

RECOMENDACIÓN UIT-R M.822-1

CARGA EN EL CANAL DE LLAMADA PARA LA LLAMADA SELECTIVA DIGITAL
EN EL SERVICIO MÓVIL MARÍTIMO

(Cuestión UIT-R 9/8)

(1992-1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) contiene canales designados y dedicados para la llamada selectiva digital en las bandas del servicio móvil marítimo (ondas hectométricas, decamétricas y métricas);
- b) que la Cuestión UIT-R 9/8 pide que se estudie la información necesaria para el funcionamiento de los futuros sistemas de comunicación marítima en asociación con llamada selectiva digital;
- c) que el UIT-R ha estudiado el tema de la carga del canal de llamada y ha establecido una metodología para determinar la carga aceptable y para decidir cuántos canales de llamada se requerirán en cada banda;

recomienda

1. que el máximo tráfico ofrecido a cualquier canal que llama utilizado para llamada selectiva digital (LLSD) no rebase el valor de 0,1 E en un canal de ondas hectométricas o decamétricas o de 0,15 E en un canal de ondas métricas;
2. que, como consecuencia del **recomienda 1**, cuando se utilice un canal de LLSD para llamadas de socorro y seguridad, la probabilidad de que quede mutilada una tentativa de llamada de socorro sea inferior al 0,1%, suponiendo que se transmiten cada hora dos tentativas de llamada de socorro;
3. que, como consecuencia de los **recomienda 1** y **2** y basándose en los cálculos indicados en el anexo 1, el máximo número de LLSD de rutina que puedan admitirse sea:
 - 24 llamadas/h en un canal de transmisión de estación costera distinto de los de socorro y seguridad en ondas hectométricas o decamétricas;
 - 28 llamadas/h en un canal de transmisión de estación de barco distinto de los de socorro y seguridad en ondas hectométricas o decamétricas;
 - 500 llamadas/h en el único canal de ondas métricas de LLSD (canal 70);
4. que, como consecuencia del **recomienda 2** y basándose en los cálculos indicados en el anexo 1, el número máximo de LLSD de urgencia y seguridad que puedan admitirse en los canales especializados de socorro y seguridad en ondas hectométricas y decamétricas sea de 20 llamadas/h;
5. que las consecuencias de utilizar receptores de exploración convencionales en términos de probabilidad de llamadas perdidas debido a la exploración se extraigan a partir de los cálculos señalados en el anexo 2.

ANEXO 1

Cálculo de la carga del canal

1. Teoría general del tráfico ALOHA

1.1 Las características de la LLSD en canales comunes de llamada pueden compararse a las de un canal ALOHA clásico que es una forma de acceso múltiple por división en el tiempo y asignación por demanda adaptada a canales con acceso aleatorio cuando toma un valor elevado la relación entre las densidades de llamada de cresta y media. El número de llamadas originadas por unidad de tiempo sigue en ese caso, una distribución de Poisson.

1.2 De acuerdo con los cálculos ALOHA clásicos, si R es el número medio de LLSD más las retransmisiones por unidad de tiempo y τ es la duración de la llamada, la probabilidad de que una determinada llamada tenga que retransmitirse (debido a colisiones de llamada) viene dada por:

$$1 - e^{-2R\tau}$$

1.3 Por consiguiente, el tráfico del canal, $R\tau$, es equivalente a la carga de tráfico total (incluidas las repeticiones) en erlang.

1.4 Cabe señalar que el factor 2 que aparece en la ecuación anterior se debe al hecho de que si la aparición de llamadas es puramente aleatoria, hay un periodo de tiempo de duración 2τ en el cual no debe originarse ninguna otra llamada si quiere evitarse una colisión, es decir, un intervalo de $\pm\tau$ desde el inicio de la transmisión de una llamada en particular. Cualquier llamada que surja durante ese periodo se superpondrá en mayor o menor medida a otra llamada y, por consiguiente, provocará una colisión.

1.5 Si r es el número medio de llamadas ofrecidas al canal (sin incluir las retransmisiones), entonces:

$$R = r + R(1 - e^{-2R\tau})$$

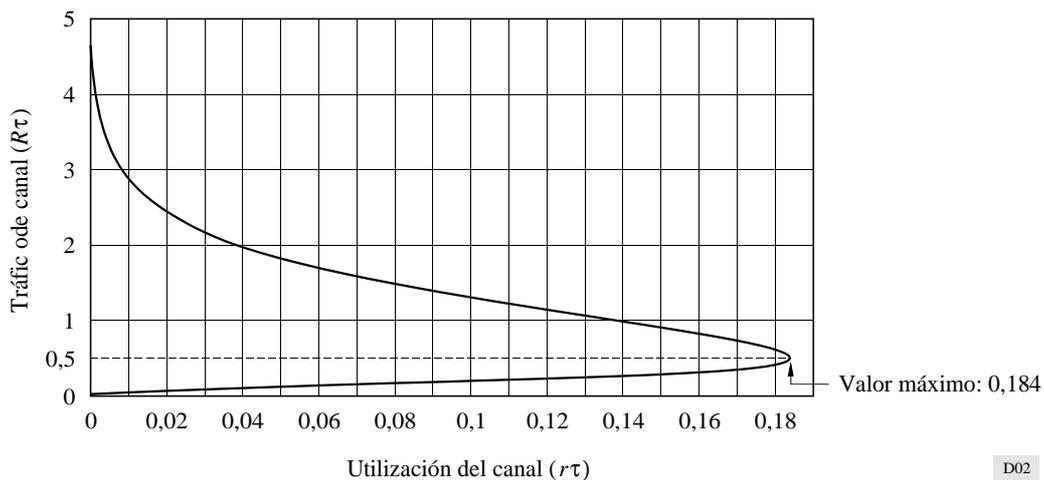
y, por consiguiente:

$$r\tau = R\tau e^{-2R\tau}$$

siendo $r\tau$ la utilización de canal; es decir, el periodo de tiempo durante el cual el canal está ocupado por las llamadas selectivas digitales ofrecidas (sin incluir el tiempo ocupado por las retransmisiones). Este valor equivale al tráfico ofrecido en erlang.

