

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANALES DIGITALES
EN EL SERVICIO MÓVIL MARÍTIMO**

(Cuestión 42/8)

(1978-1982)

1. Introducción

Las actuales necesidades en lo que respecta a la calidad de transmisión a través de canales digitales del servicio móvil marítimo en ondas decamétricas, plantean una serie de complejos problemas. La satisfacción de las crecientes necesidades de los sistemas de radiocomunicaciones marítimas exige la automatización de los procesos de preparación, transmisión y registro de los mensajes; es necesario, asimismo, automatizar el establecimiento de los circuitos y los procedimientos de detección y corrección de errores.

Sobre este particular, el CCIR ha efectuado ya ciertos trabajos:

- se ha recomendado un sistema de impresión directa con detección y corrección de errores, que varios países vienen utilizando desde hace varios años,
- se están resolviendo satisfactoriamente los problemas que plantea la creación de un sistema digital de llamada selectiva para atender las futuras necesidades del servicio móvil marítimo.

En futuros estudios que patrocina el CCIR se prevé el desarrollo de medios para la automatización de las comunicaciones mediante la utilización de canales digitales para la transmisión de la información. El perfeccionamiento de los equipos y métodos empleados para transmitir información por canales digitales del servicio móvil marítimo entraña la necesidad de medios para una evaluación objetiva de la eficacia de las soluciones técnicas adoptadas. A este respecto, podría constituir un criterio considerar la variación de la probabilidad de que se transmita a través de estos canales un volumen dado de información con una confiabilidad aceptable en un periodo de tiempo determinado. Teniendo en cuenta la estrecha relación existente entre los diversos métodos para mejorar los medios de transmisión digital de información y la variación de las condiciones de transmisión a través de los canales utilizados, es esencial determinar el carácter y la gama de variación de las características cualitativas de los canales del servicio móvil marítimo así como elaborar una metodología que pueda aplicarse en los estudios del CCIR para comparar los resultados de pruebas de equipo realizadas por las administraciones de los diversos países.

Las velocidades de transmisión de los canales digitales para el servicio telegráfico de impresión directa costera-barco son bajas, pero en las zonas de mucho tráfico serían necesarios numerosos canales para cursarlo tanto en los servicios por satélite como en los servicios terrenales en las bandas de ondas decamétricas y métricas. Es posible que, en el futuro, sea necesaria la transmisión de datos a mayor velocidad, como es la de los ordenadores, y la transmisión digital de señales vocales y de facsimil podría resultar también ventajosa en algunas situaciones, pero estas posibilidades deben considerarse independientemente de la aplicación de la impresión directa.

Las pruebas de la calidad de funcionamiento realizadas con equipos digitales pueden tener dos fines: evaluar la calidad de funcionamiento del equipo de transmisión de mensajes completo y establecer la distribución de errores causados por el trayecto de propagación, de modo que pueda mejorarse el diseño de los equipos modificando los métodos de modulación, codificación o diversidad.

Es extremadamente importante que en la evaluación de la calidad de los canales del servicio móvil marítimo se tenga en cuenta la influencia en los resultados de la investigación, tanto de la duración de la sesión de comunicación, como de la magnitud de los intervalos de promediación del parámetro medido a lo largo de la sesión y del número total de sesiones de comunicación realizadas, es decir, del volumen y del algoritmo de procesamiento estadístico.

2. Métodos de evaluación de la calidad de funcionamiento

2.1 Pruebas de laboratorio efectuadas en Francia con señales radioeléctricas codificadas han llevado a un método para producir ruido blanco de elevado nivel modulando en frecuencia una portadora con ruido. Se informa de esta labor en relación con los Informes 499 y 501, y sus resultados podrían aplicarse a las pruebas de equipo en un medio de ruido blanco. Se trata de las pruebas mínimas que es preciso realizar y no pueden dar una información completa en los casos de pruebas en ondas decamétricas en las que el ruido debe presentar una característica de ráfaga.

2.2 La evaluación definitiva de la eficacia del equipo debe basarse en la medición de su calidad de funcionamiento en servicio, para asegurarse de que se toman en consideración todos los factores pertinentes. Esas pruebas deben realizarse en toda la gama de distancias a que se propone emplear el equipo, y en todas las condiciones de propagación. La calidad de funcionamiento medida dependerá especialmente de la atenuación en el trayecto, del ruido y de la interferencia existentes en el momento de la prueba, y, como esas condiciones son variables, la calidad de funcionamiento de distintos equipos sólo puede compararse promediando los resultados de pruebas realizadas a lo largo de muchos meses. Además de los factores de propagación mencionados, las modificaciones del tiempo de propagación por trayectos múltiples pueden introducir distorsión telegráfica y ráfagas de errores numéricos, incluso cuando las otras condiciones son favorables para una comunicación confiable.

2.3 En razón de las dificultades que presenta la realización de mediciones susceptibles de repetición, de la calidad de funcionamiento de los equipos mediante pruebas en el mar y del mucho tiempo que éstas llevan, se están empleando simuladores de trayectos ionosféricos, que permiten probar los equipos en laboratorio en condiciones controladas. La principal ventaja de realizar las pruebas sirviéndose de un simulador de canales en lugar de un trayecto ionosférico real, es que pueden establecerse comparaciones entre los equipos cuando éstos trabajan en condiciones idénticas y reproducirse las condiciones necesarias sin tener que esperar a que surjan fortuitamente.

3. Labor de la Comisión de Estudio 3

La evaluación de la calidad de funcionamiento de los circuitos telegráficos fijos en ondas decamétricas ha sido estudiada por la Comisión de Estudio 3 del CCIR. Los Informes 203, 345 y 435 están relacionados con el tema, pero se refieren principalmente a la calidad relativa de funcionamiento de los métodos de modulación y codificación en telegrafía. Los siguientes Informes tratan especialmente de la medición de la calidad de funcionamiento.

Informe 200. — Distorsión telegráfica, proporción de errores. Está especialmente relacionado con las Recomendaciones pertinentes del CCITT sobre medición de la distorsión.

Informe 349. — Sistemas radiotelegráficos de un solo canal con dispositivo de corrección de errores que no necesita un canal de retorno. Proporciona los métodos de prueba y los resultados de éstas para varios sistemas propuestos.

Informe 345. — Características de funcionamiento de sistemas telegráficos en circuitos radioeléctricos en ondas decamétricas. Este resumen de pruebas más recientes indica que la medición de la distorsión telegráfica es un modo de evaluar la calidad de transmisión más útil que la medición de la eficacia del canal.

Informe 549. — Simuladores de canales ionosféricos en ondas decamétricas. Se describe el modelo que representa el trayecto de propagación y el método para simularlo con líneas de retardo, atenuadores y sumadores.

4. Mediciones con simuladores de trayectos

4.1 Se han utilizado en condiciones experimentales numerosos simuladores de trayectos y existe al menos uno en el mercado, pero son pocas las administraciones que disponen de este tipo de equipos. Estos dispositivos se diferencian en la manera en que simulan el mecanismo de propagación.

