

INFORME UIT-R M.2027*

Directrices técnicas dirigidas a los operadores a fin de mejorar las instalaciones costeras para explotar el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos en las zonas marítimas A1, A2 y A3/A4

(2001)

1 Consideraciones generales

Para establecer una nueva zona marítima A2, A3 o A4 es necesario tener cierto conocimiento sobre la forma en que varían las condiciones de propagación. La cobertura A2 es por onda de superficie, que es estable y permite confirmar la amplitud de la zona de servicio mediante mediciones antes de comprometerse a realizar inversiones de capital, práctica recomendada por la OMI. La cobertura A3 y A4 es por onda ionosférica y depende de las condiciones de la ionosfera que varían con la actividad solar. Como dicha actividad sigue un ciclo de 11 años, la amplitud de la zona de servicio no puede confirmarse realizando nuevas mediciones y las administraciones que deseen incorporarse a la red de estaciones costeras en la banda de ondas decamétricas pueden necesitar la aplicación de diversos métodos para verificar la viabilidad y determinar el tamaño de los equipos necesarios a fin de determinar con cierta seguridad el presupuesto del proyecto.

La amplitud de las zonas marítimas A2, A3 y A4 viene especificada por la OMI en el Anexo 3 a su resolución A.801(19) y en el § 3.4.1 de este Informe aparecen gráficos para evaluar rápidamente la amplitud de la zona marítima A2 utilizando estos datos, así como directrices que permiten a las administraciones efectuar su propia evaluación de la posible cobertura A3 y A4 empleando el programa informático de predicción de ondas decamétricas en el supuesto de que cada estación costera es miembro de una comunidad de estaciones de ondas decamétricas que funcionan conjuntamente para ofrecer el grado de servicio requerido.

- El § 2 define los requisitos funcionales y describe los equipos necesarios.
- El § 3 define la relación portadora/ruido en banda lateral única (BLU) y el nivel de señal utilizable, indica los grados de servicio, presenta los criterios de calidad de funcionamiento, examina las herramientas informáticas disponibles y proporciona directrices para determinar los alcances de recepción y los requisitos de potencia del transmisor.
- El § 4 se refiere a los temas de ingeniería del emplazamiento tales como la elección de buenos emplazamientos de recepción, el aislamiento entre emplazamientos, la protección de las frecuencias de escucha, la puesta a tierra de las estaciones y la protección contra el rayo.

2 El Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM)**2.1 Requisitos reglamentarios**

El SMSSM entró en vigor en febrero de 1992 bajo el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) modificado en noviembre de 1988 y tiene por objeto establecer una red mundial de comunicaciones para llevar a cabo las actividades de búsqueda y salvamento desde la tierra, el aire y el mar a fin de acudir rápidamente en ayuda de los barcos que se encuentren en peligro.

* Este Informe debe señalarse a la atención de la Organización Marítima Internacional (OMI).

El SMSSM permite alertar rápidamente sobre el incidente ocurrido a las autoridades costeras de búsqueda y salvamento (SAR) así como a los barcos que se encuentran en las proximidades inmediatas del buque en peligro, de manera que puedan realizar las operaciones de búsqueda y salvamento coordinadas con un mínimo retraso.

El SMSSM amplía fundamentalmente la cobertura de las comunicaciones SAR a todo el globo terráqueo empleando las bandas de ondas métricas, hectométricas y decamétricas así como los sistemas de comunicaciones por satélite que utilizan la llamada selectiva digital (LLSD) mediante la cual un barco en peligro puede transmitir rápidamente información sobre su situación a una estación costera de una forma sencilla y segura. La estación costera que recibe el alerta de socorro puede acceder fácilmente al barco mediante las comunicaciones SAR.

Además, el sistema NAVTEX del SMSSM proporciona radiodifusión automática en la información sobre seguridad marítima, avisos de navegación y meteorológicos e información SAR a todos los barcos que se encuentran en una zona de hasta 500 millas náuticas de la costa.

La cobertura total del SMSSM se logra dividiendo los océanos del mundo en cuatro zonas distintas en las que pueden navegar los barcos:

Zona	Definición de zona marítima	Medios de cobertura	Alcance típico
A1	Zona dentro de la cobertura radiotelefónica de al menos una estación costera en ondas métricas, en la que se dispone de un alerta LLSD continua	<i>Cobertura permanente en ondas métricas</i> Dentro de la visibilidad directa de la antena, ampliada cuando persiste la condición de propagación por conducto	<i>Corto alcance</i> 15 a 30 millas náuticas desde la costa
A2	Zona, excluyendo la zona marítima A1, dentro de la cobertura radiotelefónica de al menos una estación en ondas hectométricas en la que se dispone de un alerta LLSD continua	<i>Cobertura permanente en ondas hectométricas</i> Propagación por onda de superficie más allá del horizonte con algunos episodios de desvanecimiento por la noche	<i>Alcance medio</i> 100 a 300 millas náuticas desde la costa
A3	Zona, excluyendo las zonas marítimas A1 y A2, dentro de la cual la elevación de un satélite geoestacionario INMARSAT es de 5° o más	<i>Alternativa a INMARSAT</i> Utilizando propagación por onda ionosférica en 5 bandas de ondas decamétricas	<i>Largo alcance</i> Principalmente entre las latitudes de 70° N y 70° S
A4	Zona fuera de las zonas marítimas A1, A2 y A3	<i>Cobertura primaria por ondas decamétricas</i> Compartida entre las redes de estaciones costeras participantes, por onda ionosférica en 5 bandas de ondas decamétricas	<i>Largo alcance</i> A partir de 70° N y 70° S

2.2 Requisitos de explotación

2.2.1 Funciones del operador básicas

Las estaciones costeras en tierra que proporcionan a los barcos que están navegando servicios de radiocomunicaciones en las bandas de ondas métricas, hectométricas y decamétricas para su utilización con el SMSSM deben incorporar las siguientes funciones.

Recepción de alertas de socorro. La estación costera debe mantener la escucha continua de los alertas de socorro transmitidos desde barcos que utilizan LLSD. El alerta de socorro identifica al barco en peligro, su posición, la naturaleza del peligro, el tipo de asistencia necesaria y la hora de registro de la información.

Transmisión de acuse de recibo. La estación costera que recibe un alerta de socorro debe devolver una señal de acuse de recibo al barco en peligro a fin de que cese toda transmisión que pueda interferir con el tráfico de socorro y debe continuar a la escucha de dicho tráfico.

Retransmisión del alerta de socorro. La estación costera debe tener los medios necesarios para retransmitir el alerta de socorro recibido a todos los buques que naveguen en las proximidades del barco que se encuentra en peligro.

Difusión de la información sobre seguridad marítima. Para apoyar las operaciones SAR, las estaciones costeras en tierra deben difundir la información sobre seguridad marítima incluidos los avisos de navegación y meteorológicos y otros mensajes de urgencia y seguridad. La información NAVTEX transmite en 518 kHz mediante telegrafía de impresión directa en banda estrecha (IDBE) en modo corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC).

2.2.2 Cometido funcional desempeñado por las instalaciones costeras

Aunque las disposiciones varían de un país a otro, las instalaciones costeras generalmente comprenden estaciones de radiocomunicaciones y unidades SAR bajo la supervisión de uno o más centros de coordinación de salvamento (CCS) y las misiones de salvamento normalmente emplean instalaciones procedentes de más de un país, lo que exige un alto grado de cooperación internacional. El Anexo 2 del Documento COM 33/2/3 (julio de 1987) – Contribución de la Subcomisión de la OMI sobre dispositivos para la seguridad de la vida humana, la búsqueda y el salvamento a la Subcomisión de la OMI sobre radiocomunicaciones relativa a comunicaciones SAR de largo alcance en el SMSSM, describe la forma de coordinar las operaciones de búsqueda y salvamento por la comunidad de CCS internacionales con asistencia directa de las instalaciones de radiocomunicaciones costeras y establece algunas directrices básicas para la cooperación internacional.

La estación costera más próxima a la posición de socorro indicada debe acusar recibo del alerta. Otras estaciones costeras que reciban el alerta deben acusar recibo si la estación más próxima no responde debido, por ejemplo, a la variabilidad de las comunicaciones por onda ionosférica en la banda de ondas decamétricas. La estación costera que acusa recibo del alerta debe establecer y mantener las comunicaciones con el buque siniestrado hasta que sea relevada por el CCS afiliado, que asume la responsabilidad de toda la coordinación subsiguiente de las medidas SAR, a menos que esta responsabilidad sea aceptada por otra CCS que se encuentre en mejor disposición de llevar a cabo dicha acción.

2.2.3 Respuesta inicial del operador a un alerta de socorro

La pérdida de vidas humanas como resultado de un accidente o de una catástrofe disminuye a medida que aumenta la velocidad de respuesta del servicio de salvamento. Por lo tanto, el objetivo principal debe ser permitir al operador de la estación costera dar la respuesta más rápida posible:

- reconociendo la naturaleza de la llamada de socorro y notificando la misma al CCS afiliado;
- estableciendo el contacto inicial con el buque siniestrado o el equipo de rescate;
- aceptando la responsabilidad de la transmisión del acuse de recibo por LLSD e iniciando dicha transmisión;
- realizando la conexión del CCS mediante radiocomunicaciones con el buque siniestrado o con el equipo de rescate, si es necesario.

El programa informático de respuesta del operador debe estar diseñado para que solicite inmediatamente la respuesta humana adecuada, minimizando el periodo de tiempo que el operador pasa

correlacionando los datos, decidiendo qué acción va a tomar y llevando a cabo las acciones subsiguientes tales como la marcación de los números telefónicos y la preparación de los equipos de rescate.

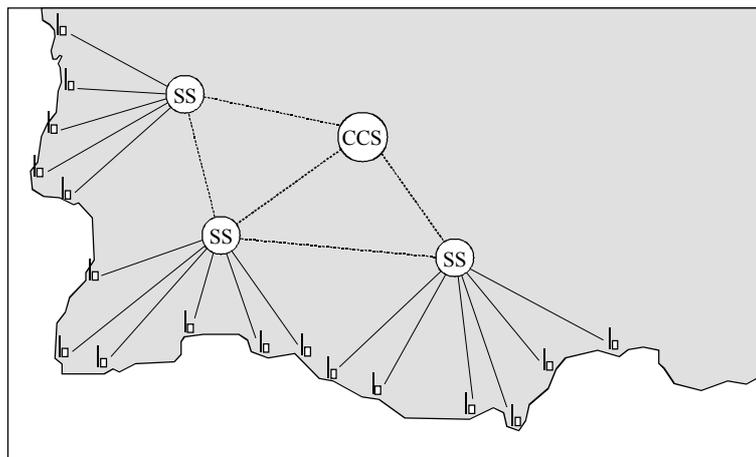
Los miembros de la tripulación del barco que ha lanzado el alerta tienen la opción de solicitar la utilización de la IDBE para las comunicaciones subsiguientes, lo cual es obligatorio si se encuentra en aguas A4. Por lo tanto, la estación del operador debe ir equipada con un terminal en modo conversación IDBE.

2.3 Equipo necesario para la respuesta a la llamada de socorro

2.3.1 Equipo básico necesario para las comunicaciones de corto alcance (A1)

Un país con una gran longitud de costas puede necesitar un cierto número de estaciones de base en ondas métricas para lograr una cobertura radioeléctrica eficaz como muestra la Fig. 1, en la cual un CCS supervisa varios subsistemas geográficamente separados cada uno con su propio operador. Como una llamada puede ser recogida por más de una estación de base, cada subsistema debe utilizar un sistema de elección para decidir qué estación de base va a utilizar y éstas deben estar conectadas entre los emplazamientos para decidir qué operador será responsable de las llamadas superpuestas.

FIGURA 1
Sistema típico que cubre una línea costera completa



- ▣ Estación de base remota en ondas métricas
- ⊙(SS) Estación de radiocomunicaciones costera
- Enlace para el sistema de elección de la señal

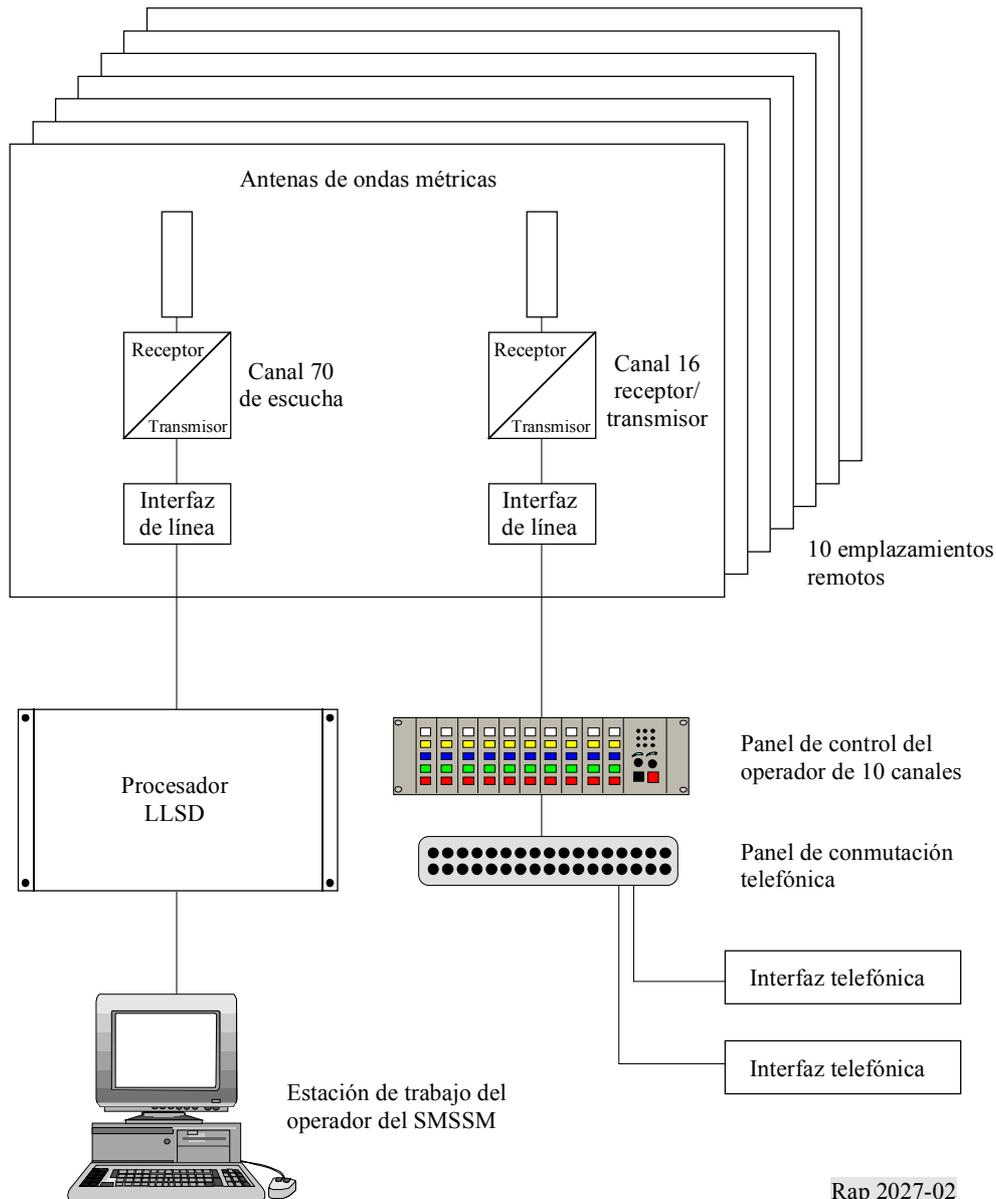
Rap 2027-01

La Fig. 2 representa los equipos básicos necesarios en cada subsistema para proporcionar una respuesta a un alerta de socorro A1. Muestra 10 estaciones de base remotas en ondas métricas bajo el control de un solo operador y procesador LLSD.

2.3.2 Equipo básico para comunicaciones de medio alcance (A2)

La Fig. 3 muestra el equipo básico necesario para proporcionar una respuesta a un alerta de socorro A2, configurado para permitir la transmisión del acuse de recibo de la señal de socorro y dar una respuesta manual mediante radiotelefonía en BLU utilizando un solo transmisor.

FIGURA 2
Subsistema A1 del SMSSM básico

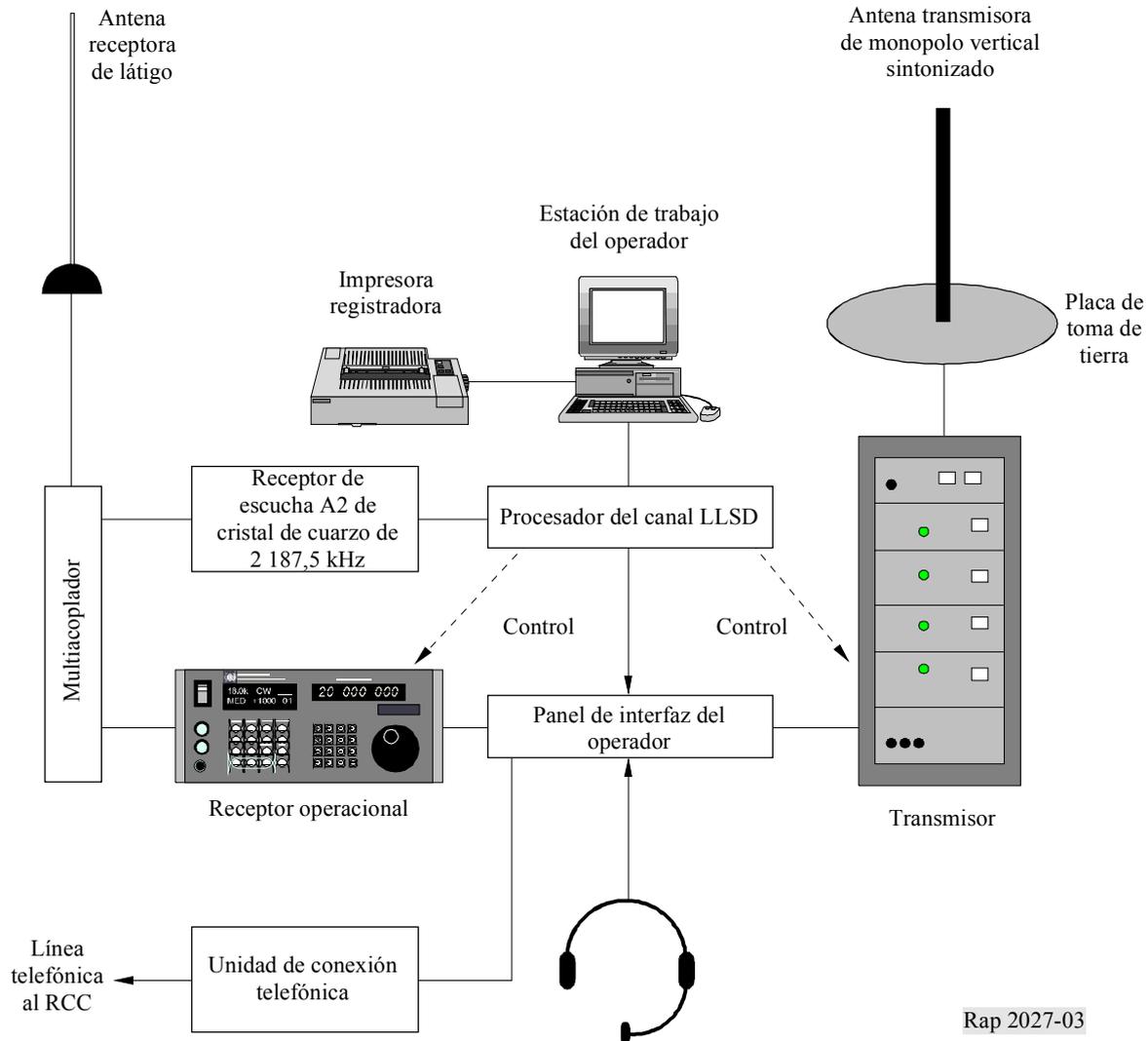


Rap 2027-02

Una antena receptora de látigo de corta longitud se conecta a un receptor de escucha A2 con cristal de cuarzo y a un receptor operacional a través de un multiacoplador. La salida del receptor de escucha se conecta a la entrada de un módem procesador LLSD. Las salidas de audiofrecuencia y PTT del módem se conectan al transmisor a través de un panel de interfaz para permitir el encañamiento del acuse de recibo LLSD hacia el transmisor, cuando sea necesario. El panel de interfaz permite al operador establecer un circuito radiotelefónico con el barco y proporcionar la conexión necesaria al CCS, manteniendo el control del transmisor y del receptor.