1.6 Si se representa la utilización de canal ($r\tau$) en función del tráfico de canal ($R\tau$), se obtiene el gráfico que aparece en la fig. 1. Si en la ecuación anterior, se iguala a cero la derivada de $r\tau$ respecto a $R\tau$, se observa, como puede verse en el gráfico, que $r\tau$ alcanza un valor máximo de $1/2e = 0,184$ cuando $R\tau = 0,5$. Por consiguiente, este valor de $r\tau$ es la capacidad máxima del canal puesto que con valores más elevados de $R\tau$ el canal es inestable y se reduce su utilización debido a que aumenta el número de repeticiones.

FIGURA 1
Utilización del canal en función del tráfico del canal



1.7 Puede observarse que la relación entre la utilización del canal ($r\tau$) y su tráfico ($R\tau$) es prácticamente lineal hasta un valor aproximado de $r\tau = 0,1$ E que produce un margen aceptable para absorber las concentraciones de cresta de tráfico. Para ese valor de la utilización del canal, $R\tau = 0,13$ E y a partir de la ecuación del § 1.2 se deduce que la probabilidad de que sea necesaria una retransmisión debido a las colisiones de llamada es:

$$1 - e^{-2 \times 0,13} = 0,229$$

2. Llamada selectiva digital en ondas hectométricas/decamétricas

2.1 Llamada de rutina en ondas hectométricas/decamétricas

2.1.1 Las LLSA de rutina (distintas de las de socorro y seguridad) en ondas hectométricas/decamétricas utilizan frecuencias asociadas por pares en las cuales el canal de transmisión de la estación costera cursará LLSA a barcos con una duración de 8,2 s (incluida una serie de puntos de 200 bits) así como acuses de recibo de estaciones costeras a barcos con una duración de 6,4 s (con una serie de puntos de 20 bits). Aunque los cálculos para el canal ALOHA indicados en el § 1 suponen que la duración de la llamada, τ , es una constante, dichos cálculos continúan considerándose válidos para pequeñas variaciones en la duración de las LLSA, teniendo en cuenta que la cifra de 0,1 E (§ 1.7) es muy conservadora en comparación con el valor de máxima utilización del canal de 0,184 E.

2.1.2 El canal de transmisión de la estación de barco cursará LLSA a estaciones costeras con una duración de 6,4 s (incluida una serie de puntos de 20 bits) así como acuses de recibo de barcos a estaciones costeras con una duración, igualmente, de 6,4 s (serie de puntos de 20 bits).

2.1.3 Por consiguiente, para el canal de transmisión de la estación costera en una frecuencia emparejada, el número total de llamadas selectivas digitales y acuses de recibo admisibles dentro del límite de 0,1 E por canal es:

$$\frac{0,1 \times 3\,600}{8,2 + 6,4} \approx 24 \text{ llamadas (y 24 acuses de recibo) por hora}$$

2.1.4 De forma análoga, para el canal de transmisión de la estación de barco en una frecuencia emparejada, el número total de llamadas selectivas digitales y acuses de recibo admisibles dentro del límite de 0,1 E por canal es:

$$\frac{0,1 \times 3\,600}{6,4 + 6,4} \approx 28 \text{ llamadas (y 28 acuses de recibo) por hora}$$

2.1.5 Debe señalarse que, como resultado de una propagación imperfecta y de señales interferentes, en algunos casos las llamadas o acuses de recibo deberán repetirse (aparte de las repeticiones necesarias como consecuencia de las colisiones de llamadas) para establecer con éxito la comunicación de tráfico. Sin embargo, debido al carácter conservador de la cifra de 0,1 E (véanse § 1.7 y 2.1.1 y la fig. 1) se consideran aceptables los valores antes indicados para el número de llamadas ofrecidas por hora.

2.2 Llamadas de socorro y seguridad en ondas hectométricas/decamétricas

2.2.1 En ondas hectométricas/decamétricas, existen frecuencias exclusivas para llamadas selectivas digitales de socorro y seguridad (incluyendo las llamadas de urgencia). No obstante, se permite la utilización de estos canales para llamadas de urgencia y seguridad con la condición de que la carga total de los canales se mantenga por debajo de 0,1 E (véase el § 4 del anexo 1 a la Recomendación UIT-R M.541). Para los cálculos siguientes, se supone que se aplica esta cifra al tráfico ofrecido.

2.2.2 Suponiendo que se transmiten cada hora dos tentativas de LLSA de socorro en una sola frecuencia (cada una consistente en cinco llamadas de socorro consecutivas) por un canal particular de LLSA de socorro y seguridad y que cada una de dichas tentativas de llamada da lugar a un acuse de recibo de la LLSA de socorro, la carga de tráfico de socorro puede calcularse de la forma siguiente:

Duración de una sola llamada de socorro (con una serie de puntos de 200 bits) = 7,2 s

Duración del acuse de recibo de la llamada de socorro (con una serie de puntos de 200 bits) = 8,6 s

$$\text{Por consiguiente, la carga de tráfico es de } \frac{(2 \times 5 \times 7,2) + (2 \times 8,6)}{3\,600} = 0,0248 \text{ E}$$

2.2.3 Si el tráfico admisible total es de 0,1 E el tráfico de urgencia y seguridad puede ocupar $0,1 - 0,0248 = 0,0752 \text{ E}$.

