

# Universidad Politécnica de Cartagena

## Grado en ingeniería civil

---

### Análisis de las vibraciones de un modelo puente mediante entropía espectral y aproximada



Trabajo fin de grado

2017

Alumno: Jeimmy Zuluaga Osorio

Tutor: Dr. Enrique castro Rodríguez

# Índice

---

## **1. Introducción**

- 1.1. Introducción
- 1.2. Objetivos

## **2. Conceptos**

- 2.1. Detección de daño
- 2.2. Métodos de vibraciones para la detección de daños
  - A. Métodos para el análisis modal y vibraciones
  - B. Método de las funciones de respuesta en frecuencia (FRF)
  - C. Métodos de análisis de sensibilidad
  - D. Métodos por simulación
  - E. Métodos de análisis por *wavelets*
- 2.3. Entropía.
- 2.4. Entropía espectral.
- 2.5. Entropía aproximada.

## **3. Evaluación de daño**

- 3.1. Evaluación de daño en el modelo puente
  - 3.1.1 Procedimientos para la obtención de daño.
- 3.2. Análisis de daño
  - 3.2.1 Análisis de daño
  - 3.2.2 Análisis de casos
- 3.3. Conclusión

## **4. Anexo**

## **5. Bibliografía**

# Capítulo 1

---

## 1.1 Introducción

En la actualidad España tiene una amplia red de infraestructuras, existiendo cada vez menos grandes obras públicas por hacer y más por conservar, con lo cual la importancia de la detección de daño producida en materiales y estructuras es un aspecto de enorme interés industrial ya que permite disminuir costes de mantenimiento.

Algunas de estas infraestructuras como por ejemplo puentes, tienen diseño suficientemente rígido para soportar sus cargas de servicio, pero con un compartimiento elástico, dichos puentes hay que estarlos inspeccionando para comprobar que su estado sea el adecuado y no sufra daños.

El deterioro causado por los agentes naturales es común en todas las obras de ingeniería civil, fenómenos como lluvias, seísmos, colisiones o impactos provocados producen situaciones de emergencia en los que las infraestructuras pueden sufrir considerables daños.

Entre los daños y patologías causados por agentes externos las más habituales que suelen presentar los diferentes elementos que conforman los puentes son cimentaciones, especialmente en aquellas pilas y elementos situados en el interior de cauce; aparatos de apoyo; corrosión en puentes metálicos y de hormigón.

Muchos de estos daños y patologías no se detectan únicamente en puentes antiguos sino que muchos de ellos se encuentran en puentes modernos, de menos de 10-15 años, estructuras cuya envergadura suele ser un importante condicionante en la solución y reparación de los daños, sin considerar la propia gravedad de los mismos, tanto desde un punto de vista funcional sino también estructural debido a las mayores dimensiones y tecnologías utilizadas en la actualidad.

Para realizar el mantenimiento actualmente existen muchas técnicas como por ejemplo técnicas de diagnóstico usando ultrasonido, radiografía, pruebas de inducción magnética, líquidos penetrantes, las cuales, además de ser más costosas, usualmente requieren que el puente examinado sea por lo menos parcialmente cerrado al tráfico, los métodos visuales como otra alternativa, son económicos pero usualmente revelan un daño en estado avanzado.

Como ejemplo de una nueva técnica similar a la que vamos a desarrollar en nuestro estudio es un método que evalúa las vibraciones en el Instituto de Tecnología de Karlsruhe, Alemania. El moderno método desarrollado mide las vibraciones transferidas desde el puente a sus cables tensionados, para ubicar posibles fallos y optimizar el plan de mantenimiento. El método más fiable para obtener los parámetros modales de las estructuras que controlan su manera de vibrar son los ensayos in situ.; Los resultados de estos ensayos permiten, además de verificar que el nivel de las vibraciones inducidas en la estructura está por debajo del que permite la

normativa; realizar un seguimiento de la integridad de la estructura mediante la comparación de las propiedades dinámicas obtenidas antes de la puesta en servicio de la estructura con las obtenidas en estados sucesivos.

El método está mejor adaptado para puentes de concreto con cables tensionados que no están vaciados dentro del concreto. Dichos puentes tienen un ducto de concreto el cual contiene los cables preesforzados. Este nuevo método usa un sensor de aceleración para medir las vibraciones naturales de estos cables preesforzados, los cuales se comparan con mediciones anteriores.

Una disminución de la frecuencia indica una disminución en la tensión del cable. Cambios importantes en los valores de la frecuencia sugieren daño en los cables.

El método mide el espectro de frecuencia con una precisión mayor a 0.01Hz. Para detectar cambios, se determina el valor inicial como referencia.

Para optimizar el trabajo, se ha desarrollado un instrumento para almacenar los valores medidos y realizar una comparación inmediata de la frecuencia.

El procedimiento total incluye el montaje y desmontaje de los sensores, que toma un par de minutos y el examen total requiere menos de un día.

Este nuevo método puede ser exitoso también para establecer el estado de varias instalaciones incluyendo torres híbridas y torres de energía producidas por viento

## **1.2 Objetivo**

El objetivo de este proyecto es el análisis de las vibraciones de un modelo puente mediante la entropía espectral y la entropía aproximada comprobando así la respuesta de daño obtenida.

Para su estudio principalmente utilizaremos en una herramienta matemática para hacer los cálculos, el programa MATLAB, el cual se basa en los experimentos y en el cálculo de las entropías.

Estudiaremos diferentes situaciones en las cuales quitaremos vigas o diagonales de varios puntos de la estructura, en el modelo puente se han puesto dos sensores los cuales recogen los datos que posteriormente analizaremos y veremos cómo se comporta en cada caso aplicando diferentes frecuencias y estudiaremos la entropía espectral y aproximada para medir los daños y su respuesta ante ellos.

# Capítulo 2: conceptos

---

## 2.1 Detección de daño

- La detección de los daños en materiales y estructuras es un aspecto de gran interés práctico que permite disminuir costes y mantenimiento.

Se han desarrollado múltiples técnicas que se conocen, según si se trata de monitorización en diferido o en tiempo real, como “NON- DESTRUCTIVE TESTING “(NDT) o “STRUCTURAL HEALTH MONITORING” (SHM)

Los SHM incluyen técnicas locales y globales, para este último proceso de detección del daño se requiere:

- ❖ excitar la estructura, bien sea de manera artificial (mediante impacto) o de manera natural ( ruido, viento, terremoto)
  - ❖ procesar las señales adquiridas, introduciendo variables características que sean sensibles a los mecanismos de daños esperados.
  - ❖ introducir y aplicar algoritmos para la identificación del daño a partir de las variables características.
- **Niveles de daño.**

Existen 4 niveles de diagnóstico daño según Rytter[28]

- ❖ Nivel 1: detección de la existencia de daño ¿Existe daño?
- ❖ Nivel 2: localizar el daño ¿Dónde está el daño?
- ❖ Nivel 3: extensión del daño ¿A qué zona afecta el daño?
- ❖ Nivel 4: pronóstico del tiempo de vida restante de la estructura ¿cómo va a evolucionar el daño?

Como argumentan Frietzen y Güemes [29], son muchos los problemas aún sin resolver en cada uno de estos niveles.

Muchos son los trabajos que podemos encontrar en los últimos dos años que abarcan el tema de detección de daño, lo que pone de manifiesto su interés y actualidad ya que realizar el mantenimiento solo cuando sea necesario (*Maintenance on Condition*) es uno de los grandes objetivos de la industria en general.

Existen varios procedimientos para abordar la detección de daño dependiendo del tipo de estructura. Quizás los más desarrollados son los que se basan en extraer los modos propios de vibración de la estructura (análisis modal) intentando observar variaciones de los mismos cuando la estructura está dañada. Cuando el tamaño del defecto es pequeño, estos procedimientos con los tratamientos de la señal no llegan a tener la suficiente capacidad de discriminación, además el análisis modal requiere de una amplia red de sensores, por lo que su implementación industrial resulta costosa. Es por ello que recientemente están teniendo

más auge los procedimientos basados en las perturbaciones que un defecto puede producir en una onda elástica transitoria que se propaga por la estructura. No obstante, el desarrollo actual de estas técnicas no es el mismo que el de las primeras, fundamentalmente por la escasez de algoritmos capaces de correlacionar la respuesta experimental de la estructura con su daño y llevar esta información a una forma útil, sin falsas alarmas. En definitiva, para aumentar la sensibilidad a la existencia del defecto, e incluso para mejorar su ubicación, se requiere introducir modelos computacionales, tal y como sugieren Fietzen, Güemes y Chang. Además se hace necesaria la participación en el problema de técnicas avanzadas de tratamiento de señales que permitan aumentar la capacidad de discriminación entre estructuras dañadas y no dañadas, a partir de un análisis más productivo de los datos captados por los sensores.

Entre los métodos no paramétricos se encuentran la densidad espectral de potencia, PSD, la función de respuesta en frecuencia, FRF, o la función de coherencia. Los métodos estadísticos no paramétricos de vibraciones se basan en comparaciones cuantitativas entre la respuesta de vibración del elemento estructural inspeccionado (para el cual el daño es desconocido) y la respuesta de vibración de un elemento sano utilizado como línea de base.

Estos métodos incorporan una prueba estadística para la detección del daño, es decir, determinar si el elemento está sano o no (Nivel 1 en SHM); determinar la ubicación del daño (Nivel 2 de SHM); determinar el tipo de daño (Nivel 3 de SHM); y finalmente determinar la magnitud del daño (Nivel 4 de SHM) o estimación del daño.

Según Fietzen, son tres los pilares básicos sobre los que se debe asentar una técnica de SHM eficiente, teniendo la cuenta que el fallo de uno inducirá el fallo total de la técnica estos son:

- ❖ medidas precisas de los datos
- ❖ manejar un modelo físico-matemático de referencia que se obtiene adaptando el modelo numérico inicial del problema a los datos disponibles en una base de estructuras no dañadas.
- ❖ usar algoritmos eficientes para extraer parámetros de daño usando tanto los datos medidos como los del modelo numérico.

## **2.2 Métodos de vibraciones para la detección de daños.**

La dinámica de un sistema puede ser descrita mediante su respuesta a las vibraciones. Así, los métodos basados en el análisis de vibraciones, reconocen los cambios en dichas propiedades dinámicas ya que se basan fundamentalmente en el principio físico de que los cambios en las propiedades físicas de la estructura como masa ( $M$ ), amortiguamiento ( $C$ ) y rigidez ( $K$ ) producen cambios en la respuesta vibracional del sistema.

La mayoría de los trabajos realizados mediante análisis de vibraciones tratan los casos de vigas, placas, puentes, plataformas marinas, estructuras civiles y aeroespaciales y materiales compuestos. Este cambio físico en estructuras produce cambios en sus frecuencias de resonancia, las cuales pueden ser obtenidas del registro temporal de vibraciones mediante el método de vibraciones.

Las técnicas basadas en vibraciones analizan dichos cambios en las frecuencias de resonancia, modos de vibración y amortiguamientos del sistema. También se incluyen en estas técnicas otros procedimientos como los que usan un modelado numérico y de detección de respuestas no lineales. La aplicación de uno u otro de estos métodos depende del tipo de problema y del tipo de estructura en cuestión.

El análisis experimental de la respuesta dinámica de una estructura tipo puente no es una tarea fácil, requiriendo por lo general de un complicado sistema para el procesamiento de la información, en el que la cantidad de datos requeridos crece en proporción al incremento tanto de la precisión como del nivel de detalle deseados. Adicionalmente, en este tipo de análisis intervienen una serie de variables y parámetros relacionados con las condiciones de medición, los cuales, al influir significativamente los resultados, deben ser considerados explícitamente.

El conocimiento de los distintos métodos aplicables al análisis dinámico de estructuras, es fundamental para definir la configuración y el procedimiento experimental a usarse en un caso determinado, así como para saber las limitaciones y alcances que tiene cada uno de estos métodos.

Como consecuencia de lo anterior, en esta sección se presenta una descripción general de algunos de los métodos más comúnmente empleados para el análisis dinámico de los puentes. Estos métodos pueden clasificarse, de manera muy general, de la siguiente manera:

- A) Métodos para el análisis modal y vibraciones
- B) Método de las funciones de respuesta en frecuencia (FRF)
- C) Métodos de análisis de sensibilidad
- D) Métodos por simulación
- E) Métodos de análisis por *wavelets*

#### A. Métodos para el análisis modal y vibraciones

Los métodos de análisis de Fourier constituyen las primeras herramientas matemáticas empleadas para modelar el comportamiento de sistemas dinámicos. Así, empleando estos métodos es posible identificar las frecuencias propias o periodos Característicos de vibración de un sistema.

Cuando la frecuencia de la fuente emisora de ondas coincide con la frecuencia natural del resonador (objeto que oscila) se llega a una condición conocida como resonancia.

La resonancia se define como la tendencia de un sistema físico a oscilar con una amplitud mayor en algunas frecuencias. La amplitud del sistema oscilante depende de la magnitud de la fuerza que se le aplique periódicamente al emisor de ondas y también está relacionada con las frecuencias de ondas del emisor y la frecuencia natural del sistema oscilante. Si la diferencia

entre la frecuencia del emisor y la frecuencia del resonador es grande la amplitud del sistema resonador será mínima. Al igual que mientras más diferentes sean las frecuencias entre el generador y el resonador, se requerirá de mayor cantidad de energía para crear determinadas amplitudes de oscilación. En condición de resonancia, una fuerza de magnitud pequeña aplicada por el emisor puede lograr grandes amplitudes de oscilación en el sistema resonador, creando con ello perturbaciones marcadas en el sistema resonador. Así, las frecuencias propias son Cada una de las frecuencias a las que puede vibrar un sistema en vibraciones libres.

Una estructura por ejemplo un puente se puede modelar como un sistema dinámico ya que tiene su frecuencia propia. Sobre este tema existe una amplia Variedad de libros y reportes, sin embargo, para el propósito de este trabajo, es importante destacar que el Análisis de Fourier se basa en el hecho de que la función en el tiempo es periódica, y que representa el comportamiento dinámico de un sistema lineal. De esta forma, al tratar con funciones transitorias o aleatorias, o al estar asociadas estas funciones a sistemas no lineales, el Análisis de Fourier es aproximado y requiere de consideraciones adicionales.

Para el caso más simple de una función estacionaria y periódica  $f(t)$ , se puede demostrar que ésta puede expresarse como una combinación lineal de funciones senos y cosenos, de la siguiente forma[1]:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)] \quad (1)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

Donde  $\omega_0 = 2\pi \frac{1}{T}$  Es la frecuencia fundamental,  $T$  es el período de la función y los coeficientes  $a_n$  y  $b_n$  son constantes cuya magnitud indica el grado de participación de la frecuencia  $\omega_n$  en la descomposición de la función original.

En este caso, el espectro de frecuencias se discretiza en intervalos de la frecuencia fundamental. Cuando se generaliza a un espectro de frecuencia continuo, se obtiene la denominada transformada de Fourier, definida por:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2)$$

Para el caso particular de los puentes, y cuando se supone a éstos como estructuras homogéneas y lineales, el análisis dinámico se puede analizar mediante el modelo descrito por la siguiente ecuación diferencial:

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + ky = f(t) \quad (3)$$



En donde  $y(\bar{r}, t)$  representa los desplazamientos en función del vector de posición  $\bar{r}$  y del tiempo  $t$ ,  $m$  la masa del sistema,  $c$  la constante de amortiguamiento viscoso,  $k$  la constante de rigidez y  $f(t)$  la fuerza externa aplicada al puente como función del tiempo.

Cuando se analiza el caso de vibración libre unidimensional, es decir,  $f(t) = 0$ , la solución de esta ecuación está dada por [2]:

$$y(t) = e^{-\zeta\omega t} \left( y_0 \cos \omega_d t + \frac{\dot{y}_0 + \zeta\omega y_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right) \quad (4)$$

Donde  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  se define como la frecuencia no amortiguada,  $\zeta = \frac{c}{c_c}$  es el factor de amortiguamiento,  $c_c = 2\sqrt{km}$  es la constante de amortiguamiento crítico,  $\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2}$  es la frecuencia de vibración amortiguada y  $y_0, \dot{y}_0$  son, respectivamente, el desplazamiento y velocidad al tiempo  $t = 0$  o iniciales. Para casos más generales, el Análisis de Fourier se puede emplear para resolver la ecuación (3), de donde resulta:

$$Y(\omega) = [H(\omega)] F(\omega) \quad (5)$$

Donde  $Y(\omega)$  y  $F(\omega)$  son, respectivamente, la transformada de Fourier de la excitación y de los desplazamientos del puente. En esta ecuación (5),  $H(\omega)$  se denomina función de respuesta en frecuencia y depende únicamente de las propiedades del puente, es decir, es independiente de la fuerza de excitación. De esta función de respuesta en frecuencia se pueden obtener las frecuencias naturales  $\omega_n$  y los factores de amortiguamiento  $\zeta_n$  asociados a esas frecuencias, que son los dos parámetros asociados a la dinámica del sistema analizado, más significativos para dar una descripción general del comportamiento del mismo. En la práctica, las frecuencias naturales se calculan de los valores de las frecuencias amortiguadas que se obtienen de los valores máximos de la función de respuesta en frecuencia (ver figura 2.2.1), que se pueden considerar iguales cuando el factor de amortiguamiento es muy pequeño.

El factor de amortiguamiento se estima con la ecuación (6), utilizando el ancho del pico  $\Delta\omega$  que se tiene a una amplitud de  $\frac{AM}{\sqrt{2}}$ , donde  $AM$  es la amplitud máxima a la frecuencia  $\omega_n$  [3,4].

$$\zeta_n = \frac{\Delta\omega}{2\omega_n} \quad \text{para } \zeta_n < 0.1 \quad (6)$$

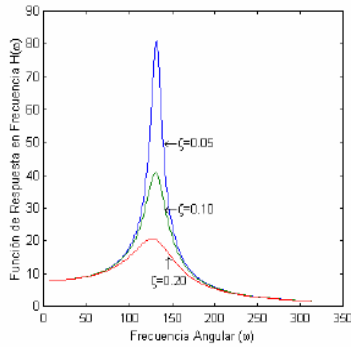


Figura 2.2.1. Efecto comparativo del factor de amortiguamiento

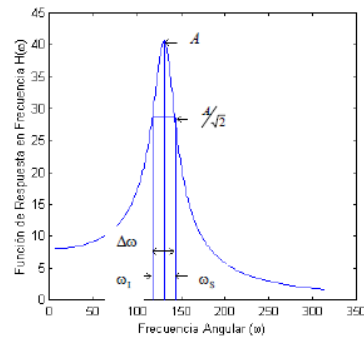


Figura 2. Trazo geométrico para el cálculo del factor de amortiguamiento

Otras expresiones comúnmente empleadas para calcular el factor de amortiguamiento, son:

$$\zeta_n = \frac{\omega_s - \omega_1}{\omega_s + \omega_1} \quad (7)$$

$$\zeta_n = \frac{1}{2} \left( \frac{\omega_s^2 - \omega_1^2}{\omega_s^2 + \omega_1^2} \right) \quad (8)$$

$$\zeta_n = A [1 - 3A^2] \quad \text{Con } A = \frac{\omega_s - \omega_1}{\omega_s + \omega_1} \quad (9)$$

$$\zeta_n = \frac{A}{2} \left[ 1 - \left( \frac{A}{2} \right)^2 \right] \quad \text{Con } A = \frac{\omega_s - \omega_1}{\omega_s + \omega_1} \quad (10)$$

$$\zeta_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{A^2 + 1}} \right]^{1/2} \quad (11)$$

Donde  $A = \frac{\omega_s^2 - \omega_1^2}{\omega_s^2 + \omega_1^2}$  y  $\zeta < 0.3$

Se entiende que  $\omega_1$  y  $\omega_s$  son respectivamente los valores de la frecuencia menor y mayor en el que la amplitud es igual a  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  de la amplitud máxima.

En análisis experimentales, en los que la fuerza externa es una función de impulso, o se asemeja lo más posible a ésta, se puede decir que la transformada de Fourier de los desplazamientos medidos  $Y(\omega)$  es igual a la función de respuesta en frecuencia y, por lo tanto, los parámetros dinámicos se pueden obtener de una prueba experimental.

En ocasiones, cuando la vibración es libre y corresponde a una sola frecuencia, es posible calcular el factor de amortiguamiento midiendo el decaimiento logarítmico de una señal obtenida en el tiempo (ecuación 12)

$$\zeta = \frac{\ln \left( \frac{A_1}{A_2} \right)}{2 \pi n} \quad (12)$$

Para la ecuación anterior, los valores de  $A_1$  y  $A_2$ , son la amplitud máxima de dos ciclos de vibración, separados  $n$  ciclos.

Al efectuar el Análisis Modal de un sistema, además de evaluar los dos parámetros dinámicos que se mencionaron anteriormente, esto es, el factor de amortiguamiento y la frecuencia natural, se considera también la forma de vibrar de la estructura, asociada a cada una de las frecuencias naturales ya identificadas. Esto último significa encontrar los vectores característicos  $\underline{v}_i$  correspondientes a la ecuación:

$$M \omega_i^2 + C \omega_i + K) \underline{v}_i = 0 \quad (13)$$

Para establecer experimentalmente estos valores de frecuencias de vibración naturales, es necesario disponer de mediciones simultáneas en distintos puntos de la estructura, cuyo número depende del modo máximo que se desee registrar.

En el análisis modal se estudian las señales de vibración medidas en la estructura, aplicando dos enfoques. El primero consiste en la generación de una imagen de cómo el puente o la estructura se está deformando durante su respuesta dinámica, lo cual se lleva a cabo mediante la medición simultánea de los desplazamientos en diversos puntos de la estructura, efectuando un monitoreo de los desplazamientos. De esta manera, realizando este seguimiento de las señales de respuesta durante un tiempo igual al período correspondiente a la frecuencia ya identificada, es posible identificar el modo de vibración del puente a esa frecuencia, pudiendo quedar registrada en una imagen. El segundo enfoque consiste en el empleo de la correlación cruzada de las diferentes señales, utilizando el Análisis de Fourier para obtener las funciones de coherencia y ángulo de fase, de los cuales se infieren los modos de vibración del puente [3].

Para efectuar el análisis modal cuando las fuerzas de excitación son aleatorias es necesario realizar, adicionalmente a lo ya explicado, el análisis estadístico de las señales y filtrado del ruido, así como aplicar una serie de técnicas que permiten tomar en cuenta las variaciones en la excitación y en la respuesta dinámica del puente [5].