4.2 Cuando se emplee un simulador de trayectos deben tenerse en cuenta su capacidad en cuanto a la representación de las condiciones reales de recepción. El modelo debe reproducir con precisión las condiciones de desvanecimiento en todo el espectro ocupado por la señal y producir en consecuencia la misma distorsión de la señal que la propagación por trayectos múltiples. Además, el simulador de trayecto debe tener un margen dinámico suficiente para representar de forma realista las amplias variaciones del nivel de la señal que se presentan en la práctica y prever la posibilidad de simular con precisión diferentes características de ruido (por ejemplo, ruido atmosférico y ruido artificial) para diversos valores de las relaciones señal/ruido. No existen datos suficientes para determinar con precisión los parámetros que deben utilizarse en la simulación de trayectos específicos de propagación. Sin embargo se considera que las pruebas realizadas con una serie de parámetros de propagación representativos por diversas administraciones en un simulador de carácter general, como el descrito en el Informe 549 pueden proporcionar una indicación fidedigna del funcionamiento del equipo en condiciones prácticas y que incluso un modelo sencillo del mecanismo de propagación por trayectos múltiples puede ser útil para comparar la calidad de funcionamiento de diferentes equipos si los parámetros escogidos son razonablemente representativos de los trayectos ionosféricos reales.

4.3 Recomendación 520 sugiere gamas de características de la señal apropiadas para la comunicación en ondas decamétricas. Señala que el simulador puede producir no sólo las propiedades del trayecto radioeléctrico, sino también las de ciertas partes del equipo radioeléctrico, como, por ejemplo, el control automático de ganancia, las derivas de frecuencia y las variaciones bruscas de frecuencia y de fase como podrían producirlas algunos sintetizadores de frecuencias. Son necesarias estas facilidades adicionales para probar modems con independencia del equipo receptor. El Informe 549 comenta también la necesidad de más amplia información sobre los valores de los parámetros, y en particular, no propone valores concretos de intensidad de señal y nivel de ruido que puedan emplearse en pruebas de equipos.

4.4 Puede llegarse a la conclusión de que, en la actualidad, el simulador de canales constituye el modo más satisfactorio de evaluar distintos equipos de telecomunicación, pero para determinar en definitiva si la calidad de funcionamiento responde a las necesidades del servicio, debe probarse el equipo en condiciones reales en cuanto al barco, la estación costera y el trayecto de propagación.

5. Pruebas en el mar

Los canales digitales pueden también ser representados sobre una base estadística por su comportamiento en materia de proporción y de estructura de errores. Esta representación debe incluir las probabilidades de error y los tipos de estructura de errores (por ejemplo, estructuras aleatorias, estructuras en ráfaga, estructuras sistemáticas) en función de la hora del día, el mes (o estación) y el ciclo de manchas solares y de la longitud del trayecto y la situación geográfica.

Se está aplicando en la Unión Soviética un programa de mediciones en gran escala que proporcionará una base de datos a partir de la cual se podrán elaborar modelos matemáticos que permitirán evaluar la calidad de funcionamiento del equipo de transmisión digital en condiciones prácticas de explotación. Es preciso continuar estos trabajos para crear una amplia base de datos que represente una gran variedad de canales reales de comunicación.

5.1 Desde 1967 vienen efectuándose en la URSS evaluaciones experimentales de las características cualitativas de los canales del servicio móvil marítimo en ondas decamétricas que emplean equipo de impresión directa, con o sin corrección de errores. Por otro lado, se efectúan también estudios sobre las modalidades de agrupación de errores en esos canales, en explotación sincrónica, así como para la evaluación de la dimensión de muestras requeridas a fin de derivar conclusiones sobre la calidad de los canales.

A continuación se detallan los procedimientos de prueba y algunos resultados obtenidos.

5.2 Finalidad de las pruebas

Una de las peculiaridades del servicio móvil marítimo es la necesidad de intercambios rápidos de información entre barcos y estaciones costeras. Las comunicaciones se efectúan pues, en forma de breves periodos de trabajo, precedidos por los oportunos procedimientos de establecimiento de la comunicación y espaciados entre sí. El amplio juego de frecuencias utilizable para las comunicaciones entre barcos y estaciones costeras, los constantes cambios de posición de los barcos durante el viaje, y la diferencia horaria y estacional en el momento en que se efectúa la comunicación entraña una gran diversidad en cuanto a frecuencias, espacio y tiempo. Antes de cada periodo de funcionamiento debe seleccionarse el canal «de trabajo» en la banda de ondas decamétricas. Sin embargo, la calidad de transmisión varía considerablemente de un periodo de trabajo a otro, debido, en particular, a las diferentes condiciones de propagación de las frecuencias de trabajo empleadas y el grado de perturbación de estas frecuencias por las interferencias. La variación de la localización, distancia, tiempo y frecuencia, de los periodos de trabajo es una de las características básicas de explotación del servicio móvil marítimo y debe tenerse en cuenta al definir las características cualitativas de los canales digitales en ondas decamétricas de ese servicio.

Los estudios tenían por finalidad esencialmente determinar la ley que rige la variación de la calidad de transmisión a través de los canales en cuestión de un periodo a otro. Para el estudio se seleccionaron diversas condiciones de trabajo de los canales en lo tocante a la localización, distancia, tiempo y frecuencia.

Los estudios tenían también por objeto obtener los datos estadísticos necesarios sobre el carácter de las agrupaciones de errores en canales digitales del servicio móvil marítimo en ondas decamétricas, en explotación sincrónica para diferentes velocidades de modulación.

El siguiente objetivo fue explicar la correlación entre la muestra de prueba y la validez de los resultados obtenidos con los ensayos en la banda de ondas decamétricas.

5.3 Parámetros estudiados

En los últimos años, para evaluar la calidad de los canales digitales se ha recurrido ampliamente al método que consiste en la transmisión por un canal de una señal de prueba de una estructura determinada, determinándose a la salida del canal la distribución de errores en el tiempo (bits o caracteres alfabéticos erróneos), o bien alguno de sus parámetros digitales. Como la calidad de los canales digitales del servicio móvil marítimo en ondas decamétricas puede caracterizarse de forma bastante completa por la probabilidad de que se transmita al destinatario un volumen dado de información, en un periodo determinado y con una confiabilidad admisible, en los estudios se estimó necesario obtener a la salida de los canales una distribución de errores en el tiempo adecuada para definir los parámetros requeridos. En toda prueba de canales con equipo de impresión directa sin protección contra errores (figs. 3, 4, 6, 7, 8 y 9) transmitiendo la señal de prueba durante periodos determinados y a una velocidad uniforme, la calidad del canal puede muy bien definirse por la distribución de la proporción de caracteres erróneos, determinada en periodos de trabajo individuales.

