

# Fugas de Vapor en calderas de alta presión

## Detección automática por métodos acústicos

Autores:

Dr. Francisco Arvelo Valencia.<sup>(1)</sup>, Dr. Juan Imeldo Gómes Gómez.<sup>(2)</sup>

Dr. Ramón Alesanco García<sup>(3)</sup>

(i) Dr. en Marina Civil por la U.L.L. y miembro del Equipo Estable de I+D  
INGEMAR de la Universidad de LA LAGUNA

(2) .Dr. en Marina Civil Profesor del Departamento de Ciencias y Técnicas de  
Navegación de La ULL

(3) Dr en Marina Civil y Profesor Ingeniería de los Procesos de Fabricación

La detección precoz de cualquier fuga supone una importante reducción de los costes económicos de explotación, de modo que disponer de un sistema automático que realice dicha función puede aportar ventajas competitivas, a la par que incrementa los niveles de seguridad para el personal de mantenimiento.

### Resumen

Un problema con el que sistemáticamente tiene que enfrentarse todo operador de una caldera de vapor a la hora de producir energía es el de la aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor de la misma. Este problema puede resultar especialmente grave en el caso de las Plantas de Vapor de los Turbo Tanques, así mismo en las calderas destinadas a la producción de energía eléctrica en tierra, ya que la situación de competencia entre los diversos armadores, suministradores exige un nivel de disponibilidad de las centrales lo más elevado posible, de modo que cualquier parada no programada puede tener como consecuencia un gran perjuicio económico y de seguridad.

Palabra clave: caldera, fuga de vapor, detección acústica.

## Steam Flights in marines boilers of high pressure Automatic Detection by acoustic methods

### ABSTRACT

The precocious detection of any flight supposes an important reduction of the operating Costs, so that to have an automatic system that it makes this function it can contribute competitive advantages, at par that increases the levels of security for the maintenance personnel.

## INTRODUCCIÓN

El problema que nos ocupa tiene una característica específica: aparece de forma inesperada, resultando muy difícil —por no decir imposible— la predicción precisa del mismo. Los fenómenos de corrosión y de degradación de materiales que dan lugar a la aparición de las fugas son perfectamente conocidos; sin embargo, difícilmente se puede disponer de información suficientes de todos los elementos instalados en una caldera, y menos de sus defectos ocultos de fabricación, como para poder establecer un modelo matemático que permita predecir con cierta fiabilidad la aparición de una fuga. Como máximo podría afirmarse que cuantos más días hayan pasado sin que se manifieste una fuga, más alta será la probabilidad de que pueda aparecer una. Obviamente, afirmar esto viene a ser como la predicción de aquel meteorólogo que, tras muchos meses de sequía, afirmaba: *es cierto que llevamos muchos meses de sequía y que las predicciones son negativas, pero debemos tranquilizarnos, pues cuantos más meses pasen sin llover más cerca estaremos de que llueva.*

Otra característica del problema que nos ocupa es que, una vez que aparece, siempre crece en magnitud y consecuencias, y nunca se puede esperar que remita por sí solo autocorrigiéndose.

A todo ello hay que añadir una consideración basada en la aplicación de la primera ley de Murphy sobre la perversidad de los elementos inanimados. La probabilidad de que en un determinado punto del circuito aparezca una fuga es directamente proporcional al cubo del valor económico de los daños colaterales que el chorro de vapor pueda producir en el entorno. En otras palabras: no podemos dejar de considerar que los efectos de una fuga afectan no sólo al punto del circuito en que ésta se produce, sino que con mucha frecuencia causan daños en otros elementos de la caldera que se encuentran en las proximidades.

La seguridad para las personas ante los riesgos de una explosión es otro de los aspectos a tener en cuenta. Dado el nivel de presiones que actualmente se manejan en los circuitos de las calderas de vapor, normalmente tenemos una cierta idea de cómo empieza una fuga (por un pequeño agujero por el que empieza a salir un chorro de vapor), sin embargo, nunca tenemos tan claro cómo puede terminar el proceso en caso de que lo dejemos mucho tiempo sin tratar.

Finalmente, y no por ello menos importante, hay que tener en cuenta las repercusiones económicas. Por un lado, la existencia de fugas en el circuito supone una pérdida de rendimiento del sistema y, a su vez, la corrección del problema implica una parada de la caldera, de modo que las repercusiones económicas son dos y de notable importancia.

