

***DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE SONIDOS DE ALARMAS
EN UNIDAD DE TERAPIA INTENSIVA
INFORME TÉCNICO***

Versión 2
19/05/2020

HISTORIAL DE REVISIONES

Versión #	Desarrollado por	Fecha Revisión	Aprobado por	Fecha Aprobación	Descripción
1.0	<i>Genolet Alejandro</i>	<i>25/04/2020</i>	<i>Genolet Alejandro</i>	<i>25/04/2020</i>	<i>Se desarrolla la primera versión de identificación de sonidos para grabaciones de 3 alarmas.</i>
2	<i>Genolet Alejandro</i>	<i>09/05/2020</i>	<i>Genolet Alejandro</i>	<i>19/05/2020</i>	<i>Se aplican filtros a señales de audio para la detección de una alarma</i>

Tabla de Contenidos

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 PROPÓSITO

2.0 RESUMEN DEL INFORME

2.1 ACTIVIDAD 1

2.2 ACTIVIDAD 2

2.3 ACTIVIDAD 3

3.0 RESULTADOS DE LA ETAPA 2

4.0 INCIDENTES DURANTE EL ENSAYO

5.0 RECOMENDACIONES

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 PROPÓSITO

Este Informe Técnico de Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva, provee evidencia de pruebas, ensayos y resultados. Se pretende identificar la alarma del respirador Dragger Carina presente en una unidad de terapia intensiva.

2.0 RESUMEN DEL INFORME

Una unidad de terapia intensiva está destinada a personas con lesiones y enfermedades que ponen en riesgo su vida. En la misma está implicada la atención médica cercana y constante, brindada por un equipo de profesionales de la salud.

Monitores, vías intravenosas, sondas de alimentación, catéteres, ventiladores y otros equipos son comunes en las unidades de terapia intensiva. Estos aparatos pueden mantener con vida a una persona, pero también aumentan el riesgo de infecciones.

Muchos de estos aparatos poseen un sistema de alarmas dedicadas a que los profesionales a cargo atiendan las necesidades que notifica dicha máquina. Muchas de estas alarmas pueden estar sonando constantemente sin notificar una situación de emergencia y/o atención inmediata, por lo que puede generar molestia constante para el personal.

Se desarrolla un sistema de detección para la alarma Dragger Carina, con registro del accionar de la alarma y notificar al usuario, registrando audio constantemente para identificar ocurrencias. Esto se desarrolla en un ambiente ruidoso de la unidad de terapia.

2.1 ACTIVIDAD 1

Anteriormente se realizó un análisis de la respuesta en frecuencia de cada tono perteneciente a las alarmas, identificando así las frecuencias fundamentales de las mismas. Para este análisis se recomienda visualizar la figura 1b. En la misma se destacan los tonos de cada alarma y su espectro de potencia frecuencial, destacando en naranja la frecuencia fundamental, y con puntos rojos las frecuencias seleccionadas para la caracterización de dichos tonos, y por lo tanto, de la alarma. Para este etapa se analiza el Dragger Carina. **Dragger Carina** contiene dos tonos distintos en su alarma, las cuales tienen las siguientes frecuencias características:

Tono	f0 [Hz]	f1 [Hz]	f2 [Hz]	f3 [Hz]	f4 [Hz]
Tono 1	991	1982	3964	-	-
Tono 2	783	1575	2359	3143	4718

Se intenta diseñar filtros pasabanda para algunas frecuencias características de los tonos y, por lo tanto, de la alarma, de manera que excluya frecuencias características de otras alarmas o de ruido ambiente. Al disponer de la herramienta de pyFDA, una herramienta

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

rápida para el diseño de filtros, se realizarán pruebas con varios filtros para varias frecuencias de Dragger Carina y analizando los resultados me quedaré con los filtros que logren quedarse solamente con la alarma en cuestión.

Luego de las pruebas, para poder identificar la señal que nos interesa, que es la señal de alarma de la Dragger Carina, se seleccionaron, para la aplicación de filtros, a todas las frecuencias que caracterizan el tono 1, y la frecuencia de 2359 Hz para el tono 2. Con estas frecuencias, podemos discernir la alarma del resto de sonidos de la UTI.

Imágenes de la actividad:

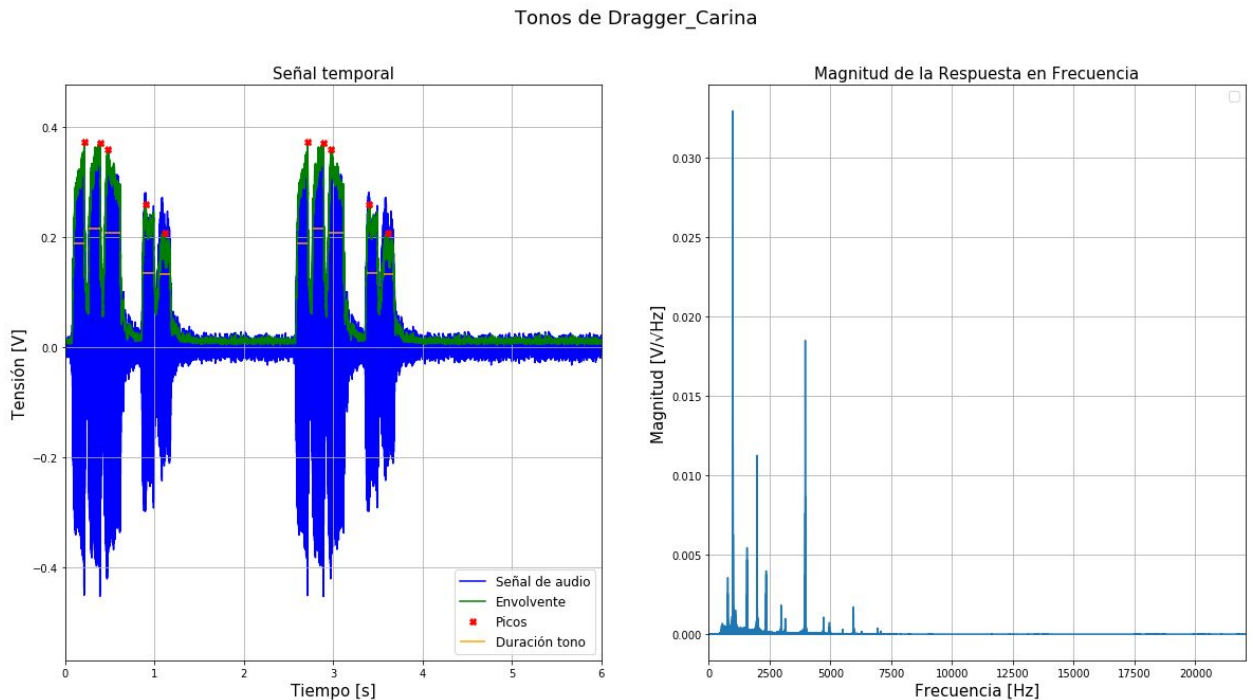


Figura 1a

Se observa la señal temporal del Dragger Carina en un par de melodías y a la derecha su respuesta en frecuencia.

