



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

**INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN**

Título del proyecto:

**METODOLOGÍA PARA LA DISCRIMINACIÓN DE FOCOS
SONOROS EN LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO
ACÚSTICO DE INFRAESTRUCTURAS AEROPORTUARIAS**

Alumno: Josué Pagán Ortiz

Tutores: Miguel Arana Burgui y Ricardo San Martín Murugarren

Pamplona, 28 de julio de 2010



ÍNDICE

1.- OBJETIVO	4
2.- INTRODUCCIÓN	4
2.1.- ANTECEDENTES	4
2.2.- DEFINICIONES	5
2.3.- DATOS GENERALES	6
2.3.1 MEDICIONES.....	6
2.3.2 EQUIPO DE MEDIDA	8
2.3.3 SOFTWARE UTILIZADO	9
3.- METODOLOGÍA	10
3.1.- GENERALIDADES	10
3.2.- ALGORITMOS DE DETECCIÓN	13
3.2.1 SUPERAR UN UMBRAL. DETECCIÓN DE POSIBLES EVENTOS.....	13
3.2.1.1 OPCIÓN PRIMERA.....	13
3.2.1.2 OPCIÓN SEGUNDA	17
3.2.1.3 OPCIÓN TERCERA	18
3.2.2 PRIMERA APROXIMACIÓN.....	22
3.2.3 SEGUNDA APROXIMACIÓN	24
3.2.4 TERCERA APROXIMACIÓN	29
3.2.5 CUARTA APROXIMACIÓN.....	35
3.2.5.1 DETECCIÓN DE PICOS	35
3.2.5.2 ESTUDIO DE ESPECTROS.....	44
4.- APLICACIÓN DEL REAL DECRETO 1367/ 2007	59
5.- RESULTADOS	62
5.1.- EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	74
6.- CONCLUSIONES	79
7.- MANUAL DE USUARIO	81
7.1.- INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN.....	81
7.2.- MANEJO DEL PROGRAMA.....	87
8.- MANUAL DE PROGRAMADOR	94
8.1.- CREAR EJECUTABLE .EXE EN MATLAB	94
8.2.- ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.....	100
9.- ANEXO I	105
10.- ANEXO II	108
10.1.- A PATTERN RECOGNITION APPROACH FOR AIRCRAFT NOISE DETECTION (RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA LA DETECCIÓN DE RUIDO DE AERONAVES).....	108



10.2.- REAL- TIME AIRCRAFT NOISE LIKENESS DETECTOR (DETECCIÓN EN TIEMPO REAL DE RUIDO DE AERONAVES POR SEMEJANZA)	110
11.- ANEXO III	111
12.- ANEXO IV.....	113
12.1.- INTRODUCIR RUIDO DE FONDO PARA CALCULAR EL UMBRAL DE CORTE	113
12.2.- DISCRIMINACIÓN POR TIEMPO	114
12.3.- DISCRIMINACIÓN POR NIVEL DE L_{AEQ} DBA.....	115
12.4.- AUTOCORRELACIÓN Y CORRELACIÓN CRUZADA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.....	116
13.- BIBLIOGRAFÍA	119

1.- OBJETIVO

Cálculo de la afección del ruido producido por infraestructuras aeroportuarias. Desarrollo de software para detección, acotado temporal y cálculo del nivel producido por eventos individuales y el global de todos ellos en el periodo de tiempo de interés.

2.- INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se va a evaluar la afección producida por infraestructuras aeroportuarias con medidas *'in situ'*, pues es la única forma de confirmar el cumplimiento o no de los valores exigidos por el RD 1367/2007.

El citado documento será el de aplicación en el estudio ya que al considerarse los aeropuertos como Infraestructura de Interés General del Estado no son aplicables las normativas autonómicas ni locales

Se detallan las técnicas de estudio y los resultados obtenidos para la detección de ruido de aeronaves mediante información del L_{Aeq} medido y el nivel en bandas de un tercio de octava (dB). La detección se realiza por umbralización y no compara los resultados con ninguna otra fuente como puedan ser radares o información de la ruta de vuelo de las aeronaves ni focalización de fuentes sonoras (*arrays* de micrófonos).

Se detallará cada uno de los pasos tenidos en cuenta para la realización del programa así como el motivo de elección de las variables del sistema según resultados presentados por cada una de ellas.

Se presentará una pequeña guía de usuario para el manejo del software implementado así como el manual de programador con los pasos seguidos para crear el ejecutable y el código del programa.

2.1.- ANTECEDENTES

El problema del ruido de aeronaves va ligado al crecimiento y expansión de los aeropuertos que han visto incrementado el número de operaciones de vuelo en las últimas décadas.

La afección del ruido aeroportuario es el tema objeto del presente documento. Para evaluar y gestionar la acústica ambiental aparece la Directiva Europea sobre

Ruido Ambiental del 25 de junio de 2002, en la que se considera un indicador de ruido y una metodología común para el cálculo y medida del ruido alrededor de los aeropuertos. Todos los estados miembros debían sujetarse a ella, por lo que aparece la Ley de Ruido del 17 de noviembre de 2003 (Ley 37/2003, del Ruido, transposición al derecho español de la citada Directiva) y sus reglamentos de aplicación RD 1513/2005 y RD 1367/2007.

La importancia y el interés que tiene hoy en día el impacto acústico de las diferentes fuentes de ruido en las áreas urbanas ha provocado la aparición de diversos estudios enfocados a la detección y discriminación de las diversas fuentes: tráfico rodado, ferroviario y ruido de aeronaves. Se hablará en este documento de algunos estudios relacionados con la detección del ruido de aeronaves.

2.2.- DEFINICIONES

A lo largo de todo el documento aparecerán ciertas expresiones que conviene previamente definir:

- Evento: se considerará evento cualquier detección que se acote y se exprese como resultado final, se trate o no de un ruido de aeronave.
- Evento positivo: se considerará un evento positivo aquel evento detectado y acotado que realmente sea producido por un ruido de aeronave. Un evento será considerado positivo cuando se haya comprobado con los resultados reales chequeado con los ficheros de audio mp3 generados en las medidas.
- Evento falso negativo: será considerado un evento como falso negativo cuando en el resultado final un evento que en realidad es producido por un ruido de aeronave no ha sido identificado como tal y no ha sido acotado temporalmente ni evaluado acústicamente.
- Evento falso positivo: se considerará que un evento es un falso positivo cuando en el resultado final se detecte como evento positivo aquel que en realidad no lo es. Dicho evento será acotado temporalmente y evaluado acústicamente influyendo en el resultado final del L_{Aeq} que evalúa la afección total del ruido aeroportuario.

Un evento falso positivo es el error más contraproducente en cuanto al fundamento del programa se refiere, i.e. una detección de un evento que en realidad no es un ruido de aeronave pone *'en jaque'* el funcionamiento del programa. Pueda ser este un motivo para pensar que no funciona correctamente el código implementado, mas aunque bien es cierto que el número de eventos positivos detectados no sea exactamente el real, la gravedad del error es mermada cuando dichas detecciones no influyen significativamente en el L_{Aeq} final que determina la afección del ruido aeroportuario en el punto de medida.

2.3.- DATOS GENERALES

2.3.1 MEDICIONES

El estudio que se va a realizar esta basado en las medidas realizadas por el Laboratorio de Acústica del Departamento de Física de la UPNA en Loiu (Vizcaya) los días del lunes 16 al martes 25 de noviembre de 2009 para el cálculo de la afección de los ruidos consecuentes del tráfico aéreo del Aeropuerto de Bilbao. La duración de las medidas considera una semana representativa del tráfico aeroportuario anual.

Las medidas fueron realizadas en la dirección: Kukulubidea nº 28, Loiu (Vizcaya). Es una vivienda situada en un complejo residencial tranquilo y aislado de cualquier otro tipo de fuente de ruido distinta al aeropuerto.



a) Vista del aeropuerto y del punto de medida



b) Punto de medida

Figura 1. Localización del punto de medida

2.3.2 EQUIPO DE MEDIDA

El equipo de medida está formado por la estación de medida de ruido Oper@-EX de 01dB- Metravib. El equipo fue configurado mediante el software gestor dB@admin con la siguiente configuración:

Se configuró la estación de medida para obtener los índices acústicos L_{Aeq} , L_{Cpk} , L_{Zpk} y espectro en bandas de un tercio de octava (12.5 Hz – 20000 Hz). El periodo de integración de datos se realizó cada 500 ms.

Se configuró un trigger de 60 dB a partir del cual todos los sonidos que superasen dicho umbral serían grabados en formato .mp3 hasta que el nivel fuese de nuevo inferior a 60 dB o en caso de que no ocurra, hasta que el registro tenga una duración de 15 segundos.

Los ficheros .mp3 sirven únicamente para comprobar, *a posteriori*, que eventos grabados son en realidad producidos por aeronaves y cuales no. Es por ello que la calidad del fichero es muy baja. El ancho de banda de los ficheros .mp3 es de 7000 Hz y las altas frecuencias serán eliminadas, además el tipo de compresión es alta, por lo que los ficheros tendrán una baja calidad.

Esta configuración permite almacenar los numerosos archivos .mp3 que se generen durante la semana de medida. La limitación de calidad está impuesta por el tamaño de la memoria del equipo de medida, una memoria tipo FIFO¹ de 128 Mb.

El micrófono conectado a la estación de medida es un micrófono omnidireccional. Éste fue equipado con un protector anti- vientos y un protector contra la lluvia. Del mismo modo se colocaron unas finas varillas sobre el micrófono para evitar que algún ave se posase sobre éste.

El micrófono fue colocado en la ventana de una de las habitaciones de la vivienda a un metro de la fachada. La sujeción se hizo mediante trípode y brazos extensores para colocar el micrófono en el exterior (ver la Figura 2).

¹ FIFO: ‘*First in First Out*’. Tipo de almacenamiento que actúa en forma de cola circular, por el cual, cuando se llena la memoria se sobrescribirán los datos guardados en orden de entrada con los nuevos en llegar.



Figura 2. Disposición de los micrófonos del equipo de medida

Se intenta evitar la captura de sonidos del interior de la vivienda cerrando las ventanas lo máximo posible y bajando las persianas.

Antes de la puesta en marcha el equipo fue calibrado comprobando que se obtenían los valores correctos.

2.3.3 SOFTWARE UTILIZADO

El desarrollo del software ha sido realizado con MATLAB, del que fue utilizado su módulo de Interfaz Gráfica de Usuario (Graphical User Interface, GUI) y el módulo de simulación y ensamblado Simulink para la creación del fichero ejecutable.

Además para la extracción de ficheros del sonómetro y exportar los mismos en fichero .xls se utilizó el software dBTrait de 01dB- Metravib.

Para el estudio y extracción de información temporal y espectral de los ficheros .mp3 fueron utilizados el software Adobe Audition y el software Audacity.

Para el manejo de hojas de cálculo se utilizó el software Microsoft Office Excel.

3.- METODOLOGÍA

3.1.- GENERALIDADES

El objetivo que se desea conseguir se hará mediante el estudio conjunto de las señales en el dominio temporal y frecuencial. Los ruidos producidos por aeronaves tienen todos ellos, por lo general, unas ciertas características, tanto desde el punto de vista temporal como del punto de vista frecuencial.

La forma de onda típica de un ruido de aeronave es como la que se muestra en la Figura 3. La subida de nivel es más abrupta que la bajada, que por lo general se prolonga más en el tiempo.

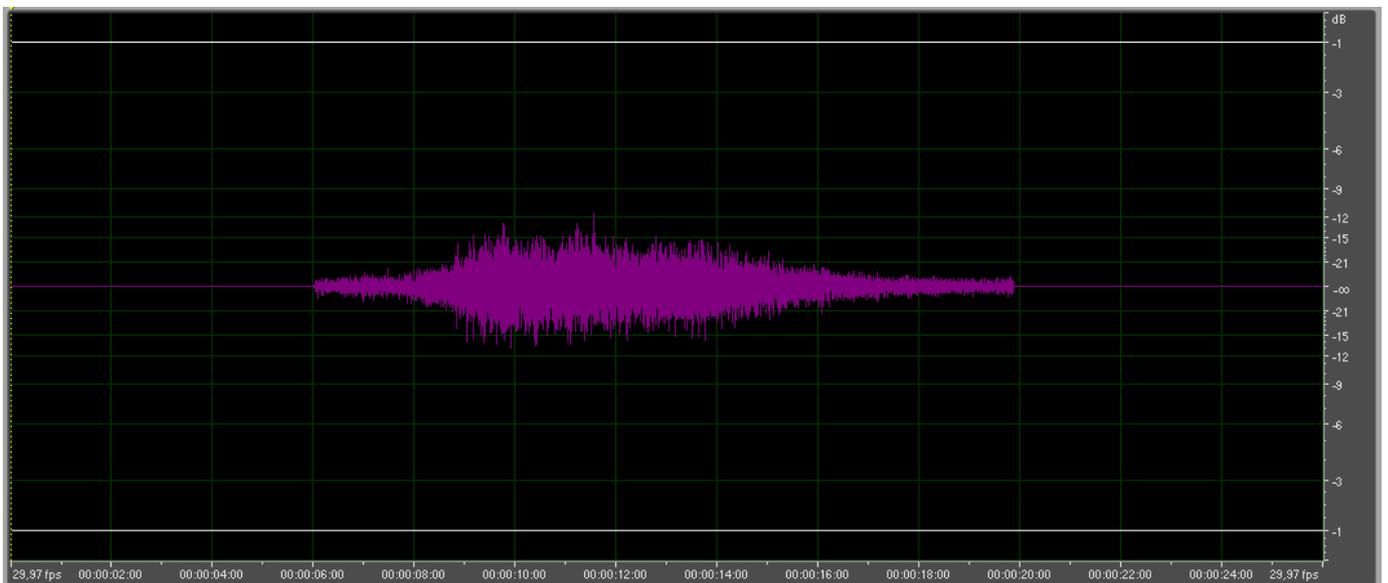
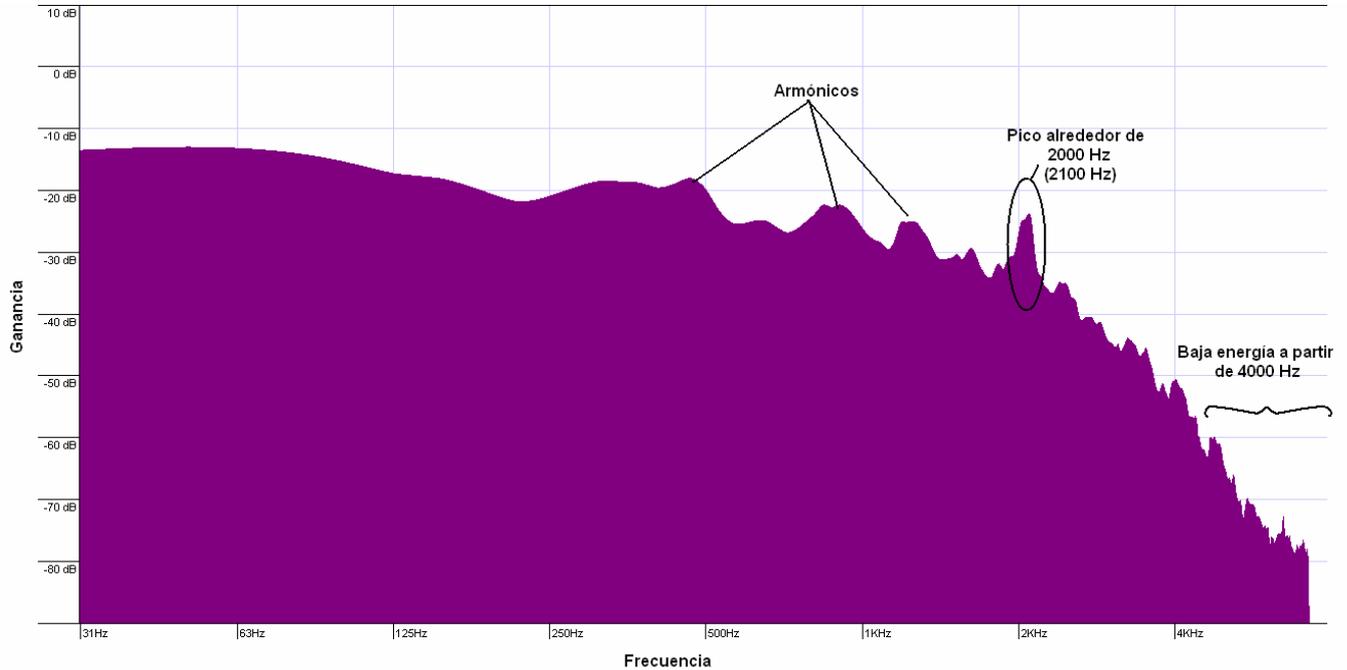


Figura 3. Forma de onda de un ruido de aeronave

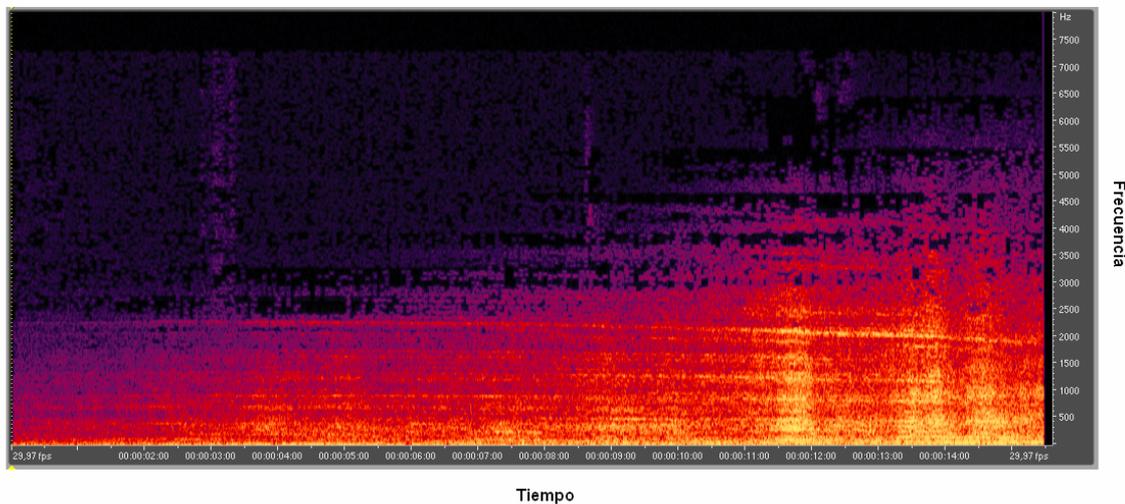
Atendamos alguna de las características que se han encontrado en la mayor parte de los ruidos producidos por aeronaves.

La mayor parte de la energía se concentra en las bajas frecuencias y aparecen picos entre los 2000 Hz y 3000 Hz. A partir de 4000 Hz la energía es muy baja. Se presentan además armónicos bien definidos aproximadamente por debajo de los 1000 Hz.

Como se puede ver en el siguiente ejemplo (Figura 4) aparece un pico en el espectro alrededor de los 2000 Hz. En el espectrograma puede comprobarse como este pico es constante durante todo el tiempo de la grabación², incluso puede comprobarse como a partir de 3500- 4000 Hz la energía decae notablemente.



a) Espectro de un ruido de aeronave. Enventanado de Hanning de 512 muestras



b) Espectrograma del evento anterior

Figura 4

Esta representación espectral es muy común en la mayor parte de los ruidos producidos por aeronaves, no obstante puede haber variaciones en los armónicos y en la localización y nivel del pico de energía como se verá posteriormente. De ello depende el perfil de vuelo (despegue, aterrizaje) y la localización relativa de la

² Las grabaciones se realizaron con trigger a 60 dB y en calidad mp3.

aeronave. Aun con todo ello sigue una distribución muy similar en cualquier caso y siempre la energía en las altas frecuencias es prácticamente despreciable.

La señal a estudiar está medida con constante de tiempo *fast* y ponderación frecuencial A. Los datos representan el nivel de presión sonora ponderado A (Figura 5) , L_A dBA, cada 0.5 segundos. Además son estudiadas las bandas de un tercio de octava medidas en dB. El formato del fichero .xls se detalla en el Anexo I.

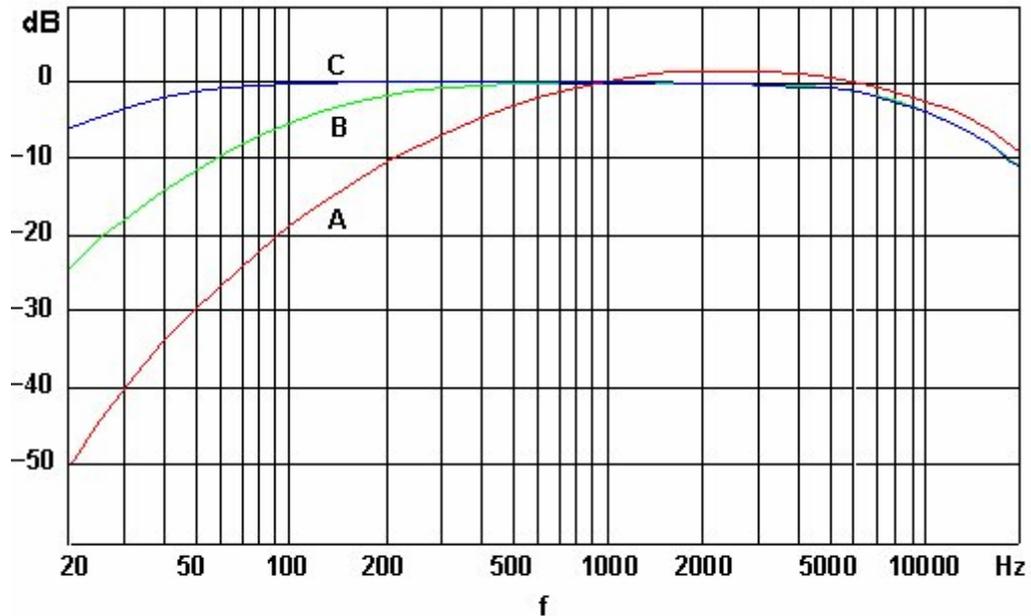


Figura 5. Curvas de ponderación A,B y C

3.2.- ALGORITMOS DE DETECCIÓN

A continuación se documentará todo el proceso seguido de estudio de datos y toma de decisiones para la implementación del algoritmo que lleve a cabo el objetivo del presente trabajo.

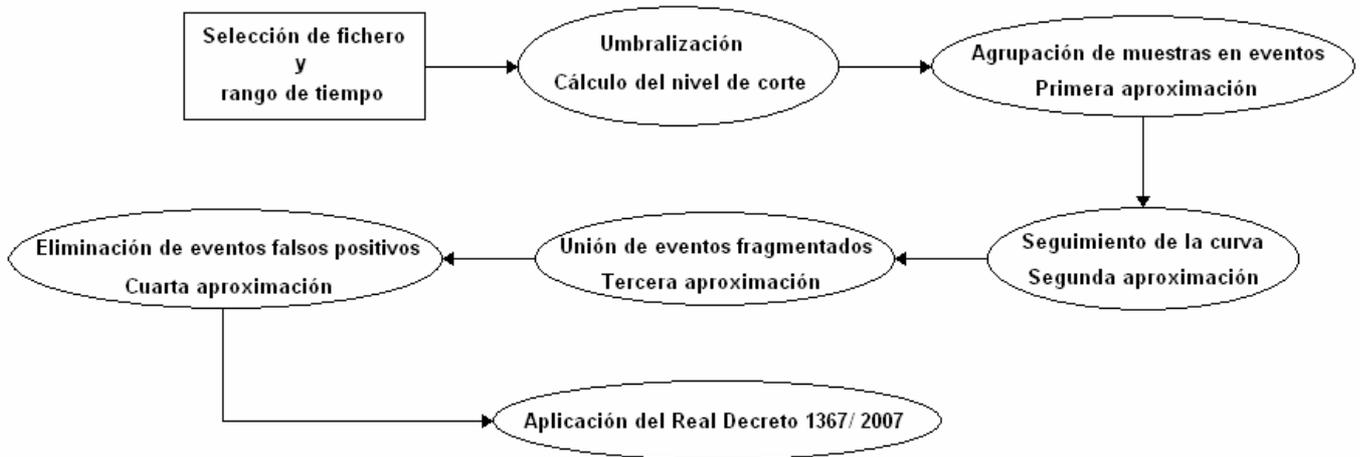


Figura 6. Diagrama de funciones del software: Detección de Ruido de Aeronaves

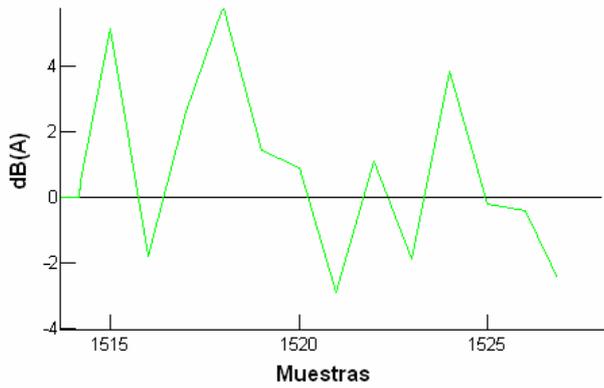
3.2.1 SUPERAR UN UMBRAL. DETECCIÓN DE POSIBLES EVENTOS

3.2.1.1 OPCIÓN PRIMERA

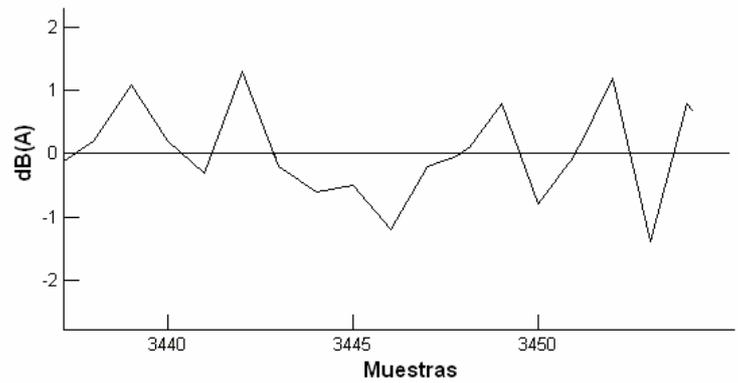
La primera idea para detectar la presencia de un ruido de aeronave, únicamente observando el dominio temporal, fue examinar el ‘aspecto’ de la derivada de la señal temporal.

Se comprobó que en la mayoría de los casos los eventos positivos (ruidos de aviones) presentaban una subida y bajada dígase, abrupta, donde generalmente la pendiente era igual o superior a ± 3 dBA entre muestras, véase la Figura 7. En un primer intento de detección se obtuvieron los siguientes resultados para el día martes:

	9:00- 10:00 h	10:00- 11:00 h	11:00- 12:00 h	12:00- 13:00 h	13:00- 14:00 h	14:00- 15:00 h	15:00- 16:00 h	17:00- 18:00 h
Detecciones	2	5	2	4	3	5	5	8
Acierto (%)	100	83	100	100	100	100	80	88
Observaciones	-	1 Falso Negativo	-	-	-	-	1 Falso Positivo	1 Falso Positivo



a) Derivada de un evento positivo



b) Derivada de un evento negativo

Figura 7

Lo primero para realizar la detección de eventos fue establecer un umbral de corte, a partir del cual, todos los valores que superaran dicho umbral serán posibles ruidos de aeronaves. Claro está, no todos los valores por encima de un umbral serán pertenecientes a ruido de aeronaves, por lo que se aplicarán posteriores consideraciones.

El primer umbral de corte establecido tenía en cuenta la señal a analizar y fijaba el valor de corte de la siguiente manera:

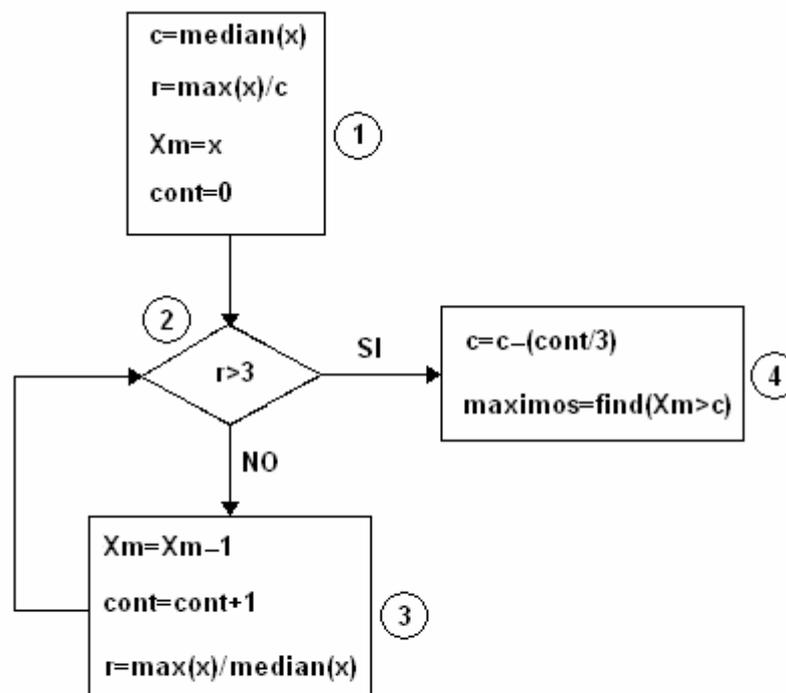


Figura 8. Cálculo del nivel de corte. Primera opción

1.- Se establece el umbral de corte (c) como la mediana del intervalo temporal a analizar (x). Con ello se consigue que el umbral, primeramente, se asemeje al ruido de fondo del intervalo deseado. La relación (r) entre el pico máximo de la señal y la mediana (c) será relevante para establecer el umbral final de corte.

2.- Si la relación (r) es superior a 3 finaliza y se establece el umbral de corte (c), si no, sigue calculando.

3.- Se decrementa la señal x_m (que primeramente es como la señal original) en 1, se aumenta el contador ($cont$) en 1 y de nuevo se calcula la relación entre el máximo de la señal y la mediana de ésta, ya decrementada. Nótese que el máximo de la señal se decrementa, naturalmente, en 1, pero la mediana se decrementará en mayor medida (1 en el peor de los casos), por lo que r aumentará sucesivamente, hasta que $r > 3$.

4.- Se establece el nivel de corte (c), para la señal (x_m) modificada, como la mediana de la señal original menos una corrección del número de veces que ésta ha sido decrementada. Se buscan las posiciones de las muestras (vector *maximos*) que superan dicho umbral, c , en la señal x_m .

Esta idea es bastante atractiva y convincente en los casos en que la relación señal ruido es alta y los eventos positivos están bien diferenciados del resto de la señal temporal.

Es convincente en dichos casos porque el cálculo de la mediana de la señal da niveles cercanos al ruido de fondo, este cálculo se realiza para cada señal por lo que será dependiente de cada una.

Los problemas se presentan cuando la señal abarca grandes periodos de tiempo, en los que el ruido de fondo ha podido variar notablemente, el cálculo del umbral no es correcto y se contabilizan numerosos eventos falsos positivos (eventos identificados como ruido de aeronaves que en realidad no lo son), caso b). Lo mismo ocurre cuando el ruido de fondo es elevado y los eventos positivos no son evidentes, caso c). Figura 9³

³ Las señales mostradas en la figura corresponden con la señal decrementada x_m en cada caso.

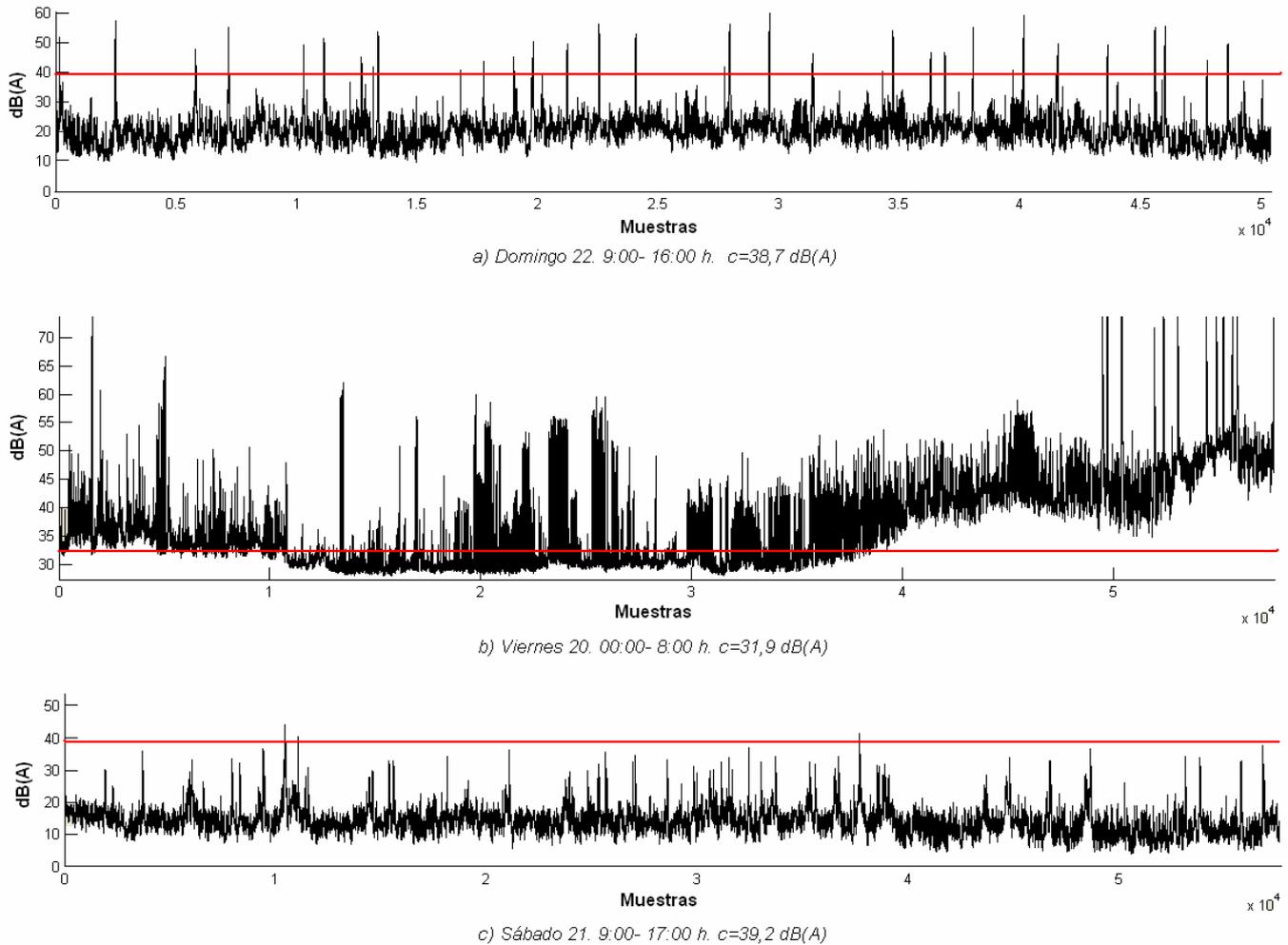


Figura 9

Obsérvese como en el caso a) los eventos están bien definidos, y en la señal decrementada (x_m) el umbral de corte $c=38.7$ dBA detecta todos los eventos positivos y ningún evento falso. Por el contrario en los casos b) y c), los eventos no son bien detectados.

En el caso b), en el periodo de tiempo seleccionado el ruido de fondo varía considerablemente, por lo que los eventos positivos (últimos 12 picos bien diferenciados) son detectados así como todos aquellos niveles que superan el umbral de corte $c=31.9$ dBA en la señal decrementada (x_m).

El caso c) es un problema relacionado también con el ruido de fondo, éste no es variable como en el caso anterior, por el contrario es bastante uniforme pero muy elevado; los eventos no están bien definidos y el umbral de corte $c=39.2$ dBA sobrepasa el máximo nivel de la mayor parte de los eventos positivos de la señal x_m . Sólo son detectados 3 de los 42 eventos que realmente se producen.

Con todo ello, una vez establecido el umbral de corte, c , se localizan las posiciones de aquellas muestras que superan dicho umbral. Estas posiciones son absolutas, i.e., aunque la localización de las mismas se haya realizado sobre la señal decrementada (x_m), son las mismas posiciones donde se encuentran las muestras de los eventos en la señal original x .

3.2.1.2 OPCIÓN SEGUNDA

Asumiendo que los resultados no son óptimos, se optó por cambiar la forma de elegir el umbral de corte (c) manteniendo la idea de que los eventos bien diferenciados del ruido de fondo son buenamente detectables con la mediana de todos los niveles del intervalo temporal.

Umbralizar a partir del ruido de fondo suponía que en muchos de los casos se detectaban ruidos que no procedían de infraestructuras aeroportuarias. Así pues, manteniendo la idea se decidió umbralizar con el ruido de fondo más 15 dB como valor extra de confianza para la detección, ya no del total del evento desde la subida y hasta la bajada, si no de los niveles más altos de energía que un evento produce.

Con el siguiente cambio de umbralización se obtuvieron los siguientes resultados:

9-16 h	M	X	J	V	S	D	Coef. Corr (ρ)
Nº eventos Reales	26	37	60	52	42	34	
$c=\text{median}-(\text{cont}/3)$	27	36	26	2	3	34	-0,400
$c=\text{mean}+15$	25	37	37	39	30	36	0,652

Número de eventos detectados según umbralización

Como se puede comprobar la mejora es sustancial, con la primera opción se lograron coeficientes de correlación negativos pues en los rangos horarios con alto ruido de fondo la mayor parte del periodo era considerado un evento (caso de viernes y sábado en los que fueron detectados sólo 3 y 2 eventos respectivamente).

Con la segunda opción se alcanza un 66 % de precisión. En los rangos horarios en los que los eventos están bien marcados, suficientemente diferenciados del ruido de fondo (martes, miércoles y domingo) las detecciones son efectivas casi al cien por cien.

Con todo ello, el diagrama de bloques que implementa citado algoritmo es modificado y queda de la siguiente manera:

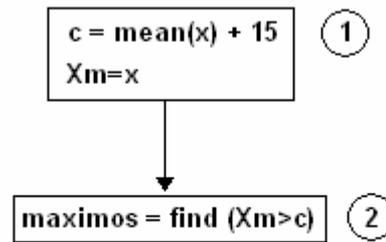


Figura 10. Cálculo del nivel de corte. Segunda opción

1.- Se define el umbral de corte como la media de la señal (rango de tiempo seleccionado) más un nivel añadido de 15 dB.

La señal x_m (señal original modificada), es en un primer momento igual a la original.

2.- Se define el vector *maximos* como aquel que guarda las posiciones absolutas de las muestras que, de la señal modificada (x_m), superan el umbral c calculado.

3.2.1.3 OPCIÓN TERCERA

Todavía, y a pesar de la considerable mejora en cuanto al número de detecciones, la segunda opción deja mucho que desear. La cantidad de ruidos no procedentes de infraestructuras aeroportuarias que se detectan es muy alta, y los eventos de bajo nivel no son detectados.

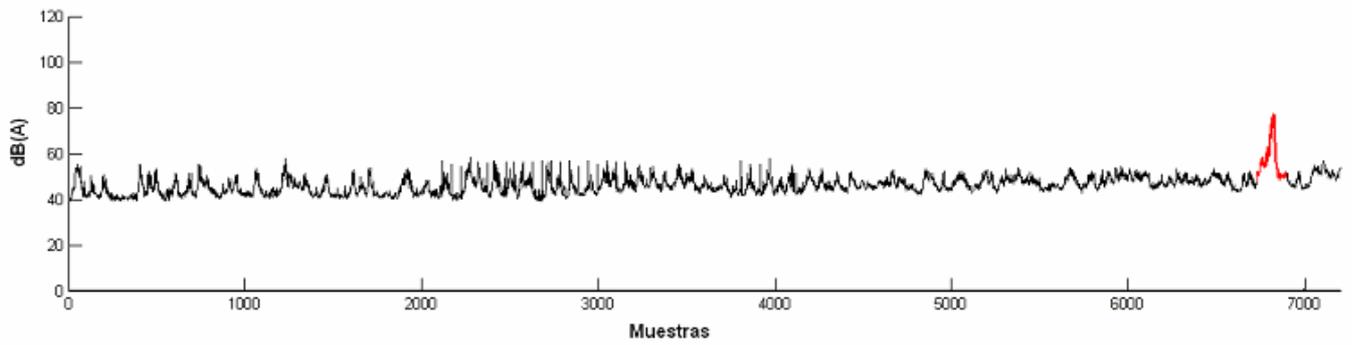
Se observó que en la mayoría de los casos los eventos positivos superaban los 62 dBA; además el umbral de corte c obtenido en la opción segunda en la mayoría de los casos marcaba niveles cercanos a los 62 dBA.