Posiblemente habría que tener en cuenta aún otras consideraciones, pero en cualquier caso las anteriormente expuestas justifican más que de sobra la necesidad de disponer en las calderas de procedimientos de detección lo más precoces posible de las fugas, así como de medios de seguimiento fiables de la evolución de las mismas.

## De la solución tradicional a la detección automática

Tradicionalmente, la detección de las fugas de vapor de las calderas ha sido responsabilidad del técnico de mantenimiento. En realidad, sigue siendo así en la mayoría de los casos. Es bien cierto que la capacidad de detección de un hombre experto, que conoce a fondo su caldera, mirando, escuchando y tocando, está lo suficientemente probada como para desdeñarla, pero adolece de una serie de inconvenientes a considerar: tiene un coste elevado y dadas las capacidades de versatilidad del experto, resulta más eficaz y rentable dedicado a otro tipo de tareas de mayor envergadura.

Su autonomía operativa está muy limitada, a poco más de 8 horas diarias, y su eficacia y precisión dependen del número de horas que lleve trabajando continuamente, lo que implica la necesidad de un periodo de parada diario para “enfriar, recalibrar y reponer facultades”, sin tener en cuenta que su fragilidad es muy alta y en caso de accidente importante las pérdidas son más graves que las puramente económicas. En definitiva, que aun contando con el técnico de mantenimiento para controlar el problema una vez detectado, la disponibilidad de un sistema automático de detección y seguimiento de las fugas es un elemento a considerar muy seriamente en la explotación de cualquier caldera de vapor actual.

## La detección acústica

Una propiedad común a toda fuga de vapor es la de generar sonido. Las características de dicha emisión acústica varían sustancialmente de unos casos a otros, e incluso varían a lo largo de la evolución temporal de una emisión determinada. En cualquier caso, la experiencia demuestra que el sonido de una fuga de vapor tiende a ser un ruido blanco, es decir, un sonido cuya energía está repartida por igual a lo largo de todo el espectro de frecuencias que lo componen, cuyo nivel acústico, desde que aparece y hasta que se corrige, siempre crece a lo largo del tiempo. El sonido de una fuga en un pequeño agujero es más agudo que el de uno grande, y depende en su composición de frecuencias de la forma. Por otro lado, la amplitud depende más de la magnitud de la fuga que de otras consideraciones.

El sonido producido por una fuga se propaga tanto por el aire como por la estructura de la caldera, siendo posible por tanto detectar la presencia de fugas escuchando mediante dispositivos adecuados el ruido presente en los diversos puntos. Sin embargo, en cualquier sistema que se construya basado en este principio hay que considerar la presencia de otros sonidos que interfieren en el proceso de detección, como son el propio ruido de la combustión, el ruido de los motores, ventiladores, compresores, etc. situados en diversos puntos de la estructura, los ruidos producidos por los operarios de servicio en las acciones de operación y mantenimiento, el ruido de los sopladores, etc.

Dicho lo anterior, se deduce de inmediato que la detección de fugas por medios acústicos se basa en: escuchar, medir niveles de ruido, comparar los niveles de cada instante con los niveles precedentes y, finalmente, filtrar o eliminar del análisis los ruidos interferentes.

La escucha se realiza mediante dos tipos de dispositivos diferentes: con micrófonos robustecidos para el caso del sonido transmitido a través del aire y con traductores especiales que se acoplan a la estructura metálica de la caldera para el caso de los sonidos que se propagan a través de ésta. En ambos casos, la señal obtenida se pasa por un amplificador dotado de filtros que adecuan su curva de respuesta a las necesidades del proceso de detección, obteniéndose a partir de ella una señal proporcional al nivel acústico en dB presente en el punto de medida.

## Selección de un sistema acústico: características a tener en cuenta

Una característica importante a la hora de seleccionar un sistema de detección acústica de fugas es la de que en el mismo se disponga de algún sistema sencillo de calibración y verificación de los conjuntos micrófono/amplificador de medida. Por un lado, conviene que éstos dispongan en cada uno de ellos de un generador de ruido, activable cuando convenga, que permita hacer una verificación frecuente del tipo pasa/no pasa, que asegure el funcionamiento de cada uno. Además, se deberá disponer de un generador de ruido de características adecuadas, que genere un nivel acústico conocido y que permita calibrar periódicamente cada uno de los conjuntos para asegurar que las medidas que proporcionan son correctas.