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

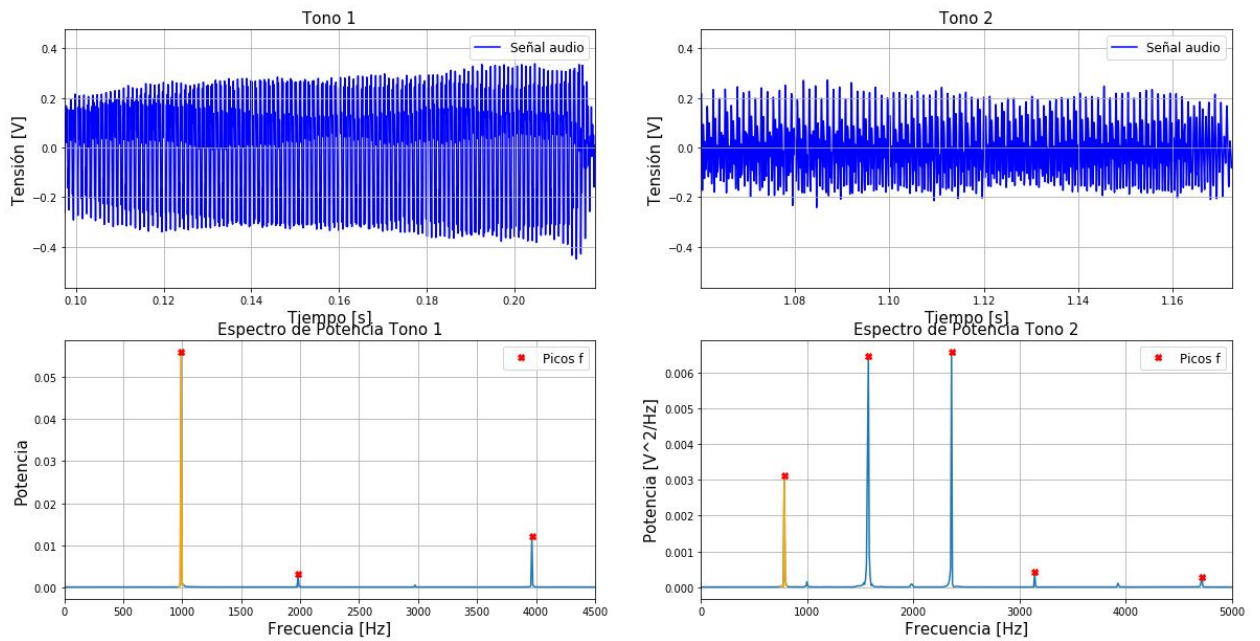


Figura 1b

Se observa los tonos de la alarma con sus respectivos espectros de potencia.

Comentarios adicionales: Se tuvo cuidado con frecuencias que eran cercanas a frecuencias características de otras alarmas, para intentar que logre una atenuación considerable sobre el resto de frecuencias que no sean de la Dragger Carina.

2.2 ACTIVIDAD 2

Para el diseño de filtros se utilizó la herramienta pyFDA 0.2.1.

En una primera instancia, para lograr discriminar la alarma Dragger Carina del resto de alarmas y de ruido se diseñaron 4 filtros IIR pasabandas, para las frecuencias del tono 1 y del tono 2, tres filtros para el primero, y solo uno para el segundo.

Para esto se utilizaron 4 filtros IIR. Todos los filtros tienen una atenuación mínima requerida en la banda de rechazo de 60 dB y una atenuación máxima permitida en la banda de paso de 3 dB.

Filtro	F limite 1	F limite 2	F limite 3	F limite 4
Filtro 1 (991 Hz) Butterworth	800 Hz	985 Hz	995 Hz	1180 Hz
Filtro 2 (1982 Hz) Butterworth	1900 Hz	1972 Hz	1987 Hz	2059 Hz
Filtro 3 (3964 Hz) Chebyshev	3750 Hz	3864 Hz	4064 Hz	4178 Hz
Filtro 4 (2359 Hz) Chebyshev	2200 Hz	2330 Hz	2370 Hz	2500 Hz

Tabla 1.

Se destacan las especificaciones frecuenciales de los filtros IIR.

En la tabla 1, F limite 1 significa la frecuencia a la cual comienza la primer zona de transición, donde la curva del filtro asciende para dar lugar luego a una zona de paso. F limite 2 corresponde al valor inicial en frecuencia de la banda de paso. Dicha banda de paso termina en la frecuencia F limite 3, comenzando allí una nueva zona de transición hasta F limite 4.

Se le aplicaron los filtros a una señal de la alarma sin ruido, otra con la alarma y ruido de Unidad de Terapia Intensiva (UTI) , sobre otras alarmas y sobre una señal donde estaban todas las alarmas y el ruido de UTI en conjunto. En este informe se colocarán gráficas de los filtrados más representativos como lo es el filtrado de la señal con todas las alarmas y el ruido de UTI, de la Dragger Carina con y sin ruido. Las gráficas de señales de salida para la aplicación de los filtros a las alarmas de Newport HT50 y Puritan Bennett 840 presentan un ruido de muy poca magnitud, pero no afecta para la detección de la alarma Dragger Carina.

Luego de la aplicación del filtro a estas alarmas, se reconstruyeron los archivos de audios filtrados para identificar si la alarma en cuestión resaltaba si ésta estaba en el audio de entrada al filtro, o, no había sonidos en la salida, para audios de entrada al filtro donde no esté la Dragger Carina.

Luego, se realizaron filtros FIR para comparar los resultados obtenidos anteriormente.

Para el diseño de los mismos se mantuvieron las frecuencias a filtrar y se intentó mantener los valores de frecuencias limitantes mostradas en la tabla 1, pero debido a que el orden del filtro 2 para estas frecuencias era demasiado alto, se tuvo que ampliar los límites frecuenciales. Los valores frecuenciales para estos filtros entonces quedan expuestos en la tabla 2. También se diseñaron con una atenuación de 60 dB y un ripple máximo en la zona de paso de 3 dB.