La antena transmisora es un monopolo sintonizado con polarización vertical capaz de emitir una onda de superficie para la respuesta A2. El tamaño del transmisor necesario dependerá de la eficacia de la antena, que a su vez depende de su longitud y del tamaño de la placa de toma de tierra; para potencias de salida por debajo de 500 W sería posible combinar el transmisor y el receptor operacional en un solo transceptor. En el § 4.5.1.3 aparece más información sobre la eficacia de la antena.

FIGURA 3
Sistema LLSA en ondas hectométricas del SMSSM básico



Rap 2027-03

El transmisor y el receptor operacional pueden ajustarse al modo y frecuencia adecuados mediante el procesador LLSA, ya sea directa o indirectamente a través de la estación de trabajo del operador.

Puede utilizarse equipo adicional, no representado en la Figura, que incluye módems para permitir la instalación de los equipos en emplazamientos separados y un registrador de llamadas que permita la derivación de los mensajes radiotelefónicos y las señales de LLSA.

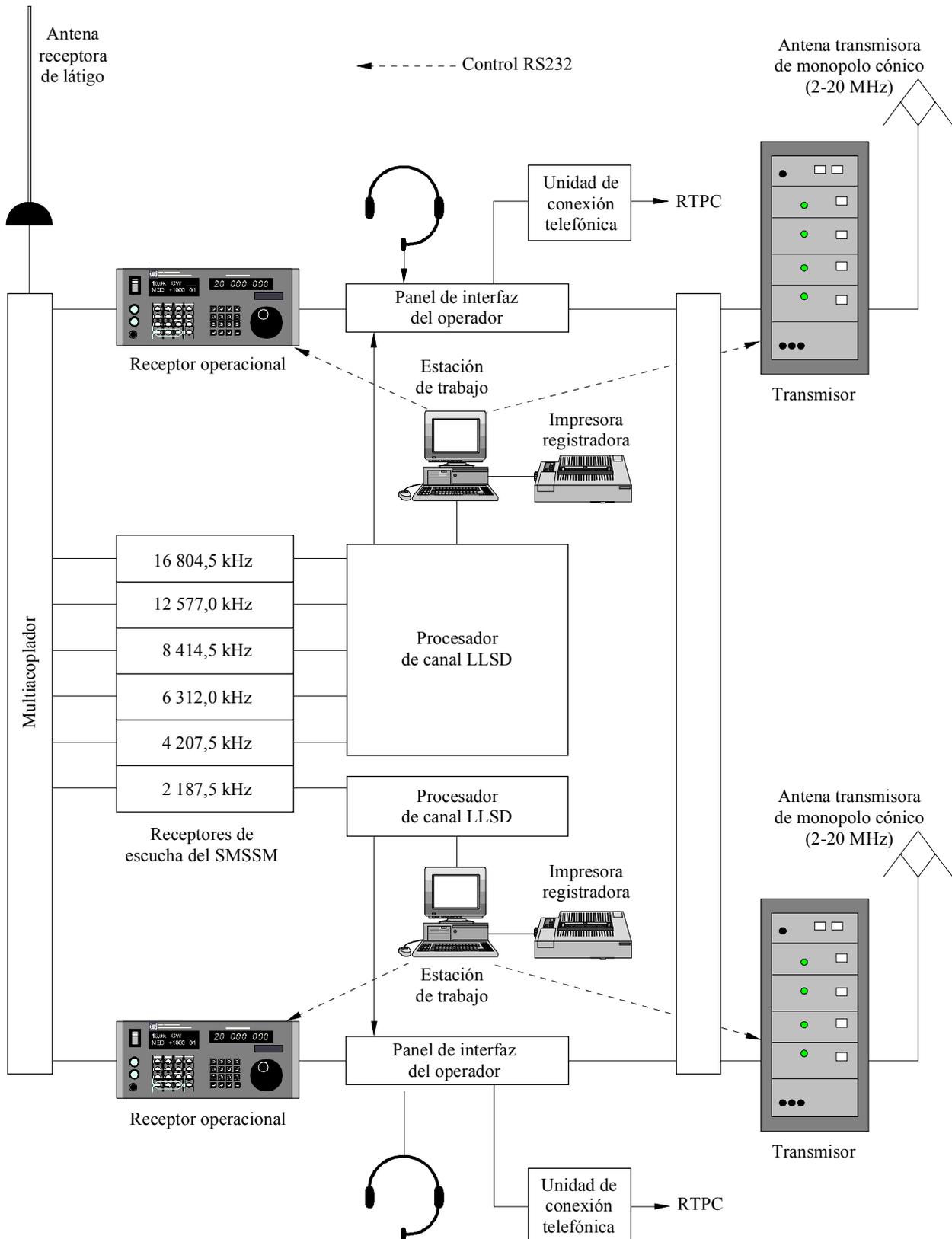
2.3.3 Equipo básico para comunicaciones de medio y largo alcance (A2/A3)

En la Fig. 4 se representa el equipo adicional necesario que debe añadirse a la configuración básica de la Fig. 3 para obtener un segundo canal que proporcione cobertura A3; se han incorporado receptores de escucha y módems de LLSA para cubrir cinco bandas de ondas decamétricas, un receptor operacional, un transmisor y una antena de transmisión.

Ambos transmisores están conectados a su propia antena de monopolo cónico de banda ancha adecuada para la transmisión de ondas de superficie a fin de lograr cobertura A2 en ondas hectométricas y de ondas ionosféricas con ángulo de transmisión bajo para la cobertura A3 en ondas decamétricas; una conexión entre los transmisores asegura que si uno de ellos falla el otro puede utilizarse en cualquier servicio. Puede proporcionarse redundancia adicional duplicando el número

de receptores de frecuencia de escucha, estableciendo dos subsistemas idénticos capaz cada uno de ellos de funcionar en A2 o A3.

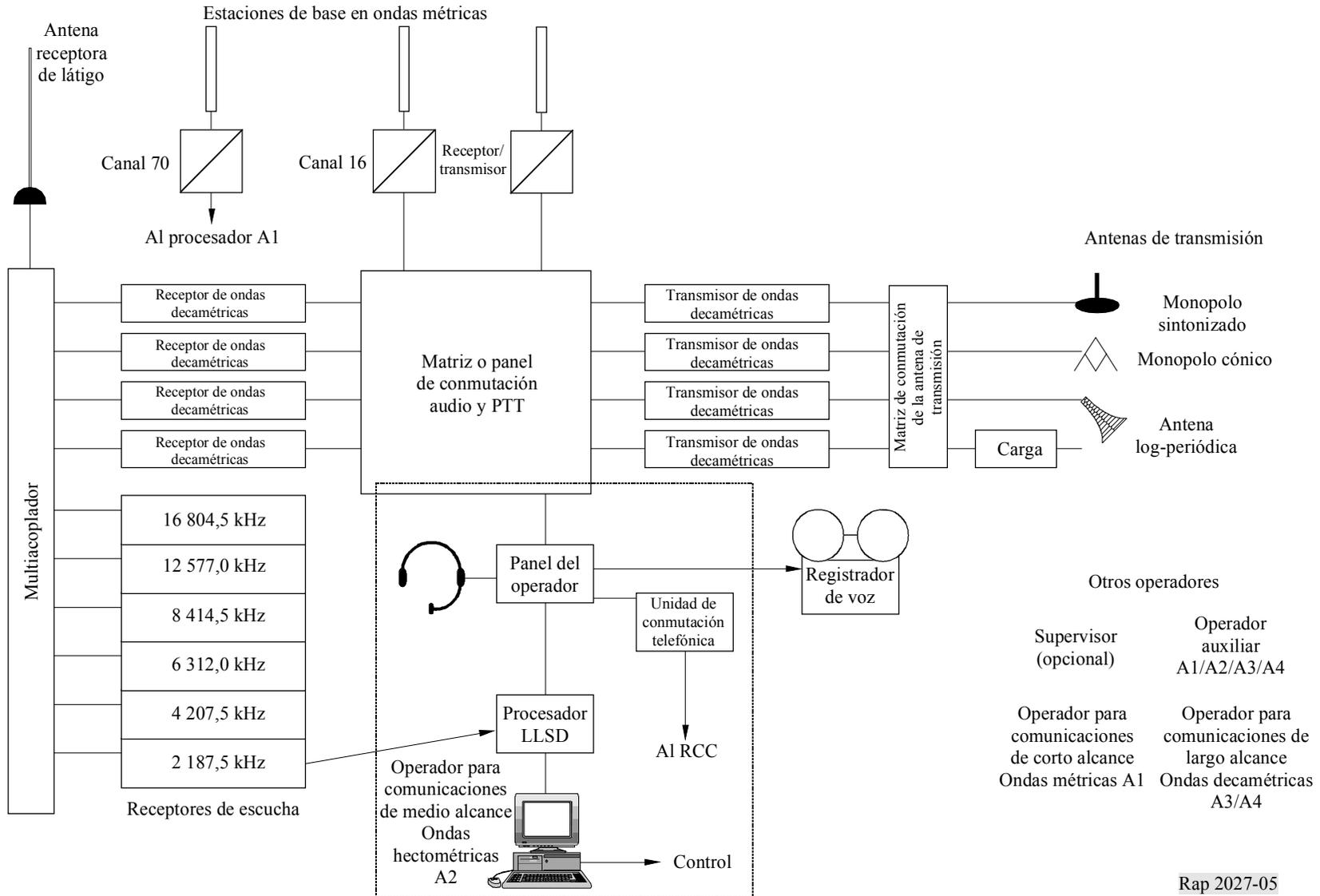
FIGURA 4
Sistema LLSD en ondas decamétricas o en ondas hectométricas del SMSSM



RTPC: red telefónica pública con conmutación

2.3.3.1 Sistema típico que proporciona cobertura completa en A2, A3 y A4

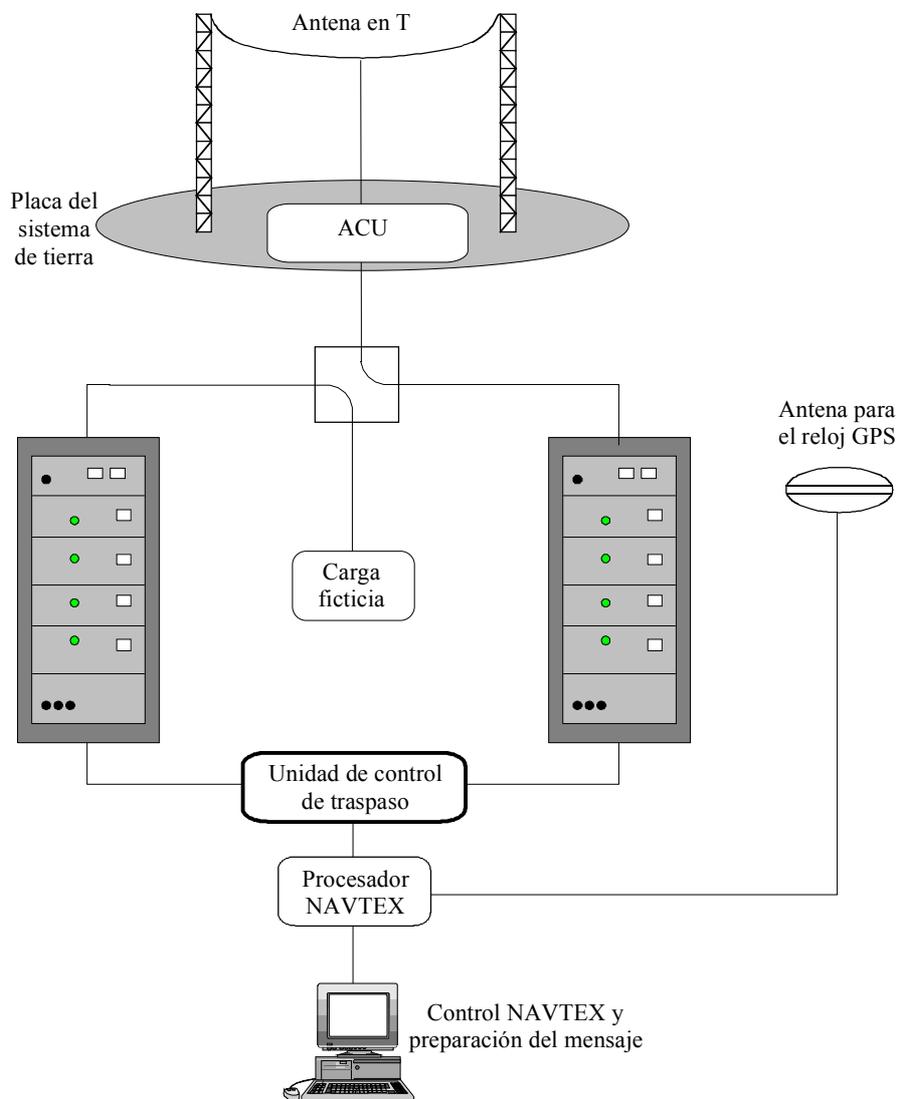
FIGURA 5
Sistema típico que proporciona plena cobertura en A1, A2 y ondas decamétricas del SMSSM



2.3.4 Sistema NAVTEX

El sistema NAVTEX puede almacenar mensajes registrados previamente y enviarlos automáticamente según un horario de difusión previamente establecido. El transmisor de 518 kHz está diseñado para funcionar en modo F1B a fin de transmitir información NAVTEX en modo FEC a través del sistema IDBE.

FIGURA 6
Sistema NAVTEX básico



ACU: unidad de acoplamiento de antena

Rap 2027-06

3 Planificación del sistema

3.1 Objetivos de la planificación

Las estaciones del SMSSM en la costa deben ofrecer servicios de corto alcance, alcance medio y/o largo alcance utilizando las bandas de ondas métricas, hectométricas y decamétricas, respectivamente. Mientras que una zona marítima A1 puede exigir un número elevado de estaciones en la banda de ondas métricas situadas a intervalos a lo largo de la línea costera, las zonas marítimas NAVTEX y A2 pueden ser cubiertas cada una de ellas por una sola estación costera que debe diseñarse de manera que proporcione un grado de servicio que ofrezca una disponibilidad del 95% para las emisiones A2 y del 90% para las emisiones NAVTEX. La responsabilidad de la cobertura de las zonas marítimas A3 y A4 está compartida entre un cierto número de estaciones costeras que trabajan conjuntamente para proporcionar una disponibilidad combinada del 90%; es decir, existe una probabilidad del 90% de que una llamada sea captada por cualquiera de las estaciones costeras.

El alcance logrado depende de la potencia transmitida, de las pérdidas de propagación y de la capacidad del receptor para discriminar entre la señal deseada y el ruido o interferencia no deseados. El nivel de cada componente en la señal recibida variará a medida que cambien las condiciones de propagación en el tiempo y, por lo tanto, llegue a la antena de recepción en proporciones variables; el diseño del sistema definitivo debe asegurar que el nivel de la señal rebase el nivel del ruido en un valor adecuado durante un porcentaje de tiempo apropiado. Esta proporción se denomina la disponibilidad y se determina cuantificando el comportamiento de la señal y del ruido en el tiempo.

3.2 Criterio de planificación

3.2.1 Criterios de planificación para los servicios en la banda de ondas métricas

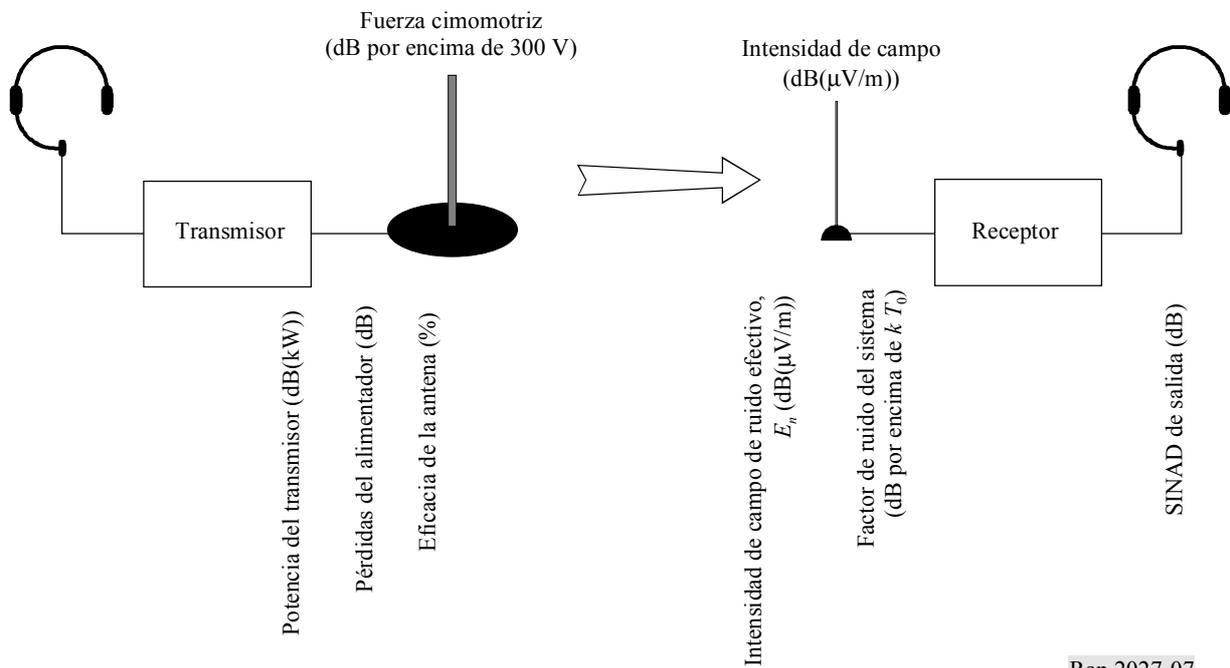
En el Anexo 3 a la resolución A.801(19) de la OMI aparece la siguiente fórmula para calcular el alcance A .

$$A = 2,5 \times (\sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad \text{millas náuticas}$$

siendo H y h las alturas de las antenas de la estación costera y del barco, respectivamente (m) por encima del nivel medio del mar y $h = 4$ m.

3.2.2 Criterios de calidad de funcionamiento para los servicios por onda de superficie

FIGURA 7
Sistema sencillo de radiotelefonía en BLU



Rap 2027-07

La OMI define el alcance para una estación de radiocomunicaciones costera A2 por la capacidad que tiene la estación para mantener una comunicación eficaz con un barco transmitiendo 60 W a una antena con una eficacia del 25% en radiotelefonía BLU, para lo cual deben utilizarse los elementos esenciales del sistema mostrados en la Fig. 7. Como esta potencia es muy inferior al nivel habitual transmitido desde la estación costera, el primer paso consiste en verificar la sensibilidad del emplazamiento del receptor, en segundo lugar se determina la cantidad de potencia necesaria para devolver la llamada y a continuación para proteger la integridad de los canales de vigilancia de socorro LLSD. La OMI recomienda realizar una campaña de mediciones para verificar con exactitud el alcance logrado.

CUADRO 1

Criterios de calidad de funcionamiento para los servicios por onda de superficie

Canal de socorro	Receptor/ transmisor	LLSD	ARQ IDBE	NAVTEX
Frecuencia (kHz)	2 182	2 187,5	2 174,50	490 y 518
Anchura de banda (Hz)	3 000	300	300	500
Propagación	Onda de superficie	Onda de superficie	Onda de superficie	Onda de superficie
Potencia del transmisor del barco (W)	60	60	60	
Eficacia de la antena del barco (%)	25	25	25	25
Relación señal/ruido, S/N , (RF) en toda la anchura de banda (dB)	9	12	18	8
Potencia media del transmisor por debajo del valor de cresta (dB)	8	0	0	
Margen de desvanecimiento (dB)	3	No indicado	9	3
Referencia de la OMI	res. A.801(19)	res. A.804(19)	Rec. UIT-R F.339	res. A.801(19)
Porcentaje de tiempo (%)	95 ⁽¹⁾	No señalado	No señalado	90

ARQ: Corrección de errores por detección y repetición.

⁽¹⁾ Esta cifra ha sido sugerida por la Administración Danesa de Correos y Telégrafos en su artículo «Calculation of GMDSS ranges for selected parts of the world» de 30 de diciembre de 1987.