Al respecto, existen trabajos que incorporan teorías basadas en los métodos de Markov de descripción de procesos estocásticos no lineales, los cuales han resultado satisfactorios en sistemas de uno y dos grados de libertad [7].

Es importante señalar que siendo el análisis modal y de vibraciones, adecuado para sistemas lineales, no se pueden excluir a los sistemas no lineales, para los cuales es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones experimentales [19] y teóricas [6] adicionales. De esta manera, existe una amplia gama de investigaciones sobre sistemas no lineales, tanto estáticos como dinámicos, en donde, para el caso de sistemas con un bajo grado de no linealidad - como ocurre en la mayoría de los casos de estructuras - es posible utilizar la teoría variacional o la de perturbaciones [20]. En particular, al emplear aproximaciones de espacios invariantes [21] o de

perturbaciones [22] a sistemas discretizados mediante procedimientos de Galerkin, los modos característicos de vibración se establecen con bastante buena precisión.

#### B. Método de las funciones de respuesta en frecuencia (FRF)

Si la ecuación de movimiento es generalizada para un conjunto de elementos o sistemas, se obtiene lo siguiente:

$$M \ddot{\underline{y}} + C \dot{\underline{y}} + K \underline{y} = f(t) \quad (14)$$

En donde  $M$ ,  $C$  y  $K$  son, respectivamente, las matrices de masa, amortiguamiento y rigidez del sistema, incorporando en ellas las propiedades del sistema dinámico. Cuando el puente presenta un comportamiento lineal, estas tres matrices son constantes. Para los casos no lineales, estas propiedades son funciones de la geometría, del tiempo y/o de la amplitud de las vibraciones. Si a la ecuación 14 se le aplica la transformada de Fourier, se obtiene:

$$[M\omega^2 + C\omega + K][Y(\omega)] \quad (15)$$

En donde la matriz de funciones de respuesta en frecuencia queda definida de la siguiente manera:

$$[H(\omega)] = [M\omega^2 + C\omega + K]^{-1} = [Y(\omega)][F(\omega)]^{-1} \quad (16)$$

Al igual que para el caso de un grado de libertad, la matriz de funciones de respuesta en frecuencia (FRF), es independiente de la fuerza de excitación y es función únicamente de las propiedades de masa, amortiguamiento y rigidez del sistema. Por lo tanto, el analizar la matriz de FRF, equivale a estudiar las características intrínsecas de la estructura misma, y cualquier variación en esta matriz es consecuencia de variaciones en las propiedades de la estructura. De acuerdo con lo anterior, el análisis de FRF es el estudio de las características de la matriz  $[H(\omega)]$ , la cual contiene toda la información de las propiedades estructurales de un puente, por complejo que éste sea.

Observando la expresión (16), es evidente que para conocer la matriz de FRF se deben calcular primero los vectores de desplazamientos y fuerzas en términos de su transformada de Fourier. Por lo tanto, en una prueba cuya finalidad sea la de medir estas FRF, es necesario medir tanto la fuerza de excitación como los desplazamientos resultantes. De acuerdo con esto, la caracterización de los puentes empleando vibradores o dispositivos de impacto para excitarlos, resulta ser de lo más práctico, ya que con estos esquemas se pueden conocer los datos de la excitación. En oposición, una excitación aleatoria requiere de la evaluación estadística tanto de ésta como de la respuesta promedio obtenida.

Desde el punto de vista de la evaluación experimental de puentes, la obtención de la matriz de funciones de respuesta en frecuencia  $[H(\omega)]$  es una tarea de mayor complejidad en comparación con la realización del análisis modal; no tan sólo por la necesidad de utilizar una mayor cantidad de transductores de medición, sino porque además se requiere de un

poderoso sistema de procesamiento de datos que permita tanto manejar el alto volumen de información como interpretar los resultados que corresponden a efectos de comportamiento local y global del sistema, ambos totalmente ligados entre sí.

### C. Métodos de análisis de sensibilidad

Las características de una estructura pueden ser estudiadas a partir de sus parámetros modales (frecuencias naturales y sus modos dinámicos asociados), o mediante sus parámetros estructurales (masa, amortiguamiento y rigidez).

Tomando en cuenta que las características de vibración de una estructura son de naturaleza global, las propiedades y variaciones de los parámetros estructurales de la misma pueden ser analizados a través de estas características de vibración de la estructura. En este caso, el problema fundamental es saber cómo es que se relacionan los parámetros modales con los estructurales, y determinar qué tanto cambia unos con respecto a las variaciones de los otros. Mientras que el primer aspecto está resuelto con las funciones de respuesta en frecuencia, el segundo se aborda mediante el análisis de sensibilidad. Es importante destacar que los estudios de sensibilidad se emplean para seleccionar las variables dinámicas importantes del sistema, contando así con criterios para simplificar el análisis de estructuras complejas, definiendo estrategias consecuentes de instrumentación para la realización de pruebas. Asimismo, estas pruebas de sensibilidad sirven para caracterizar el efecto que los errores en la medición o las variaciones estadísticas de eventos aleatorios tienen sobre los datos obtenidos experimentalmente [8].

Como ejemplo de un análisis de sensibilidad, considérese el caso más simple, tomando a las frecuencias  $\omega_i$  (con  $i = 1, \dots, m$ ), como los únicos parámetros modales y a los valores de rigidez  $k_j$  (con  $j = 1, \dots, n$ ), como los parámetros estructurales importantes. Calculando ahora la matriz de sensibilidad, definida de la siguiente manera:

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial \omega_i}{\partial k_j} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Donde los elementos  $S_{ij}$  de valores más altos corresponden a los elementos  $k_j$  para los cuales la frecuencia  $\omega_i$  es más sensible. Dado que los valores anteriores pueden ser muy variados, es conveniente normalizar los vectores  $s_i$  ( $s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{in}$ ) y considerar únicamente los elementos significativos cuando éstos son mayores a un determinado porcentaje del valor de la norma. El valor del porcentaje depende del tipo de norma que se utilice y del nivel de dependencia al que se desee llegar. Cuando es posible identificar los elementos estructurales principales, se puede seleccionar, con base en el estudio de sensibilidad, el subconjunto de frecuencias para las cuales el subconjunto de elementos de rigidez son significativos. De esta manera es posible, mediante un estudio experimental, establecer los puntos de instrumentación de acuerdo con las frecuencias que se quieren medir. De la misma manera, es posible establecer el nivel de cambio en las frecuencias de acuerdo al cambio en la rigidez y, por consiguiente, determinar si los cambios significativos en el segundo parámetro pueden ser medidos experimentalmente.

#### D. Métodos de simulación

El estudio del comportamiento dinámico de estructuras se ha visto beneficiado en los últimos años, como consecuencia del desarrollo de los sistemas de cómputo y métodos numéricos. En general, los métodos de simulación consisten en resolver numéricamente las ecuaciones diferenciales que resultan del desarrollo del modelo matemático que representa el sistema físico en estudio. El modelo matemático puede tener diferentes características, dependiendo del objeto en estudio, sin embargo, para el caso de estructuras, el más simple es el que se representa mediante ecuaciones diferenciales lineales de segundo orden, esto es:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + Kx = F(t) \quad (18)$$

Que de forma simplificada se puede re-escribir de la forma:

$$\frac{dy}{dt} = f(y, t) \quad (19)$$

En donde  $y$  y  $f$ , son vectores. Para resolver el conjunto de ecuaciones diferenciales de la expresión (19), es posible emplear distintos esquemas numéricos. Uno de ellos consiste en la simplificación de parámetros concentrados, utilizando métodos numéricos (Runge- Kutta, Euler, etc) para la solución de las ecuaciones diferenciales ordinarias resultantes [9]. Para este primer esquema es posible emplear esquemas explícitos o implícitos [10], o de paso fijo o paso variable. En general, la principal limitante respecto a la elección del método numérico a emplear, será la dinámica del modelo, la cual queda representada por los valores del jacobiano del sistema, esto es:

$$J = \left[ \frac{\partial f_i}{\partial y_j} \right] \quad (20)$$

En donde, para que el modelo sea estable y se pueda integrar en el tiempo, la parte real de los valores del Jacobiano deberá ser negativa. Asimismo, y en función de su magnitud y del valor de su parte compleja, se debe seleccionar el método para que éste también sea estable. Otra forma de resolver la ecuación (19) es con esquemas de diferencias finitas, que fundamentalmente discretizan las ecuaciones en el espacio y tiempo, lo que conduce a un sistema de ecuaciones no lineales que se pueden resolver por esquemas iterativos [23]. Para la definición de los intervalos de discretización se debe considerar el criterio de Courant [24], en el que la razón del intervalo de tiempo al intervalo en el espacio debe ser menor que una constante que depende del problema en particular. La principal dificultad de estos métodos es que el sistema resultante normalmente es complejo y que contiene un gran número de elementos, requiriendo amplios recursos de cómputo.

Un tercer esquema para la solución de la ecuación (19), existe una muy amplia literatura sobre la técnica de elementos finitos [25,26], y de su aplicación al análisis de estructuras y puentes [11-14]. Estos métodos se basan en el principio de discretización e interpolación de valores, reduciendo el número de variables respecto a las diferencias finitas, y dando mayor versatilidad en el estudio de problemas estructurales y mecánica del medio continuo. A la

fecha, se han desarrollado varios paquetes computacionales para resolver problemas con elementos finitos [15-17], cuyo empleo es relativamente fácil. Sin embargo, es necesario garantizar en cualquier estudio de simulación, para que los resultados sean confiables, un mínimo de conocimientos, tanto en los principios básicos de la teoría numérica como de las condiciones del modelo físico. Particular atención se debe poner en el esquema de discretización y en la definición de las condiciones de frontera; ambos influyen significativamente sobre los resultados obtenidos. Al final de esta publicación se presenta el desarrollo de un modelo basado en el MEF.

En general, la ventaja de los métodos de simulación respecto a las aproximaciones experimentales, es que los primeros permiten realizar estudios en condiciones muy variadas e incluso extremas. De igual manera, estos métodos posibilitan el mejoramiento de los diseños o re-estructuraciones de los puentes, lo cual se realiza de manera versátil y a un costo relativamente bajo. Actualmente, los estudios de simulación forman parte importante de cualquier estudio de ingeniería y son el complemento a los trabajos de diseño y experimentación.

#### E. Métodos de análisis por *wavelets*

El concepto fundamental de los *wavelets* es el de analizar una señal empleando escalas de tiempo y frecuencia, las cuales estén formadas por funciones con propiedades tales que sirvan de base ortogonal para expresar una función cualquiera en términos de dicha base. Este concepto no es reciente, ya que a principios del siglo XIX Joseph Fourier descubrió la posibilidad de representar a una función como una superposición de senos y cosenos. En el análisis con *wavelets* la escala toma un papel fundamental, haciendo posible procesar información con diferentes resoluciones y escalas, siempre y cuando exista una relación entre ambas. Por ejemplo, si una señal determinada se analiza con una “ventana” muy ancha, se podrán estudiar aspectos generales y no finos de dicha señal; sin embargo, si se estudia con una “ventana” pequeña, se podrán apreciar aspectos locales y muy particulares de la señal. El objeto del análisis con *wavelets* es poder estudiar ambos aspectos al mismo tiempo, tanto los particulares como los generales.

El procedimiento de análisis con *wavelets* comienza con la definición de una función *analizadora*, la cual toma valores finitos en un dominio determinado y cero fuera de ese dominio. Esta función cumple con ciertos requisitos y, sobretodo, sirve como función generadora de una base ortogonal en el espacio de funciones, la cual se obtiene contrayendo o dilatando la función analizadora, hasta obtener las componentes de alta y baja frecuencia, respectivamente. En la práctica no es necesario tener definida matemáticamente la función analizadora, siendo posible demostrar que para representar una señal en términos de su expansión *wavelet*, son necesarios únicamente los coeficientes de la combinación lineal de las funciones *wavelet*. Esto último significa que una vez definidos los coeficientes antes referidos, ya sea para una familia o para varias familias de *wavelets*, es posible realizar el análisis de cualquier función o señal para esas familias, sin necesidad de tener explícitamente definida la

función analizadora, pudiéndose realizar todas las operaciones utilizando sólo estos coeficientes.

Recientemente se ha aplicado el análisis de *wavelets* en campos tan diversos como la astronomía, la ingeniería nuclear, la codificación de señales, el procesamiento de imágenes y señales, la neuropsicología, la música, la obtención de imágenes por resonancia magnética, la óptica, los estudios de turbulencia, la predicción de sismos, el radar, la visión humana y la solución de ecuaciones diferenciales parciales [27].

### 2.3 Entropía

La entropía es, según la física clásica, la magnitud resultante del cociente entre el calor absorbido por un cuerpo y la temperatura a que lo absorbe; debido a que la entropía cambia con los cambios de estado y porque la misma tiende a incrementarse con el tiempo, se ha considerado que podría ser la medida del "desorden" (caos) de un sistema. Se describen diferentes tipos de Entropía relacionadas con la teoría de la información.

### 2.4 Entropía espectral

La entropía espectral es una magnitud termodinámica que puede ser usada para calcular la cantidad de energía que no puede ser transformada en trabajo. Desde un punto de vista microscópico, es una medida del desorden de un sistema. La entropía es usada también en teoría de la información donde está relacionada con la incertidumbre en una variable aleatoria, donde es llamada "Shannon Entropy". Para nuestros propósitos estamos llevando a usar el concepto de entropía como una medida del desorden de un sistema pero aplicándolo a la distribución de frecuencias de una señal.

La siguiente expresión es la utilizada para calcular la entropía espectral mediante una analogía con la "Shannon Entropy".

$$SE = - \sum_{i=1}^N \frac{A(f_i)}{Ar} \log\left(\frac{A(f_i)}{Ar}\right)$$

Donde  $f_i$  se refiere a las frecuencias de la función de respuesta de la frecuencia (FRF) y  $Pf_i$  es su amplitud normalizada. Como la entropía espectral es formalmente idéntica a la "Shannon Entropy", se puede tener las medidas del desorden de la distribución de frecuencias de la entropía espectral.

Si toda la energía está concentrada en unas pocas frecuencias, la función de respuesta de la frecuencia está ordenada y la SE tiene un valor bajo. Del mismo modo, si la energía está distribuida en varias frecuencias, la función de respuesta de la frecuencia estará muy desordenada y la SE tendrá un valor elevado.

### 2.5 Entropía aproximada.



La entropía aproximada cuantifica la predicción de valores de amplitud sucesivos de una serie de datos, basado en el conocimiento de valores de amplitud previos.

La entropía aproximada (ApEn) es una familia de medidas estadísticas, estrechamente relacionada con la entropía de Kolmogorov, que permite medir la regularidad de series pequeñas de datos ruidosos. Fue desarrollada por Pincus y ha sido ampliamente utilizada en una gran variedad de estudios .

La ApEn refleja la probabilidad de que un patrón similar de observaciones pueda no ser seguido de observaciones similares. Una secuencia de datos que contenga una gran cantidad de patrones repetitivos tendrá una ApEn más pequeña que una secuencia más irregular. Así, la ApEn cuantifica la impredecibilidad de las fluctuaciones en una serie de datos generada a través del tiempo.

Para calcular la ApEn de una serie temporal de longitud N es necesario fijar dos parámetros: una longitud m y una ventana de tolerancia r . La ApEn mide la similitud logarítmica de que patrones próximos o repetitivos, separados menos que r , para observaciones contiguas, permanezcan una distancia menor que r en las siguientes comparaciones aumentando m . Es decir, mide la diferencia entre la frecuencia logarítmica de patrones repetitivos de longitud con la de patrones repetitivos de longitud m +1 .

Es necesario considerar la ApEm (m,r,N) como una familia de medidas, por lo que las comparaciones se deben realizar con m.r.N y fijos. Para una serie { x<sub>(n)</sub> } de longitud N, es posible calcular la ApEn(m,r,n) así(....):

Se crean los vectores X(1)...X(N-m+1), con xi=[xi,x(i+1),...,x(i+m-1)], 1≤i≤N-m+1 Estos vectores representan valores consecutivos de x.

Se define la distancia entre x(i) y x(j) como :

$$d[x(i),x(j)] = \max_{k=1, \dots, m} (|x(i+k) - x(j+k)|) \quad (1)$$

Para un x(i) dado, sea N<sup>m</sup>(i) en número j(1≤j≤N-m+1, j≠i) Tales que d[x(i), x(j)] ≤ r Entonces, para 1≤i≤N-m+1,

$$C_r^m(i) = \frac{N^m(i)}{(N-m+1)} \quad (2)$$

C<sub>r</sub><sup>m</sup>(i) Mide la frecuencia de patrones similares de longitud m para una tolerancia r. Se calcula el logaritmo natural de cada C<sub>r</sub><sup>m</sup>(i) y se promedia:

$$\phi^{m+1}(r) = \frac{1}{N-m+1} \sum_{i=1}^{N-m+1} \ln C_r^m(i) \quad (3)$$

Se aumenta la dimensión a |m+1 y se obtiene C<sub>r</sub><sup>m</sup>(i) y ϕ<sup>m+1</sup>(r).

Teóricamente la ApEn se define como :

$$ApEn(m, r) = \lim_{n \rightarrow \infty} (\phi^m(r) - \phi^{m+1}(r)) \quad (4)$$

Como N es infinito, la ApEn se estima como:

$$ApEn(m, r, N) = \varnothing^m(r) - \varnothing^{m+1}(r) \quad (5)$$

La precisión de la estimación de la ApEn aumenta con el número de coincidencias existentes entre patrones de longitud  $m$  y  $m+1$ , lo que se consigue con un  $m$  pequeño y un  $r$  elevado. Sin embargo, valores pequeños de  $r$  estiman de manera adecuada la probabilidad condicional y en valores elevados se pierde detalle de la señal. Por otra parte, para disminuir la influencia del ruido de la señal,  $r$  debe ser mayor que este.

Un sesgo inherente al cálculo de la ApEn es que el algoritmo empleado compara cada vector consigo mismo al contar el número de vectores separados una distancia menor que  $r$ , ver ecuación (2), para evitar el logaritmo de 0 dentro de los cálculos de la ecuación (3). Como consecuencia, es sensible al tamaño de la serie temporal, mostrando mayor similitud en una serie temporal corta de la que existe realmente.

# Capítulo 3

---

## 3.1 Evaluación de daño en el modelo puente.

A continuación Realizaremos una evaluación de las vibraciones de un modelo puente mediante entropía espectral y entropía aproximada; la simulación la haremos aplicando una determinada Frecuencia al modelo puente en el cual hay dos sensores. Mediante estos sensores recogeremos los datos de interés, los cuales serán procesados utilizando la herramienta matemática para los cálculos MATLAB .

En el experimento quitaremos diagonales o pilares aleatoriamente, en cada caso aplicaremos las frecuencias elegidas y para cada frecuencia repetiremos los cálculos cinco veces, de esta manera podemos comprobar que no haya errores o minimizarlos, una vez obtenidos los datos y después de un detallado calculo que explicaremos en el apartado 3.1.2 obtendremos la entropía espectral y la entropía aproximada.

Nuestra finalidad es comprobar tanto el grado de desorden en el espectro (energía espectral) como la señal temporal, también el grado de desorden (entropía aproximada) y observar en las gráficas proporcionadas de cada caso si se aprecia dicho desorden y dónde se concentra, de esta manera, verificaremos la concentración de energía y si se detecta el daño o no.

### 3.1.2 Planteamiento

El modelo puente utilizado es un puente tipo Warren con montantes intercalados apoyado.



Imagen (1)

Como se puede observar en la imagen (1) hay situado dos sensores, uno en el centro del vano (centro del puente) y otro en uno de los apoyos (apoyo derecho).

A continuación analizaremos 6 casos los cuales son:

Caso 1: estructura intacta.

Caso 2: Quitando diagonal 3.

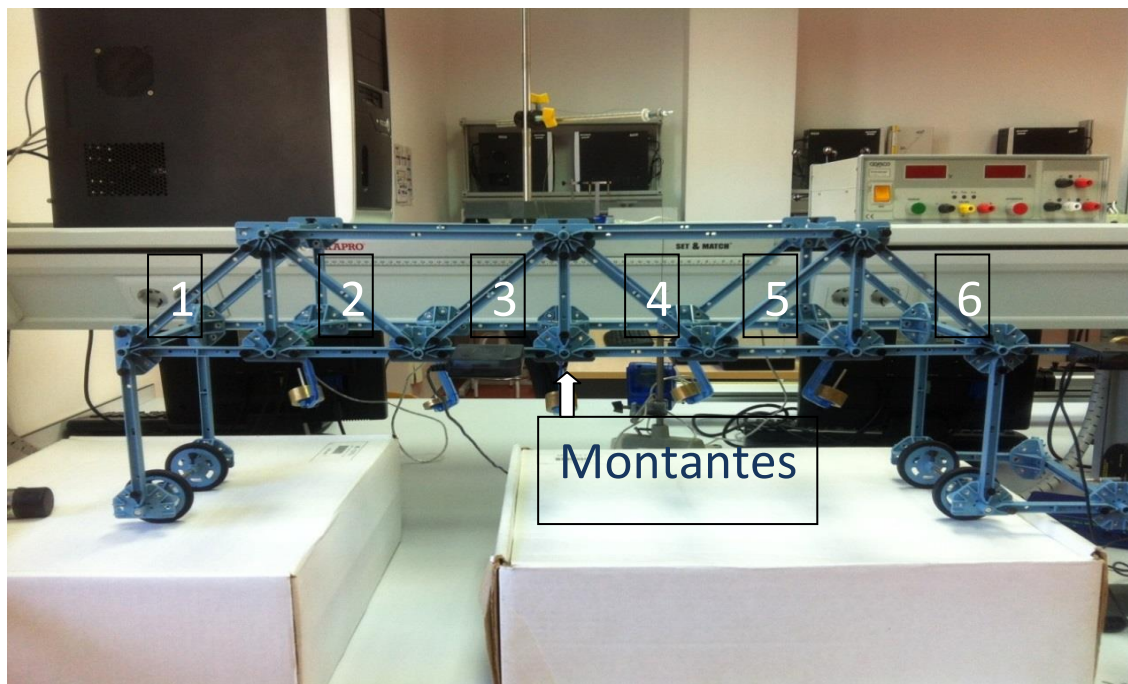
Caso 3: quitando diagonal 4

Caso 4: quitando diagonal 3 y 4

Caso 5: quitando diagonal 6

Caso 6: quitando pilares céntricos

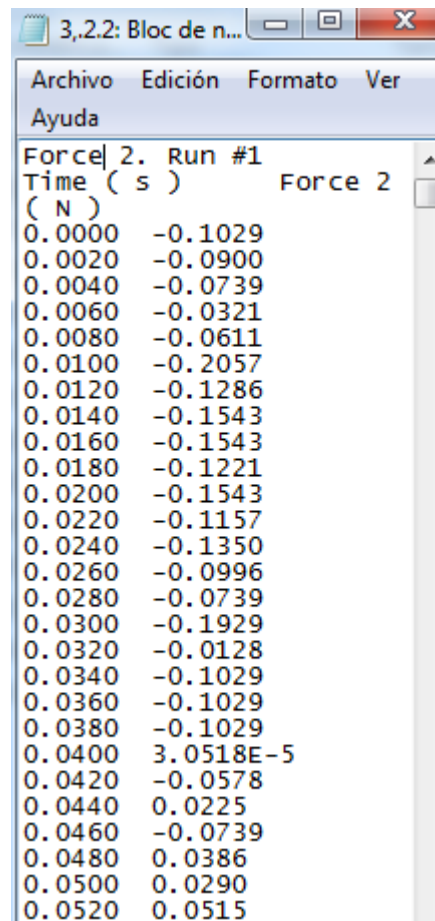
Los elementos estructurales los he nombrado como aparece en la siguiente imagen.