Se aplicaron 4 filtros Kaiser con un valor de $\beta=5$, obteniendo los resultados mostrados en las figuras 4, 5 y 6.

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

Filtro	F limite 1	F limite 2	F limite 3	F limite 4
Filtro 1 (991 Hz) Kaiser	800 Hz	985 Hz	995 Hz	1180 Hz
Filtro 2 (1982 Hz) Kaiser	1850 Hz	1962 Hz	1997 Hz	2170 Hz
Filtro 3 (3964 Hz) Kaiser	3750 Hz	3864 Hz	4064 Hz	4178 Hz
Filtro 4 (2359 Hz) Kaiser	2200 Hz	2330 Hz	2370 Hz	2500 Hz

Tabla 2.

Se destacan las especificaciones frecuenciales de los filtros FIR.

Imágenes de la actividad:

Filtrado IIR de Dragger Carina sin ruido:

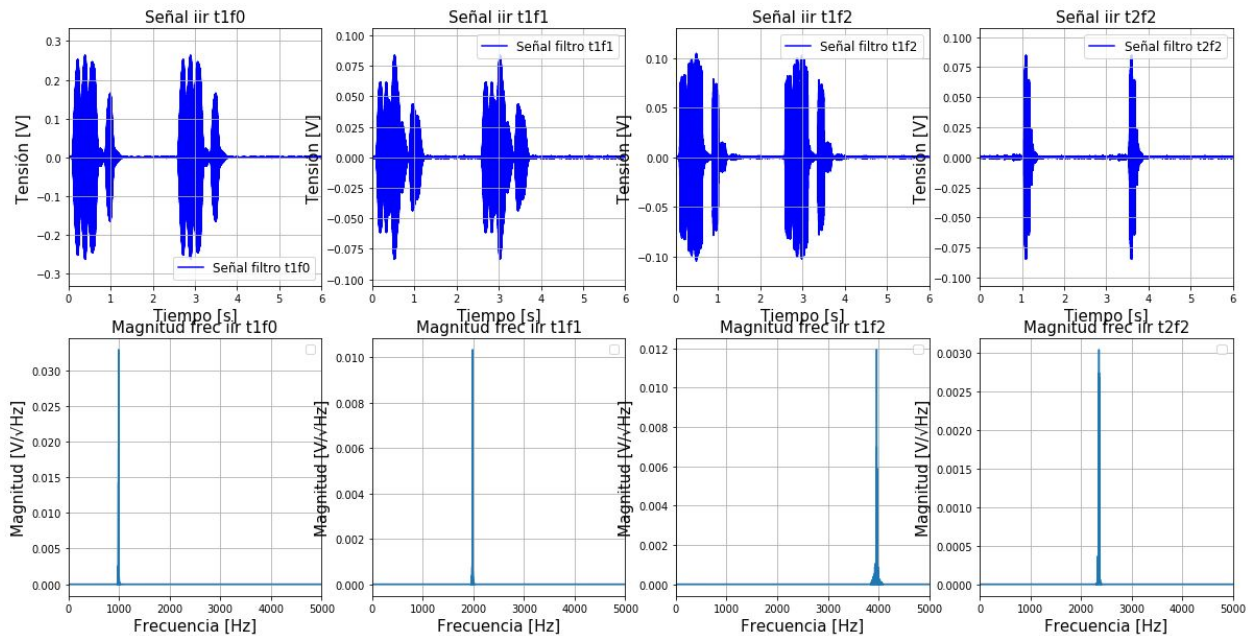


Figura 1a

Se muestra la salida en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para la aplicación de cada filtro iir, del 1 al 4 de izquierda a derecha. Entrada Dregger Carina sin ruido.

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

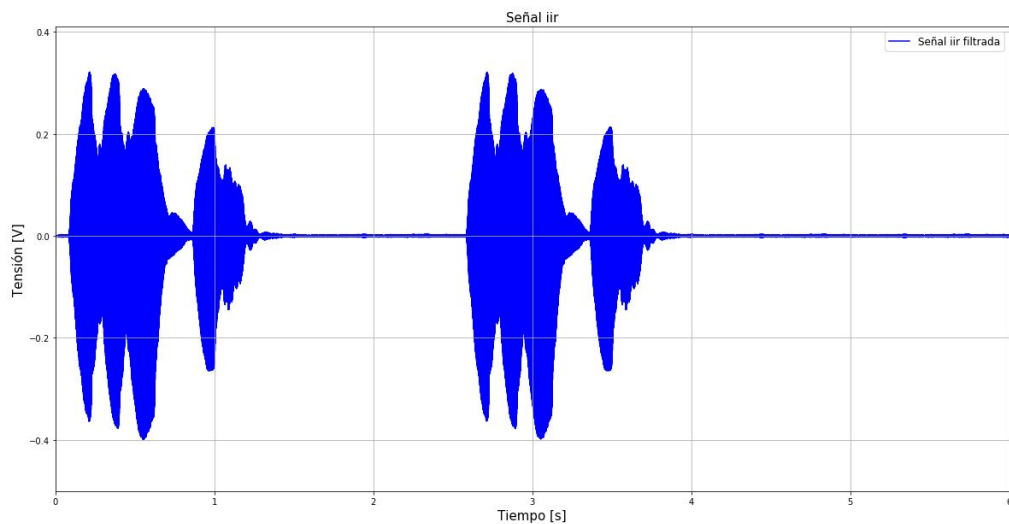


Figura 1b

Se muestra un par de melodías que se obtienen como salida al filtrado iir, con la entrada de Dragger Carina sin ruido.