2.2.4 La duración de una llamada de urgencia o seguridad dirigida a un solo barco (en el caso más desfavorable incluida una dirección y un diagrama de puntos de 200 bits) es de 8,2 s. La duración de una llamada de urgencia o seguridad transmitida por un barco a una estación costera (que contenga una dirección y un diagrama de puntos de 20 bits) es de 6,4 s. En cada caso, el acuse de recibo (con un diagrama de puntos de 20 bits) tiene igualmente una duración de 6,4 s.

2.2.5 Suponiendo que se transmite el mismo número de llamadas de urgencia y seguridad a los barcos y a las estaciones costeras, el número total de tales llamadas permitidas cada hora (en el caso de que cada llamada dé lugar a un acuse de recibo) es, por consiguiente:

$$\frac{0,0752 \times 3600}{[(8,2 + 6,4) + (6,4 + 6,4)]/2} = 19,8$$

2.2.6 En la práctica, la mayoría de las llamadas de urgencia o seguridad transmitidas por las estaciones costeras se dirigirán a todos los barcos (para los cuales la duración de la llamada selectiva digital es 7,2 s) y no aparecerá ningún acuse de recibo de LLSD. Por lo tanto, puede suponerse que, por término medio, pueden transmitirse 20 llamadas de urgencia o seguridad por hora en las frecuencias de socorro y seguridad de las bandas de ondas hectométricas/decamétricas.

2.2.7 La probabilidad de que una tentativa de llamada de socorro completa resulte mutilada por colisión con otras llamadas de socorro o con llamadas de urgencia o seguridad puede calcularse de la forma siguiente:

- la probabilidad de que una sola llamada de socorro resulte mutilada es (según § 1.7):

$$1 - e^{-2 \times 0,13} = 0,229$$

- las cinco llamadas de una tentativa de llamada de socorro no pueden interferir entre sí y, por consiguiente, la carga de tráfico debida a las llamadas capaces de mutilar una llamada de socorro puede reducirse por $4 \times 7,2/3600 = 0,0080$. Además, un acuse de recibo a una tentativa de llamada de socorro no causará interferencia puesto que va después de la tentativa de llamada de socorro y, por lo tanto, puede restarse una carga de canal adicional de $8,6/3600 = 0,0024$; es decir, la disminución total es de 0,0104;
- por consiguiente, la probabilidad de que resulte mutilada una sola llamada de socorro es:

$$1 - e^{-2 \times (0,13 - 0,0104)} = 0,2127$$

- en definitiva, la probabilidad de que resulten mutiladas las cinco llamadas de una tentativa de llamada es:

$$(0,2127)^5 = 0,0004 (= 0,04\%)$$

3. Llamada selectiva digital en ondas métricas

3.1 Llamada de rutina en ondas métricas

3.1.1 Todas las llamadas selectivas digitales en la banda de ondas métricas (es decir, las llamadas de rutina y las llamadas de socorro y seguridad) utilizan un canal de una sola frecuencia (canal 70) para todas las llamadas y acuses de recibo. Las llamadas y acuses de recibo a una sola estación (incluidas las llamadas de urgencia y seguridad), tienen una duración de 0,533 s.

3.1.2 Si la llamada es aleatoria, la capacidad de canal para 0,1 E de tráfico ofrecido es:

$$\frac{0,1 \times 3600}{0,533 + 0,533} = 337,7 \text{ llamadas (y 337,7 acuses de recibo) por hora}$$

3.1.3 Sin embargo, todas las llamadas selectivas digitales de rutina en ondas métricas exigen la escucha en el canal y la transmisión sólo tras detectar la ausencia o la finalización de otra llamada (véase el **recomienda 3.6** de la Recomendación UIT-R M.541); por consiguiente, puede suponerse que el régimen de llamadas verdaderamente aleatorio sólo es válido para estaciones que se encuentran fuera del alcance de la estación que transmite una llamada selectiva digital existente o para las llamadas de socorro y seguridad. Ejemplos de estos casos de llamada «no oída» son el de dos barcos que se encuentran dentro del alcance de una estación costera en particular pero fuera del alcance mutuo, y el de dos estaciones costeras que se encuentran dentro del alcance de un barco en particular pero fuera del alcance mutuo.

3.1.4 Las anteriores llamadas con el sistema de «escuchar antes de transmitir» pueden compararse a las de un sistema ALOHA de intervalos en el que sólo se permite iniciar las transmisiones al principio de un intervalo de tiempo con la misma duración que el de la llamada. En este caso, si las llamadas colisionan lo harán completamente y no por simple superposición en mayor o menor medida, y por lo tanto el factor 2 de la ecuación que aparece en el § 1.2 y que se explica en el § 1.4 pasa a tomar el valor 1.

3.1.5 Por consiguiente, en este caso de ALOHA de intervalos, la probabilidad de que tenga que retransmitirse una llamada concreta (debido a colisiones de llamadas) viene dada por:

$$1 - e^{-R\tau}$$

3.1.6 Realizando cálculos similares a los indicados en el § 1 se determina que el valor máximo de la utilización del canal ($r\tau$) se duplica hasta llegar a 0,368 y, siguiendo el mismo criterio que en el § 1.7, una utilización del canal de 0,2 E da lugar a una carga de tráfico de canal ($R\tau$) de 0,26 lo que se traduce en que la probabilidad de que se requiera una retransmisión a causa de las colisiones de llamada sea de 0,229 (utilizando la fórmula del § 3.1.5).

3.1.7 La equivalencia entre la LLSD en ondas métricas con el método «escuchar antes de transmitir» y la situación del ALOHA de intervalos sólo es estrictamente válida si el retardo entre la detección de una no llamada y la transmisión de una LLSD en ondas métricas toma un valor mínimo y constante en los distintos equipos. En otras palabras, el equipo no debe introducir ningún retardo aleatorio pues de otra manera se reduciría la duplicación de la utilización del canal.