Las frecuencias elegidas son 3Hz, 6Hz, 10Hz, 15Hz

### 3.1.1 Procedimiento para la obtención de datos

En primer lugar, en el laboratorio realizaremos el experimento, con el cual obtenemos una serie de datos gracias a los sensores puestos en la estructura para cada caso y cada frecuencia con sus respectivas repeticiones.



Time ( s )	Force 2 ( N )
0.0000	-0.1029
0.0020	-0.0900
0.0040	-0.0739
0.0060	-0.0321
0.0080	-0.0611
0.0100	-0.2057
0.0120	-0.1286
0.0140	-0.1543
0.0160	-0.1543
0.0180	-0.1221
0.0200	-0.1543
0.0220	-0.1157
0.0240	-0.1350
0.0260	-0.0996
0.0280	-0.0739
0.0300	-0.1929
0.0320	-0.0128
0.0340	-0.1029
0.0360	-0.1029
0.0380	-0.1029
0.0400	3.0518E-5
0.0420	-0.0578
0.0440	0.0225
0.0460	-0.0739
0.0480	0.0386
0.0500	0.0290
0.0520	0.0515

Imagen 8

Una vez tenemos todos los datos Utilizamos el programa MATLAB para procesar y analizar éstos datos, de esta manera obtendremos para cada caso y con cada frecuencia la amplitud, la entropía espectral y la entropía aproximada de cada una de las repeticiones.

A partir de las señales temporales obtenidas (registradas por los sensores de fuerza) se calcula la entropía espectral y la entropía aproximada. Esta última se obtiene haciendo la Transformada de Fourier de los datos obtenidos para obtener la distribución de energía entre distintas frecuencias y aplicar la fórmula de la entropía de Shannon con ella la entropía espectral.

```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> analizatodo
Estos son los picos de frecuencia, comprueba que se corresponden con los de la gráfica y anotalos

ans =

    9.0420    6.1095    2.9326    5.3763    6.5982    8.3089    3.6657
    0.1392    0.1115    0.1081    0.0088    0.0061    0.0040    0.0035

Esto es la entropía espectral

entropia =

    1.0935

Esto es la entropía aproximada

AE =

    1.2856

>>

```

Imagen 9: MATLAB analizando los datos obtenidos mediante los sensores.

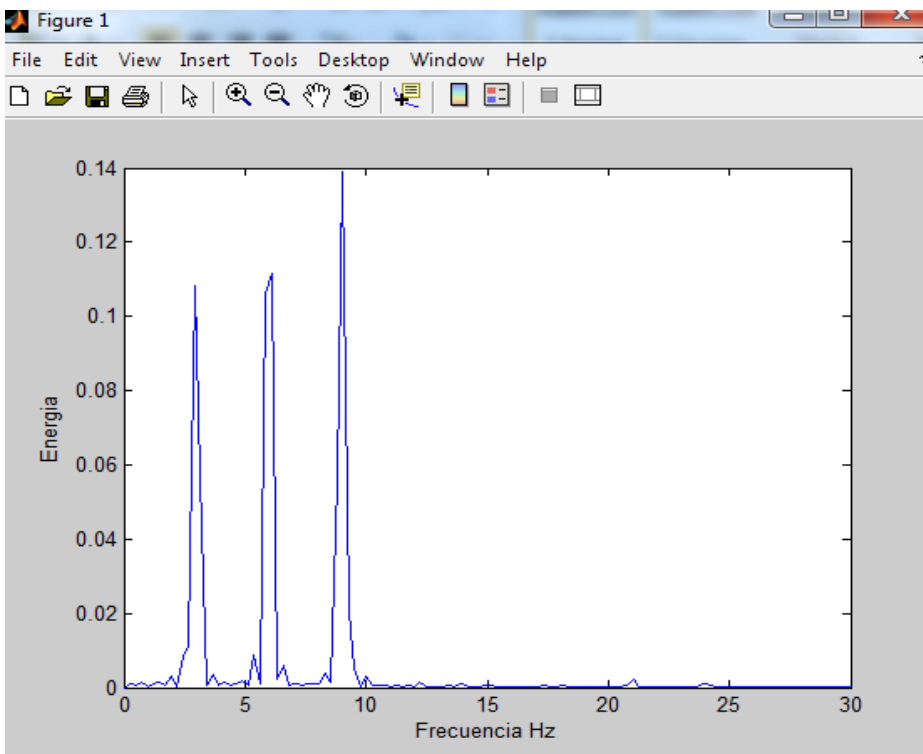


Imagen 10

La imagen 10 es un ejemplo de las gráficas que obtendremos para todos los casos, donde podremos analizar los picos y dónde se concentra la energía.

Como último paso para obtener los datos necesarios para desarrollar nuestro experimento es copiar cada dato en una hoja Excel

Una vez tenemos para cada caso y con cada frecuencia las cinco repeticiones obtenemos el valor promedio y la medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio (desviación), es decir, la variación esperada con respecto a la media aritmética

Frecuencia 3 Hz													
sensor 1													
repetición1													
frecuencia	2,9326	5,8651	3,6657	9,042	1,955	15,1515	4,1544				entropía espectral	entropía aproximada	
amplitud	0,3911	0,0219	0,0139	0,0071	0,0071	0,0055	0,0044				media	0,10934	0,18916
entropía	0,0528										desviación	0,0556416	0,01461397
repetición2													
frecuencia	2,9326	6,1095	9,042	3,6657	1,995	11,9746	19,0841						
amplitud	0,03	0,03	0,0104	0,0104	0,0061	0,0042	0,0039						
entropía	0,0573												
repetición3													
frecuencia	2,9326	9,042	6,1095	11,9746	2,1994	4,6432	18,0841						
amplitud	0,0347	0,0347	0,0287	0,0039	0,0031	0,0029	0,0023						
entropía	0,1073												
repetición4													
frecuencia	2,9326	9,042	6,1095	11,9746	2,1994	4,1544	9,5308						
amplitud	0,3372	0,0472	0,0316	0,0071	0,0067	0,0025	0,0019						
entropía	0,1513												
repetición5													
frecuencia	2,93260	9,04200	6,10950	11,97460	1,95500	18,08410	0,24440						
amplitud	0,3172	0,0513	0,0326	0,0059	0,0026	0,0013	0,0011						
entropía	0,178												
repetición5													
frecuencia	2,93260	9,04200	6,10950	11,97460	1,95500	18,08410	0,24440						
amplitud	0,3172	0,0513	0,0326	0,0059	0,0026	0,0013	0,0011						
entropía	0,178												

Imagen 11

En la imagen (11) podemos observar un ejemplo de cómo hemos organizado los datos, este es un ejemplo de los datos de un caso con una frecuencia y un solo sensor, en nuestro estudio analizamos en profundidad los datos obtenidos de los dos sensores de cada caso propuesto para posteriormente obtener la media y la desviación de cada caso y finalmente analizarlas.

Las tablas con los datos de cada caso y sus respectivas repeticiones las podremos encontrar en el anexo 1.

### 3.2 Análisis

#### 3.2.1 Análisis de los casos.

##### Caso 1: Estructura intacta

➤ **Frecuencia 3 Hz**

Una vez obtenidos los datos, nos centramos en lo que es de nuestro interés que son la entropía espectral, la entropía aproximada y la distribución de los picos en las gráficas, estos valores son los que podemos comparar para comprobar si se aprecia el daño de todos los casos con respecto a la estructura intacta o no.

- Resumen de datos

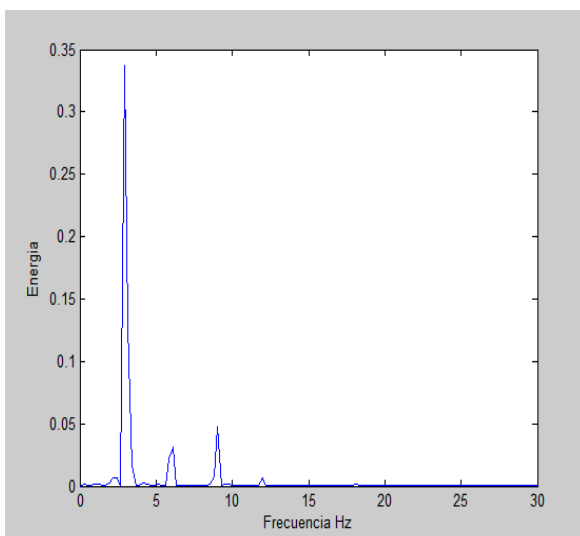
Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	media	Desviación
0,109	0,055	0,189	0,014	0,965	0,09	1.223	0.041

(Tabla 1)

En la tabla 1 podemos observar los datos de la entropía espectral y la entropía aproximada para cada sensor, éstos datos los analizaremos en el punto (3.2 análisis de daño) para ver de qué manera se refleja el daño según la frecuencia aplicada.

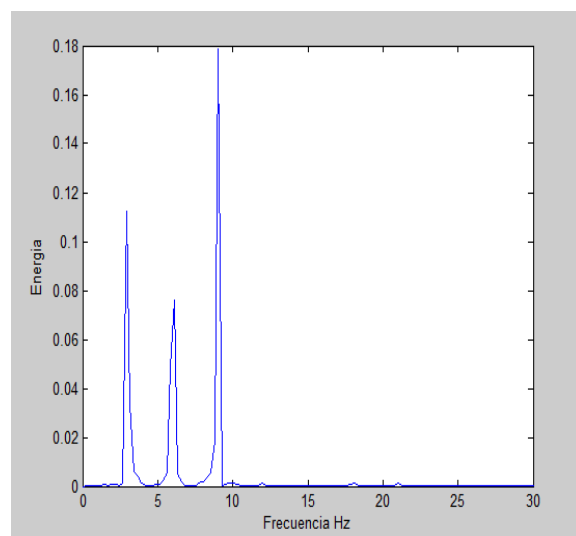
- Gráficas

##### Sensor 1



Grafica (1)

##### Sensor 2



Grafica (2)



Podemos observar los puntos donde está la energía concentrada, por ejemplo, en la gráfica (1) tenemos el mayor pico en la Frecuencia 3 Hz, tenemos una amplitud 0.33 además pueden verse claramente que hay otro dos picos de menor amplitud en 6Hz y 9Hz, esto se debe a que los otros picos son armónicos del primero.

En la gráfica (2) observamos picos con Frecuencia en 3Hz, 6Hz y 9Hz, la distribución de los picos la compararemos en los siguientes casos para ver cómo se comporta el daño con respecto a la estructura intacta.

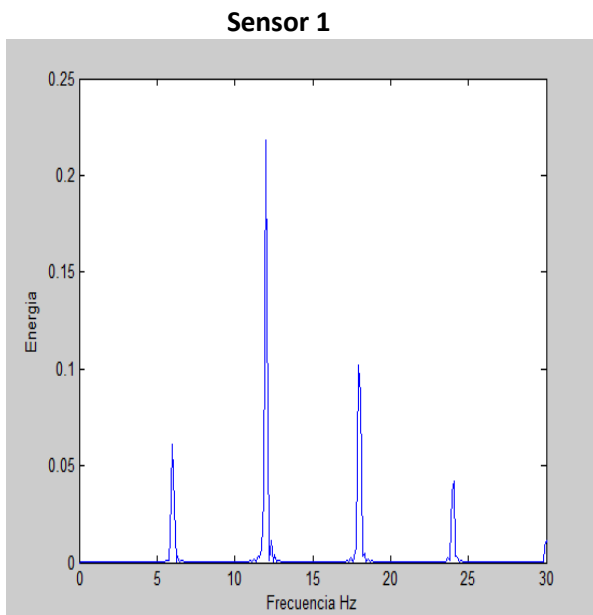
➤ **Frecuencia 6Hz**

- Resumen de datos

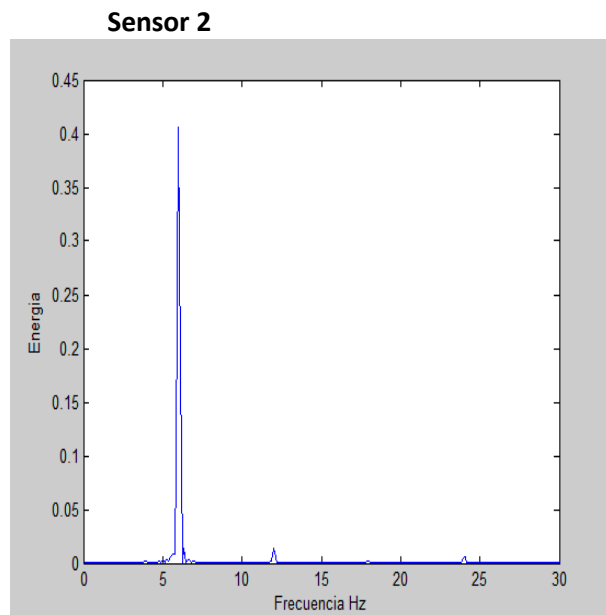
Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.9037	0.3391	0.4041	0.0263	0.0456	0.0077	1.099	0.0245

Tabla (2)

- Gráficas



Gráfica (3)



Gráfica (4)

En la gráfica (3) podemos observar varios picos lo cual significa que hay un grado de desorden significativo, sin embargo, en la gráfica (4) se observa algo curioso, se puede ver un pico de

una gran energía en la frecuencia 6Hz, esto significa que la frecuencia que aplicamos a la estructura y la frecuencia propia de la estructura coinciden, también vemos como la energía está concentrada en este pico, sin embargo, si nos fijamos bien podemos ver picos de pequeñas energías en 12Hz,18Hz y 24Hz, en sus armónicos.

➤ **Frecuencia 10 Hz**

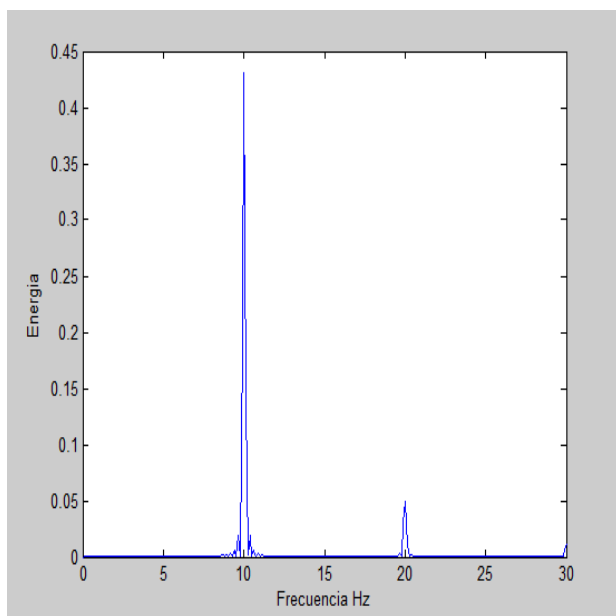
- Resumen de datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.1134	0.0486	0.2712	0.0121	0.6404	0.1779	1.658	0.087

Tabla (3)

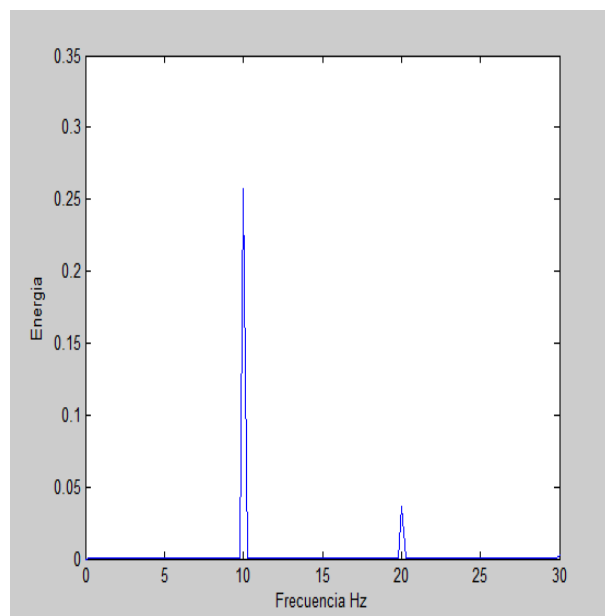
- Gráficas :

**Sensor 1**



Gráfica (5)

**Sensor 2**



Gráfica (6)

En la gráfica (5) podemos observar dos picos, uno con la misma frecuencia que hemos aplicado, como ya ha ocurrido en otros casos que la frecuencia aplicada y la frecuencia propia

de la estructura son las mismas y el siguiente pico o la siguiente concentración de energía es armónico de la frecuencia aplicada; en la gráfica (6) es muy similar a la gráfica (5)

➤ **Frecuencia 15 Hz**

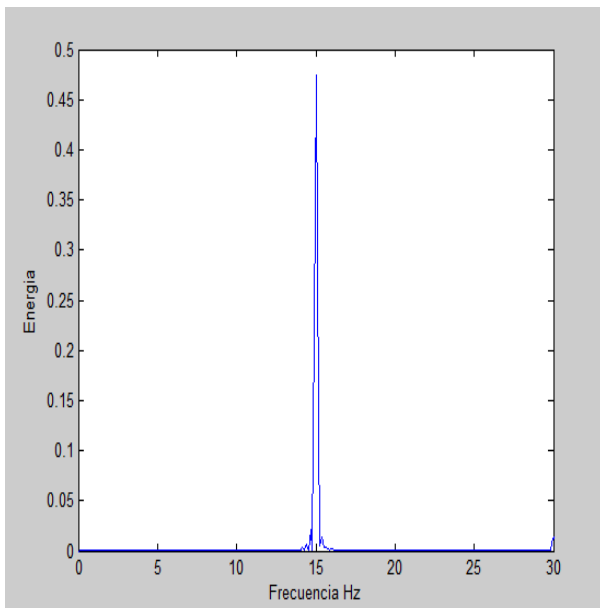
- Resumen de los datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.1201	0.000606	0.1948	0.0094	0.761	0.0147	1.597	0.111

Tabla (4)

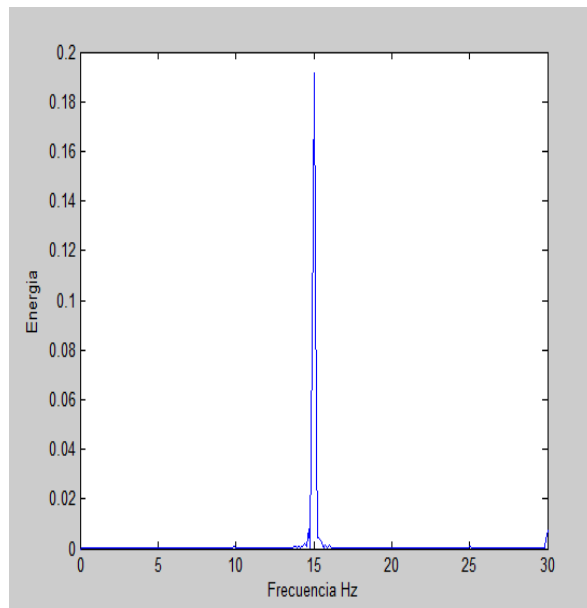
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (7)

**Sensor 2**



Gráfica (8)

Observando las gráficas deducimos que la frecuencia propia y la que hemos aplicado coinciden en ambos sensores.

## Caso 2: Estructura quitando diagonal 3

### ➤ Frecuencia 3 Hz

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0,480	0,037	0.339	0,011	0.598	0.033	1.418	0.017

Tabla (5)

Comparando los valores obtenidos con respecto a la estructura intacta en el sensor 1 tenemos:

-En cuanto a la entropía espectral ha disminuido de manera considerable, considerando la dispersión estos valores se podrían separar.

-En la entropía aproximada también encontramos una gran diferencia en sus valores con lo cual se aprecia el daño.

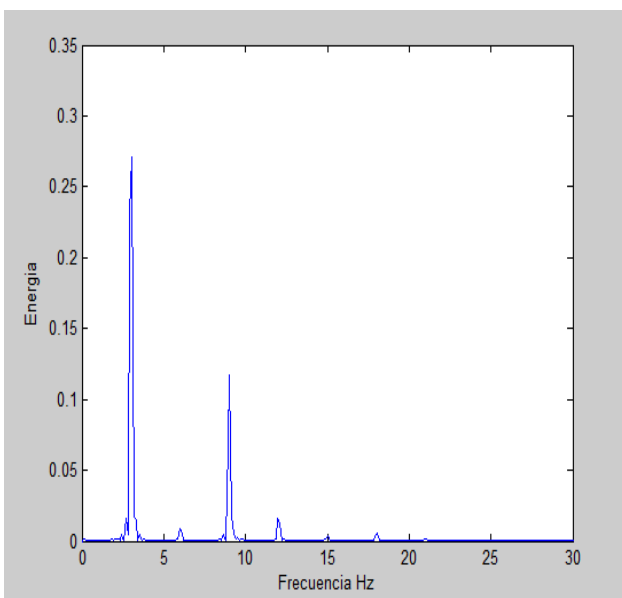
Sensor 2:

-El valor de entropía espectral ha disminuido de 0.965 a 0.598, se aprecia daño

-En cuanto a la entropía aproximada podemos observar como los valores aumentan en este caso, pasan de 1.223 en la estructura intacta a 1.418 en este caso.