Filtrado IIR de Dragger Carina con ruido de UTI:

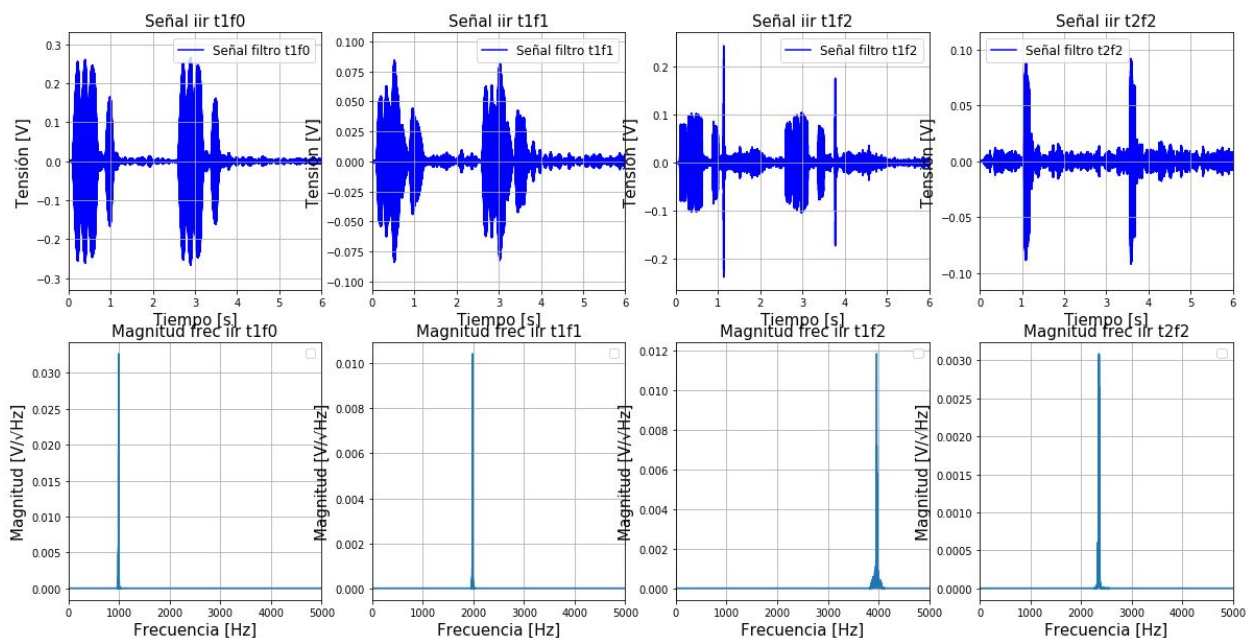


Figura 2a

Se muestra la salida en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para la aplicación de cada filtro iir, del 1 al 4 de izquierda a derecha. Entrada Dragger Carina con ruido de UTI.

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

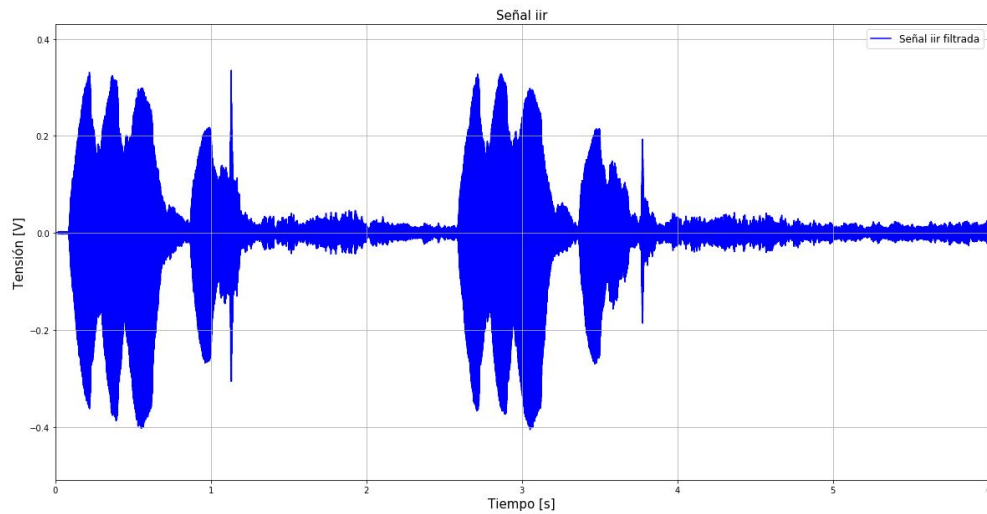


Figura 2b

Se muestra un par de melodías que se obtienen como salida al filtrado iir, con la entrada de Dragger Carina con ruido de UTI.

Filtrado IIR de señal con todas las anteriores, las tres alarmas y ruido UTI:

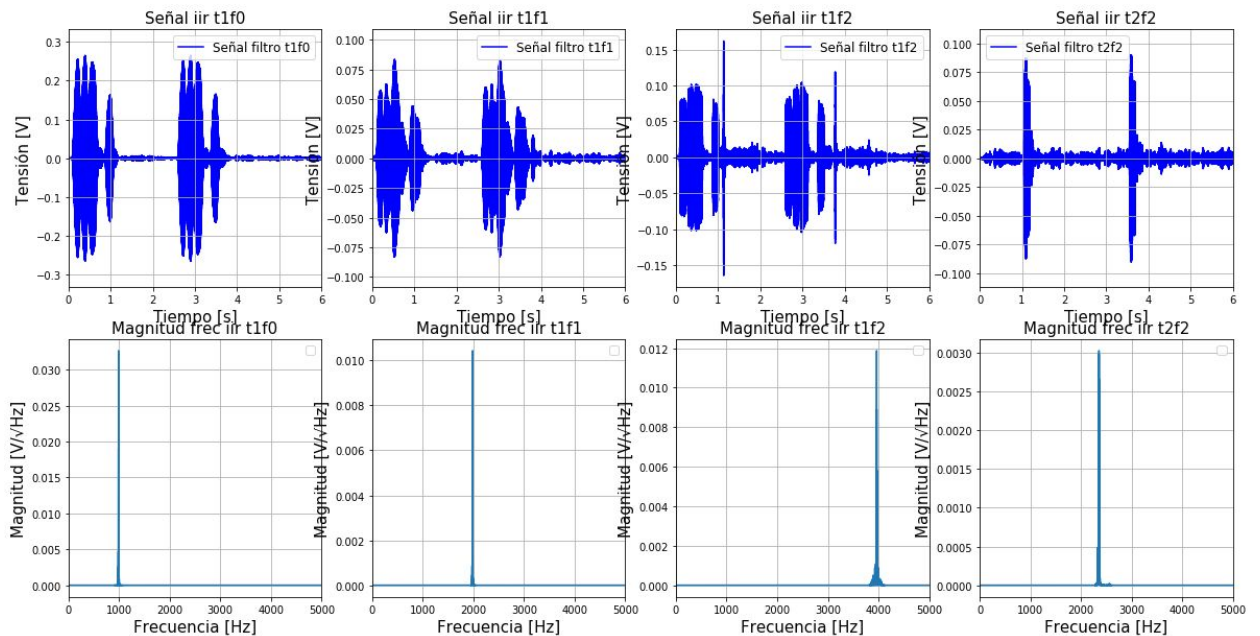


Figura 3a

Se muestra la salida en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para la aplicación de cada filtro iir, del 1 al 4 de izquierda a derecha. Entrada señal “suma de señales” donde estan las 3 alarmas y el ruido de UTI. Se observa que se destaca la alarma Dragger Carina.