En los dos casos anteriores el cálculo del umbral de corte c dependía directamente de la señal a estudiar, por lo que el valor varía considerablemente para cada caso de estudio.

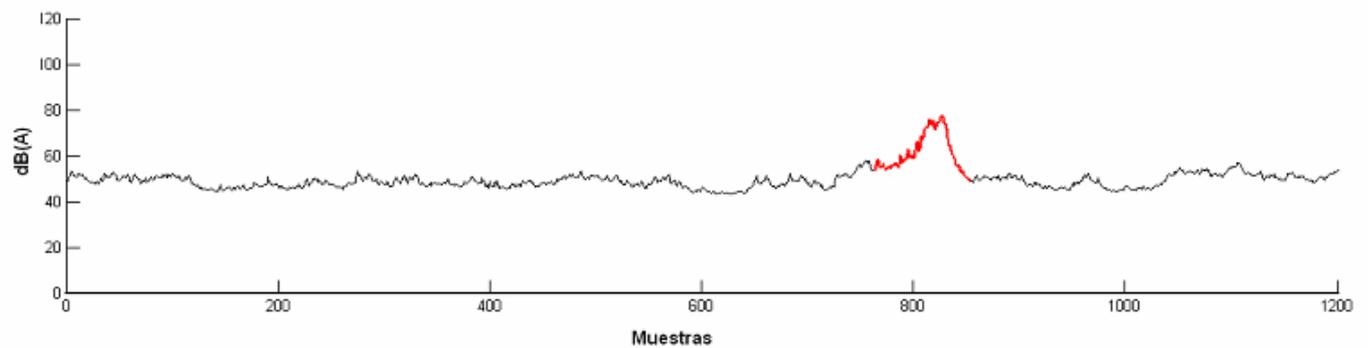
Es necesario y recomendable buscar un nivel de corte que se adapte a cada señal de estudio pero que no tenga la variabilidad que supone el cálculo del nivel c a partir de cálculos como la media o la mediana.

Los valores calculados con la segunda opción son prácticamente la media de la señal, únicamente con un valor de *offset* añadido. El problema que tiene este método es que al cálculo de la media le afectan mucho los valores altos y bajos, por lo que no será lo mismo calcular el umbral de corte c a un periodo temporal con muchos eventos bien diferenciados, que a un periodo de tiempos con pocos eventos. Del mismo modo no será lo mismo calcular el nivel de corte c sobre un periodo extenso o un periodo de corta duración.

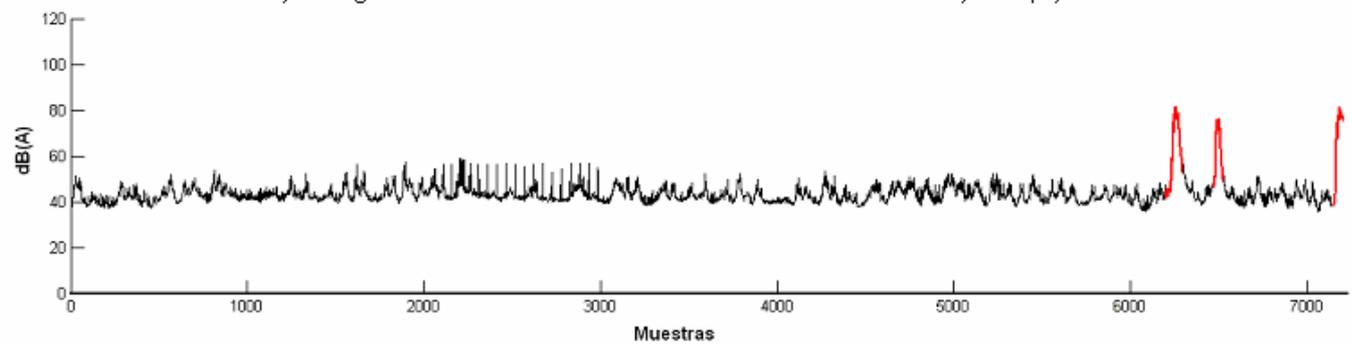
Veamos, sobre un evento positivo aislado temporalmente de otros posibles ruidos de aeronaves, como afecta el cálculo del umbral según el rango de tiempo seleccionado:



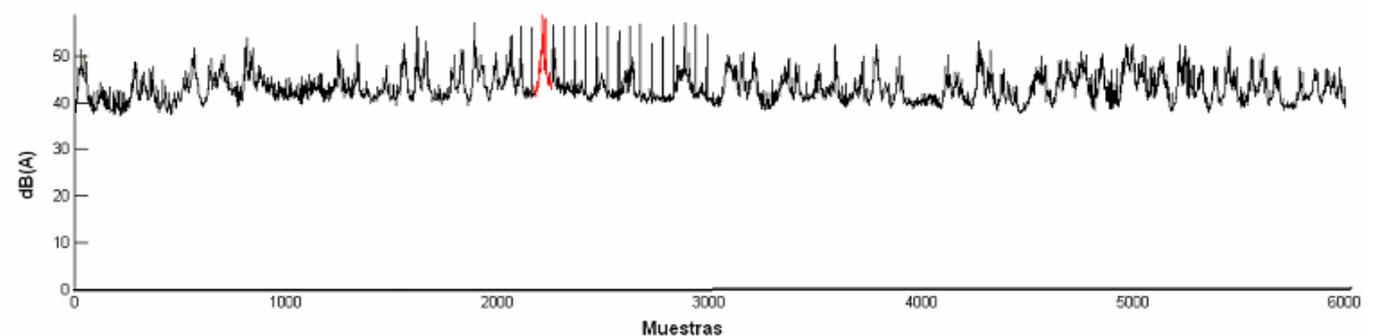
a) Rango seleccionado: Jueves 19 de 6:00- 7:00. $c=60,7$ dB(A)



b) Rango seleccionado: Jueves 19 de 6:50- 7:00. $c=64,7$ dB(A)



c) Rango seleccionado: Martes 17 de 6:00- 7:00. $c=58,9$ dB(A)



d) Rango seleccionado: Martes 17 de 6:00- 6:50. $c=58,1$ dB(A)

Figura 11

En el caso a) el evento es detectado a partir de un umbral $c=60.7$ dBA. El resto de la señal es ruido de fondo de bajo nivel, por lo que el nivel de corte es más bajo que en el caso b), donde la presencia del evento en un menor intervalo de tiempo hace que el nivel de corte se eleve.

Lo anterior puede resultar un problema ya que, a pesar de que evita el detectar como eventos el ruido de fondo, provoca en ciertos casos, caso d), que un evento no positivo sea detectado. El caso c) tiene un nivel de corte mayor que el d) pues a pesar de ser de mayor duración (una hora frente a cincuenta minutos), la presencia de eventos de alto nivel eleva la media y por tal el nivel de corte c .

Con todos los problemas mostrados y causados por la dependencia de la duración del rango de tiempos seleccionado, la mayor o menor presencia de eventos de alto nivel, el nivel de ruido de fondo y la distinción de los eventos con respecto a éste, se optó por establecer un umbral único y constante para cualquier señal, independientemente de su duración.

Por lo justificado al comienzo de éste apartado, se estableció un umbral de corte $c=62$ dBA constante. Así el diagrama de bloques que implementa la función de umbralizar queda definitivamente de la manera que se muestra a continuación:

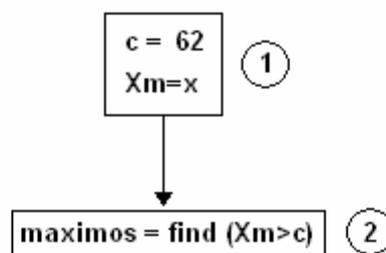


Figura 12. Cálculo del nivel de corte. Tercera opción

1.- Se establece el umbral de corte $c=62$ para cualquier señal independientemente de las características de cada una de ellas.

La señal x_m (señal original modificada), es en un primer momento igual a la original.

2.- Se define el vector *maximos* como aquel que guarda las posiciones absolutas de las muestras que, de la señal modificada (x_m), superan el umbral c establecido.

Con la elección de esta tercera opción atiéndase a los resultados obtenidos en los diferentes días para el mismo periodo de tiempo. Compárense el número de eventos detectados con cada una de las tres opciones estudiadas, de este modo se da por concluyente y la tercera opción que es la que mejores resultados presenta con una correlación $r= 0.991$ del vector de eventos reales con el vector de eventos detectados.

9-16 h	M	X	J	V	S	D	Coef. Corr (ρ)
Nº eventos Reales	26	37	60	52	42	34	
$c=\text{mediana}-(\text{cont}/3)$	27	36	26	2	3	34	-0,400
$c=\text{media}+15$	25	37	37	39	30	36	0,652
$c=62$	26	41	75	57	47	36	0,991

Número de eventos detectados según umbralización

En la mayoría de los casos se han detectado eventos por exceso, esto quiere decir que dichos eventos detectados de más son falsos positivos, pero no quiere decir que el resto de eventos sean todos ellos eventos positivos. Pudiera ser, como se comprobará posteriormente, que alguno de esos eventos que consideramos como positivos, sean falsos positivos.

No obstante, la mayor detección de eventos y la buena correlación de este tercer método, frente a los dos anteriores métodos proporciona garantías de que habrá un mayor número de eventos positivos detectados.

3.2.2 PRIMERA APROXIMACIÓN

En este apartado se estudiará el proceso de agrupación de muestras en eventos.

Efectivamente un evento, positivo o falso, está formado por una serie de muestras del vector original X .

Las detecciones son muestras que únicamente han superado el umbral, y que pueden pertenecer, o no, a un evento positivo. El primer paso es agrupar todas las muestras que puedan pertenecer a un mismo evento.

Los eventos se localizan fácilmente observando la derivada del vector *maximos* ($d(\text{maximos})$). Ejemplo:

maximos=	...	181	182	183	184	185	...	201	202	203	335	336	337	...	362	363	364	...
d(maximos)=	1	181	1	1	1	1	...	1	1	1	132	1	1	...	1	1	1	...

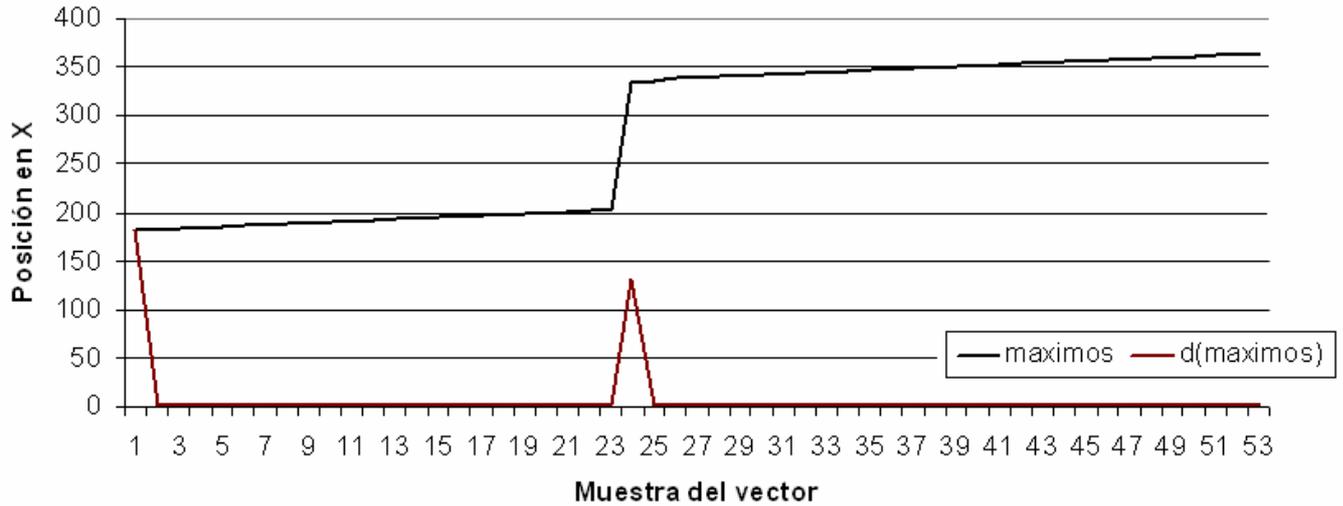


Figura 13

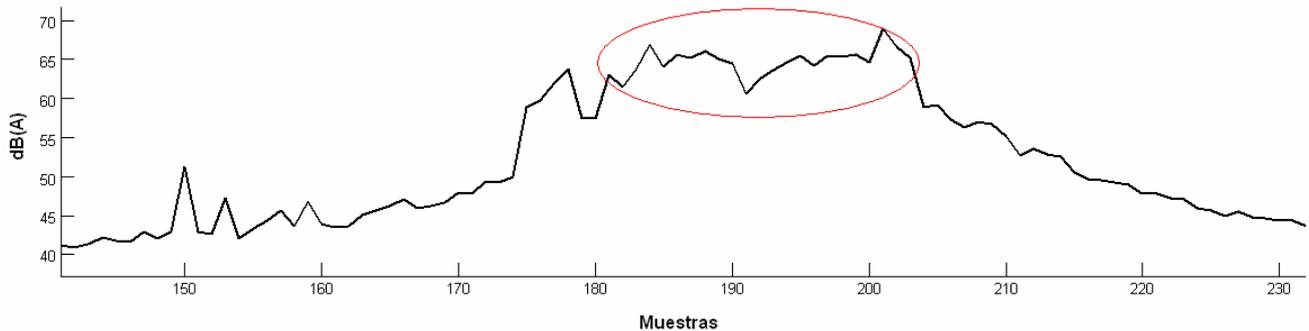
En aquellas posiciones en las que hay picos en el vector $d(\text{maximos})$ es donde se marca un *ítem*. Las muestras entre *ítems* definen un evento. Así pues habrá un evento desde la muestra 181 a la 203. Otro evento empieza en la muestra 335.

Ya se tienen pues todos los eventos definidos y acotados.

Los eventos definidos no son todos ellos eventos positivos, ni mucho menos la longitud de estos eventos es completamente la longitud real del evento. En esta *primera aproximación*, los eventos son sólo muestras que superan un umbral de corte, no son todas las muestras del evento real como se puede ver en la Figura 14.



a) Evento acotado en la primera aproximación



b) Evento real extraído de la señal original X

Figura 14

La imagen a) muestra el evento acotado del ejemplo anterior, éste es sólo la parte de mayor nivel energético del total del evento real (imagen b)).

En un primer intento de mejorar la detección se extiende la subida y la bajada agregando muestras al evento (hasta 8 segundos por cada subida o bajada) dando margen y consistencia a los eventos que, como en el caso de la Figura 14, sólo han sido detectados los niveles con mayor energía.

3.2.3 SEGUNDA APROXIMACIÓN

En este apartado se estudiará la manera de tomar la curva completa de una detección, lo que se hará es un seguimiento de la curva.

Como se ha mostrado, sólo se detecta una parte del evento real, la parte con más energía y que además supera el umbral. El objetivo es acotar aquellas muestras que pertenezcan a evento en su totalidad.

En esta *segunda aproximación* se trata la cuestión de tomar la curva completa; continuar agregando muestras a un evento cuando éstas cumplan cierta proposición. Se extenderán en el tiempo los eventos calculados en la *primera aproximación*, prácticamente alcanzarán la duración total del evento real.

Se muestra a continuación el algoritmo que resuelve el problema de continuar agregando muestras a fin de tomar la curva completa de los eventos:

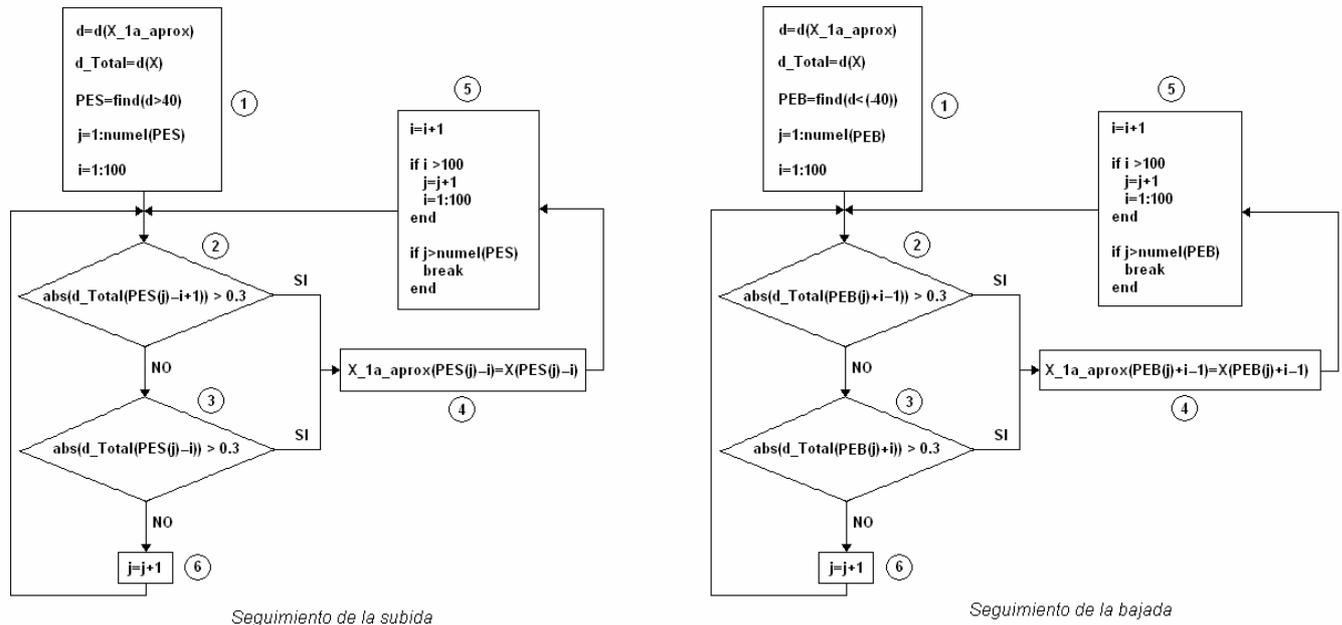


Figura 15. Seguimiento de la curva. Segunda aproximación

1.- Se definen las constantes y variables necesarias:

d_Total: derivada de la señal original X. En esta señal se chequeará si una muestra pertenece o no a la curva de un evento.

d: derivada de la señal obtenida en la *primera aproximación* (X_1a_aprox). En la señal derivada se detectarán los picos donde empiezan y terminan los eventos detectados.

PES: el vector *PES* (Posiciones de Subida de los Eventos) guarda aquellas posiciones en las que se encuentran los picos de la señal *d*. Se consideran los picos que superan los 35 dBA. Se buscan solamente los picos positivos, correspondientes a las subidas.

PEB: el vector *PEB* (Posiciones de Bajada de los Eventos) guarda aquellas posiciones en las que se encuentran los picos de la señal *d*. Se consideran los picos que son inferiores a -35 dBA. Se buscan solamente los picos negativos, correspondientes a las bajadas.

Se escoge el valor de 35 dBA porque en todos los casos los valores de las muestras de los eventos detectados en la *primera aproximación* superarán dicho umbral.

j : variable que se incrementa para recorrer todos los eventos detectados en la *primera aproximación*. Este puntero recorre los *ítems* (picos) marcados en los vectores *PES* y *PEB*.

i : variable que se incrementa para buscar en las muestras adyacentes a los picos. El rango de búsqueda es de 100 muestras (50 segundos) hacia delante y hacia atrás.

Se considera este rango de búsqueda como suficiente, en algunos casos no será necesario chequear las 100 muestras sino tan sólo algunas de ellas, eso dependerá de si se cumple o no la condición.

2 y 3.- Se comprueba si una de las dos muestras anteriores a la que marca el puntero i cumple con la condición de que en dichas posiciones la derivada de la señal original (d_Total) es mayor que 0.3 dBA.

La elección de 0.3 dBA se debe a que, mientras se produce la subida o bajada de un evento la pendiente suele ser próxima a 3 dBA, pero en instantes justo antes de la subida o justo después de la bajada (tiempos alrededor de 0.5 a 2 segundos) la señal es algo estable, con valores de la derivada (d_Total) muy próximos a 0 dBA.

Téngase en cuenta que esta observación no es algo que se cumpla en el cien por cien de los casos, pero si es cierto que sucede en la mayor parte de ellos. Se debe a la compensación del ruido de fondo con el inicio (y/ o final) del ruido de la aeronave.

4.- En caso de que se cumpla la premisa se agregará una muestra al evento correspondiente detectado en la *primera aproximación* y se pasará al siguiente evento (paso 5). A partir de que no se cumpla en dos posiciones consecutivas que la derivada de la señal original (d_Total) es mayor que 0.3 dBA se pasará al siguiente evento (paso 6).

Como se puede observar (Figura 16) se van agregando muestras mientras en dos pociones consecutivas d_Total es mayor que 0.3 dBA. Así pues las *muestras*

añadidas se concatenarán al correspondiente evento detectado en la *primera aproximación*.

Se comprueba que la premisa se cumpla en una muestra, y si no en su anterior para evitar casos en que en la señal original durante un evento (subida o bajada) dos muestras tomen el mismo valor o valores similares.

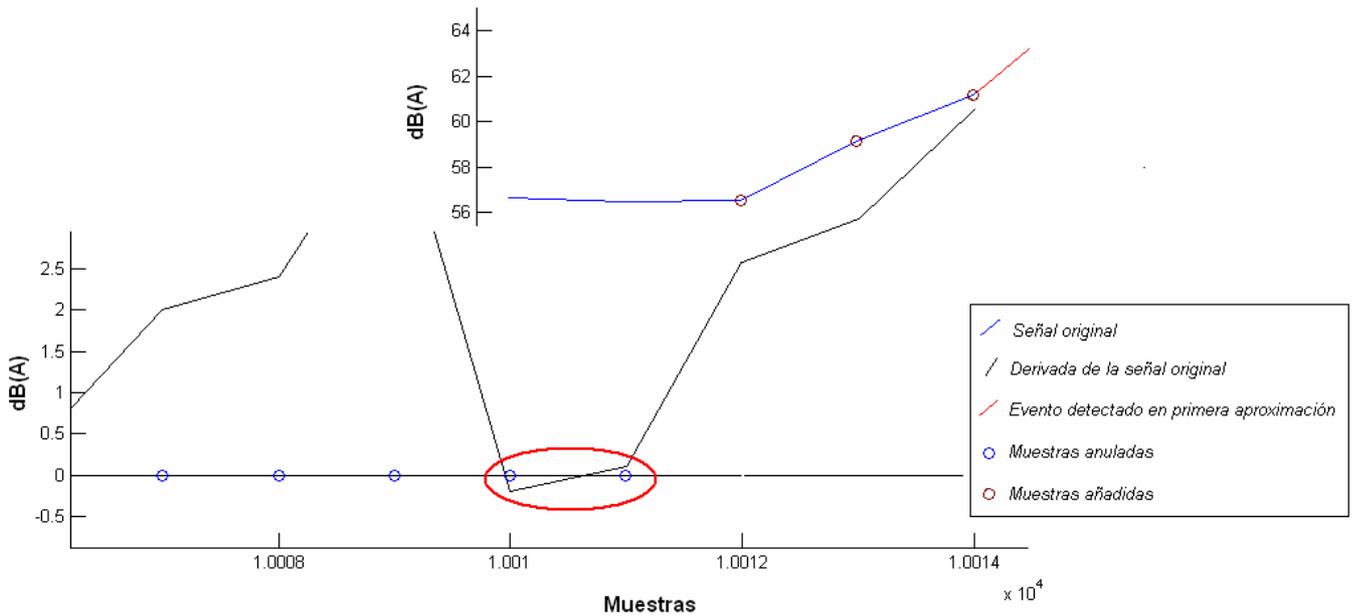


Figura 16. Proceso de concatenación de muestras a un evento detectado

Este es un punto importante, pues en realidad hay casos en que en medio de una subida (o bajada) el nivel de la señal se estabiliza durante más de un segundo (que es el tiempo de comprobación), con el consecuente problema que se cerrará el bucle para el actual evento y pasará el siguiente habiendo dejado una curva sin completar. Esto sucede en muy pocos casos y no es un problema crítico cuando se produce en la parte baja de la curva (cuando hay poco nivel), ya que el L_{Aeq} del evento no se verá muy influido. Figura 16.

5.- Cuando se cumple la condición se incrementa el puntero de muestras (i), así hasta 100 muestras. Cuando se haya realizado la comprobación en 100 muestras anteriores o posteriores (si fuese necesario realizarla en todas) se incrementa el puntero j que recorre los picos que marcan el inicio o final de un evento (valores de PES y PEB). Una vez recorridos todos los eventos se termina el bucle.

6.- En caso de que ya no se cumpla la condición para dos muestras consecutivas de un evento se incrementa el puntero j para realizar de nuevo la inspección en otro evento.

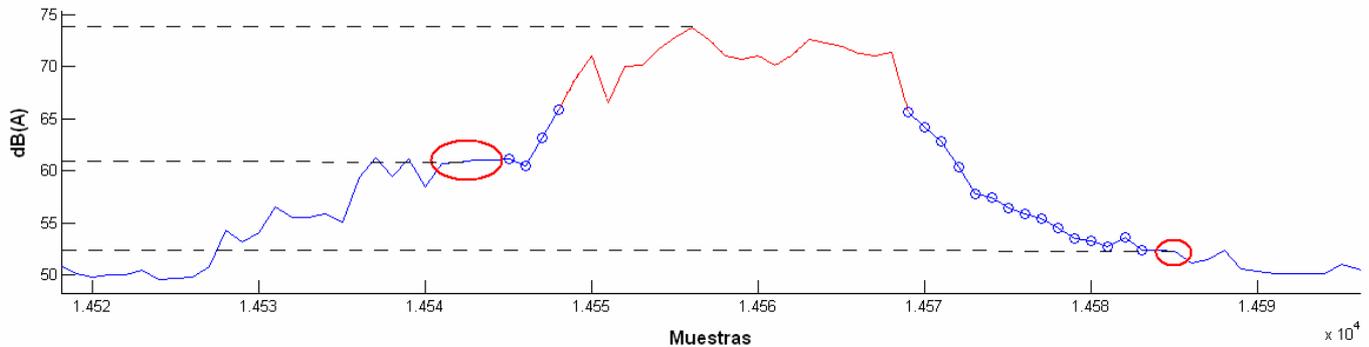


Figura 17. Concatenación de muestras. Parada de concatenación en medio de una subida y una bajada

Como se puede observar este es un caso en el que tanto en la subida como en la bajada de la curva aparecen niveles constantes en tiempo de más de un segundo.

En este evento el proceso de concatenación de muestras se ha detenido tanto en la subida como en la bajada por no cumplir con la condición.

El caso de la subida puede ser algo problemático pues se dejan de añadir muestras al evento en niveles 12 dB por debajo del máximo del evento, la diferencia del L_{Aeq} del evento será muy pequeña pero algo cambiará. En la bajada no es ningún problema que la iteración no añada más muestras pues las muestras obviadas están a niveles inferiores a 23 dB del máximo del evento, es evidente que no tendrán efecto energéticamente en el L_{Aeq} del evento.

El problema más significativo de no detectar bien la curva se presenta a la hora de definir la duración del evento. Se tomará como duración la que existe entre la primera y última muestra concatenada, si se han eliminado muestras de la curva la duración del evento detectado será menor.

Este es un problema despreciable si las muestras no detectadas tienen un nivel 20 dB menor⁴, o más, que el máximo del evento. El problema se acentúa si esto no es así ya que se calculará un L_{Aeq} del evento que no es el exacto.

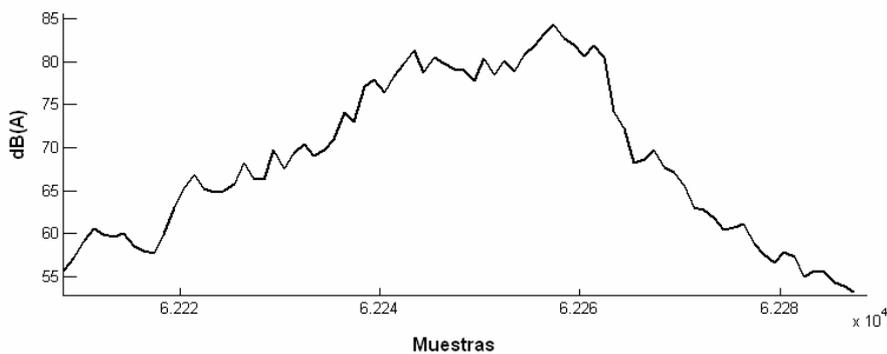
⁴ El por qué de los 20 dB se explica más adelante en el documento.

3.2.4 TERCERA APROXIMACIÓN

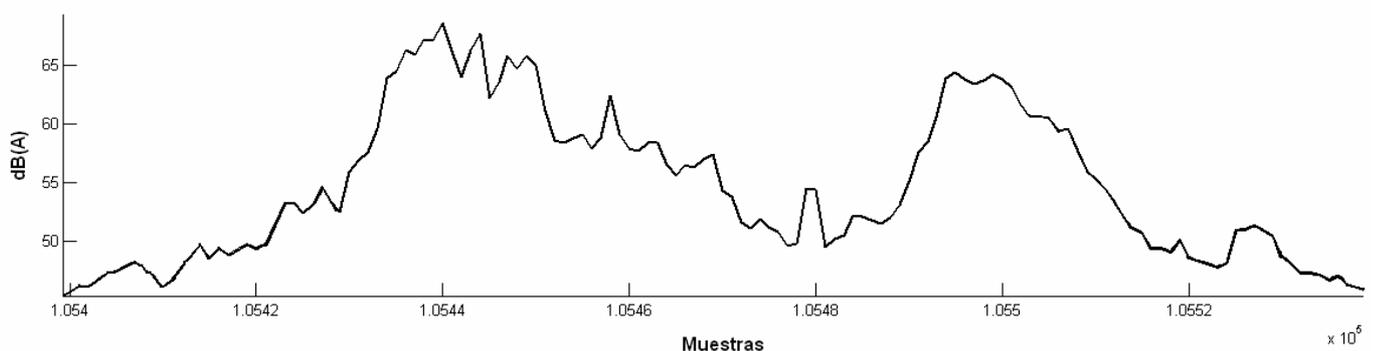
En este apartado se trata de unir detecciones diferentes pero apenas separadas en el tiempo y que pertenecen a un mismo evento. Se realizará una unión de eventos fragmentados.

Hasta este punto se han detectado las muestras que superan un cierto umbral, las muestras contiguas se han agrupado en eventos, que pueden ser eventos positivos o falsos eventos, y a estos eventos detectados se les han agregado las muestras que continúan las pendientes.

Aunque pueda parecer que la acotación de los eventos esté concluida esto no es así. Todos los eventos no tienen la misma forma, aunque bien es verdad que



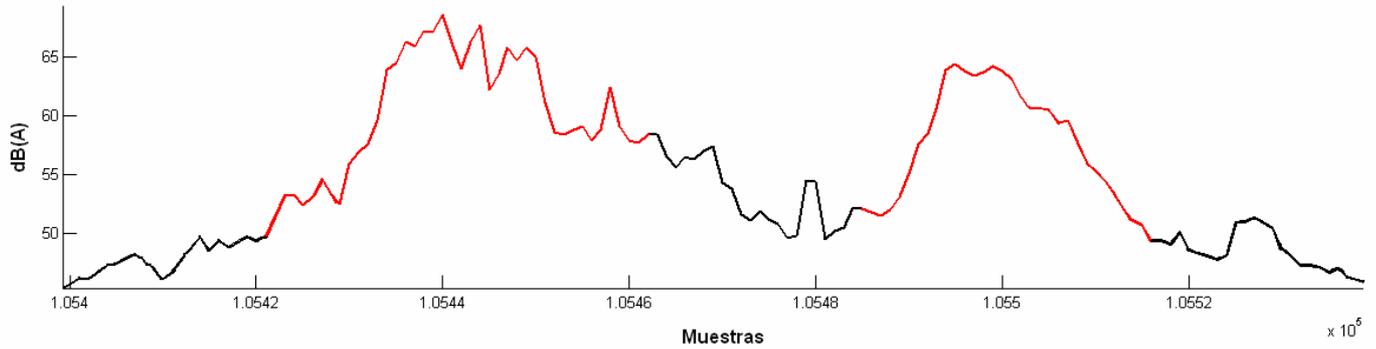
a) Forma típica del ruido producido por aeronaves



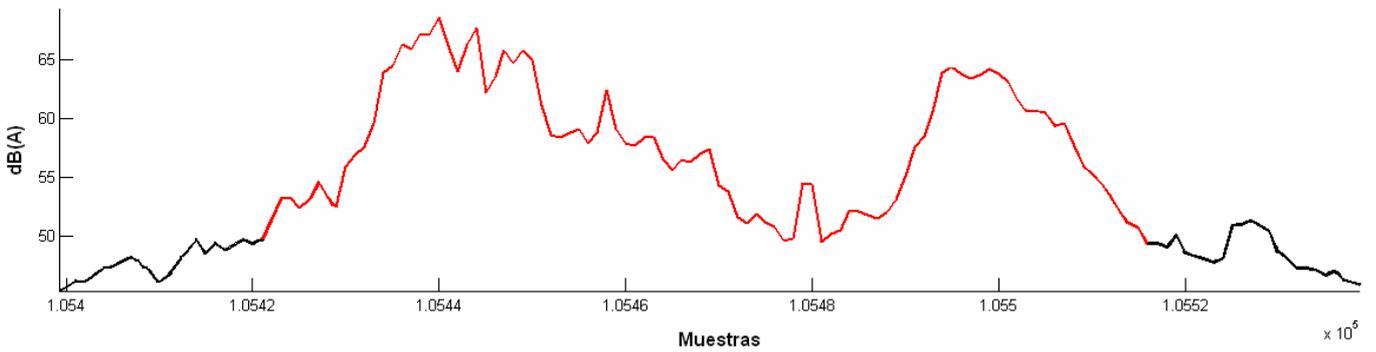
b) Evento con doble subida de nivel

Figura 18

existe una forma típica (Figura 18) no todos la siguen.



c) Doble detección en un mismo evento



d) Unión de las dos diferentes detecciones

Figura 18

Los eventos con doble subida de nivel, como la curva b), son generalmente detectados como dos eventos diferentes (representación c)). Para solucionar el problema los eventos que estén separados entre sí un tiempo menor que 30 segundos (60 muestras) se concatenarán.

La elección de las 60 muestras ha sido un resultado empírico sobre el espacio temporal que mejor se detectaba el número de eventos, no tanto por diferencias de nivel si no por número de eventos detectados.

Atiéndase en la siguiente tabla los resultados de los coeficientes de correlación obtenidos y calculados entre el número de detecciones reales por día y los detectados según el nivel de búsqueda. (Figura 19)

Tabla 2. Eventos detectados según nivel de búsqueda

9-16 h		M	X	J	V	S	D	Coef. Corr (ρ)
Nº eventos Reales		26	37	60	52	42	34	
Detectados	45 muestras	27	41	57	55	51	43	0,927
	55 muestras	27	40	54	54	50	40	0,923
	60 muestras	27	40	53	54	47	40	0,935
	65 muestras	27	39	52	53	47	40	0,927
	70 muestras	27	39	50	53	47	38	0,911
	Sin búsqueda	28	43	60	56	54	46	0,913

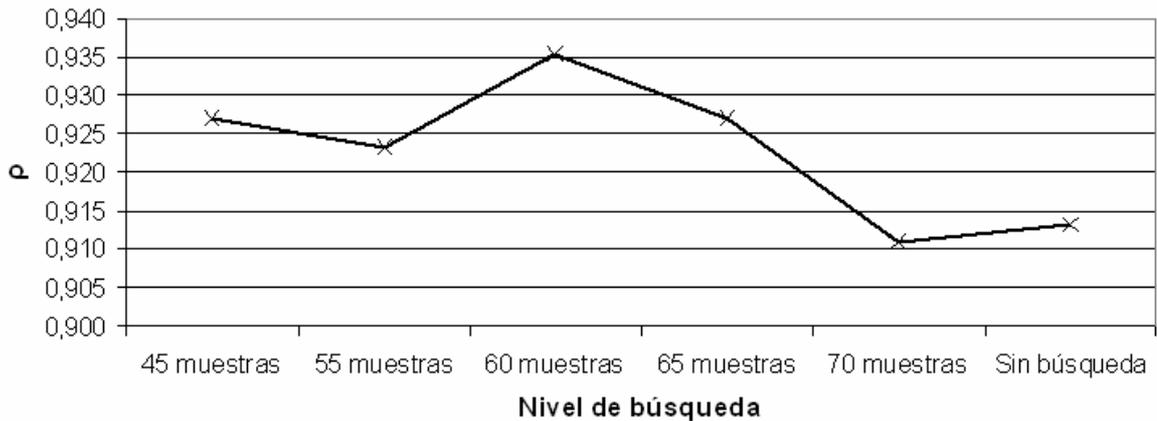


Figura 19. Correlación de las series según nivel de búsqueda

Aunque varíe el número de detecciones no lo hace el L_{Aeq} total del periodo de tiempo de interés. Se debe a que los tramos que unen dos subidas pertenecientes a un mismo evento son depresiones de nivel cuyo aporte energético al total es muy pequeño. Obsérvese en la Figura 20 como la depresión energética toma valores suficientemente menores, en muchos de los casos, que el máximo del evento y en general que los niveles de las dos subidas (diferencias de 10 a 15 dB).