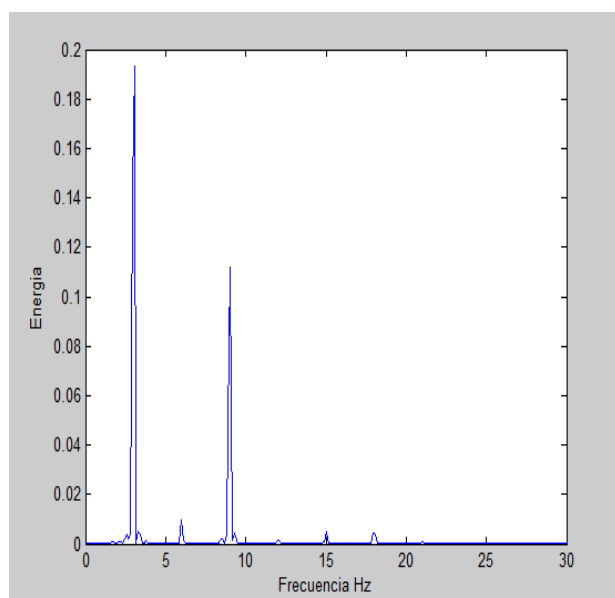
- Gráficas

### Sensor 1



Gráfica (9)

### Sensor 2



Gráfica (10)

En ambas gráficas se pueden observar que los picos coinciden y están en la misma frecuencia aunque la amplitud es mayor en la gráfica (10) con lo cual en el sensor 2 se apreciará en este caso un mayor desorden.

Comparando estas gráficas con las gráficas de la estructura intacta se podría decir que en el sensor 1 de la estructura intacta hay una mayor amplitud en la frecuencia 3Hz, con lo cual el daño en este caso se refleja dispersándose en otras frecuencias, con respecto al sensor 2, sí que se aprecia un aumento de la energía considerable con respecto a la estructura intacta en la frecuencia aplicada

➤ **Frecuencia 6 Hz**

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.79	0.1023	0.4474	0.0297	0.02814	0.000578	1.0416	0.0727

Tabla (6)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

Sensor 1

-En la entropía espectral podemos observar variación en los valores, sin embargo, teniendo en cuenta el parámetro de la dispersión se podrían considerar iguales.

-En la entropía aproximada si observamos un aumento considerable, con lo cual se aprecia el daño.

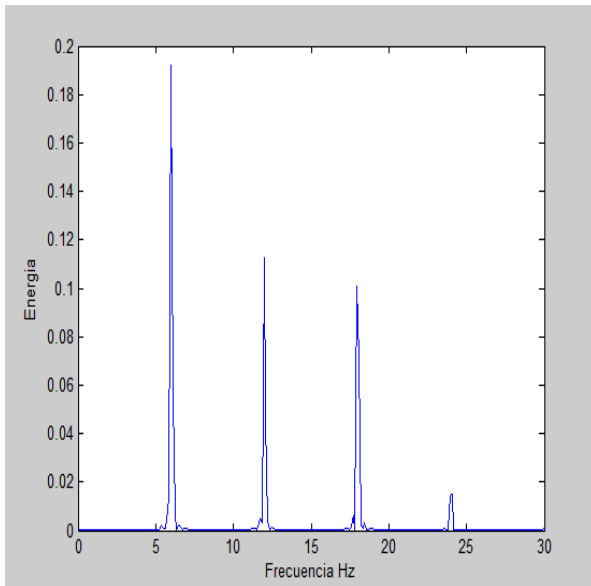
Sensor2

-La entropía espectral sufre una disminución de casi la mitad de su valor al sufrir el daño con respecto a la estructura intacta.

-En cuanto a la entropía aproximada, teniendo en cuenta el valor de dispersión son muy parecidos.

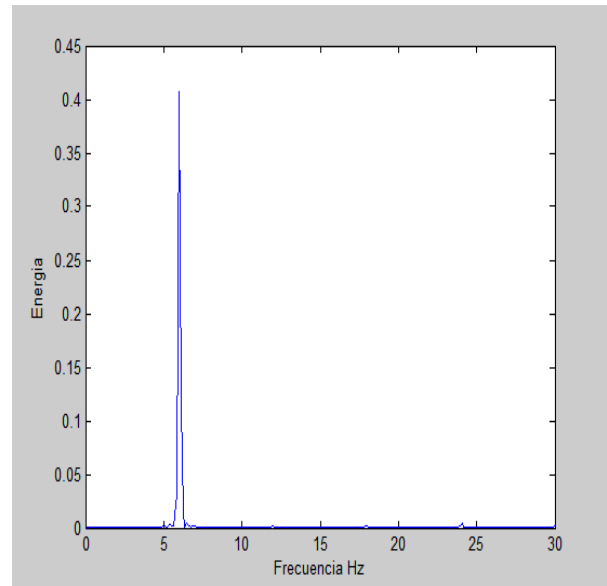
- Gráficas

**Sensor 1**



**Gráfica (11)**

**Sensor 2**



**Gráfica (12)**

En la gráfica (11) se puede observar que hay un mayor grado de desorden que en la gráfica (12) en la cual solo se ve un pico que coincide con la frecuencia propia de la estructura.

Comparando estas gráficas con respecto a las gráficas de la estructura intacta en el que mejor se parecía en daño es en el sensor 1 ya que se aprecia un gran aumento en la energía, sin embargo, en las gráficas del sensor 2 no se aprecia el daño.

➤ **Frecuencia 10 Hz**

- Resumen de datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.07032	0.0971	0.2394	0.0082	0.875	0.2632	1.6714	0.1122

Tabla (7)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

#### Sensor 1

-En la entropía espectral se observa que los valores son evidentemente diferentes pero, teniendo en cuenta la dispersión en ambos casos los valores se pueden considerar iguales.

-En la entropía aproximada observamos que se aprecian cambios teniendo en cuenta siempre la dispersión.

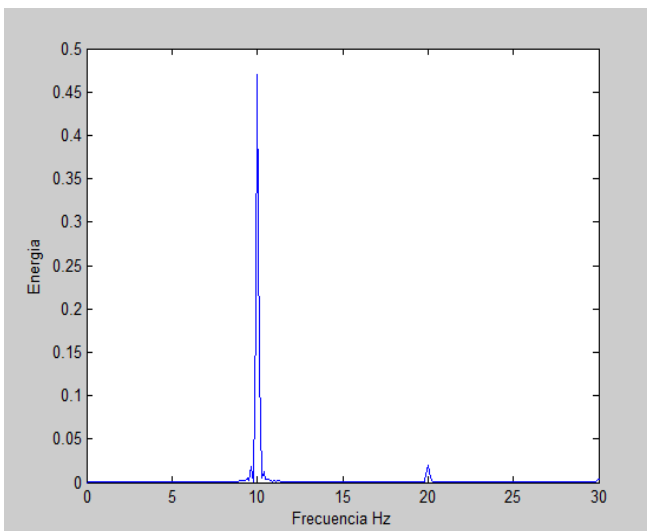
#### Sensor 2

-En la entropía espectral los valores son similares.

-En la entropía aproximada, observando la desviación los valores también son similares.

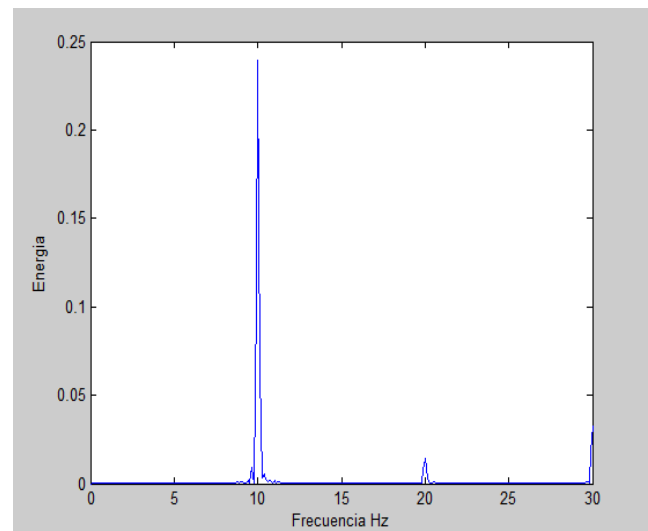
- Gráficas :

#### Sensor 1



Gráfica (13)

#### Sensor 2



Gráfica (14)

Comparando estas gráficas con las gráficas de la estructura intacta en el sensor 1 podemos observar un aumento de la energía en el pico situado en 10 Hz, sin embargo en el sensor 2 apenas se aprecian cambios.

➤ **Frecuencia 15 Hz**

- Resumen de los datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.0332	0.00728	0.21494	0.00564	0.715	0.1099	1.6258	0.0527

Tabla (8)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

Sensor 1

-En la entropía espectral apreciamos una variación importante, lo cual nos sugiere que detecta daño.

-En la entropía aproximada también se aprecia el daño sufrido en los valores.

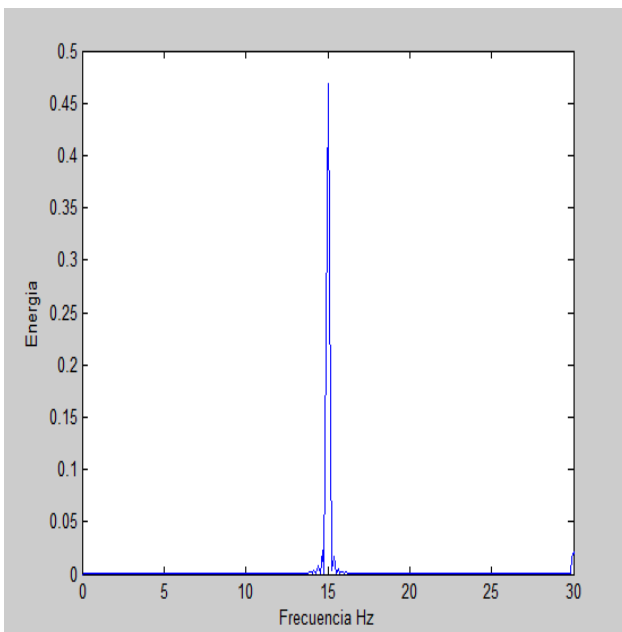
Sensor 2

-La entropía espectral es similar a la estructura intacta.

-la entropía aproximada sucede lo mismo, los valores son iguales.

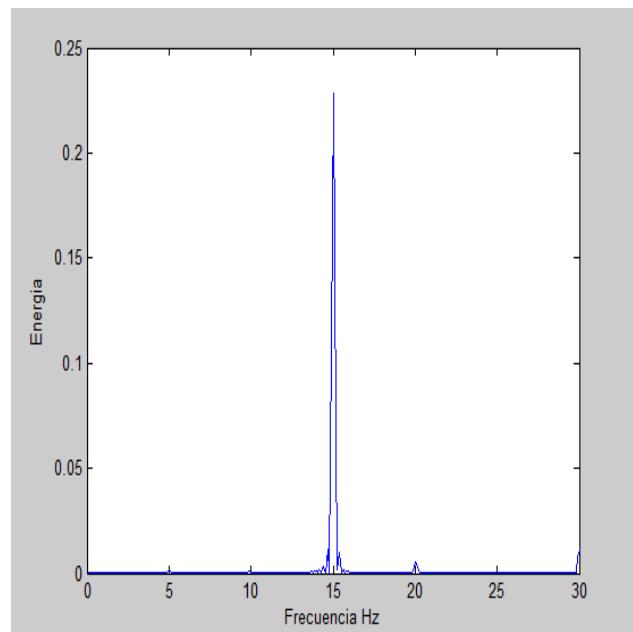
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (15)

**Sensor 2**



Gráfica (16)



En ambas gráficas la energía se concentra en el mismo pico lo cual nos dice que la frecuencia aplicada y la frecuencia propia de la estructura coinciden.

Con respecto a las gráficas de la estructura intacta en la gráfica (15) no se aprecian cambios, sin embargo en la gráfica (16) sí que se ve un aumento de la concentración de la energía en la frecuencia 15Hz.

### Caso 3: Estructura quitando la diagonal 4.

➤ **Frecuencia 3 Hz**

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.309	0.0897	0.347	0.008	0.626	0.106	1.497	0.050

Tabla (9)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

#### Sensor 1

-En la entropía espectral si se parecía daño, lo cual nos indica que hay un grado de desorden en el espectro.

-En la entropía aproximada se observa que hay un aumento de su valor, esto nos sugiere que hay variación en el grado de desorden y la señal temporal.

#### Sensor 2

-En la entropía espectral observamos una variación importante en sus valores.

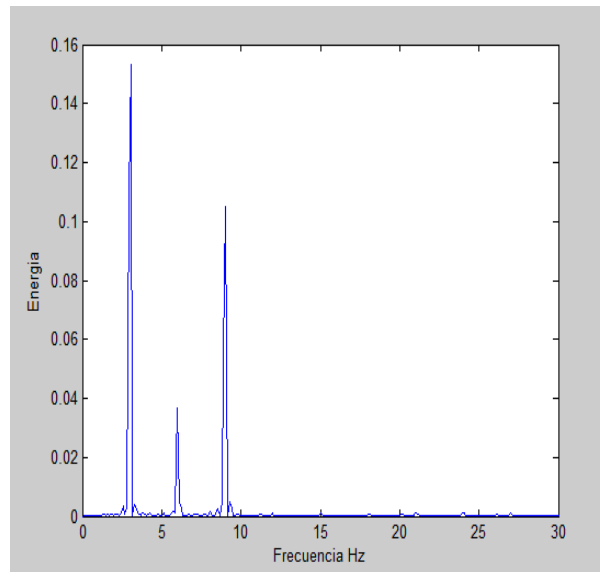
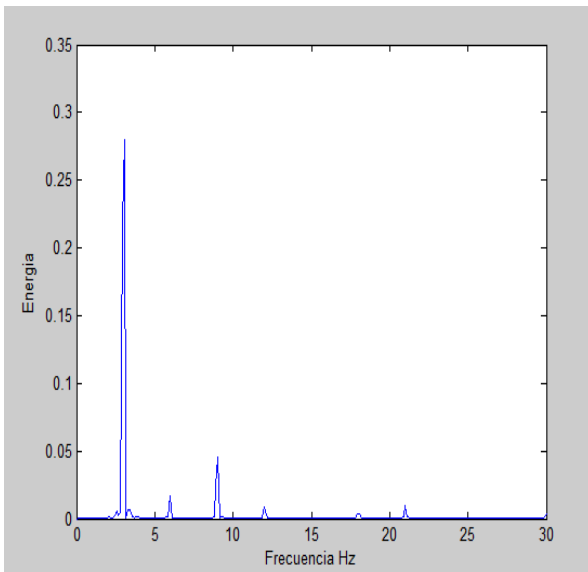
-En la entropía aproximada también se observa un cambio importante en los valores.

Teniendo en cuenta estos datos el sensor 2 refleja el daño mejor que el sensor 1 en este caso.

- Gráficas

**Sensor 1**

**Sensor 2**



Gráfica (17)

Gráfica (18)

Comparando estas gráficas con respecto a las gráficas de estructura intacta, en cuanto al sensor 1 la distribución de los picos es de menor amplitud, sin embargo, en el sensor 2 la amplitud de los picos en la gráfica (18) son mayores, se aprecia un mayor desorden.

➤ **Frecuencia 6 Hz**

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.4715	0.0126	0.3591	0.0061	0.0248	0.0035	1.0727	0.03432

Tabla (10)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

Sensor 1

-La entropía espectral se ve una disminución importante pasa de 0.9037 en la estructura intacta a 0.4715. Se aprecia daño

-La entropía aproximada disminuye también, con lo cual con este sensor se parecía bien el daño para este caso.

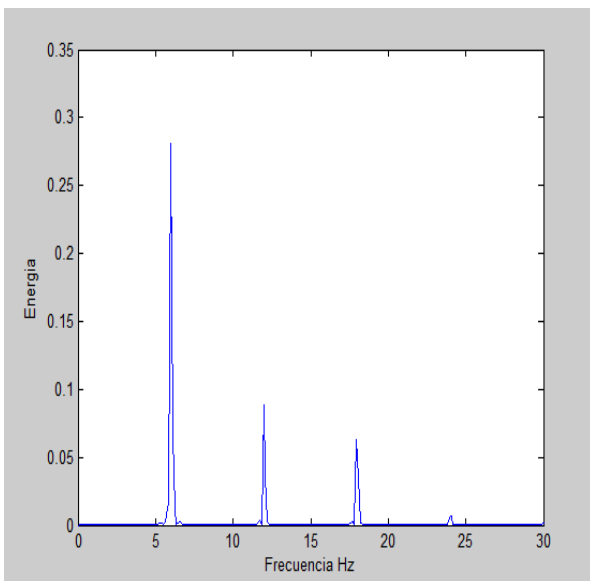
#### Sensor 2

-La entropía espectral refleja el daño disminuyendo su valor casi el doble.

-La entropía aproximada aumenta pero, teniendo en cuenta la dispersión los valores se pueden considerar iguales.

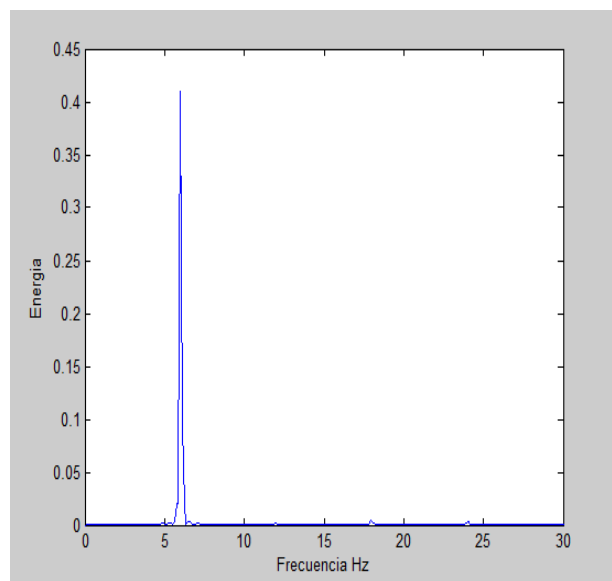
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (19)

**Sensor 2**



Gráfica (20)

En la gráfica (19) se observa que hay un mayor grado de desorden con respecto a las gráficas de la estructura intacta, ya que la distribución de los picos tiene en amplitudes diferentes, en cambio en la gráfica (20) la energía está concentrada en un solo pico muy similar a la gráfica (4).

➤ **Frecuencia 10 Hz**

- Resumen de datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.022	0.00358	0.3042	0.01958	0.5106	0.3253	1.6832	0.0899

Tabla (11)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

Sensor 1

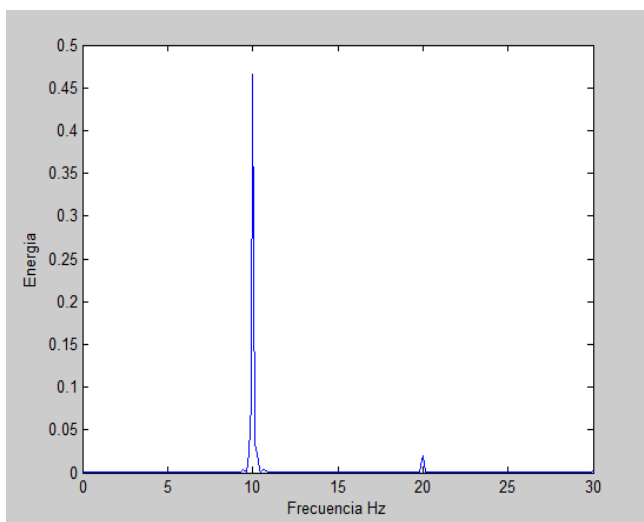
-En la entropía espectral disminuye su valor y en la entropía aproximada aumenta, esto nos indica que se aprecia bien el daño sufrido por la estructura.

Sensor 2

-Tanto los valores de la entropía espectral como la entropía aproximado son iguales a los valores de la estructura intacta.

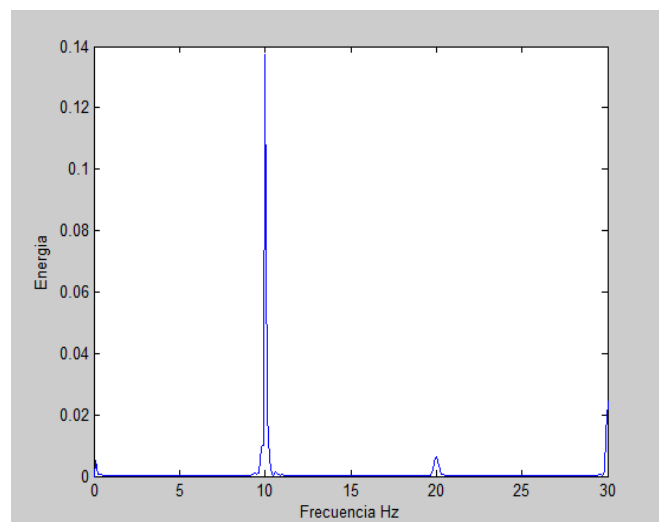
- Gráficas :

**Sensor 1**



Gráfica (21)

**sensor 2**



Gráfica (22)

Las gráficas del sensor 1 tanto en este caso como en la estructura intacta son muy parecidas, en este caso aumenta un poco la amplitud del pico que se encuentra en la frecuencia 10Hz,

En cuanto a la gráfica (22) del sensor 2 los picos tienen menor amplitud que los de la estructura intacta.

➤ **Frecuencia 15 Hz**

- Resumen de los datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.0343	0.00088	0.1795	0.00364	0.9818	0.0967	1.7299	0.02184

Tabla (12)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

Sensor 1

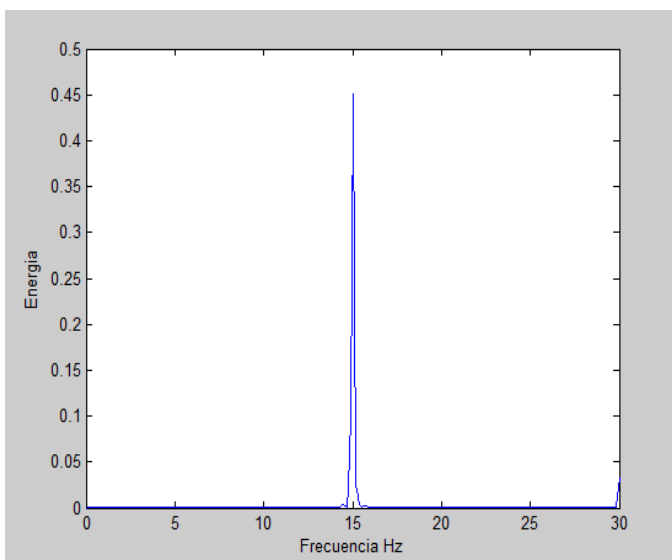
-La entropía espectral ha aumentado y la entropía aproximada ha disminuido, se aprecia el daño.

