



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
ZARAGOZA



# Determinación de las frecuencias características de vibraciones del medio de trabajo en trampas de vapor con fugas

Alejandro Bosqued Castro

Bremen, Enero-Julio 2010

# Índice

Prólogo .....	3
Resumen .....	4
Zusammenfassung .....	5
1. Introducción .....	6
2. Mediciones.....	10
2.1 Banco de pruebas.....	10
2.2 Cadena de medición.....	11
2.3 Experimentos.....	16
2.3.1. Objetivos .....	16
2.3.2. Descripción de los experimentos.....	16
2.3.3. Relación de experimentos .....	19
3. Análisis de los resultados .....	20
4. Conclusiones y recomendaciones .....	39
Bibliografía.....	41
Anexos .....	42

## Prólogo

Para finalizar mis estudios de Ingeniería Técnica Industrial Mecánica con la especialidad en Máquinas y Automóviles en la EUITIZ (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza) se me presentó la posibilidad de realizar una estancia ERASMUS en una Universidad fuera de España, con la que realizar mi PFC (Proyecto de Fin de Carrera) y, además de adquirir conocimientos de una lengua para mí extranjera, conocer también los métodos de trabajo que se utilizan en otros países.

Puesto que había adquirido cierto interés por el idioma alemán, debido a su escaso conocimiento en España, su importancia en el ámbito de la Ingeniería y la necesidad de poderme desenvolver en otro idioma extranjero, además del inglés, decidí realizar mi estancia en Alemania, siendo el destino la Universidad de Ciencias Aplicadas de Bremen (Hochschule Bremen).

Una vez allí, decidí llevar a cabo este proyecto de investigación, que me daba la oportunidad de estar en contacto con una empresa alemana (RIFOX-Hans Richter GmbH Spezialarmaturen, Bremen), así como de trabajar en el campo de las vibraciones mecánicas, que era un tema sobre el que durante mis estudios había recibido conocimientos básicos, siendo éste muy importante para mi especialidad.

## Resumen

En este trabajo se investigan las frecuencias características del vapor y del condensado de agua, así como la detección de daños en trampas de vapor.

Para ello, se miden vibraciones a la salida de la trampa de vapor, y se analizan tanto en tiempo como en frecuencias.

Debido a la escasa información que hay en la literatura sobre el tema, resulta difícil encontrar las frecuencias características de ambos estados, vapor y condensado. Lo ideal sería conocer a priori estas frecuencias para, posteriormente, buscarlas en los espectros de frecuencias, tanto del flujo de ambos estados por separado, como en el flujo de una mezcla de ambos.

Como las mediciones llevadas a cabo en este trabajo no coinciden con las realizadas anteriormente en [1], no se puede asegurar que ninguna de ellas se llevase a cabo correctamente. Por lo menos, aquí se describe entonces el método de medición y de análisis seguidos, para asegurar su reproducibilidad. Las mediciones realizadas se presentarán para su futuro análisis, con base a un método, que se tiene que desarrollar todavía, porque no se ha encontrado, por el momento, un modelo teórico con el que analizarlas.

Ni en el dominio del tiempo ni en el de las frecuencias se encontró evidencia segura alguna de las posibles diferencias entre vapor y condensado.

Los resultados obtenidos de las mediciones en trampas con diferentes daños presentan valores de amplitud tan bajos, que no se pueden diferenciar de las producidas por ruido del ambiente de trabajo. Por este motivo, los espectros de frecuencias son tan parecidos, que no se puede diferenciar con claridad entre un nivel de daños y otros arbitrarios.

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die charakteristische Frequenzen von Kondensat und Dampf untersucht, sowie die Erkennung von Schädigungen eines Kondensatableiters.

Dafür wurden Schwingungen am Ausgang des Kondensatableiters gemessen und analysiert, sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich.

Da es in der Literatur zu wenig Information darüber gibt, ist es schwierig, eine charakteristische Frequenz beider Zustände zu finden. Es wäre am besten wissen zu können, was passiert ist, wenn ein Kondensat- und/oder Dampfstrom durch einer Drosselung fließt, also wie die Turbulenz ist und wie viele Blasen erzeugt werden, im Zusammenhang mit dem Volumenstrom.

Da die in dieser Arbeit durchgeführte Messungen nicht gleich wie die in [1] gemessen aussehen, kann man nicht mit Sicherheit sagen, welche zuverlässig sind. Zumindest in dieser Arbeit wird es beschrieben, wie die Messungen ausgeführt wurden, damit sie in Zukunft wiederholen können und mit andere Messungen, mit Veränderungen in der Methode der Ausführung, vergleichen.

Sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich gibt es kein Anzeichen der Unterschied zwischen Dampf und Kondensat.

Die Ergebnisse der Schädigungen haben so kleine Amplituden, dass sie mit den Störungen der Umgebung sich vermischen. Auf diesem Grund sind sie so ähnlich, dass sie nicht unterscheidbar sind.

# 1. Introducción

En el sector industrial, para poder ofrecer un producto a un precio competitivo, se hace cada vez más patente la necesidad de reducir costes, no sólo en producción, sino también en el mantenimiento de las instalaciones.

Un número elevado de industrias hacen uso del vapor de agua para diversas aplicaciones, debiendo ser éste de la mayor calidad posible, es decir, con la menor cantidad de agua condensada, ya que ésta posee propiedades perjudiciales y reduce la eficiencia de los procesos.

Para eliminar el agua condensada del vapor, se intercalan a lo largo de la red de distribución, y cada cierta distancia, en función de su longitud, unos elementos cuya misión es expulsar el condensado, evitando, en la medida de lo posible, que también fugue vapor, por lo que, estos elementos, se llaman indistintamente separadores de condensado o trampas de vapor. En ocasiones, también se encuentran en la literatura con el nombre de purgadores porque, además de extraer el condensado, también pueden extraer el aire que se almacena en su interior, que también es perjudicial para la instalación y los equipos.

En la Figura 1 [2], puede observarse que, en una instalación típica de transporte de vapor, éste fluye por la tubería (parte superior), y cada cierta distancia, en función de la longitud que haya entre la generación de vapor y el punto donde se aplica, existe un tramo cuya forma impide que el condensado continúe su camino junto con el vapor y caiga, por gravedad, en el interior de la carcasa de la trampa de vapor.

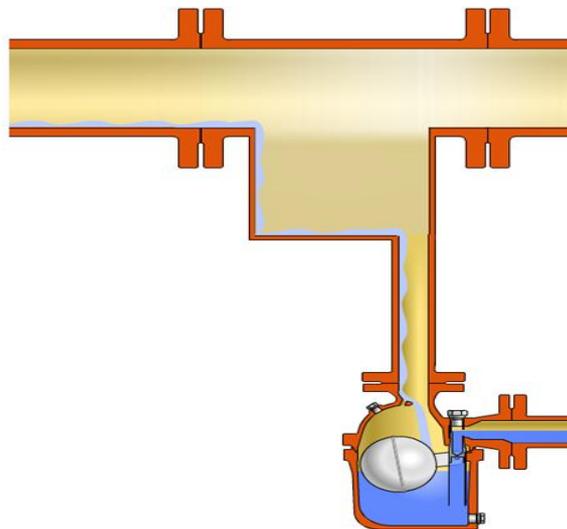


Figura 1. Transporte de vapor.

Existen diferentes tipos de trampas de vapor, que se diferencian en su estructura y mecanismo de apertura, para distintas condiciones de trabajo, es decir, distintos niveles de presión y temperatura. Así, las trampas de vapor pueden ser mecánicas, termostáticas o termodinámicas.

En este trabajo se estudian las trampas de vapor mecánicas de boya, que se basan en la diferencia de densidad entre el vapor, que permanece en la parte de arriba del interior de la trampa, y el condensado, que queda en el fondo y que empuja a la boya hacia arriba.

Debido al movimiento de la boya hacia arriba, cuando el nivel de condensado aumenta, o hacia abajo, cuando el nivel de condensado disminuye, se abre o cierra la válvula de salida del condensado, a través de un elemento mecánico unido a la boya. El condensado fluye al exterior debido a la diferencia de presión entre éste y el interior de la trampa de vapor.

En la Figura 2 puede verse una foto de la trampa de vapor RIFomat Minox-G-1170 de la empresa RIFOX. La particularidad más importante de las trampas de vapor de este tipo, que la empresa RIFOX fabrica, es que el mecanismo de apertura que va unido a la boya se trata, en este caso, de un eje ranurado sobre el que pivota la boya, y cuya ranura hace de apertura, cuyo tamaño se autorregula en función del giro de este eje, es decir, de la posición de la boya. Por este motivo, en ocasiones recibe también el nombre de válvula giratoria. En la Figura 3 se puede ver la forma que tiene el eje de giro de la boya, que hace tan especiales a las trampas de vapor de la empresa RIFOX. Uno de los extremos posee forma rectangular, para fijarlo al brazo de la boya y que ambos giren solidarios, girando el eje sobre un tubo que se sumerge en el condensado, para que éste fluya a través de él, cuando la ranura del eje lo permita.



Figura 2. Trampa de vapor RIFomat Minox-G-1170.

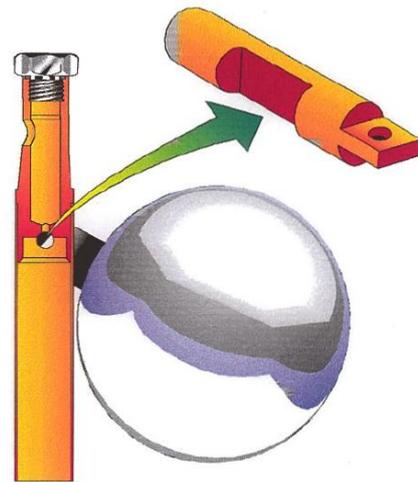


Figura 3 Eje de giro de la boya.

Cuando hay un nivel bajo de condensado en el interior de la trampa de vapor la boya permanece en la posición más baja de su recorrido. En la Figura 4, se muestra una imagen de la posición descrita de la boya y se puede observar en la ampliación, cómo la zona ranurada del eje todavía no permite la comunicación entre el interior y el exterior de la trampa de vapor. Conforme se va acumulando condensado dentro de la trampa de vapor, la elevación del nivel de condensado empuja a la boya hacia arriba, lo cual hace girar el eje, iniciándose así la apertura de la válvula giratoria (Figura 5). A elevados flujos de condensado, la boya alcanza su posición más alta y la apertura de la válvula se hace máxima (Figura 6).

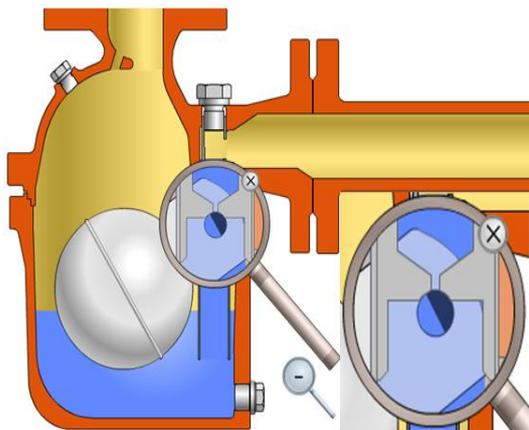


Figura 4. Posición cerrada.

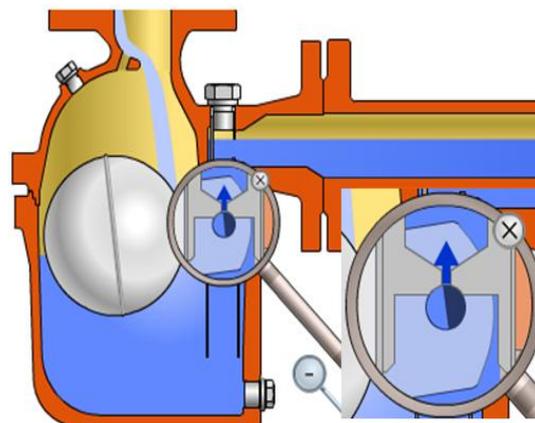


Figura 5. Posición intermedia.

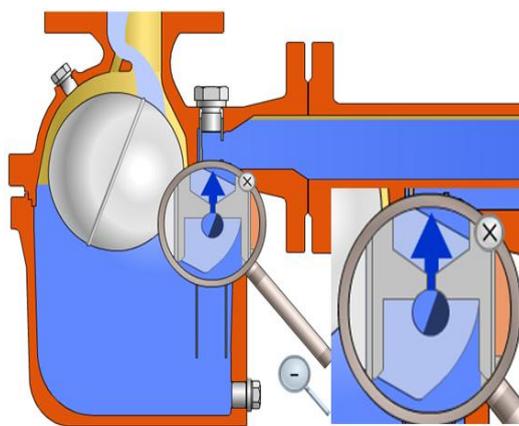


Figura 6. Máxima apertura.

El eje de giro posee un acabado superficial óptimo para que el eje tenga suficiente holgura para girar dentro del tubo de salida de condensado, pero tal que el juego no permite fugas de vapor. Debido al giro del eje durante un periodo largo de tiempo, o bien por causas de un funcionamiento incorrecto, la superficie del eje se deteriora y da paso a una mayor cantidad de vapor.

En [3] se realiza un estudio de la calidad del eje, estableciendo una unidad de medida propia de la empresa RIFOX para su evaluación. Esta unidad se llama SOLEX y el método para su obtención consiste en hacer circular aire a través del mecanismo de apertura, cuando éste se encuentra cerrado, midiendo el caudal de aire que fluye hacia el exterior. Así, cada índice SOLEX representa un determinado caudal de aire, siendo los índices SOLEX mayores los que representan un menor caudal de aire, es decir, una mayor calidad del eje o menor desgaste, y viceversa.

El método de caracterización de la calidad de las trampas de vapor a través de los índices SOLEX sirve únicamente para clasificar las trampas en función de su desgaste, pero no es factible para detectar las fugas en una instalación en funcionamiento.

Primero se trata, pues, de elaborar un método que permita detectar qué tipo de flujo circula por la abertura de la válvula, o por una holgura del eje, ya sea condensado, vapor, o ambos a la vez.

Uno de los métodos actuales de mayor uso para la detección de fugas en los separadores de condensado es el método de ultrasonidos, que se basa en que al circular un gas por un orificio, éste genera un ultrasonido, cuya frecuencia e intensidad dependen de la presión y temperatura del gas, de su densidad y velocidad, y del tamaño del orificio [4]. El problema que tiene este método es que no se puede conocer la cantidad de gas que fuga. Además, no distingue entre vapor vivo o vapor de expansión.

Puesto que el sistema de apertura de las trampas de vapor de la empresa RIFOX no es como las fabricadas por otras empresas, surge la idea de buscar un método de detección de fugas que se adapte a este sistema, permitiendo evaluar no sólo si existe o no una fuga de vapor, sino también la cantidad de vapor que fuga.

El método del análisis de vibraciones mecánicas, objeto de estudio en este trabajo, consiste en la colocación de un acelerómetro a la salida de la trampa de vapor, que medirá las vibraciones inducidas por el flujo del medio que sale al exterior, ya sea condensado, vapor, o una mezcla de los dos. En la Figura 7, se presenta una imagen de la trampa de vapor, en la que se ha montado el acelerómetro a la salida de la válvula. En la Figura 8, puede verse una ampliación de cómo está colocado el acelerómetro.