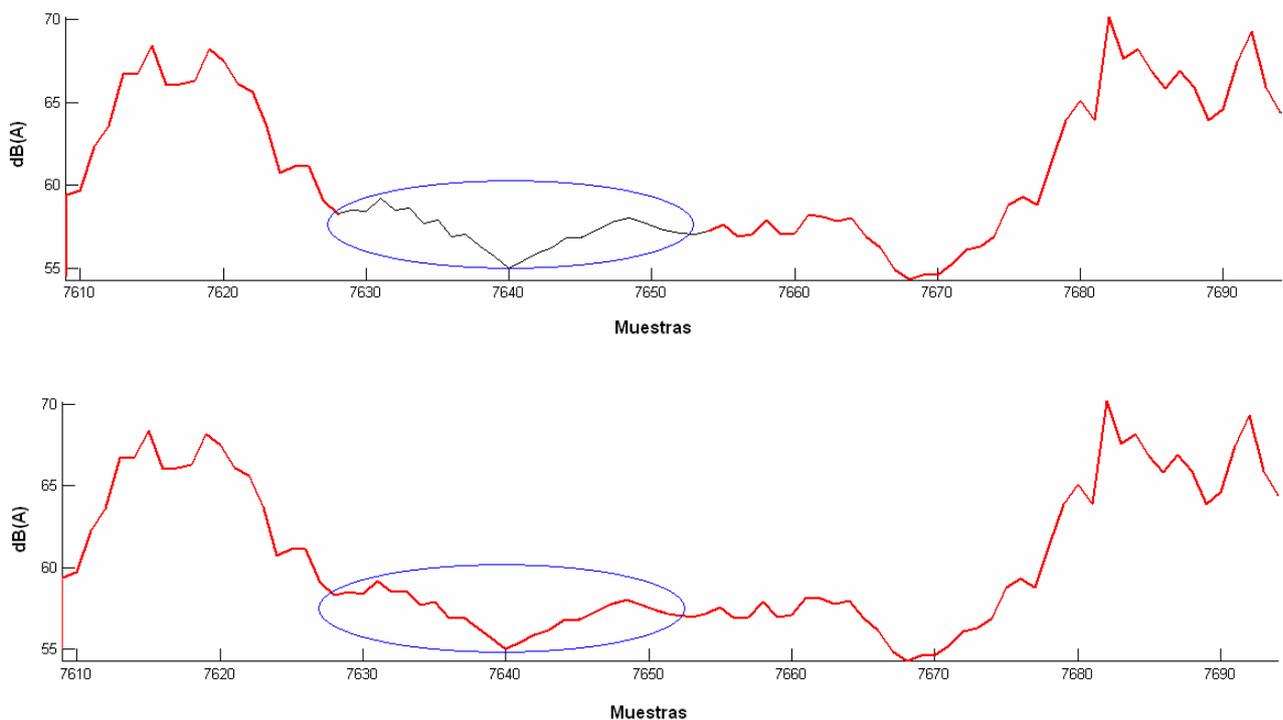


Figura 20. Unión de eventos fragmentados. Unión zona de bajo nivel

A continuación se muestra el diagrama de bloques del código que implementa la función anteriormente descrita. Se explica seguidamente cada uno de los pasos:

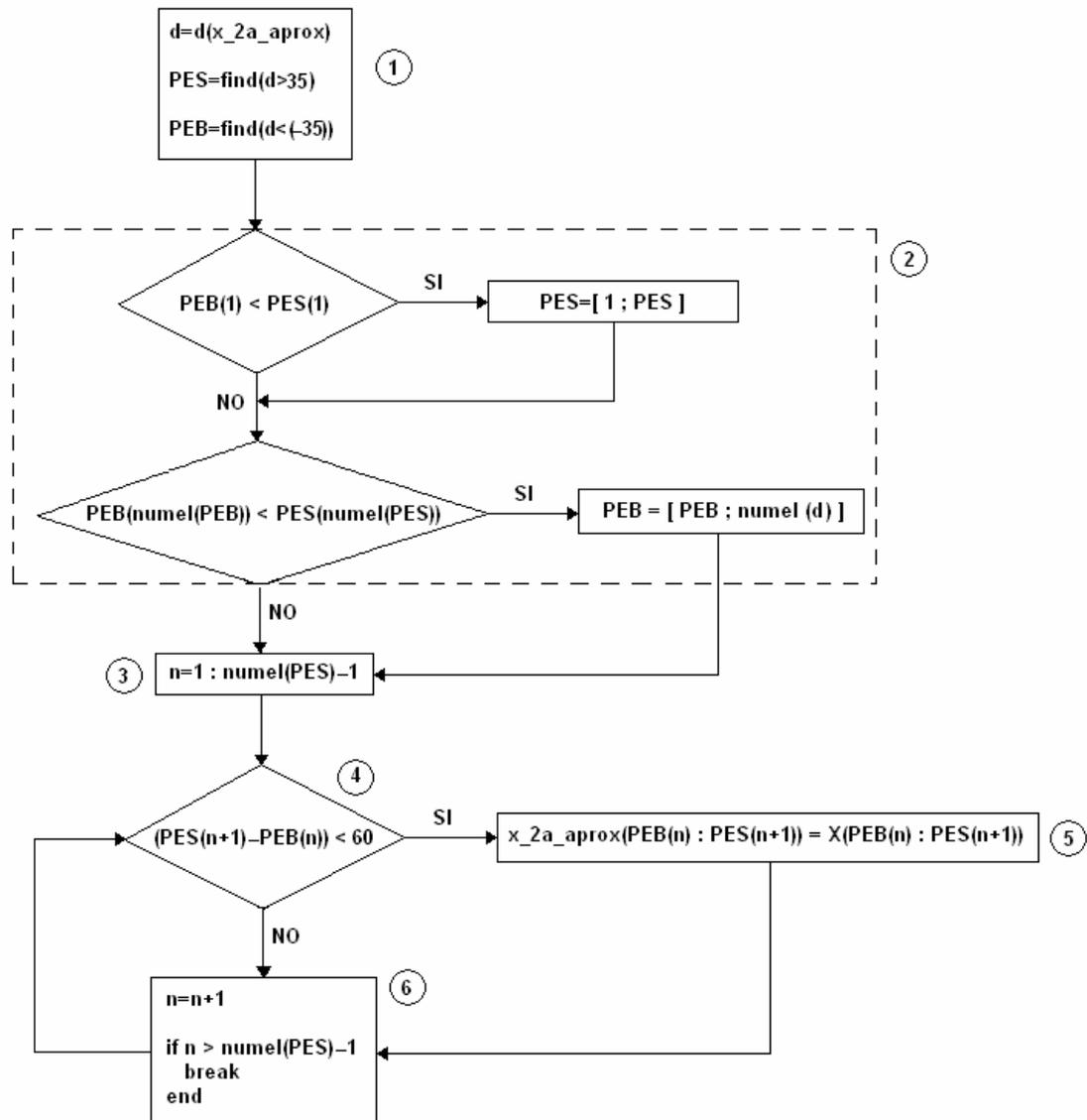


Figura 21. Unión de eventos fragmentados

1.- Se definen los vectores que van a ser utilizados en el algoritmo:

d : este vector es la derivada de la señal obtenida en la *segunda aproximación* (X_{2a_aprox}) en la que se había agregado muestras a las eventos para tomar la curva completa. Esta derivada, d , marca los picos (*ítems*) donde se produce el inicio o el fin de un evento.

Se utilizan estos marcadores para señalar la posición en la que empieza o termina un evento. Así se definen los vectores PES y PEB .

El vector PES (Posiciones de Subida de los Eventos) guarda las posiciones en las que empieza un nuevo evento. Estas posiciones serán las que cumplan que la derivada d en ese mismo punto tenga un valor mayor o igual que 35 dBA.

Por otra parte el vector *PEB* (Posiciones de Bajada de los Eventos) guarda las posiciones en las que finaliza un evento detectado. Estas posiciones serán aquellas en las que la derivada *d* tome un valor menor o igual que -35 dBA.

2.- Se adecuan los elementos de los vectores *PES* y *PEB*:

Se comprueba que el primer y último elemento de los vectores tenga una relación coherente, i.e., que el primer elemento del vector *PES* sea menor que el primer elemento del vector *PEB*.

Aunque parezca incoherente la comprobación, no lo es. Hay ocasiones en las que el inicio y/o el final del rango de tiempos seleccionado puede 'caer' en mitad de un evento (Figura 22). Si es así, cuando el evento se encuentra al principio del rango de tiempos no se detectará en ese evento ningún flanco de subida, no habrá un pico en la derivada *d* por lo que la búsqueda entre un pico de subida y el siguiente de bajada estará descompasada.



Figura 22. Evento al comienzo del tiempo seleccionado

Del mismo modo, cuando un evento cae al final del rango de tiempo seleccionado no se detectará en ese evento el flanco de bajada, no habrá un pico (negativo) en la derivada *d* y se producirá un error al recorrer vectores.

Obsérvese el siguiente ejemplo en el que se ha detectado un evento al comienzo del rango de tiempos seleccionado (sábado 21, 9-16 h):

Tabla 3. PES y PEB de una señal con evento detectado al inicio de rango de tiempos

PES	1867	1956	3684	5915	5996	...	44763	46694	48354	-
PEB	54	1925	1979	3740	5933	...	44668	44822	46754	48396

Como se puede ver el primer elemento del vector PEB marca una posición menor que el primer elemento del vector PES. Se produce así una descompensación a la hora de tomar parejas. El vector PEB tiene un elemento más cuando en realidad ambos tendrían que tener los mismos, ya que toda subida de energía conlleva una bajada, todo evento comienza y termina.

Así pues con todo ello, si un evento se encuentra al comienzo del rango de tiempos seleccionado, al vector PES se agrega la primera muestra del rango de tiempo seleccionado. Del mismo modo si un evento se encuentra al final del rango de tiempos seleccionado al vector PEB se agrega la última muestra del rango de tiempos seleccionado.

3.- Se define el contador n que va desde 1 hasta el número total de eventos menos uno.

Que el contador no tenga en cuenta uno de los eventos se explica a continuación con el paso 4:

4.- Se comprueba si la distancia entre eventos es menor que 60 muestras.

Para realizar la búsqueda se hace la diferencia entre la posición del flanco de subida de un evento y el flanco de bajada del anterior. La comprobación se hace desde el segundo evento, pues no se puede buscar desde el flanco de subida del primer evento hacia atrás puesto que no hay ningún evento anterior. Es por ello que el contador n no tiene en cuenta un evento, el primero.

5.- En caso de que se cumpla la comprobación anterior se agregarán al vector X_{2a_aprox} las muestras correspondientes al intervalo entre flancos y que se extraen de la señal original X .

6.- No se ha detectado que dos eventos consecutivos pertenezcan en realidad al mismo porque la distancia entre ellos es mayor de 60 muestras.

Se incrementa el contador y se vuelve a realizar la comparación, así sucesivamente hasta que el contador ha recorrido todos los eventos posibles.

3.2.5 CUARTA APROXIMACIÓN

En este apartado se explicará la metodología seguida para la eliminación de eventos falsos positivos.

Como se ha mencionado anteriormente, la detección de un evento que no es un ruido de aeronave e identificarlo como tal es un error más grave que no identificar los eventos que en realidad están producidos por ruidos de aeronaves.

Es por ello que para darle mayor solidez al resultado final se implementarán algoritmos que eliminen cuantos más eventos falsos positivos se encuentren en el resultado final.

Se han implementado dos algoritmos que, combinados, intentan eliminar falsos eventos positivos. Uno de ellos buscará propiedades en el dominio temporal, el otro en el dominio frecuencial.

3.2.5.1 DETECCIÓN DE PICOS

En la mayoría de los casos eventos falsos positivos son identificados por un pico de energía de alto nivel y que ha superado el umbral de corte c . Estos picos de energía suelen tener una duración inferior a 2 ó 3 segundos. Como se puede observar en la Figura 23 la gran parte de estos eventos están caracterizados por un pico de energía de corta duración. Se trata de sonidos con componentes impulsivas como el arranque de una moto, un cortacésped, o el ruido de una persiana al subir.

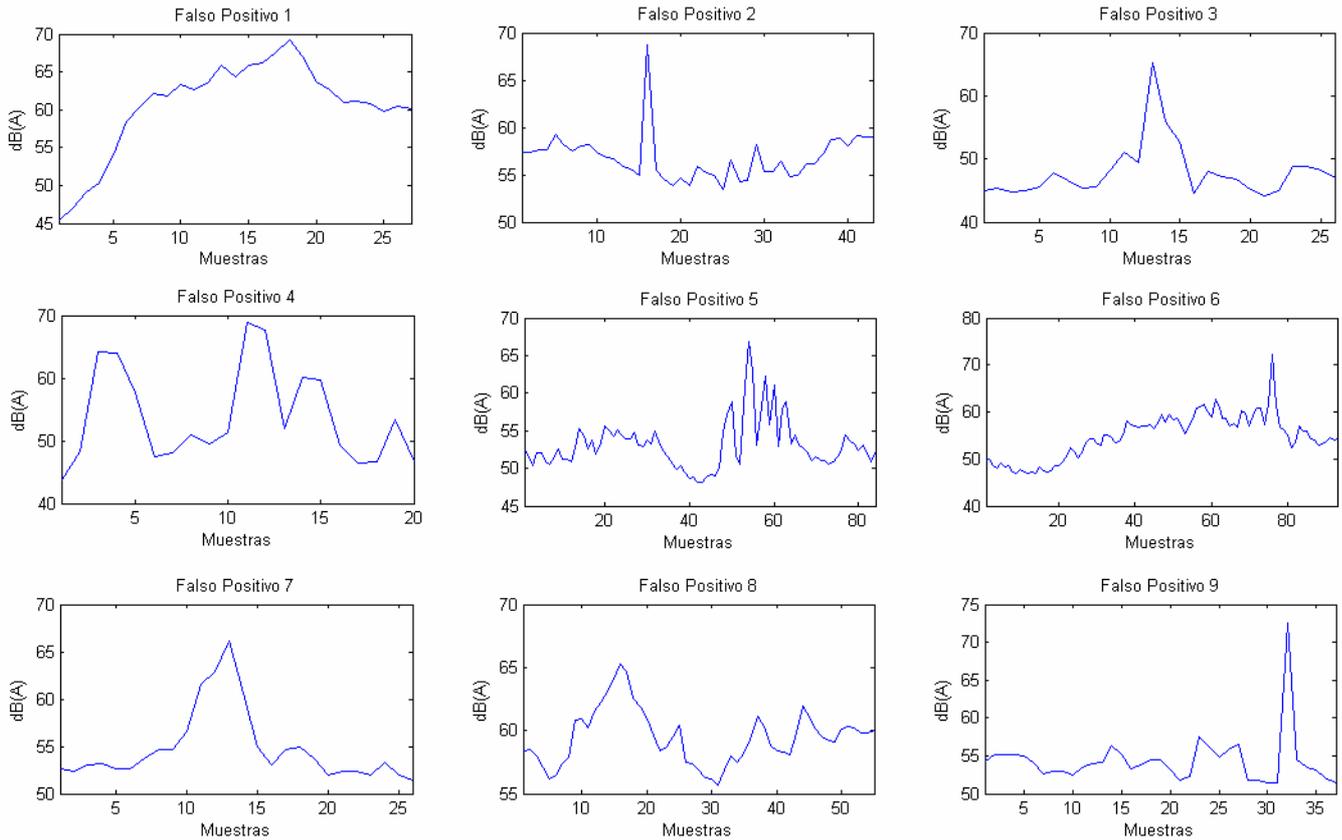


Figura 23. Diferentes detecciones de Falsos Positivos

El método que se explica a continuación trata de discernir cuales son estos falsos positivos según la duración del pico.

La comprobación se hace calculando cuantas muestras hay en el rango de energía entre el máximo y diez decibelios por debajo de éste. Si la duración del pico es menor o igual a 2.5 segundos (cinco muestras) se considerará que es un falso positivo y será eliminado del resultado final. En caso contrario se considerará el evento como un evento positivo.

Bien es cierto que no todos los falsos positivos cumplen la premisa anterior, pero la búsqueda de picos de duración igual o menor a 2.5 segundos es la que mejores resultados ha presentado según la siguiente tabla:

Tabla 3. Eventos detectados por discriminación de picos según duración de éstos

9-16 h		M	X	J	V	S	D	Coef. Corr (ρ)
Nº eventos Reales		26	37	60	52	42	34	
Detectados	3 muestras	27	40	53	54	47	40	0,935
	4 muestras	27	39	53	54	47	39	0,942
	5 muestras	27	39	52	53	45	38	0,951
	6 muestras	25	39	49	51	41	34	0,945
	7 muestras	24	39	49	50	41	34	0,946

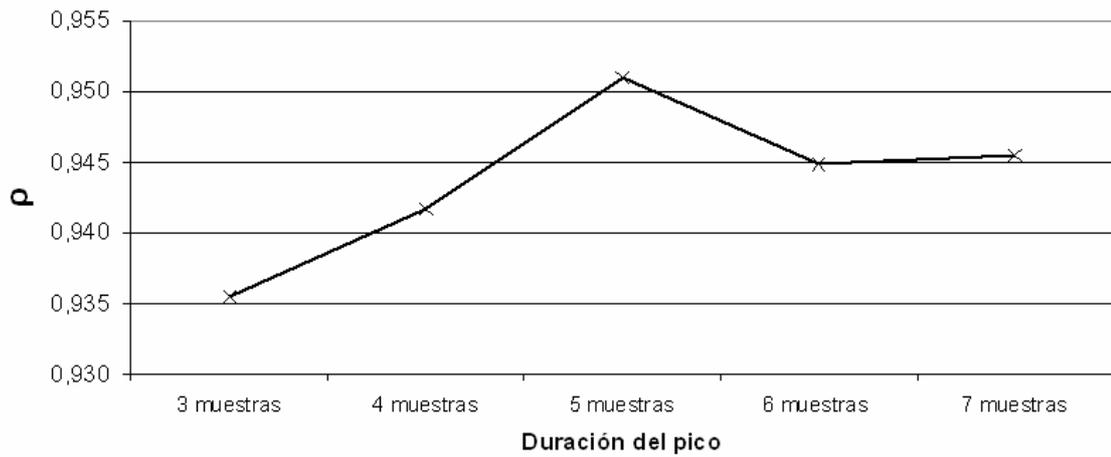


Figura 24. Correlación de las series según la anchura del pico

Algunos de estos picos no están bien definidos, por lo que su eliminación por este método será costosa.

A continuación se presenta el diagrama de bloques que implementa la función descrita, y que es ejecutada sobre cada evento detectado. Este algoritmo únicamente calcula la duración del pico detectado de cada evento, en este punto no se realiza la discriminación todavía:

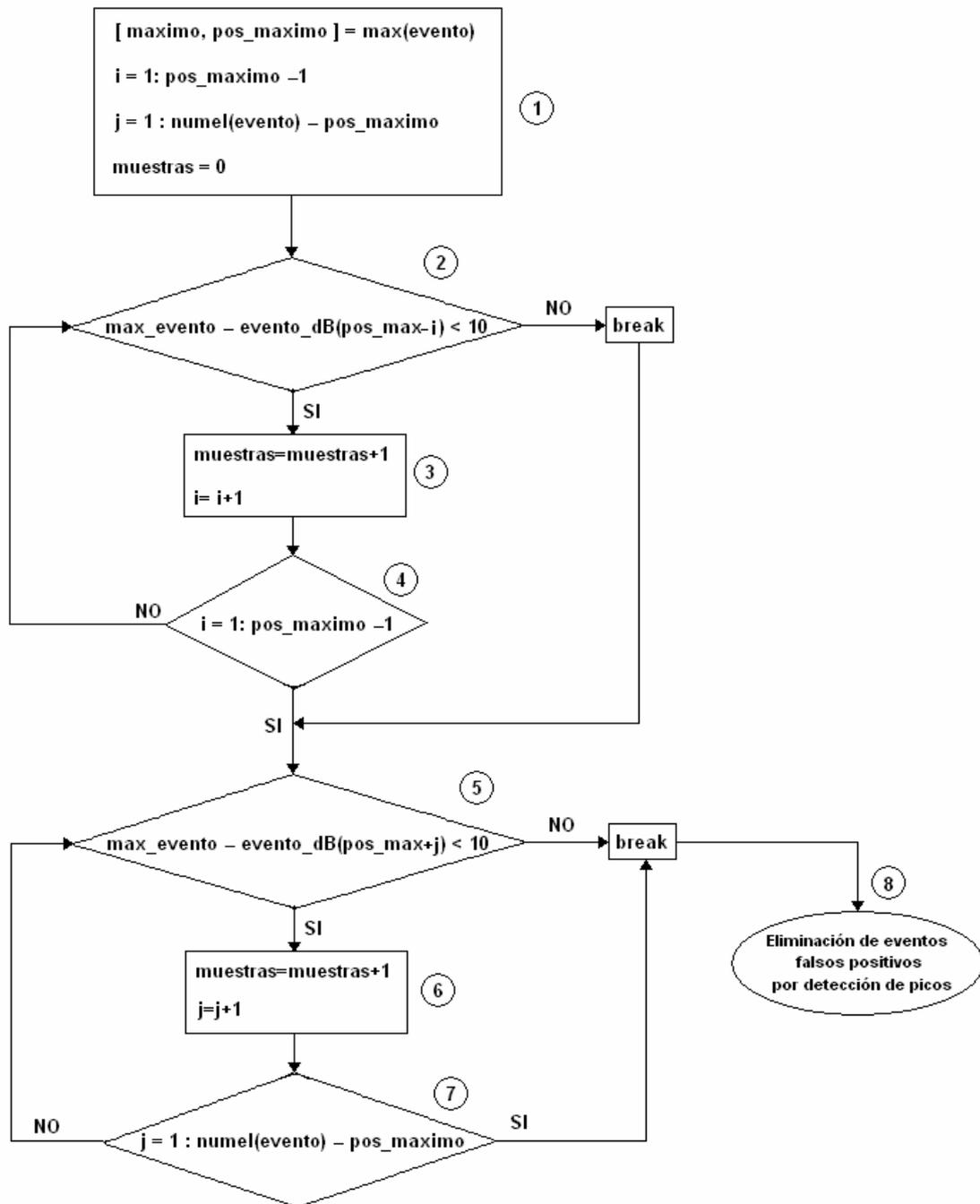


Figura 25. Duración de Picos de los eventos

1.- Se definen constantes y variables:

maximo, *pos_maximo*: para cada evento detectado se calcula su máximo de energía (*maximo*) y la posición (con respecto al número de muestras del evento) en la que se encuentra éste (*pos_maximo*). El valor de *maximo* en los eventos falsos positivos, es el pico que, en los que se encuentre, servirá para identificarlos y poder así eliminarlos.

i y j son los punteros para recorrer el vector (el evento correspondiente) en búsqueda de la duración del pico de energía detectado. El puntero i servirá para recorrer el vector desde el punto máximo (pos_maximo) hacia atrás. El puntero j servirá para recorrer el vector desde el punto máximo hacia adelante.

muestras: la variable *muestras* contará cuantas muestras componen la subida de nivel, que recordemos que para ser considerado un pico de energía que no corresponda a un ruido de aeronave el número de muestras deberá ser menor o igual que cinco (de 0.5 a 2.5 segundos).

2 y 5.- Se comprueba con el puntero i si la muestra i -ésima anterior (o j -ésima posterior) al máximo es a lo sumo 10 dB menor que el máximo. Si no lo es, termina la comprobación, no se seguirá incrementando la variable *muestras*. En caso de serlo continúa la comprobación.

Se considera que la diferencia de 10 dB con respecto al máximo en un rango de tiempo de 0.5 a 2.5 segundos es suficiente como para considerar que el incremento energético no pertenece a un ruido de aeronave.

3 y 6.- En caso de ser cierta la comprobación anterior se incrementará la variable *muestras*. El proceso continúa iterativamente hasta que no se cumpla la condición o se haya recorrido todo el evento (pasos 4 y 7).

8.- Se llama al algoritmo de eliminación de eventos falsos positivos.

El algoritmo que discrimina si se trata o no de un falso positivo es el que se muestra a continuación:

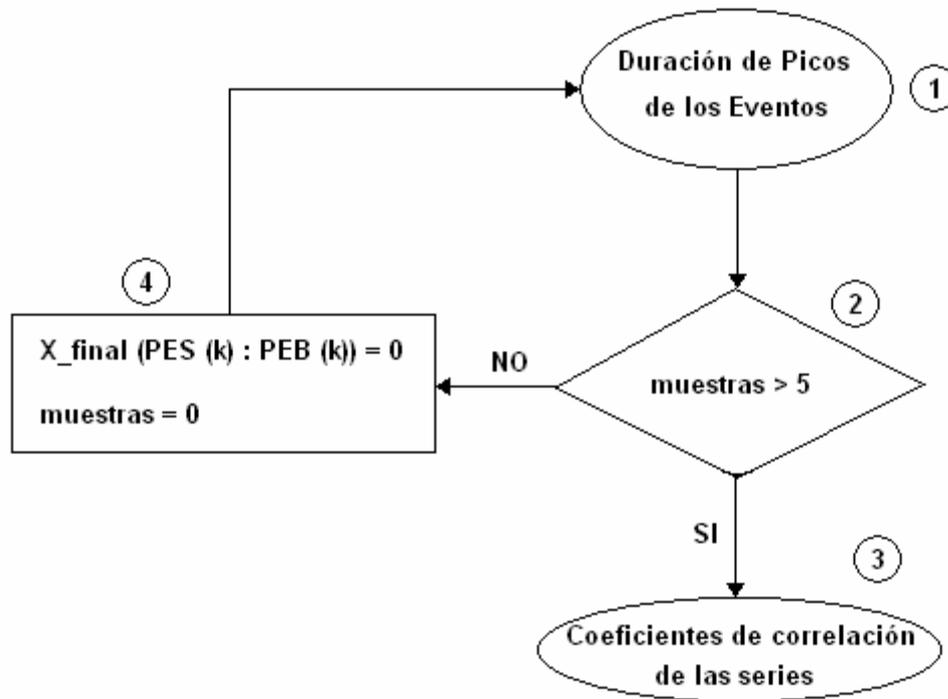


Figura 26. Eliminación de eventos falsos positivos por detección de picos

1.- El algoritmo de cálculo de la duración de los picos de los eventos llama a la actual función cuando ha calculado el número de muestras que componen la subida de nivel de un evento.

2.- Se comprueba que la duración de la subida energética sea menor que 2.5 segundos (cinco muestras). En caso de serlo se considerará el evento como un evento positivo, por el contrario, en caso de que no se cumpla la comparación se considerará el evento como un falso positivo y será eliminado.

3.- En caso de tratarse de un evento positivo, en una primera aproximación, se realiza una segunda comprobación mediante el estudio en el dominio de la frecuencia. Esta idea se explica en el siguiente apartado.

4.- En caso de identificar el evento como un falso positivo se anularán las muestras correspondientes a dicho evento en el vector X_final , que contendrá únicamente los eventos detectados como positivos

La detección de la subida y la bajada que identifica a un único evento se realiza con las muestras de los vectores PES y PEB que contienen las posiciones en las que se encuentran las subidas y las bajadas respectivamente. Éstas han sido calculadas con la derivada de la señal de salida de la *tercera aproximación*.

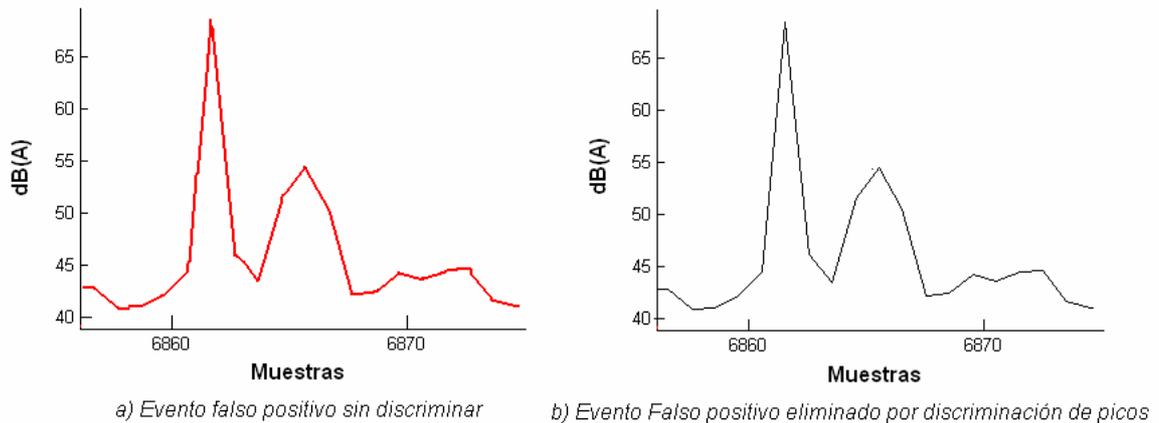


Figura 27

Obsérvese en la Figura 27 como ha sido eliminado un evento falso positivo por discriminación de picos. Como dato, de los nueve eventos falsos positivos presentados en la Figura 23 (pertenecientes a distintos periodos de tiempo) siete de ellos han sido eliminados: los eventos 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9.

A continuación se muestra una serie de eventos positivos, obsérvese la variabilidad de tiempos y la forma de éstos que, aunque en la mayoría de ellos se observa la forma típica de subida y bajada, no es igual en todos los casos, hay eventos con doble subida y otros que sencillamente no presentan ningún aspecto que destacar.

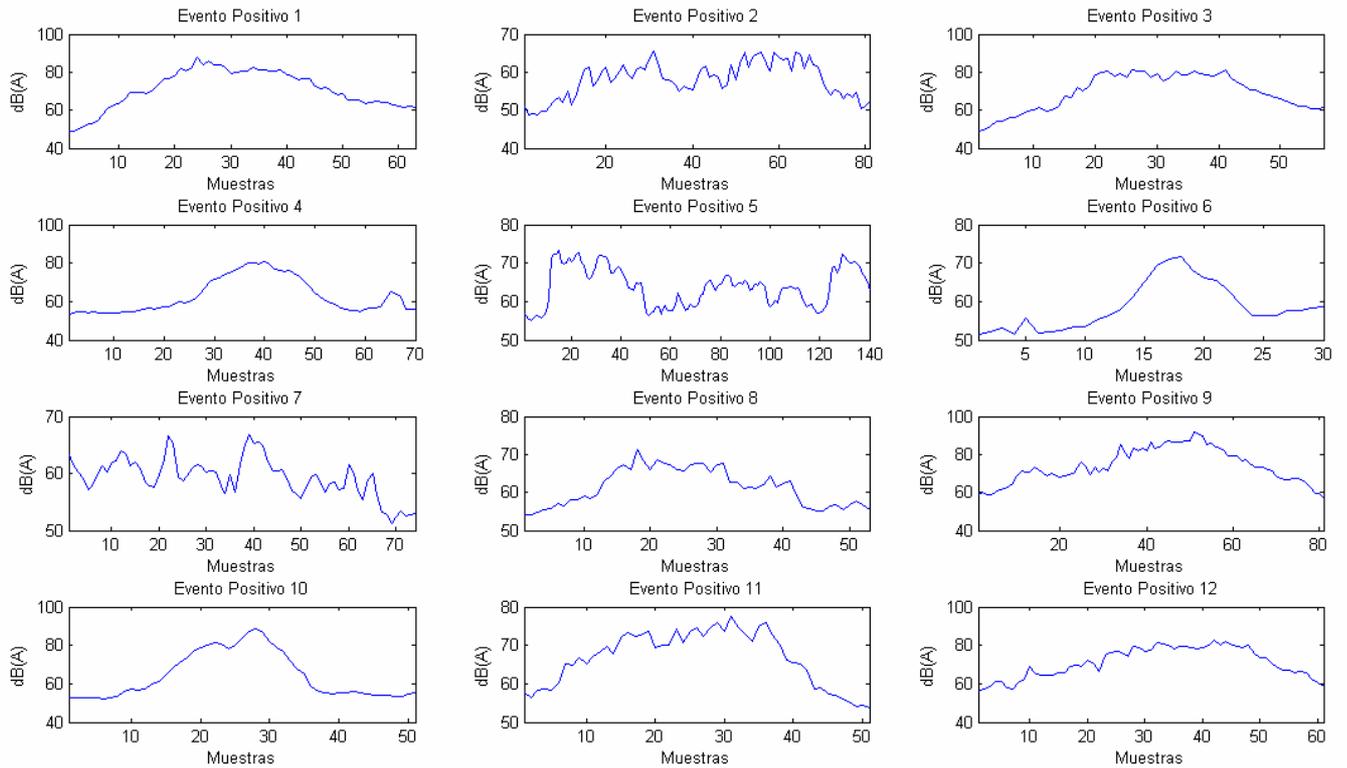


Figura 28. Diferentes eventos positivos

Los eventos con doble subida pudieran ser producidos por una maniobra de vuelo, como en el caso número 5 que se muestra en la Figura 28.

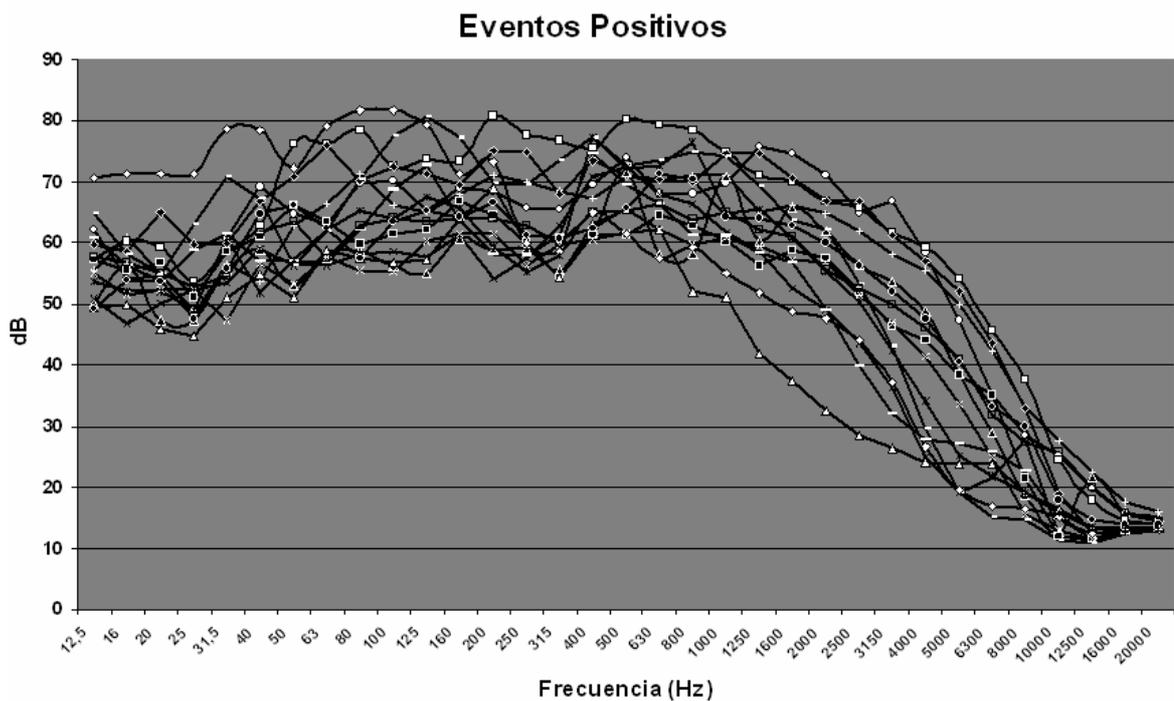
Obsérvese la siguiente tabla, en la que se presentan los niveles de los eventos positivos mostrados en la Figura 28 y los eventos negativos de la Figura 23. Todos los eventos positivos serán considerados como tal por el algoritmo, de los nueve eventos falsos positivos mostrados, siete de ellos el algoritmo los definirá como tal y serán eliminados.

Los eventos falsos positivos que no han podido ser identificados por este algoritmo que realiza la búsqueda de componentes pseudo-impulsivos en el dominio del temporal, serán estudiados en el dominio de la frecuencia. Estudiemos pues un segundo algoritmo que intentará eliminarlos para dar un resultado definitivo.

3.2.5.2 ESTUDIO DE ESPECTROS

Veamos algunas de las características que se pueden extraer de eventos detectados y comprobados como positivos y además características de eventos detectados como positivos pero que realmente no lo son.

A continuación se muestran los espectros en bandas de un tercio de octava de quince eventos positivos y quince falsos positivos:



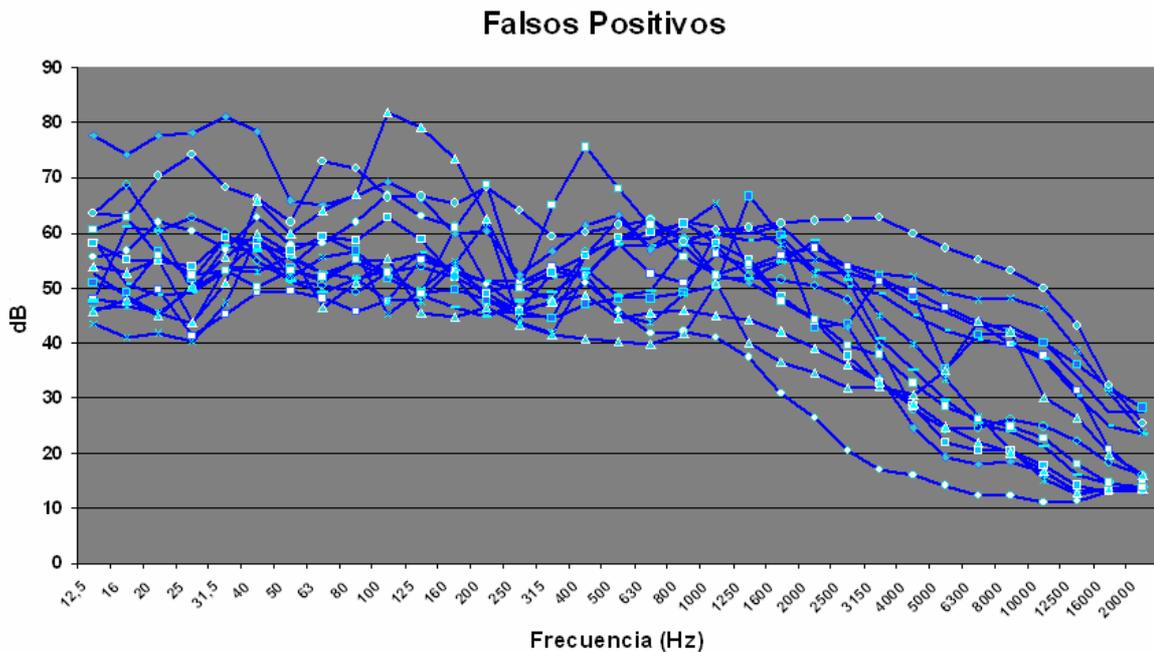


Figura 29. Espectro en bandas de eventos positivos y falsos positivos

Como se puede notar todos los eventos positivos son energéticamente diferentes entre sí pero todos ellos describen una tendencia definida (ver Figura 4), algo que no se puede decir que claramente ocurra con eventos falsos positivos.

A bajas frecuencias los ruidos producidos por aeronaves tienen un nivel alto, y sus valores están entre 50 dB y 60 dB. La variabilidad de los valores depende, naturalmente, del ruido producido por cada aeronave y del punto de medida pero en general esta variabilidad es menor que la que se produce a bajas frecuencias en eventos identificados como aeronaves pero que no lo son en realidad.

A frecuencias medias los ruidos de aeronaves producen mayor nivel que los falsos positivos. Siguen una tendencia creciente y presentan (en media) una pequeña depresión energética alrededor de la banda de 250 Hz que paradójicamente, o no, también es característica de los falsos positivos (en media), aunque en éstos la depresión no es posterior a una subida energética, ya que a frecuencias medias los niveles son suficientemente constantes y con una ligera tendencia decreciente.

La característica de depresión energética en bandas de 250 Hz a 315 Hz está presente en todos los ruidos.

Se pensó en un principio que la causa pudiera ser que la habitación de la vivienda en la que se estaban tomando las medidas hiciese de resonador (resonador de Helmholtz) a dichas frecuencias y que por tal absorbiese energía que no captarían

los micrófonos por encontrarse en el exterior. Un cálculo rápido rechazó la hipótesis pero no por completo. Se obtuvieron frecuencias resonantes (f) en banda baja próximas a los 100 Hz para dimensiones típicas de una ventana (A : área en m^2), el grosor de la misma (L : longitud en m) y el volumen de la habitación (V : volumen en m^3).

$$f = \frac{c}{2\pi} \times \sqrt{\frac{A}{L \times V}} \quad (\text{Hz})$$

Por otra parte se pensó que no sería posible esto pues el micrófono en el exterior debiera de estar aislado del ruido de la habitación, persianas bajadas y ventana cerrada, a no ser que el propietario de la vivienda, por alguna razón, la abriese.

No obstante se sigue creyendo que hay algún tipo de fenómeno ondulatorio en la zona de medida porque no se puede achacar esta característica a ningún tipo de ruido en concreto.

Pudiera haber sido interesante un estudio del caso, teniendo en cuenta que el micrófono estaba situado hacia un jardín arbolado y bajo el saliente del tejado de la vivienda (lo suficientemente alejado).

Por todo ello se concluye que las curvas medias de los espectros calculadas pueden tener características propias del lugar donde se midió. Sería de rigor haber realizado medidas en más lugares para realizar un promedio más exacto.

Hasta los 2000- 2500 Hz aparece una cresta energética en los eventos positivos que los diferencia notablemente de los falsos positivos. Esta subida energética es la que en realidad caracteriza a los ruidos producidos por aeronaves que por lo general presentan un mayor nivel (en banda ancha) que los ruidos de otras fuentes salvaguardando, claro está, eventos que por su mayor proximidad a la fuente puedan producir un mayor nivel de ruido.

Característica de ambas curvas (Figura 30) es que en altas frecuencias los niveles de energía son muy bajos y a partir de 4000 Hz los niveles no superan los 40 dB. Esta caída de nivel conforme aumenta la frecuencia es más pronunciada en los

ruidos producidos por aeronaves. En frecuencias superiores a los 10000 Hz los niveles son totalmente despreciables en ambos casos.