Sensor 2

-La entropía espectral y la entropía aproximada aumentan su valor.

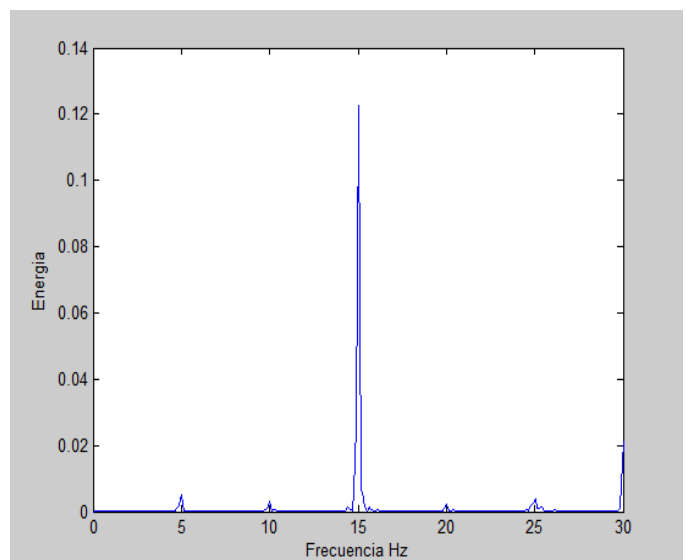
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (23)

**sensor 2**



Gráfica (24)

En ambas graficas se observa que la energía está concentrada en un solo pico. Y comparándolas con la graficas de la estructura intacta son similares exceptuando el cambio que se observa es en la gráfica (24) en la cual la amplitud del pico es menor que en la estructura intacta.

#### Caso 4: Estructura quitando las barras diagonales 3 y 4

➤ **Frecuencia 3 Hz**

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0,479	0.0334	0.340	0.0077	0.441	0.0548	1.565	0.0605

Tabla (13)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

Sensor 1

-Tanto los valores de la entropía espectral como la entropía aproximada aumentan.

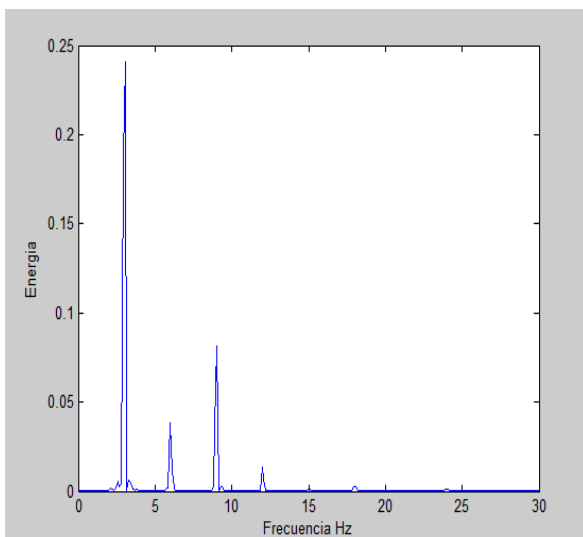
Sensor 2

-La entropía espectral sufre una disminución importante en su valor, se aprecia el daño.

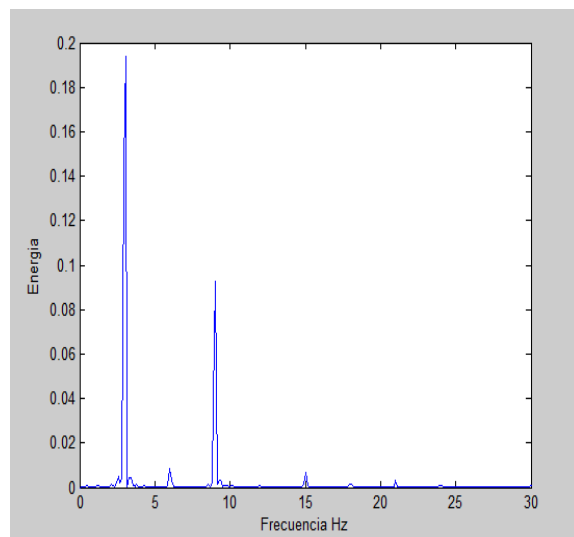
-Entropía aproximada aumenta.

- Gráficas

**Sensor 1**



**Sensor 2**



### Gráfica (25)

### Gráfica (26)

En ambas graficas se observa que hay varios picos de energía concentrada, el pico de mayor amplitud lo encontramos en la frecuencia 3Hz.

Con respecto a la estructura intacta, se parecía que en este caso en el sensor 1 en la gráfica (25) el pico de la frecuencia 3Hz tiene una amplitud menor y en el sensor 2 en la gráfica (26) hay variación en la distribución de los picos y en la energía.

#### ➤ Frecuencia 6 Hz

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.59216	0.0649	0.4403	0.01301	0.02138	0.00376	1.0675	0.0404

Tabla (14)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

#### Sensor1

-La entropía espectral disminuye su valor, pasa de 0.9037 en la estructura intacta a 0.5921 en este caso, se refleja el daño en la estructura.

-La entropía aproximada sin embargo refleja el daño en este caso aumentando su valor, pasa de 0.4041 en la estructura intacta a 0.4403.

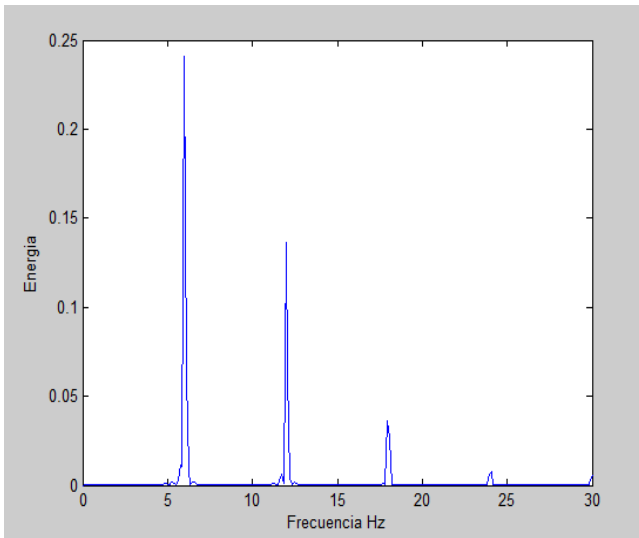
#### Sensor 1

-En la entropía espectral vemos también una disminución en su valor pasa de 0.0456 en la estructura intacta a 0.02138 en este caso.

-En la entropía aproximada sin embargo vemos como el valor es igual, teniendo en cuenta el parámetro de la dispersión.

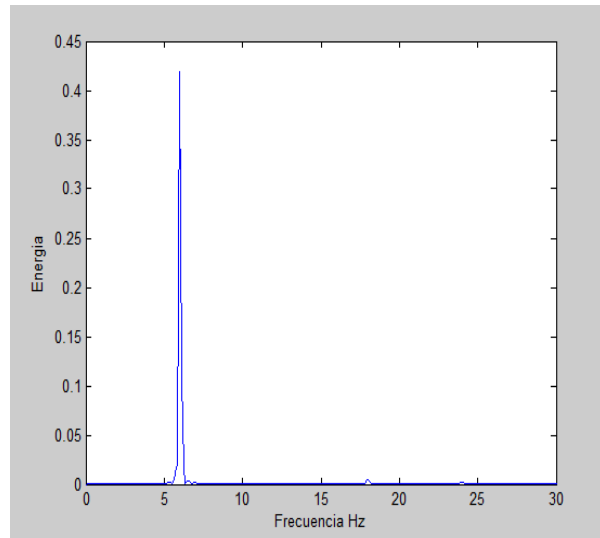
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (27)

**Sensor 2**



Gráfica (28)

Comparando estas gráficas con respecto a las gráficas de la estructura intacta observamos en el sensor 1 que hay cambios en la concentración de la energía, con lo cual hay un mayor grado de desorden.

En las gráficas del sensor 2 en ambos casos son similares, hay un pico que sobre sale en la frecuencia 6Hz y se encuentran en una energía muy parecida.

➤ **Frecuencia 10 Hz**

- Resumen de datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.00766	0.000585	0.32046	0.01986	0.922	0.02213	1.6352	0.0317

Tabla (15)

Comparación de los valores con respecto a la estructura intacta:

Sensor 1

-En cuanto a la entropía espectral disminuye considerablemente, pasa de 0.1134 en la estructura intacta a 0.00766 en este caso.



- La entropía aproximada aumenta su valor de 0.2712 a 0.32046, la dispersión en este caso no afecta por su valor es muy pequeño.

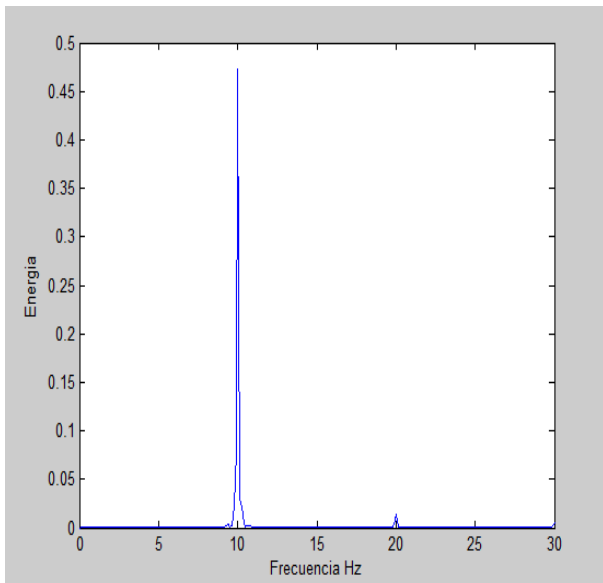
Se aprecia el daño en ambas entropías.

Sensor 2

-La entropía espectral aumenta su valor, sin embargo, en la entropía aproximada se puede considerar que tiene su valor igual a la estructura intacta.

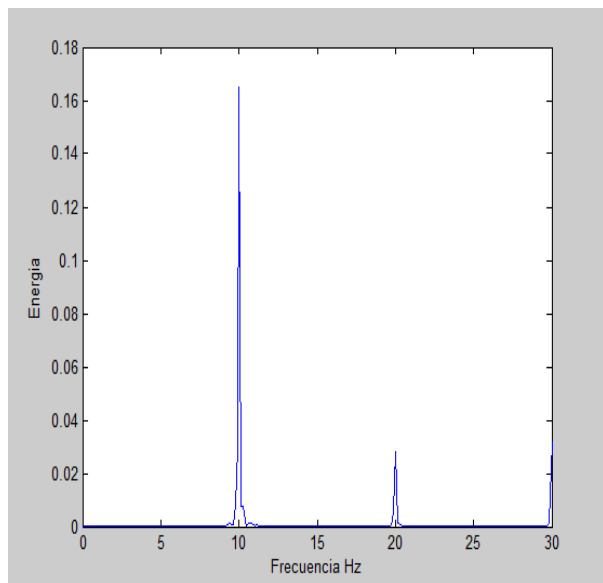
- Gráficas :

**Sensor 1**



Gráfica (29)

**Sensor 2**



Gráfica (30)

En ambos casos, tanto en la estructura intacta como en este caso los picos de mayor amplitud se dan en la frecuencia 10Hz y los otros picos son armónicos.

➤ **Frecuencia 15 Hz**

- Resumen de los datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.00752	0.000311	0.2186	0.00352	0.899	0.0172	1.6189	0.01499

Tabla (15)

## Sensor 1

-Comparando la entropía espectral en este caso con respecto a la entropía espectral el caso de la estructura intacta se ve en este caso una gran disminución, pasa de 0.1201 a 0.00752

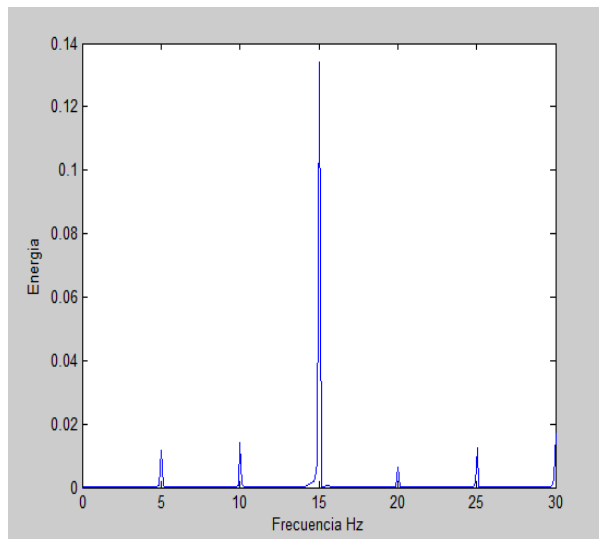
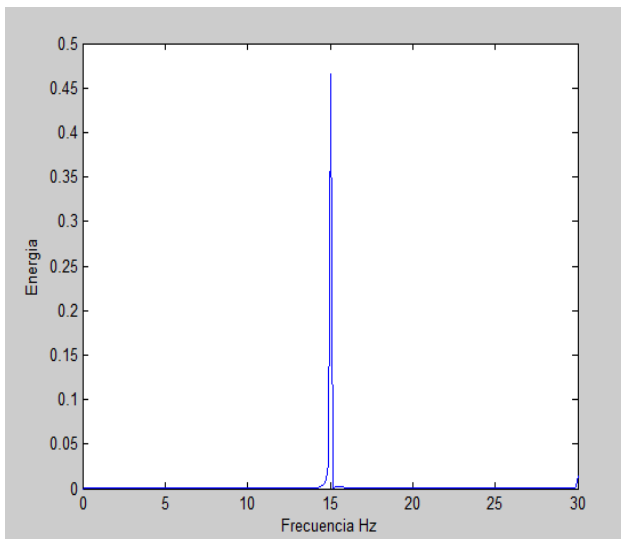
-La entropía aproximada también aumenta, pasa de 0.1948 a 0.2186.

En ambos casos observamos que hay un grado de desorden.

- Gráficas

### Sensor 1

### Sensor 2



Gráfica (31)

Gráfica (32)

En cuanto al sensor 1, en ambos caso tanto en la estructura intacta como en este caso las gráficas son muy similares.

En el sensor 2, la gráfica (32) vemos 5 picos en el cual la energía está concentrada en la frecuencia 15Hz, sin embargo en la estructura intacta solo hay in pico en la frecuencia 15Hz, este es un buen ejemplo donde podemos ver el grado de desorden de un caso a otro.

## Caso 5: Estructura quitando la diagonal6

### ➤ Frecuencia 3 Hz

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.11586	0.0173	0.2353	0.0111	0.1336	0.0199	1.2611	0.03197

Tabla (16)

#### Sensor 1

- La entropía espectral en la estructura intacta y en esta se pueden considerar iguales.
- La entropía aproximada aumenta con respecto a la entropía de la estructura intacta, pasa de 0.189 a 0.2353 en este caso.

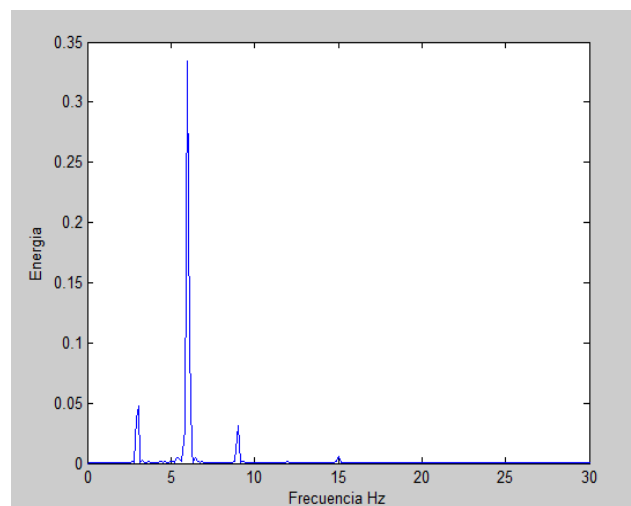
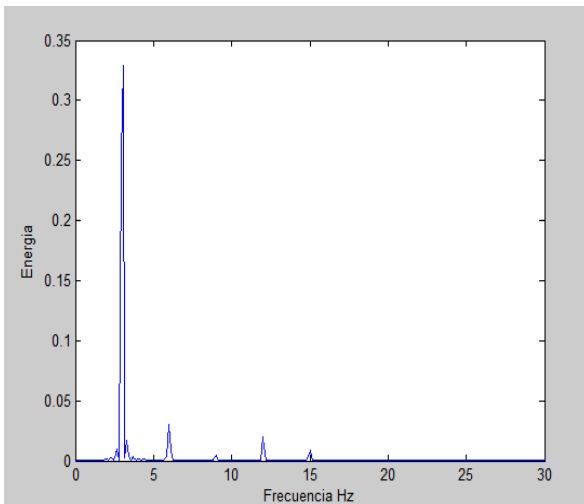
#### Sensor 2

- Tanto la entropía espectral como la entropía aproximada aumentan.

- Gráficas

#### Sensor 1

#### sensor 2



Gráfica (33)

Gráfica (34)

Comparando las gráficas del Sensor1, en el caso de la estructura intacta y en este, soy muy similares, Sin embargo, en el sensor 2 si se aprecia un cambio en la concentración de sus picos.

➤ **Frecuencia 6 Hz**

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
<b>0.5309</b>	<b>0.1607</b>	<b>0.4418</b>	<b>0.0501</b>	<b>0.00938</b>	<b>0.00462</b>	<b>1.0373</b>	<b>0.1053</b>

Tabla (17)

**Sensor 1**

-Nos encontramos en este caso que la entropía espectral disminuye en este caso, pasa de 0.9037 en el caso de la estructura intacta a 0.5309 en este.

-En cuanto a la entropía aproximada, las podemos considerar iguales.

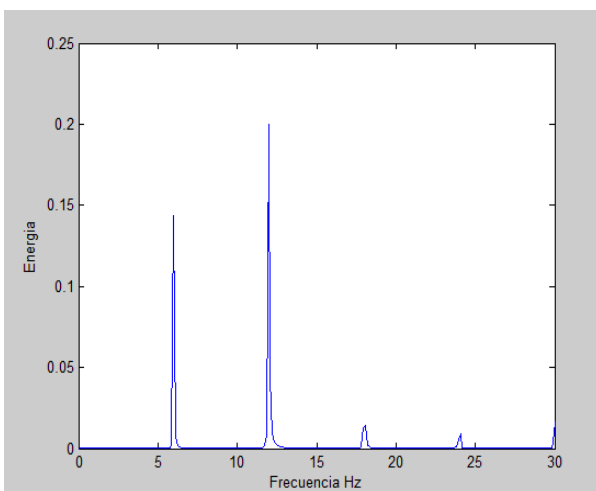
**Sensor 2**

-La entropía espectral disminuye considerablemente, pasa de 0.0456 en el caso 1 a 0.00938 en este caso.

-La entropía aproximada se pueden considerar similares.

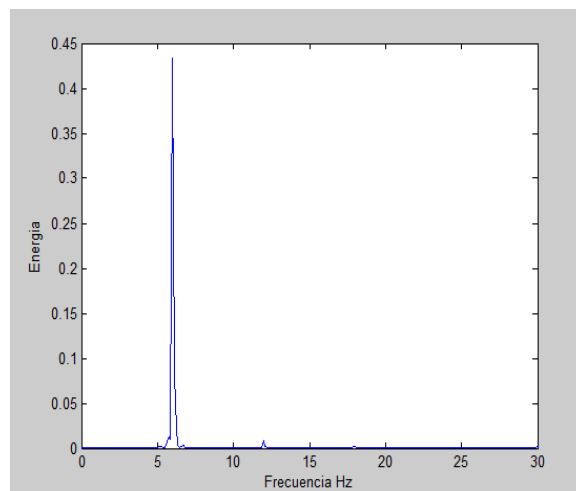
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (35)

**Sensor 2**



Gráfica (36)

Comparando las gráficas de la estructura intacta a esta, vemos que en el sensor 1 hay un cambio en la concentración de la energía, sin embargo, en el sensor 2 se podrían considerar que son muy parecidas.

➤ **Frecuencia 10 Hz**

- Resumen de datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.03062	0.00173	0.3479	0.00308	0.1221	0.0214	1.579	0.0404

Tabla (18)

Comparando los resultados obtenidos en esta tabla (18) con los obtenidos en la tabla (3) del caso 1 tenemos:

**Sensor 1**

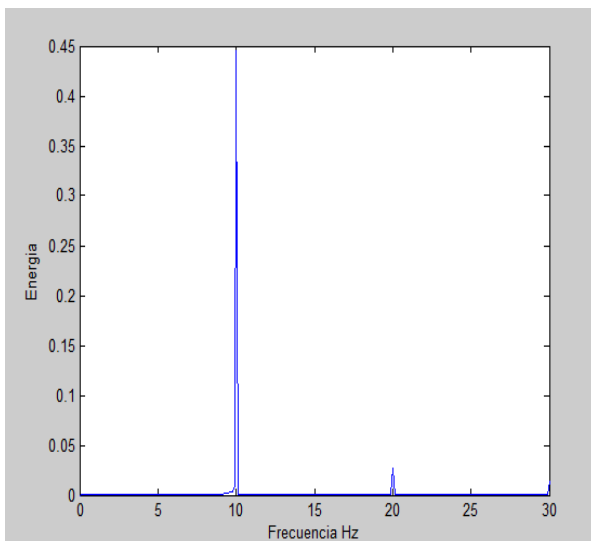
-En cuanto a la entropía espectral disminuye, pasa de 0.1134 en el caso 1 a .03062 en este caso y la entropía aproximada aumenta con respecto al caso 1 de 0.2712 a 0.3479.

**Sensor 2**

-Tanto la entropía espectral como la entropía aproximada disminuyen su valor con respecto al caso 1.