3.1.8 Aplicando un cálculo similar al del § 3.1.2 puede observarse que el canal de LLSD en ondas métricas tendría una capacidad de 675 llamadas ofrecidas (y 675 acuses de recibo) por hora si todas las llamadas fuesen del tipo «escuchar antes de transmitir». Puede realizarse un análisis matemático más complejo y riguroso de la situación en ondas métricas utilizando los cálculos de los sistemas de conmutación de paquetes por «acceso múltiple con detección de portadora».

3.1.9 En la práctica, por las razones indicadas en el § 3.1.3, habrá una combinación de llamadas «no oídas» aleatorias y llamadas del tipo «escuchar antes de transmitir»; suponiendo que dicha combinación es al 50% el canal debe soportar aproximadamente 500 llamadas por hora, lo que equivale a un tráfico de 0,15 E.

3.2 Llamadas de socorro y seguridad en la banda de ondas métricas

3.2.1 Suponiendo que en el canal 70 se transmiten cada hora dos tentativas de LLSD de socorro en ondas métricas (cada una de ellas consistente en 5 llamadas de socorro consecutivas) y que cada tentativa da lugar a un acuse de recibo de LLSD de socorro, la carga de tráfico de socorro puede calcularse de la forma siguiente:

Duración de una sola llamada de socorro (con una serie de puntos de 20 bits) = 0,45 s

Duración del acuse de recibo de la llamada de socorro (con una serie de puntos de 20 bits) = 0,567 s

$$\text{Por consiguiente, la carga de tráfico es } \frac{(2 \times 5 \times 0,45) + (2 \times 0,567)}{3600} = 0,001565 \text{ E}$$

3.2.2 Cabe señalar que las llamadas de socorro en ondas métricas se transmiten sin escuchar al canal. La probabilidad de que una tentativa de llamada de socorro completa resulte mutilada a causa de colisiones con llamadas distintas de las de socorro (llamadas de rutina o de urgencia o seguridad) puede calcularse de la forma siguiente:

- La carga de tráfico de canal en ondas métricas, considerando una combinación del 50% entre llamadas «no oídas» y llamadas del tipo «escuchar antes de transmitir» y basándose en las cifras para $R\tau$ indicadas en los § 1.7 y 3.1.6, estará comprendida entre 0,13 y 0,26, por lo que puede suponerse un valor medio de 0,20.
- Como puede transmitirse una llamada de socorro en cualquier instante aleatorio, se aplica la fórmula ALOHA clásica para calcular la probabilidad de que se produzca una colisión entre la transmisión de una sola llamada de socorro y una llamada distinta de las de socorro (§ 1.2), es decir:

$$p_1 = 1 - e^{-2 \times 0,20} = 0,330$$

- Sin embargo, la tentativa de llamada de socorro consta de cinco llamadas de socorro consecutivas y, por consiguiente, esta transmisión de cinco llamadas, una vez iniciada, evitará la transmisión de cualquier otra llamada distinta de las de socorro dentro del alcance de escucha. No obstante, como la duración de una sola llamada de socorro es inferior a la de una llamada distinta de las de socorro (0,45 s frente a 0,533 s, respectivamente) puede suponerse que, en caso más desfavorable, la segunda llamada de socorro tendrá una probabilidad de colisión igual a la de la primera llamada (p_1).

- Por lo que se refiere a la tercera, cuarta y quinta transmisiones, solamente pueden provocar colisiones las llamadas distintas de las de socorro «no oídas». Suponiendo que estas llamadas constituyen el 50% del total de 500 llamadas admisibles (§ 3.1.9), es decir 250 llamadas (más 250 acuses de recibo) por hora, la utilización de canal «no oído» ofrecida ($r\tau$) puede calcularse utilizando la fórmula del § 3.1.2, es decir:

$$\frac{r\tau \times 3600}{0,533 + 0,533} = 250, \text{ por consiguiente } r\tau = 0,074$$

- Para este valor de $r\tau$, utilizando la fórmula del § 1.5, el tráfico de canal $R\tau$ es 0,088 y en consecuencia la probabilidad de que se produzca una colisión entre la tercera, cuarta o quinta llamada de socorro y una llamada distinta de las de socorro «no oída» (§ 1.2) es:

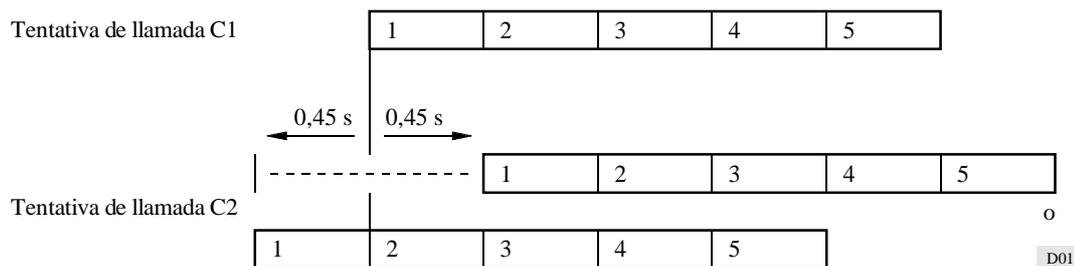
$$p_2 = 1 - e^{-2 \times 0,088} = 0,161$$

- Por consiguiente, la probabilidad de que las cinco llamadas de socorro que constituyen la tentativa de cinco llamadas entren en colisión con una llamada distinta de las de socorro es:

$$p_3 = (p_1)^2 \times (p_2)^3 = (0,330)^2 \times (0,161)^3 = 0,00045$$

3.2.3 La probabilidad de que una tentativa de llamada de socorro completa resulte mutilada por una colisión con otra tentativa de llamada de socorro (suponiendo que se producen dos tentativas de llamada de socorro cada hora) puede calcularse como sigue:

- La probabilidad de que resulten mutiladas las cinco llamadas en la tentativa de llamada de socorro es la probabilidad de que la segunda tentativa de llamada de socorro se inicie durante el periodo de duración de una llamada de la primera tentativa de llamada. Esto puede ilustrarse de la forma siguiente:



siendo |-----| el tiempo (0,9 s) durante el cual no debe iniciarse la segunda tentativa de llamada.