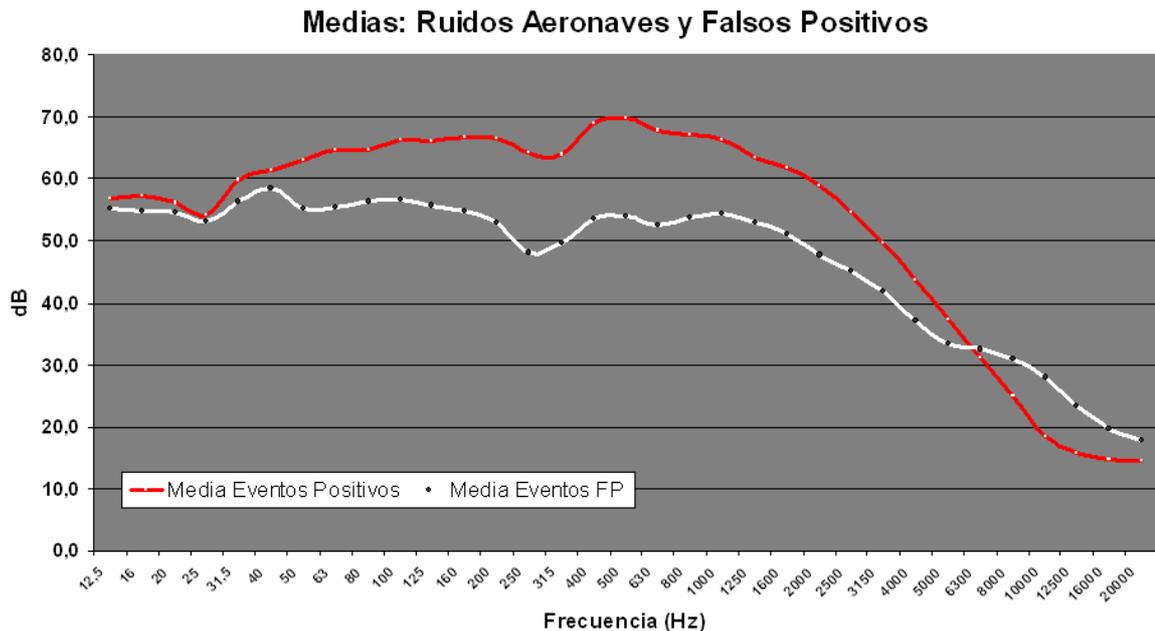


Figura 30. Curvas medias de los espectros de ruidos de aeronaves y falsos positivos

Por lo anteriormente mencionado, diferentes tipos de operaciones, de aeronaves y distancias del punto de medida a la infraestructura aeroportuaria, no se establecerá ningún criterio de nivel (dB) en el estudio por bandas de los espectros de los eventos.

Ya vistas ciertas características de los espectros de los ruidos producidos por infraestructuras y de los espectros de ruidos producidos por otras fuentes identificadas como aeronaves y no discriminadas por otros métodos, veamos a continuación la implementación que se ha realizado para que el software discrimine los ruidos de aeronaves de otros.

El objetivo es discriminar un evento positivo de un falso positivo por el estudio frecuencial. Ya han sido estudiadas las características de cada uno de estos ruidos y se han obtenido dos curvas medias, una calculada sobre quince eventos positivos y otra calculada sobre quince eventos falsos positivos.

Para lograr el objetivo se calculará el coeficiente de correlación (r) del espectro de un evento detectado comparado con el espectro de la media de los eventos positivos y con el espectro de la media de los eventos falsos positivos.

El espectro de cada evento detectado se calculará haciendo el promedio energético para las bandas en tercio de octava de 20 Hz a 10000 Hz (bandas donde las diferencias entre las medias calculadas son más notables) según la siguiente expresión:

$$L_{i,j} = 10 \times \log \left(\frac{1}{T} \times \left(\sum_{t=1}^T 10^{\frac{L_{i,j,t}}{10}} \right) \right)$$

Donde:

i: evento *i-ésimo* a examinar.

j: banda *j-ésima* en tercio de octava de 20 Hz a 10000 Hz.

T: duración total (en muestras) del evento *i-ésimo*.

t: instante de tiempo del que se calcula la energía. Se realizará el sumatorio desde la primera muestra en la que empieza el evento hasta la muestra última en el tiempo (T).

$L_{i,j}$: nivel en dB en la banda *j-ésima* del evento *i-ésimo*.

El coeficiente de correlación determina la relación entre dos series de datos, en este caso el coeficiente de correlación se usará para determinar la relación entre:

- El espectro de cada evento detectado y el espectro medio del ruido producido por infraestructuras aeroportuarias anteriormente calculado, $r_{e,mav}$:

$$r_{e,mav} = \frac{\text{Cov}(e, m_{av})}{\sigma_e \times \sigma_{m_{av}}}$$

$$r_{e,mav} = \frac{\sum_{j=1}^{28} (e_j - \bar{e}) \times (m_{av,j} - \bar{m}_{av})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{28} (e_j - \bar{e})^2 \times \sum_{j=1}^{28} (m_{av,j} - \bar{m}_{av})^2}}$$

- El espectro de cada evento detectado y el espectro medio del ruido producido por fuentes distintas a las aeroportuarias y detectadas como tal, $r_{e,mFP}$:

$$r_{e,mFP} = \frac{\text{Cov}(e, m_{FP})}{\sigma_e \times \sigma_{mFP}}$$
$$r_{e,mFP} = \frac{\sum_{j=1}^{28} (e_j - \bar{e}) \times (m_{FP,j} - \overline{m_{FP}})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{28} (e_j - \bar{e})^2 \times \sum_{j=1}^{28} (m_{FP,j} - \overline{m_{FP}})^2}}$$

Donde:

Cov(e,mx): covarianza entre le espectro del evento (e) y el espectro de la curva media (av o FP), calculada para ruidos de aeronaves y ruidos de otras fuentes.

σ_x : desviación típica de la serie x.

\bar{x} : media de la serie x.

j: banda j-ésima en tercio de octava de 20 Hz a 10000 Hz.

$r_{e,m}$: coeficiente de correlación calculado.

El coeficiente de correlación lineal es adimensional y toma valores entre -1 y 1. Si el valor es próximo a 1 quiere decir que hay correlación entre las series, se dice que hay una correlación fuerte y directa. Si el valor es 0 se dice que las series no están correladas y si está próximo a él se dice que la correlación es débil. Si el valor es próximo a -1 la correlación es fuerte e inversa.

Se considerará que hay una buena correlación lineal entre las series (espectros) para valores superiores a $r=0.7$, o lo que es lo mismo, expresado en porcentaje, cuando existe una correlación lineal superior al 70 %.

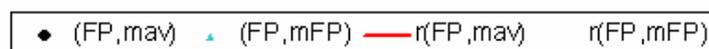
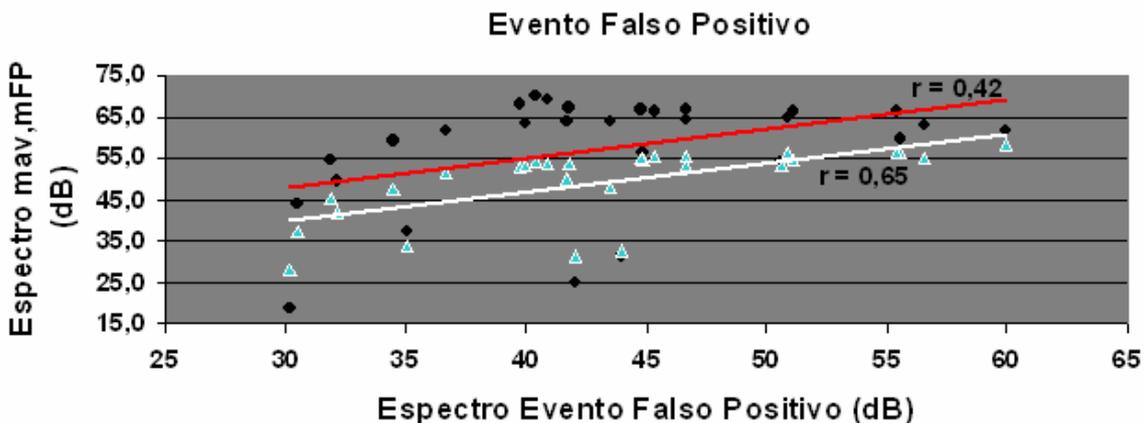
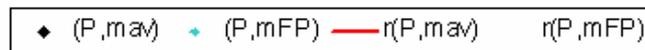
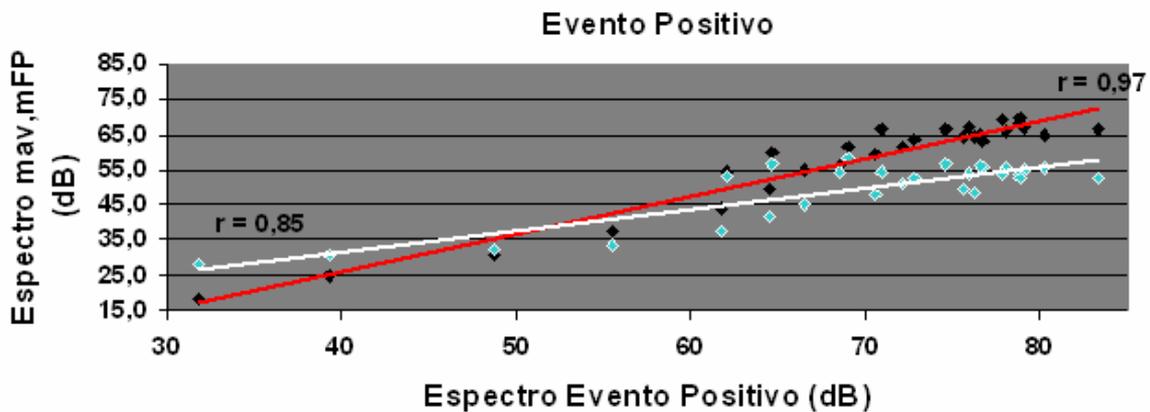
Veamos a continuación los resultados obtenidos con diez eventos al azar (cinco eventos positivos y cinco falsos positivos) que no han sido procesados por el algoritmo de detección de picos:

Tabla 5. Coeficientes de correlación de eventos positivos y falsos positivos

Evento	$r(P,mP)$	$r(P,mFP)$	$r(FP,mP)$	$r(FP,mFP)$
1	0,91	0,93	0,51	0,68
2	0,91	0,75	0,71	0,49
3	0,97	0,85	0,79	0,94
4	0,93	0,75	0,42	0,65
5	0,92	0,79	0,76	0,84

Las dos primeras columnas muestran la correlación entre eventos positivos y las curvas medias de los espectros calculadas para eventos positivos (m_P) y falsos positivos (m_{FP}). Las columnas restantes muestran la correlación entre eventos falsos positivos y las curvas medias de los espectros calculadas.

Estudemos los casos más problemáticos marcados en rojo.



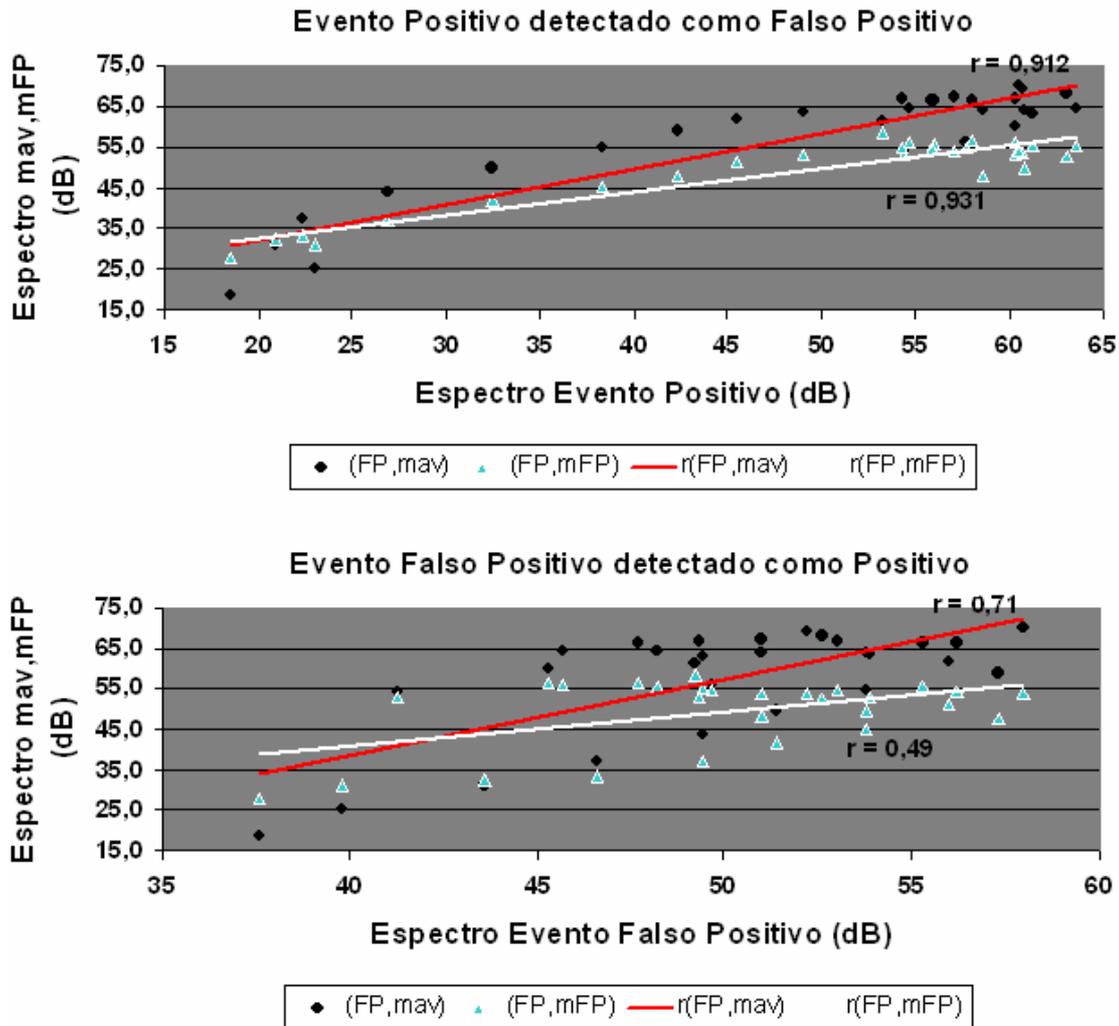


Figura 31. Representación de correlaciones lineales y nubes de puntos de diferentes casos

Como se puede comprobar la correlación de un evento positivo es bastante alta en las dos comparaciones, tanto con la curva media de los espectros de eventos positivos como los falsos positivos. No obstante la correlación es mayor en todos los casos en que se compara un evento positivo con la curva media m_P (m_{av}), salvo en el primer caso que existe una mayor correlación con la curva media m_{FP} . En un principio se puede considerar que dicho evento es un falso positivo cuando en realidad no lo es.

Por otro lado las comparaciones con un evento falso positivo son muy dispares. Las correlaciones con la curva media m_{FP} no están suficientemente bien definidas y además en el segundo de los casos un evento falso positivo sería considerado como un ruido productor por una aeronave.

En cualquier caso mediante el estudio de estos eventos y de otros muchos más se han obtenido ciertas condiciones aplicables a un algoritmo de discriminación de eventos falsos positivos.

Para considerar que un evento es falso positivo se ha de comprobar que ciertamente no se trata de un evento positivo. Para ello, en cualquier caso, no se eliminará un evento a menos que su correlación lineal $r_{e,mav}$ sea inferior al 70% (0.7) y además cumpla que:

- el coeficiente de correlación lineal $r_{e,mFP}$ sea de al menos el 80 % (0.8), o que:
- exista una correlación, al menos, un 15 % superior sobre el $r_{e,mav}$. Es decir que:

$$r_{e,mFP} - r_{e,mav} > 0.15$$

Con todo ello se cerciora que para eliminar un evento o identificarlo como falso positivo tiene que, claramente, no ser un evento positivo ($r_{e,mav} > 0.7$) y además ser claramente un evento negativo ($r_{e,mFP} > 0.8$ ó $r_{e,mFP} - r_{e,mav} > 0.15$).

Del ejemplo anterior serían eliminados dos errores y aparecería uno nuevo en la comparación de un evento falso positivo (el de la quinta fila). Aún así los resultados obtenidos confirman que este es el mejor método de discriminación comprobado, pues la aparición de nuevos errores es mucho menor que el número de errores eliminados.

A continuación se muestra el diagrama de bloques que implementa el algoritmo de cálculo de la correlación entre eventos detectados y las medias de los espectros calculadas para eventos positivos y falsos positivos:

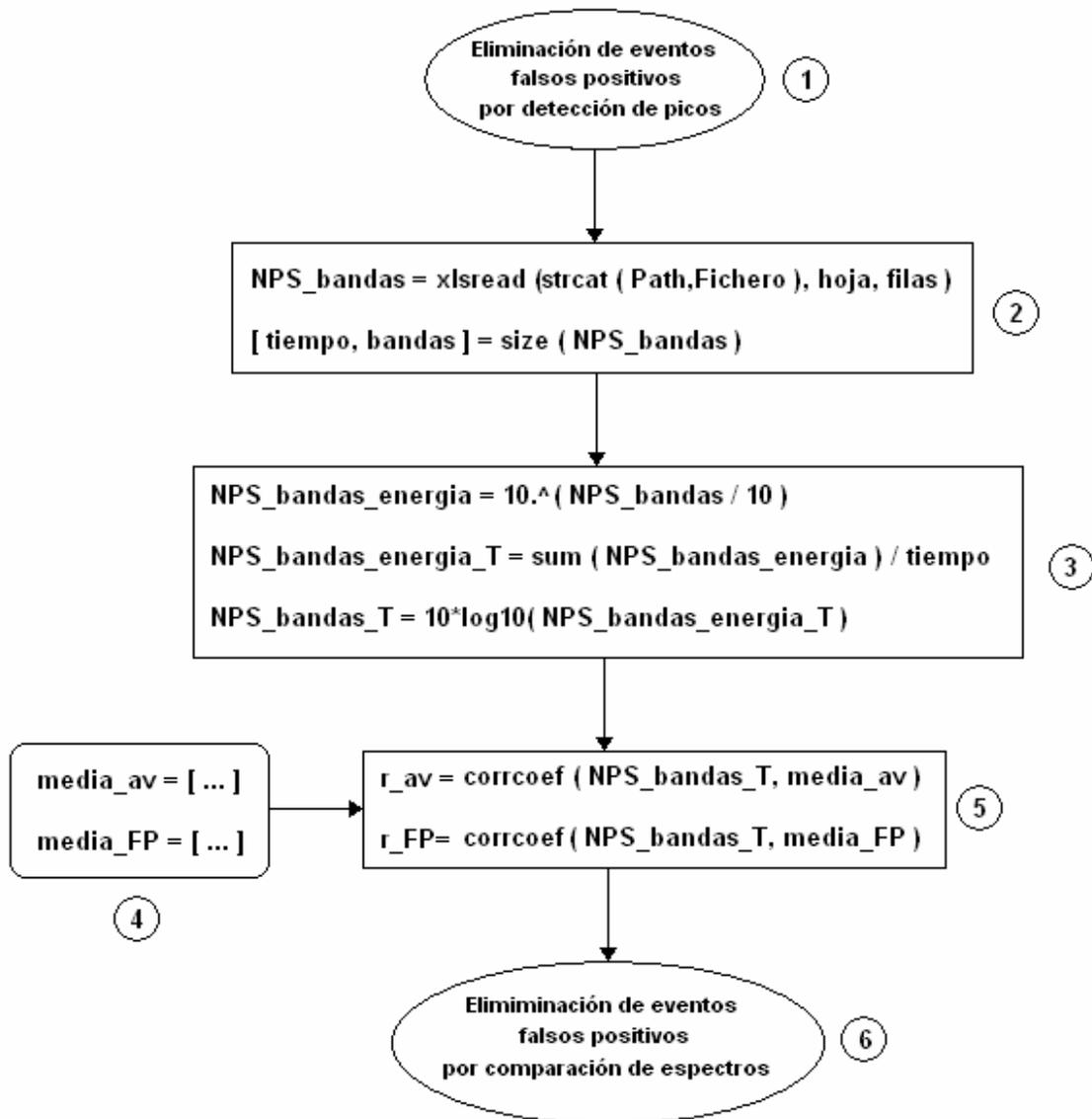


Figura 32. Coeficientes de correlación de las series

1.- La llamada a esta función se realiza por el algoritmo *Eliminación de eventos falsos positivos por detección de picos* en caso de que en una primera aproximación no se detecte que el evento sea un falso positivo.

2.- Se carga en la variable *NPS_bandas* la matriz [tiempo x bandas] de valores que contiene las 28 bandas de tercio de octava de interés (de 20 Hz a 10000 Hz) y con una extensión de filas igual a la duración del evento.

Se considera como duración (tiempo) del evento el número de muestras que hay entre los valores del vectores *PES(k)* y *PEB(k)* correspondientes al evento *k-ésimo* que es objeto de estudio.

La matriz será cargada del fichero .xls del que se extraen los datos en la hoja del libro y rango de filas correspondientes al evento en estudio. El cálculo del rango de filas no es de interés para lo que nos incumbe, por lo que no será explicado en el presente apartado (ver código correspondiente).

3.- Se calcula el equivalente energético para cada banda. Para ello se calcula la presión acústica (P_a) de cada elemento de la matriz y se hace la suma de todas las filas para cada banda. La suma, corregida por la duración (número de muestras) del evento, permite calcular el nivel de presión sonora equivalente en lo que dura el evento.

El resultado es un vector de 28 columnas (una por banda de interés) del que se buscará el coeficiente de correlación con los espectros medios de ruidos de aeronaves y de falsos positivos (m_{av} y m_{FP}).

4.- Se cargan del propio código los valores de los espectros de las curvas medias calculadas anteriormente. Éstas son:

Tabla 6. Curvas medias de los espectros de eventos positivos y falsos positivos

	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
m_{av}	56,2	54,1	59,8	61,3	63,0	64,5	64,6	66,3	66,1	66,7	66,6	64,1	64,0	69,0	69,8	67,9	67,2	66,3	63,6	61,7	59,0	54,7	49,6	43,8	37,3	31,1	25,0	18,5
m_{FP}	54,6	53,1	56,5	58,4	55,2	55,4	56,3	56,6	55,6	54,8	53,0	48,2	49,7	53,6	54,0	52,5	53,8	54,3	53,0	51,1	47,8	45,1	41,9	37,2	33,4	32,5	31,1	28,0

5.- Se calculan los valores de los coeficientes de correlación lineal r_{av} y r_{FP} ($r_{e,mav}$, $r_{e,mFP}$) con el comando `corrcoef` de MATLAB que implementa la ecuación de correlación lineal anteriormente detallada.

6.- Se realiza la llamada a la función *Eliminación de eventos falsos positivos por comparación de espectros* que determinará si se trata de un falso positivo o por el contrario y ciertamente es un evento positivo según los valores de los coeficientes de correlación lineal calculados.

Veamos a continuación el diagrama de bloques que implementa el algoritmo que determina si un evento es o no un falso positivo:

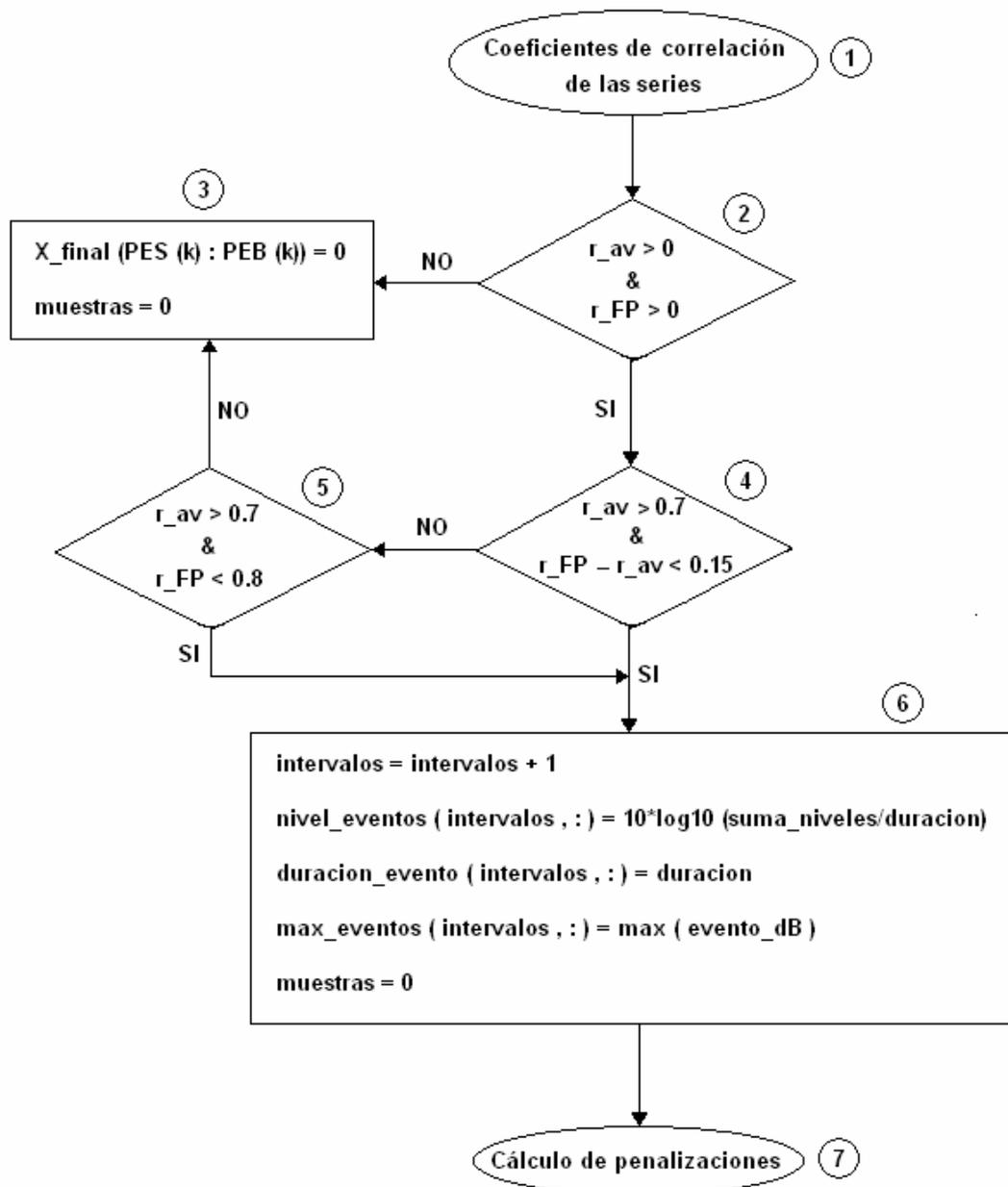


Figura 33. Eliminación de eventos falsos positivos por comparación de espectros

1.- El algoritmo es llamado por la anterior función *Coeficientes de correlación de las series*, que proporciona a nuestro algoritmo los valores de los coeficientes de correlación calculados.

2.- Se comprueba que los coeficientes de correlación lineal calculados son positivos. No se permiten correlaciones negativas ya que no tiene sentido para el propósito a conseguir, buscar similitud en la tendencia del espectro, tendencias que sean del mismo sentido y no inversas.

En caso de que alguno de los coeficientes de correlación sea negativo se considera que el evento no es positivo y será eliminado del vector final X_final .

3.- En caso de identificar el evento como un falso positivo se anularán las muestras correspondientes a dicho evento en el vector X_final , que contendrá únicamente los eventos detectados como positivos

La detección de la subida y la bajada que identifica a un único evento se realiza con las muestras de los vectores PES y PEB que contienen las posiciones en las que se encuentran las subidas y las bajadas respectivamente. Éstas han sido calculadas con la derivada de la señal de salida de la *tercera aproximación*.

4.- Para identificar un evento como falso positivo debe al menos cumplirse una de las dos dobles comprobaciones (paso 4 ó 5).

Si el coeficiente de correlación del evento con la curva media del espectro de ruido de aeronaves es inferior al 70 % y además la correlación del evento con la curva media del espectro de eventos falsos positivos es al menos de un 15 % mayor que el anterior, el evento se considera como falso positivo y se elimina del resultado final.

5.- Si no se cumple la anterior doble comprobación se comprueba nuevamente que no se trata de un evento positivo ($r_{e,mav} < 0.7$), y que además se trata de un evento falso positivo bastante bien definido ($r_{e,FP} > 0.8$), si es así se detectará que el evento es un falso positivo y será eliminado.

Si por el contrario no se cumple ninguna de las dos comprobaciones querrá decir que el evento es un evento positivo del que se calculará su nivel final.

6.- Si se trata de un evento positivo:

Se aumenta en 1 el contador *intervalos*. Cada vez que aumente querrá decir que se ha detectado un evento positivo. En el resultado final habrá tantos eventos positivos como marque el contador *intervalos*.

En el vector *nivel_eventos* se escribirá en la *i*-ésima posición el nivel LAeq del evento correspondiente y detectado como positivo.

En el vector *duracion_evento* se escribirá en la *i*-ésima posición la duración en segundos del evento correspondiente y detectado como positivo. Recordar que un segundo se corresponde con la duración de dos muestras.

En el vector *max_eventos* se escribirá en la *i*-ésima posición el nivel de presión sonora ponderado A del máximo nivel del evento correspondiente y detectado como positivo.

Por último se reinicia el contador *muestras* para realizar una nueva llamada a la función que calcula la duración de los picos de los eventos y que vuelva a hacerlo para un nuevo evento.

Para el cálculo del nivel se usan las variables *suma_niveles* y *duracion*. *suma_niveles* es el valor de la suma energética de todas las muestras que se encuentran a lo sumo a 20 dB del nivel máximo del evento. *duracion* es el número de muestras que cumplen dicha propiedad.

La búsqueda se hace desde el máximo hasta 20 dB por debajo de éste ya que es el resultado que mejor se ajusta al valor real. Véase la tabla siguiente:

Quede aquí una demostración de un evento tipificado, en la que se puede comprobar como se asemeja más al cálculo del nivel real del evento la opción elegida que por ejemplo calcular hasta niveles 10 dB por debajo del máximo.

Tabla 7. Nivel de búsqueda para el cálculo de la afección producida por el ruido de infraestructuras aeroportuarias

Martes 17: 9-16 h				
Laeq Aeronaves	60,5		Acierto %	
Eventos Reales	26			
Nivel de búsqueda (dB(A))	Laeq Aeronaves Calculado	Eventos detectados	Laeq Aeronaves	Nº eventos
Max-15	59	22	97,5	84,6
Max-20	60,6	26	99,9	100,0
Max-25	60,7	27	99,6	96,3
Max-30	60,8	27	99,5	96,3

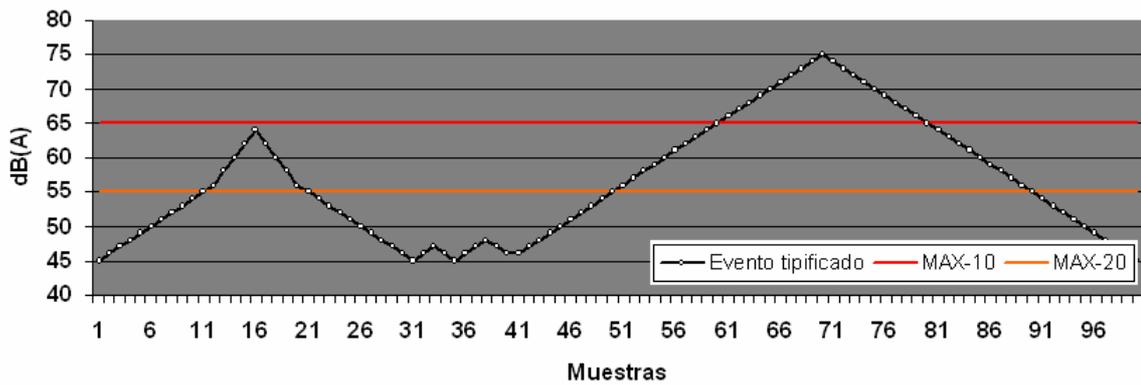


Figura 34. Evento tipificado

El evento mostrado tiene una doble subida. El máximo es de 75 dBA, el valor máximo de la subida de menor nivel es de 64 dBA. Al calcular el nivel continuo equivalente del total del evento teniendo sólo en cuenta los niveles mayores que 65 dBA (10 dB por debajo del máximo), el nivel es mucho menor y menos aproximado al real que cuando se consideran para el cálculo del L_{Aeq} del evento todos los niveles superiores a 55 dBA (20 dB por debajo del máximo). Así queda justificada la elección anterior:

Máximo -10	64,0
Real	64,6
Maximo -20	64,5

L_{Aeq} según criterios del ejemplo anterior

De este modo incluso en los eventos que no tienen doble subida el cálculo del nivel continuo equivalente del mismo es más preciso.

Para el cálculo del valor máximo del evento, se busca dicho valor en el vector *evento_dB*. Este vector contiene todas las muestras que conforman un evento detectado en la *tercera aproximación*.

Las posiciones *i-ésimas* en los vectores *nivel_eventos*, *duración_evento* y *max_eventos* están recorridas por el contador *intervalos*.

7.- Llamada a la función *Cálculo de penalizaciones*. Esta función calculará si hay que aplicar efectos legales sobre la causante del ruido aeroportuario según el RD 1367/2007.

4.- APLICACIÓN DEL REAL DECRETO 1367/ 2007

El objetivo principal del presente trabajo es evaluar la afección del ruido producido por infraestructuras aeroportuarias, para ello además del índice acústico con el que se mide y se expresan los resultados (L_{Aeq}), también se estudiará lo dispuesto en los artículos 23 y 24 del RD 1367/ 2007.

El *Artículo 23* trata sobre los *valores límites de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias*.

El *Artículo 24* trata sobre los *valores límites de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras portuarias y nuevas actividades*. Tómese por definición de actividades la dispuesta en el *Artículo 3* de la Ley del Ruido 37/ 2003 como “*cualquier instalación, establecimiento o actividad, públicos o privados, de naturaleza industrial, comercial, de servicios o de almacenamiento.*”

A la luz de lo expuesto por el RD 1367/ 2007 y según la definición de *actividad* no se puede considerar de aplicación el *Artículo 24*, por lo que centraremos nuestro estudio en el *Artículo 23*.

No obstante la definición de actividad es un tanto abierta, y en caso de considerarse la actividad aeroportuaria como servicio sería posible la aplicación del *Artículo 24*.

Lo dispuesto en el *Artículo 23*, “*se aplicará únicamente fuera de las zonas de servidumbre acústica*”, como es nuestro caso. “*Las infraestructuras aeroportuarias no podrán transmitir al medioambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas niveles de ruido superiores*” a los expuestos en las siguientes tablas.

Tabla A1. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias.

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	55	55	45
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	65	65	55
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	68	68	58
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	70	70	60

Tabla A2. Valores límite de inmisión máximos de ruido aplicables a infraestructuras ferroviarias y aeroportuarias.

Tipo de área acústica		Índice de ruido L_{Amax}
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	80
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	85
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	88
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	90
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	90

Según lo estipulado por el *Artículo 25*, “se considera que se respetan los valores límites de los índices acústicos” cuando para el periodo de un año cumplan que:

- a) Ningún valor promedio del año supera los valores fijados en la tabla A1.
- b) Ningún valor diario supera en 3 dB los valores fijados en la tabla A1.
- c) El 97 % de todos los valores diarios no superan los valores fijados en la tabla A2.

La proposición a) no podrá ser tenida en cuenta ya que el software trabaja con periodos máximos de 24 horas.

Se comprobará en el software que cada uno de los eventos detectados cumpla con la proposición b). En caso de que para un periodo día o tarde se incumpla este criterio, aparecerá en la ventana de resultados indicado en color rojo para dar al usuario una alerta.

La proposición c) no será tenida en cuenta por las misma razón que justifica la no consideración de la premisa a). Aún así, cuando un evento supere el límite establecido para el tipo de área acústica seleccionada, se marcará en color rojo el nivel L_{Amax}^5 para dar al usuario una alerta y tener consideración sobre ese día a la hora de evaluar esta premisa.

⁵ Según RD 1367/ 2007: El índice de ruido L_{Amax} es el más alto nivel de presión sonora ponderado A, en decibelios, con constante de integración fase, L_{AFmax} , definido en la norma ISO 1996-1:2003, registrado en el periodo temporal de evaluación.

Debido a que el software implementado tiene como objetivo discriminar y evaluar el impacto de las infraestructuras aeroportuarias, y éste así lo hace, se vio oportuno hacer la siguiente consideración:

En la vigencia del RD 1367/ 2007, para considerar el cumplimiento de los valores límites de inmisión de infraestructuras aeroportuarias, no se establece en ninguno de sus artículos o anexos que para la evaluación de los valores límites de inmisión de infraestructuras aeroportuarias haya que realizar una discriminación previa de las fuentes de ruido. Por ello resultan los índices L_d , L_e y L_n que consideran todas las fuentes de ruido del periodo temporal correspondiente.

Dado que se ha realizado una discriminación y evaluación de los eventos producidos por ruido de aeronaves se consideró oportuno tomar solamente el nivel de éstos para el cálculo de los índices L_d , L_e y L_n siendo más fiel la evaluación de los índices que considerando todas las fuentes de ruido del periodo de tiempo elegido. No es de rigor que un ruido producido por un cortacésped, por ejemplo, sea tomado en cuenta para regir o legislar sobre el ruido producido por infraestructuras aeroportuarias.

En el apartado de Resultados será demostrada esta consideración.

5.- RESULTADOS

A continuación se mostrarán los resultados finales obtenidos para cada hora de los días del martes 17 al domingo 22.

- Martes 17**

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el día martes 17:

Tabla 8.

Martes 17									
Hora	Real		Calculado					Coef. Corr (ρ)	
	Laeq Aeronaves	Nº eventos	Laeq Aeronaves	Detecciones	Positivos	FP	Positivos no unidos	Laeq Aeronaves	Nº eventos positivos
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0,998	0,998
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0		
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0		
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0		
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0		
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0		
06:00 - 07:00	58,0	3	58	3	3	0	0		
07:00 - 08:00	63,7	9	63,7	9	9	0	0		
08:00 - 09:00	61	5	61	5	5	0	0		
09:00 - 10:00	57,7	2	57,6	2	2	0	0		
10:00 - 11:00	65,2	6	65,3	5	5	0	0		
11:00 - 12:00	49,8	2	49,9	2	2	0	0		
12:00 - 13:00	60,2	4	60,3	4	4	0	0		
13:00 - 14:00	59,8	3	59,8	3	3	0	0		
14:00 - 15:00	60	5	60,1	5	5	0	0		
15:00 - 16:00	59,2	4	59,3	5	4	1	0		
16:00 - 17:00	53,5	3	61	6	3	3	0		
17:00 - 18:00	62,8	7	62,9	7	7	0	0		
18:00 - 19:00	59,7	7	59,8	7	7	0	0		
19:00 - 20:00	61,9	10	61,8	11	10	1	0		
20:00 - 21:00	58,9	5	58,9	5	5	0	0		
21:00 - 22:00	62,1	6	62,1	7	6	1	0		
22:00 - 23:00	49,6	3	50	4	3	1	0		
23:00 - 24:00	53	2	52,9	2	2	0	0		
Total	59,1	86	59,3	92	85	7	0		
Aciertos	0,99								
De los detectados son positivos	0,92								
De los detectados son FP	0,08								
De los detectados son eventos no unidos	0								

Como se puede comprobar para este día los resultados obtenidos muestran con una precisión del 92 % el 99 % de los eventos positivos existentes. No obstante, a pesar de que el número de eventos falsos positivos detectado es elevado (8,7%) éstos son de bajo nivel y como se puede comprobar apenas afecta al L_{Aeq} de toda la jornada. El acierto del L_{Aeq} es de un 94 %⁶ para este día.

La correlación de la series de L_{Aeq} real y calculado es muy alta, lo que indica que la tendencia de los datos es muy concordante. Para todas las horas los niveles son prácticamente coincidentes. El mayor error se da en el rango horario 16:00:00 - 17:00:00, este tramo horario presenta un ruido muy elevado y los eventos no están

⁶ Los porcentajes del L_{Aeq} son calculados sobre los niveles en energía.

bien definidos (Figura 35). No se sabe el motivo de tal error justamente en este intervalo de medida.

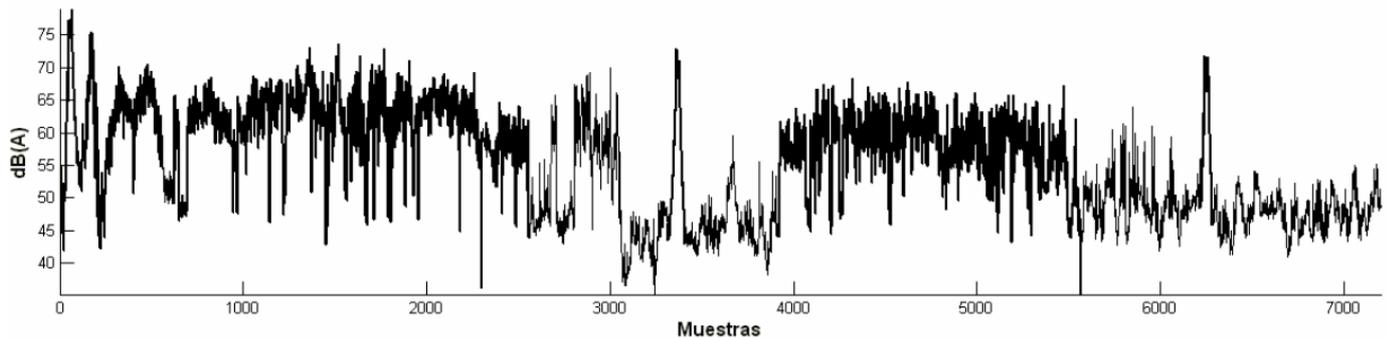


Figura 35. Martes 17, 16:00- 17:00

• **Miércoles 18**

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el día miércoles 18:

Tabla 9.

