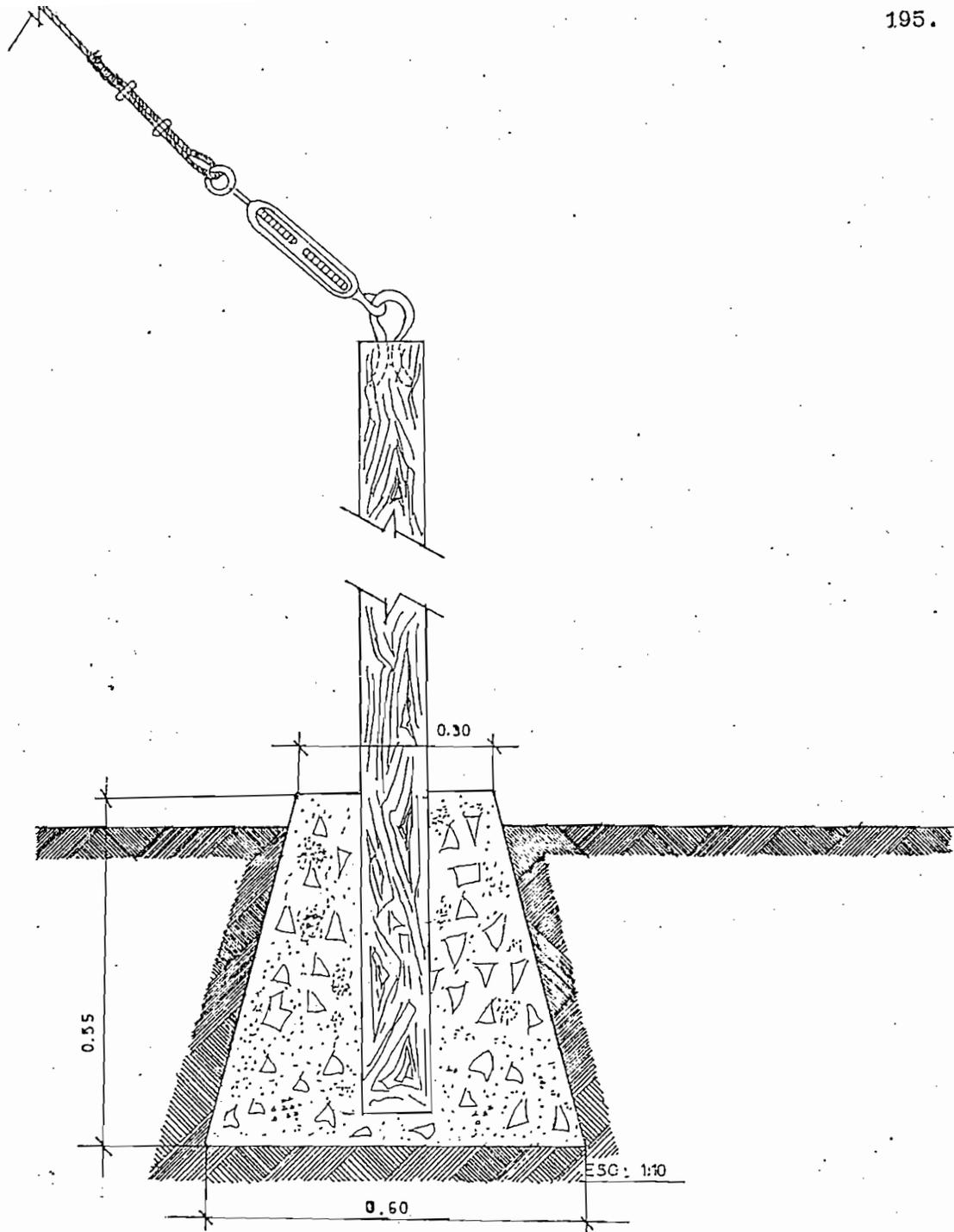
Esc. 1:2



ANTENA VERTICAL OMNIDIRECCIONAL CARGADA. DETALLE N°2

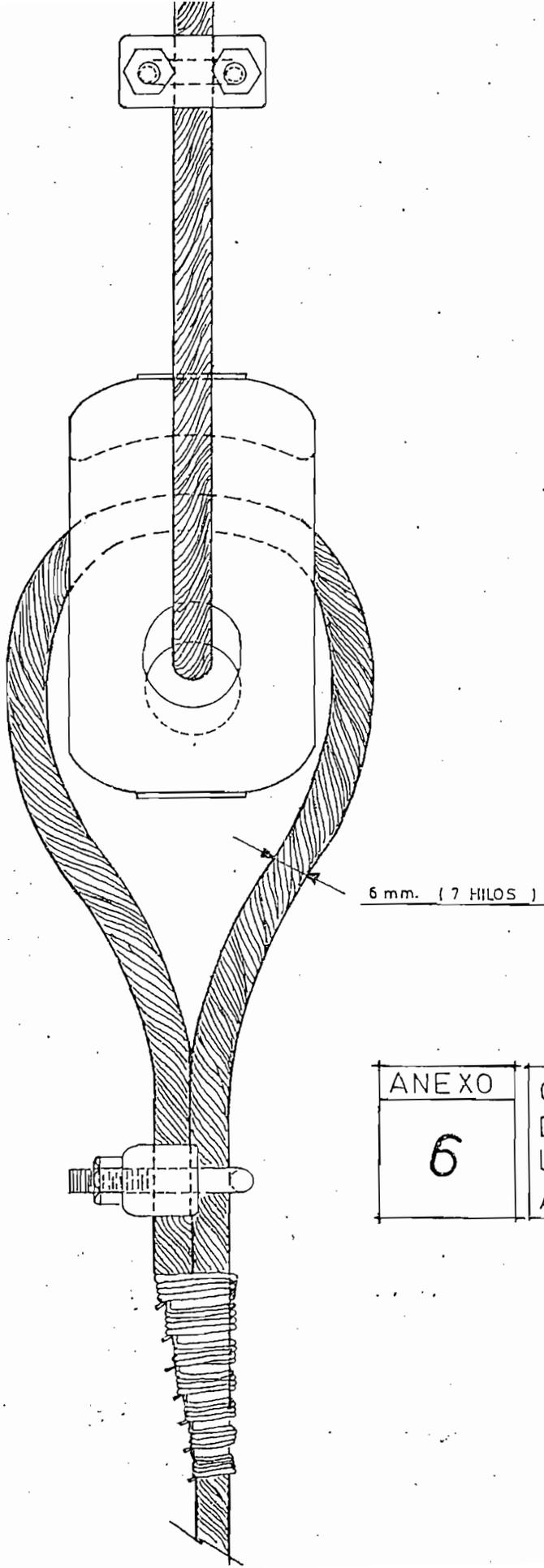
LAMINA 3 DE ANEXO 5
DISEÑO, J. VIVANCO
REVIZO: ING. JACOBSON

ESCALA 1:10



ANTENA VERTICAL OMNIDIRECCIONAL CARGADA: DETALLE Nº 3

DISEÑO: J. VIVANCO	ESCALA: 1:100
REVIZADO: ING. JACOBSON	LAMINA: 4 DE ANEXO 5
DIBUJADO: J. VIVANCO	OCTUBRE 75



ANEXO

6

CONEXION DE LOS AISLA-
DORES DE RETENCION EN
LOS TENSORES DE LAS
ANTENAS.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones, CCIR; "MANUAL PARA EL USO DE LAS ESTACIONES DE COMPROBACION TECNICA DE LAS EMISIONES", Capitulo 1; Ginebra, 1968.
- [2] Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, "SEMINARIO SOBRE LA PLANIFICACION DE SISTEMAS DE RADIODIFUSION", PARTE I, Sao Paulo, Junio de 1973.
- [3] Dirección de Telecomunicaciones, Ministerio de Comunicaciones de la República de Venezuela; "INTENSIDAD ELECTRICIA DE LA ONDA DE SUPERFICIE, 535 - 1605 kHz" Enero de 1973.
- [4] Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones, CCIR, "INFORME 373-1, VOLUMEN 1, 1970".
- [5] Technology for Communications International, TCI, "PRODUCTS & SERVICES", 1625 Stierlin Rd., Mountain View, California 94040.
- [6] Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones, CCIR, "INFORME 373-1, VOLUMEN 1, 1970".