3.2.3 Criterios de calidad de funcionamiento para los servicios por onda ionosférica**3.2.4 Frecuencias utilizadas**

CUADRO 2

Frecuencias por las transmisiones del SMSSM

Banda (MHz)	Llamada de socorro por IDBE	Llamada de socorro por SMSSM	Llamada de socorro por receptor/transmisor
4	4 177,50	4 207,50	4 125
6	6 268	6 312	6 215
8	8 376,50	8 414,50	8 291
12	12 520	12 577	12 290
16	16 985	16 804,50	16 420

CUADRO 3

Criterios de calidad de funcionamiento para diversas transmisiones en ondas decamétricas

Canal de socorro	Receptor/ transmisor	LLSD	ARQ IDBE
Anchura de banda (Hz)	3 000	300	300
Potencia del transmisor del barco (W) ⁽¹⁾	60	60	60
Eficacia de la antena del barco	No indicada	No indicada	No indicada
Relación señal/ruido, <i>S/N</i> , (RF) en toda la anchura de banda (dB)	9	12	12
Potencia media del transmisor por debajo del valor de cresta (dB)	8	0	0
Margen de desvanecimiento (dB)	3	No indicado	No indicado
Referencia de la OMI	res. A.806(19)	res. A.806(19)	res. A.806(19)

(1) La resolución A.806(19) de la OMI indica que en algunas partes del mundo puede ser necesario utilizar potencias más elevadas.

3.3 Herramientas de planificación

3.3.1 Soporte lógico de la UIT

3.3.1.1 NOISEDAT

La Recomendación UIT-R P.372 proporciona un método completo para determinar los niveles del ruido radioeléctrico que cabe esperar en cualquier emplazamiento, a lo largo de cualquier estación del año y durante cualquier periodo del día. El método se basa en la utilización de los mapas de ruido del UIT-R que fueron elaborados originalmente para su inclusión en los paquetes de predicción de la propagación en ondas decamétricas. El método básico que aparece en la Recomendación se ha introducido en el programa «NOISEDAT», que se ejecuta bajo el sistema DOS.

3.3.1.2 GRWAVE

Calcula las curvas de intensidad de campo de la onda de superficie utilizadas en la Recomendación UIT-R P.368, se ejecuta bajo el sistema DOS.

3.3.1.3 Recomendación UIT-R P.533

Predice las intensidades de la señal de acuerdo con la Recomendación UIT-R P.533 y se ejecuta bajo el sistema DOS.

3.3.1.4 HFANT

Este programa engloba los modelos analíticos de las antenas contenidos en la Recomendación UIT-R BS.705 y permite simular la ganancia y los diagramas de radiación de un gran número de antenas.

3.3.1.5 Lista internacional de frecuencias de la UIT en CD-ROM

Disponible en la Sede de la UIT en Ginebra. Proporciona una lista de los emplazamientos según el tipo de estación y el registro de frecuencia. Tiene un gran interés a la hora de determinar los emplazamientos de otras estaciones costeras para la planificación de frecuencias y a efectos de coordinación.

3.3.2 Programas informáticos del Insitute of Telecommunication Sciences (ITS) de la National Telecommunication and Information Administration (NTIA)/ITS

NTIA/ITS de Estados Unidos de América dispone de los siguientes programas para efectuar predicciones sobre comunicaciones y cobertura por onda ionosférica en la banda de ondas decamétricas. Están configurados para ejecutarse en los sistemas DOS, Windows 3.1, Windows 95 o Windows NT.

Origen del modelo utilizado	Paquete de comunicaciones punto a punto	Paquete de zona de cobertura	Paquete de análisis de interferencia
Recomendación UIT-R P.533	REC533	RECAREA	–
IONCAP	ICEPAC	ICEAREA	S/I ICEPAC
IONCAP	VOACAP	VOAAREA	S/I VOACAP

Cada paquete contiene una base de datos útil de los emplazamientos y antenas en el mundo y está soportado por una versión ampliada de HFANT que permite visualizar la biblioteca de diagramas de radiación de antena o sintetizar nuevos diagramas de acuerdo con la Recomendación UIT-R BS.705. Los mapas de la zona de cobertura se crean a partir de una base de datos integral de las costas del mundo y sobre ellos pueden trazarse una amplia gama de contornos y determinar valores tales como la frecuencia máxima utilizable (MUF), la intensidad de señal, la potencia de ruido, la relación señal/ruido, la fiabilidad y el ángulo de elevación de antena requerido. ICEPAC y VOACAP utilizan el mismo modelo básico, pero ICEPAC ha sido mejorado para tener en cuenta la actividad geomagnética.

3.3.3 Programas informáticos de IPS

IPS es el Departamento Australiano de Servicios Administrativos que opera una amplia gama de servicios de predicción de la propagación. Su paquete «ASAPS» (sistema de predicción autónomo avanzado (*advanced stand alone prediction system*)) ha sido ampliamente probado y se trata de un sistema de predicción de la propagación por onda ionosférica así como de gestión e ingeniería; es bien conocido por sus predicciones de frecuencia «Grafex». Para las predicciones de la onda de superficie ofrece su paquete «GWPS» (sistema de predicción de onda de superficie (*groundwave prediction system*)) que establece modelos de cobertura por onda de superficie.

3.3.4 Elección del soporte lógico

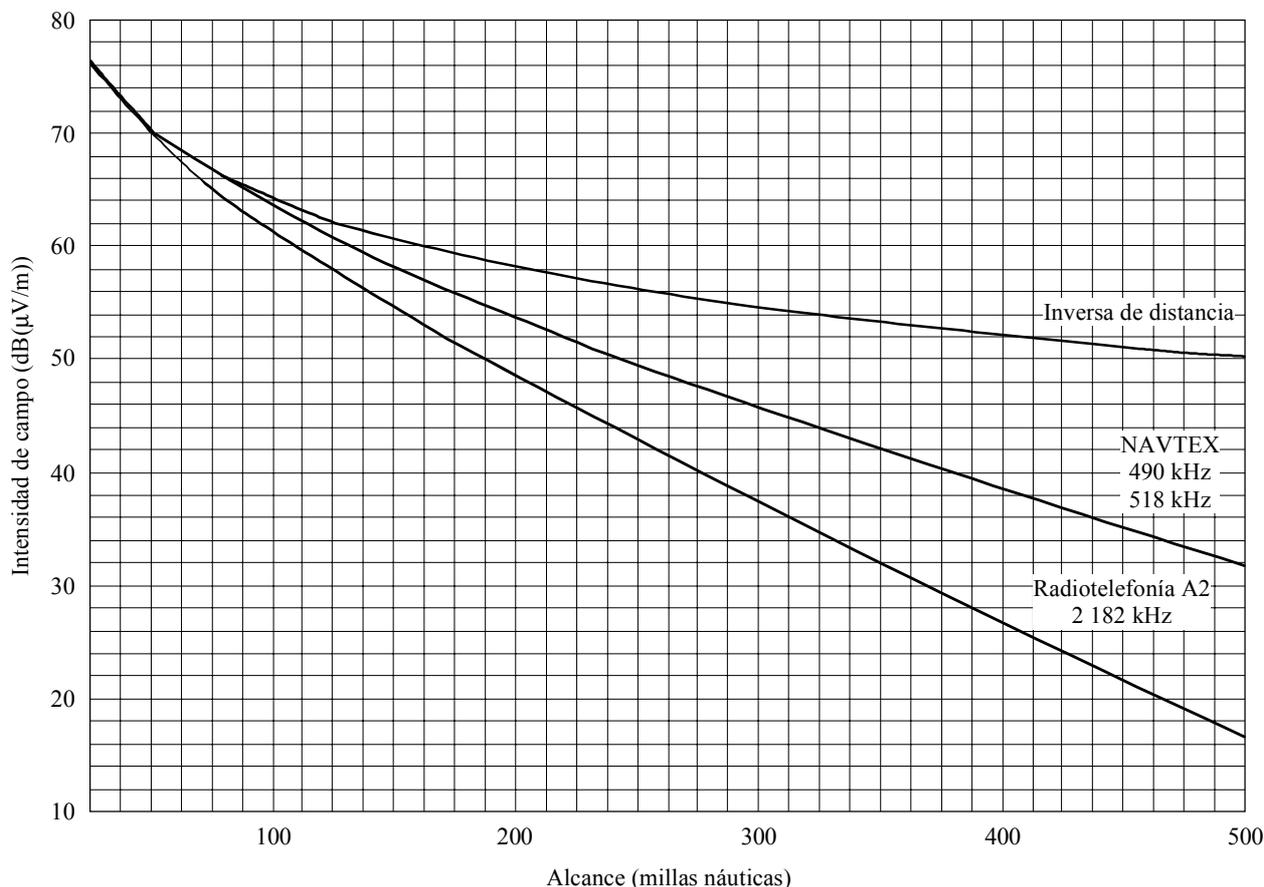
Con objeto de seguir las siguientes directrices se recomienda emplear el programa NOISEDAT de la UIT a fin de determinar los niveles de ruido externo para la planificación del servicio por onda de superficie A2 y para planificar los servicios por onda ionosférica A2 y A3 se recomienda utilizar la versión NTIA/ITS de la Recomendación UIT-R P.533, RECAREA, y el programa HFANT. Sin embargo, puede que las administraciones encuentren programas alternativos que se adapten mejor a sus necesidades, tales como el GWPS para crear modelos dentro de la zona de servicio A2.

3.4 Directrices de planificación

3.4.1 Establecimiento de una zona de servicio efectiva por onda de superficie

FIGURA 8

Curvas de propagación por onda de superficie para A2 y NAVTEX, extraídas de la Recomendación UIT-R P.368



Rap 2027-08

3.4.1.1 Determinación de amplitud de la zona de servicio A2

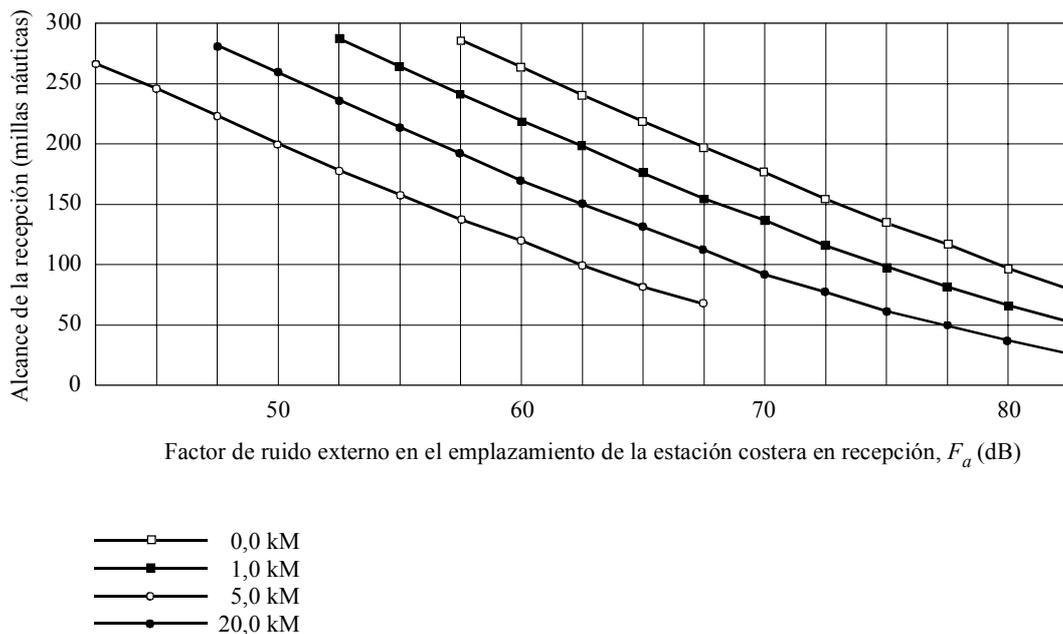
La amplitud de la zona de servicio A2 viene determinada por el alcance en el que las comunicaciones en BLU entre los barcos y la costa son eficaces a 2 182 kHz. Se considera que el barco va equipado con un transmisor de 60 W que alimenta una antena del monopolo corto con una eficacia del 25%. El alcance viene fijado por la distancia máxima a la cual puede encontrarse el barco de la estación costera para producir una relación señal/ruido de 9 dB en una anchura de banda de 3 kHz en la antena de recepción de la estación costera, que debe ir equipada como un transmisor de potencia suficiente como para provocar la misma relación señal/ruido a la salida de la antena de recepción del barco. El alcance en ambos sentidos depende de la sensibilidad de la antena de recepción, que a su vez depende de los niveles presentes de ruido natural y artificial, de la calidad de la instalación de la antena de recepción y de su toma de tierra y de la capacidad de la antena para discriminar entre la señal deseada y el ruido no deseado. El factor de ruido del sistema de recepción conectado a la antena receptora puede ignorarse a 2 182 kHz. Se supone que la antena receptora en la costa está correctamente instalada y sometida a un mantenimiento periódico y, por consiguiente, no sufre una corrosión importante.

3.4.1.2 Paso 1: Determinación del alcance del receptor costero

El primer paso consiste en determinar el factor de ruido externo, F_a , en la antena de recepción, como se recomienda en la Recomendación UIT-R M.1467, utilizando el programa NOISEDAT que imprimirá los valores de F_a en bloques de horas y de estaciones a lo largo del año. El alcance mínimo OMI así obtenido puede determinarse para todos los valores estacionales de F_a utilizando la curva de 15 W de la Fig. 9.

FIGURA 9

Alcance de la recepción en función del factor de ruido externo, F_a , para varias distancias sobre tierra



Rap 2027-09

3.4.1.3 Alcance de la recepción lograda a través de un cabo

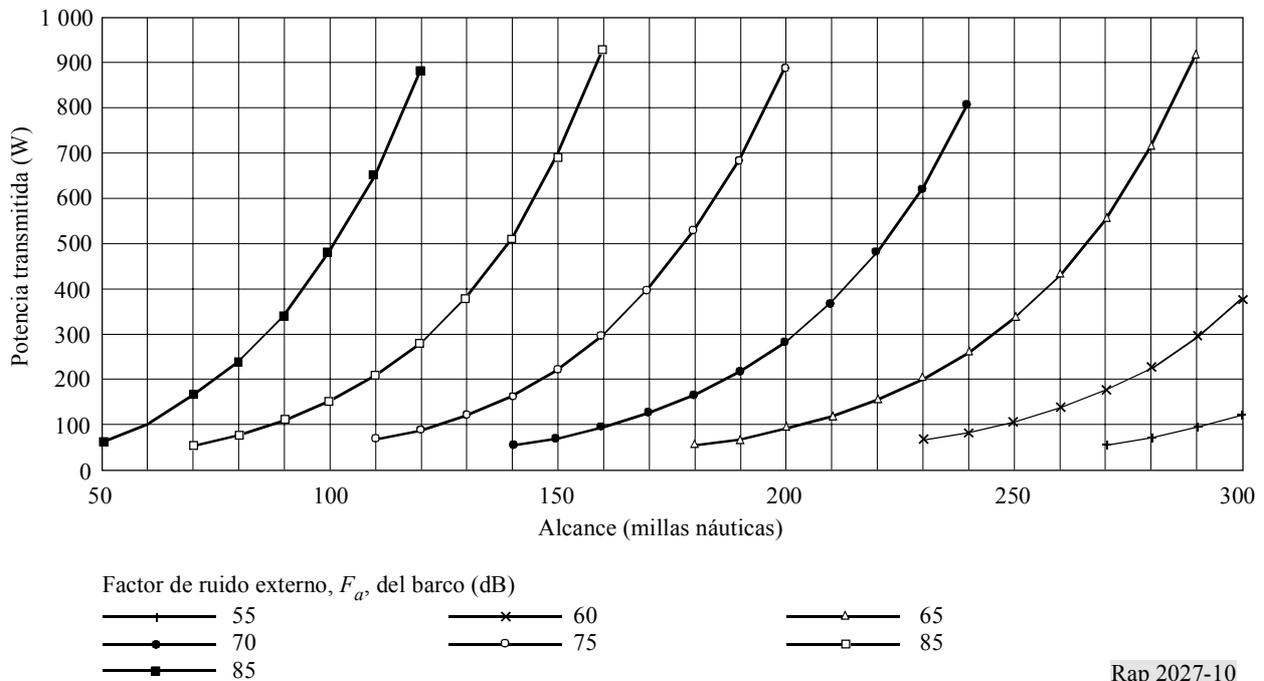
Se han incluido valores adicionales para demostrar en qué medida una zona marítima A2 puede ampliarse más allá de la costa de un cabo o de una isla. Un límite práctico para la anchura tolerable de un cabo sería de 10 a 30 km dependiendo del tipo de terreno y de la zona marítima restante que debe cubrirse. En un emplazamiento muy silencioso desde el punto de vista radioeléctrico el alcance de recepción podría extenderse utilizando una red de antenas de látigo o una antena Beverage, pero para que ofrezca una mejora significativa dicha antena receptora debe tener un diseño muy costoso y exige un emplazamiento silencioso de gran extensión. En la práctica, la mejor solución sería situar un receptor auxiliar y una antena en el extremo más apartado del cabo, conectándolos mediante una línea telefónica.

3.4.1.4 Paso 2: Determinación de la potencia necesaria transmitida desde la costa

La radiotelefonía en BLU bidireccional efectiva requiere unas condiciones adaptadas en ambos sentidos. Como las pérdidas de transmisión son las mismas en los dos sentidos, la potencia necesaria para devolver una llamada depende únicamente de la diferencia de los niveles de ruido y de la eficacia de la antena de transmisión en cada extremo. Se ha incluido un valor de 10 dB en el cálculo del balance de potencia en la transmisión costa-barco para tener en cuenta las variaciones de comportamiento de la antena receptora del barco y su estado de mantenimiento.

Una vez establecido el alcance de recepción, la potencia de transmisión necesaria puede estimarse a partir de la Fig. 10.

FIGURA 10
Potencia de transmisión en función del alcance para diversos niveles del factor de ruido externo en el buque



En la Recomendación UIT-R M.1467 aparece una fórmula más completa para determinar la mínima potencia del transmisor necesaria.

3.4.1.5 Protección de la señal de socorro en LLSD

El paso final consiste en asegurar que el receptor de escucha LLSD no está bloqueado por la señal BLU del canal adyacente en 2 182 kHz. Este tema se trata en el § 4.3.

3.4.1.6 Comparación de los alcances logrados en las comunicaciones LLSD y BLU

El alerta de socorro recibido deberá encontrarse muy por encima del umbral fijado para limitar la zona de servicio BLU porque la anchura de banda de la señal es menor y también porque la potencia de la señal transmitida estará más próxima a la potencia en la cresta de la envolvente que las correspondientes transmisiones BLU y el sistema estará funcionando muy por encima del ruido de fondo en las transmisiones LLSD en ambos sentidos, proporcionando margen suficiente para el proceso de recepción y demodulación LLSD.

3.4.1.7 Protección contra los productos de intermodulación no deseados

Una banda de protección de al menos 250 Hz a cada lado de la frecuencia de escucha debe mantenerse libre de los productos de intermodulación; hay que tener en cuenta esta circunstancia cuando se seleccionan frecuencias adicionales para el funcionamiento de la estación.

3.4.1.8 Efecto de la separación entre los emplazamientos de transmisión y recepción

La OMI exige mantener una escucha continua de 24 h en las frecuencias de socorro LLSA y no ha establecido ninguna disposición sobre el tiempo de interrupción cuando la estación esté transmitiendo en el canal de respuesta de socorro adyacente utilizando radiotelefonía en BLU. Por lo tanto, deben tomarse las precauciones adecuadas para asegurar que los receptores de escucha no resultan indebidamente afectados por las transmisiones de radiotelefonía del canal adyacente, lo cual es especialmente difícil cuando los equipos de transmisión y recepción se encuentran en la misma ubicación. Este tema se trata en el § 4.3.4.1.

Sin embargo, este margen también dará lugar a la posibilidad de recibir señales de socorro más allá del alcance límite fijado para las comunicaciones BLU y las administraciones deben ser conscientes de que los sistemas serán capaces de recibir alertas de socorro y transmitir acuse de recibo de los mismos más allá del alcance disponible para las comunicaciones que utilizan BLU.

3.4.1.9 Cómo minimizar la degradación de la señal A2 por la noche

Durante el día, la capa ionosférica D presenta una gran intensidad y absorbe cualquier señal de onda ionosférica generada por las antenas transmisoras A2. Esta capa desaparece durante la noche y permite a las capas más elevadas de la ionosfera devolver niveles elevados de onda ionosférica, provocando interferencia cocanal en receptores distantes así como desvanecimiento cuando las señales lleguen a la tierra con el nivel y la fase adecuados para combinarse de forma destructiva con la señal por onda de superficie. La interferencia sólo puede evitarse asegurando un control en las potencias de transmisión, utilizando si es necesario un conjunto de dos mástiles adecuado y una antena receptora directiva como, por ejemplo, una antena de bucle o una antena Adcock. El efecto del desvanecimiento puede reducirse aumentando la potencia de transmisión a fin de lograr un margen de desvanecimiento a expensas de la interferencia. Sin embargo, la amplitud de la zona de servicio por onda de superficie sin desvanecimiento puede maximizarse asegurando una buena toma de tierra bajo la antena transmisora y utilizando un radiador de mástil sintonizado especialmente diseñado de aproximadamente $5/8 \lambda$ de altura (75 m) en el emplazamiento de transmisión costero.