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

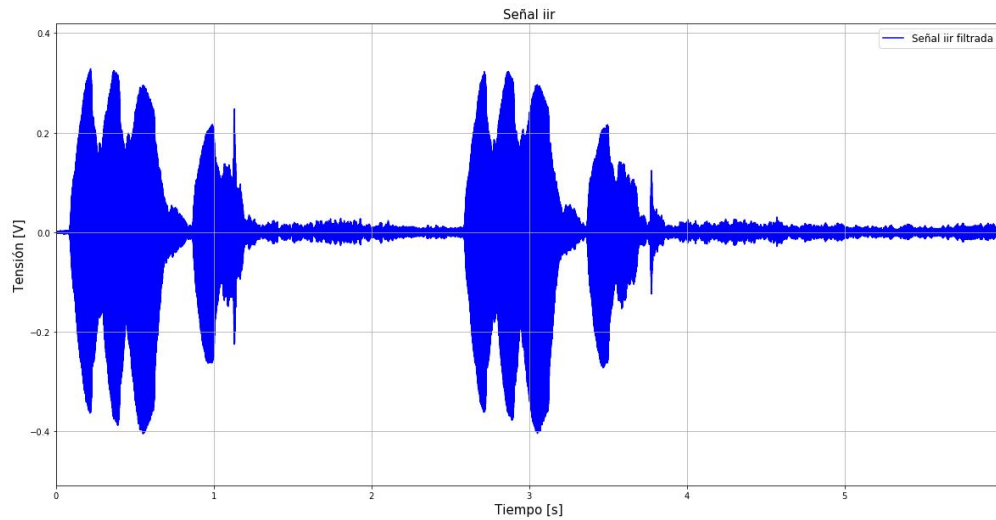


Figura 3b

Se muestra un salida al filtrado iir, con la entrada de señal “suma de señales” donde estan las 3 alarmas y el ruido de UTI. Se ve la morfología de la Dragger Carina con un pequeño ruido.

Filtrado FIR de Dragger Carina sin ruido:

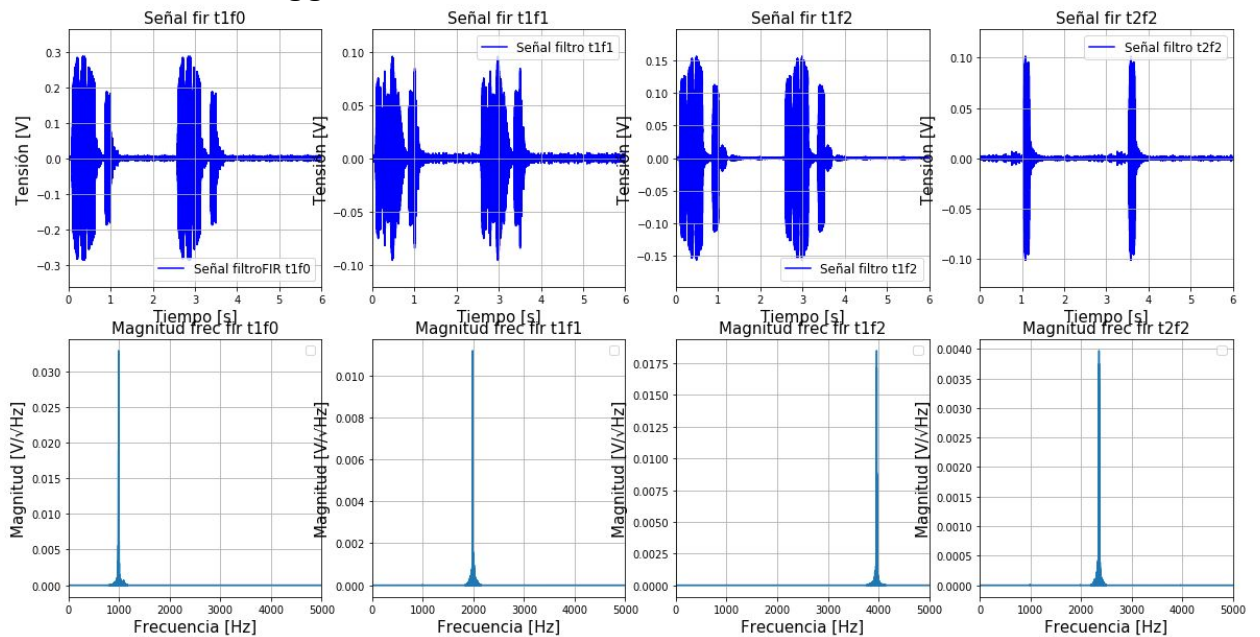


Figura 4a

Se muestra la salida en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para la aplicación de cada filtro fir, del 1 al 4 de izquierda a derecha. Entrada Dregger Carina sin ruido.

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

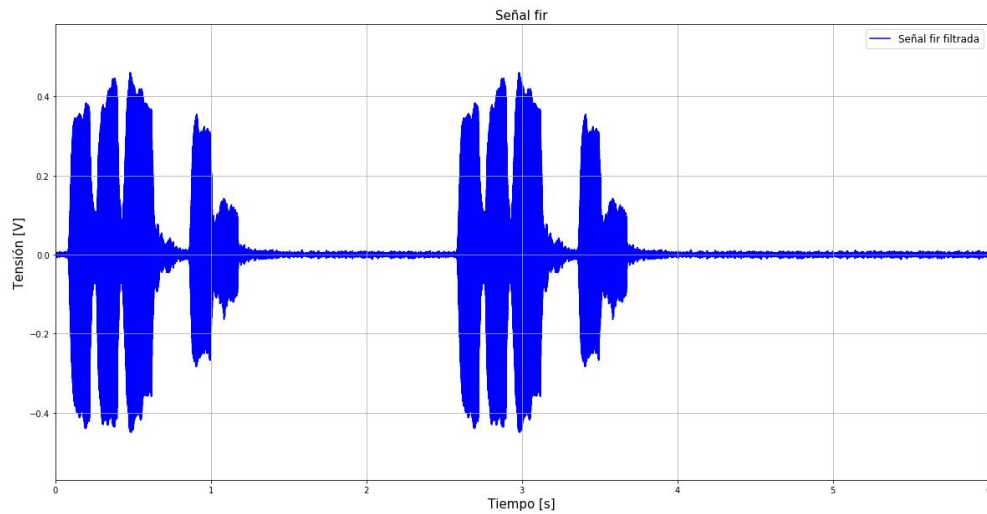


Figura 4b

Se muestra un par de melodías que se obtienen como salida al filtrado, con la entrada de Dragger Carina sin ruido.