Hora	Miércoles 18							Coef. Corr (ρ)	
	Real		Calculado					Laeq Aeronaves	Nº eventos positivos
	Laeq Aeronaves	Nº eventos	Laeq Aeronaves	Detecciones	Positivos	FP	Positivos no unidos		
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	1,000	0,998
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0		
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0		
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0		
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0		
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0		
06:00 - 07:00	54,4	2	54,2	2	2	0	0		
07:00 - 08:00	62	12	62	12	12	0	0		
08:00 - 09:00	60,4	6	59,2	6	6	0	0		
09:00 - 10:00	60,3	9	60,2	10	9	1	0		
10:00 - 11:00	65,1	6	65,1	7	6	1	0		
11:00 - 12:00	53,8	5	53,5	6	5	1	0		
12:00 - 13:00	61	6	60,8	5	5	0	0		
13:00 - 14:00	59,4	2	59,4	2	2	0	0		
14:00 - 15:00	57,3	4	57,4	4	4	0	0		
15:00 - 16:00	56,6	5	56,6	5	5	0	0		
16:00 - 17:00	54,9	1	54,8	1	1	0	0		
17:00 - 18:00	64	5	64	5	5	0	0		
18:00 - 19:00	62,7	6	62,7	6	6	0	0		
19:00 - 20:00	59,6	8	59,5	8	8	0	0		
20:00 - 21:00	65,2	10	65,2	11	10	1	0		
21:00 - 22:00	63,2	8	63,2	8	8	0	0		
22:00 - 23:00	54,1	4	53,9	4	4	0	0		
23:00 - 24:00	54,2	2	54,1	3	2	1	0		
Total	59,7	101	59,6	105	100	5	0		
Aciertos	0,99								
De los detectados son positivos	0,95								
De los detectados son FP	0,05								
De los detectados son eventos no unidos	0,00								

Los resultados obtenidos para este día muestran con una precisión del 95 % el 99 % de los eventos positivos existentes. Se han detectado 5 eventos falsos positivos que son el 5 % de los valores presentados como resultado.

El L_{Aeq} total de la jornada es fiel en un 98 %. Por lo que la presencia de eventos falsos positivos no perturba la precisión del cálculo del L_{Aeq} ya que la mayor parte de estos eventos tiene un nivel $L_{Aeq,i}$ muy bajo.

- Jueves 19**

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el día jueves 19:

Tabla 10.

Hora	Real		Calculado					Coef. Corr (ρ)	
	Laeq Aeronaves	Nº eventos	Laeq Aeronaves	Detecciones	Positivos	FP	Positivos no unidos	Laeq Aeronaves	Nº eventos positivos
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	1,000	0,996
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0		
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0		
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0		
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0		
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0		
06:00 - 07:00	49,6	1	49,6	1	1	0	0		
07:00 - 08:00	63	20	62,9	18	18	0	0		
08:00 - 09:00	60,8	7	60,7	7	7	0	0		
09:00 - 10:00	63,1	5	63,1	5	5	0	0		
10:00 - 11:00	57,3	12	57,3	10	10	0	0		
11:00 - 12:00	53,1	8	52,9	7	7	0	0		
12:00 - 13:00	48,3	4	47,8	4	4	0	0		
13:00 - 14:00	52,3	10	52,3	10	10	0	0		
14:00 - 15:00	50,7	10	50,4	9	9	0	0		
15:00 - 16:00	50,5	11	49,6	9	9	0	0		
16:00 - 17:00	57,5	11	57,5	11	11	0	0		
17:00 - 18:00	58,9	7	58,8	9	6	3	0		
18:00 - 19:00	53,5	10	53,2	10	9	1	0		
19:00 - 20:00	53,4	7	53,6	11	7	4	0		
20:00 - 21:00	63,4	19	63,4	18	18	0	0		
21:00 - 22:00	55,6	17	55,8	15	15	0	0		
22:00 - 23:00	51,5	8	51,3	8	8	0	0		
23:00 - 24:00	45	2	44,9	2	2	0	0		
Total	56,6	169	56,6	164	156	8	0		
Aciertos	0,92								
De los detectados son positivos	0,95								
De los detectados son FP	0,05								
De los detectados son eventos no unidos	0,00								

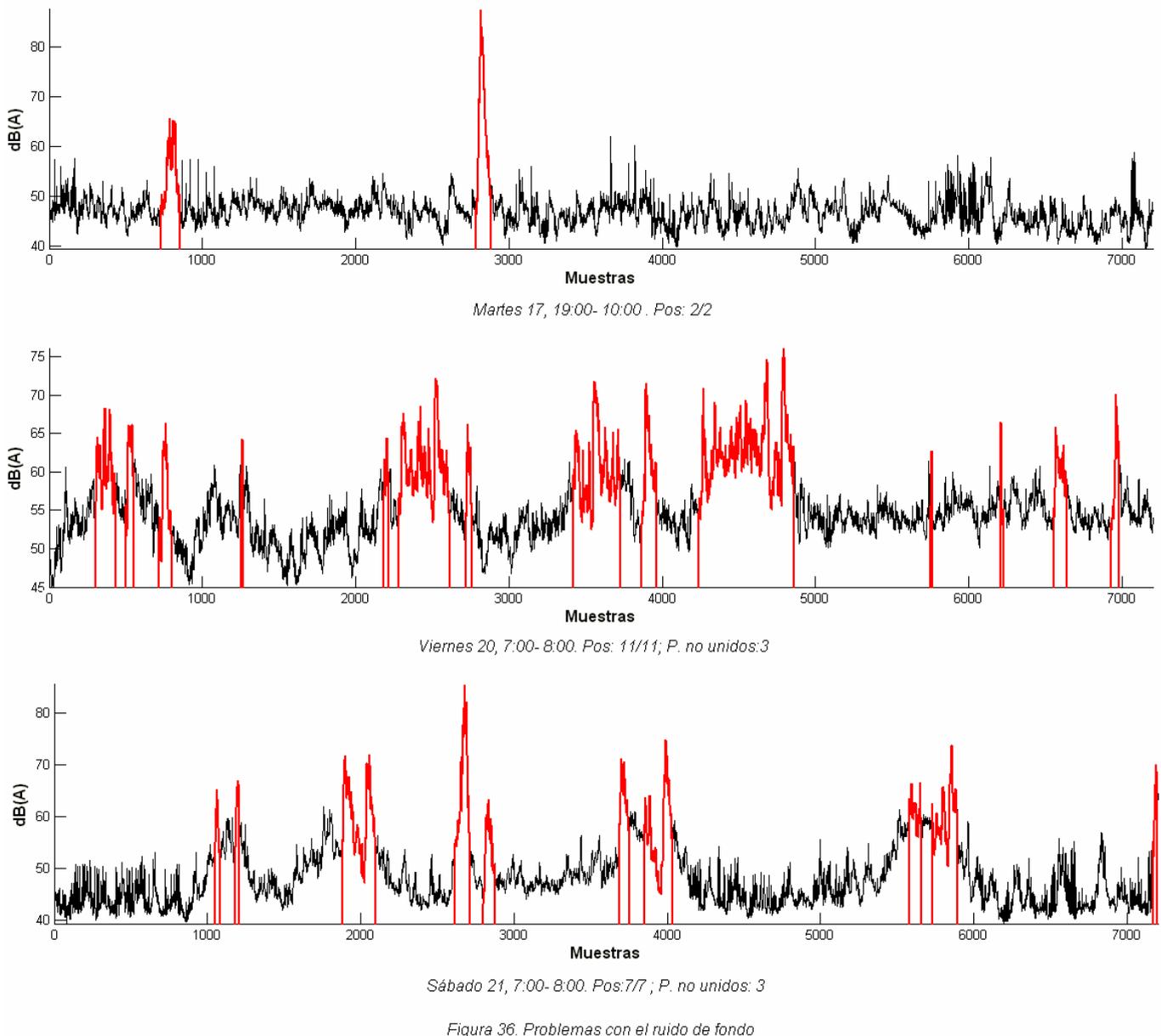
A la vista de los resultados se puede comprobar como la correlación de las series de los L_{Aeq} de la Aeronaves es muy alta y con ello se puede afirmar que el resultado sigue la tendencia del L_{Aeq} real. Con los resultados obtenidos se puede afirmar con un 95 % de seguridad que los eventos positivos detectados corresponde con el 92 % de eventos positivos reales.

Solamente el 5 % (8 eventos) han sido detectados como positivos cuando en realidad no lo son. Es una cantidad de error pequeña teniendo en cuenta la gran cantidad de eventos (169) producidos este día.

- Viernes 20 y sábado 21**

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos para los días viernes 20 y sábado 21. Se presentan juntos pues ambos tienen una característica común, ruido de fondo alto y muy variable que provoca que los eventos no puedan ser claramente discernidos y estén gran parte de ellos divididos.

Antes de presentar los resultados de cada uno de los días veamos el problema que supone un ruido de fondo elevado (Figura 36):



Obsérvese el día martes, el ruido de fondo no es relativamente bajo pero los eventos están bien diferenciados del ruido de fondo, por lo que la detección de éstos es correcta. Por otro lado está el problema que nos concierne, las múltiples fragmentaciones que presentan los eventos detectados de los días viernes y sábado.

El ruido de fondo es elevado, sobre todo el viernes (55 dBA aproximadamente); en ambos casos los eventos no son 'limpios', la subida y bajada de niveles no es uniforme y está afectada por el ruido. Es por ello que se producen varias dobles detecciones de un mismo evento, además de que la mayor parte de los eventos no supera en su amplitud el umbral de corte de 62 dBA.

Por causa de la larga duración de algunos de estos eventos, la mayor parte de estas dobles detecciones no han podido ser unidas porque la distancia temporal entre ellas es mayor a los 30 segundos (60 muestras) de búsqueda. Téngase aquí una muestra de los días viernes y sábado:

Como se puede observar, eventos de larga duración con un ruido de fondo elevado provoca la fragmentación de los eventos y su unión es difícil que se realice, pues son eventos demasiado largos.

Tabla 11. Eventos de larga duración. Días viernes 20 y sábado 21

Rango horario	Comienzo			Duración (s)	LAeq
	Hora	Minuto	Segundo		
07.00 - 08.00	7	19	5	162	62,9
07.00 - 08.00	7	28	26	204	62,2
07.00 - 08.00	7	35	22	320	65,0
08.00 - 09.00	8	48	25	155	65,3
09.00 - 10.00	9	21	51	103	64,2
15.00 - 16.00	15	19	15	149	57,5

Rango horario	Comienzo			Duración (s)	LAeq
	Hora	Minuto	Segundo		
07.00 - 08.00	7	14	34	177	58,5
07.00 - 08.00	7	30	41	200	60,5
07.00 - 08.00	7	45	30	221	62,0
12.00 - 13.00	12	17	3	165	58,4
15.00 - 16.00	15	27	31	142	60,6
19.00 - 20.00	19	6	31	158	58,1

Es posible, aunque no se ha podido comprobar⁷, que la mayoría de estos eventos de larga duración (los hay incluso que llegan a los cinco minutos) sean maniobras de aproximación de las aeronaves o incluso que alguna aeronaves sobrevuele el área a la espera de tomar pista, pudiera ser también que se tratase de helicópteros

De todos modos esto no se produce en todas las horas y son casos excepcionales estos dos días, por lo que con todo ello, los resultados obtenidos para cada uno de estos días son los siguientes:

Para el día viernes:

⁷ Ficheros .mp3 sólo graban hasta un máximo de 15 segundos.

Tabla 12.

Hora	Real		Calculado					Coef. Corr (ρ)	
	Laeq Aeronaves	Nº eventos	Laeq Aeronaves	Detecciones	Positivos	FP	Positivos no unidos	Laeq Aeronaves	Nº eventos positivos
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	1,000	0,983
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0		
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0		
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0		
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0		
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0		
06:00 - 07:00	47,9	2	47	3	2	0	1		
07:00 - 08:00	57,8	11	57,7	14	11	0	3		
08:00 - 09:00	57,7	13	57	13	12	0	1		
09:00 - 10:00	58,3	8	57,9	10	8	1	1		
10:00 - 11:00	56,7	8	56,4	9	7	1	1		
11:00 - 12:00	52,4	6	51,1	5	4	1	0		
12:00 - 13:00	51,3	6	49,9	4	4	0	0		
13:00 - 14:00	54,8	11	54,4	12	10	2	0		
14:00 - 15:00	52,5	7	51,9	7	6	1	0		
15:00 - 16:00	52,7	6	52,5	6	6	0	0		
16:00 - 17:00	56,1	8	55,8	12	8	4	0		
17:00 - 18:00	58,4	12	56,6	10	9	1	0		
18:00 - 19:00	58,7	10	58,2	10	10	0	0		
19:00 - 20:00	52,7	10	51,8	10	9	1	0		
20:00 - 21:00	58,4	10	58,2	10	10	0	0		
21:00 - 22:00	58,4	3	58	6	3	1	2		
22:00 - 23:00	50	7	49,4	7	7	0	0		
23:00 - 24:00	50	3	49,9	3	3	0	0		
Total	54,6	141	54,1	151	129	13	9		
Aciertos	0,91								
De los detectados son positivos	0,85								
De los detectados son FP	0,09								
De los detectados son eventos no unidos	0,06								

En este día se han detectado con un 85 % (91 % si se consideran los eventos positivos no unidos) de fiabilidad el 91 % de los eventos producidos. La 'baja' detección de aeronaves produce que el L_{Aeq} total calculado de la jornada sea el 88% (5 décimas de decibelio) del existente, una cifra considerablemente menor que en los días pasados.

Para el día sábado los resultados no son tanto mejores:

Tabla 13.

Hora	Real		Calculado					Coef. Corr (ρ)	
	Laeq Aeronaves	Nº eventos	Laeq Aeronaves	Detecciones	Positivos	FP	Positivos no unidos	Laeq Aeronaves	Nº eventos positivos
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0,999	0,963
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0		
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0		
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0		
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0		
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0		
06:00 - 07:00	0	0	0	0	0	0	0		
07:00 - 08:00	58	7	57,7	10	7	0	3		
08:00 - 09:00	52	4	50,5	5	4	0	1		
09:00 - 10:00	51,5	6	51,2	5	5	0	0		
10:00 - 11:00	57,7	6	57,7	9	6	1	2		
11:00 - 12:00	52,2	6	50,8	7	6	0	1		
12:00 - 13:00	51,6	5	51,1	6	5	1	0		
13:00 - 14:00	55,1	9	54	11	9	2	0		
14:00 - 15:00	53,9	5	53,7	5	5	0	0		
15:00 - 16:00	53,6	5	52	4	3	0	1		
16:00 - 17:00	52,1	4	52	4	4	0	0		
17:00 - 18:00	53,4	6	49,9	5	3	0	2		
18:00 - 19:00	46,3	3	48,8	5	3	2	0		
19:00 - 20:00	49,7	2	49,2	3	2	0	1		
20:00 - 21:00	48,6	3	48,1	3	3	0	0		
21:00 - 22:00	49,9	5	50,4	7	5	1	1		
22:00 - 23:00	43,2	2	42,7	2	2	0	0		
23:00 - 24:00	45,9	1	45,7	1	1	0	0		
Total	51,5	79	50,9	92	73	7	12		
Aciertos	0,92								
De los detectados son positivos	0,79								
De los detectados son FP	0,08								
De los detectados son eventos no unidos	0,13								

Han sido detectados con un 79 % (92 % si se consideran los eventos positivos no unidos) de fiabilidad el 92 % de los eventos positivos. El 8 % (7 eventos) son falsos positivos. Como en el día anterior, sólo se puede confirmar que el L_{Aeq} total de la jornada es representa el 88 % del valor total real, el error es de 6 décimas de decibelio.

En ambos días la correlación de las series, entre niveles calculados y reales y entre eventos detectados y existentes, es bastante buena a pesar de que los resultados obtenidos no lo son tanto. Que no lleven a confusión estos valores de correlación pues sólo nos indica que la tendencia de los datos de las series es pareja.

Es razonable que el software presente resultados de correlación altos, pues esto da cuenta de que tiene un cierto criterio en sus resultados, que aunque no sean completamente exactos, cuando aumente el número de eventos existentes también lo haga el número de eventos calculados (en mayor o menor medida, según la cantidad que se detecte) así como L_{Aeq} correspondiente.

- Domingo 22**

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el día domingo 22:

Tabla 14.

Domingo 22									
Hora	Real		Calculado					Coef. Corr (ρ)	
	Laeq Aeronaves	Nº eventos	Laeq Aeronaves	Detecciones	Positivos	FP	Positivos no unidos	Laeq Aeronaves	Nº eventos positivos
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0,999	1,000
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0	0	0		
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0	0	0		
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0	0	0		
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0	0	0		
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0	0	0		
06:00 - 07:00	0,0	0	0	0	0	0	0		
07:00 - 08:00	57,1	3	56,9	5	3	0	2		
08:00 - 09:00	57,5	2	57,4	2	2	0	0		
09:00 - 10:00	60,2	4	60,2	4	4	0	0		
10:00 - 11:00	58,3	4	58,3	6	4	0	2		
11:00 - 12:00	55,1	6	55	6	6	0	0		
12:00 - 13:00	60	4	60	4	4	0	0		
13:00 - 14:00	59,4	4	59,4	6	4	2	0		
14:00 - 15:00	60	6	60	7	6	0	1		
15:00 - 16:00	58,9	6	58,9	6	6	0	0		
16:00 - 17:00	56,6	4	56,6	4	4	0	0		
17:00 - 18:00	60,5	5	60,5	6	5	1	0		
18:00 - 19:00	59,7	6	59,8	6	6	0	0		
19:00 - 20:00	59,1	5	59	6	5	1	0		
20:00 - 21:00	63,8	5	63,7	7	5	0	2		
21:00 - 22:00	61,3	5	61,2	7	5	1	1		
22:00 - 23:00	57,9	2	57,9	2	2	0	0		
23:00 - 24:00	39	1	34,4	1	1	0	0		
Total	57,8	72	57,8	85	72	5	8		
Aciertos	1,00								
De los detectados son positivos	0,85								
De los detectados son FP	0,06								
De los detectados son eventos no unidos	0,09								

Los resultados para este día son más favorables, así se han detectado el 100% de los eventos positivos con un 85 % de fiabilidad (94% teniendo en cuenta los eventos positivos que no han sido unidos). Además el L_{Aeq} calculado es coincidente con el L_{Aeq} real en un 99%.

El caso que más error en el cálculo del nivel es el del periodo 23:00:00-24:00:00, en el que el evento detectado no está claramente definido y ha sido solamente detectada la zona de mayor nivel energético del evento. No obstante como el nivel real del evento es de 39 dBA, bastante más bajo que el resto, no tendrá efecto alguno sobre el nivel final, por lo que su mala detección no tiene relevancia en el resultado final.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, las correlaciones de las series son altas.

- Recopilación de datos de toda la semana**

A continuación se presentan todos los datos de la semana, sobre los que de igual modo se calcula el porcentaje de acierto y se comprueba que la correlación de las series es buena:

Tabla 15.

TODA LA SEMANA								
Día	Hora	Real		Calculado				
		Laeq Aeronaves	Nº eventos	Laeq Aeronaves	Detecciones	Positivos	FP	Positivos no unidos
M A R T E S 1 7	00:00 - 01:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	01:00 - 02:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	02:00 - 03:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	03:00 - 04:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	04:00 - 05:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	05:00 - 06:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	06:00 - 07:00	58,0	3	58,0	3	3	0	0
	07:00 - 08:00	63,7	9	63,7	9	9	0	0
	08:00 - 09:00	61,0	5	61,0	5	5	0	0
	09:00 - 10:00	57,7	2	57,6	2	2	0	0
	10:00 - 11:00	65,2	6	65,3	5	5	0	0
	11:00 - 12:00	49,8	2	49,9	2	2	0	0
	12:00 - 13:00	60,2	4	60,3	4	4	0	0
	13:00 - 14:00	59,8	3	59,8	3	3	0	0
	14:00 - 15:00	60,0	5	60,1	5	5	0	0
	15:00 - 16:00	59,2	4	59,3	5	4	1	0
	16:00 - 17:00	53,5	3	61,0	6	3	3	0
	17:00 - 18:00	62,8	7	62,9	7	7	0	0
	18:00 - 19:00	59,7	7	59,8	7	7	0	0
	19:00 - 20:00	61,9	10	61,8	11	10	1	0
	20:00 - 21:00	58,9	5	58,9	5	5	0	0
	21:00 - 22:00	62,1	6	62,1	7	6	1	0
	22:00 - 23:00	49,6	3	50,0	4	3	1	0
	23:00 - 24:00	53,0	2	52,9	2	2	0	0

M I É R C O L E S	00:00 - 01:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	01:00 - 02:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	02:00 - 03:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	03:00 - 04:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	04:00 - 05:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	05:00 - 06:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	06:00 - 07:00	54,4	2	54,2	2	2	0	0
	07:00 - 08:00	62,0	12	62,0	12	12	0	0
	08:00 - 09:00	60,4	6	59,2	6	6	0	0
	09:00 - 10:00	60,3	9	60,2	10	9	1	0
	10:00 - 11:00	65,1	6	65,1	7	6	1	0
	11:00 - 12:00	53,8	5	53,5	6	5	1	0
	12:00 - 13:00	61,0	6	60,8	5	5	0	0
	13:00 - 14:00	59,4	2	59,4	2	2	0	0
	14:00 - 15:00	57,3	4	57,4	4	4	0	0
	15:00 - 16:00	56,6	5	56,6	5	5	0	0
	16:00 - 17:00	54,9	1	54,8	1	1	0	0
	17:00 - 18:00	64,0	5	64,0	5	5	0	0
	18:00 - 19:00	62,7	6	62,7	6	6	0	0
	19:00 - 20:00	59,6	8	59,5	8	8	0	0
	20:00 - 21:00	65,2	10	65,2	11	10	1	0
	21:00 - 22:00	63,2	8	63,2	8	8	0	0
	22:00 - 23:00	54,1	4	53,9	4	4	0	0
	23:00 - 24:00	54,2	2	54,1	3	2	1	0
J U E V E S	00:00 - 01:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	01:00 - 02:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	02:00 - 03:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	03:00 - 04:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	04:00 - 05:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	05:00 - 06:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	06:00 - 07:00	49,6	1	49,6	1	1	0	0
	07:00 - 08:00	63,0	20	62,9	18	18	0	0
	08:00 - 09:00	60,8	7	60,7	7	7	0	0
	09:00 - 10:00	63,1	5	63,1	5	5	0	0
	10:00 - 11:00	57,3	12	57,3	10	10	0	0
	11:00 - 12:00	53,1	8	52,9	7	7	0	0
	12:00 - 13:00	48,3	4	47,8	4	4	0	0
	13:00 - 14:00	52,3	10	52,3	10	10	0	0
	14:00 - 15:00	50,7	10	50,4	9	9	0	0
	15:00 - 16:00	50,5	11	49,6	9	9	0	0
	16:00 - 17:00	57,5	11	57,5	11	11	0	0
	17:00 - 18:00	58,9	7	58,8	9	6	3	0
	18:00 - 19:00	53,5	10	53,2	10	9	1	0
	19:00 - 20:00	53,4	7	53,6	11	7	4	0
	20:00 - 21:00	63,4	19	63,4	18	18	0	0
	21:00 - 22:00	55,6	17	55,8	15	15	0	0
	22:00 - 23:00	51,5	8	51,3	8	8	0	0
	23:00 - 24:00	45,0	2	44,9	2	2	0	0
V I E R N E S	00:00 - 01:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	01:00 - 02:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	02:00 - 03:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	03:00 - 04:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	04:00 - 05:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	05:00 - 06:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	06:00 - 07:00	47,9	2	47,0	3	2	0	1
	07:00 - 08:00	57,8	11	57,7	14	11	0	3
	08:00 - 09:00	57,7	13	57,0	13	12	0	1
	09:00 - 10:00	58,3	8	57,9	10	8	1	1
	10:00 - 11:00	56,7	8	56,4	9	7	1	1
	11:00 - 12:00	52,4	6	51,1	5	4	1	0
	12:00 - 13:00	51,3	6	49,9	4	4	0	0
	13:00 - 14:00	54,8	11	54,4	12	10	2	0
	14:00 - 15:00	52,5	7	51,9	7	6	1	0
	15:00 - 16:00	52,7	6	52,5	6	6	0	0
	16:00 - 17:00	56,1	8	55,8	12	8	4	0
	17:00 - 18:00	58,4	12	56,6	10	9	1	0
	18:00 - 19:00	58,7	10	58,2	10	10	0	0
	19:00 - 20:00	52,7	10	51,8	10	9	1	0
	20:00 - 21:00	58,4	10	58,2	10	10	0	0
	21:00 - 22:00	58,4	3	58,0	6	3	1	2
	22:00 - 23:00	50,0	7	49,4	7	7	0	0
	23:00 - 24:00	50,0	3	49,9	3	3	0	0

S Á B A D O	00:00 - 01:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	01:00 - 02:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	02:00 - 03:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	03:00 - 04:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	04:00 - 05:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	05:00 - 06:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	06:00 - 07:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	07:00 - 08:00	58,0	7	57,7	10	7	0	3
	08:00 - 09:00	52,0	4	50,5	5	4	0	1
	09:00 - 10:00	51,5	6	51,2	5	5	0	0
	10:00 - 11:00	57,7	6	57,7	9	6	1	2
	11:00 - 12:00	52,2	6	50,8	7	6	0	1
	12:00 - 13:00	51,6	5	51,1	6	5	1	0
	13:00 - 14:00	55,1	9	54,0	11	9	2	0
	14:00 - 15:00	53,9	5	53,7	5	5	0	0
	15:00 - 16:00	53,6	5	52,0	4	3	0	1
	16:00 - 17:00	52,1	4	52,0	4	4	0	0
	17:00 - 18:00	53,4	6	49,9	5	3	0	2
	18:00 - 19:00	46,3	3	48,8	5	3	2	0
	19:00 - 20:00	49,7	2	49,2	3	2	0	1
	20:00 - 21:00	48,6	3	48,1	3	3	0	0
	21:00 - 22:00	49,9	4	50,4	7	5	1	1
	22:00 - 23:00	43,2	2	42,7	2	2	0	0
	23:00 - 24:00	45,9	1	45,7	1	1	0	0
D O M I N G O	00:00 - 01:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	01:00 - 02:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	02:00 - 03:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	03:00 - 04:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	04:00 - 05:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	05:00 - 06:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	06:00 - 07:00	0,0	0	0,0	0	0	0	0
	07:00 - 08:00	57,1	3	56,9	5	3	0	2
	08:00 - 09:00	57,5	2	57,4	2	2	0	0
	09:00 - 10:00	60,2	4	60,2	4	4	0	0
	10:00 - 11:00	58,3	4	58,3	6	4	0	2
	11:00 - 12:00	55,1	6	55,0	6	6	0	0
	12:00 - 13:00	60,0	4	60,0	4	4	0	0
	13:00 - 14:00	59,4	4	59,4	6	4	2	0
	14:00 - 15:00	60,0	6	60,0	7	6	0	1
	15:00 - 16:00	58,9	6	58,9	6	6	0	0
	16:00 - 17:00	56,6	4	56,6	4	4	0	0
	17:00 - 18:00	60,5	5	60,5	6	5	1	0
	18:00 - 19:00	59,7	6	59,8	6	6	0	0
	19:00 - 20:00	59,1	5	59,0	6	5	1	0
	20:00 - 21:00	63,8	5	63,7	7	5	0	2
	21:00 - 22:00	61,3	5	61,2	7	5	1	1
	22:00 - 23:00	57,9	2	57,9	2	2	0	0
	23:00 - 24:00	39,0	1	34,4	1	1	0	0
Total	57,3	647	57,3	689	615	45	29	
Aciertos	0,95							
De los detectados son positivos	0,89							
De los detectados son FP	0,07							
De los detectados son eventos no unidos	0,04							

Coef. Corr (ρ)	
Laeq Aeronaves	Nº eventos positivos
1,00	0,99

A la vista de los resultados se puede concluir que el software implementado detecta con un acierto del 94 % el 95 % de los eventos producidos por ruidos de aeronaves en el intervalo de seis días de medida.

Tan solo el 7 % de los eventos detectados son eventos producidos por otras fuentes distintas a las de aeronaves y han sido detectadas como tal. La mayor parte de los eventos falsos positivos tienen muy poco nivel energético por lo que no tendrán efecto en el resultado final.

Como se puede comprobar, el acierto es de un 99.97 % en el cálculo del L_{Aeq} producido por las infraestructuras aeroportuarias en el intervalo de seis días medidos.

Las correlaciones de las series son de un 100 % en el caso de los niveles equivalentes de cada hora y de un 99% en el caso de eventos reales y eventos positivos detectados.

Veamos gráficamente los resultados obtenidos:

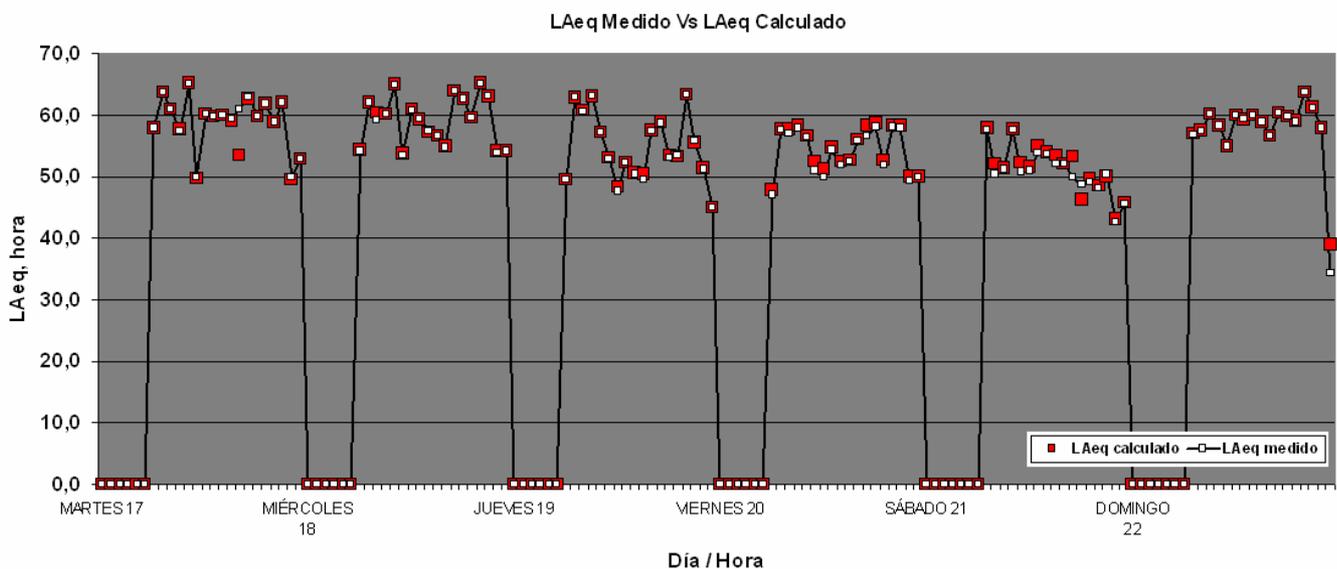


Figura 37

En esta primera gráfica (Figura 37) se puede observar como el L_{Aeq} medido y el calculado para cada hora son prácticamente coincidentes. Atiéndase que el mayor error es del día martes 17 (ya explicado anteriormente) y el domingo en el periodo 23:00:00- 24:00:00 (también explicado anteriormente).

Como cabía de esperar, a la vista de los resultados de las tablas, los días viernes y sábado presentan las mayores desviaciones en los resultados puesto que tienen ambos un acierto del 88 % en el cálculo del L_{Aeq} .

Los mejores resultados se consiguen para los días en que la relación señal ruido es alta. Cuando la relación señal ruido es menor (viernes 20 y sábado 21) la

fragmentación de los eventos detectados es mayor y más probable detectar un falso positivo.

Entiéndase por una buena relación señal ruido al caso en que los eventos de ruidos de aeronaves están bien definidos sobre el ruido de fondo. De otro modo una mala relación señal ruido provoca que los eventos no estén bien definidos y la detección sea menos precisa y confusa.

Se muestra a continuación (Figura 38) la representación gráfica de los números de eventos por horas. Se comparan los datos reales con los detectados y de éstos cuantos corresponden a eventos positivos.

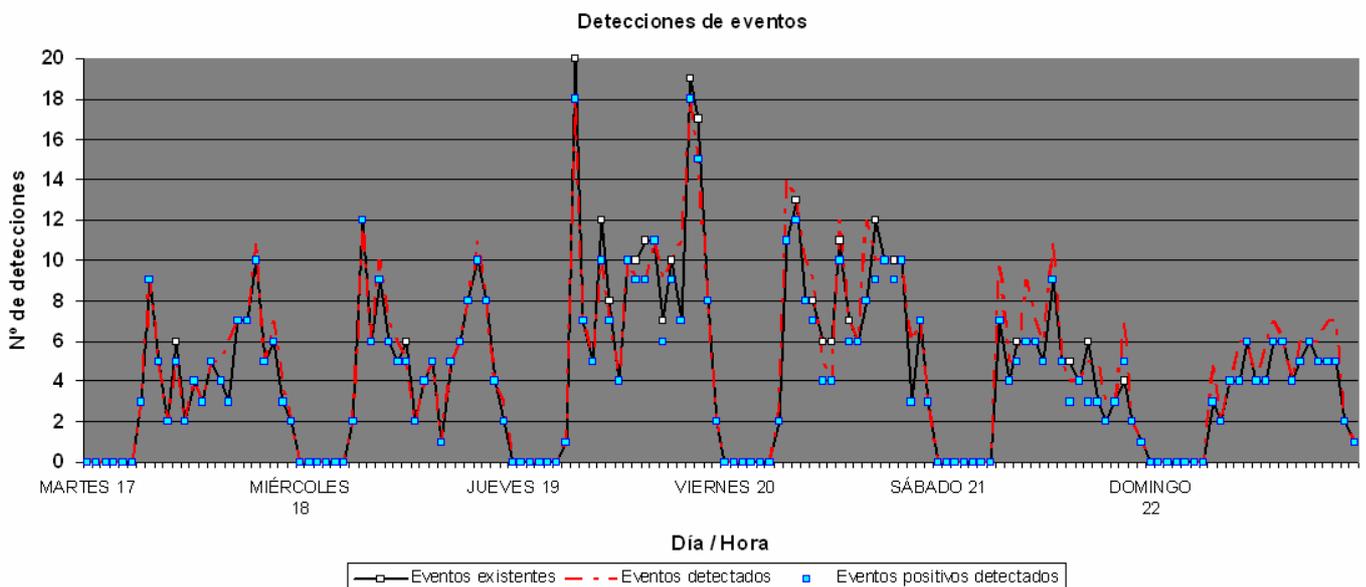


Figura 38

El número de eventos detectados sigue la línea continua de eventos existentes, así del mismo modo que las marcas que indican el número de eventos positivos detectados sigue la línea eventos existentes. Las mayores desviaciones se producen en los días jueves, viernes y sábado, era de esperar sabiendo que para estos días el porcentaje de acierto fue del 92 %, 91% y 92 % respectivamente.

El número de eventos positivos detectados (615) es muy cercano a los 647 existentes, sólo el 7 % han sido detectados como falsos positivos. Estas cifras significativas se pueden observar con claridad en el siguiente gráfico. Figura 39.

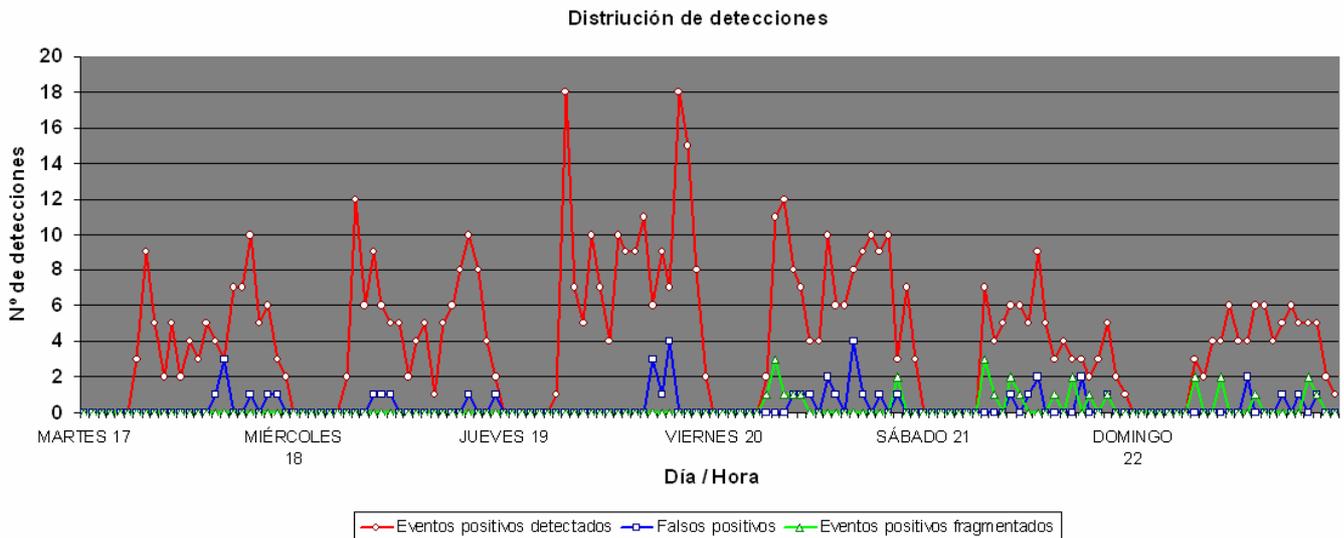


Figura 39

Atiéndase como la mayor parte de eventos fragmentados se dan en los días viernes y sábado como apuntábamos anteriormente y que durante la mayor parte del tiempo no se detectan fragmentaciones, esto ocurre en sucesos asilados.

El número de falsos positivos no supera los 4 eventos en ninguna hora, y hay que anotar que en las horas en que se detectan falsos positivos éstos apenas afectan al cálculo del L_{Aeq} del cómputo total de cada día, ni de toda la semana (ver Figura 39).

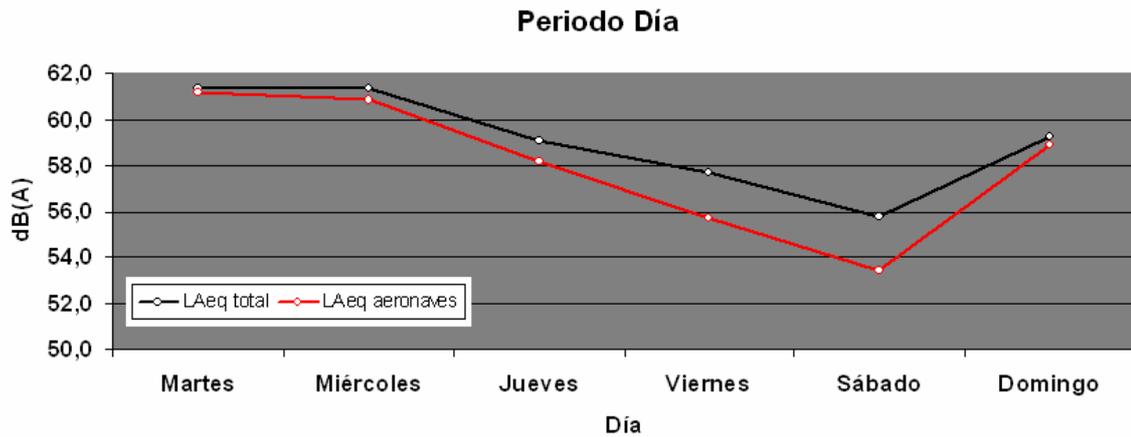
También es bueno observar que, efectivamente, en las horas en las que no se produce ningún evento no ha habido detecciones.