3.4.1.10 Determinación del alcance logrado con funcionamiento NAVTEX

El alcance logrado por un determinado transmisor NAVTEX depende de la eficacia de la antena de transmisión y del factor de ruido externo a bordo del barco, como muestra la Fig. 11. La eficacia de la antena depende de la calidad del sistema de tierra y una vez determinada la fuerza cimomotriz requerida, debe medirse como indica la Recomendación UIT-R M.1467, y determinarse la eficacia.

La resolución A.801(19) de la OMI especifica un 90% de disponibilidad y, por consiguiente, el valor del decilo superior para F_a debe calcularse utilizando los datos estadísticos producidos por NOISEDAT.

En el § 4.5.1.3 se estudia la influencia del diseño del sistema de tierra sobre la eficacia de la antena.

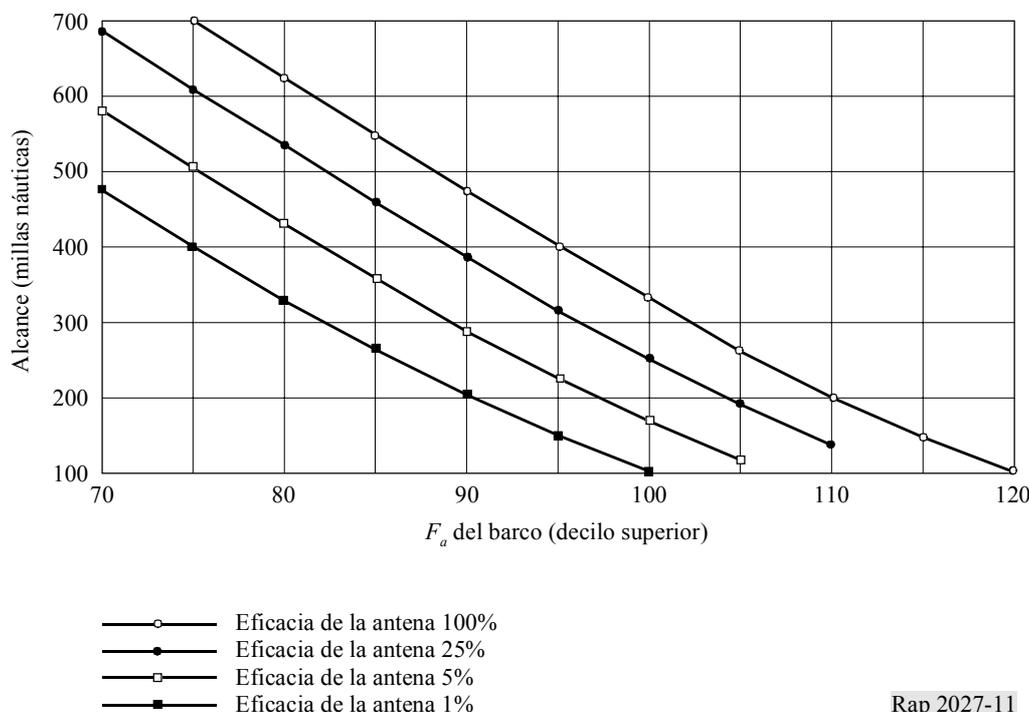
3.4.2 Establecimiento de una zona de servicio por onda ionosférica efectiva

3.4.2.1 Determinación de la amplitud de las zonas de servicio A3 y A4

Las regiones oceánicas A3 y A4 se extienden mucho más allá de la estación costera que la zona marítima A2 y la propagación es por onda ionosférica, que depende de la intensidad de la ionosfera, y en consecuencia las estaciones costeras deben transmitir con más potencia y disponer de una recepción más sensible que en el caso de A2 a fin de lograr comunicaciones bidireccionales eficaces. En la región A4 no existe cobertura INMARSAT y como la señal MDF utilizada para

LLSD e IDBE tiene mayor alcance que en el caso de BLU, la comunicación subsiguiente se lleva a cabo fundamentalmente utilizando IDBE.

FIGURA 11
Alcance NAVTEX para un transmisor de 1 kW en función del F_a del barco
(Para un transmisor de 5 kW, F_a se reduce en 7 dB)



La resolución A.801(19) de la OMI señala que la responsabilidad de la cobertura de cada zona marítima A3 y A4 debe compartirse, como mínimo, entre dos estaciones de radiocomunicaciones costeras situadas en la zona que va a cubrirse. Un estudio realizado por el servicio de guardacostas de Estados Unidos de América en 1985, reveló que aunque la probabilidad de que una estación costera determinada reciba un alerta es baja, la probabilidad de que el alerta sea recibido por al menos una estación costera de ondas decamétricas entre un cierto número de estaciones puede ser del 90% o superior.

Para establecer una zona de servicio A3 o A4 es necesario tener algún conocimiento de la forma en que probablemente variarán las condiciones. Como el estado de la ionosfera varía con la actividad solar, que sigue un ciclo de 11 años, la amplitud de la zona de servicio no puede confirmarse realizando una nueva campaña de mediciones y es necesario aplicar métodos analíticos para verificar la viabilidad y establecer un presupuesto del proyecto con un cierto grado de confianza.

Los métodos descritos a continuación son típicos y tienen por objeto servir de orientación inicial. Cuando se utiliza el programa ICEAREA es necesario seleccionar el número de manchas solares adecuado y tener en cuenta los efectos multirayecto. Además, el planificador debe ser consciente de los fenómenos específicos a la zona de interés. Por ejemplo, en latitudes elevadas las señales ionosféricas pueden resultar atenuadas por la absorción auroral y del casquete polar y pueden desaparecer durante varios minutos o, en algunas ocasiones, durante horas a causa de este último fenómeno; por tanto, es preciso incorporar en el programa ICEAREA un valor adecuado sobre el índice magnético Q. En latitudes bajas la propagación puede degradarse de manera importante debido a los gradientes y los cambios diurnos rápidos en la capa F2; este efecto puede compensarse compartiendo la cobertura entre estaciones costeras.

3.4.2.2 Paso 1: Verificación de la sensibilidad de la estación costera

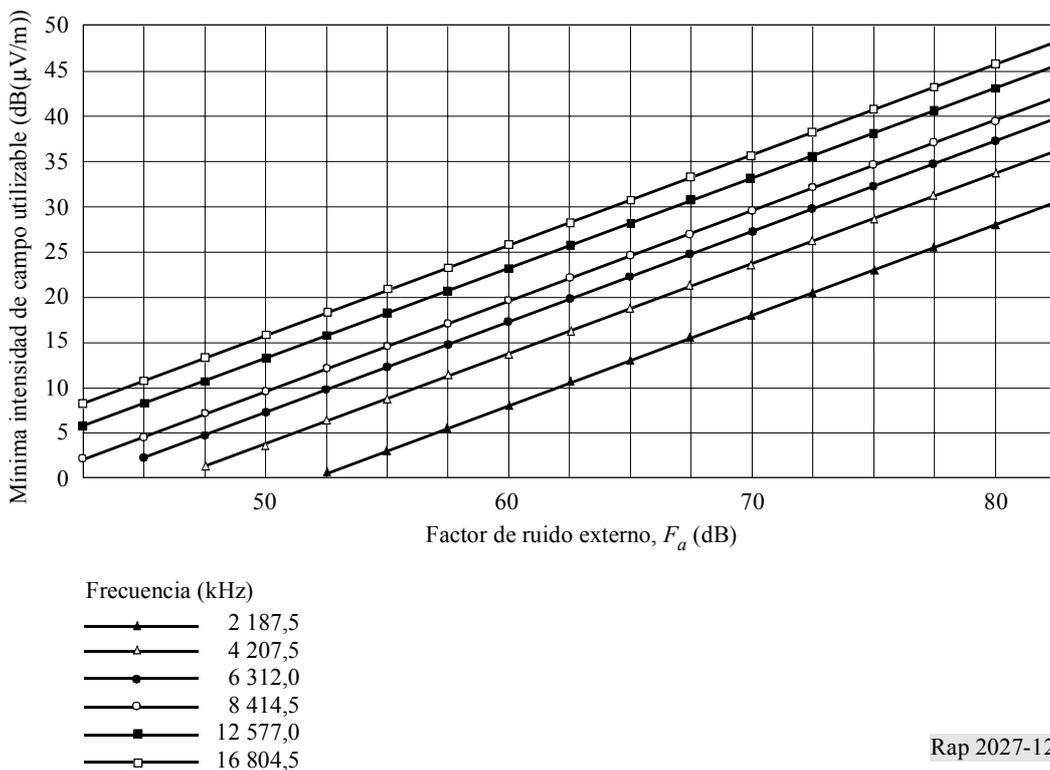
El primer paso en el diseño de una zona de servicio por onda ionosférica consiste en verificar que el emplazamiento de recepción es lo suficientemente silencioso desde el punto de vista radioeléctrico. Debe ejecutarse el programa NOISEDAT para determinar los valores máximos y mínimos estacionales de F_a que cabe esperar en una estación costera. Deben estudiarse los mapas de ruido que aparecen en la Recomendación UIT-R P.372 y seleccionar un emplazamiento ruidoso que se encuentre en el límite de la zona de servicio; debe consultarse la REC533 para predecir el comportamiento del trayecto barco-costa para distintos valores del número de manchas solares en cada frecuencia de LLS. Como datos de entrada deben utilizarse los criterios de calidad de funcionamiento indicados en el Cuadro 3 y suponer que el barco transmite con una potencia de 15 W mediante una antena de monopolo corto, seleccionando como antena de recepción, para empezar, la antena de látigo que figura en la Recomendación UIT-R P.533.

Deben compararse los valores medianos de intensidad de campo previstos con las cifras indicadas en la Fig. 12. Si son menores debe examinarse la amplitud de la zona cubierta teniendo en cuenta el alcance establecido para el F_a en el emplazamiento de recepción y probar con otra antena de recepción, como por ejemplo una rómbica o una log periódica. En la práctica, los paquetes de modelos tienden a ser optimistas y a menudo no proporcionan una discriminación correcta entre las señales deseada y no deseada con diferentes ángulos de llegada.

La determinación definitiva de la cobertura de la zona marítima correspondiente debe realizarse en coordinación con las otras estaciones costeras con las que debe compartirse la responsabilidad de dicha cobertura.

FIGURA 12

Mínima intensidad de campo LLS utilizable en función de F_a a las frecuencias de socorro LLS



3.4.2.3 *Paso 2: Verificación de la zona oceánica para establecer comunicaciones en ondas decamétricas bidireccionales eficaces*

Una vez determinado el alcance de recepción teniendo en cuenta la sensibilidad del emplazamiento de recepción, debe ejecutarse el programa NOISEDAT para determinar el factor de ruido externo que cabe esperar a bordo del barco y debe aplicarse nuevamente el método de la REC533 suponiendo que la estación costera utiliza un transmisor de 10 kW de potencia con una antena de transmisión isótropa. La intensidad de campo prevista en el barco debe tener un valor al menos 10 dB superior a la cifra mostrada en la Fig. 12, a fin de prever cualquier contingencia de la antena receptora del barco, como se indica en el § 3.4.1.4. Se repiten los Pasos 1 y 2 para otros emplazamientos en la zona oceánica esperada hasta que se confirma que se ha establecido una comunicación bidireccional en la zona oceánica correspondiente.

3.4.2.4 *Paso 3: Establecimiento de un perfil de radiación desde el emplazamiento de transmisión*

Una vez verificado que puede cubrirse la zona marítima esperada, el siguiente paso consiste en representar dicha zona en un mapa. Se traza una línea desde el emplazamiento de transmisión por el medio, se mide el rumbo de la antena y se estima la anchura del haz principal requerido. A continuación se examinan los datos elaborados en el Paso 2 y se identifican los ángulos del rayo máximo y mínimo indicados. Se ejecuta el programa HFANT y se selecciona una antena tal como la log periódica horizontal de la biblioteca de antenas con una forma de haz que proporcione la mejor adaptación. Obsérvese que el formato utilizado para los ficheros de datos del diagrama de radiación de antena en la versión NTIA/ITS del HFANT es bastante completo y a petición algunos fabricantes proporcionarán los diagramas de radiación adecuados para sus antenas parabólicas.

Con el programa ICEAREA debe utilizarse la misma antena con el mismo rumbo. Hay que introducir los mismos parámetros de calidad de funcionamiento del sistema básicos que se utilizaron para el método de la Recomendación UIT-R P.533 y suponer una potencia de transmisión de 1 kW. Puede emplearse un mapa de contorno que muestre el ángulo de elevación del rayo para confirmar la selección de antena y un mapa de contorno donde figure la ganancia de antena/potencia del transmisor requerida proporcionará una indicación de la potencia del transmisor necesaria (dB(kW)).

3.4.2.5 *Paso 4: Determinación de la probabilidad global del servicio*

Los contornos de probabilidad del servicio pueden generarse ejecutando el programa ICEAREA en modo lote. A partir del fichero de entrada elaborado para el Paso 3, se elabora un conjunto de 8 ficheros de entrada correspondientes a cada una de las cuatro estaciones del año y a un número de manchas solares alto y bajo, utilizando el nombre de fichero establecido por convenio especificado en las instrucciones del programa. ICEAREA generará 64 ficheros resultantes y en cada uno de ellos se registran los datos de calidad de funcionamiento de la cobertura en el mejor canal LLSA a una hora, estación y número de manchas solares concretos. A continuación puede ejecutarse el programa ICEAREA en modo combinado para generar un solo fichero correspondiente al comportamiento mediano, de decilo superior o de decilo inferior a partir del cual pueden generarse los mapas de contorno que representan, por ejemplo, la MUF, la intensidad de la señal, la relación portadora/ruido y la probabilidad del servicio.

3.4.2.6 *Utilización del teorema de reciprocidad*

Dicho teorema indica que todo trayecto radioeléctrico es reversible y puede utilizarse para dibujar la zona de captura del emplazamiento de recepción utilizando el programa ICEAREA. Es válido si los niveles de ruido ionosférico son constantes en toda la zona de servicio; para tener en cuenta todos los efectos de la asimetría del trayecto no se invierten los emplazamientos de antena. Los Pasos 3 y 4 pueden repetirse para una potencia en el barco de 15 W y una antena de recepción costera en el extremo transmisor y el factor de ruido externo en el emplazamiento de recepción de la estación

costera con una antena de látigo en el extremo receptor. A continuación pueden dibujarse los mapas de contorno donde se muestra la relación portadora/ruido de recepción en la estación costera y la probabilidad del servicio.

3.4.2.7 Paso 5: Protección de la señal de socorro LLSD

Se necesita un aislamiento adecuado entre las antenas de transmisión y recepción y para ello debe trazarse una segunda línea desde el emplazamiento de transmisión en la marcación determinada por el emplazamiento de recepción y seguir los pasos del § 4.3.

4 Ingeniería del emplazamiento

4.1 Ingeniería de los sistemas del SMSSM

4.1.1 Enfoque práctico

En la mayoría de las frecuencias, la propagación de una onda radioeléctrica entre dos puntos cualesquiera está sometida a la condición y estado del medio entre ellos. De forma similar, el funcionamiento de los transmisores y las antenas utilizadas está sujeto a su entorno electromagnético inmediato. Para establecer un plan universal aplicable a un sistema tal como el SMSSM es necesario crear modelos generalizados lo suficientemente sencillos de gestionar utilizando los datos y dispositivos disponibles; en la ingeniería de los sistemas reales pueden aparecer algunas dificultades, a saber:

- La captura de datos para establecer un modelo de ruido es difícil en las zonas marítimas, lo que impone limitaciones sobre la predicción precisa del ruido sobre el mar, especialmente en los trópicos donde suelen ser habituales las tormentas eléctricas.
- Es difícil aplicar un modelo de ruido universal apropiado a todas las circunstancias.
- La Recomendación UIT-R P.372 sólo tiene en cuenta el ruido radiado, la característica de ruido de un sistema receptor montado en el techo puede degradarse por las pérdidas en la salida de la antena debido a su elevación y por el ruido inducido directamente en la antena y en el sistema de tierra procedente de las luces fluorescentes, la maquinaria de los ascensores, los sistemas de alimentación de alta tensión y los controladores con tiristor, dispositivos todos ellos utilizados en el edificio que se encuentra bajo la antena.

Además, muchas de las estaciones costeras existentes han estado sujetas a un continuo desarrollo durante un largo periodo de tiempo y puede haber grandes dificultades a la hora de incorporar más equipos en un emplazamiento ya existente, que puede estar saturado por falta de espacio o mal situado debido al desarrollo permanente del sistema de usuario o emplazado en un medio urbano en el que aparezca una nueva línea aérea de energía o una autopista en un lugar que antes era silencioso desde el punto de vista radioeléctrico.

4.2 Factores que afectan la elección de un nuevo emplazamiento de recepción

4.2.1 Naturaleza del ruido externo

El ruido externo disminuye al aumentar la frecuencia. El factor F_a definido en la Recomendación UIT-R P.372 tiene en cuenta tres tipos de ruido, el ruido celeste, el ruido artificial y el ruido galáctico. El nivel de ruido que aparece en el emplazamiento más silencioso posible, y en la época más silenciosa del año, se denomina ruido cuasimínimo y su principal componente puede ser:

- el ruido atmosférico por debajo de 700 Hz;

- el ruido artificial entre 700 Hz y 4 MHz;
- el ruido galáctico por encima de 4 MHz.

En los emplazamientos reales este silencio radioeléctrico es poco frecuente y en la mayoría de las ubicaciones predomina el ruido atmosférico o artificial. La Recomendación UIT-R P.372 define cinco categorías ambientales para tener en cuenta los niveles de ruido artificial, que se reproducen en el Cuadro 4.

CUADRO 4

**Categorías ambientales utilizadas en
la Recomendación UIT-R P.372**

Emplazamiento	dBW a 3 MHz	dB por encima de kT_0 a 1 MHz
Comercial	-140,4	76,80
Residencial	-144,7	72,50
Rural	-150,0	67,20
Rural silencioso	-164,0	53,60
Galáctico	-163,0	52,00

La sensibilidad requerida en un nuevo emplazamiento de recepción depende del alcance de recepción necesario para la estación costera, como muestra la Fig. 9 para la zona marítima A2. La sensibilidad necesaria para recibir las señales procedentes de barcos que se encuentran a las distancias requeridas para proporcionar cobertura de las zonas marítimas A3 y A4 es mucho mayor que este valor y debe tenerse en cuenta el ruido celeste y, posiblemente, el ruido galáctico.

4.2.2 Reducción al mínimo del ruido artificial

Los sistemas de recepción deben situarse lo más alejados posible de fuentes de ruido artificial a fin de lograr la sensibilidad requerida. Los alcances efectivos de las diferentes fuentes de ruido artificial aparecen en el libro «Radiowave Propagation» (página 178) de Armel Picquenard y se reproducen en el Cuadro 5.

CUADRO 5

Alcances efectivos de fuentes de ruido artificial

Fuente de ruido	Alcance efectivo
Motor eléctrico	200 m
Líneas de potencia de alta tensión, cuando está lloviendo	1-10 km
Motores de automóviles	500 m
Aeronaves	1 km

De este Cuadro se deduce que un emplazamiento debería estar situado a una distancia de 1 a 5 km de las líneas de energía de alta tensión sin apantallar, de pequeños aeródromos y carreteras y de 5 a 10 km de distancia de los aeropuertos principales, autopistas, ferrocarriles eléctricos o líneas de energía aéreas (la distancia deberá ser mayor en el caso de estaciones de energía eléctrica abiertas). Si las antenas de recepción están situadas más próximas que estas distancias, se degradará la relación señal/ruido y a este respecto las antenas de látigo activas presentan más inmunidad frente a los campos magnéticos producidos por los motores eléctricos, y las antenas de bucle tienen una mayor inmunidad a los campos eléctricos locales, producidos por los aisladores de las líneas de potencia. Además, la estación no debe estar situada en el haz de transmisión principal de ninguna radiobaliza de aeropuerto o de las estaciones de radiodifusión en onda corta ni en las proximidades de ninguna instalación de radiocomunicaciones o de estaciones de radiodifusión en ondas hectométricas.