Otra característica importante a considerar es la de que el sistema permita a los operadores oír en la sala de control lo mismo que los micrófonos están oyendo en los diversos puntos de la caldera, ya que, tal como señalábamos en párrafos anteriores, el operador humano, aunque limitado en algunos aspectos, resulta insustituible en su capacidad de análisis e interpretación de sonidos. En otras palabras, que de cada uno de los micrófonos debe bajar hasta la sala de control la señal correspondiente a lo que está captando para que pueda ser reproducida en un altavoz o en unos auriculares.

La experiencia ha demostrado que para una correcta detección basta con que el sistema de medida sea capaz de manejar un margen comprendido entre los 54 y 114 dB, siendo los valores en el entorno a los 90dB un punto de referencia a considerar inicialmente para la determinación de fugas.

En cualquier caso, la puesta en servicio de cualquiera de estos sistemas precisa de un periodo inicial de calibración, ajuste y aprendizaje por parte de los usuarios.

Inicialmente, supongamos que el sistema se ha instalado en una caldera libre de fugas en la que se empieza a medir. Durante algunas semanas se deberá registrar de forma lo más continua posible la evolución del nivel de ruido en cada punto de medida. Esto dará una curva que representará el comportamiento típico de ese punto

<b>NIVELES DE RUIDO DE NUESTRO ENTORNO</b>	
Calle con tráfico	50db
Típico en una oficina	60db
Calle con tráfico pesado	70db

Taller con maquinaria ligera	80db
Típico en una caldera	90db
Taller con maquinaria pesada	
100db	
Martillazo sobre acero	
110db	
Umbral del dolor en el ser humano	
120db	

Tabla 1: Niveles de Ruido en nuestro entorno. Fuente. Elaboración propia

y que posibilitará establecer cuáles son sus valores de ruido máximo y mínimo para considerar el punto dentro de la normalidad. Posteriormente, valores por debajo del mínimo registrado podrán ser indicio de mal funcionamiento del micrófono, y valores por encima del máximo serán indicio de una posible fuga a considerar. En cualquier caso, y basándonos en el hecho reiteradamente expuesto de que toda fuga siempre evoluciona a más será el análisis de la evolución del ruido el que dará una mejor pista a la hora de identificarla.

Otro elemento a considerar en el periodo de ajuste y aprendizaje es el de identificar los ruidos interferentes para aprender a ignorarlos en el análisis de los registros, o, si el sistema lo permite, determinar cómo filtrarlos automáticamente para que no aparezcan. Uno de los más típicos es el correspondiente a la activación de los sopladores, que por fortuna suelen ser de los más simples de filtrar, ya que o es periódico, con lo que se puede predecir cuándo va a suceder, o se dispone de una señal eléctrica, que indica que está en curso y que puede ser inyectada al sistema para activar el filtrado, o se puede filtrar por sus características de aparición y desaparición bruscas asociadas a una duración relativamente corta. Otros ruidos esporádicos resultan más complicados de filtrar, siendo necesario un estudio particular para cada caso.

## Ubicación y montaje de micrófonos

Una de las primeras cuestiones a dilucidar cuando se decide la instalación de un sistema de detección de fugas es la del número de micrófonos a instalar y su ubicación, ya que ello afecta muy directamente a la relación nivel de protección/coste del sistema. Cuantos más micrófonos se pongan mayor será el nivel de protección que proporcione el sistema y mayor será también su coste.

Los principales factores determinantes de esta decisión serán: la sensibilidad o alcance de los micrófonos a instalar, la estructura del sistema de tubos de vapor de la caldera y la experiencia previa.

La estructura de tubos de vapor de la caldera determina, por un lado, cuáles son las zonas de mayor riesgo de fugas, ya que, evidentemente, donde no haya tubos no puede haberlas. Por otra parte, dentro de que haya zonas con mayor o menor densidad de tubos, la experiencia previa nos puede ayudar mucho a determinar dónde ha habido una mayor incidencia de averías y, por tanto, donde el riesgo es mayor.

Una vez determinadas las zonas de mayor riesgo deberá establecerse una distribución teórica de los micrófonos basándose en sus características de sensibilidad o alcance. Dado que la zona cubierta por cada micrófono, considerando que se monta en una pared de la caldera, es una semiesfera de 10 a 15 metros de radio, lo ideal sería ubicar los mismos de tal forma que el volumen a cubrir estuviese comprendido dentro de la unión de los volúmenes de todas las semiesferas. Dicha distribución teórica servirá como punto de partida, y basándose en ella podrá procederse a establecer la distribución real, que estará condicionada en gran manera por la estructura de la caldera. Hay que tener en cuenta que con frecuencia será mejor aprovechar puertas y agujeros previamente existentes en la pared de la caldera antes que realizar nuevas perforaciones. Además, la presencia o no de plataformas y escaleras que faciliten el acceso a ciertos puntos podrá inclinar la balanza a la hora de seleccionar finalmente un punto respecto a otro.