Las consideraciones que anteceden son también válidas para la transmisión sincrónica de señales de prueba (figs. 1, 2 y 5), que se transmitan también en periodos de tiempo preestablecidos, sin canal de retorno, a una velocidad dada. La proporción de bits erróneos, medida en cada periodo de trabajo, determina igualmente la calidad de los canales digitales en el servicio marítimo. Además de indicar la proporción de errores en cada periodo de trabajo, la distribución de errores en el tiempo permite determinar los coeficientes de agrupamiento de errores en bloques de diversa longitud, la distribución de las longitudes de ráfagas adyacentes de errores, y otras características necesarias para seleccionar los métodos de aumentar la confiabilidad de la transmisión de información digital.

5.4 Condiciones de las pruebas

La calidad de transmisión de información por canales del servicio marítimo en ondas decamétricas con equipo de impresión directa se evaluó con un equipo radioeléctrico típico en la clase de emisión F1B.

Al elaborar los programas y métodos de prueba, se tuvieron muy en cuenta las características de funcionamiento de un sistema real, pues la precisión de los resultados obtenidos depende esencialmente de este factor.

En la determinación de la calidad de transmisión en enlaces con equipo de impresión directa participaron unos 60 buques transoceánicos dispersos por todo el mundo. Los enlaces con los barcos fueron efectuados a través de 5 estaciones costeras que en el curso de las pruebas utilizaron más de 70 frecuencias.

Como texto de prueba, se transmitieron todos los signos del alfabeto ruso, dispuestos de modo que la estructura secuencial de los bits de información fuera casi recurrente. Al finalizar las pruebas, se habían transmitido más de 900 periodos completos, que correspondían a unos 4 millones de caracteres. Las comunicaciones se efectuaron a diferentes horas del día. Los resultados de las pruebas se refieren tan solo a la dirección costera-barco, por ser poco representativa la muestra obtenida en la dirección barco-costera.

Teniendo en cuenta la gran variabilidad, con el tiempo de las condiciones de transmisión en los canales estudiados y la inevitable dependencia entre la proporción de errores y la duración de cada periodo de trabajo, la duración de estos periodos de prueba se eligió sobre la base de la duración media de las comunicaciones reales: 10 min.

La señal de prueba recibida se registró en cinta perforada. Al comparar el texto recibido con el transmitido se determinó la proporción de caracteres, junto con sus parámetros numéricos.

Las pruebas de funcionamiento síncrono se realizaron mediante equipo concebido especialmente para la detección y el registro de la distribución de errores en el tiempo. Los errores se registraron también en cinta perforada, consignándose en forma binaria los números de los bits de la señal de prueba en que se observaron errores. Esta representación de la variación de la proporción de errores resulta sumamente cómoda para el tratamiento por ordenador de los resultados de medida. Con miras a la sincronización estable de la señal de prueba transmitida y recibida, se eligió para esta última una secuencia regular de señales binarias de tipo 1 : 1. El estudio experimental de las señales en ondas decamétricas con este modo de funcionamiento se realizó a bordo del «Novoaltaisk» que hacía el recorrido Leningrado-Australia-Leningrado, y del «Shota Rustaveli», en el trayecto Odesa-Gran Bretaña-islas del Océano Pacífico-Australia-Indonesia. Cuatro estaciones costeras transmitieron la señal de prueba en el sentido estación costera-barco en 30 frecuencias de todas las sub-bandas para larga distancia de la gama de ondas decamétricas.

La información transmitida en 700 comunicaciones ascendió a más de 20 millones de bits.

En la URSS se hicieron ensayos con el propósito de obtener información sobre las variaciones de las características de los canales digitales con la duración del periodo experimental. Esos ensayos se hicieron durante un periodo de 6 meses a bordo de barcos de tipo «Pushkin» y «Magnitogorsk» dotados de equipos de impresión directa conformes con la Recomendación 476. En el curso de esos ensayos se transmitieron en total 572 615 bloques y se registraron 286 sesiones de comunicación.

5.5 Análisis de los resultados

El valor medio de la proporción de caracteres erróneos en las muestras \overline{PCE} en todas las comunicaciones de prueba ascendió a $3,9 \times 10^{-2}$. El valor se determinó mediante la fórmula:

$$\overline{PCE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PCE_i \quad (1)$$

en donde n es el número total de periodos completos de la secuencia de prueba y PCE_i es la proporción de caracteres erróneos en el periodo de orden i -ésimo.

El valor medio obtenido de los coeficientes correspondientes a la proporción de bits erróneos \overline{PBE} fue de $9,2 \times 10^{-3}$. Con objeto de establecer la ley estadística de variación de la proporción de errores y evaluar su dependencia respecto de la variación de las características de frecuencia, espacio y tiempo de los periodos completos, todos los datos obtenidos se redujeron a series estadísticas (muestras) partiendo del principio de que una u otra de las características de los periodos de trabajo era constante. Teniendo en cuenta la amplia gama de valores de proporción de errores obtenida, tanto de caracteres (PCE) como de bits (PBE) (valores variables entre 5×10^{-1} (máximo) y $2,3 \times 10^{-5}$ (mínimo) al confeccionar los histogramas de las series formadas y calcular las curvas de distribución aproximadas, se utilizaron los logaritmos de la proporción de errores (para designar los logaritmos de PCE y de PBE, se emplearán en adelante los símbolos m' y m''). Pese a ciertas divergencias en las estadísticas individuales, todas las muestras representadas por series de variaciones en forma de intervalos son estadísticamente estables y se aproximan adecuadamente mediante curvas de Gram-Charlier [Mitropolsky, 1971; Korn y Korn, 1970]. Para ilustrar esta conclusión se adjunta histogramas y curvas teóricas correspondientes a 10 series de variaciones (figs. 1 a 9) derivadas de los resultados de las pruebas y que abarcan una amplia gama de características distintivas. El cuadro I muestra las características de las series que reflejan las condiciones de la prueba, así como la magnitud de las muestras y los valores medios de la proporción de errores para cada serie. Las figs. 1 y 2 muestran a efectos comparativos los histogramas y las curvas teóricas, basados en los datos resultantes de recepción por el «Novoaltaisk» de la señal de prueba en el modo síncrono, transmitida por dos estaciones costeras diferentes: Moscú (fig. 1) y Odesa (fig. 2). En todas las figuras, el eje de ordenadas muestra los valores de la frecuencia relativa de aparición de la proporción de errores en la clase i -ésima del intervalo i .

$$h_i = \frac{n_i}{n} \quad (2)$$

donde n_i es el número de periodos de trabajo con una proporción de errores PCE_i o PBE_i en el intervalo de clase i -ésimo; n es el volumen total de la muestra en los periodos de trabajo. El eje de abscisas muestra, a efectos ilustrativos, los valores medios de los intervalos PCE_i o PBE_i , aunque las curvas corresponden a los logaritmos de estos valores (m' y m'').

Las curvas muestran resultados referidos a proporciones de bits y de caracteres erróneos que van de 2×10^{-5} a 5×10^{-1} , pero se sugiere que en futuras pruebas se refieran a una escala práctica de la calidad de funcionamiento del equipo, para lo que se debería utilizar la escala 10^{-1} a 10^{-4} .