**Figura 7 Trampa de vapor con acelerómetro.**



**Figura 8 Colocación del acelerómetro.**

El motivo por el que se decide colocar un acelerómetro es que, ya que a través del método de ultrasonidos, lo que se buscan son sonidos de frecuencias altas, para medir vibraciones con frecuencias altas se deben medir aceleraciones, ya que tanto las velocidades como los desplazamientos de las trampas de vapor poseen amplitudes muy pequeñas. Además, en [1] ya se midieron aceleraciones y se obtuvieron algunos resultados con amplitudes a frecuencias elevadas.

El banco de pruebas de la empresa RIFOX consta de una caldera que toma agua de la red de distribución y la almacena en su parte inferior, calentándola para obtener vapor, que se encuentra en la parte superior. A través de un sistema de válvulas se permite el flujo de vapor o agua, según el experimento, que circula hasta la trampa de vapor, pasando por un colector principal con varias salidas, una de las cuales se utiliza para los experimentos de este trabajo, siendo las otras para otros experimentos de la empresa RIFOX.

El objetivo que se pretende conseguir es, a través del método y los medios que se citan, la detección del tipo de fluido que sale de la trampa de vapor, así como su cantidad y, con ello determinar la calidad o estado de deterioro de la trampa de vapor.

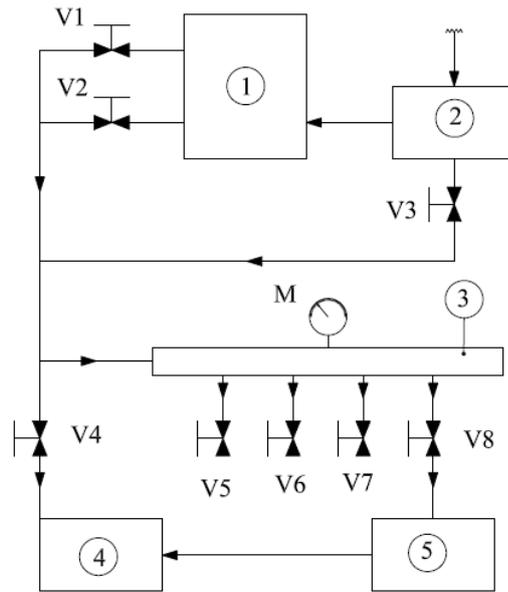
## 2. Mediciones

### 2.1 Banco de pruebas

En la Figura 9 se presenta una foto del banco de pruebas y en la Figura 10 se ilustra un esquema de toda la instalación. La caldera (2) recibe agua de la red de distribución (1) y produce vapor, que queda en la parte superior de la misma, quedando el agua caliente en la parte inferior. Así, para los experimentos en que el fluido en estudio es vapor, se abre la válvula 1 (V1) y para aquellos en que se mide el flujo de condensado se abre la válvula 2 (V2). Cualquiera de estos medios llega hasta el colector principal (3), que sirve para que el medio que circula se almacene allí hasta la presión que se desee, y que se puede leer en el manómetro (M), para así abastecer hasta 4 salidas, que son comandadas por las válvulas V5, V6, V7 y V8. Esta última es la única que se utiliza en los experimentos realizados en este trabajo para regular el paso de condensado o vapor a la trampa de vapor (5), utilizándose el resto de salidas en otros experimentos de la empresa RIFOX. A través de la válvula 3 (V3) se permite el flujo del agua de la red de distribución directamente hacia el resto de los componentes del banco de trabajo, para refrigerarlos y poder manipularlos, sobre todo para el intercambio de los tipos de trampa de vapor. Mediante la válvula 4 (V4), se conduce tanto vapor como agua directamente hacia el desagüe (4), a donde va a parar también el flujo que sale de la trampa de vapor.



Figura 9 Banco de pruebas.



- 1. Agua de la red de distribución
- 2. Caldera
- 3. Colector principal
- 4. Desagüe
- 5. Trampa de vapor
- $V_i$ = Válvula  $i$      $M$ =Manómetro

Figura 10 Esquema del banco de pruebas.

## 2.2 Cadena de medición

En la Figura 11 se representa un esquema de las conexiones entre los aparatos de medida utilizados en la medición de los experimentos. A continuación se dan las características de cada uno de los componentes.

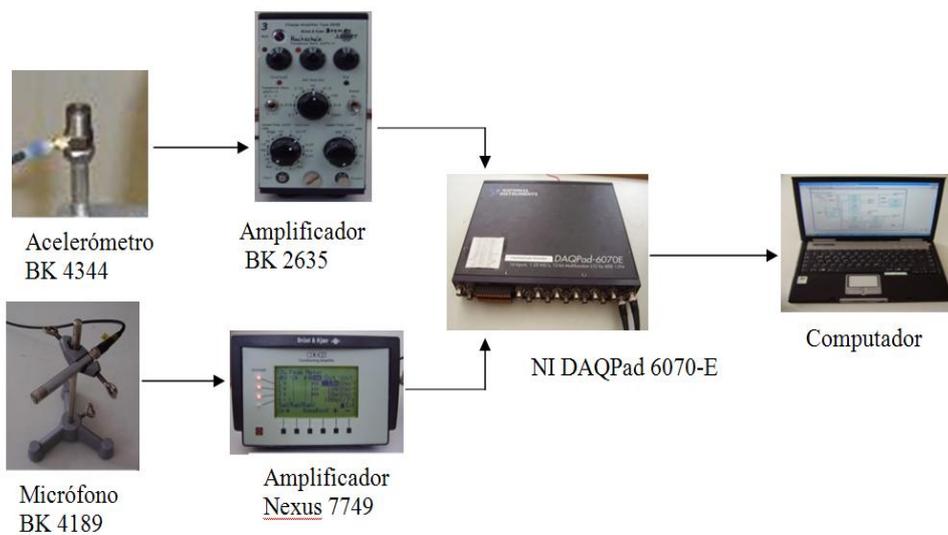


Figura 11 Esquema de la cadena de medición

### ➤ **Acelerómetro BK 4344**

Las características más importantes del acelerómetro son:

- Sensibilidad de carga:  $0,313 \text{ pC}/(\text{m}/\text{s}^2)$
- Temperatura máxima de trabajo:  $260^\circ\text{C}$
- Máxima aceleración de impacto:  $140000 \text{ m}/\text{s}^2$

### ➤ **Micrófono BK 4189**

Las características más importantes de este micrófono son:

- Sensibilidad:  $46,9 \text{ mV}/\text{Pa}$
- Frecuencias de trabajo: de  $6,3 \text{ Hz}$  a  $20 \text{ kHz}$
- Temperatura de trabajo: de  $-30$  a  $150^\circ\text{C}$

### ➤ **Amplificadores**

Los parámetros seleccionados en los controles del amplificador de carga BK 2635 para todas las mediciones son:

- Selector de sensibilidad del transductor:  $0.313 \text{ pC}/(\text{m}/\text{s}^2)$
- Amplificación:  $10 \text{ mV}/\text{unidad de salida}$
- Interruptor de sensibilidad del transductor:  $0.1-1 \text{ pC}/(\text{m}/\text{s}^2)$
- Límite inferior de frecuencia-unidad de salida:  $2 \text{ Hz}$  - Aceleración.  $1 \text{ m}/\text{s}^2$
- Límite superior de frecuencia:  $>100 \text{ kHz}$

En el amplificador Nexus 7749 se selecciona únicamente el factor de amplificación de  $100\text{mV}/\text{Pa}$ .

### ➤ **Equipo de adquisición de datos**

#### - **NI<sup>1</sup> DAQPad-6070E**

Se trata de un aparato que se conecta entre el amplificador y el computador, para transformar la señal analógica recibida del amplificador en una señal digital, que pueda ser leída por el computador. Consta de 8 entradas para la adquisición de 8 canales de señales a la vez (ver Figura 12). La velocidad de adquisición de datos máxima que permite recoger es de  $1.25 \text{ MS}/\text{s}$  para un único canal de entrada, pero cuando se recoge más de una señal, esta velocidad se divide por el número de señales.

En las mediciones realizadas, se utilizan el canal 0, para la adquisición de vibraciones del acelerómetro, y el canal 1, para la adquisición del sonido recogido por el micrófono. Por tanto, la velocidad máxima de adquisición de datos se reduce a  $0.6 \text{ MS}/\text{s}$ , suficiente para

---

<sup>1</sup> National Instruments

realizar las mediciones, ya que se miden para cada canal 0.2 MS/s, es decir, en total 0.4 MS/s. La razón por la que se miden para cada canal 0.2 MS/s se explica a continuación cuando se habla del software utilizado para la recogida de datos.

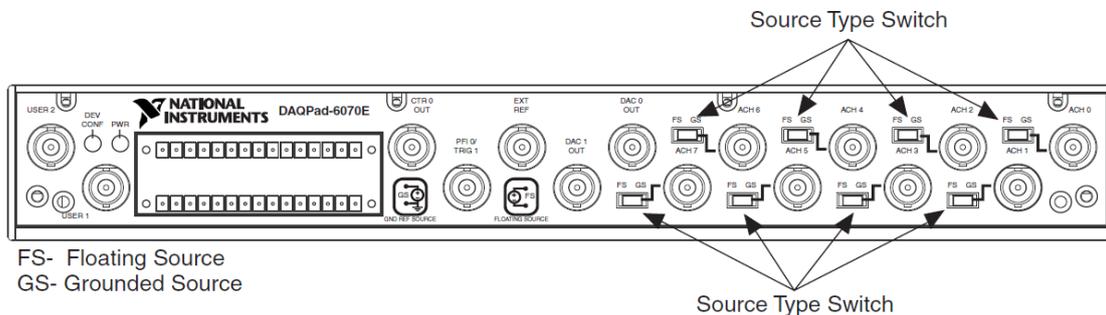


Figura 12 DAQPad-6070E.

- Software:

El software utilizado para la recogida de datos es LabVIEW® de NI. En [1] se desarrolló, a través de él, un programa sencillo que únicamente sirve para la visualización de las mediciones en tiempo real, para comprobar así que el acelerómetro funciona correctamente y que las mediciones se llevan a cabo correctamente. Este mismo programa se utiliza para las mediciones realizadas en este trabajo, y sólo se hicieron cambios en la interfaz, introduciendo un botón para el almacenamiento de las señales, ya que en la versión anterior, el almacenamiento se efectuaba al parar el funcionamiento del programa, aportando el nuevo botón mayor fluidez en la toma de datos, ya que permite realizar las mediciones sin que el programa finalice. La otra novedad en el programa es que las señales se filtran por debajo de los 100 Hz, porque en éstas se producían ondulaciones de muy baja frecuencia y de gran amplitud, que no permitían comparar adecuadamente las señales. Por medio de este filtro, se consigue que las señales en tiempo presenten una forma tal, que las oscilaciones se produzcan alrededor del 0 del eje de abscisas. Además, se suprimen las amplitudes elevadísimas que se producían a bajas frecuencias, que impedían que en los espectros se pudiesen observar las dimensiones de las amplitudes para el resto de las frecuencias, debido a la gran diferencia de tamaño entre estas amplitudes. A continuación se explica el significado de los símbolos que aparecen en el esquema del programa.

Primero, en la parte superior izquierda del esquema, hay un símbolo con el nombre “AI MULT PT”, que lo que hace es leer la señal recibida del equipo de adquisición de datos NI DAQPad-6070E. Este símbolo tiene 3 entradas:

- **Canal:** aquí se especifican los canales del NI DAQPad-6070E que deben ser leídos, que en este caso son aceleración y sonido.
- **Cantidad de datos a medir:** se puede elegir el número de datos que cada medición debe contener. En los experimentos, se elige 400000 datos, para que la medición dure 2 segundos, como más adelante se explica, porque en las mediciones tomadas en [1] se tomaron muestras de 0,5 segundos, y se cree que midiendo un tiempo mayor se pueden obtener mejores resultados. No se elige más tiempo, porque la cantidad de datos que el computador debería almacenar en una misma medición podría ser excesiva

- **Velocidad de medición o de recogida de datos:** esta es la cantidad de datos que se recogen por segundo. Su valor es de 200000 datos/s, para que así la frecuencia máxima medible, por el teorema de Nyquist, sea de 100 kHz.

El cociente entre la velocidad de medición y la cantidad de datos que se miden es la resolución con la que se pueden analizar los espectros de frecuencias. Así, con los valores elegidos, la resolución es:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Velocidad de medición}}{\text{Cantidad de datos a medir}} = \frac{200000 \frac{\text{datos}}{\text{s}}}{4000000 \text{ datos}} = 0.5 \text{ Hz} \quad \text{Eq. 1}$$

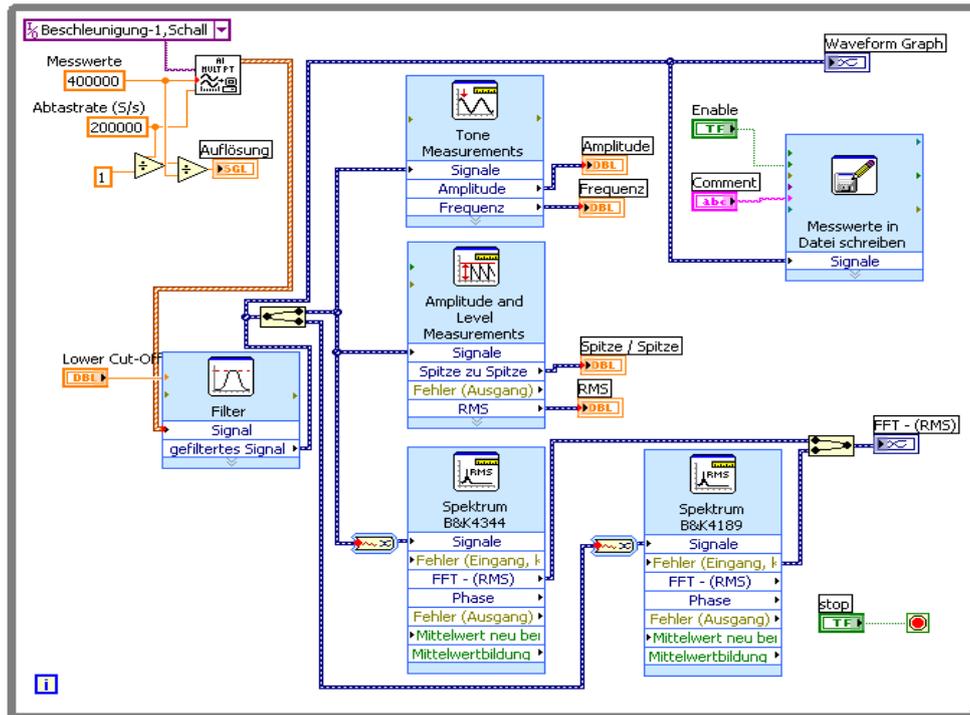


Figura 13 Esquema del programa de LabVIEW®.