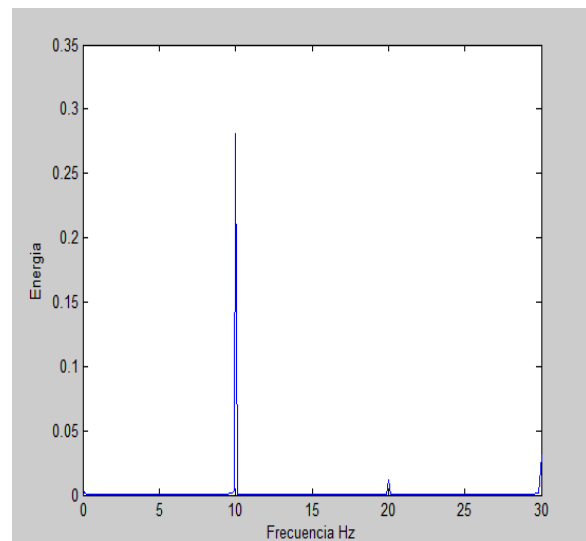
- Gráficas :

**Sensor 1**



Gráfica (37)

**Sensor 2**



Gráfica (38)

Tanto las gráficas del caso 1 como las de este caso son muy similares.

➤ **Frecuencia 15 Hz**

- Resumen de los datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.01386	0.00112	0.299	0.00763	0.3601	0.1532	1.6361	0.0407

Tabla (19)

**Sensor 1**

-La entropía espectral disminuye con respecto a la entropía espectral del caso 1, pasa de 0.1201 a 0.01389, esto es por el daño sufrido.

-En la entropía aproximada aumenta su valor de 0.1948 en el caso 1 a 0.299.

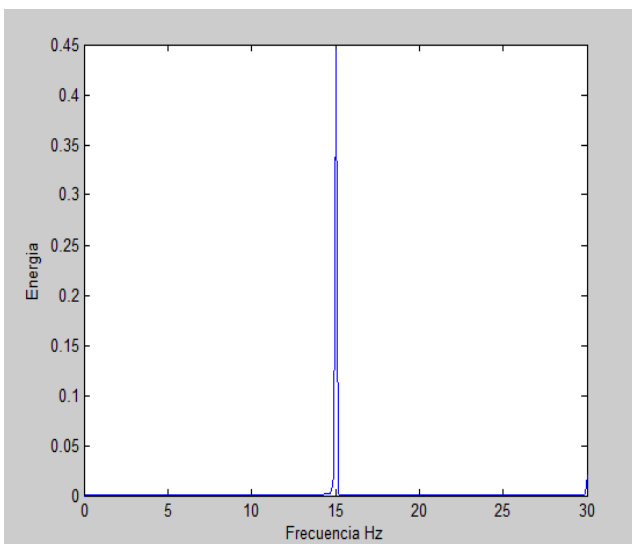
**Sensor 2**

-La entropía espectral disminuye con respecto al caso 1, pasa de 0.761 a 0.3601.

-La entropía aproximada aumenta, pasa de 1.597 en el caso 1 a 1.6361 en este caso.

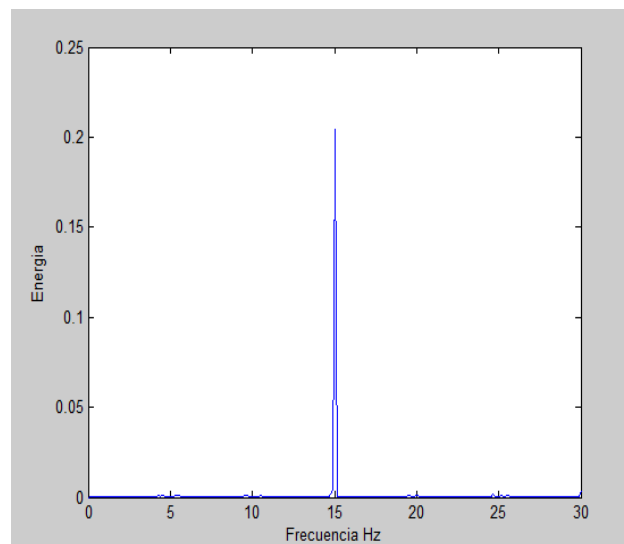
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (39)

**sensor 2**



Gráfica (40)

En cuanto a las gráficas del caso 1 a este, tanto en el sensor 1 como en el sensor 2 son muy parecidas.

## Caso 6: Estructura quitando los pilares centrales

### ➤ Frecuencia 3 Hz

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.11586	0.0173	0.2353	0.0111	0.1336	0.0199	1.2611	0.03197

Tabla (20)

Comparando los datos obtenidos en este caso con respecto al caso de la estructura intacta tenemos:

#### Sensor 1

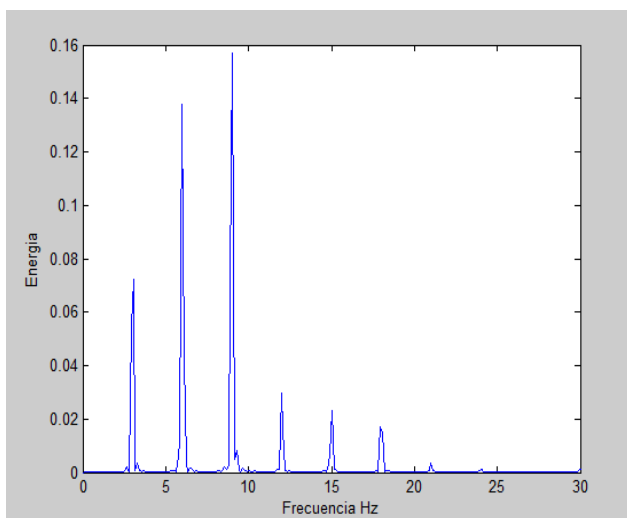
- La entropía espectral se podría considerar iguales.
- La entropía aproximada ha aumentado du valor de 0.189 en el caso 1 a0.2353 en este caso.

#### Sensor 2

- La entropía espectral ha aumentado su valor de 0.965 en el caso 1 a 0.1336 en este caso.

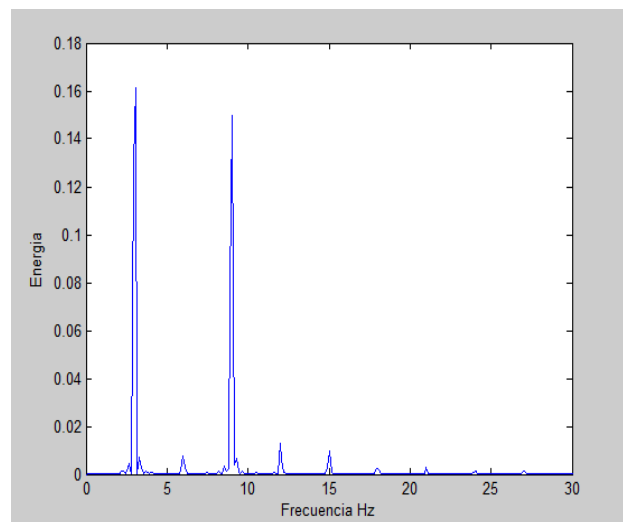
- Gráficas

#### Sensor 1



Gráfica (41)

#### Sensor 2



Gráfica (42)

Comparando las gráficas obtenidas en este caso con respecto al caso 1(estructura intacta) tenemos:

Sensor 1

En la gráfica (41) vemos un importante aumento de picos, este es un buen ejemplo para observar el grado de desorden ocurrido por el daño.

Sensor 2

En la gráfica (42) observamos que el número de picos también aumenta y la concentración de la energía es diferente

➤ **Frecuencia 6 Hz**

- Resumen de datos

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.5627	0.0316	0.4236	0.0294	0.01334	0.0079	1.1936	0.259

Tabla (21)

Comparando los datos obtenidos en este caso y comparándolos con el caso 1 tenemos:

Sensor 1

-El valor de la entropía ha disminuido de 0.9037 a 0.5627.

-La entropía aproximada sin embargo se puede considerar igual, teniendo en cuenta el parámetro de dispersión.

Sensor 2

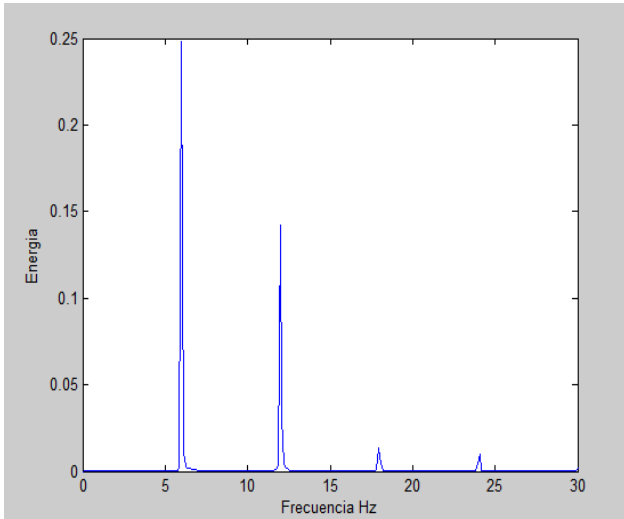
-La entropía espectral también ha disminuido en este sensor, pasa de 0.0456 a 0.01334.

-La entropía aproximada se puede considerar casi igual.

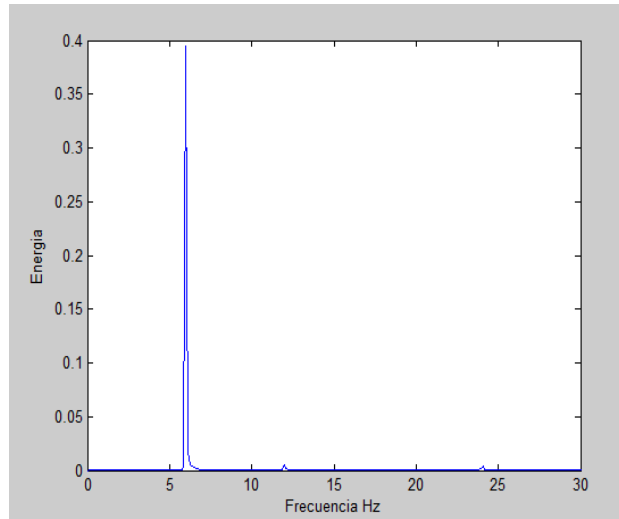


- Gráficas

**Sensor 1**



**Sensor 2**



Gráfica (43)

Gráfica (44)

Comparando estas gráficas con las del caso 1 tenemos:

Sensor 1

Observamos que en la gráfica (43) la energía está concentrada en la frecuencia 6Hz y la amplitud es mayor que en la gráfica (3)

Sensor 2

Son muy similares pero en la gráfica (44) el pico tiene menos energía.

➤ **Frecuencia 10 Hz**

- Resumen de datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.00648	0.00739	0.22814	0.0139	0.22058	0.0649	1.597	0.0425

Tabla (22)

Comparando los datos obtenidos en este caso con los del caso 1 tenemos:

### Sensor 1

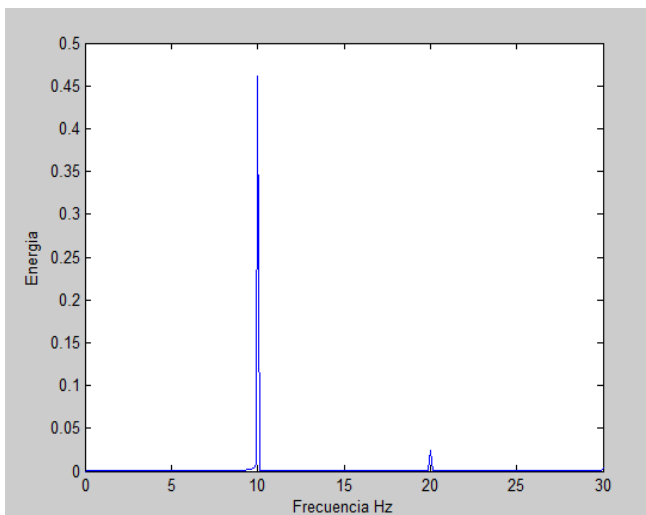
- La entropía espectral disminuye, pasa de 0.1134 a 0.00648.
  - La entropía aproximada también disminuye, pasa de 0.2712 a 0.22814.
- En este caso se refleja el daño bajando los valores de las entropías.

### Sensor2

- La entropía espectral disminuye de 0.6404 a 0.2205.
  - La entropía aproximada también disminuye de 1.658 a 1.597.
- En ambos casos también observamos que el daño sufrido se refleja bajando los valores.

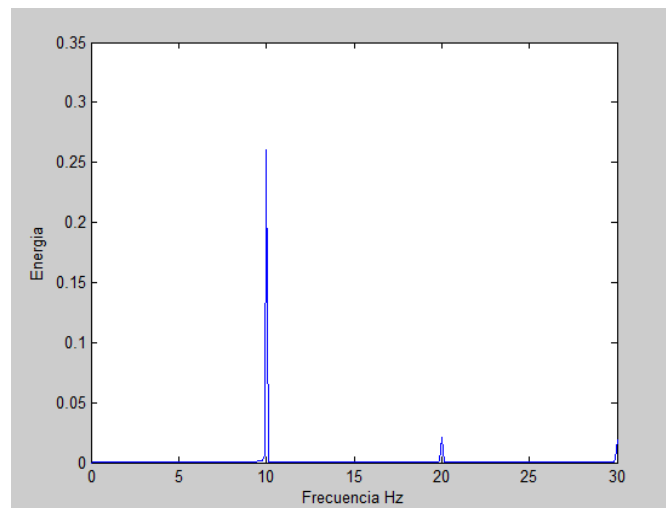
- Gráficas :

### Sensor 1



Gráfica (45)

### Sensor 2



Gráfica (46)

Comparando estas gráficas con las gráficas del caso 1 tenemos que en ambos sensores son muy similares las gráficas.

- **Frecuencia 15 Hz**
- Resumen de los datos:

Sensor 1				Sensor 2			
Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
0.01624	0.0353	0.1921	0.0060	0.2533	0.0851	1.68188	0.0339

Tabla (23)

Comparando la tabla (23) con la tabla (4) del caso 1 observamos:

Sensor1

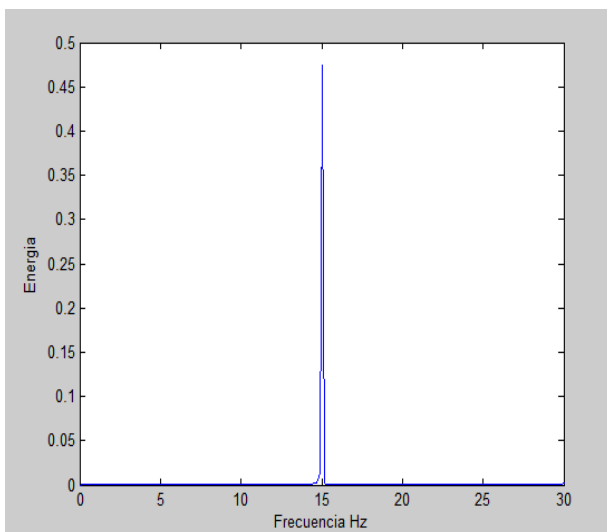
- La entropía espectral ha disminuido de 0.1201 a 0.01624.
- La entropía aproximada se puede considerar que son iguales.

Sensor 2

- La entropía espectral también ha disminuido en este sensor, pasa de 0.761 a 0.2533.
- La entropía aproximada ha aumentado, pasa de 1.597 a 1.6818.

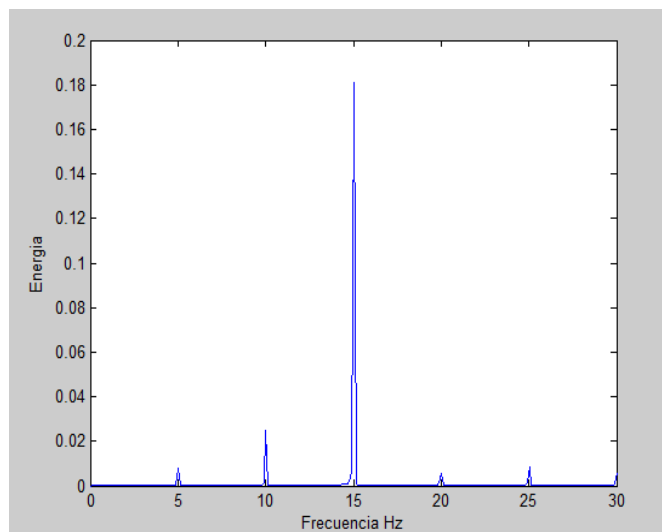
- Gráficas

**Sensor 1**



Gráfica (47)

**Sensor 2**



Gráfica (48)

Comparando estas gráficas con las gráficas del caso 1 tenemos:

En el sensor 1 las gráficas son muy similares, sin embargo en el sensor 2, vemos como el número de picos ha aumentado, esto se debe a que hay un mayor grado de desorden.

### 3.2.2 Análisis de daño.

Para analizar mejor los datos vamos a poner los gráficos por frecuencias y todos los casos, analizaremos los datos comparando los resultados obtenidos en cada caso con respecto a los datos obtenidos en la estructura intacta.

Según el funcionamiento de este tipo de estructuras tipo Warren con montantes intercalados y aplicando este criterio a nuestro modelo puente podríamos deducir cuales son los casos más desfavorables de antemano y ordenarlo según nuestro criterio.

En teoría la peor situación es el la que quitamos las diagonales ya que son las que evitan los movimientos horizontales y los pilares recogen las cargas y las transmiten, tenemos que tener en cuenta que no hemos puesto cargas adicionales, vamos a ordenarlo según consideremos y luego veremos si este criterio es similar al que obtenemos en los resultados o no.

La peor situación o escenario estaría en los casos en los que quitamos las dos diagonales 3 y 4 y la diagonal 6.

El siguiente peor escenario estaría en los casos en los que quitamos las diagonales 3 y la diagonal 4.

El siguiente escenario sería es en que quitamos los pilares céntricos.

Frecuencia 3Hz	Sensor 1				Sensor 2			
	Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
<b>Caso 1</b> Estructura intacta	<b>0,109</b>	<b>0,055</b>	<b>0,189</b>	<b>0,014</b>	<b>0,965</b>	<b>0.09</b>	<b>1.223</b>	<b>0.041</b>
<b>Caso 2</b> Quitando diagonal 3	<b>0,480</b>	<b>0,037</b>	<b>0.339</b>	<b>0,011</b>	<b>0.598</b>	<b>0.033</b>	<b>1.418</b>	<b>0.017</b>
<b>Caso3</b> Quitando diagonal4	<b>0.309</b>	<b>0.0897</b>	<b>0.347</b>	<b>0.008</b>	<b>0.626</b>	<b>0.106</b>	<b>1.497</b>	<b>0.050</b>
<b>Caso 4</b> Quitando diagonal3y4	<b>0,479</b>	<b>0.0334</b>	<b>0.340</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.441</b>	<b>0.0548</b>	<b>1.565</b>	<b>0.0605</b>
<b>Caso 5</b> Quitando diagonal 6	<b>0.11586</b>	<b>0.0173</b>	<b>0.2353</b>	<b>0.0111</b>	<b>0.1336</b>	<b>0.0199</b>	<b>1.2611</b>	<b>0.03197</b>
<b>Caso 6</b> Quitando pilares céntricos	<b>1.0338</b>	<b>0.06504</b>	<b>0.3566</b>	<b>0.00758</b>	<b>0.7604</b>	<b>0.02099</b>	<b>1.4109</b>	<b>0.0248</b>

- **Frecuencia 3 Hz**

Vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 1 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral tenemos:

Observando los indicadores el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 6, caso 2, caso 4 y por último el caso 3, con respecto al caso 5 se puede considerar que el valor es igual al caso 1 teniendo en cuenta el parámetro de dispersión.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los indicadores el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 6, caso 3, caso 4, caso 2 y por último el caso 5.

En ambos casos observamos que el caso más desfavorable es el caso 6 (quitando los pilares céntricos).

Ahora vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 2 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral.

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 5, caso 4, caso 2, caso 3 y por último el caso 6.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 4, caso 3, caso 2, caso 6 y por último el caso 5 donde el valor es muy cercano al de la estructura intacta.

En este sensor podría decirse que la peor situación es la 4 (quitando las diagonales 3 y 4)

▪ Frecuencia 6Hz

Frecuencia 6Hz	Sensor 1				Sensor 2			
	Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
<b>Caso 1</b> Estructura intacta	<b>0.9037</b>	<b>0.3391</b>	<b>0.4041</b>	<b>0.0263</b>	<b>0.0456</b>	<b>0.0077</b>	<b>1.099</b>	<b>0.0245</b>
<b>Caso 2</b> Quitando diagonal 3	<b>0.79</b>	<b>0.1023</b>	<b>0.4474</b>	<b>0.0297</b>	<b>0.02814</b>	<b>0.00578</b>	<b>1.0416</b>	<b>0.0727</b>
<b>Caso3</b> Quitando diagonal 4	<b>0.4715</b>	<b>0.0126</b>	<b>0.3591</b>	<b>0.0061</b>	<b>0.0248</b>	<b>0.0035</b>	<b>1.0727</b>	<b>0.03432</b>
<b>Caso 4</b> Quitando diagonal 3y4	<b>0.59216</b>	<b>0.0649</b>	<b>0.4403</b>	<b>0.01301</b>	<b>0.02138</b>	<b>0.00376</b>	<b>1.0675</b>	<b>0.0404</b>
<b>Caso 5</b> Quitando diagonal 6	<b>0.5309</b>	<b>0.1607</b>	<b>0.4418</b>	<b>0.0501</b>	<b>0.00938</b>	<b>0.00462</b>	<b>1.0373</b>	<b>0.1053</b>
<b>Caso 6</b> Quitando pilares céntricos	<b>0.5627</b>	<b>0.0316</b>	<b>0.4236</b>	<b>0.0294</b>	<b>0.01334</b>	<b>0.0079</b>	<b>1.1936</b>	<b>0.259</b>

Vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 1 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 3, caso 5, caso 6, caso 4 y por último el caso 2.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 3, caso 2, caso5, caso 4 y por último el caso 6.

En ambos casos observamos que el caso más desfavorable es el caso 3 (quitando diagonal 4).

Ahora vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 2 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral.

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 5, caso 6, caso4, caso 3 y por último el caso 2.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 observamos que todos los valores de los casos teniendo en cuenta el parámetro de dispersión son iguales.