Se observa en las figs. 1 y 2 que la diferencia de calidad de la comunicación entre las estaciones de Odesa y Moscú es clara y evidente. Las figs. 3 y 4 muestran los histogramas y las curvas de distribución de log PCE para la estación de Moscú, utilizando equipo de impresión directa y trabajando con el mismo barco en aguas del Atlántico (fig. 3) y del Índico (fig. 4) (el «Novoaltaisk», ruta Leningrado-Australia-Leningrado). Como se observa en las figuras, existe también una diferencia en la calidad de la comunicación, aunque la ley estadística no sufre variación.

CUADRO I

N.º	Tamaño de las muestras en los periodos de trabajo	Proporción media de errores (bitios o caracteres)	Número de frecuencias utilizadas	Nombre de las estaciones costeras que participaron en la prueba	Nombre de los barcos que participaron en la prueba	Zona de navegación de los barcos	Número de las figuras que ilustran las distribuciones empíricas y calculadas de las muestras	Observaciones
1	54	$9,5 \times 10^{-3}$ (bitios)	7	Moscú	«Novoaltaisk»	Océano Índico	Fig. 1	El nivel de significación del criterio de la concordancia entre las curvas empíricas y las teóricas para cada una de las muestras no fue superior a 0,05
2	110	$7,4 \times 10^{-3}$ (bitios)	5	Odesa	«Novoaltaisk»	Océano Índico	Fig. 2	
3	71	$2,9 \times 10^{-2}$ (caracteres)	8	Moscú	«Novoaltaisk»	Océano Atlántico	Fig. 3	
4	62	$4,5 \times 10^{-2}$ (caracteres)	10	Moscú	«Novoaltaisk»	Océano Índico	Fig. 4	
5	263	$9,2 \times 10^{-3}$ (bitios)	12	Moscú, Odesa,	«Novoaltaisk»	Océanos Atlántico e Índico	Fig. 5	
6	572	$3,9 \times 10^{-2}$ (caracteres)	23	Moscú, Odesa Vladivostok, Leningrado	Varios barcos	Océanos Atlántico, Índico y Pacífico	Fig. 6	
7	373	$3,8 \times 10^{-2}$ (caracteres)	14	Moscú, Odesa	«Novoaltaisk»	Océanos Atlántico e Índico	Fig. 7	
8	199	$4,0 \times 10^{-2}$ (caracteres)	19	Archangel, Murmansk, Leningrado, Moscú, Odesa	Varios barcos	Océano Atlántico, Mares Mediterráneo y Negro	Fig. 8	
9	104	$2,2 \times 10^{-2}$ (caracteres)	7	Vladivostok	«Shota Rustaveli»	Océano Pacífico	Fig. 9 Curva 1	Sin regenerador de señal
10	109	$8,1 \times 10^{-3}$ (caracteres)	7	Vladivostok	«Shota Rustaveli»	Océano Pacífico	Fig. 9 Curva 2	Con regenerador de señal

I. 743-1



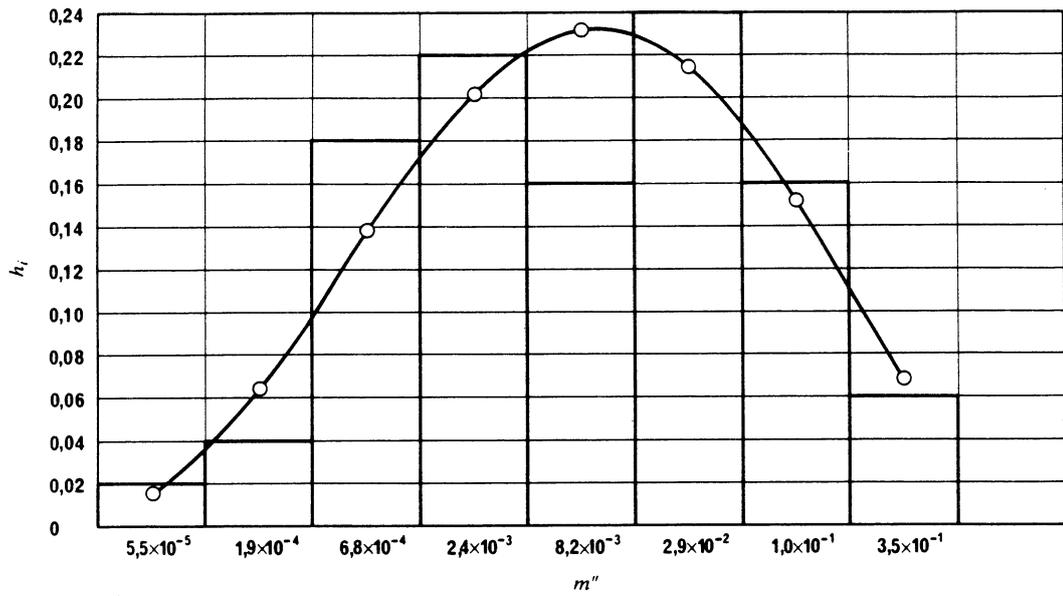


FIGURA 1

(Véase el cuadro I, N.º 1)

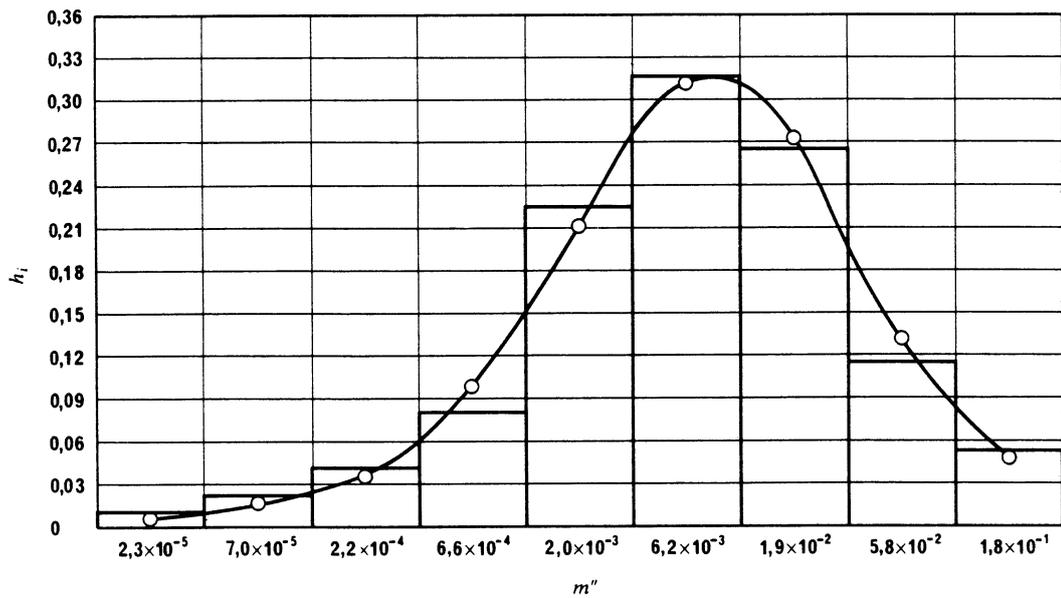


FIGURA 2

(Véase el cuadro I, N.º 2)