4.2.3 Reducción al mínimo de la susceptibilidad al ruido celeste

Para proporcionar la sensibilidad necesaria a fin de lograr el alcance de recepción requerido será preciso en primer lugar seleccionar un emplazamiento silencioso adecuado y, a continuación, al menos para A4, diseñar un sistema de recepción lo suficientemente sensible como para discernir entre los bajos niveles de señal recibidos de barcos distantes y el ruido de fondo residual. Ello se logra aumentando la directividad de la antena receptora.

El ruido generado por las descargas electrostáticas procedentes de tormentas eléctricas se denomina ruido atmosférico y puede propagarse a lo largo de miles de kilómetros como onda ionosférica antes de disiparse. Las fuentes principales de este ruido se encuentran en los trópicos. Si el barco distante está situado lejos de la fuente principal del ruido atmosférico puede utilizarse una antena directiva para discriminar entre las direcciones de llegada de la señal deseada y del ruido no deseado. Por otro lado, si el barco está situado en el centro de una tormenta tropical, nada puede hacerse para separar la señal del ruido. Las antenas que pueden elegirse en este caso son una log periódica, una rómbica o una red de antenas de bucle o de antenas de látigo. Por debajo de 4 MHz las antenas log periódicas y rómbicas no son económicas en comparación con una red de antenas de látigo o de bucle activas. Una red de antenas de látigo puede orientarse manualmente para que su diagrama presente nulos en la dirección de las señales no deseadas y funciona adecuadamente en bajas frecuencias. Las redes de antenas de bucle pueden disponerse de manera que ofrezcan una elevada directividad.

Otra fuente de ruido natural es la galaxia y los niveles son más fuertes en las zonas más brillantes de las estrellas visibles al ojo humano en una noche clara, especialmente cuando se dirige la mirada al centro de la galaxia. Estas zonas presentan un movimiento relativo en torno a la tierra como lo hace el sol y actúan como una fuente de ruido cuando pasan a través del haz principal de una antena de recepción. Este efecto es más limitado a las frecuencias más elevadas donde domina el ruido galáctico y las antenas de alta ganancia son más económicas.

4.3 Protección de las frecuencias de escucha LLS D

4.3.1 Repercusión de una escasa separación entre las frecuencias LLS D y BLU en la calidad de funcionamiento del sistema

Un alerta de socorro recibido deberá encontrarse muy por encima del umbral establecido para limitar la zona de servicio BLU, porque la anchura de banda de la señal es menor y también porque la potencia de la señal transmitida está además próxima a la potencia en la cresta de la envolvente que las correspondientes transmisiones en BLU y el sistema estará funcionando muy por encima del ruido de fondo para las transmisiones LLS D en ambos sentidos ofreciendo un margen para el proceso de recepción y demodulación de la LLS D. El nivel de la señal LLS D resultante que llega a la estación costera dependerá del alcance A2 declarado para dicha estación, que a su vez depende de

la sensibilidad (F_a) mostrada en la Fig. 9. La frecuencia del alerta de socorro está muy próxima a la frecuencia necesaria para las comunicaciones BLU como se indica a continuación.

CUADRO 6

Frecuencias de socorro del SMSSM

Banda	Frecuencia de escucha LLSD (kHz)	Frecuencia BLU (kHz)	Separación de frecuencias (%)
A2	2 187,50	2 182	0,25
4 MHz	4 207,50	4 125	1,96
6 MHz	6 312,00	6 215	1,54
8 MHz	8 414,50	8 291	1,47
12 MHz	12 577,00	12 290	2,28
16 MHz	16 804,50	16 420	2,29

Si la separación entre los emplazamientos de transmisión y recepción es superior a unas pocas longitudes de onda, el modo de propagación más probable será el de onda de superficie, ya sea porque la antena transmisora tiene polarización vertical o por la aparición de una emisión de salida involuntaria procedente de una antena de ondas decamétricas con polarización horizontal, como puede ser el caso en las antenas que utilizan dipolos con elementos con reducción progresiva de tamaño. Si la antena de recepción presenta una ganancia considerable en dirección vertical, la propagación por incidencia casi vertical de la onda ionosférica puede provocar interferencia. Éste sería el caso si la antena de recepción fuese un bucle, un dipolo de banda ancha, una antena log periódica o una antena helicoidal orientada con un ángulo elevado.

4.3.2 Criterios de calidad de funcionamiento para la protección de las frecuencias de escucha A2

La OMI especifica que en los canales de socorro debe mantenerse la vigilancia 24 h al día. El sistema debe diseñarse de manera que la función de escucha no quede desensibilizada por el ruido o la interferencia. Por lo tanto, es fundamental que todos los canales de transmisión asignados para su utilización en la estación transmisora se seleccionen de manera que ningún producto de intermodulación caiga dentro de las bandas de frecuencias de los canales de escucha.

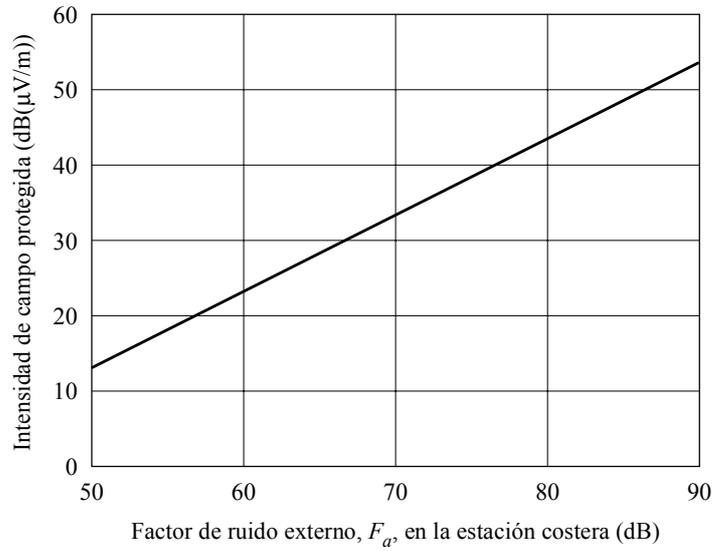
Para separaciones de canal muy pequeñas, el proceso de escucha puede verse amenazado por la aparición de energía en la banda lateral superior de la transmisión BLU adyacente que cae dentro de la banda de paso del receptor donde la señal deseada puede verse saturada por bloqueo o por un mezclado recíproco. Cuando la separación entre canales es lo suficientemente amplia como para que desaparezca la posibilidad de mezclado recíproco puede surgir un problema menos importante en el proceso de escucha consistente en la aparición de ruido de banda lateral procedente de una transmisión y que caiga dentro de la banda de paso del receptor.

El nivel de la señal LLSD resultante que llega a la estación costera dependerá del alcance A2 declarado para dicha estación que a su vez depende de la sensibilidad (F_a).

El nivel que debe protegerse debe ser el que llega a la estación costera tras sufrir unas pérdidas por desvanecimiento de 3 dB, como se representa en la Fig. 13.

FIGURA 13

Intensidad de campo de LLSD protegida en el emplazamiento de recepción

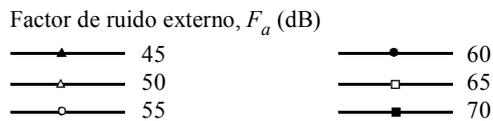
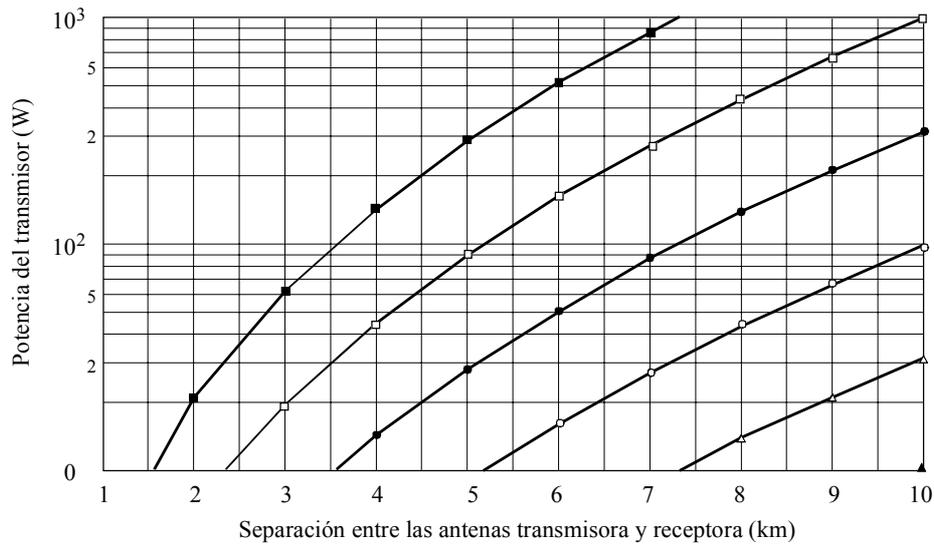


Rap 2027-13

4.3.3 Influencia de la separación de emplazamientos sobre la calidad de funcionamiento del sistema

FIGURA 14

Potencia del transmisor en función de la separación entre antenas para un aislamiento de canal adyacente de 50 dB

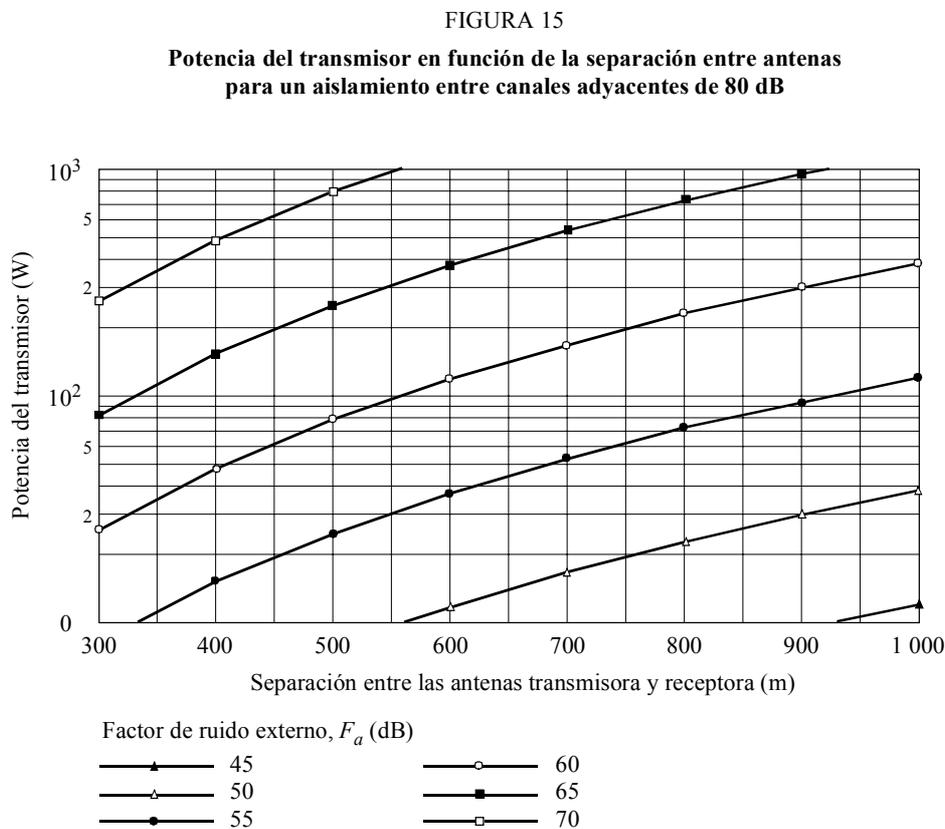


Rap 2027-14

4.3.4 Casos que exigen atención especial

4.3.4.1 Funcionamiento en el mismo emplazamiento

La Fig. 15 muestra el efecto que produce reducir la separación entre las antenas de transmisión y recepción por debajo de 1 km y hasta 300 m, que es el valor mínimo calculado utilizando el programa GRWAVE. A título de ejemplo puede señalarse que si una estación próxima a la costa tiene un valor anual mediano máximo del factor de ruido externo, F_a , de 65 dB, a partir de la Fig. 9 puede deducirse que el alcance logrado estaría inmediatamente por debajo de las 200 millas náuticas. Si el aislamiento de canal adyacente es de 80 dB, para una potencia radiada referida a una antena vertical corta (p.r.a.v.) de 200 W la separación entre antenas no debe ser inferior a 450 m.



Rap 2027-15

En estas circunstancias se necesita un alimentador de gran longitud para lograr la separación requerida. A medida que aumenta la frecuencia se produce una considerable disminución del ruido externo y un incremento en las pérdidas del alimentador. A 2 MHz el factor de ruido externo es mucho mayor que el factor de ruido del sistema y para un factor de este ruido de 15 dB serían tolerables una pérdidas en el alimentador de hasta 10 dB en un sistema correctamente diseñado y mantenido; por lo tanto, una forma económica de evitar el coste de un cable coaxial de gran longitud y bajas pérdidas sería utilizar una antena distinta para el caso A2.

Resumiendo, las directrices básicas para el funcionamiento en el mismo emplazamiento son las siguientes:

- el sistema debe ser sencillo;
- las potencias del transmisor deben ser bajas;
- debe utilizarse una antena de recepción A2 especializada que tenga una adecuada separación con la antena de transmisión;
- deben utilizarse receptores de escucha de alta calidad con un aislamiento del canal adyacente de 80 dB.

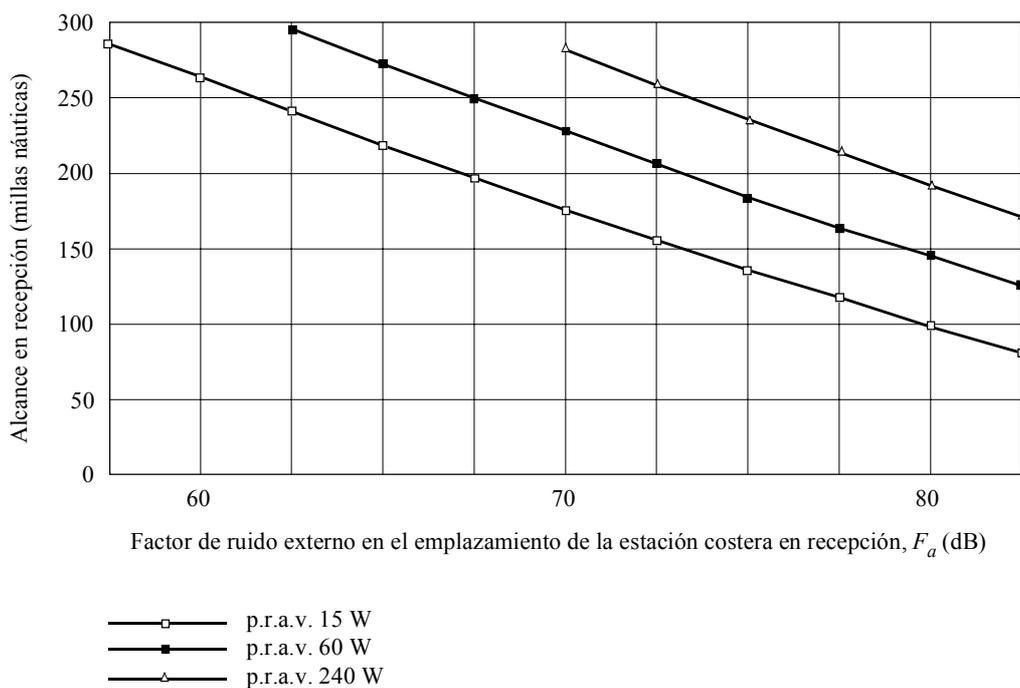
Si la separación entre las antenas transmisora y receptora se reduce aún más, es necesario tener en cuenta el efecto del acoplamiento electromagnético directo entre ellas y cada caso exige una consideración por separado.

4.3.4.2 Repercusiones de la explotación comercial

Los cálculos para el funcionamiento comercial se basan en la Recomendación UIT-R F.339 para una relación señal/ruido en radiofrecuencia de 66 dB en una anchura de banda de 1 Hz, en modo de funcionamiento J3E y en condiciones estables, lo que equivale a 32 dB en una anchura de banda de 3 000 Hz. La Fig. 16 muestra el alcance de recepción en función del factor de ruido externo de la estación costera para diversos valores de la potencia radiada por el barco. Estas gráficas se han elaborado para una comunicación de categoría de socorro y, por lo tanto, deben añadirse 12 dB al valor de F_a para obtener una gama equivalente a una calidad de servicio «comercial buena».

FIGURA 16

Alcance de recepción en las comunicaciones de socorro en función de F_a
para diversas potencias transmitidas desde barcos



Se necesitará más potencia para el funcionamiento comercial que en el caso de las comunicaciones de socorro a fin de aumentar la calidad de funcionamiento. Como las pérdidas de transmisión son las mismas en ambos sentidos, la p.r.a.v. necesaria en la estación costera para devolver una llamada debe depender únicamente de la diferencia entre los niveles de ruido en cada extremo más un valor de 10 dB para tener en cuenta la degradación sufrida en la antena de recepción del barco (véase el § 3.4.1.4) y si el factor de ruido externo del barco rebasa el del emplazamiento de recepción costero en 5 dB, la p.r.a.v. de la estación costera debe encontrarse 15 dB por encima de la del barco. Si la eficacia de la antena en la estación costera es del 70%, la salida del transmisor debe aumentarse en 1,5 dB.

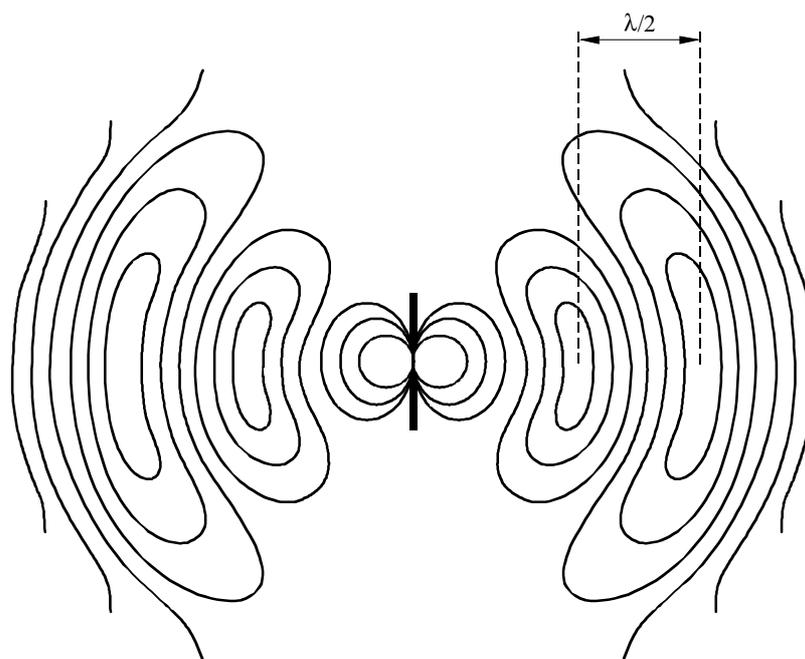
4.4 Directrices para la selección de la antena de transmisión

4.4.1 Principios de funcionamiento

La función de una antena transmisora es generar ondas electromagnéticas que acoplen una señal a una antena de recepción distante. Para radiar una onda electromagnética, una cierta longitud de hilo debe conducir una corriente a la frecuencia necesaria y, por lo tanto, debe presentar las condiciones electromagnéticas correctas en el entorno inmediato. En el dipolo esto se logra mediante dos conductores y el circuito se completa a través de un acoplamiento capacitivo entre ellos. La Fig. 17 representa un tren de ondas electromagnéticas procedentes de un dipolo vertical que está radiando en el espacio libre.