Una vez que las señales han sido leídas desde el NI DAQPad-6070E, se pasan por un filtro, cuyas características se definen en la ventana que se muestra en la Figura 14. Se trata de un filtro pasa alto, es decir que permite la medición únicamente de las frecuencias que son mayores que su límite inferior de frecuencias, que se encuentra a 100 Hz. Es un filtro IIR<sup>2</sup>, porque este tipo de filtros presentan ventajas frente a los de tipo FIR<sup>3</sup> [5]. Dentro de los filtros IIR, el modelo escogido es el Bessel de segundo orden, porque, como se muestra en la Figura 14, en la parte superior derecha, por debajo de los 50 Hz, las amplitudes se atenúan en más del 80%, que son las frecuencias cuya amplitud se desea reducir, por ser éstas demasiado grandes, como se ha mencionado anteriormente.

Siguiendo el recorrido de las señales a lo largo del programa, cuando éstas salen del filtro, se llevan, por un lado (parte superior derecha del esquema de la Figura 13) a su representación en el dominio del tiempo en la interfaz del programa y su almacenamiento en el computador, cuando se le indique al programa que debe hacerlo, y por otro lado, se

<sup>2</sup> Infinite Impulse Response

<sup>3</sup> Finite Impulse Response

llevan las señales a una serie de módulos que realizan operaciones sobre ellas, para que se representen en la interfaz del programa sus espectros de frecuencias y algunos de sus parámetros característicos, como su valor pico-pico, o su media cuadrática (RMS).

En la Figura 15 se observa la apariencia que tiene la interfaz del programa LabVIEW®, mientras se está realizando una medición. En la parte de arriba se encuentra la representación de las señales en el dominio del tiempo, y debajo los espectros de frecuencias. Encima de la señal en tiempo están colocados los botones de almacenamiento de las señales y de parado del programa, y debajo de los espectros de frecuencias se pueden ver los parámetros de interés de las señales.

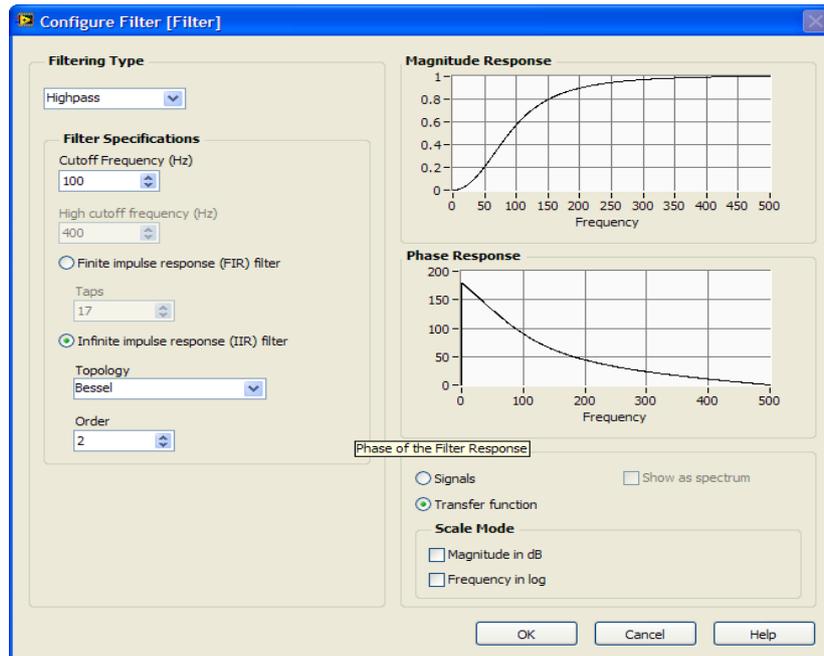


Figura 14 Elección del filtro en LabVIEW®.

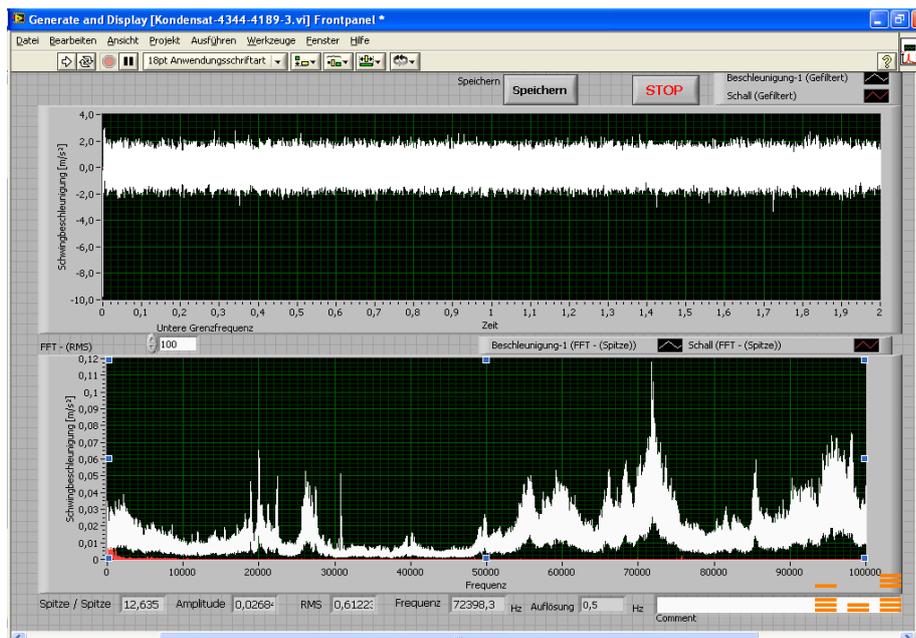


Figura 15 Interfaz del programa LabVIEW®.

## **2.3 Experimentos**

### **2.3.1. Objetivos**

Lo primero que se plantea es poder diferenciar entre el flujo de condensado y el de vapor a través de la trampa de vapor. Por ello, se pretende realizar mediciones para cada uno de dichos flujos y se escogen los valores de presión en la caldera de 2, 5, 7 y 10 bar, para comprobar si los resultados que se obtienen con una presión se obtienen también a otras presiones, además de poder cubrir así otro de los objetivos, que es el poder determinar el estado termodinámico de cada uno de los medios, cuando no sólo se comparan ambos medios entre sí, para las distintas presiones, sino que, además, se comparan para un mismo medio las distintas presiones.

Para comprobar si la posición de la boya y, por tanto, de la apertura de la válvula, influye sobre los resultados de las mediciones, se realizan también mediciones en una posición en que la apertura de la válvula está a la mitad.

Las siguientes mediciones que se realizan son con la boya en su posición más baja, es decir, con la válvula totalmente cerrada, y con dos índices de calidad distintos, para comprobar si se puede detectar, a partir de la medición de vibraciones, el estado del mecanismo de apertura.

Tras la realización de las mediciones anteriores, se llevan a cabo una serie de mediciones en las que la trampa de vapor trabaja en lo que se denomina operación normal de trabajo, donde se intenta distinguir, en una misma medición, el flujo de ambos medios, es decir, condensado y vapor. Para ello, también se utilizan dos mecanismos de apertura, con los mismos índices de calidad, que los utilizados en las mediciones con la trampa de vapor totalmente cerrada.

También se desea llevar a cabo mediciones con la parte de la válvula que contiene únicamente la ventana de apertura, estando ésta soldada, para comparar estas mediciones con el resto y comprobar si las partes móviles del mecanismo de apertura influyen en los espectros de frecuencias.

Antes de realizar todas las mediciones, se realizó una medición del lugar de trabajo con el banco de pruebas sin funcionar, es decir, sin que fluya ningún medio, para comprobar si se obtienen frecuencias que se puedan descartar en los espectros de las mediciones.

### **2.3.2. Descripción de los experimentos**

- Experimentos realizados con condensado:

Al contrario que con el flujo de vapor, no tiene sentido que las mediciones del flujo de condensado se realicen con diferentes tipos de calidad de la trampa de vapor, ya que el condensado fluye por una apertura mucho mayor que la debida a las holguras producidas por el desgaste, fluyendo el condensado antes por la apertura de la válvula, puesto que a través de ella encuentra menos impedimento. Además, sólo se realizan mediciones cuando la trampa de vapor está totalmente abierta, porque suele ser bastante frecuente, en las trampas de vapor con elevado número de horas de trabajo, que la boya se quede bloqueada en su posición más alta.

El condensado fluye a una temperatura de 80°C, con la que se asegura que éste no cambie a estado vapor al pasar por el estrechamiento de la válvula.

Para realizar el experimento, se llena el colector principal de condensado, que proviene de la caldera, hasta la presión de medición, y se abre la válvula 8 (Figura 10), para que el condensado fluya a través de la trampa de vapor.

El problema en estas mediciones es que la caldera no puede mantener la presión del condensado, una vez que se abre la válvula y el condensado fluye al exterior. Por ello, se tiene que abrir la válvula a una presión superior a la que se quiere medir, para que comience a descender la presión y, cuando el manómetro indique la presión a la que se desea realizar la medición, se presiona en el programa de LABVIEW® el botón de almacenar la medición. Este problema se vio agravado cuando se realizó la medición a 10 bar, porque la presión descendía demasiado deprisa, como para que quedase correctamente almacenada en el computador. Se consiguió tomar una medición a esta presión, pero no se puede asegurar que sea fiable.

- Experimentos realizados con vapor:

Al igual que ocurre con las mediciones de condensado, y por el mismo motivo, tampoco tiene sentido la medición del flujo de vapor a través de trampas de vapor con distintos tipos de calidad, cuando la válvula giratoria de la trampa de vapor se encuentra en las posiciones total abierta y mitad abierta. Durante la medición de estas dos posiciones, se hace necesario el uso de protectores auditivos, debido al elevado nivel del ruido producido, tanto por el vapor al salir al exterior, por la trampa de vapor, como por el funcionamiento de la caldera, que debe generar el vapor necesario para mantener la presión de la instalación. Por este motivo, la aguja del manómetro indicadora de la presión oscilaba entorno a la presión de la medición, aunque esta oscilación era pequeña.

En las mediciones con la trampa de vapor cerrada, no se percibió sonido alguno, ya que el flujo de vapor, a través de las holguras era muy pequeño y, debido a esto, la caldera no tuvo que ponerse en marcha para generar más vapor, puesto que la presión de la instalación apenas disminuía.

La temperatura del vapor en la caldera se desconoce porque el indicador del banco de pruebas no funcionaba.

- Operación normal de trabajo:

En este experimento, se introduce condensado en la trampa de vapor hasta que hay suficiente nivel para que éste comience a salir, es decir, que la boya adquiera una altura suficiente para que la válvula quede abierta. Una vez conseguido esto, se deja de introducir condensado en la trampa de vapor y se introduce vapor. La situación que resulta es que el nivel de condensado se reduce hasta una altura, a la cual la boya cierra la válvula y deja de salir condensado por la trampa de vapor. Tras esta situación, se enfrían los tubos de la instalación, el colector principal y la trampa de vapor, para que el vapor que hay en el interior condense, siendo este condensado el que haga aumentar el nivel de condensado del interior de la trampa. Con esto se consigue que la boya se eleve, abriéndose la válvula giratoria, y permitiendo que el condensado salga al exterior.

Con ello se pretende simular una situación real de trabajo de la trampa de vapor, en la que se produzca una salida de vapor, a través de las holguras de la válvula giratoria, y al mismo tiempo salga también condensado, para realizar una medición del flujo de ambos medios a la vez. Así como el flujo de vapor a través de las holguras se debería producir de forma continua, puesto que estas holguras tienen siempre la misma forma, y la válvula giratoria no queda en ningún momento sumergida en el condensado que hay en el interior de la trampa, el flujo de condensado se debe producir de forma intermitente, ya que la condensación de vapor hace elevar el nivel de condensado del interior de la trampa, abriéndose ésta y escapando el condensado, lo cual hace disminuir de nuevo el nivel de condensado del interior, cerrándose la válvula de nuevo y produciéndose así ninguna salida de condensado hasta que éste se vuelva a acumular en el interior de la trampa.

Debido a cuando se realizaron las mediciones de estos experimentos, la empresa RIFOX no disponía de agua de la red de distribución, se tuvo que enfriar la trampa de vapor con nieve, para conseguir que el vapor en su interior condensara.

Durante los experimentos, ocurría lo mismo que en los llevados a cabo con la trampa de vapor cerrada y flujo de vapor, que no se percibía ningún tipo de ruido generado por el flujo tanto de vapor como de condensado. Además, el flujo de condensado se producía en forma de gotas que salían de la trampa, pero el tiempo de salida entre dos gotas consecutivas era mayor que el tiempo de duración de cada medición. Como la presión no se veía apenas modificada, porque el flujo de vapor era mínimo, la caldera tampoco se ponía en marcha para generar más vapor.

- Experimentos realizados con la válvula giratoria soldada:

Para llevar a cabo estos experimentos, la empresa RIFOX preparó lo que se muestra en la Figura 16, que se trata de la sección del tubo, por el que asciende el condensado, en la que se encuentra la válvula giratoria, pero con ambas partes soldadas. Es decir, no se tienen partes móviles, cuyo movimiento pueda traducirse en vibraciones inducidas en el acelerómetro.

La idea de realizar estos experimentos surgió al final del trabajo y, por falta de tiempo, se realizaron únicamente con flujo de vapor y sólo se dispuso del elemento soldado con la ventana de salida del vapor con un tamaño que simulaba la apertura de la válvula, cuando ésta se encuentra a la mitad del total de apertura. No se pudo realizar experimentos con flujo de condensado, ni con la simulación de otras aperturas. Por este motivo, no se hizo un análisis de estas mediciones, ya que no se disponía de otras con las que comparar, pero se adjuntan con las mediciones hechas al principio para su posterior análisis en un trabajo futuro, en el que se puedan realizar el resto de mediciones.



**Figura 16** Válvula soldada.

### **2.3.3. Relación de experimentos**

- Medición del ambiente de trabajo
- Trampa de vapor totalmente abierta y flujo de condensado a 2, 5, 7 y 10 bar.
- Trampa de vapor totalmente abierta y flujo de vapor a 2, 5, 7 y 10 bar.
- Trampa de vapor con apertura a mitad y flujo de vapor a 2, 5, 7 y 10 bar.
- Trampa de vapor con 50 Solex cerrada y flujo de vapor a 2, 7 y 10 bar.
- Trampa de vapor con 480 Solex cerrada y flujo de vapor a 2, 7 y 10 bar.
- Trampa de vapor con 50 Solex en operación normal de trabajo y flujo de vapor a 2, 5, 7 y 10 bar.
- Trampa de vapor con 480 Solex en operación normal de trabajo y flujo de vapor a 2, 5, 7 y 10 bar.
- Flujo de vapor a través de la válvula giratoria soldada.

### 3. Análisis de los resultados

Para realizar el análisis de los resultados, se utiliza el programa DIAdem™ de NI. Cuando se abre el programa, se debe cerrar la ventana de introducción, y se tiene la pantalla principal del programa. En la pestaña “Navigator” se pueden observar las distintas carpetas que contiene el computador, donde se debe buscar la carpeta correspondiente a las mediciones. Allí se selecciona el archivo que se desea abrir y se arrastra hacia la parte derecha de la pantalla debajo de donde pone “Data Portal”.

El archivo se carga y se pasa, entonces, a la pestaña “View”, donde se pueden visualizar los datos cargados. Para ello, se debe seleccionar la señal que se quiere visualizar en la lista que aparece en “Data Portal” y arrástralo hacia las ventanas centrales, obteniéndose la representación gráfica de las señales como puede observarse en la Figura 17, donde se representa la señal en tiempo, arriba, y su espectro de frecuencias, abajo. En esta pantalla aparecen, además, unos ejes con los que se puede medir cada una de las amplitudes de los datos de que se compone tanto la señal en tiempo, como el espectro de frecuencias.