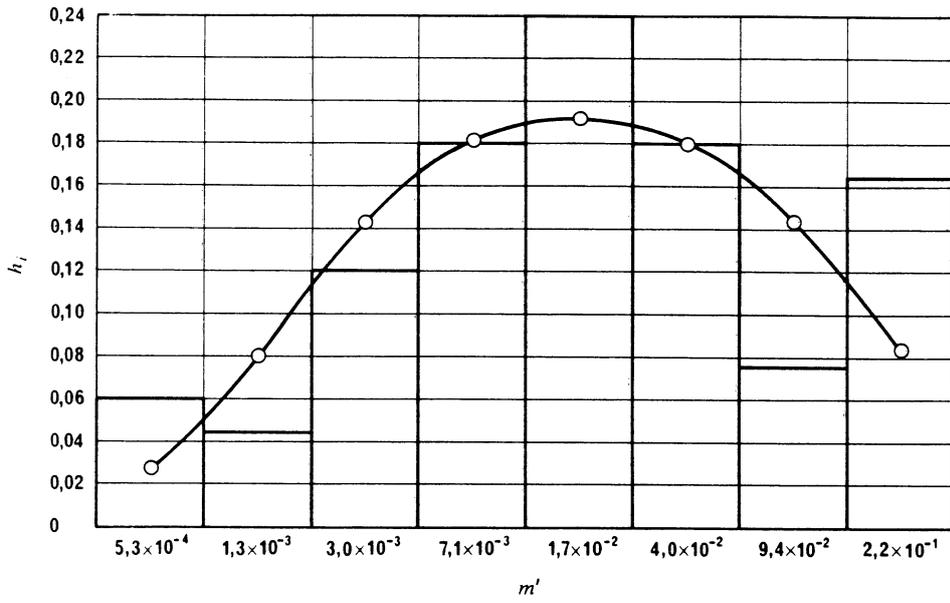


FIGURA 3
(Véase el cuadro I, N.º 3)

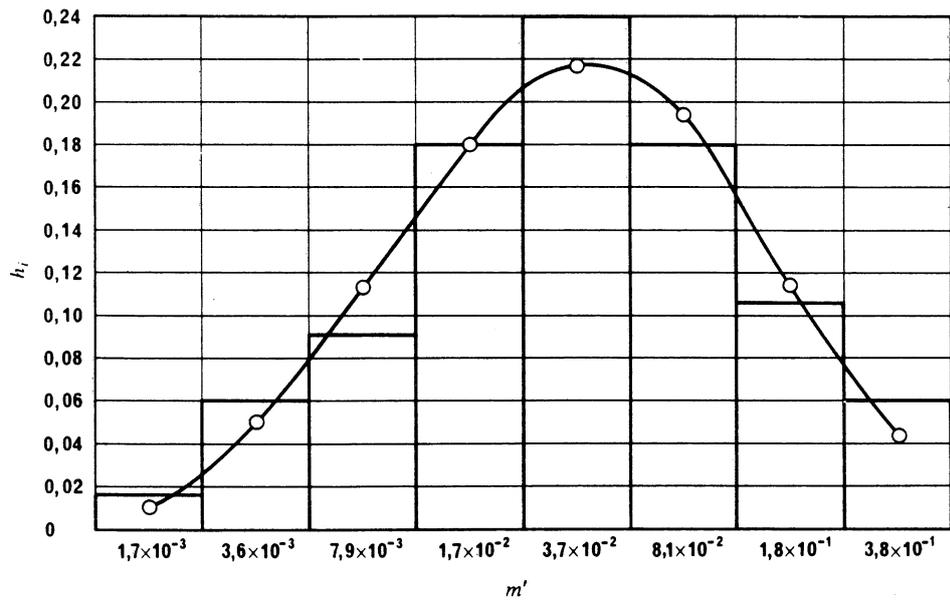


FIGURA 4
(Véase el cuadro I, N.º 4)

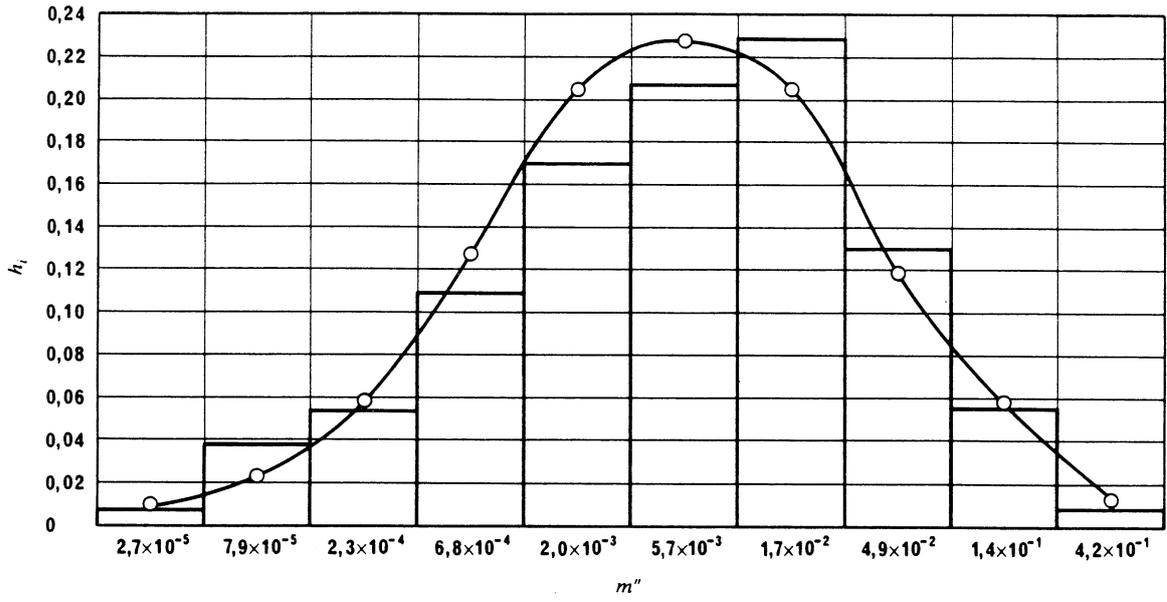


FIGURA 5

(Véase el cuadro I, N.º 5)