El montaje de los micrófonos se hace típicamente en el extremo de una tubería de acero galvanizada cuyo extremo opuesto se suelda en un agujero dispuesto en la pared de la caldera. Dicho tubo actúa de guía ondas para el sonido procedente del interior y permite que llegue al micrófono, al tiempo que aísla suficientemente éste de las duras condiciones existentes dentro. Los tubos se montan inclinados hacia arriba, de forma que el micrófono quede más alto que el agujero, y se los dota de una ligera curva en la parte inferior junto a la pared y de una válvula de bola junto al micrófono. De esta forma, el micrófono no ve directamente el interior de la caldera y queda protegido de la radiación infrarroja, pudiéndose aislar del interior para mantenimiento, las posibles cenizas que puedan entrar en el tubo tienden a caer dentro de nuevo y no se acumulan y, por último, el micrófono queda separado lo suficiente de la pared como para que la temperatura se mantenga dentro de unos límites tolerables. En muchos casos se instala también en el extremo superior del tubo una toma por la que se puede inyectar de

forma periódica aire comprimido para limpiarlo de posibles depósitos.

Junto a los micrófonos se instala también el circuito de amplificador y filtros, que realiza la medida de la señal capturada por el micrófono y la convierte en otra del tipo bucle de corriente de 4 a 20 mA, proporcional al nivel acústico existente, que es la que se baja hasta la sala de control para transmitir la información.

## Determinar también la posición de la fuga

La posibilidad de detectar la aparición de una fuga es muy importante, pero no lo es menos la de poder determinar también con la mayor aproximación posible dónde se ubica la misma.

En teoría, utilizando un número suficiente de micrófonos y haciendo un análisis estereofónico adecuado, debería ser posible determinar con bastante precisión la localización de una fuente de ruido. Sin embargo, la complejidad de los fenómenos que intervienen en la transmisión del sonido dentro de la caldera hacen, hoy por hoy, prácticamente inviable este procedimiento. En cualquier caso, la experiencia demuestra que, disponiendo de un adecuado reparto de micrófonos en la caldera, basta con un simple análisis comparativo del incremento del ruido en los diversos puntos para dar al equipo de mantenimiento una información suficiente de localización que permita ir rápidamente al punto en cuestión.

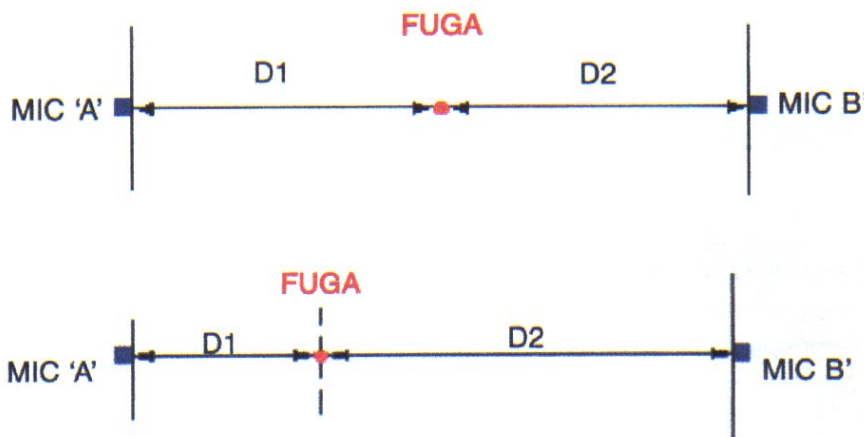


Figura 1 y 2 .-El nivel sonoro en A es mayor que en B.- Fuente: Elaboración propia,