En este sensor podría decirse que la peor situación es la 5 (quitando la diagonal 6)

▪ **Frecuencia 10 Hz**

Frecuencia 10Hz	Sensor 1				Sensor 2			
	Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
<b>Caso 1</b> Estructura intacta	<b>0.1134</b>	<b>0.0486</b>	<b>0.2712</b>	<b>0.0121</b>	<b>0.6404</b>	<b>0.1779</b>	<b>1.658</b>	<b>0.087</b>
<b>Caso 2</b> Quitando diagonal 3	<b>0.07032</b>	<b>0.0971</b>	<b>0.2394</b>	<b>0.0082</b>	<b>0.875</b>	<b>0.2632</b>	<b>1.6714</b>	<b>0.1122</b>
<b>Caso3</b> Quitando diagonal 4	<b>0.022</b>	<b>0.00358</b>	<b>0.3042</b>	<b>0.01958</b>	<b>0.5106</b>	<b>0.3253</b>	<b>1.6832</b>	<b>0.0899</b>
<b>Caso 4</b> Quitando diagonal 3y4	<b>0.00766</b>	<b>0.000585</b>	<b>0.32046</b>	<b>0.01986</b>	<b>0.922</b>	<b>0.02213</b>	<b>1.6352</b>	<b>0.0317</b>
<b>Caso 5</b> Quitando diagonal 6	<b>0.03062</b>	<b>0.00173</b>	<b>0.3479</b>	<b>0.00308</b>	<b>0.1221</b>	<b>0.0214</b>	<b>1.579</b>	<b>0.0404</b>
<b>Caso 6</b> Quitando pilares céntricos	<b>0.00648</b>	<b>0.00739</b>	<b>0.22814</b>	<b>0.0139</b>	<b>0.22058</b>	<b>0.0649</b>	<b>1.597</b>	<b>0.0425</b>

Vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 1 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 5, caso 6, caso 4, caso 3 y por último el caso 2.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los indicadores el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 5, caso 4, caso6, caso 3 y por último el caso 2.

En ambos casos observamos que el caso más desfavorable es el caso 5 (quitando la diagonal 6).

Ahora vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 2 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral.

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 5, caso 6, caso4 y en cuanto al caso2 y el caso 3 podemos considerar sus valores iguales al caso 1.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 5, caso 6, caso2, en cuanto al caso 3 y el caso 4 tenemos que sus valores se pueden considerar iguales al caso 1 teniendo en cuenta la dispersión .

En este sensor podría decirse que la peor situación es la 5 (quitando la diagonal 6)

▪ **Frecuencia 15Hz**

Frecuencia 15Hz	Sensor 1				Sensor 2			
	Entropía espectral		Entropía aproximada		Entropía espectral		Entropía aproximada	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
<b>Caso 1</b> Estructura intacta	<b>0.1201</b>	<b>0.00606</b>	<b>0.1948</b>	<b>0.0094</b>	<b>0.761</b>	<b>0.0147</b>	<b>1.597</b>	<b>0.111</b>
<b>Caso 2</b> Quitando diagonal 3	<b>0.0332</b>	<b>0.00728</b>	<b>0.2149</b>	<b>0.00564</b>	<b>0.715</b>	<b>0.1099</b>	<b>1.6258</b>	<b>0.0527</b>
<b>Caso3</b> Quitando diagonal 4	<b>0.0343</b>	<b>0.00088</b>	<b>0.1795</b>	<b>0.00364</b>	<b>0.9818</b>	<b>0.0967</b>	<b>1.7299</b>	<b>0.02184</b>
<b>Caso 4</b> Quitando diagonal 3y4	<b>0.0075</b>	<b>0.000311</b>	<b>0.2186</b>	<b>0.00352</b>	<b>0.899</b>	<b>0.0172</b>	<b>1.6189</b>	<b>0.01499</b>
<b>Caso 5</b> Quitando diagonal 6	<b>0.0138</b>	<b>0.00112</b>	<b>0.299</b>	<b>0.00763</b>	<b>0.3601</b>	<b>0.1532</b>	<b>1.6361</b>	<b>0.0407</b>
<b>Caso 6</b> Quitando pilares céntricos	<b>0.0162</b>	<b>0.0353</b>	<b>0.1921</b>	<b>0.0060</b>	<b>0.2533</b>	<b>0.0851</b>	<b>1.6818</b>	<b>0.0339</b>



Vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 1 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 4, caso 5, caso 6, caso 2 y por último el caso 3.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los indicadores el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 5, caso 4, caso 2, caso 3 y por último el caso 6.

En ambos casos observamos que los casos más desfavorables son el caso 5 (quitando la diagonal 6) y el caso 4 (quitando diagonales 3 y 4)

Ahora vamos a analizar los datos obtenidos en el sensor 2 con respecto a la estructura intacta:

En cuanto a la entropía espectral.

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 6, caso 5, caso 3 y el caso 4, en cuanto al caso 2 podemos considerar su valor igual al caso 1.

En cuanto a la entropía aproximada tenemos:

Observando los datos el caso que tiene los valores más altos con respecto al caso 1 poniéndolos en orden son el caso 6, caso 3, caso 2 y el caso 4, en el caso 5 tenemos que su valor se pueden considerar igual al caso 1 teniendo en cuenta la dispersión.

En este sensor podría decirse que la peor situación es la 6 (quitando pilares céntricos)

### 3.3 Conclusión

Teniendo en cuenta que para el procedimiento experimental lo planteamos con cuidado para obtener la información deseada y evitar los errores de medición, ya que es fundamental a la hora de analizar los datos.

Como ya he explicado en el punto 3.2 el funcionamiento de este tipo de estructuras es tipo Warren con montantes intercalados, hemos aplicado este criterio a nuestro modelo puente (estructura articulada en celosía) con lo cual, podríamos deducir cuales son los casos más desfavorables de antemano o suponerlos, claro está que para saberlo con seguridad tendríamos que tener en cuenta algunos parámetros que no hemos considerado, así que para nuestros cálculos hemos supuesto que la estructura está en equilibrio. Teniendo en cuenta esto y que la finalidad de este experimento es comprobar la respuesta de daño en el modelo puente, es decir, si con los datos obtenidos por los sensores aplicando determinadas frecuencias en la respuesta obtenida y procesada se reflejaba daño.

La peor situación es la que quitamos las diagonales ya que son las que evitan los movimientos horizontales y los pilares recogen las cargas y las transmiten, vamos a ordenarlo según consideremos y luego veremos si este criterio es correcto o no.

- El peor escenario estaría en los casos en los que quitamos las dos diagonales 3 y 4 a la vez ya que están unidas en mismo nudos y la diagonal 6 ya que es la unión entre las vigas y el apoyo.
- El siguiente peor escenario estaría en los casos en los que quitamos las diagonales 3 y la diagonal 4.
- El siguiente escenario sería es en que quitamos los pilares céntricos.

A continuación haremos un pequeño resumen en el cual encontraremos para cada frecuencia y sus dos sensores de fuerza unas tablas tanto para la entropía espectral como para la entropía aproximada, en las cuales están ordenados los casos de mayor daño a menor según los datos obtenidos, así como los casos ordenados según nuestro criterio, para así compararlos y ver qué sensores y parámetros reflejan mejor el daño.

Estos son los casos que se han estudiado:

Caso 1: estructura intacta

Caso 2: quitando diagonal 3

Caso 3: quitando diagonal 4

Caso 4: quitando diagonal 3 y 4

Caso 5: quitando diagonal 6

Caso 6: quitando pilares céntricos

➤ **Frecuencia 3Hz**

Sensor 1

Entropía espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 6: Quitando pilares céntricos	Caso 6: Quitando pilares céntricos	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 3 Quitando diagonal 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 3 Quitando diagonal 4	Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 6:Quitando pilares céntricos

Sensor 2

Entropía espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 6:Quitando pilares céntricos

Basándonos en que nuestro criterio a priori es correcto, en esta frecuencia entre estos dos sensores el que más se asemeja a nuestro supuesto es el sensor 2 en el parámetro de la entropía espectral.

➤ **Frecuencia 6Hz**

Sensor 1

espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 6:Quitando pilares céntricos

Sensor 2

Entropía espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 5: quitando diagonal 6	Todos los valores se pueden considerar iguales al caso 1	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 6:Quitando pilares céntricos		Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4		Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 3:Quitando diagonal 4		Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 2: Quitando diagonal 3		Caso 6:Quitando pilares céntricos

En este caso se observa que el daño no se refleja, además de que los datos obtenidos en los casos son muy similares a los valores obtenidos en la estructura intacta.

➤ **Frecuencia 10Hz**

Sensor 1

Entropía espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 6:Quitando pilares céntricos

Sensor 2

Entropía espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 6:Quitando pilares céntricos

En esta frecuencia observamos que los casos en ambos sensores tanto el parámetro de la entropía espectral como la entropía aproximada son similares, además, de que se asemeja la detección de daño con los planteados objetivamente exceptuando el caso 6, que como podemos observar en las tablas de los datos obtenidos nos dice que es un caso bastante desfavorable y en nuestro planteamiento es el caso más favorable.

➤ **Frecuencia 15Hz**

Sensor 1

Entropía espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 6: Quitando pilares céntricos	Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 3: Quitando diagonal 4	Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 6:Quitando pilares céntricos

Sensor 2

Entropía espectral	Entropía aproximada	Casos ordenados objetivamente
Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 6:Quitando pilares céntricos	Caso 5: quitando diagonal 6
Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4
Caso 3:Quitando diagonal 4	Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 2: Quitando diagonal 3
Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 4: quitando diagonal 3 y 4	Caso 3:Quitando diagonal 4
Caso 2: Quitando diagonal 3	Caso 5: quitando diagonal 6	Caso 6:Quitando pilares céntricos

En esta frecuencia donde mejor se detecta el daño es en el sensor 1, en la entropía aproximada.

Según el análisis de las tablas anteriores podemos deducir que la frecuencia en la que mejor se detecta el daño es en la frecuencia 10Hz ya que la respuesta de daño obtenida y el supuesto es el que más se asemeja, podemos concluir que es una buena frecuencia para detectar el daño.

En cuanto a los sensores el que mejor refleja el daño es el sensor 1 ya que el sensor 2 nos ha proporcionado datos muy similares a los valores del caso 1(estructura intacta), con lo cual no podemos hacer comparativas en dichos casos, aun así estudiando todos los casos hay frecuencias en las que este sensor sí detecta bien el daño.

En cuanto a los parámetros el mejor es la entropía espectral, ya que en casi todas las frecuencias ha sido el que mejor detectaba el daño, en cambio, en la entropía aproximada hemos tenidos casos en los cuales no hemos obtenido daño teniendo en cuenta la dispersión ya que sus valores eran muy similares al caso de la estructura intacta.

Podríamos decir que nuestro supuesto es correcto a excepción del caso 6 (quitando pilares céntricos) ya que los datos obtenidos nos muestran que es un escenario bastante malo y nosotros habíamos predicho que era de todos los casos el mejor escenario.

Según lo anterior el análisis de las respuestas obtenidas mediante el método de vibraciones con la entropía espectral y la entropía aproximada es un buen método para evaluar la condición en la que está este tipo de estructuras ya que con el análisis de los parámetros se puede observar las variaciones que obtenemos de la estructura con daño y sin daño, aunque lo aconsejable sería hacer el análisis con más casos y más frecuencias para obtener poder corroborar mejor los datos.

#### 4. Anexo 1

Como se explica en el capítulo 3 Los siguientes datos son los que hemos obtenido analizado el modelo puente, cada caso lo hemos analizado 5 veces para que los datos fueses más fiables y hemos aplicado diferentes frecuencias ( 3Hz,6Hz,10Hz,15Hz).

Los casos son: la estructura intacta, la estructura quitando la diagonal 3, la estructura quitando la diagonal4,la estructura quitando la diagonal 3 y 4, la estructura quitando los dos montantes, la estructura quitando la viga 6.

#### caso 1: Estructura intacta

##### ➤ Frecuencia (Hz) 3 Hz

Datos obtenidos con el sensor 1:

1	Frecuencia (Hz)	2,9326	5,8651	3,6657	9,042	1,955	15,1515	4,1544
	Amplitud	0,3911	0,0219	0,0139	0,0071	0,0071	0,0055	0,0044
	Entropía espectral	0,0528						
	Entropía aproximada	0,1789						
2	Frecuencia (Hz)	2,9326	6,1095	9,042	3,6657	1,995	11,9746	19,0841
	Amplitud	0,03	0,03	0,0104	0,0104	0,0061	0,0042	0,0039
	Entropía espectral	0,0573						
	Entropía aproximada	0,1787						
3	Frecuencia (Hz)	2,9326	9,042	6,1095	11,9746	2,1994	4,6432	18,0841
	Amplitud	0,0347	0,0347	0,0287	0,0039	0,0031	0,0029	0,0023
	Entropía espectral	0,1073						
	Entropía aproximada	0,1824						
4	Frecuencia (Hz)	2,9326	9,042	6,1095	11,9746	2,1994	4,1544	9,5308
	Amplitud	0,3372	0,0472	0,0316	0,0071	0,0067	0,0025	0,0019
	Entropía espectral	0,1513						
	Entropía aproximada	0,1925						
5	Frecuencia (Hz)	2,9326	9,0420	6,1095	11,9746	1,9550	18,0841	0,2444
	Amplitud	0,3172	0,0513	0,0326	0,0059	0,0026	0,0013	0,0011
	Entropía espectral	0,178						
	Entropía aproximada	0,2133						

Datos obtenidos con el sensor 2:

1	Frecuencia (Hz) (Hz)	9,052	6,1095	2,9326	5,3763	6,5982	8,3089	3,6657
	Amplitud	0,1392	0,1115	0,1081	0,0088	0,0061	0,004	0,0035
	Entropía espectral	1,0935						
	Entropía aproximada	1,2856						
3	Frecuencia (Hz) (Hz)	9,042	2,9326	6,1095	10,0196	4,8876	11,9746	44,9658
	Amplitud	0,1614	0,1045	0,0864	0,0025	0,0022	0,0016	0,0014
	Entropía espectral	0,9611						
	Entropía aproximada	1,1982						
4	Frecuencia (Hz)	9,042	2,9326	6,1095	9,5308	2,1994	18,0841	5,132
	Amplitud	0,1935	0,111	0,0802	0,0059	0,0036	0,0027	0,0025
	Entropía espectral	0,9226						
	Entropía aproximada	1,1989						
5	Frecuencia (Hz)	9,042	2,9326	6,1095	60,1173	18,0841	10,0196	11,9746
	Amplitud	0,1789	0,1126	0,076	0,002	0,0016	0,0014	0,0014
	Entropía espectral	0,8861						
	Entropía aproximada	1,2102						

➤ **Frecuencia (Hz) 6 HZ**

Datos obtenidos con el sensor 1:

1	Frecuencia (Hz)	11,9687	24,0596	5,9844	18,0752	12,3351	30,044	12,57994
	Amplitud	0,2746	0,0594	0,0514	0,0488	0,0157	0,0078	0,0047
	Entropía espectral	0,4663						
	Entropía aproximada	0,4178						
2								



3	Frecuencia (Hz)	11,9687	17,9531	5,9844	24,0596	30,044	12,3351	36,0283
	Amplitud	0,2181	0,1019	0,0612	0,0418	0,0114	0,0114	0,006
	Entropía espectral	0,8085						
	Entropía aproximada	0,4279						
4	Frecuencia (Hz)	11,9687	17,9531	5,9844	24,0596	30,044	12,3351	11,6023
	Amplitud	0,1629	0,1393	0,0882	0,0426	0,0105	0,0082	0,0058
	Entropía espectral	1,1321						
	Entropía aproximada	0,4033						
5	Frecuencia (Hz)	11,9687	17,9531	5,9844	24,0596	30,044	12,3351	6,3508
	Amplitud	0,1428	0,1368	0,1077	0,0431	0,0092	0,0078	0,005
	Entropía espectral	1,2079						
	Entropía aproximada	0,3676						
5	Frecuencia (Hz)	17,9531	5,9844	11,9687	24,0596	30,044	6,3508	12,3351
	Amplitud	0,1148	0,1322	0,1111	0,0429	0,0096	0,0051	0,005
	Entropía espectral	1,208						
	Entropía aproximada							

Datos obtenidos con el sensor 2:

1	Frecuencia (Hz)	5,9844	6,3508	5,618	11,9687	24,0596	6,595	42,0127
	Amplitud	0,4114	0,0181	0,0124	0,0121	0,0077	0,0063	0,0056
	Entropía espectral	0,0353						
	Entropía aproximada	1,1131						
2	Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	6,3508	11,9687	5,618	24,0596	47,9971
	Amplitud	0,4055	0,0223	0,0144	0,01334	0,0092	0,0056	0,0046
	Entropía espectral	0,0459						
	Entropía aproximada	1,1043						
3	Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	6,3508	5,618	11,9687	6,595	5,3737
	Amplitud	0,4089	0,0234	0,0183	0,0153	0,0105	0,0067	0,0055
	Entropía espectral	0,0563						
	Entropía aproximada	1,0955						

4	Frecuencia (Hz)	5,9844	6,3508	5,618	59,9658	11,9687	6,595	5,3737
	Amplitud	0,4211	0,02	0,0161	0,0154	0,0122	0,0078	0,0056
	Entropía espectral	0,0486						
	Entropía aproximada	1,0593						
5	Frecuencia (Hz)	5,9844	6,3508	59,9658	11,9687	5,618	6,595	24,0596
	Amplitud	0,422	0,0193	0,0136	0,013	0,0129	0,0064	0,0064
	Entropía espectral	0,0422						
	Entropía aproximada	1,1233						

➤ **Frecuencia (Hz) 10 Hz**

Datos obtenidos del sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,6483	10,381	30,044	9,404	10,6253
	Amplitud	0,4093	0,0748	0,0171	0,0147	0,0081	0,0059	0,0049
	Entropía espectral	0,1707						
	Entropía aproximada	0,2713						
2	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,6483	10,381	30,044	9,404	10,6253
	Amplitud	0,4175	0,0638	0,0164	0,0158	0,0061	0,0056	0,0052
	Entropía espectral	0,1353						
	Entropía aproximada	0,2578						
3	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,6483	10,381	30,044	9,404	10,6253
	Amplitud	0,4297	0,056	0,0193	0,017	0,007	0,0066	0,0059
	Entropía espectral	0,1168						
	Entropía aproximada	0,291						
4	Frecuencia	10,0147	20,0293	9,6483	10,381	30,044	10,6253	9,404

5	(Hz)							
	Amplitud	0,4307	0,049	0,0196	0,019	0,0113	0,0062	0,0062
	Entropía espectral	0,1061						
	Entropía aproximada	0,2683						
	Frecuencia (Hz)	10,0196	20,0391	30,0587	50,0978	70,1369	40,0782	60,1173
	Amplitud	0,4497	0,0336	0,0092	0,0018	0,0004	0,0001	0,0001
	Entropía espectral	0,0383						
	Entropía aproximada	0,2679						

Datos obtenidos en el sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	49,9511	60,0879	30,044	40,0586	190,2785	160,1124
	Amplitud	0,1559	0,1075	0,0192	0,0148	0,0147	0,0089	0,0088
	Entropía espectral	0,7708						
	Entropía aproximada	1,7477						
2	Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	49,7069	59,9658	190,0342	90,0098	9,6483
	Amplitud	0,1724	0,1389	0,0144	0,0133	0,0101	0,01	0,0098
	Entropía espectral	0,755						
	Entropía aproximada	1,7179						
3	Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	60,0879	20,0293	9,6483	200,0489	10,381
	Amplitud	0,2044	0,13	0,0258	0,0168	0,009	0,0078	0,0074
	Entropía espectral	0,7057						
	Entropía aproximada	1,5818						
4	Frecuencia (Hz)							
	Amplitud							
	Entropía espectral							
	Entropía aproximada							

5	Frecuencia (Hz)	10,0147	49,9511	60,0879	20,0293	90,0098	10,381	190,0342
	Amplitud	0,2038	0,1049	0,0184	0,0144	0,0141	0,0135	0,0129
	Entropía espectral	0,6342						
	Entropía aproximada	1,6947						
	Frecuencia (Hz)	10,0196	50,0978	20,0391	70,1369	180,1075	190,1271	90,176
	Amplitud	0,2571	0,0614	0,0363	0,011	0,0106	0,0085	0,0082
	Entropía espectral	0,3366						
	Entropía aproximada	1,5506						

➤ **Frecuencia 15 Hz**

Datos obtenidos en el sensor 1:

1	Frecuencia (Hz)	15,022	14,6556	15,3884	30,044	14,4113	15,6326	14,1671
	Amplitud	0,4733	0,0232	0,0166	0,0143	0,0084	0,0062	0,0039
	Entropía espectral	0,0388						
	Entropía aproximada	0,1909						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	14,6556	30,044	15,3884	14,4113	15,7548	15,999
	Amplitud	0,4733	0,0192	0,0148	0,0107	0,0051	0,0034	0,0023
	Entropía espectral	0,0262						
	Entropía aproximada	0,1803						
3	Frecuencia (Hz)	15,022	14,6556	30,044	15,3884	14,4113	15,6326	14,1671
	Amplitud	0,4749	0,0205	0,0139	0,0133	0,0066	0,004	0,0029
	Entropía espectral	0,0298						
	Entropía aproximada	0,198						
4	Frecuencia (Hz)	15,022	14,6556	15,3884	30,044	14,1413	15,6326	14,1671

5	(Hz)							
	Amplitud	0,4746	0,0205	0,014	0,0137	0,0068	0,0041	0,0026
	Entropía espectral	0,0304						
	Entropía aproximada	0,2043						
	Frecuencia (Hz)	15,022	14,6556	30,044	15,3884	14,4113	15,7548	15,999
	Amplitud	0,4753	0,0176	0,014	0,0095	0,0041	0,0037	0,0024
	Entropía espectral	0,0225						
	Entropía aproximada	0,2006						

Datos obtenidos con el sensor 2:

1	Frecuencia (Hz)	15,022	44,9438	74,9878	195,0415	59,9858	155,105	210,0635
	Amplitud	0,1683	0,0473	0,0449	0,0359	0,0328	0,0106	0,0092
	Entropía espectral	0,7734						
	Entropía aproximada	1,7181						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	44,9438	74,9878	195,0415	59,9658	155,105	210,0635
	Amplitud	0,1683	0,0473	0,0449	0,0359	0,0328	0,0106	0,0092
	Entropía espectral	0,7734						
	Entropía aproximada	1,7181						
3	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	74,9878	195,0415	59,9658	185,149	180,0195
	Amplitud	0,1871	0,0563	0,0513	0,043	0,0188	0,0131	0,0093
	Entropía espectral	0,7416						
	Entropía aproximada	1,5142						
4	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	74,9878	195,0415	60,0879	185,149	14,6556
	Amplitud	0,1914	0,0652	0,0514	0,0455	0,0156	0,0139	0,009
	Entropía espectral	0,7678						