- Por consiguiente, puede utilizarse la fórmula ALOHA clásica indicada en el § 1.2, siendo τ la duración de una sola llamada (0,45 s) y R el número de llamadas por segundo (2/3 600), por tanto:

$$p_4 = 1 - e^{-2 \times (2/3600) \times 0,45} = 0,0005$$

- El gráfico anterior y la probabilidad p_4 se refieren a que ambas tentativas de llamada de socorro completas sean mutiladas y en consecuencia la probabilidad de que resulte mutilada una sola tentativa de llamada de socorro completa es la mitad de p_4 , es decir:

La probabilidad p_5 de que una tentativa de llamada de socorro resulte mutilada por otra tentativa de llamada de socorro es dada por:

$$p_5 = 0,00025$$

(la probabilidad p_5 puede calcularse alternativamente utilizando la fórmula ALOHA clásica con $R = 1$, con lo que se obtiene el mismo valor. Este método también puede utilizarse para calcular las probabilidades cuando se producen más de dos tentativas de llamadas de socorro cada hora).

3.2.4 En consecuencia, la probabilidad de que una tentativa de llamada de socorro completa resulte mutilada debido a una colisión con otra tentativa de llamada de socorro (suponiendo que se producen cada hora dos transmisiones de tentativa de llamada de socorro) o a una colisión con llamadas distintas de las de socorro, viene dada por:

$$p_3 + p_5 = 0,0007$$

ANEXO 2

Pérdidas de exploración**1. Utilización de receptores de exploración**

La utilización de un receptor de exploración da lugar a que exista alguna probabilidad de que se pierda una llamada destinada a la estación receptora, por estar el decodificador ocupado con otro canal; esta situación recibe normalmente el nombre de pérdida de exploración. Dicha pérdida de exploración es función del número de canales explorados por un solo receptor y de la carga de los canales de llamada selectiva digital. Por regla general, no debe alentarse el empleo de receptores de exploración puesto que la pérdida de exploración aumenta la carga de los canales y, por consiguiente, tiene un efecto acumulativo. No obstante, cabe reconocer que el empleo de receptores de exploración puede ser necesario en muchos barcos por razones económicas, pero normalmente no debe utilizarse en las estaciones costeras.

Los cálculos indican que para la recepción de LLSD distintas de las de socorro, un solo receptor no debe explorar más de seis canales y por tanto el número de canales en los que se considera que una estación de barco debe estar a la escucha tiene repercusiones económicas importantes. Para las llamadas distintas de las de socorro y seguridad pueden considerarse dos casos:

- un mínimo de unas seis frecuencias; es decir, un canal nacional y un canal internacional en tres bandas. Ello exigiría la cooperación del personal del barco para seleccionar las bandas más adecuadas en un instante determinado y podría aumentar la carga de tráfico en los canales internacionales debido a la escucha limitada en los canales nacionales;
- un mínimo de unas 15 frecuencias; es decir, dos canales nacionales y un canal internacional en cada una de las bandas de 4, 6, 8, 12 y 16 MHz. Con ello se lograría un servicio más automatizado para el personal del barco pero exigiría más de un receptor de exploración.

Para las llamadas de socorro y seguridad es necesario utilizar un receptor de exploración separado que pueda explorar hasta seis frecuencias exclusivas de socorro y seguridad en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas.

2. Frecuencias distintas de las de socorro y seguridad**2.1 Hipótesis**

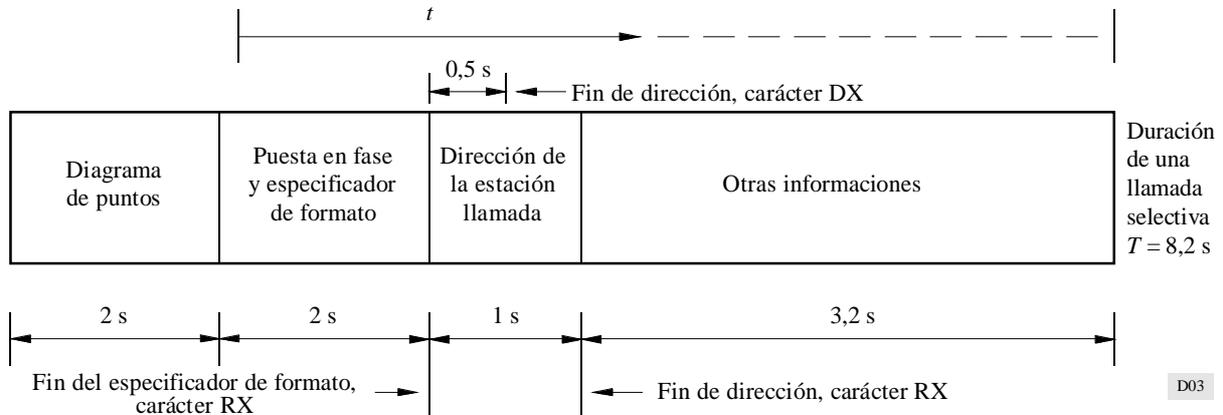
Los cálculos se basaron en las llamadas distintas de las de socorro y en las hipótesis siguientes:

- el dispositivo de exploración sólo se detiene en un canal de llamada si se reconoce la «serie de puntos»;
- en otro caso, el dispositivo de exploración pasa inmediatamente al canal siguiente (de modo que el reconocimiento de otra situación es instantáneo);
- se necesita, por término medio, un tiempo t para reconocer que una llamada está destinada a una estación diferente; después el dispositivo de exploración pasa inmediatamente al canal siguiente.