- [7] Rohde & Schwarz, 800 MÜNCHEN 80 MÜHLDORFST, 15 (ALEMANIA).
- [8] CCIR, Documento VIII/5.
- [9] Rohde & Schwarz, "Log-Periodic Broadband Antennas", 800 MÜNCHEN 80 MÜHLDORFSTR 15 (ALEMANIA).
- [10] GRANGER ASSOCIATES, "TRANSLATING RADIO RESEARCH INTO PRACTICAL RADIO HARDWARE", 974 Commercial Street, Palo Alto, California.

- [11] Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones, CCIR, "IN - FORME 373-1, VOLUMEN, 1970".
- [12] CCIR, "MANUAL PARA EL USO DE LAS ESTACIONES DE COMPROBACION TECNICA DE LAS EMISIONES, Capitulo 12, Ginebra 1968.
- [15] Henry Jasik, "ANTENNA ENGINEERING HANDBOOK, primera edición, -- MCGRAW - HILL BOOK COMPANY; capitulo 28.
- [14] ITT, "REFERENCE DATA FOR RADIO ENGINEERS", primera edición, 1973. - Capitulo 6. (Pág. 6.9).
- [15] Henry Jasik, "ANTENNA ENGINEERING HANDBOOK", primera edición, -- MCGRAW - HILL BOOK COMPANY, capitulo 3.
- [16] Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, "IFRB, NORMA TECNICA M", publicaciones periódicas, Génova. (Biblioteca de la Dirección Nacional de Frecuencias del I.E.TEL.).
- [17] Edmund A. Laport, "INGENIERIA DE ANTENAS", Editorial Hispano Ameri cana S.A., 1963. Capitulo 3: Antenas de Alta Frecuencia.
- [18] ITT, "REFERENCE DATA FOR RADIO ENGINEERS", primera edición, 1973. - Capitulo 22 (pág. 22 - 28).