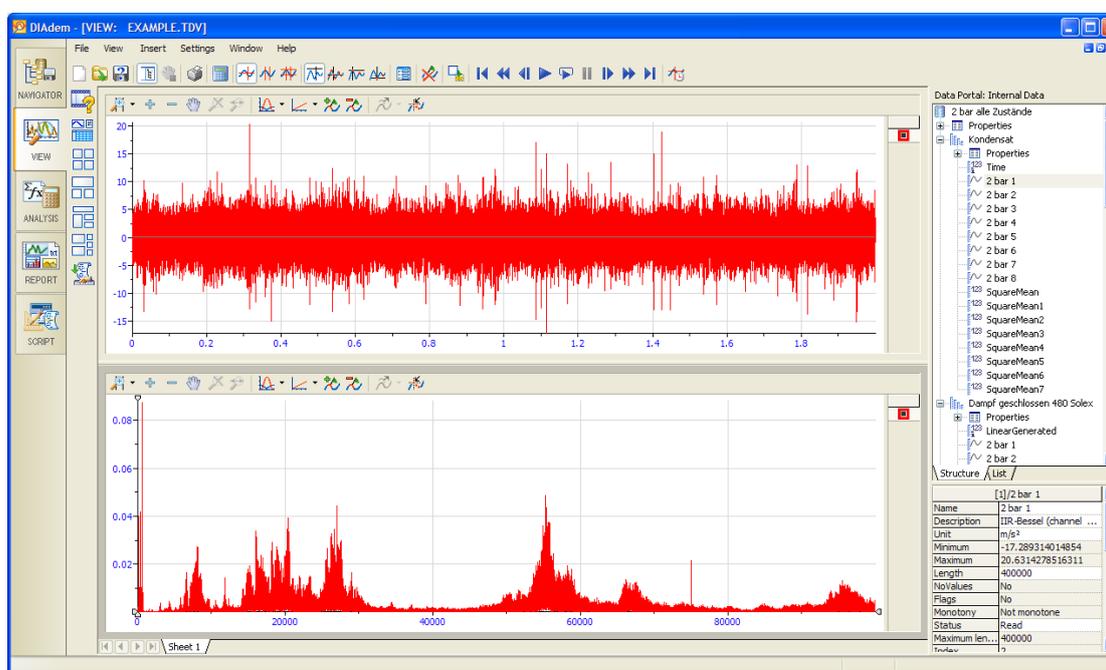


Figura 17 Pantalla principal del programa DIAdem™.

En la pestaña “Analysis” se pueden realizar operaciones sobre las señales medidas, como pueden ser análisis de frecuencias, análisis estadístico, o filtraje de la señal, entre otras.

En la pestaña “Report” se pueden preparar las gráficas obtenidas en el apartado “View”, para su presentación e impresión, pudiéndose colocar los títulos de las gráficas, o añadir fotos, tablas u otras gráficas.

Primero se analizan las señales en el dominio del tiempo, tal y como fueron medidas y almacenadas, para pasar después a su análisis en el dominio de las frecuencias.

En el dominio del tiempo, para tener algún parámetro con el que poder comparar las mediciones, se hace un estudio de los posibles tipos de medias que se pueden extraer, mediante el programa DIAdem, de las diferentes señales en tiempo.

Existen 4 tipos de medias que se pueden calcular con el programa DIAdem. A continuación se explican los problemas que tiene el cálculo de cada una de estas medias según [6]:

**Media aritmética** ( $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$ ): no se puede efectuar el cálculo para las mediciones realizadas, porque el resultado para todas ellas es cero, ya que éstas oscilan alrededor del cero de abscisas, teniendo aproximadamente el mismo número de valores positivos que negativo, resultando ser nula la suma de todos ellos.

**Media geométrica** ( $\bar{X} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}$ ): tampoco se puede efectuar su cálculo en las mediciones realizadas, porque algunos de los valores de los datos de las señales son nulos, siendo el producto de todos ellos también nulo.

**Media harmónica** ( $\bar{X} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{a_i}}$ ): como ocurre con la media geométrica, el hecho de que algunos de los valores de las señales sean nulos, es decir, los  $a_i$  de la fórmula, hace que esta media tampoco se pueda calcular.

**Media cuadrática** ( $\bar{X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{n}}$ ): esta es la única media que se puede calcular, ya que al elevar al cuadrado todos los datos ( $a_i$ ), se evita la influencia que éstos ejercían en la media aritmética, y además, la suma de todos ellos hace que los datos nulos tampoco influyan en el resultado de forma considerable.

Como la única media que puede aportar algo de información acerca de las señales en tiempo es la media cuadrática, se realiza su cálculo para todas las señales de las mediciones realizadas y se comparan los valores entre los distintos experimentos, según los objetivos descritos en el apartado 2.3.1.

En el Anexo 1 se presenta una tabla para cada presión de los experimentos. En estas tablas se pueden ver, debajo de la columna de cada experimento, los valores de las medias cuadráticas de las mediciones disponibles, ya que no hay el mismo número de mediciones de todos los experimentos, porque algunas de las mediciones almacenadas se encontraban sin señales en el interior de los archivos, que quizás se debiese a la lentitud con que trabajaba el computador, que podría deberse a que recibía demasiados datos, para poderlos procesar todos. Al final de cada columna aparece la media aritmética de todas las medias cuadráticas de cada experimento, para tener así un único valor de cada experimento y poderlos comparar en las gráficas que se incluyen también en el Anexo 1.

Como puede verse en las gráficas de las medias cuadráticas, las mediciones realizadas con vapor y apertura total de la válvula giratoria, son mucho mayores que el resto de mediciones de otros experimentos. Las mediciones tanto con la trampa de vapor totalmente cerrada, como las de operación normal de trabajo, poseen valores que son muy pequeños, que se aproximan a los valores de las mediciones del entorno de trabajo, por lo que se piensa que el flujo de vapor y condensado de dichos experimentos puedan estar

enmascarados por las vibraciones propias del entorno, o que éstas no permitan apreciar con claridad las vibraciones de dichos flujos.

Otro inconveniente que se observa es que, las mediciones de condensado y las de vapor con apertura a la mitad, presentan valores que a 2 bar son muy similares, a 5 y 7 bar son menores para el vapor, y a 10 bar son menores los del condensado, por lo que tampoco se puede diferenciar entre vapor y condensado por medio de las medias cuadráticas, ya que, aunque en los experimentos realizados se conoce la apertura de la válvula giratoria, en una medición cualquiera se desconoce esta posición, por no poderse ver el interior de la trampa de vapor. Para ello sería necesario realizar infinitas mediciones con distintas presiones y distintas aperturas, cosa que resulta imposible.

Entre las diferentes aperturas, se observa que los valores son mayores cuando la válvula está totalmente abierta, que para la mitad apertura, y ésta a su vez, posee valores mayores que las mediciones con la válvula totalmente cerrada. El problema es que los valores de estos tres experimentos no aumentan con la misma tendencia, cuando aumenta la presión.

A pesar de la similitud entre las señales medidas con la trampa de vapor totalmente cerrada, y las medidas con operación normal, y a su vez entre los dos índices de calidad, sí que se puede apreciar un aumento de los valores de amplitud cuando el índice es de 50 Solex. Este es un resultado lógico, pues un índice de 50 Solex implica un flujo mayor de vapor que un índice de 480 Solex. Únicamente son mayores los valores cuando el índice es de 480 Solex para las mediciones con operación normal y presiones 5 y 7 bar. Una vez más, se insiste en que los valores de estas mediciones son tan pequeños y, por tanto tan similares, que las conclusiones a las que se llega carecen de fiabilidad.

Debido a que con el método de análisis de las medias cuadráticas no se tienen resultados lo suficientemente claros para poder establecer diferencias entre las mediciones, se pensó que el cálculo de histogramas, de las señales en tiempo medidas, podría dar más información acerca de la distribución de sus valores, es decir, de la cantidad de valores que tienen un tamaño mayor o menor. Esta idea surge, porque una señal que contiene muchos datos de amplitud muy pequeña y unos pocos datos con amplitud elevada, podría tener un valor de media cuadrática similar al de una señal, que tuviera todos los valores con un tamaño intermedio, entre los valores de la primera. Esto es lo que podría estar ocurriendo al comparar las señales de condensado con las de vapor a mitad apertura, concretamente a 2 bar de presión.

Para comprobar si este método del análisis de los histogramas puede ser factible, se comprobó si se podían diferenciar los dos experimentos que son tan similares a 2 bar, es decir, condensado y vapor a mitad apertura.

En la Figura 18 se representan los histogramas realizados de las mediciones que se anteriormente se mencionan. En la parte de arriba se representan los histogramas de las diferentes señales de condensado, y en la parte de abajo las correspondientes a vapor con mitad apertura. El significado de estos histogramas es la cantidad de datos (eje de abscisas) que poseen una determinada amplitud de vibración (eje de ordenadas). Puede verse que tanto los histogramas de unas mediciones como de otras son muy parecidos, ya que en ambos ocurre que la mayor parte de los datos tienen una amplitud comprendida entre  $-2$  y  $2 \text{ m/s}^2$ . También se ve que esto no ocurre de igual forma para las distintas mediciones de un mismo experimento, lo cual podría ser debido a las fluctuaciones de presión.

Debido a que el método de análisis de los histogramas no es válido para diferenciar entre las mediciones de condensado y las mediciones de vapor con la válvula giratoria a mitad apertura, a 2 bar de presión, se decidió no continuar con este método de análisis para el resto de mediciones.

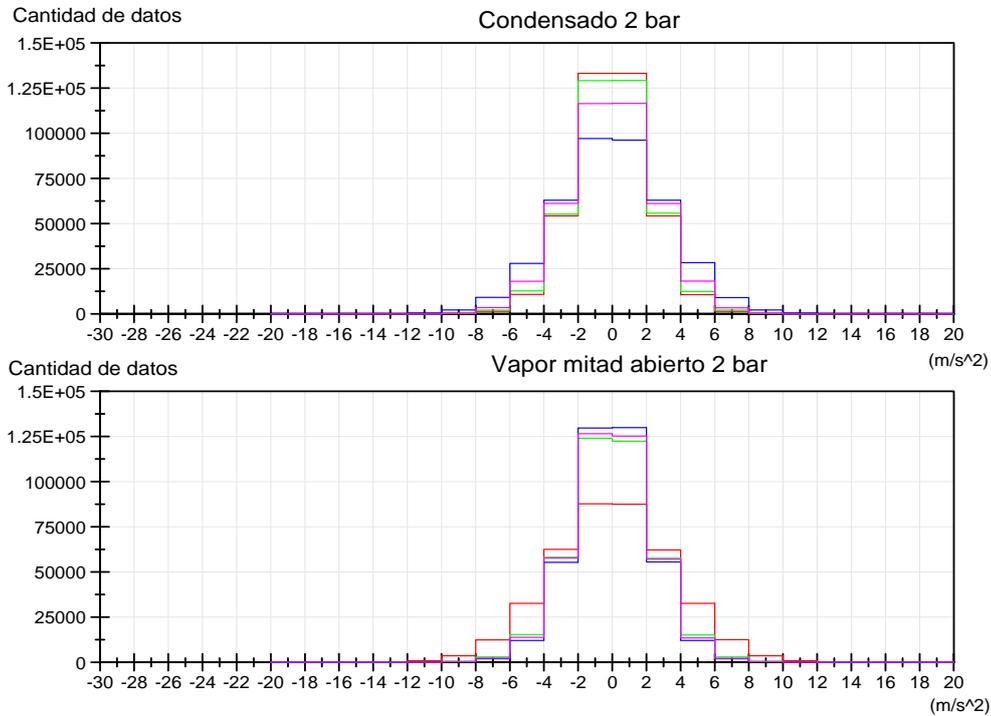


Figura 18 Histogramas.

El siguiente paso que se siguió fue el análisis de las frecuencias. Para calcular el espectro de frecuencias de una señal a través de DIAdem™, desde la pestaña “Analysis”, se va al apartado “Signal Analysis” y se elige “FFF (One Time Signal)”. Tras esto, aparece la ventana que se muestra en la Figura 19, donde se elige la señal sobre la que se va a operar y la función de enventanado. Desde esta misma ventana, en el apartado que pone “FFT Functions...” (Figura 20), junto con el apartado llamado “Time Intervals...” (Figura 21) se selecciona el número de intervalos de la señal que se desea escoger para calcular el espectro de frecuencias y, en el caso de que éste sea mayor que 1, se elige también el tipo de media que se debe utilizar, si es que se desea hacer una media, ya que se obtendrán tantos espectros de frecuencia, como intervalos se escojan, de forma que haciendo una media de todos ellos se obtiene únicamente un espectro.

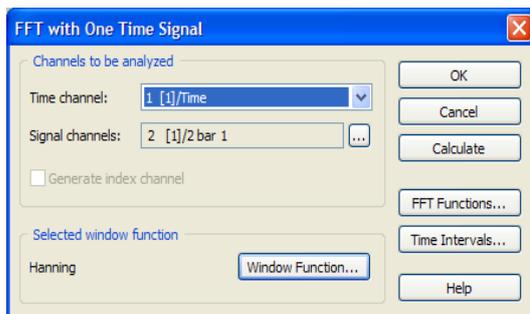


Figura 19 Selección de la señal y la función de enventanado.

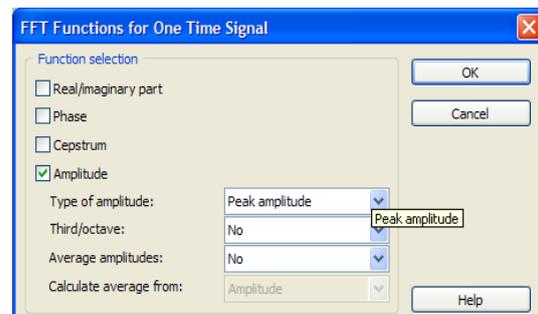


Figura 20 Selección de la función y el tipo de media.

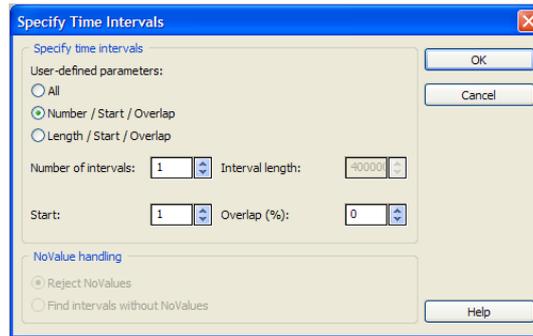


Figura 21 Selección de los intervalos.

La función de enventanado elegida para el cálculo de los espectros es la de tipo Hanning, porque según [7] es mejor que otras para dicho cálculo, debido a que se atenúan en mayor medida las frecuencias parásitas debidas a las discontinuidades que se producen al realizar el enventanado.