Filtrado FIR de Dragger Carina con ruido de UTI:

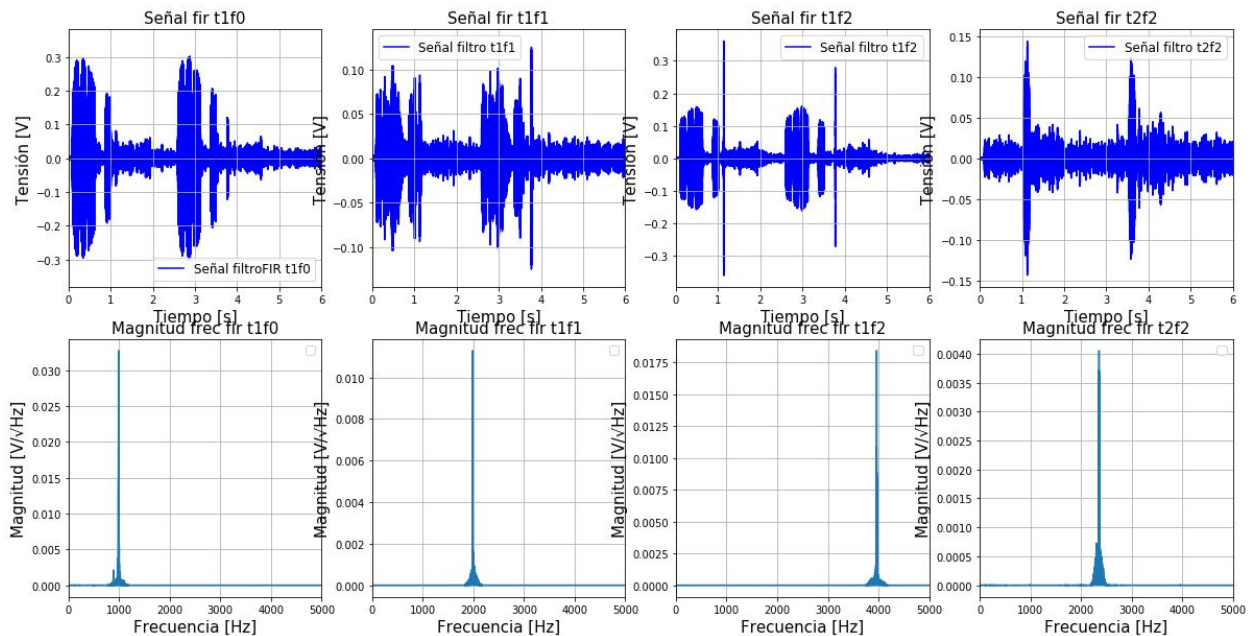


Figura 5a

Se muestra la salida en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para la aplicación de cada filtro fir, del 1 al 4 de izquierda a derecha. Entrada Dragger Carina con ruido de UTI.

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva

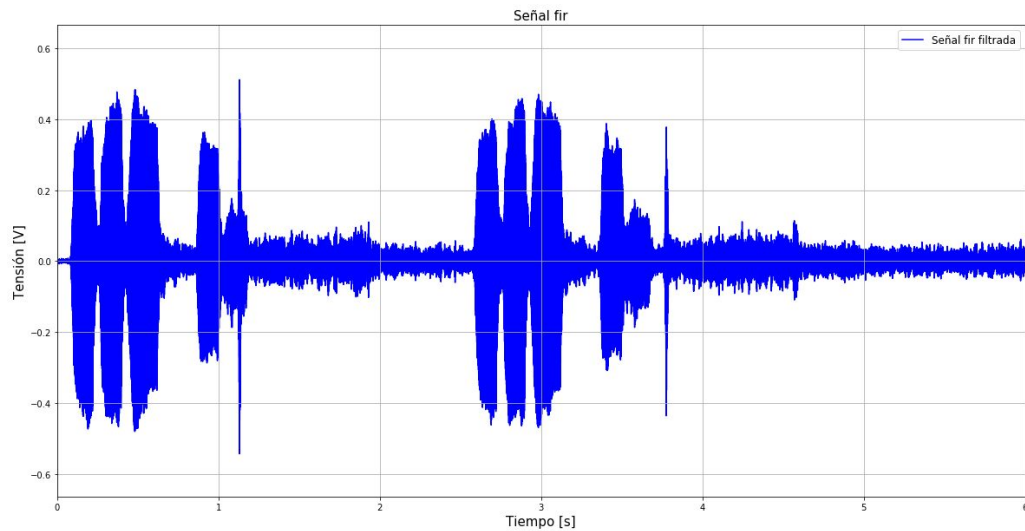


Figura 5b

Se muestra un par de melodías que se obtienen como salida al filtrado, con la entrada de Dragger Carina con ruido de UTI.

Filtrado FIR de señal con todas las anteriores, las tres alarmas y ruido UTI:

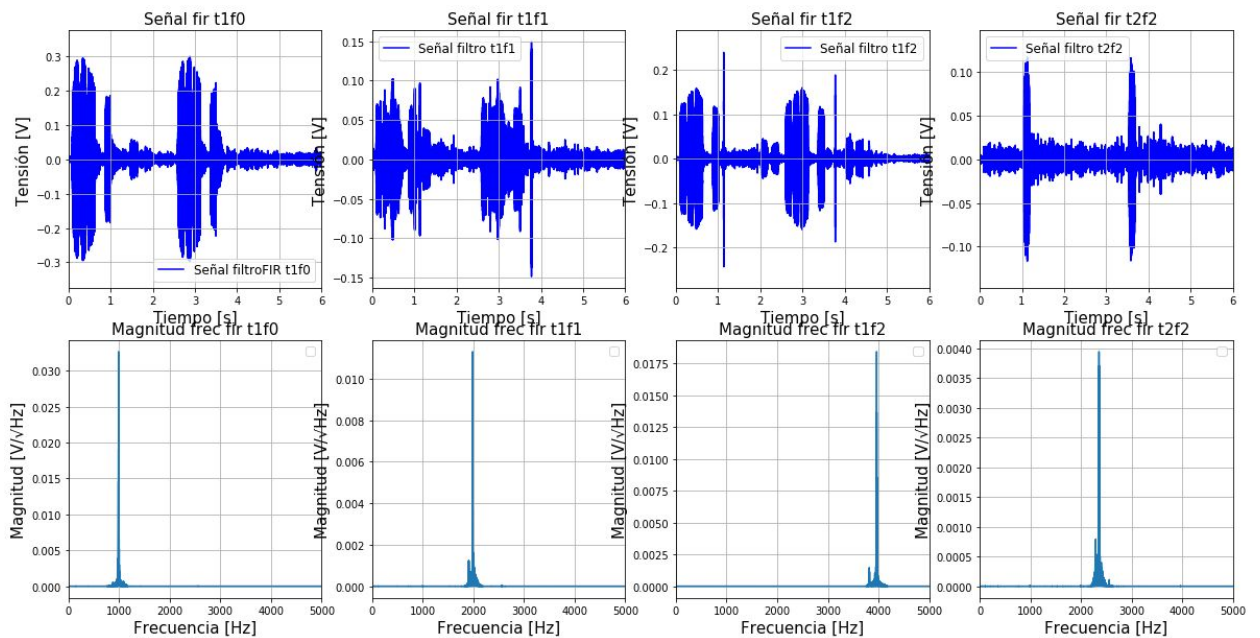


Figura 6a

Se muestra la salida en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para la aplicación de cada filtro fir, del 1 al 4 de izquierda a derecha. Entrada señal “suma de señales” donde estan las 3 alarmas y el ruido de UTI. Se observa que se destaca la alarma Dragger Carina.

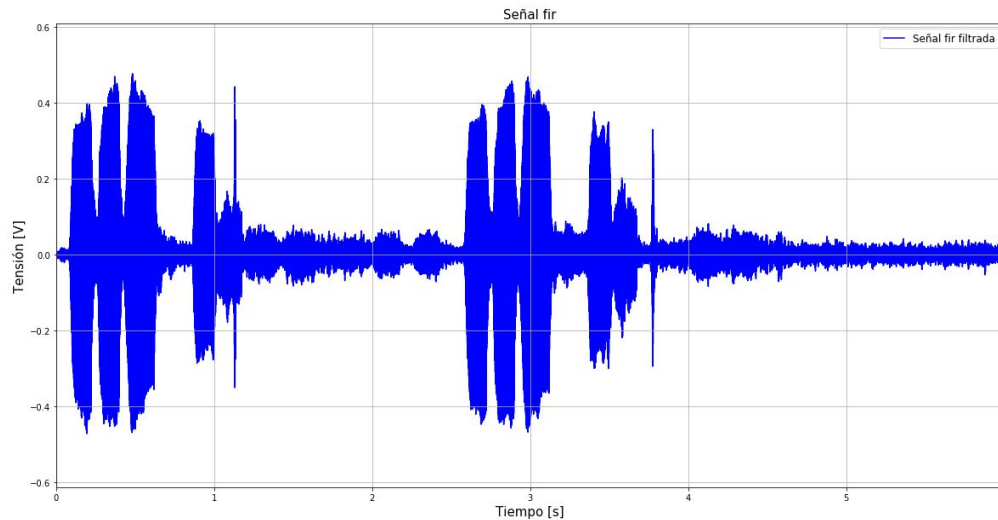


Figura 6b

Se muestra un salida al filtrado fir, con la entrada de señal “suma de señales” donde estan las 3 alarmas y el ruido de UTI. Se ve la morfología de la Dragger Carina con un pequeño ruido.

Comentarios adicionales: Como lo que se pretende es identificar la ocurrencia de la señal, no fue necesario aplicar filtros a todas las frecuencias características. Algunas alarmas tienen frecuencias cercanas que pueden resultar poco atenuadas, pero solo en un pequeño valor. Esto no genera tantos problemas para la aplicación ya que hay gran diferencia con la nula atenuación de la señal de Dragger Carina.

2.3 ACTIVIDAD 3

Uno de los parámetros analizados para la comparación fue el tiempo de procesamiento de los filtros. Midiendo dicho tiempo para la aplicación de los 4 filtros para los IIR, y los 4 filtros para los FIR, se concluye que los filtros IIR diseñados son 52 veces más rápidos que los filtros FIR diseñados, para las mismas frecuencias, y obteniendo resultados favorables para los IIR en este tipo de aplicación, ya que nos interesa detectar la ocurrencia de una alarma, y no la reconstrucción fiel de la misma.

Esto viene de la mano con el orden que tienen los filtros, y la diferencia entre los IIR y los FIR es muy grande y puede observarse en la tabla 3.

Filtro	Orden IIR	Orden FIR
Filtro 1 (991 Hz)	2 (Butterworth)	614 (Kaiser $\beta=5$)
Filtro 2 (1982 Hz)	3 (Butterworth)	735 (Kaiser $\beta=5$)
Filtro 3 (3964 Hz)	6 (Chebyshev)	977 (Kaiser $\beta=5$)

Filtro 4 (2359 Hz)	3 (Chebyshev)	860 (Kaiser $\beta=5$)
--------------------	---------------	-------------------------

Tabla 3.

Se comparan los órdenes de los filtros IIR y FIR aplicados.

Otro de los parámetros que se calcularon para obtener información para la comparación fue el cálculo de la relación señal-ruido aunque con una diferencia. Para dicho cálculo se consideraron las frecuencias filtradas como “señal”, y no las fundamentales como se hizo en la etapa 1, ya que una de las fundamentales, la del tono 2 precisamente, no se consideró en el filtrado. Estos cálculos tiene un valor sobretodo para la comparación entre los filtrados más que de los valores particulares obtenidos.

Teniendo en cuenta como señal a las frecuencias filtradas, dieron valores similares para ambos filtrados. La relación señal ruido con IIR es de -16.94 dB y la relación señal ruido con FIR es de -16.14 dB, por lo que no es significativo este parámetro para la determinación de un filtro u otro a comparación del resto de parámetros como los órdenes, la velocidad de procesamiento con los resultados obtenidos.

En la codificación se analizó el caso de que los valores de los polos se trunquen a 3 decimales si fuera el caso de una implementación en un microcontrolador. Se analizaron que con el truncamiento, los valores de los mismos no caigan en el círculo unitario del plano complejo Z o fuera del mismo ya que tornaría inestable al sistema.