FIGURA 17

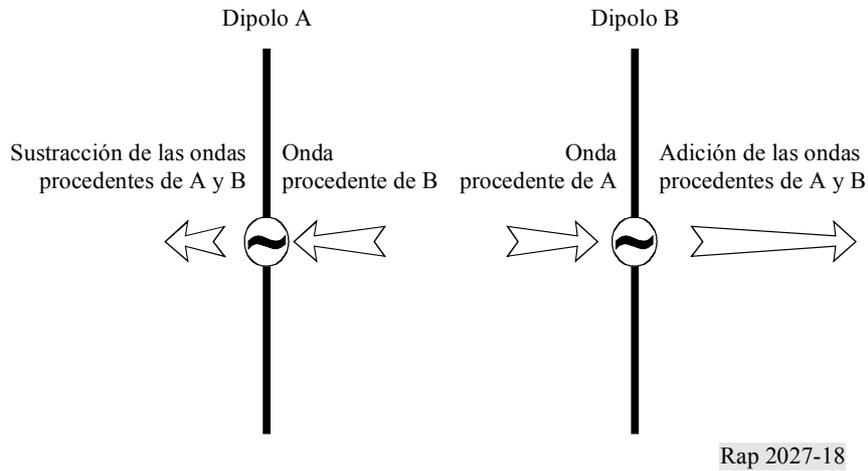
Emisión de los sucesivos frentes de onda producidos por un dipolo vertical en el espacio libre



Rap 2027-17

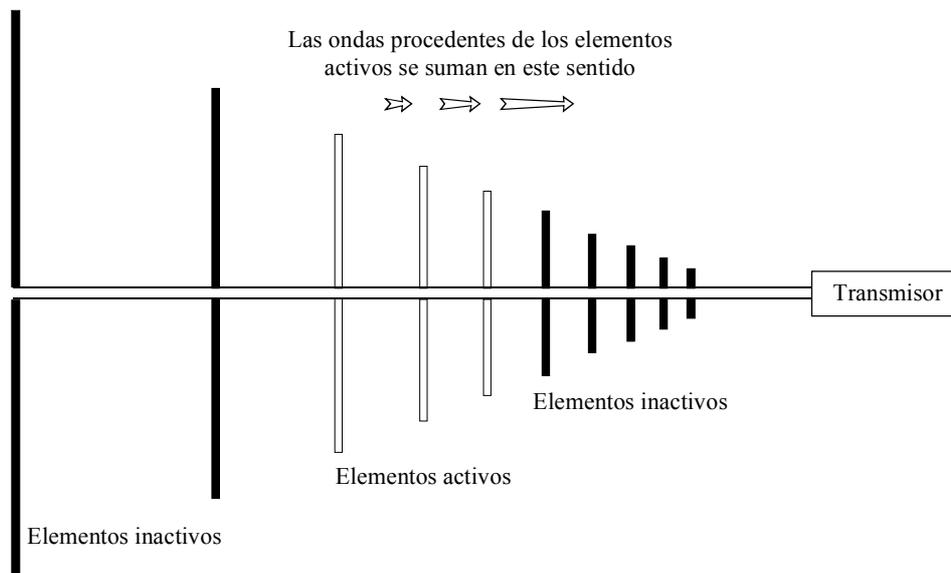
Los elementos pueden agruparse para controlar este proceso de manera que se radie más potencia en un sentido determinado, como se muestra en la Fig. 18.

FIGURA 18
Agrupación de los elementos para lograr una ganancia direcciva



En ondas decamétricas puede alinearse un cierto número de elementos separados logarítmicamente, de manera que un subconjunto de ellos esté activo en una frecuencia determinada mientras que el resto se encuentran inactivos, como se representa en la Fig. 19.

FIGURA 19
Antena log periódica

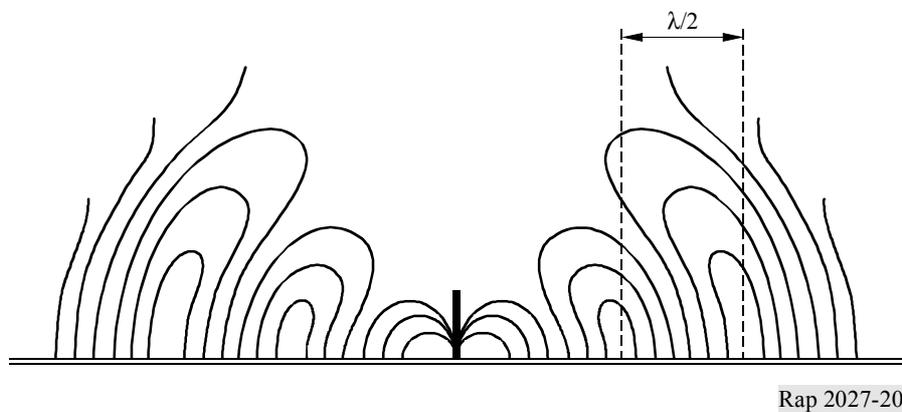


4.4.2 Antenas de onda de superficie

4.4.2.1 Requisito

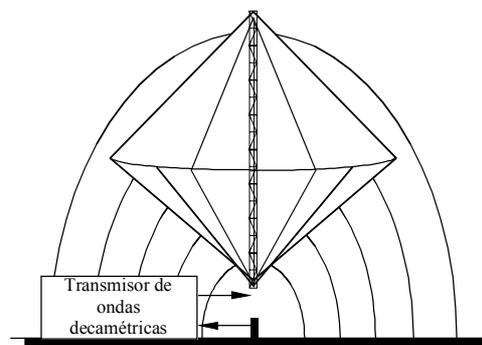
En frecuencias por debajo de unos 5 MHz la energía absorbida por la superficie hace posible que una onda con polarización vertical llegue a una antena receptora situada más allá del horizonte pegándose a la superficie del terreno. Este mecanismo se denomina propagación por onda de superficie y para que se produzca la antena transmisora debe excitar el flujo de corriente adecuado en el frente delantero de la antena, lo que se logra con mayor facilidad utilizando una antena puesta a tierra. La Fig. 20 muestra el efecto de convertir un dipolo vertical en un monopolo sustituyendo el elemento inferior por un plano perfectamente conductor.

FIGURA 20
Emisión de frentes de ondas sucesivos a partir de un monopolo
situado sobre una tierra perfecta

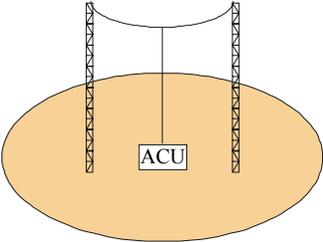
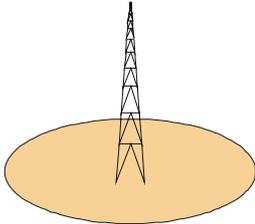
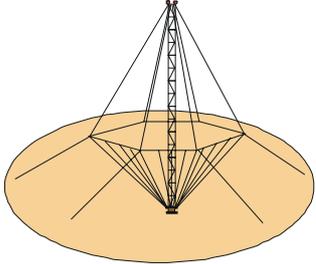
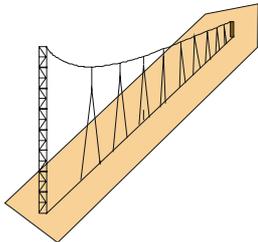


Un monopolo generalmente será resonante a una frecuencia pero puede utilizarse en frecuencias inferiores si se sintoniza mediante una red de adaptación, o en frecuencias más elevadas si va equipado con una jaula de hilos como muestra la Fig. 21, en cuyo caso el campo local, y por consiguiente la adaptación de la entrada, se mantiene a lo largo de una amplia gama de frecuencias.

FIGURA 21
Campo local producido por una antena cónica situada
sobre una tierra perfecta



4.4.2.2 Antenas verticales utilizadas en el SMSSM

Aplicación	Descripción	Configuración
<p>NAVTEX</p> <p><i>Omnidireccional</i></p>	<p><i>Antena en T para la banda de ondas hectométricas</i> capaz de funcionar en modo canalizado de 415 a 535 kHz y con potencias de 1 a 5 kW. Requiere una contraantena.</p> <p>La eficacia depende de la altura efectiva de la antena y de la calidad del sistema de tierra.</p> <p>Necesita una ACU, sintonizada al canal requerido por el transmisor mediante un circuito de control apantallado</p>	 <p>Rap 2027-21a</p>
<p>Únicamente SMSSM A2</p> <p><i>Omnidireccional</i></p>	<p><i>Antena monopolo sintonizado</i> o antena de radiobaliza con una potencia media de 1 kW y una relación de onda estacionaria (ROE) < 2:1 en 50 Ω de 2 174,5 kHz a 2 189,5 kHz utilizando una unidad de sintonía de antena. Requiere una contraantena</p> <p>La eficacia depende de la altura de la antena y de la calidad del sistema de tierra</p>	 <p>Rap 2027-21b</p>
<p>SMSSM A2 y A3</p> <p><i>Omnidireccional</i></p>	<p><i>Antena monopolo cónica</i> con una potencia media de 1 a 10 kW y una ROE < 2:1 de 2 a 18 MHz. Requiere una contraantena.</p> <p>La eficacia depende de la altura de la antena y de la calidad del sistema de tierra.</p> <p>La ROE depende del tamaño de la cortina</p>	 <p>Rap 2027-21c</p>
<p>SMSSM A2, A3 y A4</p> <p><i>Directiva</i></p>	<p><i>Antena monopolo log periódica</i> con una potencia media de 1 a 10 kW y una ROE < 2:1 en la banda de 2 a 18 MHz.</p> <p>Exige una contraantena</p>	 <p>Rap 2027-21d</p>

4.4.3 Antenas para ondas ionosféricas

4.4.3.1 Requisitos

Si la frecuencia es demasiado elevada o la distancia demasiado grande para la onda de superficie el único trayecto disponible entre antenas será a través de la ionosfera, donde toda la energía de la onda es absorbida y vuelta a radiar por los electrones libres que se encuentran en las capas ionizadas de la atmósfera. Este fenómeno se denomina propagación por onda ionosférica y para que tenga lugar la antena transmisora debe generar en primer lugar una onda que excite los electrones libres de la ionosfera en movimiento, de manera que la energía rerradiada pueda recibirse eficazmente utilizando una antena receptora adecuada.

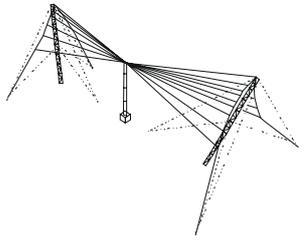
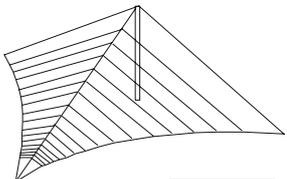
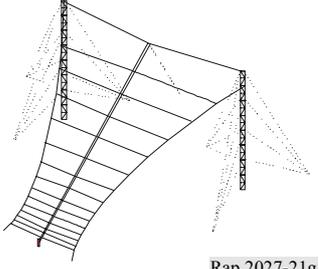
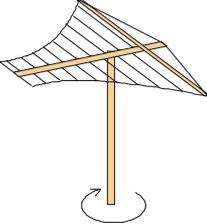
Todas las ondas radioeléctricas que atraviesan la ionosfera resultan atenuadas por la absorción, que varía inversamente con la frecuencia, mientras que las señales demasiado elevadas en frecuencia para su ángulo de incidencia atraviesan la ionosfera. Los circuitos de gran longitud se cubren mediante ondas de alta frecuencia que inciden con ángulos bajos en las capas ionizadas y los circuitos de menor longitud pueden explotar frecuencias más reducidas con ángulos de incidencia mucho mayores. El límite de baja frecuencia lo fija la absorción ionosférica que aparece en las altitudes inferiores donde la ionosfera es demasiado débil para provocar la reflexión. Sin embargo, los niveles de ionización a distintas altitudes no aumentan y disminuyen conjuntamente y pueden aparecer condiciones en las que la absorción en altitudes bajas disminuye mientras que la ionización a altitudes mayores se mantiene y la propagación es posible con incidencia vertical. Este efecto se explota en las regiones tropicales donde pueden producirse fuertes cambios diarios en los niveles de ionización.

Como consecuencia, una antena transmisora debe radiar suficiente potencia en la frecuencia más adecuada, con la polarización correcta y en el ángulo de elevación apropiado y, por lo tanto, es importante seleccionar la antena mejor adaptada a su aplicación.

Las antenas descritas en el § 4.4.2 para la propagación por onda de superficie también pueden utilizarse para la propagación por onda ionosférica hasta ángulos de elevación muy bajos, pero no producen radiación para ángulos elevados, o esta radiación es muy pequeña, y las antenas horizontales se emplean normalmente cuando no se necesita la propagación por onda de superficie o la radiación con ángulos extremadamente bajos. Las antenas adecuadas normalmente son dipolos o log periódicas y pueden obtenerse en versiones económicas utilizando un solo mástil, si bien los modelos de alta calidad utilizan dos mástiles.

Aunque las antenas horizontales no exigen una pantalla de tierra, su comportamiento para ángulos de incidencia bajos depende de la conductividad del terreno y de la altura de la propia antena y un aumento de la altura de la antena horizontal por encima del terreno aumenta la ganancia para ángulos de elevación bajos.

4.4.3.2 Antenas horizontales utilizadas

Aplicación	Descripción	Configuración
SMSSM A3 <i>Omnidireccional</i>	<i>Dipolo de banda ancha horizontal</i> con una ganancia de 7,5 dBi, una potencia media de 1 a 10 kW y una ROE inferior a 2:1 en la banda de frecuencias de 4 a 28 MHz. Es adecuada para el funcionamiento de corto y medio alcance y con propagación por incidencia vertical	 Rap 2027-21e
SMSSM A3 <i>Directiva</i>	<i>Antena log periódica horizontal</i> con una ganancia de 8 dBi, una potencia media de 1 a 10 kW y una ROE inferior a 2:1 de 4 a 28 MHz. Es adecuada para el funcionamiento de corto y medio alcance	 Rap 2027-21f
SMSSM A3 y A4 <i>Directiva</i>	<i>Antena log periódica horizontal de alta calidad</i> con ganancia de hasta 11,5 dBi, una potencia media de 1 a 10 kW y un valor de ROE inferior a 2:1 de 4 a 28 MHz. La ganancia puede aumentarse apilando dos cortinas sobre soportes elevados. La ganancia para ángulo bajo puede incrementarse a altas frecuencias elevando el vértice con respecto al suelo mediante postes, lo que hace adecuada a la antena para su funcionamiento con gran alcance	 Rap 2027-21g
Coordinación SAR en las zonas marítimas A3 y A4 <i>Orientable</i>	<i>Antena log periódica rotatoria</i> , con polarización horizontal y una ganancia de hasta 10 dBi; una potencia media de 1 a 10 kW y una ROE inferior a 2:1 de 4 a 28 MHz. Pueden diseñarse para su funcionamiento con alcances medio y grande; es orientable en cualquier dirección, pero la respuesta en el tiempo puede ser insuficiente si es necesario una respuesta inmediata en los alertas de socorro	 Rap 2027-21h

4.5 Provisión de una buena toma de tierra en la estación

4.5.1 Necesidad de un sistema de toma de tierra eficaz

Un sistema de toma de tierra debe satisfacer tres requisitos principales en una estación de este tipo:

- debe permitir un flujo suficiente de la corriente de fuga a tierra para activar los disyuntores de circuitos principales;
- debe proteger contra los daños causados por la descarga del rayo;
- debe permitir el funcionamiento satisfactorio de las antenas puestas a tierra.

4.5.1.1 Funcionamiento seguro de los disyuntores de circuito

Una estación de este tipo utiliza normalmente disyuntores de circuito en las tomas de energía a fin de desconectar la estación si se produce la conexión de una fase de la alimentación de energía a tierra en condiciones de avería. Como ejemplo puede decirse que para una tensión de línea de 380 V se necesita una resistencia de tierra de $4,4 \Omega$ con objeto de que la corriente de fuga a tierra active los disyuntores del circuito de entrada a 50 A. Si se prevé que la corriente de entrada puede rebasar este nivel se necesitaría un valor inferior de la resistencia de tierra.

4.5.1.2 Protección contra los daños causados por la descarga del rayo

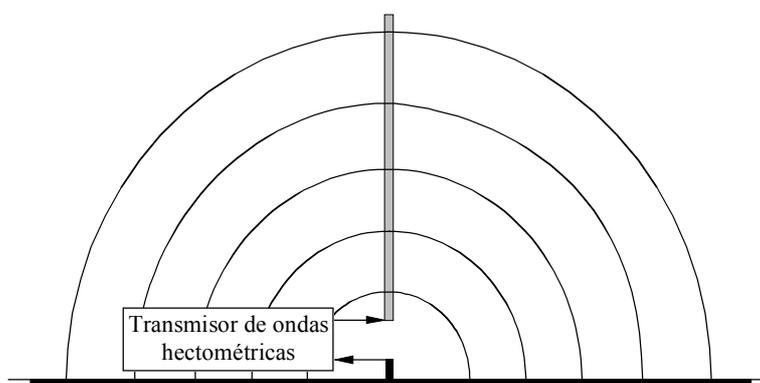
Se recomienda tomar dos precauciones principales que se describen en el § 4.6; lograr un valor bajo de la impedancia de tierra para minimizar el riesgo en los equipos conectados a los sistemas externos reduciendo el incremento de tensión en el sistema de tierra local durante una descarga y montar un anillo de tierra en torno al edificio para minimizar el escalón de potencial en el interior del mismo y disminuir el riesgo contra las vidas humanas.

4.5.1.3 Funcionamiento satisfactorio de las antenas puestas a tierra

Los tipos de tierra necesarios para un transmisor en radiofrecuencia y para satisfacer los objetivos de seguridad son muy distintos. La tierra requerida para ofrecer seguridad contra las altas potencias debe presentar una baja resistencia a bajas frecuencias y, debido a la inductancia y al efecto pelicular, una toma de tierra eficaz no lo es necesariamente en radiofrecuencia. De forma similar, una pantalla de tierra bajo una antena debe proporcionar la capacitancia necesaria requerida para lograr un comportamiento eficaz, pero para ello no debe estar en contacto con el suelo y puede no ser adecuada para la seguridad contra la alta potencia. La tierra requerida para su utilización en una estación transmisora debe diseñarse de manera que satisfaga ambos requisitos y, por lo tanto, suele construirse una pantalla de tierra enterrada a fin de integrarla en el sistema de tierra de la estación.

La Fig. 22 muestra el campo local para una antena monopolo situada sobre un plano perfectamente conductor. En esta antena la ganancia máxima se produce en dirección horizontal.

FIGURA 22
Características del campo local para un monopolo situado
sobre una tierra perfecta

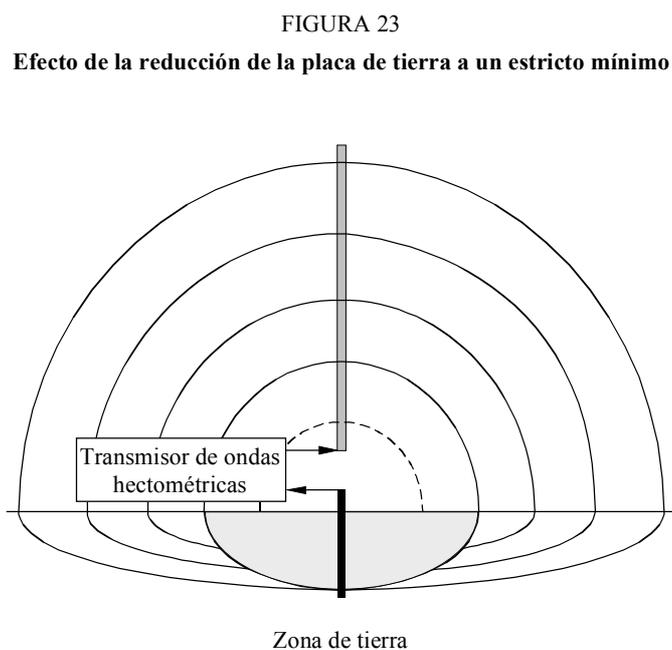


El plano de tierra nunca es perfecto y en la práctica debe mejorarse la conductividad enterrando una placa de cobre bajo la superficie del terreno; el tamaño de dicha placa depende de la conductividad del terreno que, a su vez, depende de las características del mismo y de su contenido en humedad. Ello da lugar a dos importantes efectos que influyen directamente sobre la eficacia de la antena:

- En vez de alcanzar un máximo a lo largo del terreno, la ganancia alcanza un valor de cresta unos pocos grados por encima del mismo y a continuación toma un valor inferior a lo largo del terreno dando lugar a unas pérdidas a la salida de la onda de superficie.
- La resistencia de tierra aumenta ligeramente, provocando una pérdida de potencia en el terreno.

La placa de tierra normalmente consiste en hilos radiales que parten de un pequeño anillo que se encuentra en torno a la base de la antena. A medida que el número y la longitud de los hilos disminuye las pérdidas en el terreno y la resistencia de tierra aumenta y en la práctica la eficacia de la antena vendrá limitada por el volumen de espacio disponible para la placa de tierra.

La Fig. 23 muestra el efecto que produce reducir a un mínimo la placa de tierra de cobre. La tierra ocupará una zona alrededor de los conductores de tierra que no forma parte de la antena radiante, dando lugar a una resistencia de tierra muy elevada y a una importante disminución en la eficacia.