- [19] ITT "REFERENCE DATA FOR RADIO ENGINEERS", primera edición, 1973. - Capitulo 22 (pág. 22 - 28).
- [20] ITT, "REFERENCE DATA FOR RADIO ENGINEERS", primera edición, 1973. - Capitulo 22 (pág. 22 - 28).
- [21] Edmund A. Laport, "INGENIERIA DE ANTENAS", Editorial Hispano Ameri cana S.A., 1963. Capitulo 3: Antenas de Alta Frecuencia.

- [22] ANDREW, "CATALOG 27, ANTENNAS/TRANSMISSION LINES", Los Angeles, - Andrew California Corporation, 941 E. Maryland Avenue.
- [23] Edmund A. Laport "INGENIERIA DE ANTENAS", Editorial Hispano Americana S.A., 1963. Capitulo 2.
- [24] Roy R. Carpenter, Jr., "LIGHTNING PREVENTION PRACTICAL AND PROVEN" Mayo 1974. Publicado por la Compañía: LIGHTNING ELIMINATION -- ASSOCIATES, (9102 Firestone Boulevard Downey, California 90241).
- [25] ITT, "REFERENCE DATA FOR RADIO ENGINEERS", primera edición, 1973. Capitulo 41, (pág. 41 - 19).
- [26] American Society For Testing And Materials "1967 BOOK OF ASTM - STANDARDS", 1916 Racest. Philadelphia Pa. 19103.
- [27] ITT, "REFERENCE DATA FOR RADIO ENGINEERS", primera edición, Capitulo 4.
- [28] Henry Jasik, "ANTENNA ENGINEERING HANDBOOK", primera edición, -- McGRAW - HILL BOOK COMPANY, capitulo 3.
- [29] Carl E. Smith and Earl M. Johnson, "PERFORMANCE OF SHORT ANTENNAS", Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Vol 35, No 10, October, 1947. U.S.A.