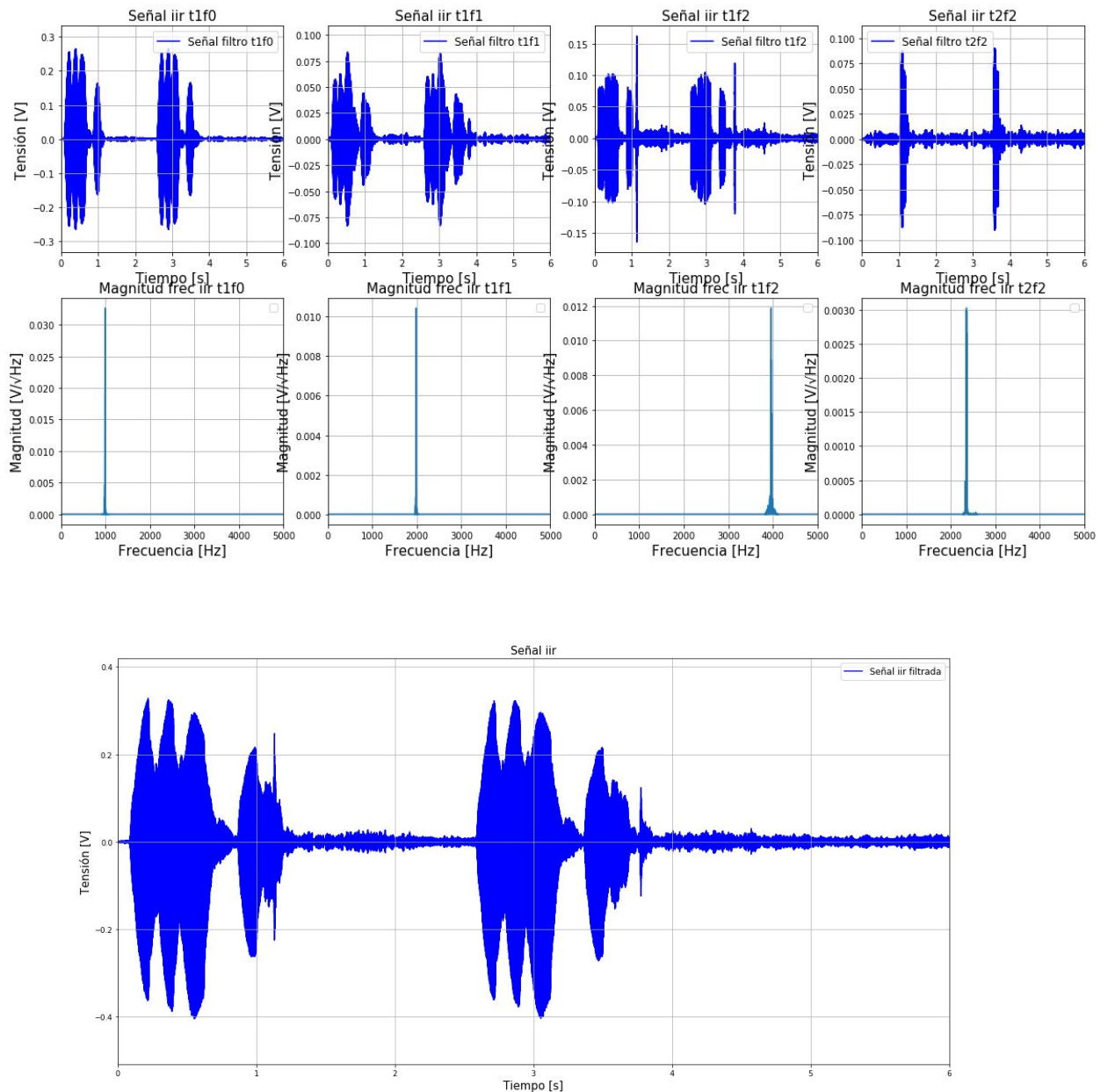
Se realizó el análisis para todos los filtros, y ninguno reportó tener una cercanía que comprometa a la aplicación de los mismos.

3.0 RESULTADOS DE LA ETAPA 2

Según lo analizado, se recomienda aplicar filtros FIR debido principalmente a la rapidez y simplicidad de aplicación, con buenos resultados para la detección de la alarma del respirador Dragger Carina.

A continuación se muestran los resultados de dicho filtro FIR, para cada filtro y el resultado total en la segunda imagen, sobre una señal ruidosa, donde se encuentra ruido ambiente de UTI con alarmas de distintos respiradores sonando:

Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva



Las señales fueron reproducidas para detectarlas mediante nuestro oído y dieron muy buenos resultados, tanto en características frecuenciales como en la magnitud de la señal filtrada, pudiendo identificar y resaltar con diferencia la alarma Dragger Carina en el ambiente ruidoso de la UTI.

4.0 INCIDENTES DURANTE LA ETAPA

-No se presentaron incidentes hasta el momento.

5.0 RECOMENDACIONES

-Si se aplica el filtro en un microcontrolador, se asegura que, para el caso de los FIR, no generará problemas de inestabilidad si se redondea como mínimo a 3 decimales flotantes.

APÉNDICE A: Aprobación del informe técnico

El que suscribe toma conocimiento que el **Informe Técnico** “Detección automática de sonidos de alarmas en Unidad de Terapia Intensiva” está listo para ser evaluado y es responsable del enfoque que presenta. Los cambios a este Informe Técnico serán coordinados con la aprobación del abajo firmante.

Firma:	<u>Alejandro Genolet</u>	Date:	<u>19/05/2020</u>
Aclaración:	<u>Aleandro Genolet</u>		
Rol :	<u>Project Manager</u>		

APÉNDICE B: REFERENCIAS

La siguiente tabla resume los documentos utilizados para este informe.

Nombre del documento y versión	Descripción	Localización
IT2-Genolet v. 2	Se aplican filtros para la detección de la alarma del respirador Dragger Carina.	Hasta el momento solo existe en formato digital.

APÉNDICE C: PALABRAS CLAVES

La siguiente Tabla provee definiciones para términos clave del informe.

Término	Definición
Detección automática	Característica con el fin de reducir y eliminar la intervención humana en la producción o en el funcionamiento de bienes y servicios.
Señal	Una señal puede ser también la variación de una corriente eléctrica, u otra magnitud física que se utiliza para transmitir información.
Filtro digital	Un filtro digital es un sistema que, dependiendo de las variaciones de las señales de entrada en el tiempo y amplitud, se realiza un procesamiento matemático sobre dicha señal, obteniéndose en la salida el resultado del procesamiento matemático o la señal de salida.