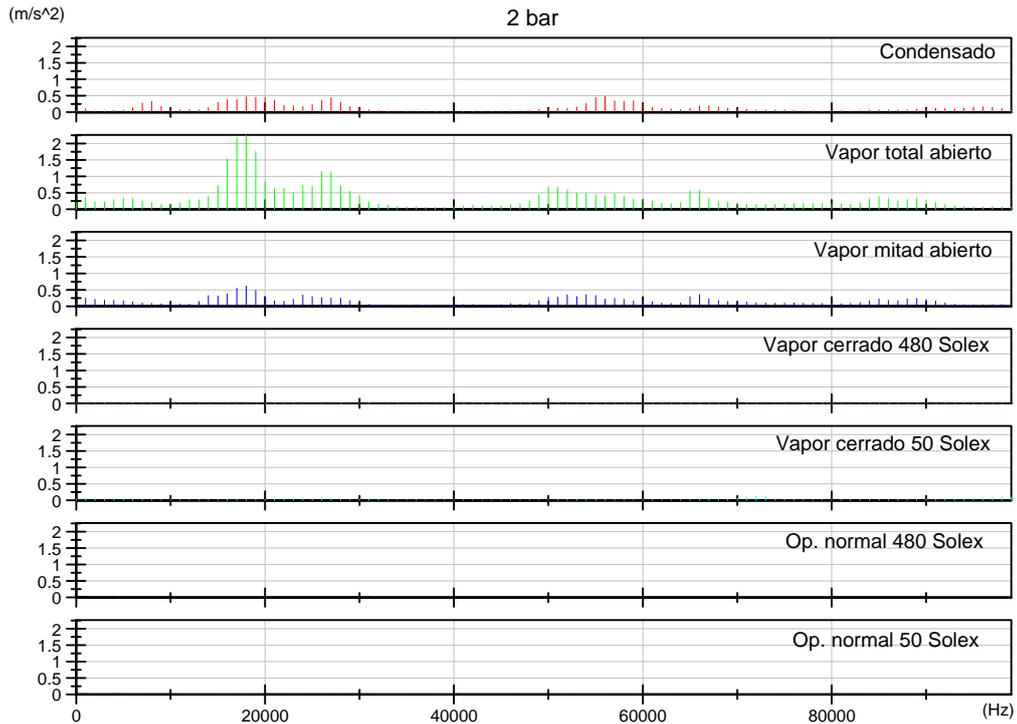
Se encontró muy interesante el trabajo realizado en [8], donde se estudian las vibraciones generadas por el flujo de burbujas en un fluido, utilizando para ello el método STFT<sup>4</sup>, que consiste en dividir la señal en intervalos más cortos, calculando un espectro de cada uno de ellos, para hacer así una media de todos ellos [9].

Se estudió cómo realizar, pues, las STFT de todas las mediciones, de forma que todas se hiciesen de igual forma para poderlas comparar. Cuando se elige un único intervalo, lo que se tiene es la FFT<sup>5</sup> de la señal, siendo la resolución obtenida en el espectro de frecuencias de 0.5 Hz, como se comenta en el apartado 2.2 al explicar cómo se toman las mediciones con el programa LabVIEW®. Se creyó conveniente que, siendo el rango de frecuencias medido de 100 kHz, para tener una cantidad no muy grande de datos con los que trabajar, se podría realizar las STFT de forma que los espectros tuviesen, en lugar de 200000, un máximo de 100 datos o picos de amplitud cada 1 kHz. Para ello el número de intervalos que se deben escoger es de 2000. En el Anexo 2 se presentan los espectros de frecuencias de los distintos experimentos, realizados por este método de STFT.

En primer lugar, se debe tener en cuenta que los espectros de condensado, vapor total abierto y vapor mitad abierto no se pueden representar en las mismas gráficas que los experimentos con la válvula totalmente cerrada y los de operación normal de trabajo, debido a que la gran diferencia de tamaño entre ellas hace que estas últimas no se puedan apreciar al representarlas con la misma escala, como se puede observar en la Figura 22, ya que si se representan todos los experimentos con escalas diferentes, no se pueden comparar adecuadamente. Además, como los espectros de vapor cerrado 50 Solex son, a su vez, bastante mayores que los de vapor cerrado 480 Solex y los de operación normal, se incluyen las gráficas de todos estos aplicando a cada experimento su propia escala, para ver mejor la forma que tiene cada uno. Los espectros que se muestran son medias de de los espectros de las mediciones disponibles para cada medición, puesto que entre éstas existen variaciones entre las amplitudes, quizás porque en algunas mediciones no se consigue que la presión sea exactamente la que se desea, sino que ésta tiene fluctuaciones entre las mediciones de un mismo experimento, debido a los problemas, que se han explicado anteriormente, que presenta la caldera.

<sup>4</sup> Short-Time Fourier Transform

<sup>5</sup> Fast Fourier Transform



**Figura 22 Comparación de las STFTs de todos los experimentos para 2 bar.**

Entonces, en las STFTs del Anexo 2, se puede observar que, en las gráficas de condensado, vapor total abierto y vapor mitad abierto, existen 2 rangos de frecuencias cuyas amplitudes son superiores a las del resto de frecuencias, y se cree por ello, que se podrían encontrar en esos rangos las frecuencias características de vapor y condensado. Estos rangos se encuentran, el primero, entre 10 y 30 kHz, y el segundo, entre 50 y 70 kHz. No se puede hablar de frecuencias individuales, porque las amplitudes de todas ellas varían mucho entre distintas mediciones de un mismo experimento, pero los valores más altos se encuentran siempre entre esos dos rangos. A continuación, se describen primero los espectros de condensado, vapor total abierto y vapor mitad abierto, y después los espectros de los otros experimentos, por el motivo antes mencionado de la diferencia tan grande entre los espectros de esos experimentos.

Para 2 bar, las amplitudes en el rango 10-30 kHz son mayores para vapor total abierto, que para condensado y la mitad apertura. Entre estos dos últimos, las diferencias no son muy apreciables. En el rango 50-70 kHz, los tamaños de las amplitudes de los 3 experimentos son muy parecidos.

Para 5 bar, aumentan mucho las amplitudes del espectro de condensado, en el rango 10-30 kHz, con respecto al incremento que también se produce en los espectros de vapor para las dos aperturas. En el rango 50-70 kHz, las amplitudes de vapor total abierto son mayores que para los otros dos experimentos.

Para 7 bar, aumentan mucho las amplitudes de ambos rangos en los experimentos con vapor total abierto. En los experimentos con condensado incluso disminuyen un poco las amplitudes del rango 10-30 kHz, sin sufrir apenas modificaciones las amplitudes del rango 50-70 kHz. En los experimentos de vapor mitad abierto, aumentan un poco las amplitudes del rango 10-30 kHz.

Para 10 bar, las amplitudes de vapor total abierto vuelven a ser mayores que las de los otros 2 experimentos, en ambos rangos. Para vapor mitad abierto, crecen más las amplitudes del rango 10-30 kHz, que las del rango 50-70 kHz, aunque las amplitudes de este rango también aumentan.

A continuación se describen los espectros de los experimentos realizados con vapor cerrado y operación normal de trabajo con ambos índices de calidad medidos, junto con las mediciones del entorno.

Para 2 bar, las mediciones de vapor cerrado 480 Solex, y las de operación normal con ambos índices de calidad medidos, presentan espectros de frecuencias prácticamente iguales. En ellos aparecen amplitudes relativamente elevadas a frecuencias muy bajas, por debajo de los 5 kHz. Se dice relativamente elevadas, porque en comparación con las de los experimentos antes descritos, estas amplitudes son inapreciables, pero dentro de estos espectros son las más altas. También aparecen amplitudes de una magnitud similar, a unos 30 kHz. El espectro de vapor cerrado 50 Solex presenta amplitudes mayores que el resto de experimentos a lo largo de todo el espectro. En él vuelven a aparecer amplitudes relativamente elevadas en el rango 10-30 kHz, pero luego aparecen amplitudes elevadas también, esta vez, entre 70 y 80 kHz.

Para 5 bar, las mediciones de vapor cerrado 50 Solex siguen teniendo un espectro de frecuencias con amplitudes superiores a las del resto de experimentos, aumentando en él las amplitudes entre 70 y 80 kHz mucho más que las del rango 10-30 kHz. El espectro de vapor cerrado 480 Solex, sigue teniendo únicamente amplitudes elevadas a unos 30 kHz. En los espectros de los experimentos en operación normal de trabajo, tanto para 50 como 480 Solex, aumentan las amplitudes entre 60 y 80 kHz, siendo las amplitudes en el rango 10-30 kHz similares a las de 2 bar de presión.

Para 7 bar, el espectro de vapor cerrado 50 Solex sigue teniendo amplitudes muy superiores a las del resto de experimentos. Se observa en este espectro que aumentan las amplitudes en el rango 10-30 kHz, igualándose en magnitud a las del rango 70-80 kHz, que no se ven modificadas por el aumento de la presión. También aparecen amplitudes más elevadas que éstas a partir de los 90 kHz. El espectro de vapor cerrado 480 Solex sigue sin variar con la presión, apareciendo las mismas amplitudes que a 5 bar, en las frecuencias entorno a 30 kHz. Los espectros de operación normal, en ambos casos de índices de calidad, se aprecia incomprensiblemente una disminución de las amplitudes, tanto de las frecuencias entorno a 30 kHz, como de las que se encuentran en el rango 60-80 kHz, con respecto a la magnitud de las amplitudes que aparecen a 5 bar de presión, si bien siguen destacándose las amplitudes de ambos rangos, respecto a las amplitudes del resto de frecuencias. También en estos experimentos aparecen amplitudes altas por encima de los 90 kHz, como ocurre con vapor cerrado 50 Solex.

Para 10 bar, el espectro de vapor cerrado 50 Solex vuelve a tener amplitudes mucho mayores que el resto de experimentos, a lo largo de todo el espectro. Las amplitudes, tanto del rango 10-30 kHz, como del rango 70-80 kHz, aumentan respecto a las obtenidas a 7 bar, siendo este aumento mayor en el primero de los rangos, que ahora incluso son mucho mayores que las del rango de frecuencias altas, al contrario que ocurría a 2 bar de presión. En el espectro de vapor cerrado 480 Solex vuelven a destacarse las amplitudes a 30 kHz, que aumentan un poco respecto a 7 bar. En el espectro de operación normal 50 Solex, dejan de apreciarse las amplitudes a 30 kHz, que sí que se aprecian en el espectro de

operación normal 480 Solex, aunque éstas se desplazan hacia los 25 kHz. En ambos experimentos, aumentan las amplitudes del rango 70-80 kHz, y a partir de 90 kHz.

Como las mediciones del entorno de trabajo no se realizan para ninguna de las presiones, porque éstas se hicieron con el banco de pruebas sin funcionar, en todas las gráficas que se presentan para las distintas presiones, de los experimentos con la trampa de vapor cerrada y los de operación normal de trabajo, se incluye el mismo espectro de frecuencias correspondiente al entorno, para comparar la magnitud de las amplitudes que aparecen en este espectro, con las del resto de los espectros. Se puede ver que en él aparecen amplitudes mayores por debajo de los 5 kHz, igual que en todos los demás experimentos, y aparecen también amplitudes, que se destacan del resto, entre 70 y 80 kHz. Pese a todo, la magnitud de las amplitudes, que se obtienen de las mediciones del entorno, es inferior a las del resto de experimentos.

Como el análisis de los espectros de los diferentes experimentos, obtenidos con el método STFT, presenta resultados que no esclarecen la presencia de frecuencias características del condensado o del vapor, ni de los tipos de índices de calidad, ni de los tipos de apertura de la válvula giratoria, debido a que aparecen incongruencias en el aumento de las amplitudes, de los rangos de frecuencias en que éstas se destacan por su magnitud, para las distintas presiones y para distintos experimentos, se pensó en analizar las señales en tiempo, buscando intervalos dentro de la señal, a lo largo de los 2 segundos que dura cada medición, que presentasen características diferentes, en cuanto a amplitud de las oscilaciones, o a frecuencia de las mismas. Para realizar este análisis se comenzó tomando una de las mediciones hechas con operación normal de trabajo y 50 Solex, en concreto la primera de ellas. A continuación se explica el análisis realizado, que se subdivide en 4 análisis de diferentes intervalos.

### **Análisis 1:**

Se toma un intervalo que es único en toda la medición (ver Figura 23), o por lo menos no ocurre con la misma duración de tiempo que otros intervalos, porque sí que se detectan algunas oscilaciones parecidas, pero de duración mucho más corta. Las coordenadas del comienzo y fin de dicho intervalo son:

$$P_1= 314941, x_1= 1.5747; P_2=321752, x_2=1.608755.$$

En la Figura 24 se ve cómo varían las oscilaciones, siendo éstas mayores en la zona verde. A continuación se procede a analizar este intervalo mediante la transformada de Fourier (FFT), que es lo mismo que hacer un análisis STFT, buscando los intervalos de la medición de forma manual.

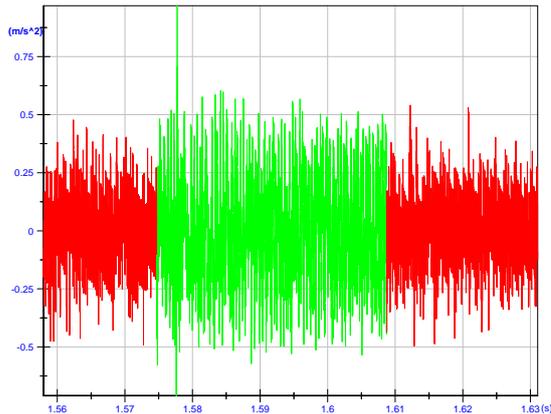


Figura 23 Intervalo diferente del resto de la medición.

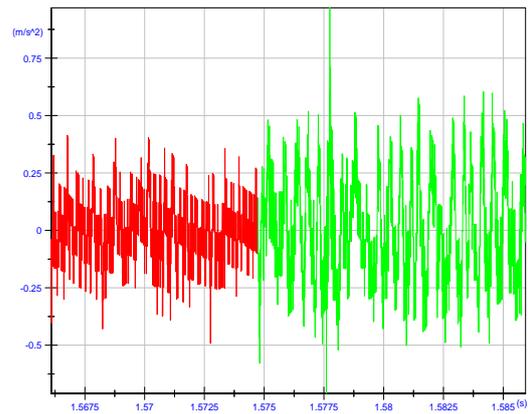


Figura 24 Variación de las oscilaciones.

En la Figura 25 se observa la FFT del intervalo escogido, en la que destacan, además de las frecuencias bajas (2300 Hz), 3 picos a 30800 Hz, 56400 Hz y 75100 Hz. Sin embargo, en la Figura 26 se presenta el espectro para un intervalo de menor longitud, comprendido entre el total del intervalo de 6811 datos y compuesto por 43 datos, que se realizó para poder comparar el espectro con los de los intervalos que se analizan posteriormente, donde los picos señalados a frecuencias altas no aumentan tanto como el resto de picos.