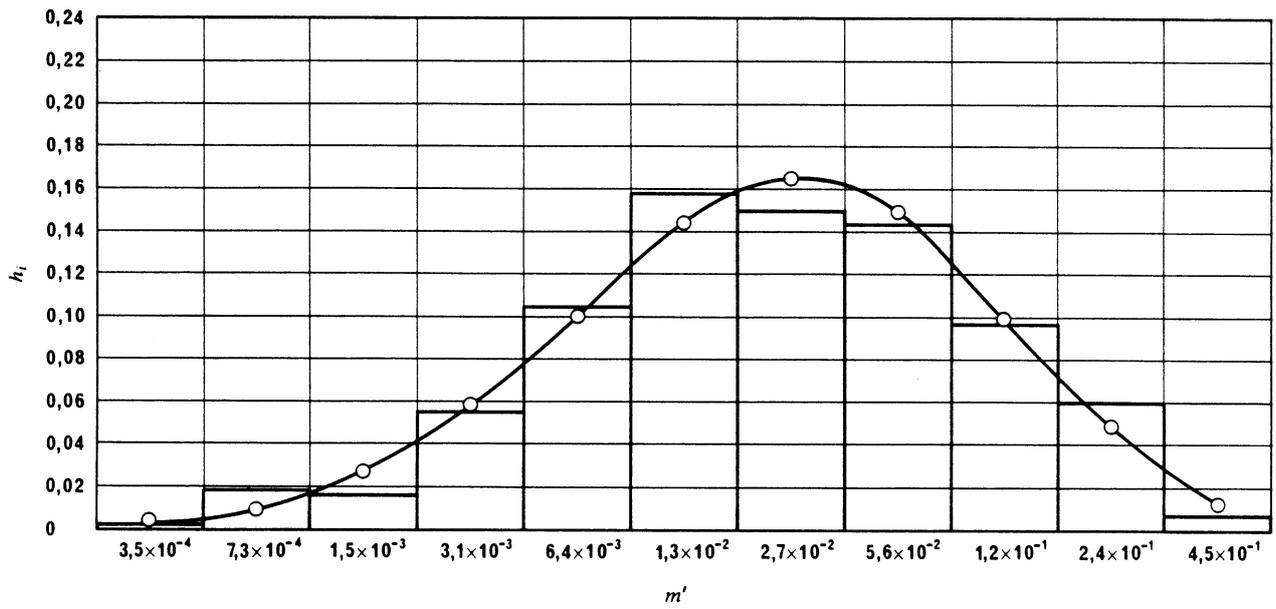


FIGURA 6

(Véase el cuadro I, N.º 6)

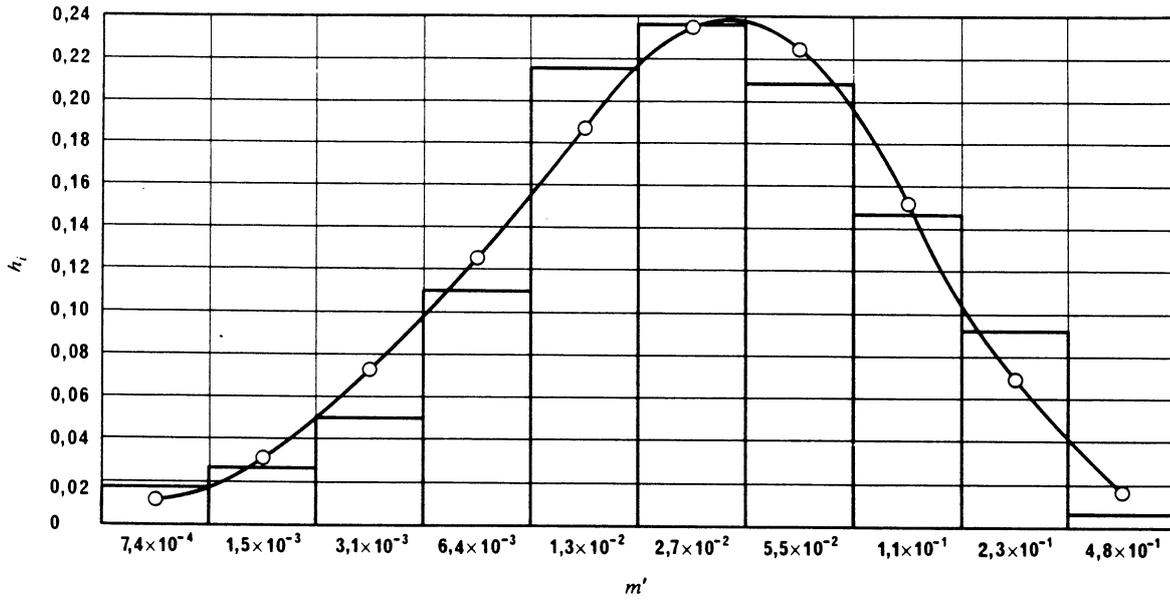


FIGURA 7

(Véase el cuadro I, N.º 7)

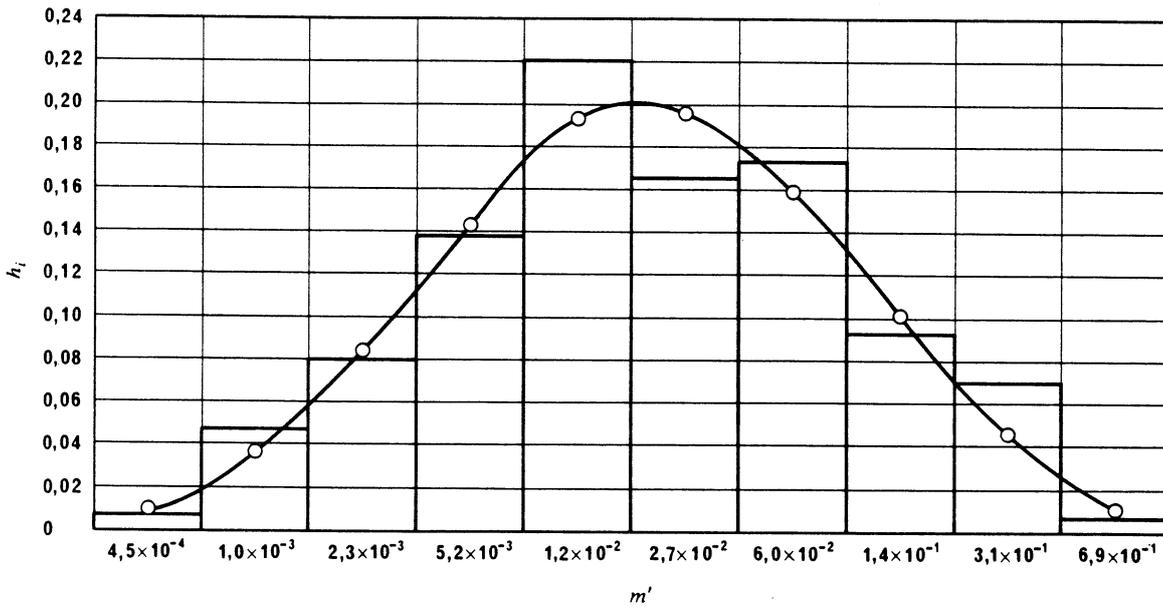


FIGURA 8

(Véase el cuadro I, N.º 8)