5.1.- EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

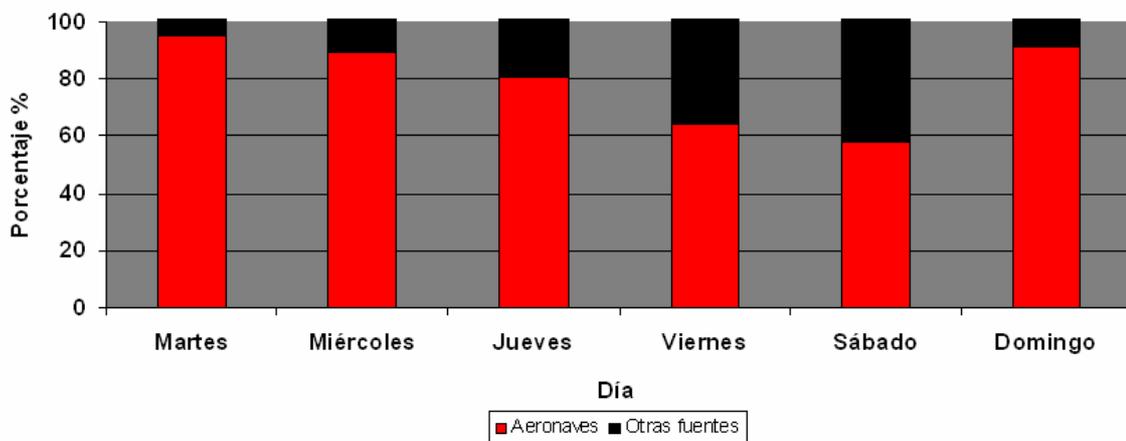
A continuación se mostrarán los resultados obtenidos para la evaluación del cumplimiento o no de los mismos según el RD 1367 /2007.

Atendiendo a la consideración tenida en cuenta en el apartado de Aplicación del RD 1367/ 2007 se justificará el mismo con los resultados obtenidos a la par que se evalúan los índices calculados.

En el periodo de tiempo día, tarde y noche la línea roja muestra el nivel continuo equivalente (ponderado A) y tiene en cuenta únicamente los niveles energéticos. La línea negra tiene en cuenta los ruidos procedentes de todas las fuentes para el cálculo del nivel.



Nivel producido por aeronaves VS nivel total del periodo día

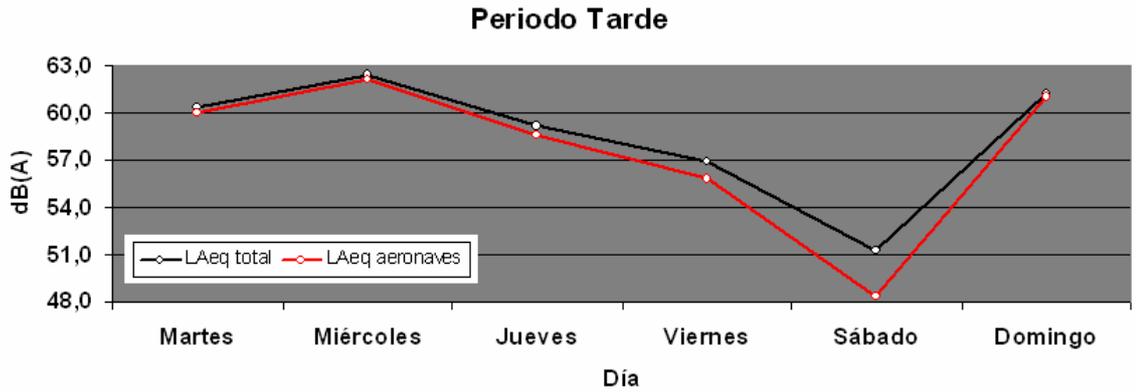


Distribución de energía en % del ruido de aeronave frente otras fuentes

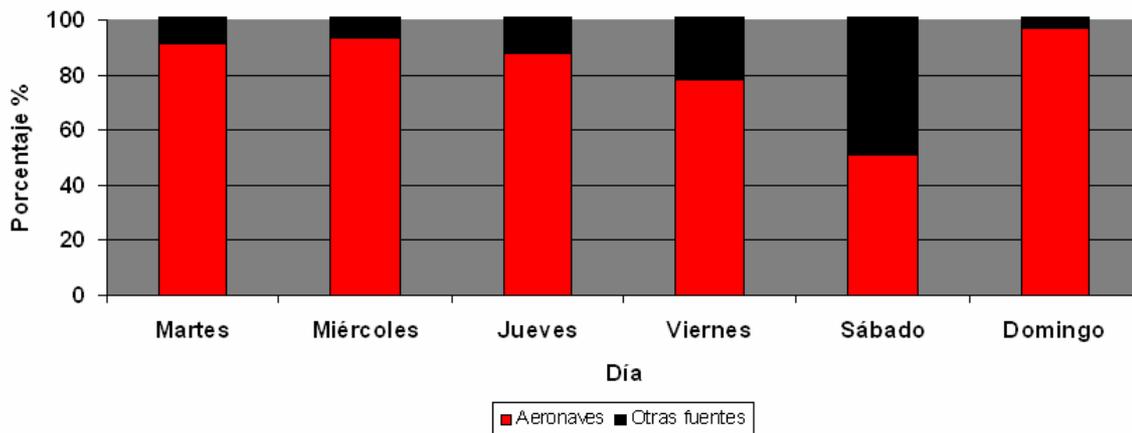
Figura 40

Para el periodo día, en muchos de los casos el cálculo discriminado y el que tiene en cuenta todas las fuentes es prácticamente coincidente o la diferencia es muy pequeña, no obstante para los días en los que el ruido de fondo es muy alto (reacuérdense, viernes 20 y sábado 21) hay diferencias de hasta 2.4 dB como en el día sábado 21, lo que concluye que más del 41% de la energía del periodo día está producida por ruidos de fuentes ajenas a la infraestructura aeroportuaria.

En el periodo tarde, igual que ocurría anteriormente, hay diferencias de niveles entre las formas de considerar los valores límites, en este caso de hasta 2.9 dB para el día sábado 21. El resto de valores son bastante similares con excepción también del día viernes 20, en que la diferencia es de 1.1 dB, el 22 % de la energía del periodo tarde para este día está producido por fuentes distintas a las aeronaves, igual que el 49.7 % en el sábado.



Nivel producido por aeronaves VS nivel total del periodo tarde



Distribución de energía en % del ruido de aeronave frente otras fuentes

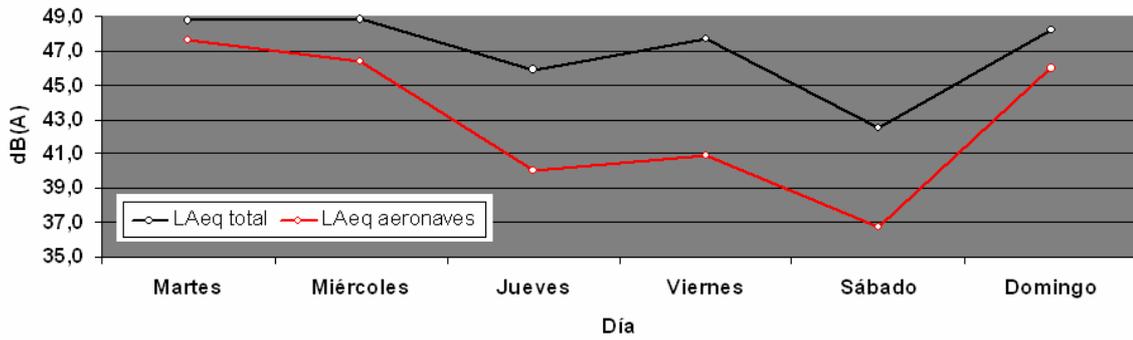
Figura 41

En el periodo noche se acentúa mucho más la diferencia entre el L_{Aeq} total (L_n) y el producido por las aeronaves en el mismo periodo de tiempo. Las diferencias van desde los 1.2 dB del martes 17 a los 6.8 dB del viernes 20.

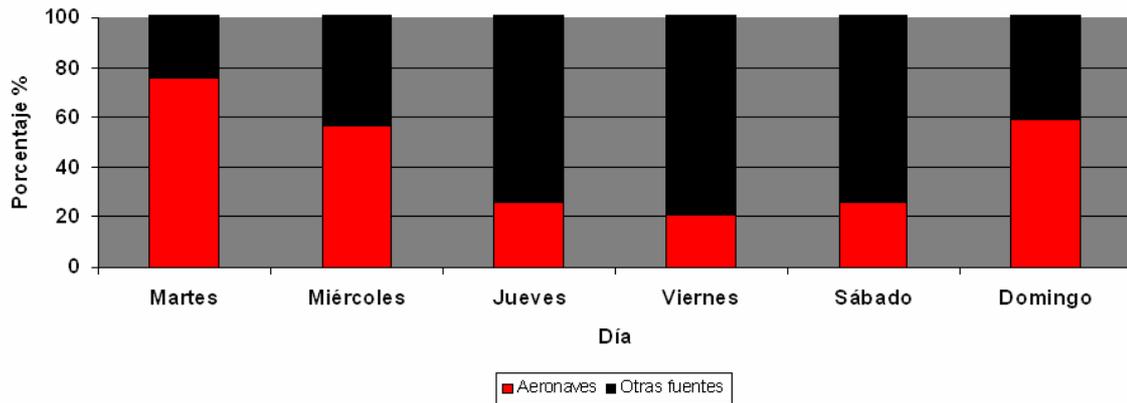
No parece lícito achacar, por ejemplo, un L_n de 47.7 dBA al un ruido de aeronaves cuando el ruido que en verdad producen éstas es de 40.9 dBA durante todo el periodo noche.

En la mayor parte de los días el número de eventos es muy bajo y oscila entre 1 y 4 vuelos, ya que el aeropuerto de Bilbao no tiene salidas por la noche y los eventos registrados son vuelos de llegadas.

Periodo Noche



Nivel producido por aeronaves VS nivel total del periodo noche



Distribución de energía en % del ruido de aeronave frente otras fuentes

Figura 42

Se presenta a continuación la tabla con los resultados para los periodos diarios:

Tabla 16

Horas	Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo	
	Laeq total	Laeq aeronaves										
7 8	63,8	63,7	62,5	62,0	63,5	62,9	59,0	57,7	58,3	57,7	57,4	56,9
8 9	61,3	61,0	61,4	59,2	61,6	60,7	58,9	57,0	54,4	50,5	57,8	57,4
9 10	58,0	57,6	61,1	60,2	63,5	63,1	59,3	57,9	55,1	51,2	60,4	60,2
10 11	65,4	65,3	65,3	65,1	58,1	57,3	58,0	56,4	58,7	57,7	58,8	58,3
11 12	51,7	49,9	55,0	53,5	54,3	52,9	54,9	51,1	55,1	50,8	56,0	55,0
12 13	60,5	60,3	61,2	60,8	52,0	47,8	54,0	49,9	54,8	51,1	60,4	60,0
13 14	60,0	59,8	59,6	59,4	54,2	52,3	56,4	54,4	56,7	54,0	59,9	59,4
14 15	60,3	60,1	57,7	57,4	53,8	50,4	55,3	51,9	56,0	53,7	60,4	60,0
15 16	59,6	59,3	57,1	56,6	54,0	49,6	54,9	52,5	55,0	52,0	59,2	58,9
16 17	61,3	61,0	55,7	54,8	58,3	57,5	57,5	55,8	54,0	52,0	57,1	56,6
17 18	63,1	62,9	64,2	64,0	59,8	58,8	59,3	56,6	55,0	49,9	60,8	60,5
18 19	60,1	59,8	62,9	62,7	55,8	53,2	59,4	58,2	51,7	48,8	60,0	59,8
Ld	61,4	61,2	61,4	60,9	59,1	58,2	57,7	55,7	55,8	53,4	59,3	58,9
19 20	62,2	61,8	60,1	59,5	55,4	53,6	54,9	51,8	52,4	49,2	59,3	59,0
20 21	59,4	58,9	65,4	65,2	63,7	63,4	58,8	58,2	51,1	48,1	63,8	63,7
21 22	62,3	62,1	63,4	63,2	56,6	55,8	58,7	58,0	52,9	50,4	61,4	61,2
22 23	52,0	50,0	55,1	53,9	53,1	51,3	51,7	49,4	46,4	42,7	58,0	57,9
Le	60,4	60,0	62,4	62,1	59,2	58,7	56,9	55,8	51,3	48,4	61,2	61,0
23 24	53,6	52,9	54,9	54,1	48,1	44,9	51,8	49,9	46,5	45,7	44,9	39,0
0 1	41,4	0,0	47,5	0,0	40,5	0,0	46,3	0,0	39,3	0,0	42,5	0,0
1 2	38,8	0,0	41,9	0,0	40,4	0,0	46,4	0,0	42,8	0,0	40,6	0,0
2 3	38,0	0,0	42,5	0,0	44,3	0,0	46,3	0,0	39,7	0,0	42,1	0,0
3 4	36,0	0,0	41,5	0,0	41,5	0,0	44,2	0,0	40,4	0,0	41,3	0,0
4 5	36,7	0,0	41,8	0,0	43,5	0,0	45,1	0,0	38,9	0,0	43,1	0,0
5 6	42,5	0,0	45,1	0,0	45,5	0,0	48,4	0,0	42,7	0,0	46,4	0,0
6 7	55,0	54,2	51,7	49,6	51,1	47,0	47,9	0,0	43,8	0,0	55,8	54,9
Ln	48,8	47,6	48,8	46,4	45,9	40,1	47,7	40,9	42,5	36,7	48,3	46,0

Según lo descrito en el *Artículo 25 ii)* del RD 1367/ 2007 anteriormente mencionado, ningún valor diario supera en 3 dB los valores descritos en la tabla A1 para una tipo de área acústica a. En el punto de medida no puede haber ningún tipo de servicio sanitario, cultural o docente pues la actividad aeroportuaria sería penalizada.

Estudiamos el caso de presencia de niveles elevados de ruido. A continuación se muestra la gráfica en la que aparece el L_{Amax} de todos los eventos detectados.

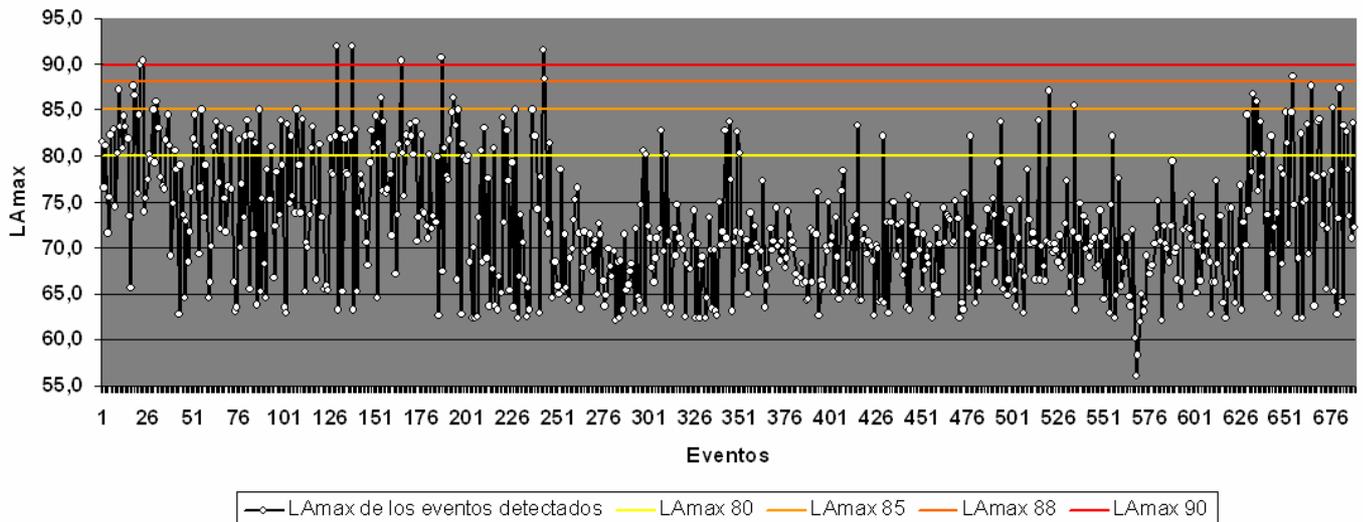


Figura 43. Valores máximos de cada evento detectado durante todo el periodo de medida

La gráfica no es de utilidad para la evaluación según el Real Decreto, pero puede dar una estimación. Por ejemplo, si se extrapola la semana de medida a un año, se puede comprobar que más del 3 % de los L_{Amax} de todos los días supera el umbral de 80 dBA, por lo que no podría ubicarse en el punto de medida un servicio sanitario, docente o cultural porque el aeropuerto no cumpliría con la norma como ya se apuntaba anteriormente.

En la siguiente gráfica se han seleccionado los L_{Amax} de cada jornada. Si se extrapola a un año se comprueba que más del 3 % de niveles L_{Amax} superan el límite establecido para una zona residencial.

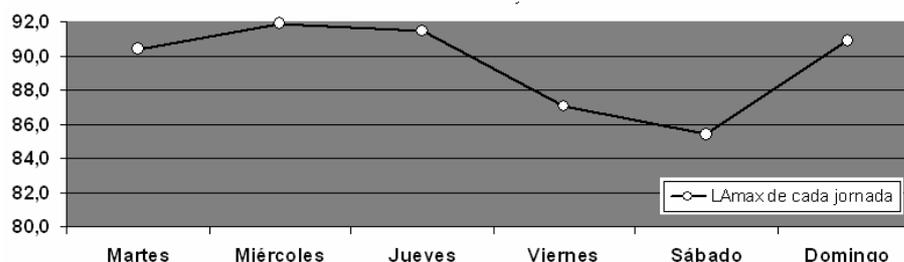


Figura 44

Se puede concluir diciendo que la infraestructura aeroportuaria no cumple los límites establecidos por el RD 1367/ 2007.

6.- CONCLUSIONES

Se ha implementado un software con capacidad de discernir ruidos procedentes de infraestructuras aeroportuarias de ruidos procedentes de otras fuentes mediante detección por umbralización y discriminación por propiedades acústicas de los eventos detectados.

La identificación de eventos se realiza únicamente con información acústica y nunca se utiliza información de la trayectoria de los vuelos, radar o localización de fuentes mediante *arrays* de micrófonos.

Se han definido dos curvas medias características de los espectros de ruidos de aeronaves y de ruidos de otras fuentes que han sido confundidos como tal. La curva promedio corresponde al lugar de medida pues el estudio se ha llevado a cabo en un solo punto de medida. Sería deseable confirmar esta curva promedio con medidas de otros puntos y poder validar el uso del software a otras localizaciones.

El algoritmo de detección de picos discrimina numerosos eventos falsos positivos que realmente son ruidos semi-impulsivos en los que hay una subida de nivel repentina.

En mejoras futuras del algoritmo se incluiría una delimitación más precisa del inicio y el fin de los eventos detectados. Por otro lado no afecta significativamente este proceso de delimitación puesto que los resultados así lo demuestran. En los peores casos se capta ruido de fondo en los eventos que energéticamente no afectan al L_{Aeq} del evento.

El error de detección del 7 % no afecta al resultado final al tratarse de eventos energéticamente menores a los producidos por aeronaves. La no discriminación de estos eventos se debe a que presentan una mejor correlación con la curva promedio del espectro de ruido de aeronaves. Sería una futura mejora implementar la actualización de las curvas promedio calculadas según se detecten y discriminen nuevos eventos todo ello, eso sí, para un mayor número de puntos de medida.

Los resultados, sobre un ruido de fondo variable y una relación señal ruido baja en algunos casos, podrían ser mejorados consiguiendo que la relación señal ruido sea mayor. La detección mejoraría en entornos acústicamente más tranquilos.

La evaluación de los periodos diarios para comprobar el cumplimiento de los valores límites de inmisión es más fidedigna cuando se realiza el cálculo sobre la evaluación únicamente del ruido producido por aeronaves detectadas.

El cálculo del L_{Aeq} de un evento se calcula mejor al tener consideraciones sobre la forma de muchos de éstos. Se tiene en cuenta niveles hasta 20 dB inferiores al máximo, se consiguen así niveles más semejantes a los reales.

Alguno de los resultados diarios supera en 3 dB en algún momento los valores límites marcados por el RD 1367/ 2007 para el tipo de área acústica que se está estudiando. La actividad aeroportuaria no cumple la norma.

Los resultados obtenidos sobre el estudio de 144 horas y más de 600 eventos existentes son muy buenos, detectando el 95 % de eventos existentes con una confianza del 93 %. Además, la cuantificación del impacto del ruido de aeronaves (L_{Aeq} total de aeronaves) se realiza con un 99.97 % de fiabilidad.

Del 5 % de eventos no detectados algunos de ellos no superaron el umbral de 62 dBA y otros presentaron una mayor correlación espectral con la curva media de eventos falsos positivos.

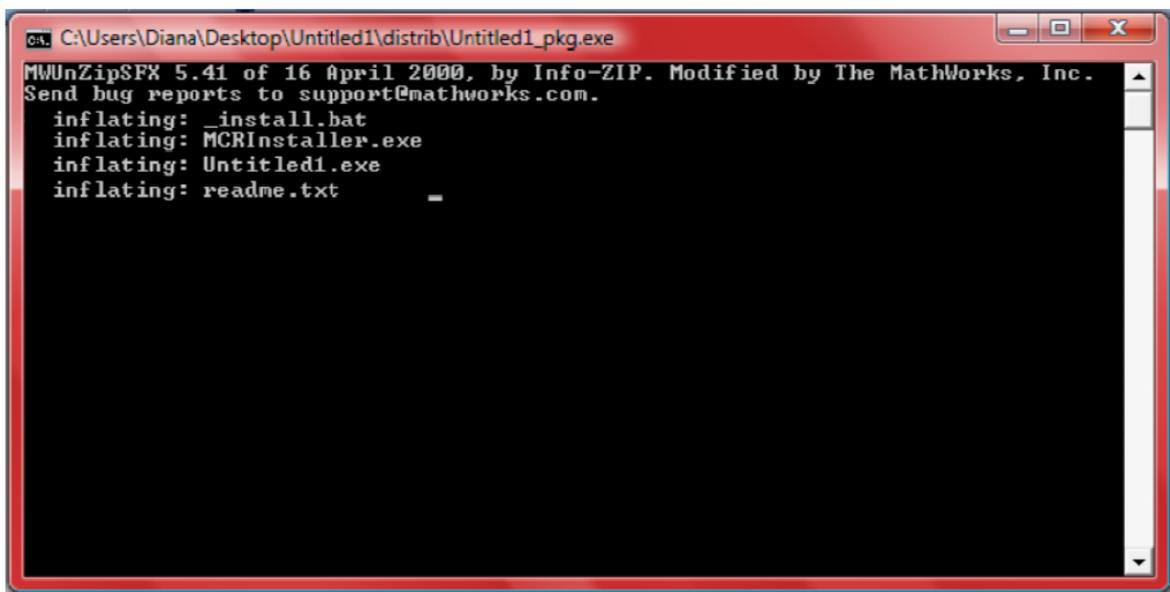
El código podría ser implementado en un dispositivo de ejecución en tiempo real (DSP) y servir de método evaluador en un equipo de medida.

7.- MANUAL DE USUARIO

7.1.- INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN

Para instalar la aplicación y que funcione en un equipo que no tenga instalado MATLAB lo primero que hay que hacer es ejecutar el fichero `DRA_pkg.exe`. Para ello ir a `D:\DRA\distrib\DRA_pkg.exe`.

Al ejecutar el fichero `.exe` se abrirá una ventana de sistema (Figura 45) en la que aparecerán los archivos que hay comprimidos dentro del empaquetado.



```
C:\Users\Diana\Desktop\Untitled1\distrib\Untitled1_pkg.exe
MWUnZipSFX 5.41 of 16 April 2000, by Info-ZIP. Modified by The MathWorks, Inc.
Send bug reports to support@mathworks.com.
 inflating: _install.bat
 inflating: MCRInstaller.exe
 inflating: Untitled1.exe
 inflating: readme.txt
```

Figura 45. Ventana de información del proceso de descompresión

Por lo general dichos archivos están ya contenidos en la carpeta `distrib`, en caso de que así sea, aparecerá en la ventana de sistema un mensaje de información en el que se solicita realizar una acción ante la presencia de dichos archivos ya existentes (Figura 46). Para todos los casos en que se solicite el reemplazo de un archivo se dará la opción `[y]es`.

```
C:\Users\Diana\Desktop\Untitled1\distrib\Untitled1_pkg.exe
MWUnZipSFX 5.41 of 16 April 2000, by Info-ZIP. Modified by The MathWorks, Inc.
Send bug reports to support@mathworks.com.
replace _install.bat? [y]es, [n]o, [A]ll, [N]one, [r]ename: y
  inflating: _install.bat
  inflating: MCRIInstaller.exe
replace Untitled1.exe? [y]es, [n]o, [A]ll, [N]one, [r]ename: y
  inflating: Untitled1.exe
replace readme.txt? [y]es, [n]o, [A]ll, [N]one, [r]ename: y
  inflating: readme.txt

C:\Users\Diana\Desktop\Untitled1\distrib>echo off
Deploying project Untitled1.
Running MCRIInstaller
```

Figura 46. Reemplazo de archivos existentes

Aparecerá posteriormente una confirmación de que se va a ejecutar el *MCRIInstaller*, al mismo tiempo que aparece la ventana de selección de lenguaje (Figura 47). Sólo se puede instalar el *Runtime* en inglés o en japonés.

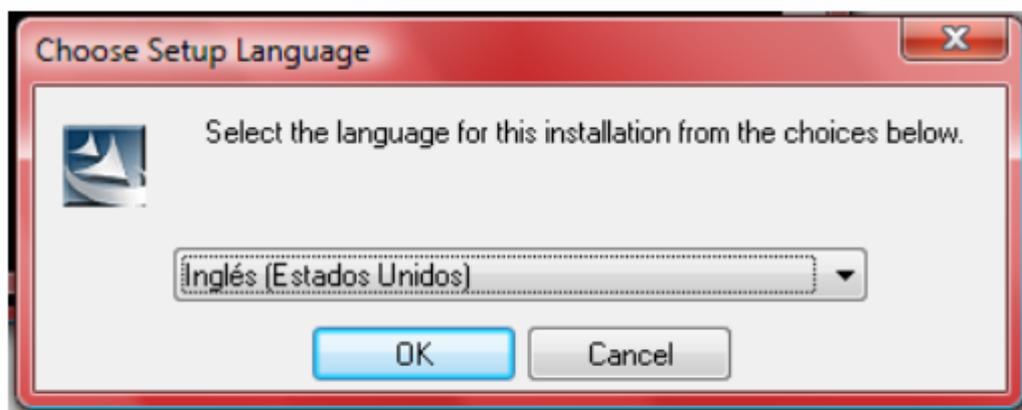


Figura 47. Selección de idioma

Tras elegir el idioma es posible que, dependiendo del PC, se solicite la instalación del *VCREDIST_X86.exe*⁸. Se ha de hacer clic en el botón *Install*.

⁸ Al estar el compilador de MATLAB construido con *Visual Studio*® 2008 *Compiler* se deben instalar las librerías de ejecución en tiempo real de Visual C++®. Este archivo es necesario para ejecutar aplicaciones desarrolladas con Visual C++ en un equipo que no tiene Visual C++ 2008 instalado.

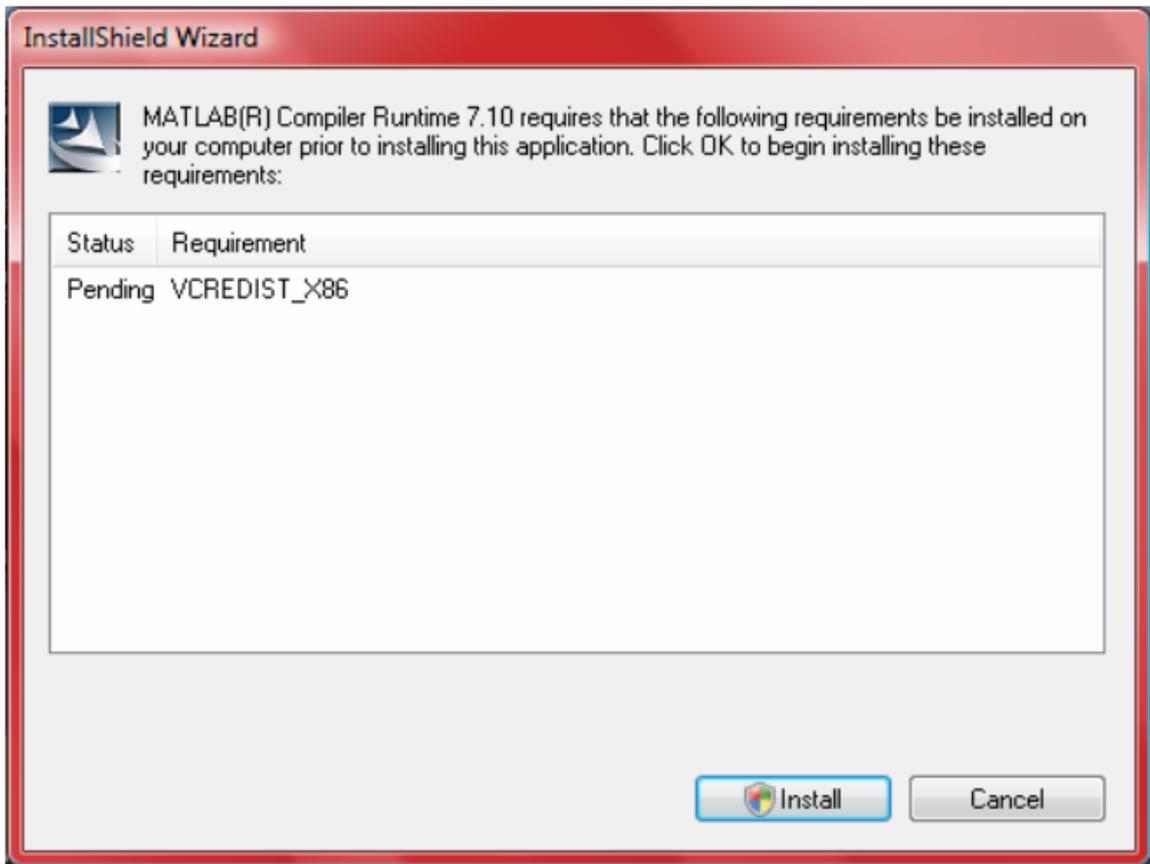


Figura 48. Instalación de librerías para ejecución en tiempo real de código C++

Continuando la instalación aparece una ventana (Figura 49) en la que se nos informa de los registros de las firmas de The MatchWorks, Inc. y la protección de derechos. Hacer clic en el botón *Next* para continuar.

En la ventana que a aparece a continuación ingresar el nombre de usuario que se desee y hacer clic en el botón *Next* para continuar.

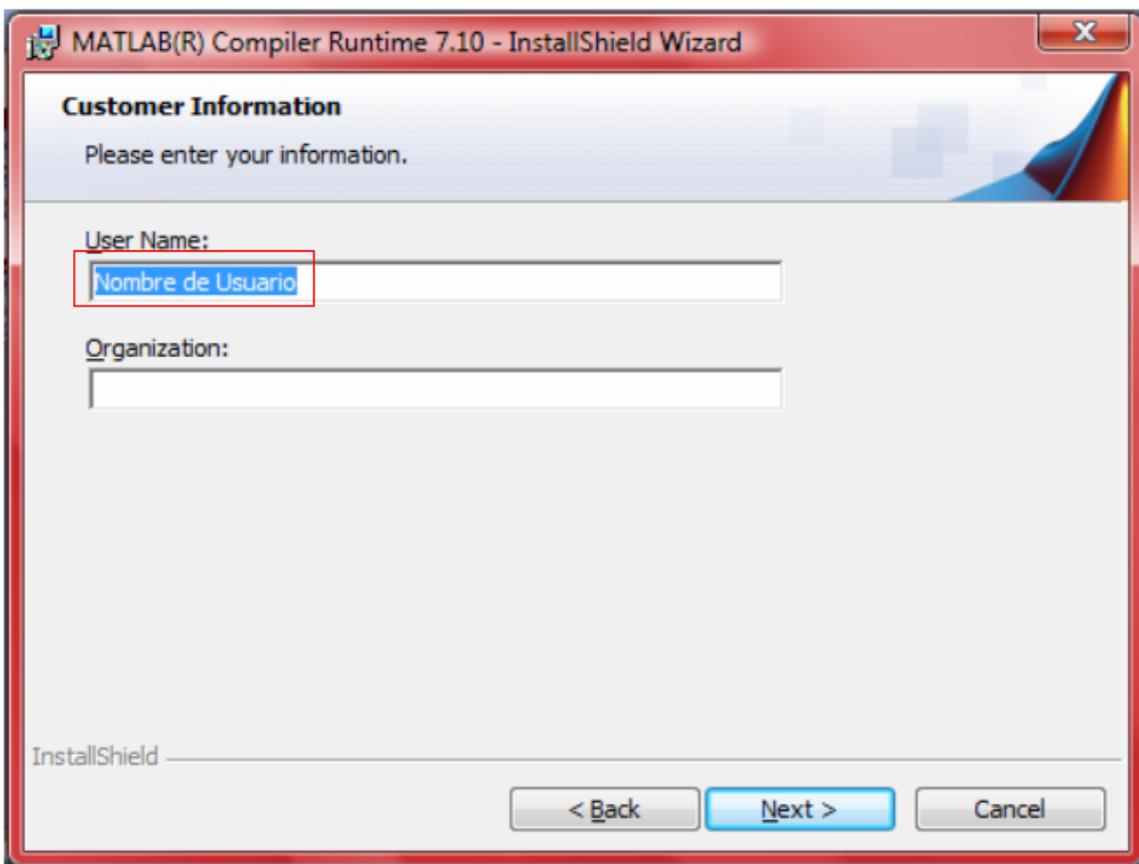
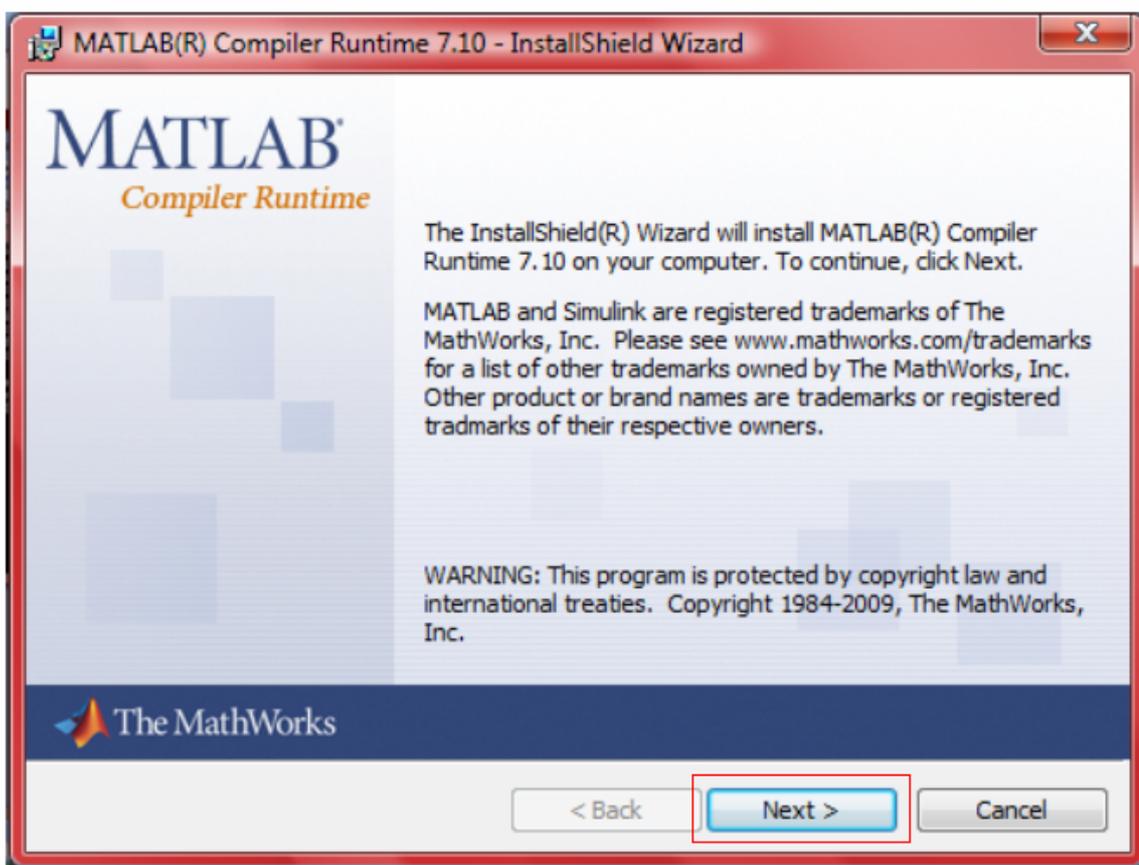


Figura 49. Aceptación de derechos reservados e introducción de nombre de usuario

Se pide seguidamente seleccionar la carpeta de instalación del compilador (Compiler Runtime 7.10), se puede dejar la opción por defecto o cambiar la localización en la que se desea instalar el compilador. Para continuar con la instalación hacer clic en el botón *Next*.