## Funcionalidades mínimas en la sala de control

- Representación gráfica en forma de barras de los niveles acústicos de cada uno de los puntos de medida instalados en la caldera. Dicha representación conviene que disponga de un código de colores que posibilite verificar a simple vista y de forma sencilla cuáles de ellos pueden estar en estado de pre-alarma
- Funciones de análisis de la distribución de frecuencias del ruido existente en cada canal
- Representación gráfica del estado de los diversos canales, representados por colores, situando cada uno sobre su ubicación real en un mímico de la caldera
- Establecimiento de niveles de alarma, independientes por cada canal, que permitan resaltar de forma simple los siguientes estados: posible avería del micrófono como consecuencia de que el nivel de ruido detectado es inferior al nivel típico del canal considerado, situación de pre-alarma de fuga como consecuencia de haberse superado un primer nivel de ruido por encima del ruido normal del canal, situación de alarma de fuga como consecuencia de haberse superado un segundo nivel de ruido, superior al anterior por encima del ruido normal del canal.
- Almacenamiento periódico de los datos de nivel de ruido de cada canal a lo largo del tiempo, para facilitar los posteriores análisis de tendencias de evolución para la determinación de fugas.
- Funciones de análisis y de representación gráfica. de la información registrada a lo largo del tiempo que permitan visualizar las tendencias de cada canal, u deducir de ellas la posible aparición de fugas y su evolución.

Típicamente interesa poder observaren un solo gráfico los datos correspondientes a los últimos 10 minutos, 2 horas, 24 horas y 60 horas.

· Funciones de filtrado de la información capturada que hagan posible eliminar los ruidos interferentes correspondientes a sopladores y similares.

## El sistema en sala de control

En los párrafos anteriores se han establecido los principios de funcionamiento de la detección acústica de fugas, y se ha resaltado la conveniencia de que no sólo bajen hasta la sala de control las señales que representan los niveles acústicos, sino que también lleguen las que representan directamente el ruido para que puedan ser escuchadas por el operador. Esto quiere decir que, por un lado, tiene que haber dispositivos que permitan al operador ver de forma clara los niveles de ruido existentes en cada punto y, por otro, tiene que haber un sistema acústico de altavoz y/o auriculares que le permita escuchar el sonido captado por los diversos micrófonos.

La forma más simple y compacta de representar los niveles acústicos es la de utilizar visualizadores del tipo de barras luminosas cuya longitud iluminada represente el nivel sonoro existente en cada instante. Este tipo de visualizadores suele disponer también de elementos preajustables que posibilitan establecer niveles de alarma que ayudan al operador a la hora de vigilar el sistema; sin embargo, dado que no poseen tipo alguno de memoria a largo plazo, resulta difícil y costoso hacer el seguimiento de la evolución del ruido en los diversos canales a lo largo del tiempo, cosa que previamente se ha establecido como determinante para una correcta identificación de fugas.

Dicho lo anterior, resulta evidente la conveniencia de utilizar en la sala de control de sistemas de representación y seguimiento más sofisticados, con capacidad de almacenamiento de datos a lo largo del tiempo, que simplifiquen el análisis a posteriori de los sucesos ocurridos en cada canal.

Con frecuencia, las señales se incorporan al sistema general de control de la planta, y es en éste donde se implementan todas las funciones de seguimiento, representación gráfica y detección de alarmas.

En otras ocasiones, el sistema en sala de control se basa en un PC dedicado específicamente a ello, y en él se representan los datos gráficos y se almacenan los datos históricos para el análisis final.

## A modo de conclusión

A la vista de lo expuesto hasta este punto, parecen bastante evidentes las ventajas de invertir en un sistema de este tipo, ya que la detección precoz de cualquier fuga supone una importante reducción de los costes de explotación, a la par que incrementa los niveles de seguridad para el personal de mantenimiento.



Figura 3.-Distribución espectral sonora típica de una fuga tomada con dosímetro sonómetro de 16 memorias independientes Fuente: Laboratorio IAC