4.5.1.4 Influencia del diseño de la toma de tierra sobre la eficacia de la antena

A continuación se indican las eficacias de dos antenas en T para una gama de condiciones del emplazamiento y de tamaños de la placa de tierra.

Condiciones del terreno	Resistencia de la tierra en radiofrecuencia (supuesta) (Ω)	Pérdidas en el terreno (dB)	Eficacia global	
			Antena en T 30 m de longitud 15 m de altura (%)	Antena en T 75 m de longitud 45 m de altura (%)
Terreno húmedo, 120 hilos radiales, 240 m de longitud	0,5	0	44	90
Terreno medio, 36 hilos radiales, 90 m de longitud	5	1,5	5	31
Terreno seco, 16 hilos radiales, 60 m de longitud	12	2	2	16

4.5.2 Caso práctico

4.5.2.1 Toma de tierra de la estación

Cuando las condiciones de la toma de tierra son inadecuadas o existe un riesgo elevado de una fuerte descarga del rayo, es práctica habitual montar anillos de toma de tierra continuos alrededor de cada edificio o grupo de edificios y, cuando sea necesario, establecer un sistema de hilos radiales en torno a ellos con anillos interconectados alrededor de varios edificios. Los anillos están fabricados normalmente con tiras de cobre de dimensiones no inferiores a 25 mm \times 2,5 mm enterradas a 1 m de profundidad y cada radial consiste en una tira de cobre de dimensiones no inferiores a 20 mm \times 2 mm. Todos los empalmes deben estar solapados, doblemente atornillados y soldados. Todas las conexiones entre el sistema de tierra y los equipos de la estación deben tener la menor longitud posible y la conexión principal del equipo técnico debe encontrarse en el lugar en que el sistema de tierra de la antena se introduce en el edificio.

Las tomas de tierra proporcionadas por partes distintas deben estar unidas a la tierra de la estación de forma separada e independiente salvo en el caso en que las conexiones a fuentes de alimentación externas exijan medidas especiales.

La unión entre la tierra del mástil y la estación debe ser una tira de cobre de dimensiones no inferiores a 35 mm \times 2 mm. Si hay un pórtico, la unión debe pasar bajo el pórtico del alimentador a nivel del terreno o por debajo de él y debe ir firmemente unida a cualquier estructura de soporte del pórtico intermedio. Debe unirse al anillo de tierra y continuar en el interior del edificio. Debe ir adecuadamente protegida contra cualquier daño mecánico (por ejemplo, vehículos de motor, taladradoras neumáticas, etc.) y no debe tener más longitud que el alimentador tendido sobre el pórtico.

En las estaciones que utilizan antenas puestas a tierra y unidades de sintonía de antena internas, los radiales de tierra enterrados deben ir conectados al anillo de tierra en un extremo a intervalos regulares y extenderse hacia afuera en todas las direcciones requeridas por la radiación. Como orientación, en los lugares con un terreno medio (conductividad de 3 a 10 mS/m) la longitud de cada radial normalmente no debe ser menor que la altura de la propia antena.

En estaciones que utilizan antenas puestas a tierra y unidades de sintonía de antena externas, los radiales de la contraantena enterrados deben extenderse hacia afuera a partir del punto de excitación de la antena y dirigirse en todas las direcciones.

Cuando los radiales enterrados deban recortarse en el borde del edificio, será necesario conectarlos al anillo de tierra. Si la resistividad presenta un valor anormalmente elevado, o la zona de los edificios es amplia, será necesario sustituir las secciones perdidas de la placa de tierra instalando una pantalla de Faraday en el techo de cualquiera de los edificios contenidos en el anillo. Esta pantalla debe conectarse a los muros del edificio a intervalos regulares.

4.5.2.2 Requisitos de la tierra en emplazamientos muy secos

En lugares muy secos puede que sea necesario utilizar radiales de al menos un cuarto de longitud de onda. Con ello se obtiene una buena radiación en dirección de los radiales pero para lograr una emisión NAVTEX eficaz los radiales deben tener al menos 150 m de longitud lo que exige un amplio emplazamiento.

Si el terreno es seco pero existe una capa de aguas freáticas de volumen razonable a pocos metros, puede ser necesario conectarse a dicha capa introduciendo un cierto número de varillas de toma de tierra en el terreno próximo a la antena y en los extremos de unos cuantos hilos radiales. Si la capa de aguas es profunda puede que sea preciso realizar una perforación e introducir por la misma un electrodo de cobre que debe enterrarse en arcilla. Si la capa de agua está cubierta por terreno blando puede ser posible efectuar la perforación de forma manual utilizando una barrena, de no ser así este proceso debería llevarse a cabo mecánicamente.

Si el terreno es completamente seco y no existe ninguna capa de agua puede que el cobre únicamente no sea suficiente y sería necesario taladrar un orificio más amplio, revestirlo de arcilla para retener la humedad, rellenarlo con partículas de hierro y conectarlo a una fuente de aguas residuales.

4.5.2.3 Antenas de ondas métricas, ondas decimétricas y microondas

Cuando se utilizan antenas de ondas métricas, decimétricas y microondas, todo alimentador que ascienda por un mástil debe conectarse al acero del mismo en los puntos más elevado y más bajo y debe unirse a la tierra de la estación en el exterior del edificio utilizando las conexiones más cortas posibles. Debe haber un buen trayecto de tierra bajo los tirantes, todos los componentes del montaje deben evitarse cuidadosamente y debe protegerse convenientemente el sistema de iluminación del mástil.

En emplazamientos de ondas hectométricas y decamétricas, todos los cimientos deben conectarse eléctricamente y todos los radiadores de mástil deben ir equipados con un descargador y un mecanismo de descarga estática.

4.5.2.4 Antenas de ondas hectométricas y decamétricas y sistemas de alimentador

En una estación transmisora se necesita una separación considerable entre las antenas a fin de lograr el aislamiento necesario y ello provoca la existencia de campos de antena de gran amplitud y de longitudes considerables de alimentadores enterrados. En algunas zonas habrá una elevada probabilidad de que un rayo descargue sobre una antena o sobre el terreno entre ellas. Un punto en el terreno entre las antenas impactado por un rayo adquirirá un potencial muy elevado, lo que se traducirá en un gradiente de potencial muy abrupto que se desplaza por el terreno a partir del punto de impacto del rayo acompañado por un flujo saliente de corriente de valor suficiente como para inducir una corriente secundaria en cualquier alimentador enterrado en el subsuelo cercano. Deben establecerse unos puntos de toma de tierra en los extremos de cada alimentador para derivar esta corriente a tierra de manera segura.

Si los alimentadores penetran en el edificio principal deben unirse eléctricamente los conductores externos de los mismos al anillo de tierra. En las estaciones de recepción de gran tamaño que utilizan varias antenas receptoras y un multiacoplador, los alimentadores deben introducirse en el edificio por un punto y deben terminarse en un panel unido eléctricamente al anillo de tierra de la estación principal, proporcionando un lugar adecuado para los dispositivos de descarga de gases a fin de ofrecer protección primaria a las entradas de los multiacopladores del receptor.

Los alimentadores principales normalmente se conectan a la antena mediante un transformador balún (equilibrado/desequilibrado) o un equipo de adaptación, donde debe instalarse una toma de tierra que absorba toda corriente resultante de una descarga en la cortina o, en algunos diseños, en las estructuras de soporte; esta tierra debe ser compartida por el conductor externo del alimentador. Toda corriente de descarga que se derive a esta tierra eleva el potencial del punto de conexión dando lugar a una pequeña corriente residual que circula por la parte exterior del alimentador conectado al mismo y que será absorbida por la tierra común en el edificio del transmisor.

4.5.2.5 Edificio

El techo debe ir equipado con pararrayos y puntas de descarga verticales de acuerdo con la práctica local. Cada conductor del pararrayos debe ir montado de forma continua a lo largo del edificio y debe estar conectado al anillo de tierra por ambos extremos.

Si un conductor pararrayos externo pasa por detrás de una pieza del equipo interno, debe interconectarse mediante una conexión de corta longitud a través del muro (o del techo). De no ser así, un impulso eléctrico podría atravesar el muro. (Como los materiales del edificio son malos conductores, la capa de aire que se encuentra tras los equipos podría calentarse tan rápidamente que daría lugar a una violenta explosión que desplazaría a los equipos del muro.)

4.5.2.6 Suministros externos

Cuando un suministro, por ejemplo las líneas de alimentación de energía, los teléfonos o las señales de control, procede de una fuente que utiliza una toma de tierra separada, deben tomarse las medidas adecuadas para proteger la alimentación interconectada y aislar los cables o líneas correspondientes a fin de asegurar que la corriente del rayo se deriva siempre a tierra de forma segura sin causar daños. Pueden utilizarse aisladores ópticos para aislar las líneas telefónicas y de transmisión de datos, conectando la tierra del lado de alimentación a una tierra totalmente separada de la tierra de la estación.

Debe utilizarse un transformador de aislamiento para el suministro de energía eléctrica de entrada. El aislamiento de primario/secundario debe poder soportar el elevado potencial causado por una descarga en el sistema en cualquier lado. El neutro del secundario debe ir conectado a la toma de tierra de la estación y el neutro del primario debe ponerse a tierra de forma separada de acuerdo con la reglamentación local. El flujo de corriente de la antena de descarga puede alcanzar normalmente un valor de 20 kA (riesgo bajo) a 200 kA (riesgo elevado). Si el transformador ha sido diseñado para soportar un potencial de 20 kV entre los arroyamientos del primario y el secundario, en emplazamiento con bajo riesgo el valor necesario de la resistencia de la toma de tierra de la estación debe ser 1 Ω . En emplazamiento de riesgo elevado dicho valor debe ser 0,1 Ω .

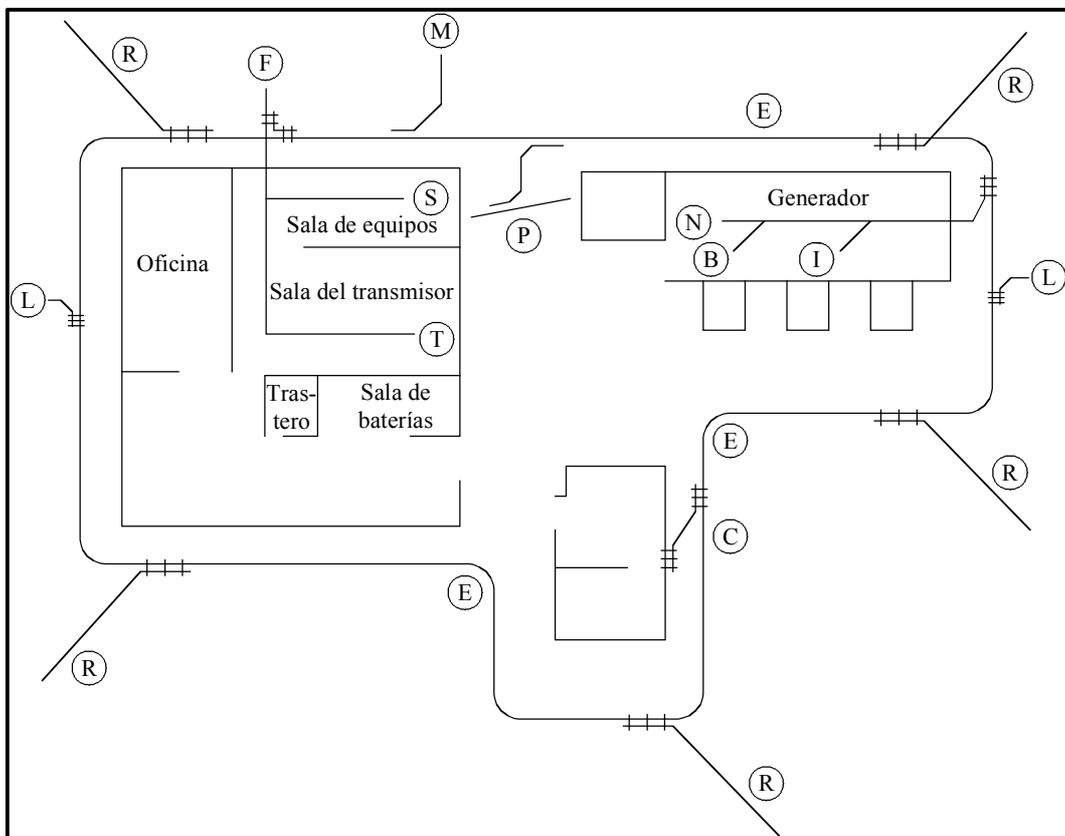
4.5.2.7 Valor de la resistencia de tierra requerida

La resistencia de tierra necesaria para la protección contra el rayo dependerá normalmente de la reglamentación local, pero en casos en que la estación es completamente independiente (es decir utiliza enlaces por microondas para la alimentación de la señal y los teléfonos y obtiene la energía a partir de generadores locales) se acepta comúnmente un valor de 5 Ω como resistencia de tierra.

El valor de la resistencia de tierra necesario en las antenas puestas a tierra depende del número y configuración de las antenas utilizadas. En emplazamientos que emplean un transmisor con una antena puesta a tierra, normalmente es suficiente una resistencia de tierra en radiofrecuencia de hasta 5Ω para ofrecer una adecuada protección contra el rayo. Las antenas eléctricamente cortas tales como las antenas en T pequeñas y las antenas de látigo cortas, pueden exigir una resistencia de tierra de 2Ω o menos para mantener su eficacia. En emplazamientos que utilizan más de una antena puesta a tierra, pero demasiado pequeños como para separar sus zonas de tierra, puede ser necesario un valor incluso inferior para minimizar los efectos de acoplamiento dependiendo de la separación de frecuencias.

4.5.3 Instalación de un sistema de estación típico

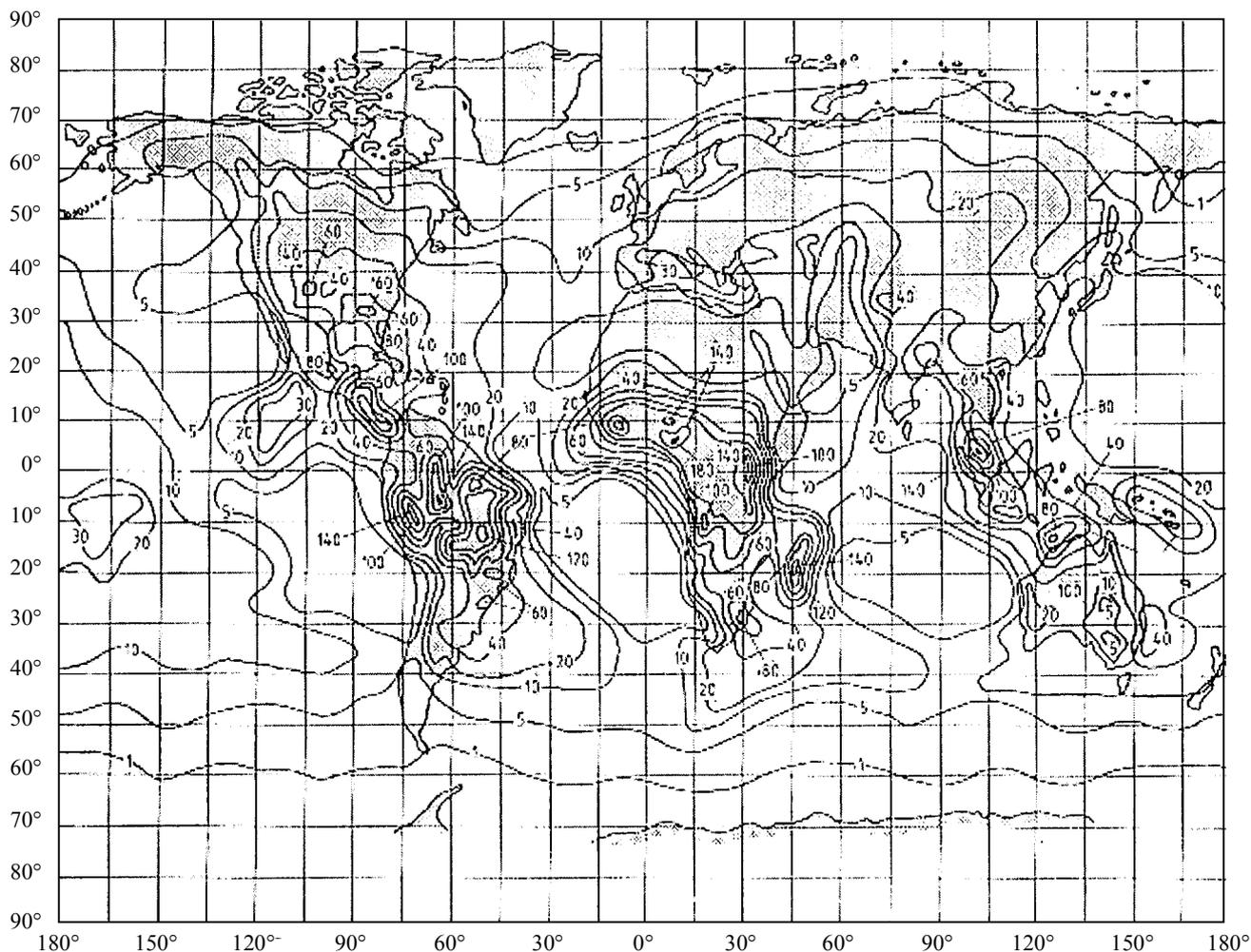
FIGURA 24



- E Anillo de tierra principal
- R Radiales de tierra: banda de tierra de una longitud de hasta 150 m, o radiales de contraantena
- P Tira por encima del conducto del cable o del alimentador enterrado
- S Panel de conmutación y tierra de distribución de la alimentación
- T Tierra técnica
- F Tierra de entrada del alimentador
- B Barra de alimentación del generador de energía
- I Tierra principal de la fuente de alimentación
- N Conexión del neutro local (de acuerdo con la reglamentación local)
- C Conexión a la obra civil
- L Conexión a la terminación área en el techo
- M Conexión a la tierra del mástil exterior

4.6 Protección contra el rayo

FIGURA 25
Mapa que muestra los días de tormenta por año



Nota 1 – Este mapa se basa en la información contenida en los registros para 1955 de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Rap 2027-25

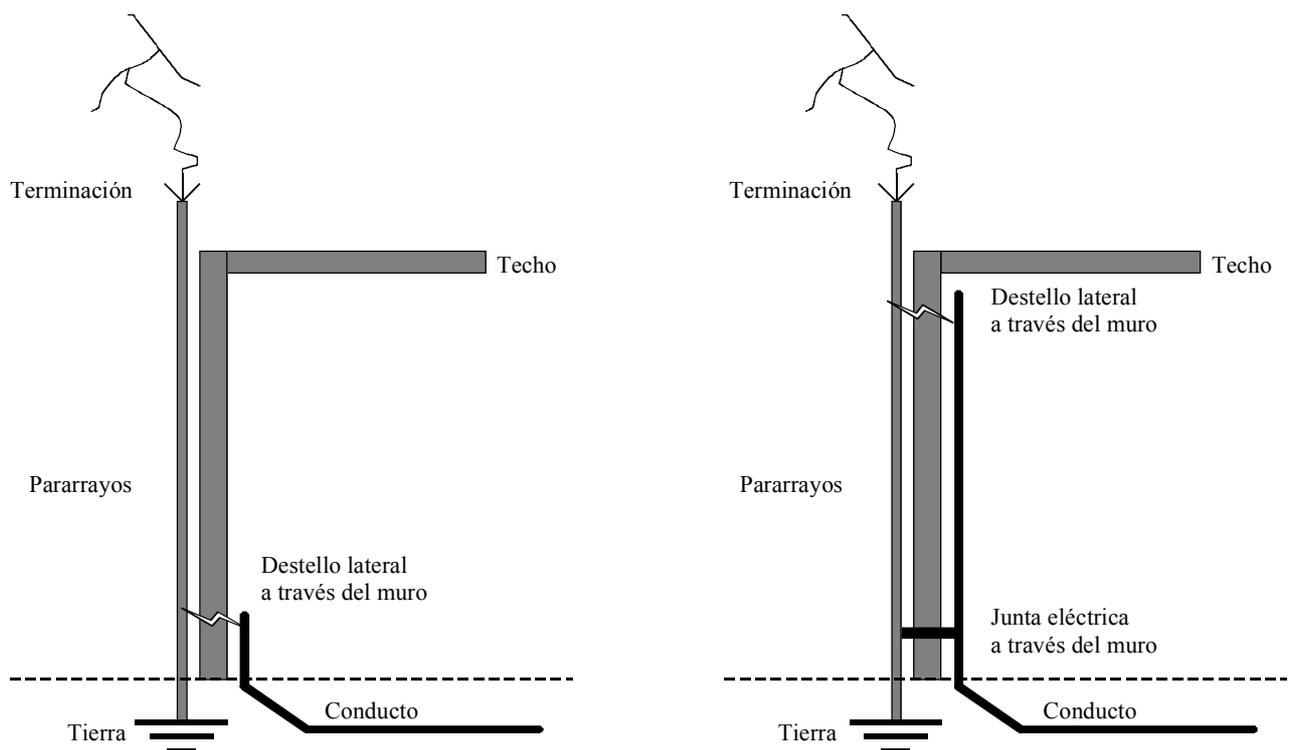
4.6.1 Introducción

El rayo se produce como resultado de una carga acumulada en las nubes, que se comportan como un condensador, y su posterior descarga a tierra o a una nube próxima. La carga eléctrica crece en el interior de una nube debido al comportamiento peculiar de las gotas de lluvia*. A medida que aumenta la carga también lo hace la tensión entre la nube y su entorno inmediato y se forma un impulso frontal escalonado ramificado*. A veces se produce una descarga disruptiva en el aire alrededor de las estructuras del terreno y aparece otro impulso frontal que se dirige hacia arriba. Cuando ambos se juntan, se establece un trayecto conductor de gas ionizado caliente que permite a

* GOLDE, R.H. – Lightning Protection (p. 9 y 11).

la carga total en la nube dirigirse hacia tierra provocando una o más descargas del rayo. Una vez establecido un trayecto de descarga, la energía total almacenada en la nube debe disiparse. Si parte de este trayecto es un mal conductor, se liberan grandes cantidades de energía. Por ejemplo, en la República Sudafricana una descarga estableció un trayecto a través de las rocas hasta llegar a la tierra y produjo una explosión equivalente a 250 kg de trinitrotolueno (TNT) que hizo saltar por los aires 70 t de roca*. Es importante asegurar que el trayecto de la corriente producida por el rayo a través del sistema de protección presenta una impedancia del valor más bajo posible. Normalmente una descarga en un conductor que tiene conexión a una tierra de buena calidad no dejará ninguna traza. Aunque la corriente pueda alcanzar valores típicamente de 100 kA*, la energía total disipada en un buen conductor nunca debe ser suficiente como para elevar su temperatura más allá de unos pocos grados. En condiciones normales, aproximadamente el 95% de la energía se disipa en la onda acústica de choque, una pequeña cantidad se radia como luz y radiofrecuencia y el resto se disipa en forma de calor en el terreno. El mapa de la Fig. 25 proporciona una indicación del número de días de tormenta al año que cabe esperar en cualquier parte del mundo y se basa en los registros tomados para 1955 por la OMM.