En caso de que se desee cambiar alguna de las opciones anteriormente marcadas se puede retroceder haciendo clic en el botón *Back* para cambiarlas. Si no es así iniciar la instalación haciendo clic en el botón *Install*. Figura 50:

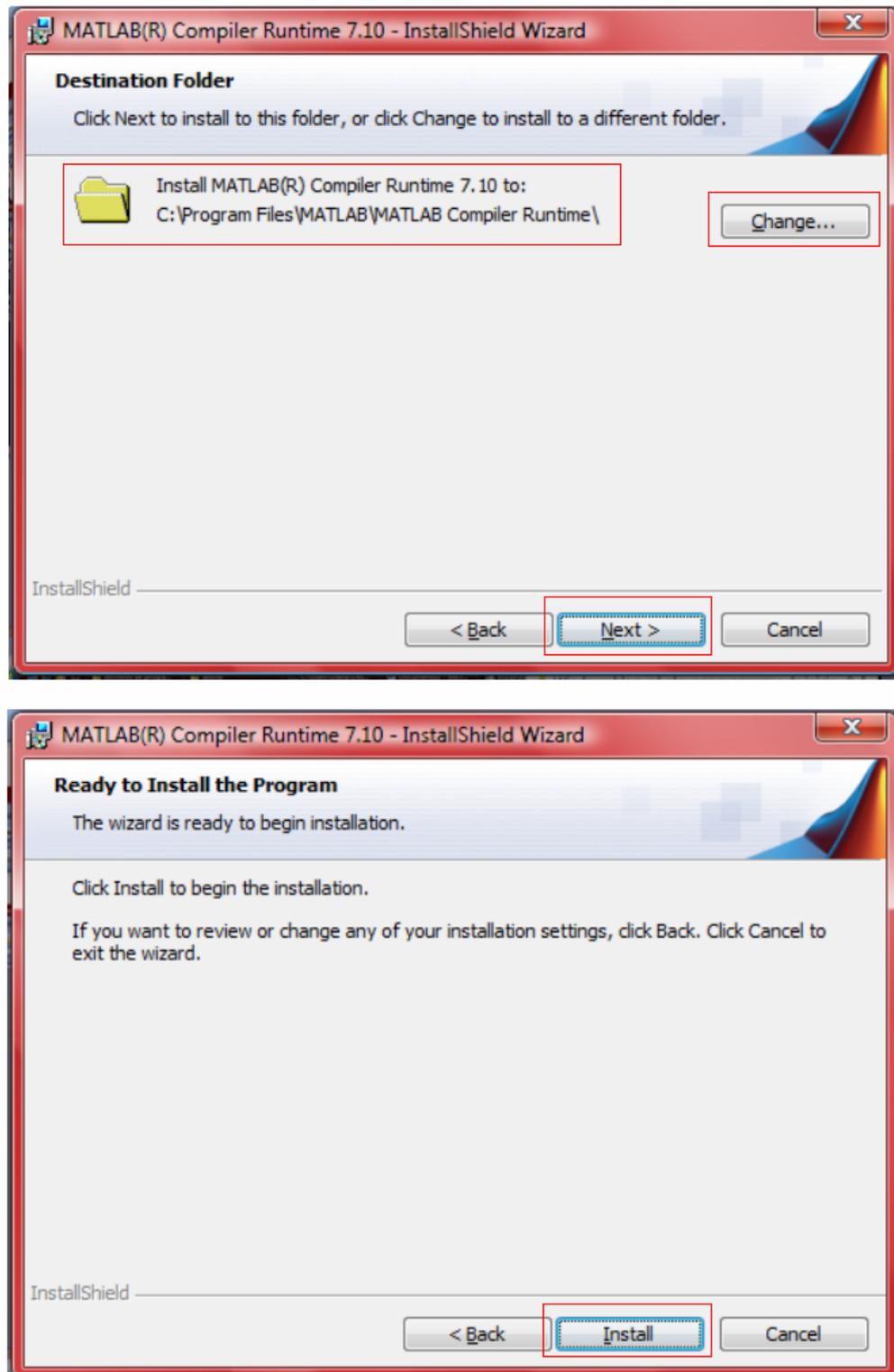


Figura 50. Destino de la instalación e inicio de la misma

Aparecerá una nueva ventana en la que se muestra el estado de la instalación, si en algún momento se desea cancelar se ha de hacer pinchando en el botón *Cancel*. Cuando la instalación termine aparecerá una ventana en la que se certificará que la instalación ha sido completada, para terminar pulsar en el botón *Finish*. Figura 51:

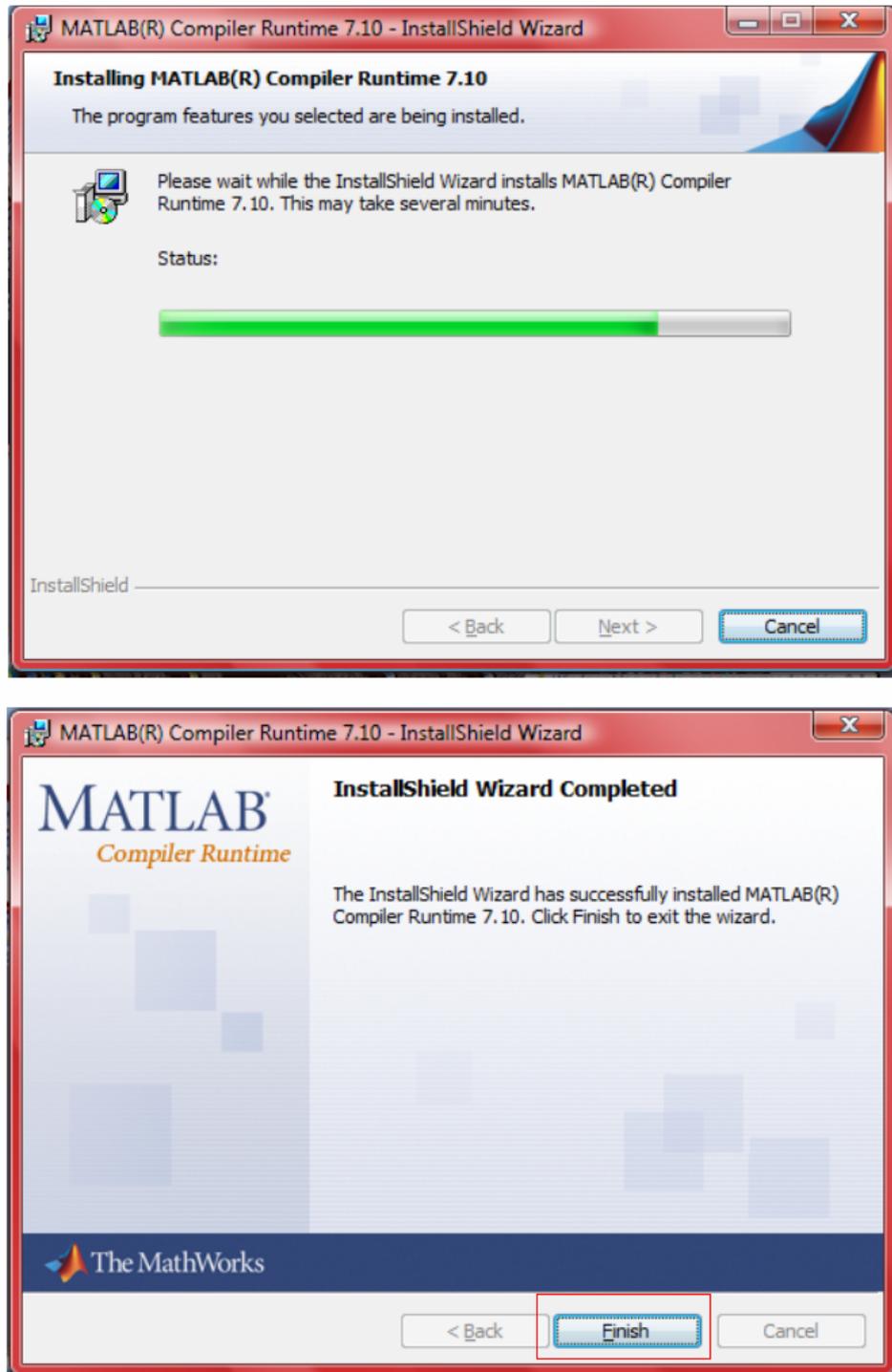


Figura 51. fin del proceso de instalación

Ya se ha instalado el Compiler Runtime 7.10 correctamente en el PC.

7.2.- MANEJO DEL PROGRAMA

Para abrir el software de Detección de Ruido de Aeronaves hacer clic en el ejecutable.

En caso de inicializar el programa sin haber realizado al instalación aparecerá un mensaje de error (Figura 52), al no haber instalado las librerías de C++ previamente en el ordenador.

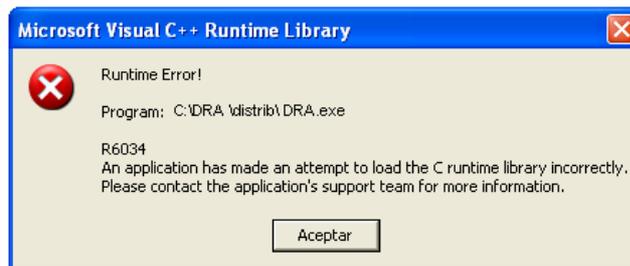


Figura 52 Error en caso de no haber instalado el Runtime correctamente

Para abrir el software de Detección de Ruido de Aeronaves hacer doble clic en el archivo *DRA.exe*. Se abrirá una ventana de sistema en la que aparecerán los mensajes de error, en caso de que los haya, durante la ejecución del software. Si esta ventana se cierra lo hará también el software.

- **Ventana principal**

La ventana principal (Figura 53) del programa muestra un único botón que se pulsa para seleccionar fichero.



Figura 53 Ventana de presentación del programa

- **Selección de fichero**

Pulsando sobre el botón aparece una nueva ventana, *Seleccionar fichero .xls* (Figura 54). En esta ventana se seleccionará el fichero de extensión .xls⁹ que se desee cargar en el programa. Por defecto la ventana sólo mostrará los ficheros de dicha extensión, mas se puede ver cualquier tipo de fichero (modificar ficheros a mostrar en: *Tipo- All Files*).

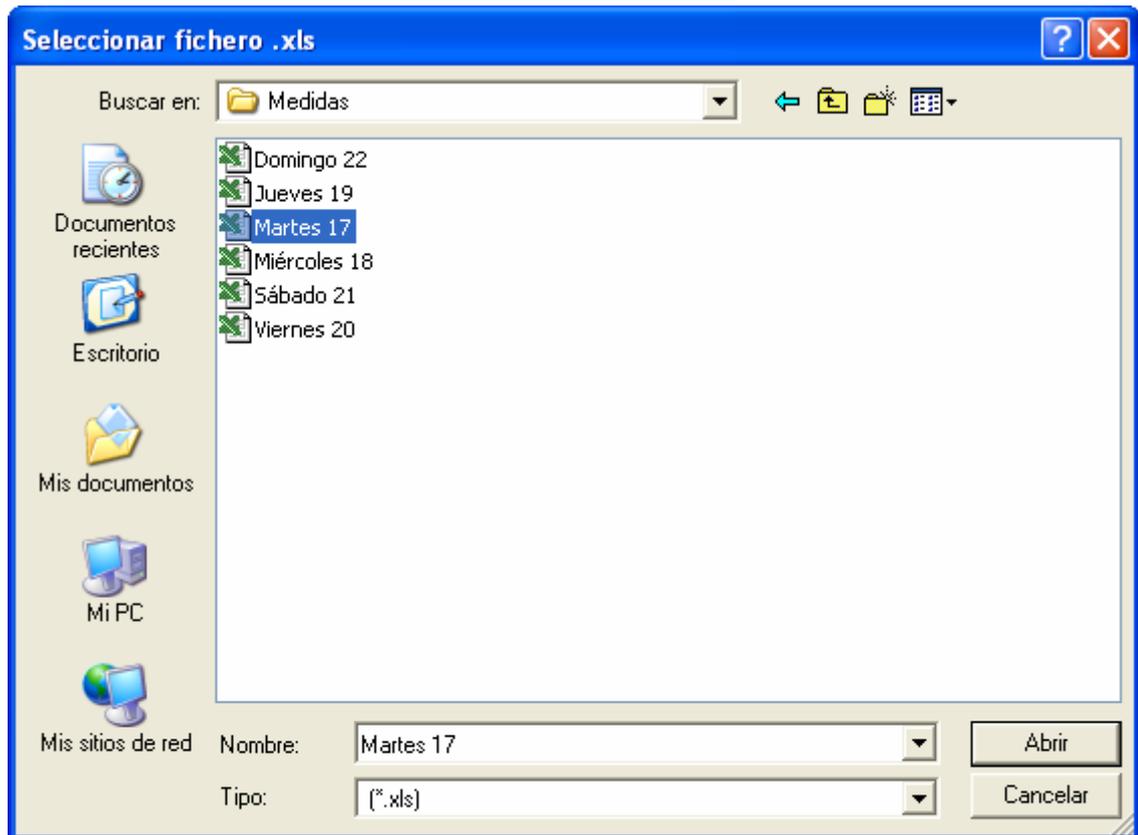


Figura 54. Selección de fichero

La ventana bloquea la ejecución del programa mientras ésta esté activa. Para elegir un fichero hacer doble clic sobre él o *clic- Abrir*, la ventana se cerrará automáticamente y el fichero se cargará en el programa.

Para salir de la ventana sin hacer selección alguna pulsar *Cancelar* o clic sobre el botón .

En la ventana de selección de fichero se puede desplegar el menú de opciones haciendo clic con el botón derecho sobre cualquier archivo o carpeta para poder modificar sus atributos.

⁹ Ver formato del fichero en página 104



Figura 55. Mensaje de error

Si se intenta cargar un fichero cuya extensión no sea .xls el programa dará un mensaje de error recordando que se ha de seleccionar un fichero Excel. Figura 55:

- **Selección de tipo de área acústica**

Tras seleccionar el fichero aparecerá una nueva ventana (Figura 56) en la que se mostrará un menú para seleccionar el tipo de área acústica que se está evaluando. Los tipos de área acústica están descritos en el *Anexo V* del RD 1367/2007 y se pueden ver pulsando en el botón de ayuda  .

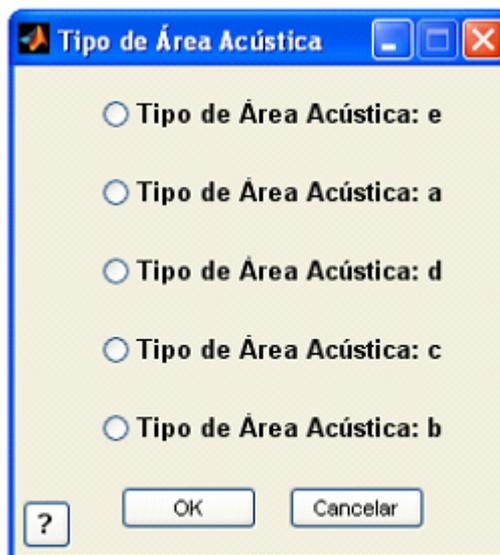


Figura 56. Selección del tipo de área acústica

La elección del tipo de área acústica no afecta a los resultados y se usa meramente para información al usuario sobre si los eventos detectados cumplen con lo estipulado por el Real Decreto 1367/2007.

- **Selección de rango de tiempo**

Inmediatamente, tras seleccionar el tipo de área acústica se abrirá una nueva ventana (*Selección de Rango de Tiempo*) en la que se ha de elegir el rango de tiempo sobre el que se va a realizar el estudio. Figura 57:

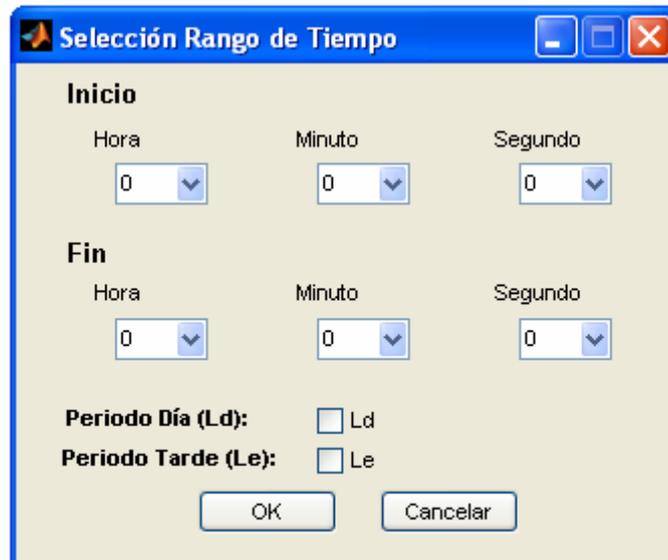


Figura 57. Selección del rango de tiempo

Se pueden seleccionar horas, minutos y segundos tanto del tiempo de inicio como el de fin. Así también para mayor comodidad se puede hacer clic en los *ticks* de acceso rápido para el cálculo de $L_{\text{día}}$ (L_d) y L_{tarde} (L_e).

No puede ser seleccionado ni evaluado el periodo temporal L_{noche} (L_n) porque se necesitan datos de dos días consecutivos y los ficheros, según el formato descrito, están separados por días. En una futura actualización del software sería posible una concatenación de ficheros que de algún modo permita evaluar el L_n de un día.

La ventana bloquea la ejecución del programa. Cuando la selección de tiempo haya finalizado hacer clic en *OK*. En caso de que se desee cerrar la ventana para no continuar con la ejecución se ha de hacer clic en *Cancelar*.

Si la hora de inicio es mayor que la hora de fin el programa mostrará un mensaje de error como el de la Figura 58, volviendo a solicitar la selección de un periodo válido de tiempo.

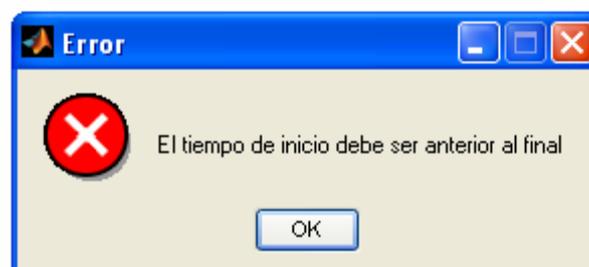


Figura 58. Mensaje de error

- **Ventana de resultados**

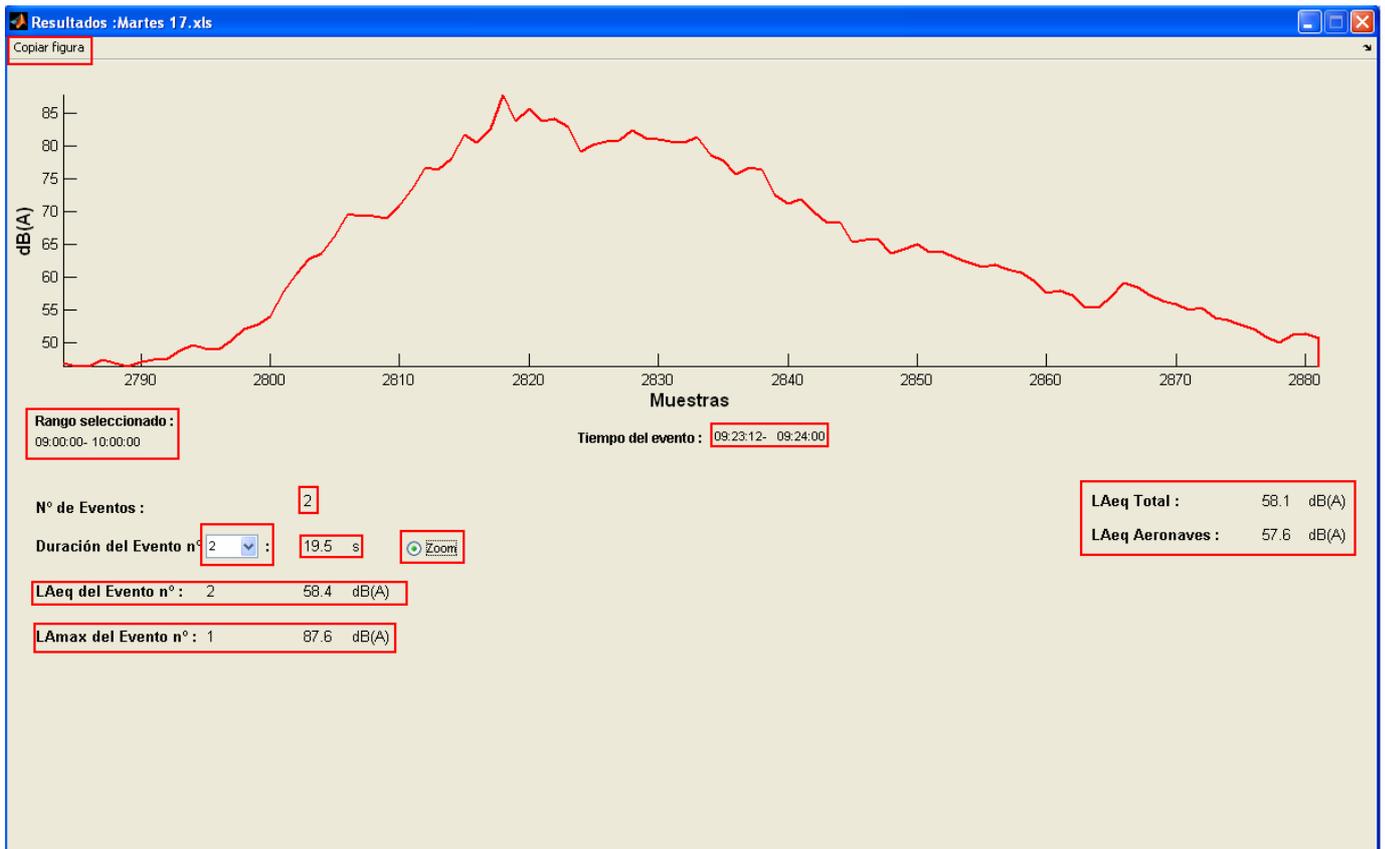


Figura 59. Ventana de resultados

En la ventana *Resultados* se muestra la siguiente información:

Gráfica: la gráfica representa, en un primer momento, la evolución del nivel de presión sonora ponderado A en el rango de tiempo seleccionado.

El eje de ordenadas marca el nivel de presión sonora ponderado A, mientras el eje de abscisas muestra el tiempo seleccionado en muestras, donde la duración de una muestra es de 0.5 segundos. La muestra primera es el primer segundo del tiempo de inicio elegido.

En línea continua negra se muestra el nivel de presión sonora medido en el tiempo seleccionado. Superpuesta se encuentra la línea continua roja que marca únicamente los eventos detectados.

Colocando el puntero del ratón sobre la gráfica se activa una herramienta de zoom manual. Por defecto este zoom se realiza en horizontal, se puede realizar zoom vertical o sin ninguna restricción de dirección, para ello: *clic derecho sobre la gráfica-Zoom options- Vertical Zoom / Unconstrained zoom* respectivamente.

El zoom se puede realizar con la ruleta del ratón o arrastrando con el botón derecho en la gráfica. Para deshacer el zoom pinchar dos veces sobre la gráfica o retroceder con la ruleta.

Rango seleccionado: muestra en formato HH:MM:SS el tiempo de inicio y fin seleccionados.

Tiempo del evento: muestra el momento en el que inicia y el termina el evento seleccionado. Se diferencia de la duración del evento en que aquí se muestra el tiempo que dura toda la curva, todo el intervalo que se muestra en el eje de abscisas.

Nº de Eventos: muestra el número de eventos que han sido detectados en el intervalo de tiempos seleccionado. El número marcado incluye posibles errores en la detección, si los hubiere, como son los falsos positivos, que no son diferenciables; acaso si fueran diferenciables visualmente por el usuario.

Duración del Evento nº: aquí se muestra la duración en segundos del evento seleccionado con el menú desplegable, dicho menú permite elegir que evento se mostrará en la gráfica, sobre del que se mostrará su duración y su nivel L_{Aeq} . La duración que se muestra de cada evento es la duración sobre la que ha sido calculado el L_{Aeq} de dicho evento. Esta duración sólo contempla el tiempo en que la energía de un evento no es inferior a 20 dB del máximo del evento.

Zoom: el botón de activación *Zoom*, cuando está activo centra sobre la gráfica el evento seleccionado. La duración que se muestra no corresponde con la del cálculo del L_{Aeq} , y es todo el periodo de detección del evento.

Cuando el botón está desactivado la gráfica representa la totalidad del rango de tiempo seleccionado.

L_{Aeq} del Evento: muestra el nivel L_{Aeq} en dBA de cada evento individual. Muestra el nivel ponderado del evento que ha sido elegido en el menú desplegable.

L_{Aeq} Total: muestra en dBA el nivel total en el lugar de medida durante el tiempo seleccionado. Cuando ha sido seleccionado el periodo 07:00:00 – 19:00:00 el nivel representa el $L_{día}$ (L_d); cuando el periodo seleccionado ha sido 19:00:00 - 23:00:00 el nivel representa el L_{tarde} (L_e).



LAeq Aeronaves: muestra la afección que el ruido de aeronaves ha producido en lugar de medida durante el rango de tiempo seleccionado. El resultado se expresa en ponderación A.

LAmaz: muestra el nivel máximo del evento seleccionado en ponderación frecuencial A. Cuando el nivel supera al nivel máximo marcado por el RD 1367/ 2007 el resultado se muestra en color rojo como indicación de alerta para tener considerado el día de estudio como un caso que no cumple el apartado *iii)* del *Artículo 25* del RD 1367/ 2007.

Copiar figura: este botón permite copiar la figura que se está visualizando al portapapeles para poder ser llevada a cualquier otro programa.

8.- MANUAL DE PROGRAMADOR

8.1.- CREAR EJECUTABLE .EXE EN MATLAB

A continuación se detallará el proceso para conseguir que el código implementado en MATLAB pueda ser ejecutado en un PC¹⁰ que no tenga instalado MATLAB.

Para crear el fichero ejecutable (.EXE) y demás ficheros necesarios para el funcionamiento del programa es necesario tener instalado Simulink de MATLAB, es el módulo que permitirá ejecutar el compilador.

Primeramente se abre la ventana de 'Herramienta de Implementación' (*Deployment Tool Window*), que es una interfaz gráfica de usuario de los productos *Builder JA Builder JA* y *Compiler* de MATLAB. Para ello ejecutar en el *Command Window* la siguiente instrucción:

```
>> deploytool
```

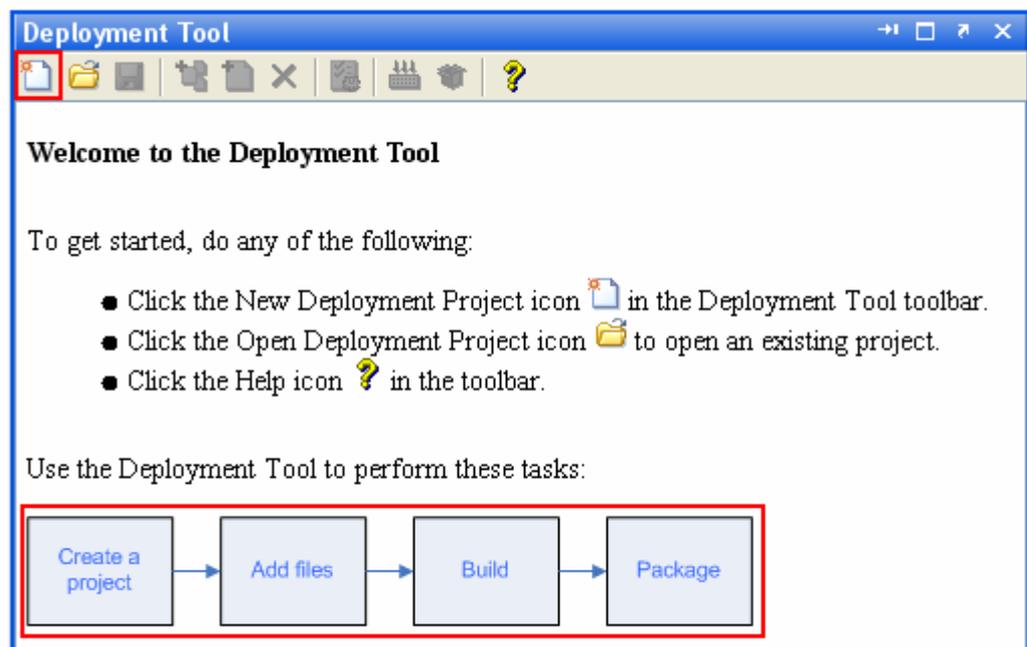


Figura 60. Ventana de la Herramienta de Implementación de ejecutables

Se han de seguir los pasos que en la ventana (Figura 60) se marcan: crear un proyecto, añadir ficheros, montaje (*build*) y empaquetado.

¹⁰ El archivo creado (.EXE) en código C++ no podrá ser ejecutado en plataformas MAC o Unix.

Se creará un nuevo proyecto (.prj), pinchando sobre el icono  aparecerá una nueva ventana (Figura 61); en ella se mantendrán activas las opciones que aparecen por defecto y se dará el nombre que deseemos al proyecto, además se elegirá la carpeta de salida en la que se crearán todos los ficheros.

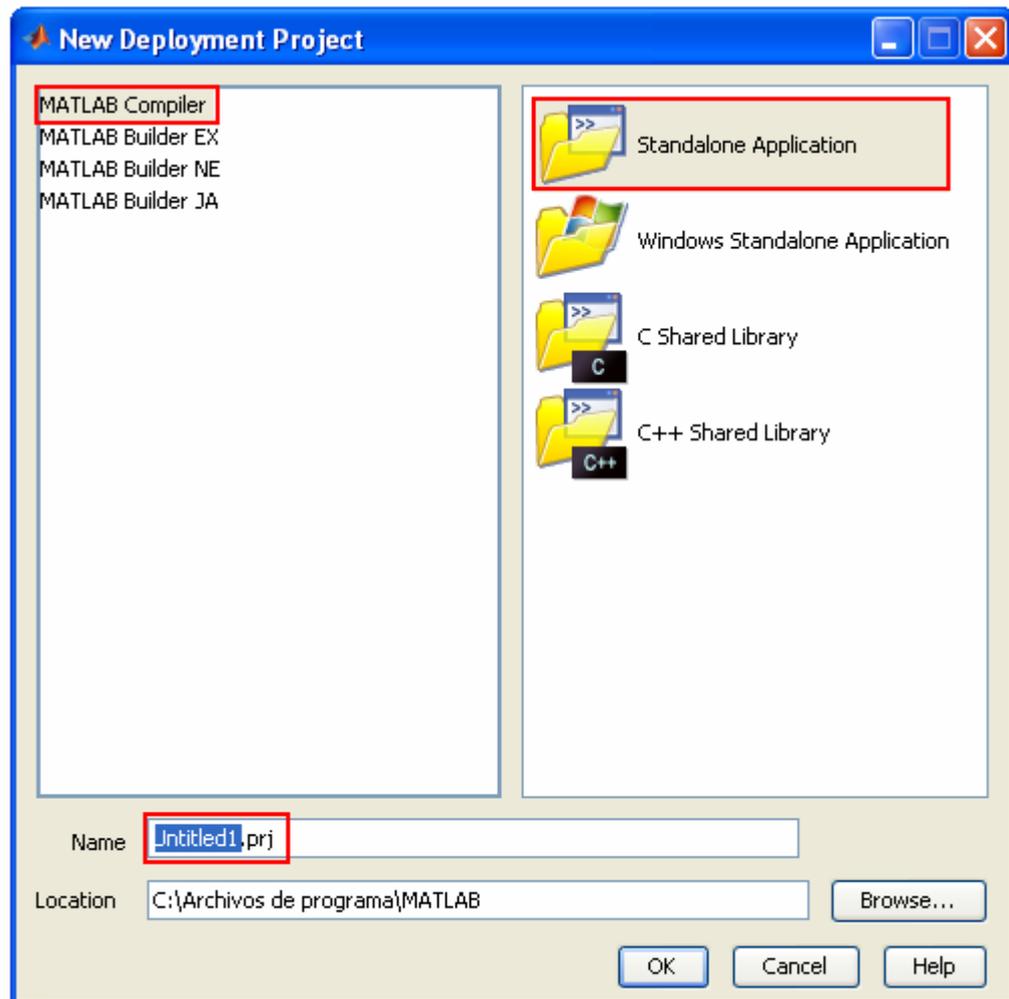


Figura 61. Crear un nuevo proyecto

Una vez se ha creado el proyecto se han de añadir los ficheros, ello se hace en la nueva ventana que ha aparecido (Figura 62). Teniendo seleccionada la opción *Main function* se añadirá, pinchando sobre el icono , el archivo que contiene la aplicación principal de la aplicación. De igual modo se añadirán los demás archivos ligados a dicha función y necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación. Se agregarán todos los ficheros .m necesarios así como las imágenes de fondo que se utilicen.

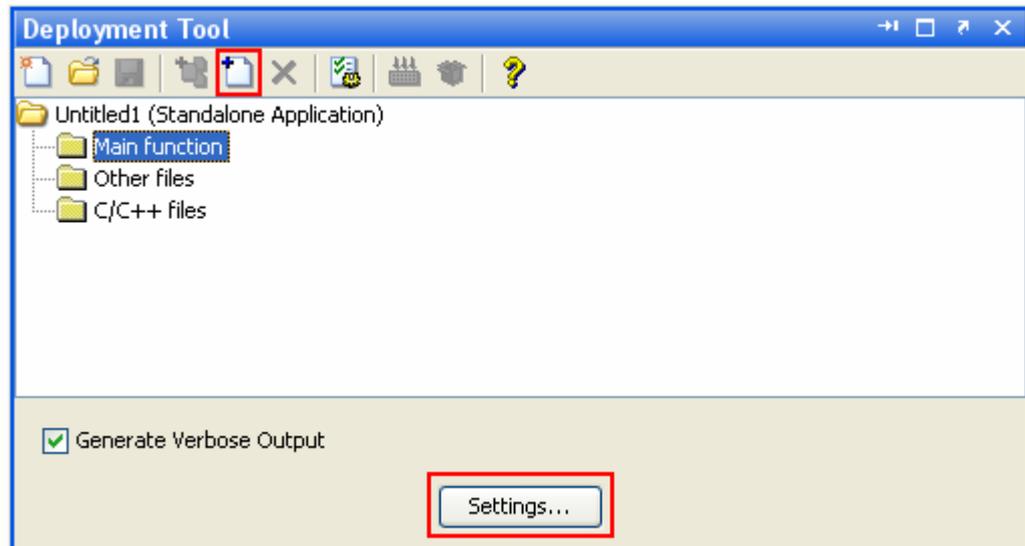


Figura 62. Selección de ficheros que conforman el software

Para cambiar las opciones se hará clic sobre *Settings*, en la pestaña *Packaging* se habrá de asegurar que se incluye el Runtime de MATLAB (*MCR*, *MATLAB Compiler Runtime*) que hará que se pueda ejecutar el programa en un PC que no tenga instalado MATLAB. Figura 63.

MCR - *MATLAB Compiler* utiliza el *MATLAB Compiler Runtime (MCR)* que es un conjunto independiente de librerías compartidas que permite la ejecución de ficheros *.m* (*M*- files). El *MCR* proporciona soporte completo para todas las funciones de MATLAB, sin la interfaz gráfica de MATLAB.

Cuando se empaqueta y se distribuye una aplicación a usuarios, se incluyen todos los archivos auxiliares generados por el *builder* así como el *MCR* de MATLAB, el compilador en tiempo real de MATLAB.

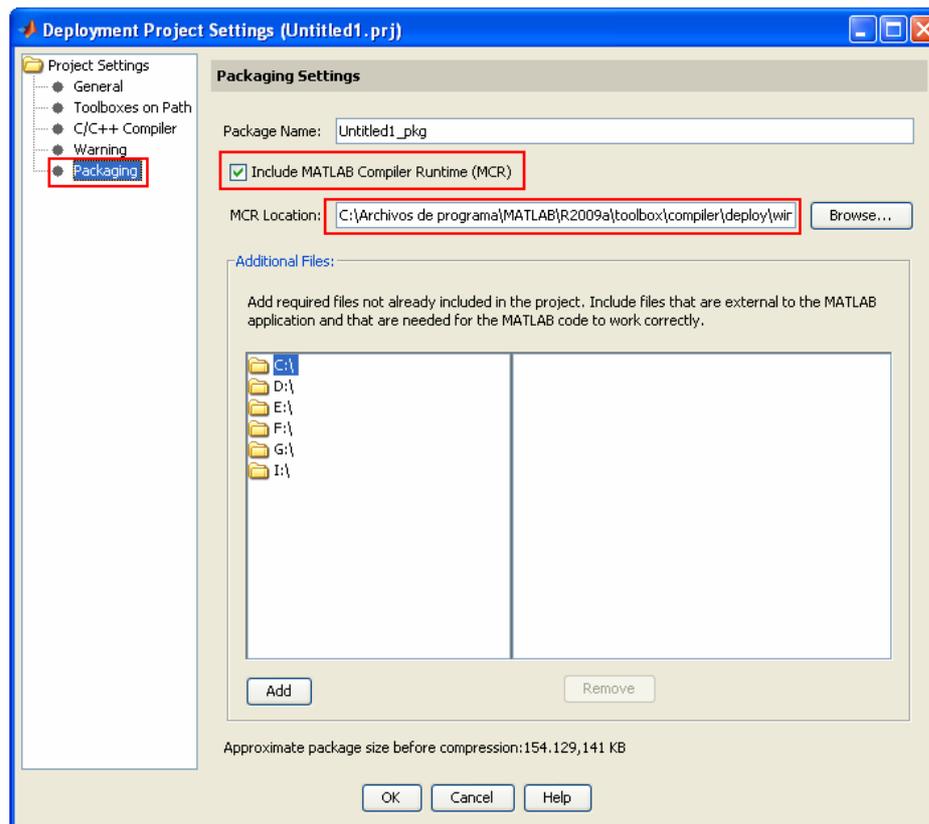


Figura 63. Opciones de empaquetado

Ya se han añadido los ficheros necesarios que conforman el programa así como el Runtime de MATLAB. A continuación se va a proceder a montar el proyecto, para ello se pincha sobre el icono  (*Build the Project*) de la ventana *Deployment Tool*.

Aparecerá una nueva ventana (*Deployment Tool Output*) en la que se mostrará el estado de la compilación:

```
mcc -F 'C:\ ... \ Untitled1.prj'
```

Al final del proceso deberán aparecer dos mensajes de confirmación como los que se muestran a continuación:

...

Compilation completed successfully. The output is located in C:\ ... \Untitled1\distrib.

You can package the component by clicking on the "Package" icon in the Deployment Tool toolbar, or ...

Se comprobará que se ha creado el fichero .EXE en la carpeta de destino C:\ ... \Untitled1\distrib\.

Como ya nos ha indicado en el texto de confirmación, podemos ‘empaquetar’ el proyecto pinchando sobre el icono  (*Package the Project*) de la ventana *Deployment Tool* que unirá todos los ficheros con el Runtime para que puedan ser instalados y ejecutados en un PC que no tenga instalado MATLAB. Este es el último paso.

Durante el proceso de ‘empaquetado’ aparecerá una ventana como la de la Figura 64. Al finalizar el proceso aparecerá en la ventana *Deployment Tool Output* la confirmación de que el ‘empaquetado’ se ha realizado correctamente y cuantos y qué ficheros se crearon, así como el tamaño del paquete.

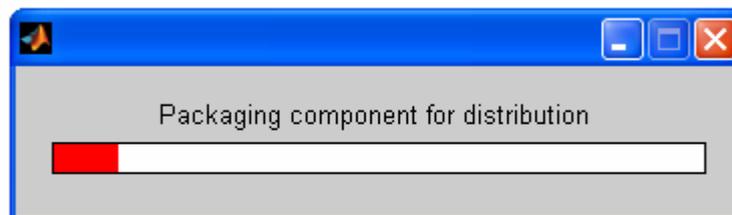


Figura 64. Tiempo de espera para crear el empaquetado

Por último, para comprobar que se han generado correctamente los ficheros escribiremos en el *Command Window* la instrucción:

```
>> ans
```

y se nos devolverá en pantalla la localización del fichero ejecutable:

```
C:\... \Untitled1\distrib\Untitled1_pkg.exe
```

En dicha localización están todos los ficheros que hay que llevar al PC que queramos instalar la aplicación.

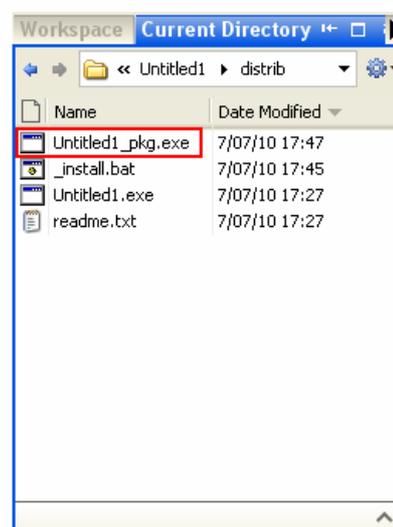


Figura 65. Localización del empaquetado

Se muestra a continuación la estructura que tiene MATLAB para realizar la compilación y que son algunos los pasos que la interfaz *Deployment Tool* (comando >> deploytool) automatiza para comodidad del programador.

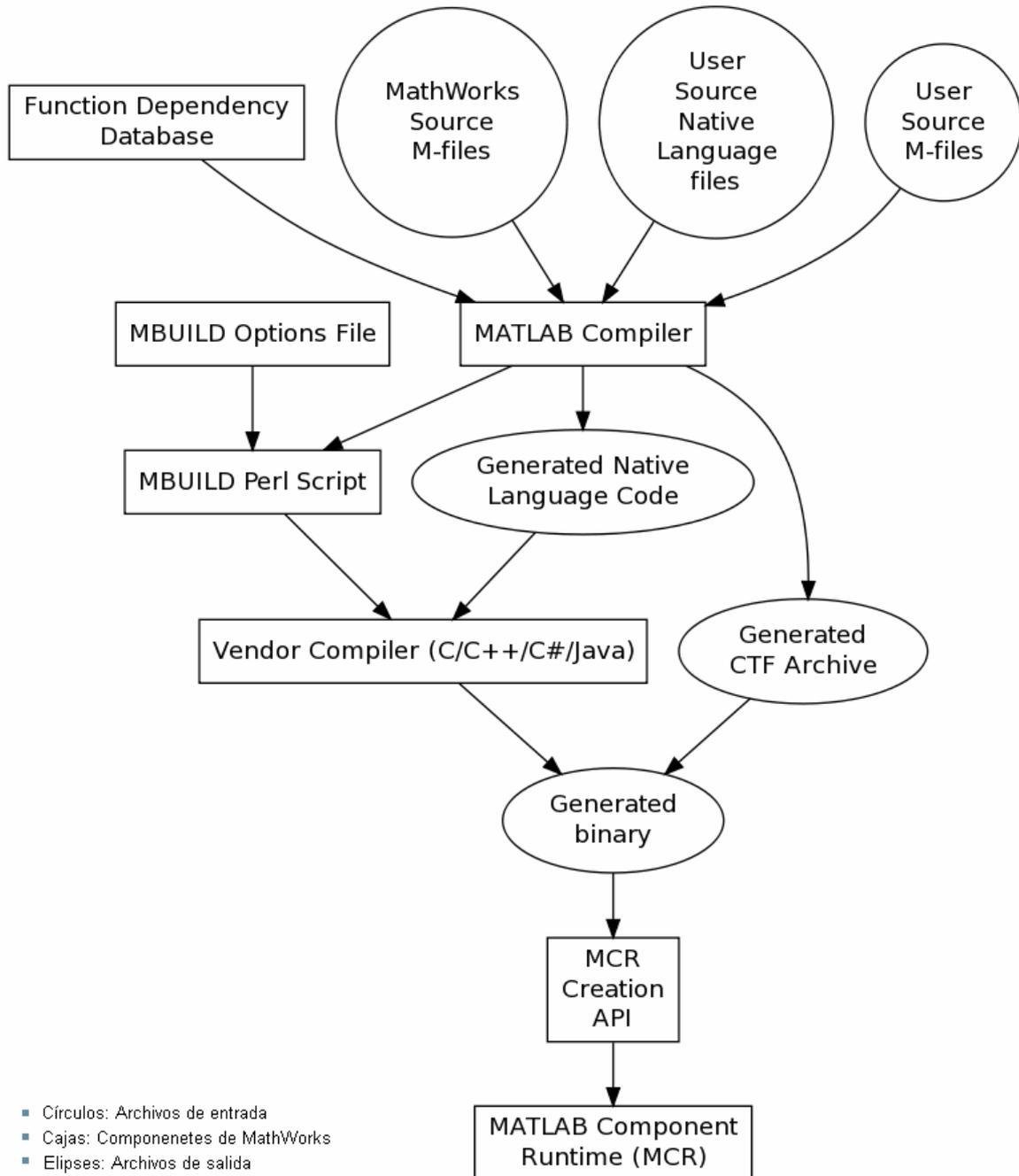


Figura 66. Estructura de MATLAB para realizar la compilación

Como se puede comprobar los ficheros de entrada son los códigos .m (*M-files*) y los propios ficheros fuente de MATLAB. Así el compilador de MATLAB permite mediante las opciones 'montar' (*build*) los archivos.