2.2 Formato de la llamada

En la fig. 2 se muestra la información pertinente para el cálculo:

FIGURA 2



Se consideran para t tres opciones:

- $t = 2,5$ s
cuando el procesamiento de la señal del receptor ignora las posiciones del carácter RX al no observarse bits erróneos en la última posición DX de la dirección;
- $t = 3,0$ s
si el procesamiento de la señal del receptor requiere que se decodifique la posición RX y la posición DX de cada carácter de dirección;
- $t = 6,2$ s
si el procesamiento de la señal del receptor requiere que se decodifique todo el mensaje.

2.3 Resultados de los cálculos

La probabilidad de que una llamada para la estación A sea infructuosa debido a la exploración es igual a la suma de dos probabilidades:

- p_1 , probabilidad de que el dispositivo de exploración esté ocupado decodificando llamadas (en otros canales) para otras estaciones mientras se transmite la «serie de puntos»;
- p_2 , probabilidad de que el dispositivo de exploración esté ocupado decodificando llamadas (en otros canales) para la estación A mientras se transmite la «serie de puntos».

$$p_1 = 1 - e^{-(n-1)\lambda t}$$

$$p_2 = 1 - e^{-(n-1)6,2\lambda a}$$

donde:

- n : número de canales explotados por el dispositivo de exploración
- λ : la frecuencia de llamada media; si la carga media de un canal de llamadas es 0,1 E, $\lambda T = 0,1$, de modo que $\lambda = 1/82$
- a : el porcentaje de llamadas para la estación A
- t : véase el § 2.2.

Para los barcos, puede considerarse que a es 0; para las estaciones costeras que controlan los canales internacionales en ondas decamétricas se supone que $a = 3,5\%$ (si bien, como se indica en el § 1, en las estaciones costeras no deben utilizarse normalmente receptores de exploración).

Los resultados de los cálculos aparecen en los cuadros 1a, 1b y 1c para valores de la carga de canal entre 0,13 E (carga de tráfico de canal, incluidas las repeticiones, para una utilización de canal de tráfico ofrecido de 0,1 E) y 0,05 E.

CUADRO 1a

Porcentaje de llamadas perdidas como resultado de la exploración para $t = 2,5$ s

Frecuencia media de llamadas (λ)	Número de canales explorados (n)												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
$\lambda = 1/63$	8,3	12,3	16,0	19,7	Inadmisiblemente alto (> 20%)								Estación costera $a = 3,5\%$
(0,13 E)	7,6	11,2	14,7	18,0									Barcos
$\lambda = 1/82$	6,4	9,5	12,5	15,5	18,3	Inadmisiblemente alto (> 20%)						Estación costera $a = 3,5\%$	
(0,1 E)	5,9	8,7	11,5	14,1	16,7							19,2	Barcos
$\lambda = 1/109$	4,9	7,2	9,6	11,8	14,0	16,2	18,3	Inadmisiblemente alto (> 20%)				Estación costera $a = 3,5\%$	
(0,075 E)	4,5	6,6	8,8	10,8	12,9	14,8	16,8					18,7	Barcos
$\lambda = 1/164$	3,3	4,9	6,4	8,0	9,5	11,0	12,5	14,0	15,5	16,9	18,3	19,7	Estación costera $a = 3,5\%$
(0,05 E)	3,0	4,5	5,9	7,3	8,7	10,1	11,5	12,8	14,1	15,4	16,7	18,0	Barcos

CUADRO 1b

Porcentaje de llamadas perdidas como resultado de la exploración para $t = 3,0$ s

λ	n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
$\lambda = 1/63$		9,8	14,3	18,7	Inadmisiblemente alto (> 20%)								Estación costera $a = 3,5\%$	
(0,13 E)		9,1	13,3	17,3									Barcos	
$\lambda = 1/82$		7,6	11,2	14,7	18,0	Inadmisiblemente alto (> 20%)						Estación costera $a = 3,5\%$		
(0,1 E)		7,1	10,4	13,6	16,7							19,7	Barcos	
$\lambda = 1/109$		5,8	8,5	11,2	13,8	16,4	18,9	Inadmisiblemente alto (> 20%)				Estación costera $a = 3,5\%$		
(0,075 E)		5,4	7,9	10,4	12,9	15,2	17,5					19,8	Barcos	
$\lambda = 1/164$		3,9	5,7	7,6	9,4	11,2	12,9	14,7	16,4	18,0	19,7	Estación costera $a = 3,5\%$		
(0,05 E)		3,6	5,3	7,1	8,7	10,4	12,0	13,6	15,2	16,7	18,2	19,7	Barcos	

CUADRO 1c

Porcentaje de llamadas perdidas como resultado de la exploración para $t = 6,2$ s

λ	n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
$\lambda = 1/63$		18,6	Inadmisiblemente alto (> 20%)										Estación costera $a = 3,5\%$		
(0,13 E)	17,9	Barcos													
$\lambda = 1/82$	14,6	Estación costera $a = 3,5\%$													
(0,1 E)	14,0	Barcos													
$\lambda = 1/109$	11,2	16,3											Estación costera $a = 3,5\%$		
(0,075 E)	10,8	15,7											Barcos		
$\lambda = 1/164$	7,5	11,1											14,6	17,9	Estación costera $a = 3,5\%$
(0,05 E)	7,3	10,7											14,0	17,2	Barcos

3. Frecuencias de socorro y seguridad

3.1 Hipótesis

Las mismas hipótesis realizadas en el § 2.1 para llamadas distintas de las de socorro pueden hacerse para las llamadas de socorro pero además, a efectos de los cálculos, se supone que:

- todas las llamadas selectivas digitales de los seis canales exclusivos de socorro y seguridad en ondas hectométricas/decamétricas son llamadas de socorro, acuses de recibo a llamadas de socorro, llamadas de seguridad o acuses de recibo a llamadas de seguridad (en la práctica puede haber también algunas llamadas de retransmisión de socorro y acuses de recibo correspondientes);
- todas las llamadas de socorro en todos los canales exclusivos de socorro y seguridad están dirigidas implícitamente a todos los barcos, y deben ser recibidas por todos ellos;
- las llamadas de socorro pueden transmitirse como una tentativa de cinco llamadas a una sola frecuencia o como una tentativa de seis llamadas en frecuencias múltiples (véanse los § 3.1.3.1 y 3.1.3.2 del anexo 1 a la Recomendación UIT-R M.541);
- las llamadas de seguridad en todos los canales exclusivos de socorro y seguridad se dirigen a todos los barcos, y deben ser recibidas por los mismos, o se dirigen a barcos concretos (si bien en la práctica algunas llamadas pueden dirigirse a zonas geográficas determinadas);
- tras recibir una llamada de socorro en una tentativa de cinco llamadas de socorro en una sola frecuencia, el dispositivo de exploración vuelve a iniciar la misma. En ausencia del diagrama de puntos de otra llamada detectada durante el ciclo de exploración del receptor (suponiendo que sea inferior a 2 s) el dispositivo de exploración detendrá nuevamente la detección en la siguiente llamada individual dentro de la misma tentativa de llamada de socorro.

3.2 Cálculos

La probabilidad p de que una estación A no reciba una llamada de socorro debido a la exploración, puede calcularse como la suma de dos probabilidades, a saber:

- p_d , que es la probabilidad de que el dispositivo de exploración esté ocupado decodificando las llamadas de socorro en otros canales mientras se transmite el diagrama de puntos;
- p_s , que es la probabilidad de que el dispositivo de exploración esté ocupado decodificando las llamadas de seguridad en otros canales (para la estación A, incluidas las llamadas a todos los barcos, o para otras estaciones) mientras se transmite la serie de puntos.

Para cada una de estas dos probabilidades los cálculos suponen dos casos posibles:

Para p_d :

caso ds : todas las tentativas de llamada de socorro se producen en una sola frecuencia, o

caso dm : todas las tentativas de llamada de socorro se producen en múltiples frecuencias.

Para p_s :

caso sa : todas las llamadas de seguridad son llamadas a todos los barcos, o

caso si : todas las llamadas de seguridad son llamadas individuales.

A continuación se indican las fórmulas para calcular las probabilidades en estos cuatro casos.

3.2.1 Caso ds – todas la tentativas de llamada de socorro se realizan en una sola frecuencia

La probabilidad de que una llamada de socorro dentro de una tentativa de llamada de socorro en una sola frecuencia (5 llamadas) se pierda debido a la exploración cuando sólo se consideran otras tentativas de llamada de socorro en una sola frecuencia (y sus acuses de recibo a las llamadas de socorro correspondientes), puede calcularse utilizando la fórmula para p_2 (véase el § 2.3) salvo que en este caso el valor 6,2 se sustituye por la duración de una llamada de socorro menos la serie de puntos (5,2 s) y $a = 1$ (puesto que todas las llamadas están dirigidas a la estación A), es decir:

$$p_{ds} = 1 - e^{-(n - 1)5,2\lambda}$$

Basándose en dos tentativas de llamada de socorro y dos acuses de recibo a las llamadas de socorro cada hora y por cada canal, la carga de tráfico por canal (calculada a partir del § 2.2.2 del anexo 1) es de 0,0248 E y, por consiguiente, la frecuencia de llamada media por cada llamada λ es $0,0248/7,2 = 0,003444$. En el cuadro 2 aparece p_{ds} para distintos valores de n (número de canales explorados).

CUADRO 2

Probabilidades (en porcentaje) de las pérdidas de llamadas de socorro por exploración

Probabilidad de pérdida (p)	Número de canales explorados (n)				
	2	3	4	5	6
Pérdida debida a una tentativa de llamada de socorro en una sola frecuencia, p_{ds} (%)	1,7752	3,5188	5,2315	6,9138	8,5663
Pérdida debida a una tentativa de llamada de socorro en múltiples frecuencias, p_{dm} (%)	3,4094	6,7025	9,8834	12,9558	15,9235
Pérdida media debida a una tentativa de llamada de socorro, p_d (%)	2,5923	5,1107	7,5575	9,9348	12,2449
Pérdida debida a una llamada de seguridad a todos los barcos, p_{sa} (%)	5,2863	10,2931	15,0352	19,5267	23,7807
Pérdida debida a una llamada de seguridad individual, p_{si} (%)	2,7072	5,3411	7,9037	10,3970	12,8227
Pérdida media debida a llamadas de seguridad, p_s (%)	3,9967	7,8171	11,4695	14,9618	18,3017
1 pérdida de llamada de socorro/tentativa de llamada de socorro, $p^{(1)}$ (%)	6,5890	12,9278	19,0269	24,8966	30,5466
2 pérdidas de llamadas de socorro/tentativa de llamada de socorro, $p^{(2)}$ (%)	0,4342	1,6713	3,6202	6,1984	9,3309
3 pérdidas de llamadas de socorro/tentativa de llamada de socorro, $p^{(3)}$ (%)	0,0286	0,2161	0,6888	1,5432	2,8503
4 pérdidas de llamadas de socorro/tentativa de llamada de socorro, $p^{(4)}$ (%)	0,0019	0,0279	0,1311	0,3842	0,8707
5 pérdidas de llamadas de socorro/tentativa de llamada de socorro, $p^{(5)}$ (%)	0,0001	0,0036	0,0249	0,0957	0,2660

3.2.2 Caso d_m – todas las tentativas de llamada de socorro se realizan en múltiples frecuencias

La probabilidad de pérdida, debida a la exploración, de una llamada de socorro en una tentativa de llamada de socorro realizada en múltiples frecuencias (consistente en seis llamadas de socorro individuales transmitidas en un máximo de seis frecuencias) responde a la misma fórmula que para el caso de una sola frecuencia, es decir:

$$p_{dm} = 1 - e^{-(n-1)5,2\lambda}$$

Sin embargo, para los cálculos de carga de tráfico puede suponerse que cada transmisión de llamada de socorro da lugar a un acuse de recibo. Por consiguiente, para el mismo número de tentativas de llamada de socorro originadas por frecuencia que en el caso de una sola frecuencia, la carga de tráfico viene dada por:

$$\frac{(2 \times 6 \times 7,2) + (2 \times 6 \times 8,6)}{3600} = 0,0527 \text{ E}$$

por tanto $\lambda = 0,0527 \times 2 / (7,2 + 8,6) = 0,006671$. En el cuadro 2 aparece p_{dm} para distintos valores de n .