4.6.2 Destellos laterales



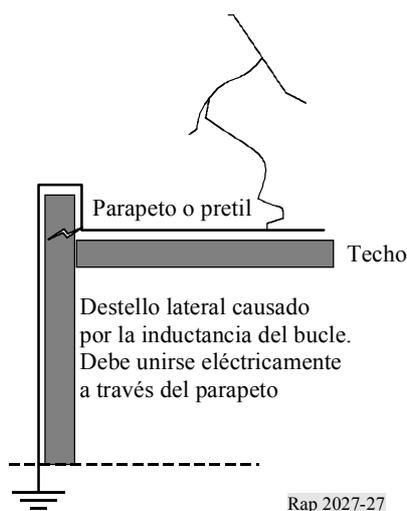
Rap 2027-26

* GOLDE, R.H. – Lightning Protection (p. 17 y 55).

Considérese lo que sucede cuando un rayo alcanza un conductor empotrado en un edificio. Puede surgir y desaparecer una corriente de hasta 100 kA en el transcurso de unos pocos microsegundos, provocando la aparición y extinción muy rápidamente de un campo magnético en torno al conductor. Este campo magnético rodeará al conductor a lo largo de todo su recorrido hasta el terreno. La autoinducción causará un elevado potencial en el conductor que aumentará con la altura y tenderá a provocar descargas alrededor de cualquier elemento que proporcione un trayecto alternativo a tierra. Incluso a nivel del terreno puede producir descargas en tuberías de agua o de gas cercanas. Este tipo de descarga se denomina destello lateral.*

A medida que la corriente pasa a través de la resistencia de tierra, eleva el potencial de todo el sistema conectado a dicha resistencia. Si otra parte del sistema tiene una toma de tierra distinta, la corriente provocada por el rayo puede intentar derivarse hacia dicha tierra destruyéndolo todo en su trayecto, de manera que es esencial conectar eléctricamente las diversas tierras entre sí, incluyendo las tuberías de servicio, a nivel del terreno.

Si una unidad va montada en un muro interno detrás de un pararrayos, puede surgir un destello lateral que intente atravesar el muro. Como mínimo, este fenómeno provocaría un rápido calentamiento del aire en el trayecto del destello. Al expandirse el aire podría provocar una explosión que separase a la unidad del muro. En el caso peor podría explotar el propio material del muro. (Este tipo de daño es aún más perjudicial cuando el destello se produce entre piezas de material de refuerzo que no han sido unidas.)



El pararrayos debe ir en línea recta hasta su toma de tierra. Si se introduce un bucle o un acodamiento en el trayecto, el campo magnético será aún mayor, lo que puede provocar un destello entre dos partes distintas del mismo conductor pues la corriente tiende a seguir el camino más corto hasta tierra. Esto puede suceder si se encamina un conductor en torno a un parapeto o un pretil y la descarga resultante puede provocar fuertes daños al muro de hormigón o de ladrillo*.

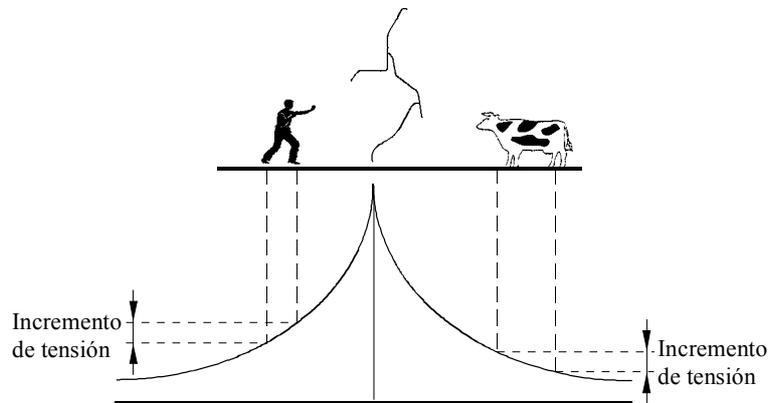
Otros lugares vulnerables a los destellos laterales son los elementos anejos al mástil. Salvo en el caso de los radiadores de mástil, todos los alimentadores deben estar conectados al mástil o a la torre, tanto en la parte superior como en el punto donde se separan del pórtico. Todas las antenas, transmisoras y receptoras, deben proporcionar un cortocircuito de corriente continua entre la parte interna y externa del alimentador para reducir el riesgo de

aparición de una descarga disruptiva. En una antena receptora puede causarse una avería importante a la etapa de entrada del receptor. Aunque no se dispone de cifras con respecto a los fallos en los elementos de iluminación del mástil, es evidente que hay un alto riesgo de que se produzca una descarga disruptiva entre la armadura (que se elevará al potencial del mástil) y los conductores de línea y neutro (que tendrán un valor del potencial igual al del terreno). Se necesitan más estudios para determinar si es necesario tomar medidas especiales.

* GOLDE, R.H. – Lightning Protection (p. 57/84 y 78).

4.6.3 Potencial del terreno

La descarga de un rayo puede elevar al sistema de tierra y a su entorno circundante, a lo largo de una cierta distancia corta*, a un potencial de varias decenas de miles de voltios por encima del potencial del terreno. Durante un breve periodo de tiempo existirá un gradiente de potencial a lo largo del terreno que supone un gran peligro para las personas y el ganado puesto que pueden sufrir un electrochoque fatal debido a la diferencia de potencial entre sus pies. Esto puede evitarse rodeando las zonas deshabitadas por una tierra constituida por un anillo de cobre enterrado



Rap 2027-28

a 1 m de profundidad. Este anillo puede utilizarse como parte del sistema de tierra y pueden añadirse radiales al mismo si es necesario. Sin embargo, este sistema no puede sustituir a la tierra del mástil que debe instalarse siempre para absorber la mayor parte de la corriente del rayo cuando el mástil sufre una descarga.

4.6.4 Corriente de tierra

Cuando se inyecta un impulso de energía en un circuito sintonizado, oscilará. Si distintas piezas del equipo se conectan a partes diferentes del sistema tierra, se habrán establecido bucles de tierra que pueden actuar como circuitos sintonizados interconectados. Cuando un rayo alcanza a un conductor conectado al sistema de tierra, puede aparecer un flujo de corrientes de radiofrecuencia circulatorias. El sistema de tierra debe diseñarse para minimizar este efecto asegurando que todo el equipo técnico se conecta a un solo punto de tierra en cada zona principal y, en definitiva, a una sola tierra de la estación. Un sistema alternativo que se utiliza consiste en un anillo hidrófobo de cobre como parte principal del sistema de tierra lo que permite realizar más de una conexión de tierra, pero de la longitud más corta posible.

El efecto de la corriente de tierra empeora cuando se omite una conexión de tierra; por ejemplo, entre la tierra del mástil y la tierra de la estación. Ello lleva al alimentador a un gran bucle de tierra capaz de almacenar energía suficiente como para destruir la etapa de entrada de un receptor o la etapa de salida de un transmisor. Este último debe protegerse asegurando que el equipo de salida coaxial proporciona un trayecto de corriente continua a tierra. En un transmisor de la banda de ondas hectométricas puede que sea la única forma de conectar la antena o el mástil a tierra por razones de seguridad.

4.6.5 Conexiones de terceras partes

Una estación transmisora ubicada en una colina lejana puede estar totalmente desconectada de todos los servicios normales tales como energía eléctrica, agua y sistema telefónico. Obtendrá la potencia de un generador diesel, las señales llegarán por enlace de microondas y las comunicaciones se efectuarán por radiotelefonía. Todos estos servicios compartirán la tierra de la estación permitiendo la instalación de un adecuado sistema de protección a bajo coste. Cuando la estación transmisora

* GOLDE, R.H. – Lightning Protection (p. 86).

está situada cerca de una ciudad, el suministro de energía procederá de una subestación cercana, el teléfono se conectará a la central local y las señales adicionales pueden llegar por línea terrestre procedentes de un centro de meteorología o de una estación receptora de satélite. Es responsabilidad de las autoridades correspondientes establecer las prácticas habituales de utilización que dependen de las condiciones locales, pero que pueden resumirse de la siguiente forma general:

4.6.5.1 Aislamiento

Cuando sea necesario, una línea entrante o un alimentador debe terminar en un dispositivo que lo aisle de la tierra de la estación. Por ejemplo, el transformador de alimentación debe contar con una tierra en el neutro del primario en el lado de alta tensión que vaya a una tierra completamente independiente y todas las partes del mismo deben estar situadas o aisladas convenientemente para evitar cualquier peligro al personal. El neutro del secundario del transformador debe conectarse a la tierra de la estación y, por consiguiente, el aislante del transformador debe soportar el potencial que pudiera originarse entre ambos sistemas de tierra. Si toda la corriente del rayo se dirige hacia la tierra de la estación, esta tensión dependerá de la cantidad de corriente y de la calidad de la toma de tierra. Diversas investigaciones han demostrado que el 20% de las corrientes de descarga del rayo alcanzan un máximo de corriente de 50 kA. Si la tierra de la estación tiene una resistencia de 1Ω , el aislante del primario/secundario del transformador debe soportar 50 kV. Si el transformador soportase únicamente 25 kV, la tierra de la estación debe mejorarse para que presente una resistencia de únicamente $0,5 \Omega$. Esta norma debe adoptarla una autoridad en materia de radio-difusión [EBU, 1961a].

4.6.5.2 Protección [EBU, 1961b]

La línea entrante (de energía o telefónica) debe ir equipada con dispositivos de protección que detecten el instante en que la tensión en la línea alcanza el máximo nivel de tolerancia y a continuación provoquen la descarga disruptiva. Esta máxima tensión dependerá de:

- La máxima tensión de entrada del equipo terminal, por ejemplo el aislante del primario/secundario del transformador de la red de alimentación (25 kV en el ejemplo anterior).
- Las características de ruptura del aislante de línea o de los aisladores en el que va montada.

Otra medida que puede tomarse es instalar un pararrayos por encima de la línea de servicio. Si se trata de un alimentador de hilo desnudo montado en postes, el conductor debe pasar de poste a poste por encima de los conductores principales, debe conectarse al acero del poste y a una tierra en la superficie de la base del poste

Si el servicio (alimentación, señal de programa o circuito telefónico) llega a través de un cable enterrado en el terreno, debe enterrarse también un conductor por encima del cable principal. Ello es especialmente importante en las laderas montañosas donde hay una elevada probabilidad de que el cable atraiga a un rayo a través del terreno. El cable debe encontrarse a una profundidad de 1 m y la línea de tierra aproximadamente a unos 10 cm sobre él. Esa línea debe ir conectada al lado aislado del equipo aislante en cada extremo.

4.6.6 Depósitos de combustible*

Los depósitos de combustible deben instalarse y ponerse a tierra para eliminar el riesgo de que se produzca una explosión debida a un destello lateral o cualquier otra descarga disruptiva. Debe prestarse especial atención al cableado de los circuitos de medida. Todas las partes metálicas del exterior del edificio deben unirse eléctricamente a la tierra de la estación.

* GOLDE, R.H. – Lightning Protection (p. 131).

El petróleo no es un buen conductor eléctrico y se sabe que almacenado en grandes depósitos recibe una gran cantidad de carga cuando en algunas otras partes del sistema descarga un rayo. También se han dado casos de explosiones poco tiempo después de esta descarga cuando la sección cargada del petróleo ha podido descargarse gracias a una estructura de acero próxima produciendo una chispa. Los depósitos de combustible de gran tamaño deben diseñarse cuidadosamente, especialmente si están fabricados en fibra de vidrio. Deben ir equipados con una estructura interna adecuada que proporcione una toma de tierra segura al propio combustible.

4.6.7 Otros desarrollos para la protección

4.6.7.1 Punta de descarga*

Se trata de una simple punta de descarga montada en la parte más elevada de un edificio o de un mástil. Se supone que proporciona una zona de protección. Dentro de esta zona es más probable que el rayo descargue en dicha punta que en cualquier otra parte. Cuanto más alta se monte mayor es la zona de protección. Su funcionamiento es sencillo. Cuando el rayo va a descargar, la punta de descarga proporciona un punto conveniente en torno al cual puede producirse una descarga disruptiva en el aire creando un frente positivo que se enfrentará al frente negativo procedente de la nube. La punta de descarga es la forma más antigua de protección utilizada. Se conecta al pararrayos que establece un trayecto directo a través del techo y dirigido hacia una buena toma de tierra.

4.6.7.2 Disipadores e inhibidores

Se trata de diversos desarrollos de la punta de descarga y existen versiones para su montaje en el techo o en la parte superior de un mástil. Tienen un cierto número de puntas en el extremo que provocan la ionización del aire. La carga negativa se dirige a tierra y los iones positivos forman un tren que fluye hacia el exterior. A veces este efecto provoca un halo luminoso que se observa como una descarga en corona (halo luminoso de Hermestine). Cuando este fenómeno aparece de forma natural se conoce como fuego de San Telmo y puede observarse alrededor de los árboles u otros accidentes prominentes del terreno.

El modo de descarga depende de la geometría del propio soporte físico que proporciona un medio para controlar la descarga disruptiva del aire circundante. Corrigiendo el diseño puede elegirse un modo de actividad que evite el crecimiento de frentes positivos y reduzca en gran medida la posibilidad de la descarga de un rayo.

Los iones positivos fluyen hacia el exterior dejando una capa de cargas positivas en torno al edificio y al mástil, protegiendo de esa forma una zona bastante amplia. Se ha indicado que esta acción puede potenciarse mediante el uso de la radioactividad. Ello tiene dos efectos. Proporcionará ionización aun cuando no haya una tormenta local y eliminará parte de la actividad iónica que precede a la descarga. Existen versiones que utilizan sulfato de radio para su montaje en un techo [EBU, 1965] o en un mástil.

Otro tipo utiliza una punta recubierta de oro conectada a la parte interna de un cable coaxial puesto a tierra en la base del mástil. La parte exterior del cable está conectada a varias fuentes ionizantes revestidas de oro que utilizan el isótopo americio 241 que emite continuamente electrones ($8,33 \times 10^{12}$ por segundo). El fabricante afirma que ello proporciona a la unidad «la posibilidad de lanzar una descarga inicial antes que los puntos sujetos a la ionización natural», y es efectivo en un radio de 250 m. Esta unidad funciona atrayendo la descarga de un rayo y conduciéndola de manera segura a tierra. El peligro de los destellos laterales se suprime siempre que ninguna otra parte de la estructura sea alcanzada por la descarga del rayo.

* GOLDE, R.H. – Lightning Protection (p. 32).

4.6.7.3 Detectores de tormentas*

Los disipadores de cargas diseñados para su montaje en mástiles normalmente consisten en un gran disco abierto que contiene infinidad de puntas de pequeño tamaño. El flujo de corriente resultante puede detectarse mediante un amplificador de corriente sensible que haga sonar una alarma o desencadene de forma automática una acción de conmutación. En un sistema utilizado en Estados Unidos de América, un impulso de conmutación ataca al generador si falla el equipo de suministro de corriente, el generador entra en funcionamiento y la línea entrante se aísla completamente. Este procedimiento reduce el riesgo de destrucción del transformador principal.

4.6.7.4 Utilización de una jaula de Faraday

Cuando las condiciones son muy desfavorables y la vida humana corre riesgos, puede que sea necesario instalar una jaula de Faraday. El exterior del edificio se rodea con unas tiras de cobre que se fijan al anillo de tierra en cada extremo. Cada una de estas tiras forma parte del sistema del pararrayos y pueden añadirse puntas de descarga a dicho sistema alrededor de una placa hidrófuga de cobre que pasaría a formar parte del sistema de tierra de la estación.

4.6.8 Otros tipos de descarga

No todas las descargas se originan en las nubes. Algunas se inician en el terreno y comienzan como un frente positivo. Siempre parten de un mástil o de una estructura similar y normalmente son descargas positivas, pero también se han observado en algunos casos descargas negativas que se originan en el terreno** y descargas positivas que se inician en una nube [JFI, 1967a].

No se conocen los factores que provocan las intensidades de campo de valor elevado necesarias para crear frentes de descarga ascendentes [JFI, 1967b]. Alguien ha sugerido que son secundarios y que no se crean hasta que el rayo ha descargado en alguna parte. La imagen más clara se tiene considerando una nube cargada que se desplaza sobre una ciudad. La base de la nube actuará como la mitad de un condensador y la otra mitad lo constituirá un trozo del terreno tan pequeño como un campo de fútbol o tan grande como toda una ciudad o un valle. A medida que la nube se desplaza sobre el terreno, todos los accidentes del mismo que sobresalen, tales como árboles, chimeneas, canalones de desagüe de los tejados, etc., comenzarán a tomar vida eléctrica. Cada punto es un posible objetivo. Puede haber cientos de descargas iniciales ascendentes que pueden convertirse en frentes positivos, la punta del frente negativo descendente se encontrará al valor máximo del potencial de la nube. A medida que se aproxime al terreno aumentará la tendencia de aparición de estos posibles frentes ascendentes. El resultado es la bien conocida forma del relámpago del rayo.

Referencias Bibliográficas

EBU [abril de 1961a] Lightning protection of broadcasting stations in Norwegian mountains. *EBU Rev.*, **66**, pág. 58. European Broadcasting Union.

EBU [abril de 1961b] Lightning protection of broadcasting stations in Norwegian mountains. *EBU Rev.*, **66**, pág. 59. European Broadcasting Union.

EBU [1965] EBU Monograph No. 3103, p. 22. European Broadcasting Union.

JFI [junio de 1967a] Research of lightning phenomena. *J. Franklin Institute*, Vol. 283, **6**, p. 502m.

JFI [junio de 1967b] Research of lightning phenomena. *J. Franklin Institute*, Vol. 283, **6**, p. 516.

* Broadcast Engineering.

** GOLDE, R.H. – Lightning Protection (p. 14).