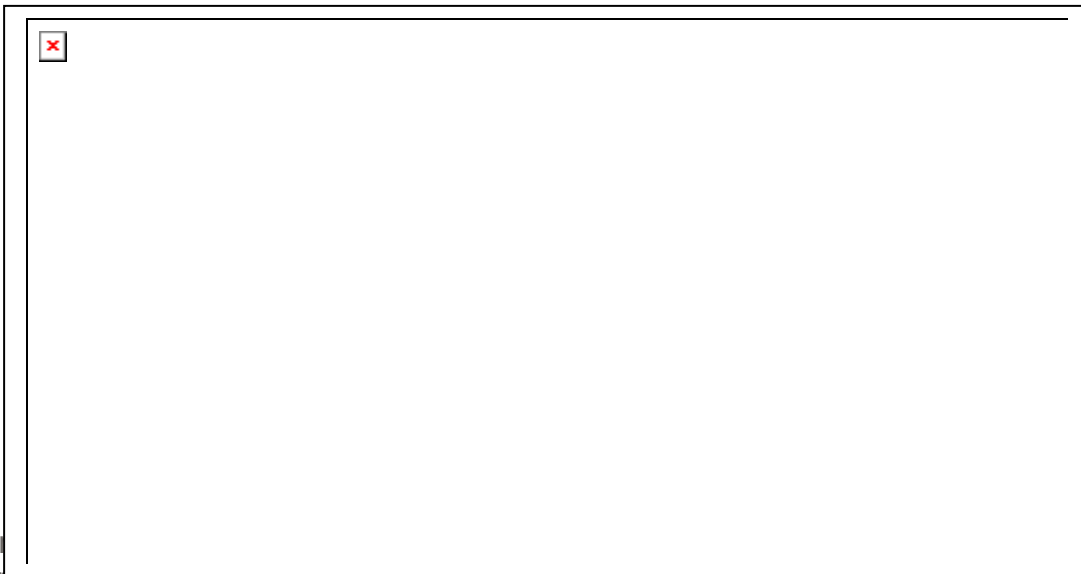


Figura 5.-Evolución del nivel de ruido en un punto de medida Fuente: Laboratorio IAC, elaboración propia

Figura 6.-Representación gráfica en forma de barras de cada uno de los puntos de medida instalados en la caldera. Fuente: Pruebas de Laboratorio,



Figura 5.-Evolución del nivel de ruido en un punto de medida Fuente: Laboratorio IAC.



Figura 6.-Representación gráfica en forma de barras de cada uno de los puntos de medida instalados en la caldera. Fuente: Pruebas de Laboratorio,

- Color Verde: valor ambiental normal
- Azul valor ambiental normal
- Amarillo idem
- Rojo: alarma fuga detectada

## BIBLIOGRAFÍA :

- (1) Memoria del Instituto de Acústica. CSIC, 1993-1996
- (2) ZWIKKER, y KOSTEN,C. W. (1949) Sound Absorbing Materials. Elsevier Publishing Company, Inc., London.
- (3) BIOT, M. A. (1956). "The theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid. I Low frequency range. II Higher frequency range'. J. Acoust Soc. Amer., 28, pp. 168-191.
- (4) DELANY, M. E., y BAZLEY, E. N. (1970): "Acoustic properties of fibrous absorbent materials", Applied Acoustics, 3.
- (5) International Standard ISO 354-1985 (E): Acoustical measurements of sound absorption in a reverberation room.
- (6) International Standard ISO 9053:1991 (E): Acoustic material for acoustic applications determination of flow resistance.
- (7) A proposal for standardized measurements and annoyance rating of simultaneous. Noise and vibration in ships. Netherland. T.N. O. Report nº 126
- (8) Archango. Francisco: " Estado actual de los conocimientos sobre el ruido a bordo de los buques".Asociación para la investigación de la construcción naval. Publicado en la revista " Ingeniería Naval " nº 510
- (9) Noise Symposium, Oslo, octubre 1975. Det Norske Veritas, Division for Marine Technology.
- (10) ISO R-1996. Assessment of noise with respect to community response, mayo 1971.
- (11) ISO-2923-1975E, Acoustic measurement of noise on board vessels.
- (12) UNE EN ISO 11203:1996 Acústicas y Ruido emitido por máquinas y equipos Medición de los niveles de presión acústica de emisión en el puesto de trabajo y otras posiciones específicas a partir del nivel de potencia sonora ISO 11203:1995
- (13) UNE EN ISO 11204:1996 Acústica Ruidosa emitidos por máquinas y equipos Medición de los niveles de presión acústica de emisión en puesto de trabajo y en otras posiciones específicas. Método que necesita corrección de entorno ISO 11204 1995
- (14) El ruido en los buques por D. Manuel Rojo Pérez Sección de investigación Astilleros Españoles S.A. Factoría de Sevilla

### CORRESPONDENCIA:

Francisco Arvelo Valencia  
C/ Obispo Pérez Cáceres nº 21  
38205 La Laguna Tenerife  
Tel.: 922252496  
Mar

Dr. D Juan I. Gómez Gómez  
Dpto. De Ciencias y Técnicas de la Navegación  
Universidad de La laguna  
Centro Superior de Náutica y estudios del

e-mail : parva@telefonica.net

Avd Francisco La Roche s/n 38071 S/C de Tenerife  
Tf: 922319839 Tef móvil 649846093

Fax 922319835 –Fax 922475344  
e-mail [jgomez@ull.es](mailto:jgomez@ull.es)