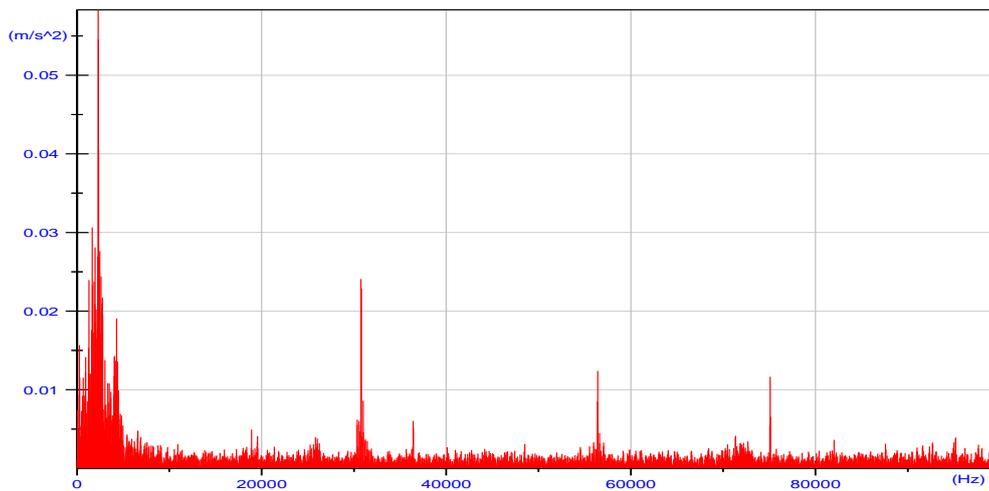


Figura 25 Análisis FFT con 6811 datos.

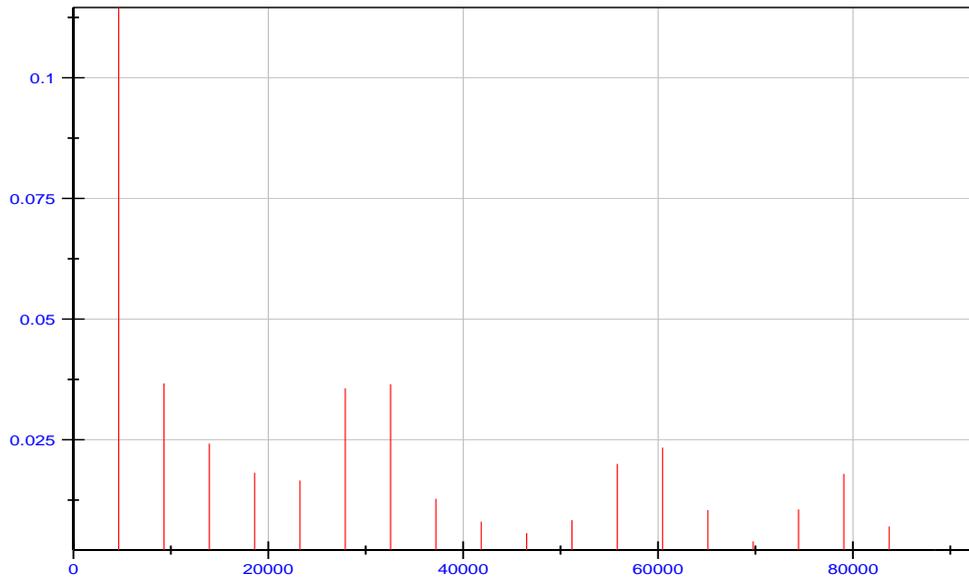


Figura 26 Análisis FFT con 43 datos.

### Análisis 2:

Ahora se analizan una serie de intervalos de corta duración, que aparecen cada cierto tiempo y presentan una forma similar. En la Tabla 1, se enumeran los intervalos escogidos, con sus datos de comienzo y final, y con la cantidad de datos que contienen. Se ha escogido una parte de igual longitud de cada uno de ellos para poderlos comparar mejor. En la Figura 27 se puede ver la apariencia de dichos intervalos.

En la Figura 28, se representan las FFTs de los distintos intervalos, que presentan todas picos de amplitud a 4, 14 y 31 kHz. En torno a 60 kHz, aunque no tan elevados y no en todas las señales, también aparecen picos de amplitud.

Análisis 2						
Intervalo	P1	x1(s)	P2	x2(s)	$\Delta P$	$\Delta x(s)$
1	15398	0.076985	15761	0.0788	363	0.001815
2	25476	0.127375	25839	0.12919	363	0.001815
3	53519	0.26759	53882	0.269405	363	0.001815
4	80747	0.40373	81110	0.405545	363	0.001815
5	134843	0.67421	135206	0.676025	363	0.001815
6	172389	0.86194	172752	0.863755	363	0.001815
7	213249	1.06624	213612	1.068055	363	0.001815
8	240004	1.200015	240367	1.20183	363	0.001815
9	253813	1.26906	254176	1.270875	363	0.001815

Tabla 1 Intervalos del Análisis 2.

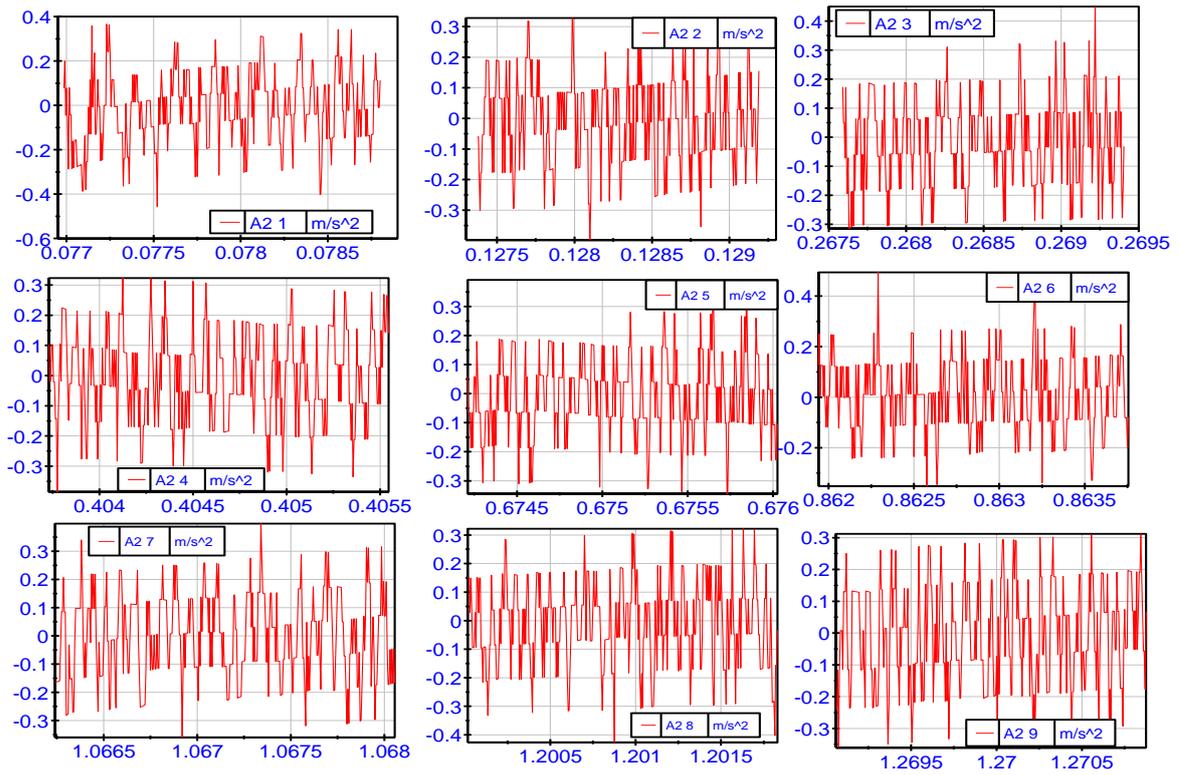


Figura 27 Intervalos de tiempo del Análisis 2.

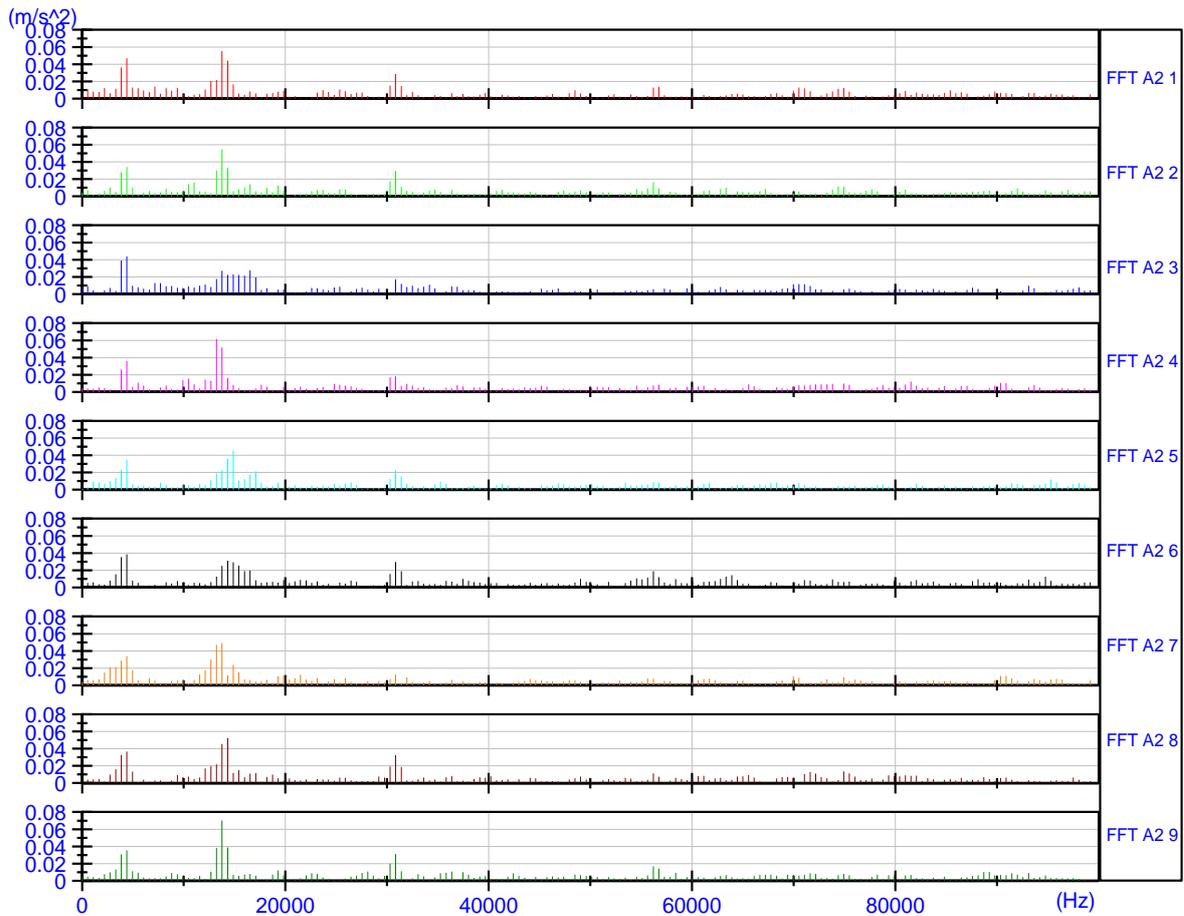


Figura 28 FFTs del Análisis 2.

### Análisis 3:

Se analizan otra serie de intervalos que también se dan en ocasiones y que tienen características similares. En la Tabla 2, se recogen los datos de inicio y fin de cada uno de los intervalos.

Análisis 3						
Intervalo	P1	x1	P2	x2	$\Delta P$	$\Delta x$
1	16734	0.083665	16777	0.08388	43	0.000215
2	16824	0.084115	16867	0.08433	43	0.000215
3	16936	0.084675	16979	0.08489	43	0.000215
4	17143	0.08571	17186	0.085925	43	0.000215
5	17732	0.088655	17775	0.08887	43	0.000215
6	17922	0.089605	17965	0.08982	43	0.000215
7	23207	0.11603	23250	0.116245	43	0.000215
8	23401	0.117	23444	0.117215	43	0.000215
9	50537	0.25268	50580	0.252895	43	0.000215

Tabla 2 Intervalos del Análisis 3.

En la Figura 29, se representan las señales de los intervalos escogidos y, en la Figura 30, las FFTs de cada uno de ellos. Debido a que los intervalos son muy cortos, en las FFTs aparecen muy pocos picos. Debido a esto, los picos son mayores que en los intervalos anteriores, ya que cada pico de amplitud resulta de una composición de los picos próximos, que deberían salir en el caso de que los intervalos fuesen de igual longitud que los anteriores. Por tanto, pese a que la comparación con los intervalos anteriores no es muy fiable, aparecen picos en rangos de frecuencias similares, es decir, en torno a 20 kHz y entre 50 y 60 kHz, si bien en este último rango, las amplitudes no se diferencian tanto de las de 20 kHz para algunos de los intervalos, mientras que en el Análisis 2 había bastante diferencia de amplitudes.

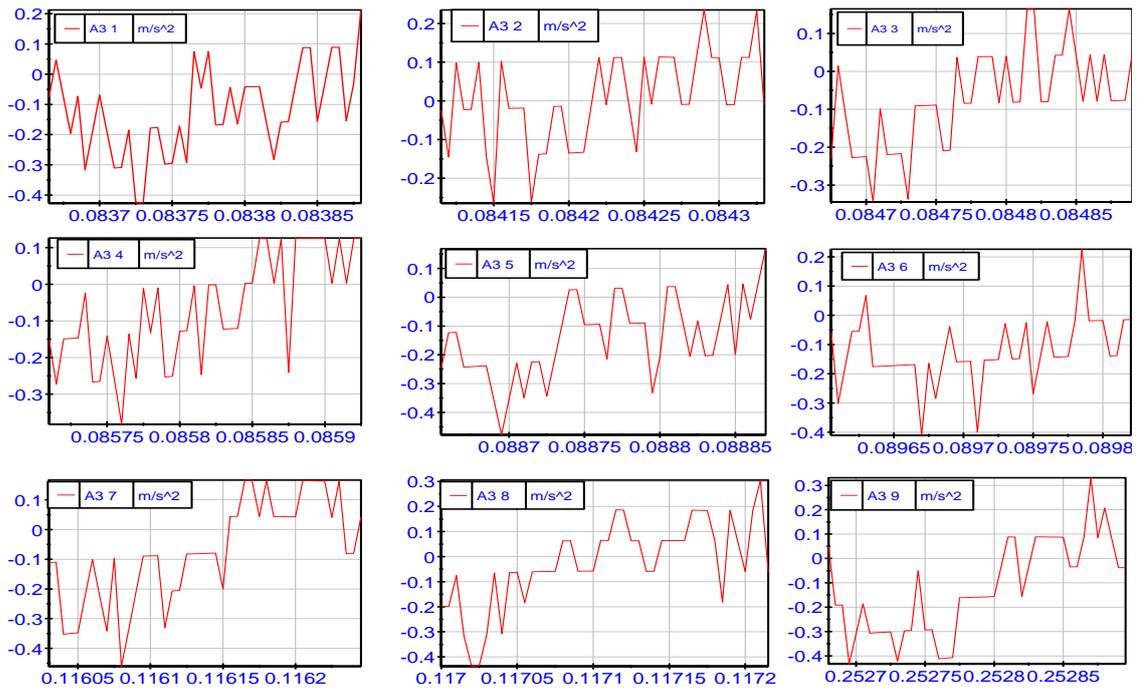


Figura 29 Intervalos de tiempo del Análisis 3.