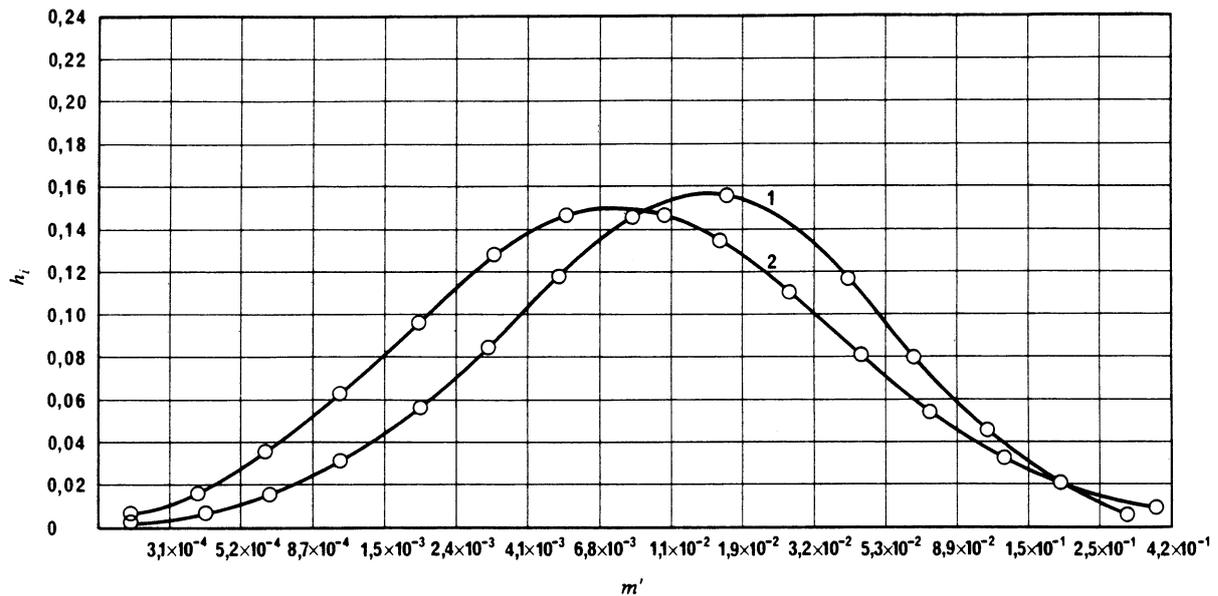


FIGURA 9

(Véase el cuadro I, N.º 9 y 10)

A diferencia de las curvas precedentes, los histogramas y las curvas de distribución de las figs. 5, 6, 7 y 8 están basados en un número mucho mayor de muestras, lo cual aumentó notablemente la concordancia entre las curvas empíricas y las teóricas. Estas curvas confirman también claramente la estabilidad estadística de las series de variaciones y la naturaleza constante de las curvas de aproximación, pese a que, al formar las series, se sumaron los datos obtenidos mientras algunas estaciones costeras trabajaban con barcos diferentes situados en los puntos más dispersos.

Las curvas de distribución 1 y 2 de la fig. 9 (no se han incluido los histogramas de los datos experimentales para no complicar la figura) están referidas a los datos experimentales obtenidos simultáneamente con características idénticas de frecuencia y espacio en un canal de transmisión; estas curvas se refieren, respectivamente, al caso de operación sin utilizar el equipo de regeneración de señales (conformación de bits) (curva 1) y utilizándolo (curva 2).

La fig. 9 ilustra claramente cómo pueden utilizarse las curvas de distribución de log PCE para determinar la eficacia de diversas soluciones técnicas en los canales de telecomunicación. Así, se observa en la fig. 9 que con el empleo del equipo de regeneración de señales digitales, la confiabilidad media de la transmisión de información pasa de $2,2 \times 10^{-2}$ a $8,1 \times 10^{-3}$. El carácter y la magnitud del desplazamiento de la curva 2 con relación a la curva 1 muestran claramente hasta qué punto resulta ventajoso el empleo de este equipo.

Así pues, considerando la estabilidad de la ley de variación de log PCE o de log PBE para diferentes combinaciones de las características de frecuencia, espacio y tiempo de los periodos de trabajo (al elegir las condiciones de funcionamiento de un canal por ondas decamétricas) existe una posibilidad real de evaluar objetivamente la eficacia de una nueva solución técnica en el canal. Por tanto, cuando se aprueba un equipo nuevo, hay que disponer de datos estadísticos suficientes sobre la condición del canal antes y después de utilizar el equipo. La experiencia en materia de estudios estadísticos de la calidad de los canales marítimos por ondas decamétricas permite extraer la conclusión preliminar de que 100 a 150 periodos experimentales de trabajo de 10 min de duración, proporcionan base para generalizaciones estadísticas con un margen de error completamente aceptable. Cuando las administraciones de diversos países efectúan pruebas de un equipo, son enteramente comprensibles y admisibles las diferencias en la evaluación de la calidad del estado inicial del canal. Al determinar la eficacia del empleo en los canales por ondas decamétricas de nuevos tipos de equipo, estas diferencias podrán normalizarse sobre la base de los datos obtenidos por las administraciones. Los valores normalizados permiten efectuar una evaluación comparativa de la eficacia de diversos procedimientos técnicos, sin necesidad de pruebas conjuntas exhaustivas.

En el marco de la labor experimental hecha a bordo de los barcos de tipo «Pushkin» y «Magnitogorsk», además de las características mencionadas precedentemente, se determinó también la velocidad relativa de transmisión V_r , utilizando equipo de impresión directa en el modo ARQ, obteniéndose así información sobre los valores medios de las longitudes de los bloques sucesivos erróneos y sobre el carácter de su distribución. V_r se definió como la relación entre el número de bloques N_c recibidos correctamente y el número total de bloques N

transmitidos. V_r se determinó en diversos intervalos de cada ciclo de sesión de comunicación, para poner de relieve la dinámica de los cambios de calidad del canal durante la sesión de comunicación. El propósito de esa investigación era evaluar la duración necesaria de las sesiones de medición con vistas a la determinación estadística de la calidad de los canales digitales.

La fig. 10 muestra un histograma unificado y una curva de distribución de la densidad de probabilidad h_i en función de la velocidad relativa de transmisión V_r durante una sesión de comunicación. Tanto la curva de esa fig. 10 como las de las figs. 1 a 9 siguen la ley de Gram-Charlier.