Se generan archivos .ctf (Component Technology File). Los archivos .ctf contienen las funciones de MATLAB y los datos que definen la aplicación o biblioteca y están incluidos en los archivos binarios comunes C /C++ por defecto.

El compilador crea el código correspondiente en el lenguaje que proceda (C/ C++/ C#/ Java). El código generado y el fichero .ctf se transforman a código binario. Por último se genera el *MCR (MATLAB Compiler Runtime)* capaz de ejecutar la aplicación en un PC que no tenga instalado MATLAB.

8.2.- ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

A continuación se muestra el diagrama de bloques que implementa el software:

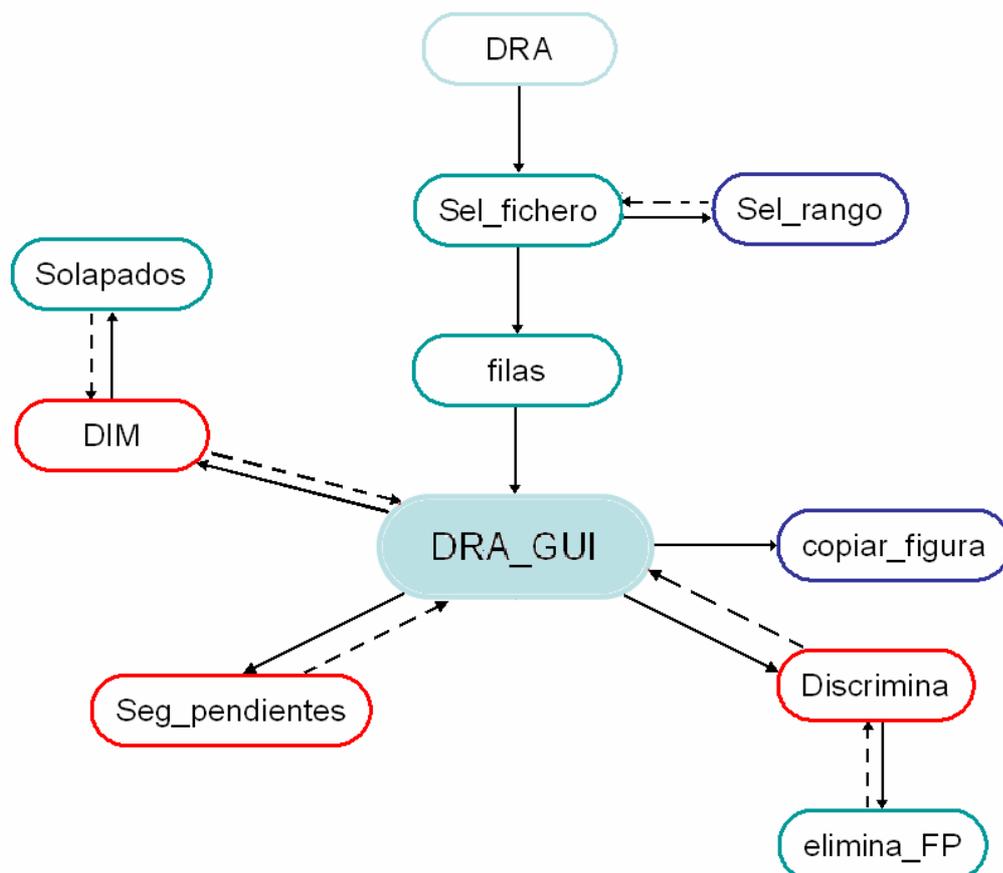


Figura 67. Estructura del programa

Se hará una breve descripción de las funciones que realiza cada bloque:

- **DRA**

Es la función índice del programa. En ella aparece la imagen principal y el botón que da paso a la selección del fichero de datos.

Esta función no es llamada por ninguna otra y sólo llama a la función *Sel_fichero*. No pasa ningún tipo de dato o vector.

- **Sel_fichero**

Esta función abre la ventana en la que se carga el fichero .xls con los datos para ser estudiados. Cuando se carga un fichero comprueba que se tenga la extensión adecuada, si no es así pedirá que se cargue un fichero adecuado.

Llama a la función *Sel_rango* de la que recibe las horas, minutos y segundos de inicio y fin que se han seleccionado.

Tras conocer el rango de tiempos, una nueva ventana pregunta por el tipo de área acústica de interés para el estudio.

Llama a la función *filas*, a la que entrega información de la hora de inicio y fin del rango de tiempo seleccionado y los límites de inmisión para el área acústica seleccionada según RD 1367/ 2007, L_{Amax} y L_{emas} o L_{nmax} , además de la ruta del fichero seleccionado.

- **Sel_rango**

Muestra una ventana en la que se han de seleccionar el inicio y el final del intervalo temporal que se desea estudiar. Una vez se ha seleccionado el rango de tiempos, una nueva ventana pedirá información del tipo de área acústica de interés para el estudio.

No recibe ningún dato como entrada, a su salida genera datos con la hora de inicio y fin del intervalo de tiempos.

- **Filas**

Carga la matriz de L_A dBA cada 0.5 segundos de todo el rango de tiempos seleccionado.

Recibe información de *Sel_fichero* de la hora de inicio y fin y devuelve a la función *DRA_GUI* esta información más la matriz con los datos del L_A dBA y los límites de inmisión máximos, además de la ruta del fichero seleccionado.

- **DRA_GUI**

Es la función principal del software, ella incluye la interfaz gráfica de usuario con la ventana de resultados y es la que se encarga de llamar a las funciones que adecuarán el ventor de salida con el resultado final.

Incluye la tercera aproximación en la que une eventos que están fragmentados pero en realidad son el mismo.

- **DIM**

Detección de Intervalos Máximos.

Es la primera aproximación y busca las muestras que superan el umbral de 62 dBA. A partir de ellas define intervalos, cada intervalo es un evento. De cada intervalo se hace una búsqueda hacia delante y hacia atrás para tomar un rango más holgado d la curva.

Para evitar que esta prolongación se cuele en la prolongación de otro intervalo, se llama a la función *Solapados* que identificará cuantos intervalos se solaparán con las extensiones y los unificará.

- **Solapados**

Solapados indica a la función *DIM* el número de intervalos que se solapan al extender el número de muestras detectadas por umbralización.

- **seg_pendientes**

Es la segunda aproximación donde se extienden las subidas y las bajadas de las curvas de los eventos. Se consigue así que tengan más muestras os eventos y sean representados más fielmente.

- **Discrimina**

Es la cuarta aproximación, en la que se eliminan los eventos falsos positivos. Se comprueba que no sea un sonido semi- impulsivo, si lo es se elimina.

Llama a la función *elimina_FP* de la que recibe los coeficientes de correlación del espectro de cada evento con los espectros medios calculados para ruidos de aeronaves y falsos positivos. Realiza una discriminación según criterios, si el evento tiene mejor correlación con la curva media del espectro de eventos falsos positivos el evento será eliminado.

- **elimina_FP**

Calcula los coeficientes de correlación del espectro de cada evento con los espectros medios calculados para ruidos de aeronaves y falsos positivos. Se los devuelve a la función *Discrimina*.

- **Copiar_figura**

Cuando de la ventana de resultados se desea copiar la figura en la que está representado un evento o el total del rango seccionado, esta función carga la figura al portapapeles para poder pegarla en cualquier programa.



ANEXOS

9.- ANEXO I

FORMA DE LOS FICHEROS .XLS

El formato de los ficheros con los que se va a trabajar debe ser siempre el mismo, la distribución de hojas, filas y columnas será como se explica a continuación:

- **Hojas**

Cada libro o fichero .xls sólo contendrá información relativa a las medidas de un solo día y del intervalo horario de 00:00:00 – 23:59:59.

Cada libro contendrá tres hojas, los nombres de las hojas serán: Hoja1, Hoja2 y Hoja3. Con la primera letra en mayúscula y el número junto al texto, sin separación.

Cada hoja contendrá un intervalo de ocho horas con datos cada medio segundo y distribuidas de la siguiente manera:

- Hoja1: 00:00:00:000 - 07:59:59:500
- Hoja2: 08:00:00:000 - 15:59:59:500
- Hoja3: 16:00:00:000 - 23:59:59:500

- **Filas**

Los datos comenzarán en la fila 45 de cada hoja, así en dicha fila se encontrarán las medidas pertenecientes a las 00:00:00:000. La última fila con datos será la fila 57644 de cada hoja. Este rango de filas da cabida a los datos de ocho horas con medidas cada medio segundo.

Las filas de la 1 a la 44 podrán contener cualquier tipo de información de interés para el usuario o información de la asignación de bandas a cada columna como se muestra en el fichero ejemplo.

Las filas a partir de la 57645 podrán contener cualquier tipo de información de interés para el usuario.

- **Columnas**

Las columnas llevarán la información en el siguiente orden para cada hoja:

- Columna A: periodo de inicio.
- Columnas B- AH: espectro en bandas de un tercio de octava de 12.5 Hz a 20000 Hz medidos en dB.
- Columna AI: L_{eq} en ponderación A.
- Columna AJ: nivel de pico en ponderación C.
- Columna AK: nivel de pico L_{in} en dB.
- Columna AL: nivel L_{10} Instantáneo en dB.

El resto de columnas a partir de la AM pueden llevar cualquier tipo de información relevante para el usuario.

10.- ANEXO II

OTROS ESTUDIOS PARA LA DETECCIÓN DEL RUIDO PRODUCIDO POR INFRAESTRUCTURAS AEROPORTUARIAS

Como se comentó al comienzo de este trabajo han aparecido numerosos estudios que, como el nuestro, pretenden identificar y cuantificar la afección producida por el ruido producido por infraestructuras aeroportuarias. A continuación se hará un pequeño resumen de dos trabajos que han aparecido recientemente:

10.1.- A PATTERN RECOGNITION APPROACH FOR AIRCRAFT NOISE DETECTION (RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA LA DETECCIÓN DE RUIDO DE AERONAVES)

El siguiente estudio propone la identificación en tiempo real del ruido de aeronaves mediante el estudio de datos acústicos e información de radar en tiempo real del control de tráfico aéreo (Air Traffic Control, ATC).

Se realiza una identificación de eventos, que al igual que en nuestro estudio, se hace por umbralización. El estudio añade que el método requiere localizar las estaciones de medida en áreas tranquilas en las que los ruidos de los aviones estén bien definidos.

El punto clave de este estudio, se asegura, que es necesario usar el espectro del ruido porque el estudio temporal no puede asegurar que un evento sea considerado como un ruido de aeronave.

El software de reconocimiento usa una librería de diferentes patrones de ruidos de aeronaves que chequea con los eventos detectados y en los que tiene en cuenta las posibles diferencias en frecuencia que hay entre ruidos de aeronaves. Este grupo se completa en la fase de 'aprendizaje de la librería', cual codificador de voz se tratase.

Las detecciones de las estaciones de medida son comparadas en tiempo real con información de las trayectorias de vuelo de los aviones que en ese momento estén volando.

A continuación se muestra el esquema que utilizan para el proyecto y una tabla resumen de los resultados finales.

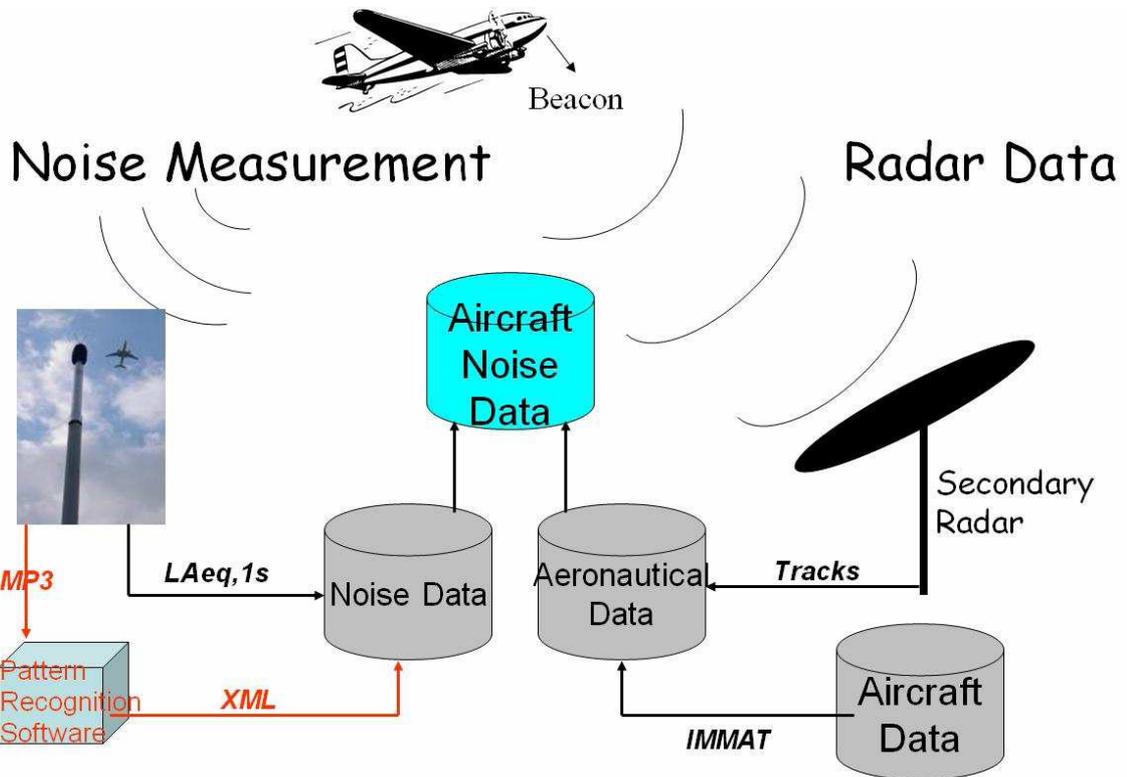


Figura 68. Esquema de implementación del módulo de detección

Aeropuertos de estudio	Paris Charles de Gaulle y Paris Le Bourget
Tiempo de medida	465 minutos
Eventos de aeronaves reales	170
Eventos de aeronaves detectados	166
Fiabilidad	98%

Estudio del Departamento de Acústica del Laboratorio de los Aeropuertos de París (Department of Acoustics / Laboratory of Aéroports de Paris) y presentado en las conferencias Inter Noise 2009 celebradas en Ottawa (Canada) del 23- 26 de agosto de 2009 (Inter Noise 2009, Innovations in practical noise control).

10.2.- REAL- TIME AIRCRAFT NOISE LIKENESS DETECTOR (DETECCIÓN EN TIEMPO REAL DE RUIDO DE AERONAVES POR SEMEJANZA)

Este estudio propone la detección de ruidos de aeronaves en tiempo real por semejanza de un sonido de entrada al sistema de media y el ruido generado por una aeronave.

Se tiene una base de datos con 13 coeficientes MEL extraídos de ruidos de aeronaves y 13 coeficientes para ruidos de otras fuentes (14 horas de grabación de ruidos de aeronaves y 36 horas de ruidos de otras fuentes).

El proceso es iterativo, se toma una señal de entrada de la que se extraen 13 coeficientes MEL y se compara con los de la base de datos. Por el teorema de Bayes se calcula la probabilidad e que la señal de entrada pertenezca al grupo de ruidos de aeronaves o no. El resultado de salida actualiza la base de datos con la nueva señal de entrada.

La decisión de que el sonido de entrada pertenezca o no a un ruido de aeronave no se comprueba sólo con el teorema de Bayes, si no que además se añade un algoritmo que compruebe la probabilidad de que el evento pertenezca a una función de densidad de probabilidad (PDF) mezcla de tres funciones gaussianas corregidas por la probabilidad de ser ruido de aeronave, un ruido de otra fuente o ruido de fondo.

Con este complejo proceso estadístico el trabajo presenta los siguientes resultados:

Aeropuertos de estudio	30 localizaciones de estudio del Aeropuerto de Madrid Barajas
Tiempo de medida	1 hora
Eventos de aeronaves reales	-
Eventos de aeronaves detectados	-
Fiabilidad	93%

Estudio del Grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada de la Universidad Politécnica de Madrid. El estudio fue publicado en Applied Acoustics el 13 de enero de 2010.

11.- ANEXO III

IMPLEMENTACIÓN EN DSP PARA TRABAJO EN TIEMPO REAL

Como ya se mencionó al comienzo del trabajo el software implementado es una herramienta que evalúa la molestia acústica producida por el ruido de infraestructuras aeroportuarias con posterioridad a la toma de datos. Se trata de un trabajo *a posteriori* que conlleva la adquisición de datos del equipo de medida, la adecuación de los mismos al formato único que reconoce el programa y elección del periodo tiempo deseado para el estudio.

Por todo ello se ha implementado una interfaz gráfica de usuario (GUI) que facilita el proceso de selección y visión de datos. A pesar de todo el esfuerzo, este pequeño software es solamente una primera parte de lo que presume ser un identificador de ruidos de aeronaves en tiempo real.

En un futuro proyecto se pretende integrar el módulo detector en un dispositivo DSP (Procesador Digital de Señal, por sus siglas en inglés) el cual capture el flujo de datos que salga de un equipo de medida o adquiera los datos autónomamente¹¹, para en tiempo real (característica de los DSP) procesar los datos y presentar en un *display* éstos según se quiera visualizar, cálculo por horas, días o eventos concretos.

Naturalmente los datos guardados en memoria volátil podrían ser volcados a un computador y ser procesados de igual modo por el software que nos lleva este trabajo.

Las ventajas que supondría el tener un dispositivo trabajando en tiempo real son poder certificar *in situ* la afección de una infraestructura aeroportuaria, corroborar los datos presencialmente en el punto de medida si ésta se realiza de forma puntual y no es una estación de medida y por otro lado tener un equipo exclusivo para el trabajo que conlleva la detección y evaluación del ruido aeroportuario.

Un inconveniente sería la necesidad de alimentar el equipo. En caso de que el dispositivo esté trabajando conjuntamente con una estación de medida no lo sería tanto, pero sí para cuando se desea evaluar de forma puntual con un sonómetro.

¹¹ Captura de la señal, conversión A/D, filtrado temporal, DTFT, filtrado frecuencial correspondiente, etc.

El por qué no se ha implementado en este trabajo esta opción de DSP es porque no se ha conseguido que haya un flujo de datos directo y continuo en tiempo real desde la estación de medida. Encontrar una solución a este problema simplificaría el proceso, de otro modo se debería de implementar todo un equipo de medida, micrófono, convertidor A/D, filtros digitales y demás módulos que complicaría por completo el trabajo.

En caso de trabajar con un flujo de datos de un sonómetro o una estación de medida llevaría a hablar del dispositivo como detector. Por otro lado si es autónomo, sería una estación de medida que discriminaría y evaluaría automáticamente el ruido de aeronaves.

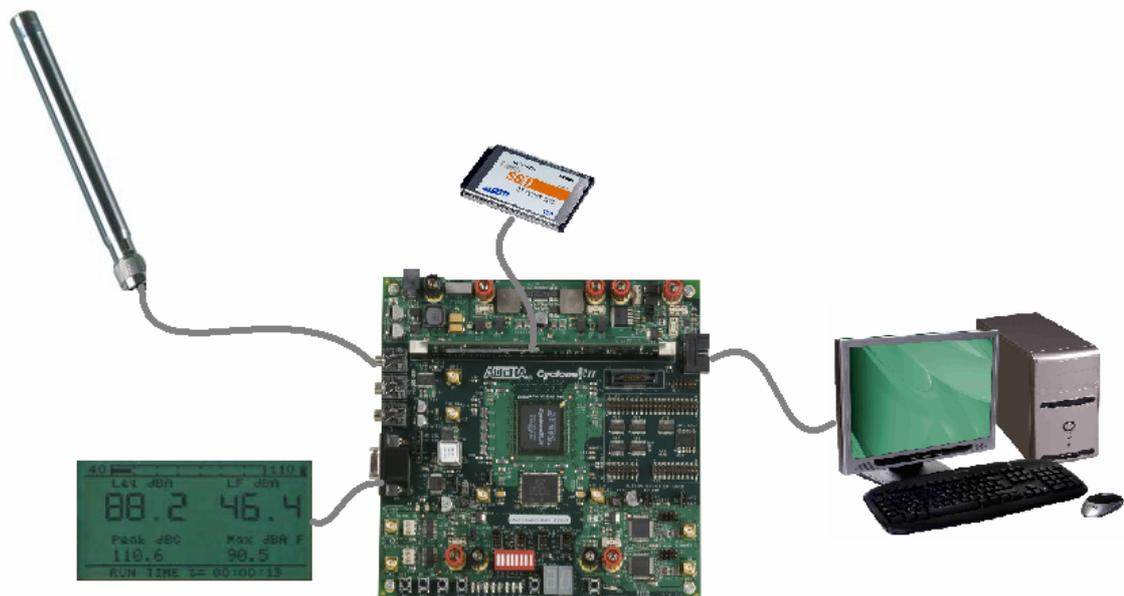


Figura 69. Diagrama de implementación del software en DSP

12.- ANEXO IV

CONSIDERACIONES TENIDAS EN CUENTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE. DESESTIMACIONES.

12.1.- INTRODUCIR RUIDO DE FONDO PARA CALCULAR EL UMBRAL DE CORTE

Como se explicó en el apartado de umbralización (1.6.2.1), la principal idea a la hora de discernir eventos (de cualquier origen) es detectar sucesos que sobrepasen el ruido de fondo. La *opción segunda* se basó en el cálculo aproximado del ruido de fondo del periodo temporal seleccionado, a partir de éste y con un nivel añadido de 15 dB se establecía el umbral de corte c .

El cálculo aproximado del ruido de fondo dejaba que desear, es por ello que se pensó en dar al usuario un grado de libertad en tanto que su decisión afecte al resultado del programa: introducir numéricamente el ruido de fondo calculado sobre un minuto en el punto de medida. El umbral de corte c sería éste más un nivel del 15 dB.

Como en el caso de la *opción segunda*, y aunque ahora el ruido de fondo es más realista, en largos periodos de tiempo el ruido de fondo cambia notablemente y el umbral de corte no tiene la misma efectividad en un periodo que en otro, además se debería medir el ruido de fondo para cada intervalo de tiempo que se desee estudiar.

La idea fue desestimada por los problemas citados y fue sustituida por la *opción tercera*.

12.2.- DISCRIMINACIÓN POR TIEMPO

En un primer intento se pensó en discriminar un evento como positivo o falso positivo según la duración del mismo.

La mayor parte de los eventos positivos está en un intervalo de duración bastante común, entre 20 y 40 segundos, no obstante hay eventos que duran bastante más y otros que duran menos.

La duración de un evento depende sobre todo de donde se haga la medida. En puntos de medida cercanos al aeropuerto las operaciones de vuelo como maniobras de despegue, *taxing*, etc., producen señales de alto nivel de mayor duración que las señales medidas en punto más alejados del aeropuerto.

Por otra parte no se puede establecer el criterio de que eventos que coincidan en un cierto intervalo de tiempo se consideren como positivos, ni por el contrario, eventos que tengan mayor o menor duración que los límites de un intervalo establecido sean falsos eventos.

En un mero intento de probar la idea se estableció un rango de tiempos de entre 15 y 90 segundos (30 y 180 muestras). Todos aquellos eventos detectados cuya duración estuviese en dicho intervalo sería considerado como positivo; de la misma manera eventos detectados cuya duración fuese mayor o menor que los límites del intervalo serían considerados como falsos eventos.

Por supuesto y como era de esperar un gran número de falsos positivos fueron detectados como ruidos producidos por infraestructuras aeroportuarias. Igualmente eventos positivos que superaban el límite superior del intervalos (los menos) fueron descartados y marcados como falsos eventos.

12.3.- DISCRIMINACIÓN POR NIVEL DE L_{Aeq} DBA

Otra de las propuestas que no llegó a ser factible fue la discriminación de eventos falsos positivos según el nivel L_{Aeq} dBA que produjesen.

Bien es cierto que la mayor parte de los ruidos procedentes de fuentes distintas a las aeroportuarias pero identificadas como tal tienen niveles energéticos menores que los ruidos de aeronaves.

Basar un algoritmo de detección de falsos eventos en umbrales de nivel es algo arriesgado pues en los niveles de los eventos influyen tanto la fuente de sonido (potencia acústica de la misma), la distancia a la que se mida de la fuente y, si se tratan de sonidos procedentes de aeronaves, de la maniobra que se esté realizando.

La idea principal era discriminar de manera estadística que probabilidad tendría un evento dado con un cierto nivel de pertenecer a un grupo u otro (positivos o falsos positivos) teniendo en cuenta eventos pasados.

La idea, aunque atractiva, es algo compleja teniendo en cuenta el solapamiento que hay entre grupos en tanto que a niveles se refiere; existen eventos positivos de bajo nivel energético así como hay eventos falsos positivos que tiene un alto nivel. Véase la siguiente gráfica (Figura 70), en la que se puede comprobar que separar y discernir es muy complejo con este método:

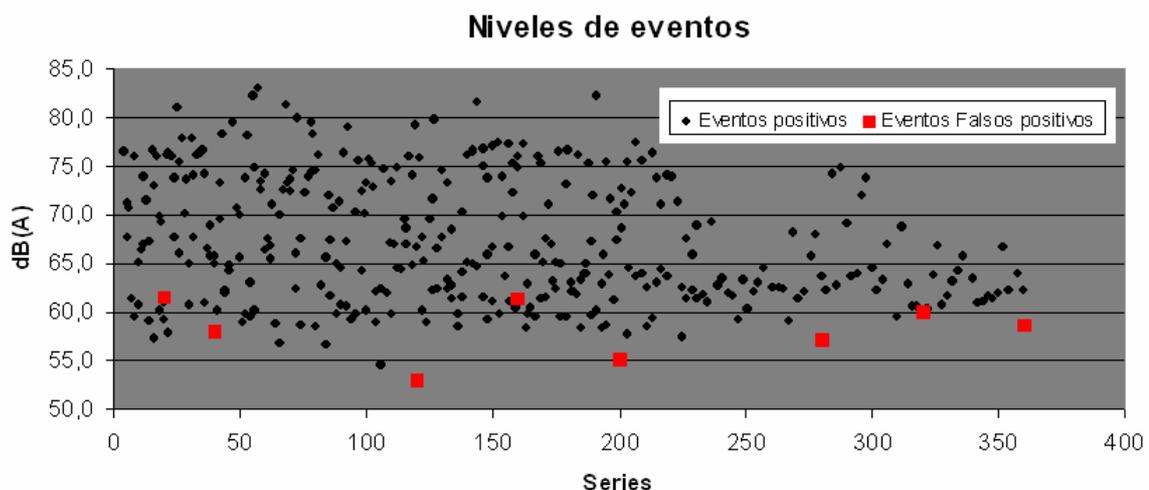
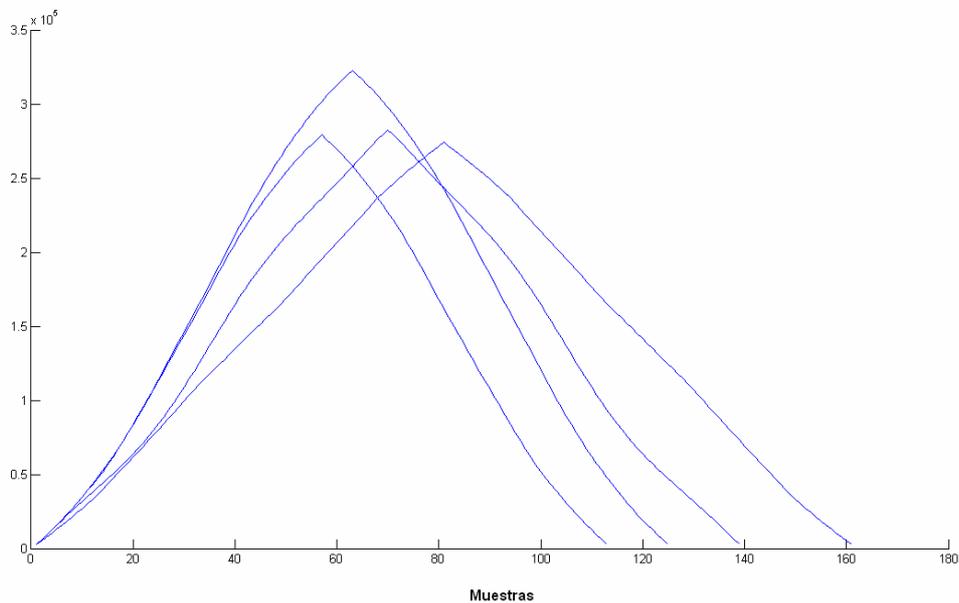


Figura 70. Distribución del L_{Aeq} de eventos positivos y falsos positivos

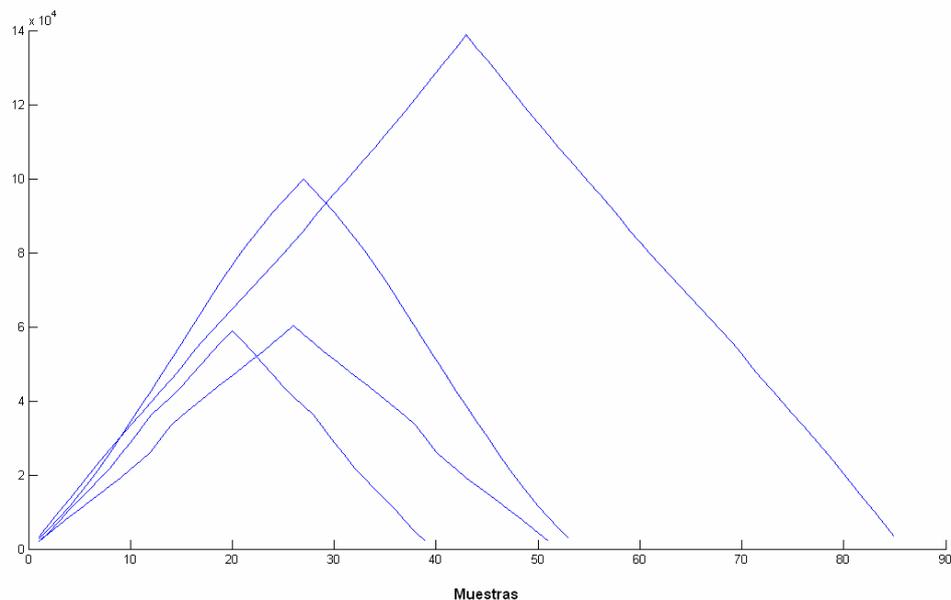
12.4.- AUTOCORRELACIÓN Y CORRELACIÓN CRUZADA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

La búsqueda de una señal *tipo* creó la idea de localizar patrones o periodicidades en una señal. Se realizaron pruebas con diversos eventos positivos en la búsqueda de algún patrón detectable en la señal temporal pero toda búsqueda fue en vano.

Obsérvese en la Figura 71 la autocorrelación de cuatro eventos positivos y la de cuatro eventos falsos positivos. No existe en ninguno de los casos un patrón de periodicidad o alguna marca relevante que los diferencie entre sí.



a) Autocorrelación de cuatro eventos positivos

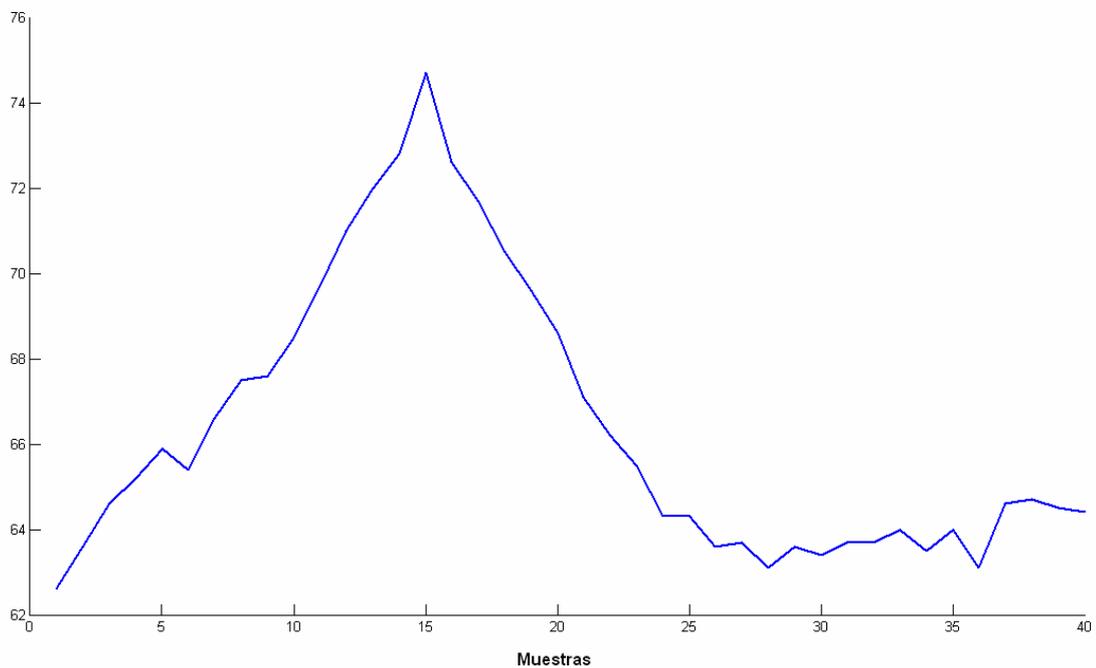


b) Autocorrelación de cuatro eventos falsos positivos

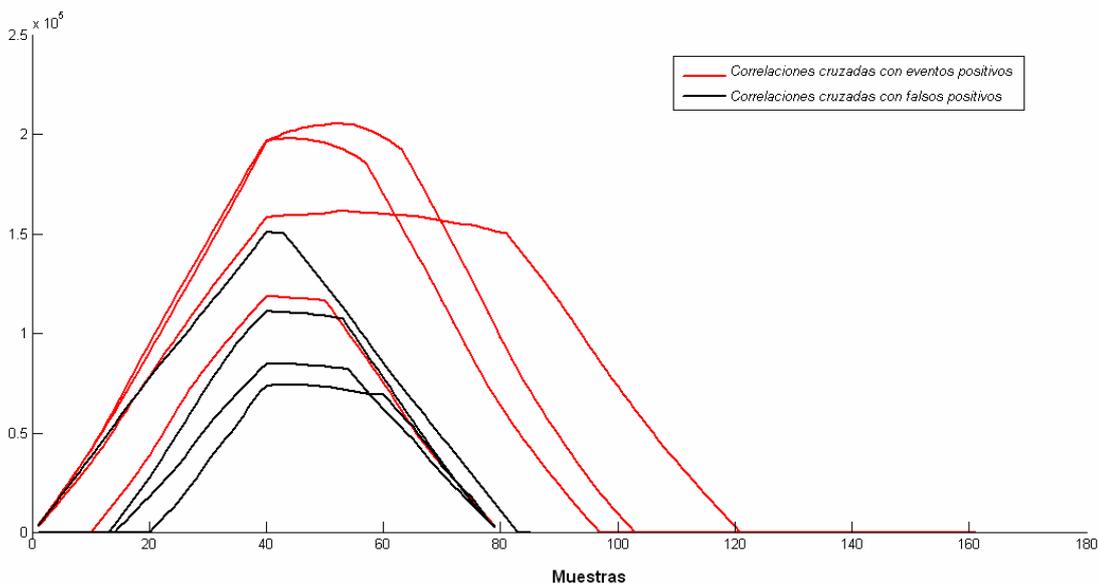
Figura 71. Autocorrelación de eventos

Con el mismo fin que el anterior se decidió realizar la correlación cruzada entre una curva media (media aritmética en el dominio temporal de varios eventos positivos) y eventos positivos y falsos positivos. El objetivo de la correlación cruzada es igual que el de la covarianza, intenta buscar similitudes entre dos señales.

Primeramente advertir la complejidad de encontrar una curva media de eventos positivos, ya que como se muestra anteriormente en la Figura 28, no todos los eventos tienen una forma típica y además se han tomado eventos distintos entre sí para estar representados gran parte de todos los casos posibles. Veamos los resultados de la propuesta:



a) Curva media de ruido de aeronaves calculada sobre trece eventos positivos



b) Correlaciones de la curva media con cuatro eventos positivos y cuatro falsos positivos

Figura 63. Correlaciones de eventos

Como se puede observar la curva media calculada tiene alguna característica común a todas las curvas de ruido de aeronaves, una subida y bajada muy pronunciadas.

Por otro lado presenta particularidades de alguno de los eventos utilizados para el cálculo de la media, como por ejemplo una *cola* de bajada mal definida; además el pico máximo es producto de que el cálculo de la media se ha realizado con todos los eventos centrados en el máximo. Del mismo modo ningún evento tiene la misma duración, y es por lo que la curva media no está centrada.

Las correlaciones cruzadas calculadas no son nada aclaradoras. No existen diferencias apreciables entre las correlaciones calculadas con eventos positivos y falsos positivos, salvo que éstos por lo general tienen menor nivel, pero no es algo que se cumpla siempre.

Las curvas presentan, como no podría ser de otra manera, una subida y una bajada pronunciada que se da en todos los eventos, de igual modo presentan en la zona central un máximo nivel casi constante debido a que los máximos de los eventos no son puntuales y claramente definidos (Ver Figuras 23 y 28, en la que se muestran eventos falsos positivos y positivos).

13.- BIBLIOGRAFÍA

- Directiva Europea sobre Ruido Ambiental del 25 de junio de 2002
- Ley de Ruido del 17 de noviembre de 2003
- Reglamento de aplicación RD 1513/2005
- Reglamento de aplicación RD 1367/2007
- “MANUAL DE INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB Parte I”, Diego Orlando Barragán Guerrero
- ECAC.CEAC Doc 29 “Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports”, edición 1997 y 2005
- “A pattern recognition approach for aircraft noise detection”, documento extraído del congreso Inter Noise 2009 ‘Innovations in practical noise control’ celebrado en Ottawa, Canadá del 23 al 26 de agosto de 2009. Estudio del Departamento de Acústica del Laboratorio de los Aeropuertos de París (Department of Acoustics / Laboratory of Aéroports de Paris)
- “Real- time aircraft noise likeness detector”, estudio publicado en Estudio del Grupo de Investigación en Instrumentación y Acústica Aplicada de la Universidad Politécnica de Madrid. Publicado en Applied Acoustics el 13 de enero de 2010.
- “Mapas estratégicos de ruido de los grandes aeropuertos, Aeropuerto de Bilbao”, Ministerio de Fomento
- “User Manual Oper@ EX”, 01dB- Metravib.
- MATLAB Builder JA User’s Guide