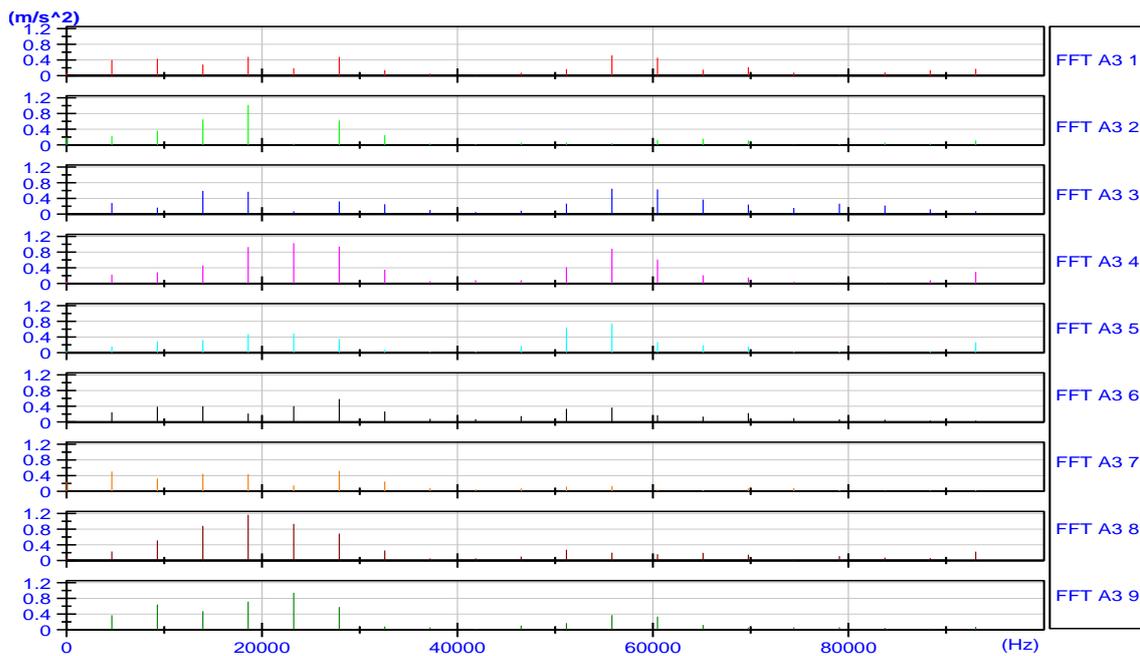


Figura 30 FFTs del Análisis 3.

#### Análisis 4:

En este apartado, se analizan una serie de intervalos de mayor duración que los anteriores (ver Figura 31) y que, por tanto, parecen ser indicativos del flujo del medio que más circula, esto es el vapor, ya que las condiciones de medición de lo que se denomina operación normal de trabajo supone que está circulando vapor a través del espacio que queda entre la válvula giratoria y el tubo dentro del cual gira, y por el que fluye el condensado, ya que la trampa permanece cerrada durante la medición, en una posición en que está a punto de abrirse.

En la Figura 32 se representan las FFTs de dichos intervalos. En ellas, aparecen concentraciones de picos en torno a 8 kHz, en el rango de 15 a 30 kHz, entre 50 y 60 kHz, y entre 90 y 100 kHz.

Las amplitudes de los picos varían un poco de unos intervalos a otros, siendo este efecto más acusado en el rango de 50-60 kHz. Estas variaciones de amplitudes pueden deberse a fluctuaciones de la presión.

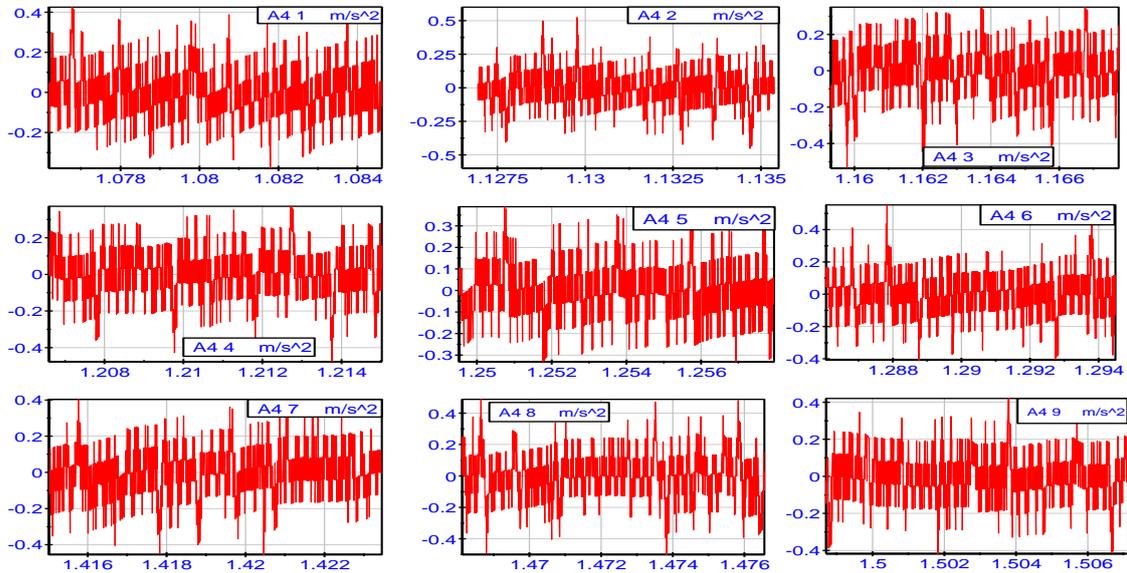


Figura 31 Intervalos de tiempo del Análisis 4.

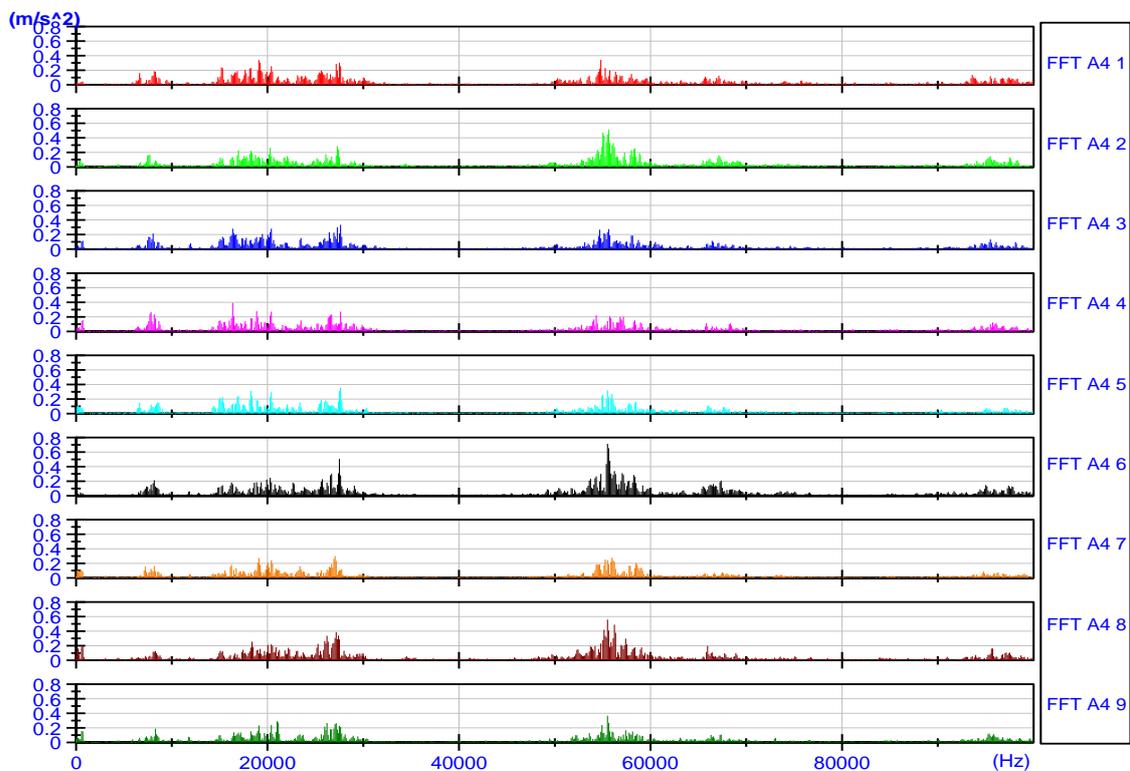


Figura 32 FFTs Análisis 4.

Tras estos análisis, se puede ver que resulta muy difícil establecer qué intervalos se deben escoger para encontrar aquellos que puedan pertenecer al flujo de vapor o de condensado. Además, se ha podido comprobar, que el tamaño del intervalo analizado en frecuencias afecta a la disposición de los picos de amplitud, a lo largo del espectro. Por ello, se pensó que el método de análisis STFT no es válido para analizar las mediciones realizadas.

Como el tiempo disponible para la realización de este trabajo estaba llegando a su fin, se decidió cambiar los objetivos que se tenía previsto conseguir, y se analizaron únicamente los experimentos con condensado, vapor total abierto y vapor mitad abierto, para intentar alcanzar, por lo menos el objetivo de poder diferenciar entre los estados vapor y condensado, ya que con la falta de tiempo y la dificultad que conlleva el análisis del resto de experimentos, que hace muy extenso este trabajo, se hace imposible intentar cumplir todos los objetivos. Además, ya se ha podido comprobar que, aunque los experimentos con la trampa de vapor cerrada, y los experimentos con operación normal de trabajo, presentan amplitudes algo superiores a las del entorno, éstas tienen magnitudes comparables, por lo que se cree que estos experimentos se ven mayormente influidos por el entorno, que los experimentos que a continuación se analizan.

Debido a que el método STFT no dio los resultados esperados, y se ha demostrado que no es muy fiable, se decide analizar las señales por el método FFT, de tal forma que la resolución obtenida en los espectros es la misma que como se realizaron las mediciones, es decir, de 0.5 Hz. En el Anexo 3, se presentan las FFT de los experimentos realizados con condensado, vapor total abierto y vapor mitad abierto, cuyas amplitudes ya se ha comentado que se distinguen con bastante claridad respecto a lo que puede ser ruido del entorno de trabajo. Se debe tener en cuenta que estos espectros que se analizan son el resultado de una media entre los espectros de varias mediciones individuales, ya que éstas presentan diferencias entre sí y, por tanto, resultaría complicadísimo comparar los distintos estados, si ya mediciones que deberían ser iguales resultan presentar variaciones. En la primera gráfica del Anexo 3 se representan los espectros de los distintos experimentos para todas las presiones, mostrando estos espectros de 0 a 100 kHz. Las gráficas siguientes presentan los mismos espectros, pero divididos en intervalos de 5 kHz, mostrando un intervalo cada gráfica, de los que se hace una descripción general del intervalo, para pasar después a describir lo que sucede entre los distintos espectros, cuando dentro de dichos intervalos de 5 kHz, alguna de las frecuencias presenta alguna característica particular, que merezca especial atención. Estas frecuencias, se señalan en la gráfica mediante una numeración, que se corresponde con la seguida en la descripción que se detalla a continuación.

- 0-5 kHz: El espectro de condensado a 5 bar no tiene el mismo aspecto que para el resto de presiones, puesto que a lo largo de todo este intervalo, las frecuencias que, para otras presiones, apenas se distinguen en comparación con los picos de amplitud, que aparecen a ciertas frecuencias, a 5 bar son bastante mayores. Lo cierto es que las mediciones de condensado a 5 bar, y por lo menos en este intervalo, se parecen más a las mediciones de vapor, tanto total como mitad apertura. Así como las mediciones de vapor total abierto para todas las presiones presentan bastante similitud, entre las mediciones de vapor mitad abierto, la de 10 bar se diferencia de las del resto de presiones, siendo ésta más parecida a las mediciones de vapor total abierto.
- 1. 500 Hz: A esta frecuencia, y para los 3 casos, aparecen amplitudes que destacan sobre las amplitudes de las frecuencias cercanas. Mientras que para las distintas

presiones de condensado, estas amplitudes no aparecen de la misma forma, para los dos casos de vapor, éstas presentan bastante similitud, a pesar de que para vapor total abierto y 10 bar, ésta se encuentra camuflada por lo que parece ser ruido, y para vapor mitad abierto y 7 bar no se presentan dichos picos de amplitud. Por tanto, alrededor de esta frecuencia no existen indicios de que se encuentre una frecuencia característica de alguno de los estados o de la apertura de la válvula.

2. 1600 Hz: para las mediciones de condensado a 7 y 10 bar aparecen ciertos cúmulos de amplitudes mayores que las de las frecuencias próximas, pero para las otras dos presiones no se destaca ninguna amplitud. Para las mediciones de vapor no se presenta ninguna amplitud destacable en ninguna de las aperturas, salvo para vapor mitad abierto 10 bar.
3. 3300 Hz: En las mediciones de vapor total abierto, a cualquier presión, se produce un aumento de las amplitudes que, si bien a menor presión el aumento es menos significativo que a mayores presiones, no se puede certificar que exista una proporcionalidad entre la magnitud de las amplitudes y la presión. Además, para cada presión aparecen los máximos un poco desplazados en frecuencias, aunque este desplazamiento es de apenas unos hercios, por lo que no se puede tampoco asegurar que este desplazamiento sea indicativo de la presión. En los espectros de vapor mitad abierto aparece este aumento de las amplitudes sólo a 10 bar y los espectros de condensado no aparece para ninguna de las presiones. Puesto que este aumento de las amplitudes no aparece en ambas circunstancias del flujo de vapor, no se puede concluir que vapor y condensado se puedan caracterizar a través de esta frecuencia.
4. 4500 Hz: Tanto en las mediciones de condensado como en las de vapor aparecen aumentos en las amplitudes. En ninguno de los casos son estos aumentos de las amplitudes proporcionales a la presión. Para condensado a 2 bar apenas se produce este fenómeno. Entre las mediciones de vapor total abierto no se produce el aumento de las amplitudes de la misma forma a 2 bar, donde sólo se presenta un cúmulo de amplitudes mayores, que a 5 bar, que aparece un pequeño cúmulo de amplitudes mayores al lado del que es claramente mayor, o que a 7 y 10 bar, en los que aparecen dos claros cúmulos de amplitudes de mayor valor. Para vapor mitad abierto los aumentos de las amplitudes se dan en menor medida que para vapor total abierto, salvo para 10 bar, que de nuevo ofrece características similares a las mediciones de apertura máxima.
- 5-10 kHz: En este intervalo, como en el anterior, condensado a 5 bar y vapor mitad abierto a 10 bar presentan espectros claramente diferentes respecto a los correspondientes al resto de presiones de las respectivas circunstancias. Los espectros de condensado presentan aumentos y disminuciones de las amplitudes de forma progresiva a lo largo de los espectros, mientras que en los espectros de vapor se presentan cúmulos aislados de picos de amplitudes, aunque ninguno de ellos presenta proporcionalidad con la presión, y para las mediciones de vapor mitad abierto se presenta sólo a 10 bar.
5. 5500 Hz: Para vapor total abierto se presentan en todas las presiones picos de amplitud, pero para vapor mitad apertura no se producen de manera tan clara.

En las mediciones con condensado no hay picos de amplitud en ninguna de las presiones.