3.2.3 Caso s_a – todas las llamadas de seguridad son llamadas a todos los barcos

La probabilidad de que una llamada de socorro se pierda debido a la exploración cuando todas las llamadas en el resto de los canales explorados son llamadas de seguridad a todos los barcos (con una duración, sin incluir la serie de puntos, de 5,2 s) se calcula utilizando la misma fórmula que para p_{ds} y p_{dm} , es decir:

$$p_{sa} = 1 - e^{-(n-1)5,2\lambda}$$

El valor pertinente de la carga de tráfico se indica en el § 2.2.3 del anexo 1; es decir, 0,0752 E, por consiguiente, $\lambda = 0,0752 / 7,2 = 0,010444$. En el cuadro 2 aparece p_{sa} para distintos valores de n .

3.2.4 Caso s_i – todas las llamadas de seguridad son llamadas individuales

La probabilidad de que una llamada de seguridad se pierda debido a la exploración cuando todas las llamadas en el resto de los canales explorados son llamadas de seguridad individuales se calcula utilizando la fórmula $p_1 + p_2$ obtenida del § 2.3 ya que también deben considerarse las llamadas individuales a otras estaciones. El formato de llamada de las llamadas de seguridad individuales es el mismo que el de las llamadas distintas de las de socorro indicado en el § 2.2. Sin embargo, para los barcos se considera que «a» toma el valor 0 y, para simplificar las opciones de cálculo, se supone un valor de $t = 2,5$ s, por consiguiente:

$$p_{si} = 1 - e^{-(n-1)2,5\lambda}$$

Como en el § 3.2.3, la carga de tráfico es de 0,0752 E pero la duración media de una llamada individual es de 6,85 s (suponiendo el mismo número de llamadas desde los barcos y dirigidas a los barcos y el mismo número de acuses de recibo – véase el § 2.2.4 del anexo 1) por consiguiente, $\lambda = 0,0752 / 6,85 = 0,010978$. En el cuadro 2 aparece p_{si} para distintos valores de n .

3.3 Resultados

3.3.1 En el cuadro 2 aparecen, en forma de porcentajes, los valores de las probabilidades descritas en los § 3.2.1 a 3.2.4. Además, dicho cuadro contiene la probabilidad $p^{(1)}$ de que una llamada de socorro dentro de una tentativa de llamada de socorro no sea recibida por un barco en particular debido a pérdidas de exploración, valor que viene dado por la fórmula:

$$p^{(1)} = p_d + p_s$$

3.3.2 Para simplificar los resultados, el cálculo de p_d y p_s se basa en la idea de que como las tentativas de llamada de socorro pueden efectuarse en una sola frecuencia o en múltiples frecuencias, se supone una división del 50% entre ambos tipos de tentativas de llamada de socorro. Además, como las llamadas de seguridad pueden realizarse a todos los barcos o a estaciones individuales, también se supone una combinación del 50% entre estos dos tipos de llamadas de seguridad. Por consiguiente, se utilizan las fórmulas siguientes:

$$p_d = \frac{p_{ds} + p_{dm}}{2}$$

$$p_s = \frac{p_{sa} + p_{si}}{2}$$

3.3.3 En la práctica, sólo es necesario que un barco concreto reciba una llamada de socorro de una tentativa de llamada de socorro, por consiguiente las probabilidades de pérdida de 2, 3, 4 ó 5 llamadas de socorro también se indican en el cuadro 2. La fórmula para estas probabilidades es la siguiente:

$$p(x) = [p^{(1)}]^x$$

siendo $x = 2, 3, 4$ ó 5 .

3.3.4 Teniendo en cuenta que, por razones de interferencia y propagación, normalmente será improbable que un barco en particular reciba todas las llamadas de socorro en una tentativa de llamada de socorro y las decodifique sin error, puede considerarse aceptable una pérdida de tres llamadas de socorro para las cuales la probabilidad, calculada a partir del cuadro 2, sea inferior al 3% suponiendo que se exploran seis canales.

4. Conclusiones

4.1 Frecuencias distintas de las de socorro y seguridad

De los cuadros 1a, 1b y 1c se deduce que para obtener pérdidas aceptables (< 18%) en el caso de receptores de barco explorando frecuencias distintas de las de socorro y seguridad:

- deben explorarse seis canales para una carga de canal de 0,13 E y un tiempo de retención del mensaje de 2,5 s;
- deben explorarse cinco canales para una carga de canal de 0,13 E y un tiempo de retención del mensaje de 3 s.

El número de canales que pueden explorarse varía aproximadamente en proporción inversa a la carga de canal.

También se deduce del cuadro 1c que la exploración tiene una utilidad limitada cuando debe de codificarse todo el mensaje antes de volver a iniciar la exploración.

4.2 Frecuencias de socorro y seguridad

Del cuadro 2 puede deducirse que el número de llamadas de socorro que pueden perderse en una tentativa de llamada de socorro multi-llamada debido a la exploración, suponiendo que se exploran seis canales, varía aproximadamente entre el 0,25 y el 30%. Puede considerarse aceptable una pérdida de tres llamadas para las cuales la probabilidad de pérdida es del 2,85%.