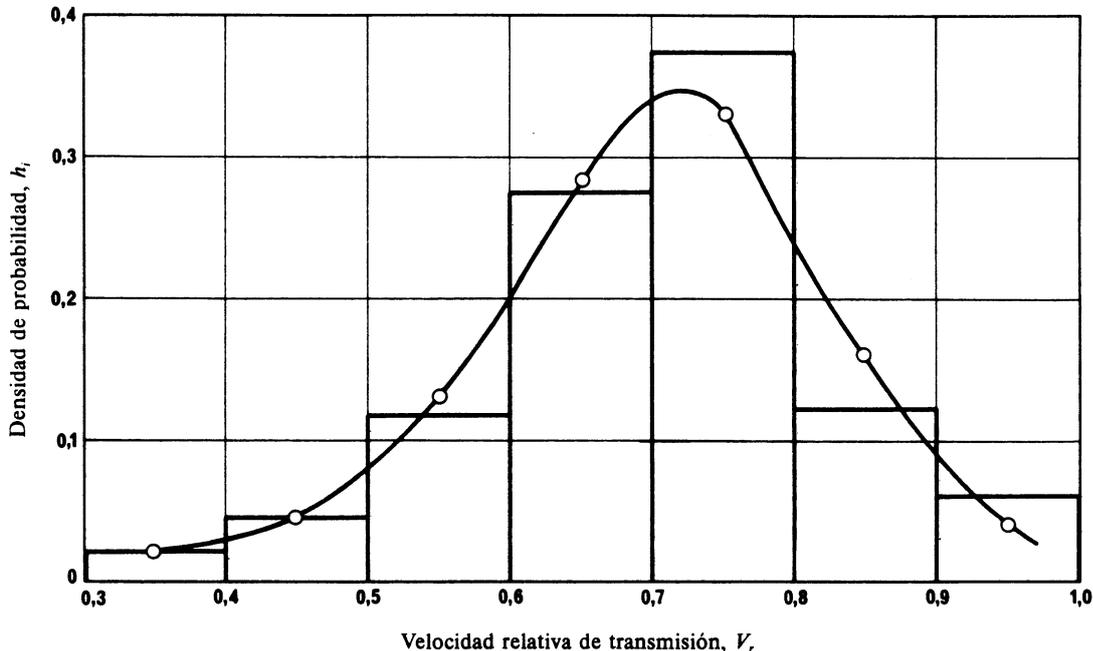


FIGURA 10 - Distribución de la densidad de probabilidad

Durante las pruebas se llegó a la conclusión de que el intervalo de promediación de V_r que ha de utilizarse con objeto de obtener una evaluación coherente en explotación de la calidad del canal durante la sesión de comunicación no debe de ser inferior a 100 bloques. La duración de las sesiones de comunicación de prueba no debe ser inferior a 10 ó 12 min, habida cuenta de las transiciones características en ondas decamétricas del estado de los canales de trabajo a reposo y viceversa.

6. Métodos preferidos para la realización de las pruebas

6.1 De las pruebas en el mar realizadas por la URSS y del análisis de sus resultados, así como de los métodos indicados por otras administraciones se deduce que para probar equipos completos, hay que transmitir una secuencia conocida de caracteres, con codificación por desplazamiento, si se utiliza, y la calidad de funcionamiento se expresará como proporción de errores en los caracteres recibidos. Para establecer los métodos óptimos de diseño se emplea una larga secuencia aleatoria de cifras y la secuencia completa de cifras correctas y erróneas se registra en cinta de papel perforado o en cinta magnética para su posterior análisis por ordenador, a fin de obtener estadísticas de ráfagas de errores, o aplicarla, como incidencia de errores, a caracteres numéricamente codificados, para comparar distintas codificaciones y métodos de corrección de errores. También se ha utilizado, en lugar del tren pseudoaleatorio, la secuencia 010101, lo cual simplifica el problema de sincronización del código en el receptor, pero no proporciona una simulación precisa del tráfico de mensajes.

6.2 Cuando se realizan pruebas del equipo completo en condiciones reales, dichas pruebas deben incluir por lo menos todas las horas del día, en verano e invierno. Si van a compararse equipos, las pruebas deberían realizarse alternativamente en el mismo canal de frecuencias.

6.3 Las pruebas de equipos transmisores numéricos de enlaces del servicio móvil marítimo en ondas métricas y decimétricas son mucho menos difíciles que las pruebas en ondas decamétricas porque la principal contribución a la propagación por trayectos múltiples son objetos reflectores terrenales, cuyos diagramas de interferencia de las ondas no varían de un día a otro. Los tiempos de propagación por trayectos múltiples son también mucho más cortos que en ondas decamétricas, por lo que, en general, no debiera haber desvanecimientos diferenciales en las anchuras de banda utilizadas para los canales de ondas métricas. Siempre que las pruebas se realicen en rutas que abarquen diversas condiciones ambientales representativas, será posible hacer comparaciones confiables de la calidad de funcionamiento de los equipos y determinar el alcance probable del servicio.

6.4 Las pruebas de equipos numéricos que utilicen la retransmisión por satélite debieran tener en cuenta las reflexiones producidas en la estructura del barco, transmitiendo en muchas direcciones con varios ángulos de elevación, y también las recepciones producidas en la superficie del mar, haciendo pruebas en los diversos estados del mar.

7. Conclusiones

7.1 La documentación de la Comisión de Estudio 3 es directamente aplicable a los aspectos de esta cuestión relacionados con las ondas decamétricas.

7.2 No existen estadísticas sobre la gama de intensidades de la señal y niveles de ruido que cabe esperar en las comunicaciones barco-estación costera en ondas decamétricas en todo momento y a cualquier distancia. Por ello, la evaluación final de la calidad de funcionamiento del equipo debe realizarse, por el momento, en trayectos de propagación reales. Dada la variabilidad de las condiciones de propagación según la hora, la estación del año y la frecuencia, sólo pueden obtenerse resultados confiables con pruebas que abarquen un largo periodo de tiempo. La comparación directa de distintos equipos debería realizarse simultáneamente o con una diferencia de minutos.

7.3 Existen simuladores de trayectos en ondas decamétricas, pero no puede considerarse que se encuentren generalmente a disposición de las administraciones. Esos simuladores permiten definir con precisión y, en caso necesario, reproducir las condiciones de prueba, por lo que pueden efectuarse comparaciones confiables de los equipos. Sin embargo, la información sobre la intensidad de la señal y las condiciones de ruido en el sentido barco-estación costera es insuficiente para poder ajustar el simulador de trayectos de modo que represente con seguridad las condiciones de comunicación que se dan en la práctica.

7.4 En tanto no se hayan establecido los parámetros de trayecto de transmisión y las estadísticas de ruido pertinentes para las condiciones de comunicación en el sentido barco-estación costera, debiera usarse para las pruebas con simuladores de trayectos la gama de valores que figura en el anexo I a la Recomendación 520.

7.5 Como las pruebas realizadas no incluyen todos los aspectos del problema de la evaluación objetiva de la calidad de los canales digitales y dada la importancia de encontrar una solución, deben continuar los trabajos teóricos y prácticos destinados a dar respuesta a la Cuestión 42/8.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KORN, G. y KORN, T. [1970] *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* (Prontuario de matemáticas para científicos e ingenieros), traducido del inglés. Ed. Nauka, Moscú.
- MITROPOLSKY, A. K. [1971] *Tekhnika statisticheskikh vychisleny* (Técnica de los cálculos estadísticos), Ed. Nauka, Moscú.
-