6. 6500 Hz: Para vapor total abierto aparecen picos que destacan bastante del resto, a diferencia de lo que ocurre en condensado, aunque no se aprecia proporcionalidad con la presión y para vapor mitad abierto sólo ocurre, otra vez, para 10 bar. El espectro de condensado a 2 bar presenta amplitudes claramente menores que con respecto a las otras presiones, en las que las amplitudes poseen similar magnitud.
7. 7300-7400 Hz: Ocurre algo parecido a lo que se presenta a 6500 Hz, sólo que esta vez los picos para vapor mitad abierto a 10 bar no son tan claros como para vapor total abierto, pero sí que se diferencia demasiado de lo que ocurre a otras presiones.
8. 7700-8100 Hz: Nuevamente se presenta un cúmulo de amplitudes claramente diferenciado de las que se encuentran en las frecuencias próximas para todas las mediciones con vapor, salvo para 2 y 7 bar de vapor mitad abierto.
9. 9400-9100 Hz: Otra vez aparecen picos en vapor total abierto en todas las presiones, sin proporcionalidad. Sin embargo, tanto en condensado como en vapor mitad abierto no aparecen picos.
- 10-15 kHz: En este intervalo de frecuencias, los espectros de condensado son bastante diferentes entre sí, pero las diferencias existentes no tienen una forma tal, que se pueda establecer una relación entre ellas y la presión. Los espectros de vapor total abierto sí son bastante similares entre sí, salvo para 2 bar. Entre los espectros de vapor mitad abierto tampoco se distingue una relación entre las presiones a través de las amplitudes de los picos, que tampoco se dan en las mismas frecuencias. Sólo vapor mitad abierto a 10 bar presenta similitudes con los espectros de vapor total abierto.
10. 10,5-10,7 kHz: Igual que ocurría en el punto 6, y en otros, a esta frecuencia aparece un pico de amplitud destacable respecto de las frecuencias más próximas, que no se da en los espectros de condensado, y que para vapor mitad abierto sólo se da a 10 bar, porque a otras presiones los aumentos de las amplitudes a esta frecuencia son insignificantes.
11. 11,5-12,5 kHz: Aquí se ha escogido un intervalo de 1 kHz, en el que para vapor total abierto, salvo para 2 bar, en el resto de presiones aparecen 3 pequeños aumentos de las amplitudes. Para 2 bar sólo se da un cúmulo de amplitudes mayores. El espectro de vapor mitad abierto a 10 bar también presenta los 3 aumentos de las amplitudes y, a 7 bar, se da este fenómeno, pero con amplitudes mucho más pequeñas. Como estos aumentos de las amplitudes no se dan en todos los casos del flujo de vapor, no se puede caracterizar este estado a través de estas frecuencias.
12. 14-15 kHz: Aquí también se ha escogido un intervalo de frecuencias de 1 kHz, porque para vapor total abierto aparecen 2 aumentos de las amplitudes en forma de picos, para todas las presiones, excepto 2 bar, donde son 3 los aumentos de las amplitudes, aunque de forma menos acusada. Para condensado no aparece

ningún pico o cúmulo de frecuencias de mayores amplitudes que el resto, sino que existe un aumento progresivo de éstas, que para 7 y 10 bar comienza en 14 kHz, para 2 bar es casi inapreciable, y para 5 bar comienza a partir de los 14.5 kHz. Las mediciones con vapor mitad abierto poseen aumentos considerables de las amplitudes, pero que no guardan ninguna relación entre presiones. Sólo la medición de 10 bar presenta los mismos 2 picos que aparecen en el espectro de vapor total abierto.

- 15-20 kHz: En este intervalo, los espectros de condensado siguen siendo bastante distintos entre sí y no se puede establecer una relación entre las presiones. De entre los espectros de vapor total abierto, exceptuando la medición a 2 bar, el resto de presiones son muy similares. Si se observan las gráficas en las que se aplica autoescala, puede verse que hay bastante similitud entre las dos aperturas de vapor. Quizás en este intervalo se podrían presentar las frecuencias características del vapor, pero cuando se comparan ambas aperturas con la misma escala, las amplitudes para vapor mitad abierto son inapreciables respecto a las de vapor total abierto. Si estas frecuencias son características del vapor, y las amplitudes de las mismas dependen de la apertura, en el caso de que se trate de una posición cerrada, las amplitudes serán tan insignificantes que se enmascaran con el ruido del ambiente de trabajo.
- 13. 15,5-15,7 kHz: Los espectros de condensado no presentan ningún pico de amplitud destacable, como aparecen en vapor total abierto. Salvo para vapor mitad abierto a 10 bar, cuyo pico es del mismo orden de magnitud que los que aparecen para la total apertura, el resto de presiones tienen picos unas 10 veces menores que vapor total abierto. La medición de 2 bar para la máxima apertura no presenta el mismo pico de amplitudes que el resto de presiones.
- 14. 16,2-16,4 kHz: Lo mismo que se dice en el punto 13 se puede decir para esta frecuencia. En los espectros de frecuencia de condensado no se destaca ningún pico de amplitud, como ocurre en las dos situaciones en que el flujo es de vapor. Las mediciones de 2 bar de ambas aperturas difieren bastante del resto de presiones.
- 15. 18,7-19,2 kHz: En estas frecuencias también se producen aumentos de las amplitudes para todas las mediciones con vapor, mientras que en las de condensado no. Sin embargo, en comparación con vapor total abierto, para vapor mitad abierto estos aumentos no se aprecian apenas en ninguna de las presiones, salvo 10 bar, que sigue siendo más similar a las mediciones con apertura máxima.
- 20-25 kHz: En este intervalo, las mediciones de condensado siguen sin tener picos de amplitud destacables. Hay mucha diferencia entre las presiones de 2 y 5 bar con las de 7 y 10 bar, siendo en estas últimas las amplitudes mucho mayores, aunque sin destacarse ninguna de ellas. En las mediciones con vapor se producen en ambas aperturas picos de amplitud en varias frecuencias, pero sólo en las frecuencias que se mencionan en el punto 16 se dan estos picos en una forma más similar entre todas las mediciones de vapor. Las mediciones de vapor mitad abierto siguen teniendo amplitudes en general menores que vapor total abierto, a excepción de la de 10 bar.
- 16. 21,2-21,5 kHz: Tanto en vapor total abierto como en vapor mitad abierto aparecen picos de amplitud, aunque para este último en menor medida para todas las presiones, salvo 10 bar. Cabe destacar que en ambas aperturas, y para

2 bar, el pico se produce bastante desplazado hacia frecuencias mayores, si bien este desplazamiento es de apenas unos hercios.

- 25-30 kHz: A lo largo de estas frecuencias sigue ocurriendo lo mismo que en el intervalo anterior. Las mediciones de condensado no presentan picos importantes de amplitud, como ocurre en las mediciones con vapor. Las dos situaciones de apertura con vapor presentan espectros con varios picos de amplitud a lo largo del intervalo, pero de nuevo sólo aparece un pico en una forma similar en las frecuencias que se nombran en el punto 17. El resto de picos, aunque no tienen la misma forma entre los distintos casos, tampoco parecen indicar que se pueda diferenciar, a partir de ellos, los dos tipos de apertura.
  17. 26-27 kHz: En este intervalo se producen dos aumentos de las amplitudes, que en vapor total abierto son más claros que en vapor mitad abierto. Igual que en los picos descritos en el punto 16, en estas frecuencias también se desplazan un poco hacia frecuencias más altas para presiones bajas.
- 30-35 kHz: A lo largo de este intervalo, todas las frecuencias de las mediciones de condensado tienen valores de amplitud similares, aunque parece que haya un aumento con cierta progresividad entre las presiones, siendo éstas mayores a presiones más altas. En las mediciones con vapor ocurre algo parecido. Sólo en las frecuencias que se analizan en el punto 18 merecen especial atención.
  18. 30,4-31 kHz: En estas frecuencias aparecen 3 picos destacables en todas las presiones de vapor mitad abierto, salvo para 10 bar. En las mediciones de vapor total abierto sólo aparece en estas frecuencias un pico a 2 bar. En las mediciones de condensado sólo aparecen los 3 picos sólo a 5 bar. En los casos en que no se aprecian estos picos, podría ser que éstos estén camuflados por las amplitudes de las frecuencias próximas.
- 35-40 kHz: En este intervalo de frecuencias ocurre lo mismo que en el anterior. Las amplitudes son similares a lo largo de los espectros de cada presión, aunque en general los espectros son de mayor tamaño conforme aumenta la presión. Sólo las frecuencias que se estudian en el punto 19 presentan picos destacables.
  19. 36,3-36,4 kHz: En todas las mediciones de vapor mitad abierto aparece un pico de amplitud, que en condensado aparece sólo a 5 bar, y que en vapor total abierto aparece sólo en 2 y 5 bar.
- 40-100 kHz: A pesar de que cuando se observan los espectros enteros de 0 a 100 kHz, aparecen en todos, y a partir de 50 kHz, amplitudes que destacan sobre el resto, y que son a veces incluso del mismo orden que las amplitudes que aparecen entre 10 y 30 kHz, cuando los espectros se “estiran” y se analizan más detalladamente en intervalos de 5 kHz, no se observan picos destacables ya a partir de los 40 kHz. Es decir, aunque las amplitudes aumenten, éstas lo hacen de forma progresiva y no aparecen picos destacables que indiquen una posible relación entre las presiones, entre los estados vapor y condensado, o entre las aperturas de la trampa de vapor.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

Entre los análisis realizados de las señales tanto en el dominio del tiempo, como en el de las frecuencias, no se ha podido desarrollar un método que permita diferenciar las mediciones realizadas de los distintos experimentos.

Entre los análisis realizados de las señales en el dominio del tiempo, el método de las medias cuadráticas no aporta soluciones, porque los valores obtenidos presentan incongruencias entre niveles diferentes de presión, porque no siempre son estos valores mayores cuando la presión es mayor, como se esperaba. También aparecen incongruencias entre los valores obtenidos para los distintos índices de calidad, que también se esperaba que fueran superiores para el de 50 Solex, por ser mayor el flujo de vapor. Entre las diferentes aperturas, si bien siempre se tienen valores mayores cuando la apertura es mayor, y en todas las aperturas se produce un aumento de los valores, cuando la presión aumenta, este aumento no se produce con la misma proporción en las diferentes aperturas.

El método de los histogramas de las señales en tiempo tampoco ha dado resultados satisfactorios, porque no se aprecian diferencias en la cantidad de datos, con un determinado valor de amplitud, entre señales que tienen un mismo valor de media cuadrática.

De los análisis de las señales en el dominio de las frecuencias, se ha comprobado que el método de STFT no se puede llevar a cabo en las mediciones realizadas, porque el análisis de las señales en intervalos de duración inferior a la duración de las mediciones supone una modificación de los valores de las amplitudes de los espectros de frecuencias.

En el análisis de por el método FFT se ha comprobado que a partir de los 40 kHz no se pueden establecer diferencias entre los estados, las presiones o las aperturas. Por este motivo, lo conveniente sería que futuras mediciones se hiciesen despreciando las frecuencias altas.

En general, existen incongruencias entre las mediciones a diferentes presiones de un mismo caso (condensado, vapor total abierto o vapor mitad abierto), que impiden establecer una o varias frecuencias características de dicho caso.

Sí que se presentan en ocasiones mayor número de picos, que se concentran en intervalos pequeños de frecuencias, en el caso en que el fluido es vapor, por lo que podría ser interesante estudiar la forma de reconocer informáticamente la presencia de esos picos, para poder distinguir vapor de condensado.

Entre las distintas presiones de un mismo caso, no suelen presentarse evidencias de que la presión influya de forma determinante en la magnitud de las amplitudes de los espectros, o que éstas se desplacen considerablemente a lo largo del espectro en función de la presión. Sólo se han dado 2 casos en que los desplazamientos eran tan pequeños, que no se puede asegurar que a partir de esas frecuencias se pueda determinar la presión. No se debe olvidar que se están analizando medias de espectros, ya que los espectros de mediciones individuales presentan también diferencias entre sí.

En [1] se afirma que el flujo de condensado se caracteriza por una frecuencia de 18 kHz, pero tras este trabajo no se puede corroborar el resultado obtenido, porque se ha

comprobado que, en todo el rango de frecuencias entre 10 y 30 kHz, aparecen varios picos, cuyo tamaño no varía entre las distintas presiones de forma progresiva. Además, en los experimentos con vapor también se destacan las amplitudes en este rango, por lo que no se puede decir que entre estas frecuencias se encuentren las que son características del flujo de vapor o de condensado.

Se cree que los flujos de vapor o condensado pueden no estar caracterizados por una única frecuencia, que es lo que se ha buscado en este trabajo, sino que podrían estar caracterizados por varias frecuencias, o incluso por el espectro entero de frecuencias. Los espectros de vapor presentan un mayor número de picos en el intervalo 10-30 kHz que los espectros de condensado, por lo que se podría quizás caracterizar el flujo de ambos medios por este fenómeno.

Se debería conocer la temperatura a la que se encuentra el acelerómetro en las distintas mediciones, que no se pudo medir porque no se dispuso de medios para ello, así como para medir la temperatura de los flujos de vapor y condensado a su salida, para poder hacer un estudio termodinámico. El banco de pruebas debería sufrir mejoras, en cuanto a que la caldera pueda mantener la presión de la instalación, en los experimentos realizados con condensado, y con vapor cuando se tiene apertura máxima o mitad apertura. Los experimentos realizados con operación normal de trabajo deberían hacerse con mayor flujo de condensado, de forma que la boya tenga mayores oscilaciones, ya que en las mediciones que se hicieron no se apreciaba apenas que saliese condensado por la trampa de vapor. El tiempo de medición debería ser menor que el utilizado en los experimentos de este trabajo, porque podría ser la causa de que algunas de las mediciones no se almacenasen correctamente en el computador, debido a que éste funcionaba en ocasiones lentamente, e incluso, en ocasiones, se bloqueaba, teniéndolo que abrir de nuevo. También podría deberse al propio computador del laboratorio.

## Bibliografía

- [1] *Determinación de las frecuencias de vibración del medio en trampas de vapor con fuga*. Ayuda García, D., Proyecto fin de carrera HS Bremen, 2009.
- [2] <http://www.rifox.de>
- [3] *Analyse und Optimierung der Reproduzierbarkeit von Dichtheitsmesswerten im Kondensatreglerbau für abgetauchte Armaturen*. Ahlering, Jens, Diplomarbeit HS Bremen, 2006.
- [4] <http://www.bitherm.com>
- [5] *Mean convergence behavioural analysis of IIR adaptive filters*. R.V. Raja Kumara, C.B. Rama Raob. s.l. : Elsevier, 1997.
- [6] *Introducción a la Estadística Económica y Empresarial. Teoría y Práctica*. Fco. Javier Martín-Pliego López. Editorial Thomson, 2007 (Madrid).
- [7] *Efecto del inventariado en la obtención del espectro discreto de una señal*. <http://www.Monografías.com>
- [8] *Non-intrusive monitoring of bubbles in a gas-solid fluidized bed using vibration signature analysis*. Abbasi, M., Sotudeh-Gharebagh, R., Mostoufi, N., Mahjoob, M.J., Powder Technology 196 (2009), p. 278-285.
- [9] *Señales y sistemas de tiempo discreto*. Bertrán Albertí, Eduard. Edicions UPC, 2003.

## **Anexos**

1. Gráficas de las medias cuadráticas
2. Espectros de frecuencias según el método STFT
3. Espectros de frecuencias según el método FFT