5

Entropía aproximada	1,4986						
Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	74,9878	195,0415	185,149	60,0879	14,6556
Amplitud	0,1915	0,0706	0,051	0,0353	0,0189	0,0132	0,0077
Entropía espectral	0,7491						
Entropía aproximada	1,5373						

### Caso 2: quitando diagonal 3

- Frecuencia 3 Hz

#### Datos obtenidos con el Sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	11,9687	2,6869	5,9844	18,0752	3,5418
	Amplitud	0,2709	0,1167	0,0164	0,0157	0,0083	0,0055	0,0051
	Entropía espectral	0,483						
	Entropía aproximada	0,3449						
2	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	11,9687	2,6869	5,9844	17,9531	15,022
	Amplitud	0,2696	0,1025	0,0184	0,0154	0,0142	0,0081	0,0059
	Entropía espectral	0,4478						
	Entropía aproximada	0,3558						
3	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	15,022	17,9531	3,2975
	Amplitud	0,237	0,0859	0,0267	0,0206	0,0096	0,0089	0,0061
	Entropía espectral	0,4762						
	Entropía aproximada	0,3377						
4	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	15,022	3,2975	17,9531
	Amplitud	0,2363	0,0933	0,0402	0,0148	0,0105	0,0067	0,0056
	Entropía espectral	0,5417						
	Entropía aproximada	0,326						
5	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	15,022	3,2975	17,9531
	Amplitud	Amplitud	0,0791	0,0356	0,0135	0,012	0,0079	0,0066
	Entropía espectral	0,4514						

Entropía aproximada	0,3353
---------------------	--------

Datos obtenidos con el sensor 2:

1	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	2,6869	15,022	17,9531	5,9844	45,066
	Amplitud	0,2204	0,112	0,0126	0,0064	0,0059	0,0055	0,0048
	Entropía espectral	0,5411						
	Entropía aproximada	1,3938						
2	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	3,2975	2,6869	51,0503	15,022	8,6712
	Amplitud	0,2096	0,1231	0,0126	0,0116	0,01	0,006	0,0055
	Entropía espectral	0,6213						
	Entropía aproximada	1,4144						
3	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	51,0503	15,022	3,2975	45,066
	Amplitud	0,1931	0,1118	0,0095	0,0089	0,0051	0,005	0,0049
	Entropía espectral	0,5987						
	Entropía aproximada	1,4409						
4	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	15,022	51,0503	3,2975	45,066
	Amplitud	0,191	0,1131	0,0113	0,0077	0,0073	0,0051	0,0045
	Entropía espectral	0,6131						
	Entropía aproximada	1,4165						

- **Frecuencia 6Hz**

Datos obtenidos con el Sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	47,9971	17,7088	59,9658
	Amplitud	0,1919	0,1123	0,101	0,0147	0,0066	0,0063	0,0056
	Entropía espectral	0,9632						
	Entropía aproximada	0,4858						
2	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	60,0879	47,9971	11,7245
	Amplitud	0,2185	0,1123	0,0765	0,0086	0,0058	0,0048	0,0031
	Entropía espectral	0,7819						
	Entropía aproximada	0,4734						
3	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	60,0879	24,0596	47,9971	11,7245
	Amplitud	0,229	0,1238	0,0597	0,0065	0,0059	0,0053	0,0048
	Entropía espectral	0,7206						
	Entropía aproximada	0,4275						
4	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9887	17,9531	59,9658	47,9971	11,7245	24,0596
	Amplitud	0,2299	0,1213	0,0587	0,0065	0,0057	0,0052	0,0052
	Entropía espectral	0,7074						
	Entropía aproximada	0,4251						
5	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	5,7401	59,9658	47,9971	24,0596
	Amplitud	0,2195	0,1235	0,0655	0,0104	0,0079	0,0061	0,0048
	Entropía espectral	0,7769						
	Entropía aproximada	0,4252						



Sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	5,9844	47,971	59,9658	6,4729	24,0596	5,3737	11,9687
	Amplitud	0,4071	0,0143	0,0134	0,0049	0,0046	0,0032	0,0025
	Entropía espectral	0,0218						
	Entropía aproximada	1,1542						
2	Frecuencia (Hz)	5,9844	5,7401	60,0879	47,9971	17,9531	6,595	42,0127
	Amplitud	0,0156	0,0156	0,0131	0,0068	0,004	0,0031	0,0029
	Entropía espectral	0,0228						
	Entropía aproximada	1,0682						
3	Frecuencia (Hz)	5,9844	5,7401	59,9658	47,9971	6,595	17,9531	41,0127
	Amplitud	0,4163	0,0179	0,0139	0,0103	0,0043	0,0041	0,0025
	Entropía espectral	0,0298						
	Entropía aproximada	1,025						
4	Frecuencia (Hz)	5,9844	5,4701	59,9658	47,9971	17,9531	6,595	42,0127
	Amplitud	0,4168	0,0192	0,0146	0,0088	0,0041	0,0036	0,0029
	Entropía espectral	0,0307						
	Entropía aproximada	0,9835						
5	Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	5,7401	47,9971	6,595	17,9531	42,0127
	Amplitud	0,4181	0,0196	0,019	0,0078	0,0037	0,0034	0,0032
	Entropía espectral	0,0356						
	Entropía aproximada	0,9773						

- **Frecuencia 10 HZ**

Datos obtenidos con el Sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,6483	10,381	9,404	30,044	10,9917
	Amplitud	0,4704	0,0195	0,0185	0,0126	0,0053	0,0035	0,0021
	Entropía espectral	0,032						
	Entropía aproximada	0,2337						
2	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	9,03376	30,044	10,9917
	Amplitud	0,4615	0,027	0,0041	0,0037	0,0016	0,0015	0,0012
	Entropía espectral	0,0247						
	Entropía aproximada	0,2309						
3	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	30,044	20,2736	9,0376
	Amplitud	0,4585	0,0293	0,0038	0,0029	0,0015	0,0014	0,0013
	Entropía espectral	0,0279						
	Entropía aproximada	0,2397						
4	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	30,044	20,2736	11,1138
	Amplitud	0,4616	0,0271	0,0037	0,003	0,002	0,0012	0,0012
	Entropía espectral	0,244						
	Entropía aproximada	0,2404						
5	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	30,044	10,6253	8,9155	20,2736
	Amplitud	0,4589	0,0259	0,0036	0,0026	0,0023	0,0012	0,0011
	Entropía espectral	0,023						
	Entropía aproximada	0,2524						

Datos obtenidos con el Sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	30,044	59,9658	20,0293	200,0489	9,6483
	Amplitud	0,2397	0,0673	0,0325	0,0238	0,0146	0,0143	0,0091
	Entropía espectral	0,4409						
	Entropía aproximada	1,4757						
2	Frecuencia (Hz)	50,0733	10,0147	20,0293	40,0586	59,9658	30,044	10,2589
	Amplitud	0,1201	0,0712	0,0449	0,0265	0,0243	0,0234	0,0069
	Entropía espectral	1,1394						
	Entropía aproximada	1,7122						
3	Frecuencia (Hz)	49,9511	10,0147	20,0293	59,9658	40,0586	160,1124	190,1563
	Amplitud	0,1429	0,1056	0,0291	0,02	0,0151	0,01	0,0064
	Entropía espectral	0,8718						
	Entropía aproximada	1,6849						
4	Frecuencia (Hz)	50,0733	10,0147	20,0293	60,0879	30,044	40,0586	45,066
	Amplitud	0,1344	0,0833	0,0308	0,0236	0,0189	0,0113	0,0093
	Entropía espectral	0,9169						
	Entropía aproximada	1,733						
5	Frecuencia (Hz)	50,0733	10,0147	20,0293	59,9658	30,044	45,066	5,0073
	Amplitud	0,117	0,1014	0,0292	0,0249	0,0156	0,0126	0,0112
	Entropía espectral	1,006						
	Entropía aproximada	1,7516						

- **Frecuencia 15Hz**

Datos obtenidos con el Sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	15,022	14,6556	30,044	15,3884	14,4113	15,6326	14,1671
	Amplitud	0,4689	0,022	0,0217	0,0173	0,0077	0,0056	0,0035
	Entropía espectral	0,0459						
	Entropía aproximada	0,207						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,4113	15,6326	14,0449	30,2882	16,1212
	Amplitud	0,4535	0,0315	0,0039	0,003	0,0014	0,0013	0,0011
	Entropía espectral	0,032						
	Entropía aproximada	0,2212						
3	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,5335	15,6326	14,0449	30,2882	15,999
	Amplitud	0,4555	0,0305	0,004	0,0037	0,0015	0,0014	0,0012
	Entropía espectral	0,0305						
	Entropía aproximada	0,2195						
4	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,4113	15,6326	14,0449	30,282	15,999
	Amplitud	0,4545	0,0305	0,0039	0,0034	0,0017	0,0013	0,001
	Entropía espectral	0,0303						
	Entropía aproximada	0,2138						
5	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,4113	15,6326	14,0449	30,2882	16,1212
	Amplitud	0,4571	0,0289	0,0039	0,0027	0,0013	0,0012	0,0011
	Entropía espectral	0,0274						
	Entropía aproximada	0,2132						

Datos obtenidos con el Sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	74,6545	185,149	30,044	14,6556	15,3884
	Amplitud	0,2285	0,0816	0,0464	0,0212	0,0115	0,011	0,0098
	Entropía espectral	0,5709						
	Entropía aproximada	1,5657						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	74,9878	5,0073	30,044	50,0733	10,0147
	Amplitud	0,1692	0,0488	0,0327	0,0249	0,0197	0,0156	0,0146
	Entropía espectral	0,6255						
	Entropía aproximada	1,6797						
3	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	74,9878	30,044	185,149	170,127	5,0073
	Amplitud	0,1674	0,0726	0,0368	0,0226	0,0209	0,0156	0,0109
	Entropía espectral	0,766						
	Entropía aproximada	1,5818						
4	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	74,9878	185,0269	30,044	90,0098	170,127
	Amplitud	0,1541	0,0728	0,0344	0,0217	0,0192	0,0116	0,011
	Entropía espectral	0,7948						
	Entropía aproximada	1,6777						
5	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	185,0269	74,9878	30,044	5,0073	10,0147
	Amplitud	0,1499	0,0721	0,03	0,0273	0,0155	0,0139	0,0132
	Entropía espectral	0,818						
	Entropía aproximada	1,6242						

### Caso 3: quitando la diagonal 4

- Frecuencia 3Hz

Datos obtenidos con el Sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	21,0064	11,9687	3,2975	2,5647
	Amplitud	0,2797	0,0452	0,017	0,0099	0,0089	0,0069	0,0056
	Entropía espectral	0,1672						
	Entropía aproximada	0,35						
2	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	17,9531	21,0064	3,4196
	Amplitud	0,2496	0,0607	0,0235	0,0126	0,0087	0,0075	0,0042
	Entropía espectral	0,2951						
	Entropía aproximada	0,3339						
3	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	17,9531	3,2975	21,0064
	Amplitud	0,2601	0,073	0,0261	0,0127	0,009	0,0069	0,0051
	Entropía espectral	0,3427						
	Entropía aproximada	0,3462						
4	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0375	5,9844	11,9687	17,9531	3,2975	21,0064
	Amplitud	0,2536	0,0643	0,0301	0,0152	0,0096	0,0075	0,0054
	Entropía espectral	0,3352						
	Entropía aproximada	0,3589						
5	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	3,4196	17,9531	5,7401
	Amplitud	0,2464	0,0555	0,0541	0,0191	0,0071	0,0063	0,0041
	Entropía espectral	0,4096						
	Entropía aproximada	0,3484						

Datos obtenidos con el Sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	9,2819	3,2975	2,5647	8,5491
	Amplitud	0,1532	0,1051	0,0365	0,005	0,0038	0,0034	0,0026
	Entropía espectral	0,7753						
	Entropía aproximada	1,4578						
2	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	3,4196	21,0064	9,404	2,4426
	Amplitud	0,1721	0,1147	0,0137	0,0046	0,0028	0,0027	0,0023
	Entropía espectral	0,6508						
	Entropía aproximada	1,5863						
3	Frecuencia (Hz)	3,0523	9,0376	5,9844	51,0503	9,2819	3,2975	63,0191
	Amplitud	0,1776	0,1155	0,0173	0,0055	0,005	0,0046	0,0029
	Entropía espectral	0,6589						
	Entropía aproximada	1,4861						
4	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	3,2975	51,0503	9,2819	2,5647
	Amplitud	0,194	0,0951	0,0149	0,0055	0,0048	0,0043	0,0038
	Entropía espectral	0,5342						
	Entropía aproximada	1,4748						
5	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	3,2975	51,0503	2,5647	9,404
	Amplitud	0,1938	0,0933	0,0114	0,0056	0,0039	0,0037	0,0028
	Entropía espectral	0,5139						
	Entropía aproximada	1,4834						

- **Frecuencia 6Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	59,9658	36,0283	47,991
	Amplitud	0,2808	0,0889	0,0627	0,0063	0,0054	0,0039	0,0038
	Entropía espectral	0,4799						
	Entropía aproximada	0,3651						
2	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	59,9658	36,0283	47,9971
	Amplitud	0,2799	0,0963	0,0548	0,0051	0,0048	0,0043	0,004
	Entropía espectral	0,4804						
	Entropía aproximada	0,3658						
3	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	24,0596	47,9971	11,7245
	Amplitud	0,2773	0,0993	0,0488	0,0057	0,0046	0,0042	0,0041
	Entropía espectral	0,4767						
	Entropía aproximada	0,3581						
4	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	5,7401	59,9658	36,0283	24,0596
	Amplitud	0,2767	0,0958	0,0484	0,0119	0,0045	0,0042	0,0038
	Entropía espectral	0,4705						
	Entropía aproximada	0,3538						
5	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	5,7401	59,9658	24,0596	36,0283
	Amplitud	0,2805	0,0943	0,0472	0,0093	0,0055	0,0043	0,004
	Entropía espectral	0,4501						
	Entropía aproximada	0,3527						



Datos obtenidos con el Sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	17,9531	6,595	24,0596	5,3737
	Amplitud	0,4095	0,0169	0,0135	0,0049	0,0034	0,0027	0,0019
	Entropía espectral	0,0238						
	Entropía aproximada	1,1287						
2	Frecuencia (Hz)	5,9844	47,9971	59,9658	6,595	17,9531	23,9375	11,9687
	Amplitud	0,4116	0,0154	0,0147	0,0041	0,0034	0,0031	0,0021
	Entropía espectral	0,0229						
	Entropía aproximada	1,0583						
3	Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	6,595	17,9531	24,0596	5,3737
	Amplitud	0,4151	0,0161	0,0126	0,004	0,003	0,0029	0,0023
	Entropía espectral	0,0209						
	Entropía aproximada	1,0472						
4	Frecuencia (Hz)	5,9844	5,7401	59,9658	47,9971	6,595	17,9531	5,2516
	Amplitud	0,4124	0,0158	0,0138	0,0136	0,0036	0,0033	0,0026
	Entropía espectral	0,0301						
	Entropía aproximada	1,0819						
5	Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	5,7401	17,9531	6,595	23,9375
	Amplitud	0,4151	0,0139	0,0135	0,0131	0,0037	0,0025	0,0022
	Entropía espectral	0,0263						
	Entropía aproximada	1,0475						

- **Frecuencia 10 Hz**

Datos obtenidos con el Sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	30,044	50,0733	11,1198
	Amplitud	0,4647	0,0204	0,0038	0,0031	0,0025	0,0014	0,0012
	Entropía espectral	0,0157						
	Entropía aproximada	0,3269						
2	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	30,044	50,0733	20,2736
	Amplitud	0,4618	0,0265	0,004	0,0032	0,0024	0,0014	0,0014
	Entropía espectral	0,0238						
	Entropía aproximada	0,2814						
3	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	30,044	50,0733	9,0376
	Amplitud	0,4618	0,026	0,004	0,0029	0,0023	0,0014	0,0012
	Entropía espectral	0,023						
	Entropía aproximada	0,286						
4	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	30,044	50,0733	20,2736
	Amplitud	0,4618	0,0262	0,0041	0,0025	0,0024	0,0015	0,0013
	Entropía espectral	0,0233						
	Entropía aproximada	0,3141						
5	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	9,404	10,6253	30,044	9,0376	50,0733
	Amplitud	0,4619	0,0268	0,004	0,0035	0,0026	0,0015	0,0014
	Entropía espectral	0,0244						
	Entropía aproximada	0,3126						

Datos obtenidos con el Sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	39,9365	90,0098	50,0733	30,044	59,9658	159,9902
	Amplitud	0,1372	0,0442	0,0441	0,0318	0,0243	0,0217	0,013
	Entropía espectral	0,9386						
	Entropía aproximada	1,7686						
2	Frecuencia (Hz)	10,0147	40,0586	49,9511	90,0098	180,1417	60,0879	79,9951
	Amplitud	0,1912	0,0733	0,0193	0,0185	0,0154	0,0152	0,0132
	Entropía espectral	0,5598						
	Entropía aproximada	1,736						
3	Frecuencia (Hz)	10,0147	40,0586	50,0733	30,044	79,9951	90,0098	190,1563
	Amplitud	0,1685	0,0524	0,0248	0,0178	0,016	0,0155	0,015
	Entropía espectral	0,023						
	Entropía aproximada	1,7642						
4	Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	30,044	90,0098	60,0879	100,0244	160,1124
	Amplitud	0,1893	0,0527	0,0306	0,0254	0,019	0,0116	0,0092
	Entropía espectral	0,5226						
	Entropía aproximada	1,6297						
5	Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	30,044	90,0098	100,0244	60,0879	160,1124
	Amplitud	0,2018	0,0581	0,0348	0,0198	0,0164	0,0145	0,0109
	Entropía espectral	0,5091						
	Entropía aproximada	1,5677						

- **Frecuencia 15 Hz**

Datos obtenidos con el Sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,4113	15,6326	30,2882	14,0449	16,1212
	Amplitud	0,451	0,0329	0,0041	0,0026	0,0014	0,0012	0,001
	Entropía espectral	0,0345						
	Entropía aproximada	0,182						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,5335	15,6335	14,0449	30,2882	15,999
	Amplitud	0,4521	0,0325	0,0037	0,0035	0,0014	0,0012	0,0012
	Entropía espectral	0,0338						
	Entropía aproximada	0,1811						
3	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,5335	15,6326	14,0449	30,2882	15,999
	Amplitud	0,4523	0,0324	0,0037	0,0035	0,0014	0,0012	0,0011
	Entropía espectral	0,0336						
	Entropía aproximada	0,1831						
4	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,4113	15,6326	14,0449	30,2882	16,1212
	Amplitud	0,4515	0,0337	0,0039	0,0028	0,0014	0,0014	0,0011
	Entropía espectral	0,0358						
	Entropía aproximada	0,1768						
5	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,4113	15,6326	30,2882	14,0449	16,1212
	Amplitud	0,4518	0,0327	0,0039	0,0028	0,0013	0,0012	0,0011
	Entropía	0,034						

espectral
Entropía aproximada 0,1746

Datos obtenidos con el Sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	15,022	200,0489	45,066	110,0391	185,0269	74,9878	30,044
	Amplitud	0,1227	0,0379	0,0337	0,0308	0,0295	0,0223	0,0209
	Entropía espectral	1,0233						
	Entropía aproximada	1,724						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	200,0489	185,0149	110,0391	30,044	74,9878
	Amplitud	0,1194	0,0369	0,0343	0,0298	0,0279	0,0214	0,02
	Entropía espectral	1,0212						
	Entropía aproximada	1,737						
3	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	200,0489	185,0269	110,0391	30,044	74,9878
	Amplitud	0,1229	0,0404	0,0373	0,037	0,0299	0,0241	0,0193
	Entropía espectral	1,0951						
	Entropía aproximada	1,6955						
4	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	200,0489	185,0269	30,044	110,0391	74,9878
	Amplitud	0,1366	0,0427	0,0332	0,0244	0,022	0,0218	0,0203
	Entropía espectral	0,8494						
	Entropía aproximada	1,7398						
5	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	30,044	200,0489	74,9878	185,149	110,0391
	Amplitud	0,1338	0,0493	0,0284	0,0268	0,0268	0,0225	0,0196
	Entropía espectral	0,9204						

Entropía  
aproximada 1,7532

**Caso 4: quitando diagonal 3 y 4**

- **Frecuencia 3 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	3,2975	2,5647	17,9531
	Amplitud	0,2412	0,0814	0,0381	0,0133	0,0059	0,0055	0,0028
	Entropía espectral	0,4543						
	Entropía aproximada	0,3286						
2	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	3,2975	2,5647	17,9531
	Amplitud	0,2497	0,0769	0,0503	0,0171	0,0071	0,0043	0,0032
	Entropía espectral	0,4724						
	Entropía aproximada	0,3372						
3	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	3,2975	2,5647	17,9531
	Amplitud	0,2459	0,0796	0,0367	0,0179	0,0074	0,0051	0,0033
	Entropía espectral	0,4431						
	Entropía aproximada	0,3461						
4	Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	3,2975	2,5647	9,2819
	Amplitud	0,2367	0,0821	0,046	0,0167	0,0056	0,0054	0,0029
	Entropía espectral	0,508						
	Entropía aproximada	0,3434						
5								

Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	3,2975	2,5647	9,2819
Amplitud	0,2376	0,0857	0,0449	0,0177	0,0058	0,005	0,0034
Entropía espectral	0,52						
Entropía aproximada	0,3476						

Datos obtenidos con el sensor 2

1

Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	15,022	2,5647	51,0503	3,2975
Amplitud	0,1937	0,0926	0,0084	0,007	0,0048	0,0042	0,0042
Entropía espectral	0,5093						
Entropía aproximada	1,6019						

2

Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	15,022	3,2975	2,5647	51,0503
Amplitud	0,2075	0,0775	0,0091	0,0071	0,0058	0,0045	0,0042
Entropía espectral	0,4031						
Entropía aproximada	1,6264						

3

Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	51,0503	15,022	2,5647	3,2975	5,9844
Amplitud	0,2076	0,0732	0,0058	0,057	0,0055	0,0054	0,0052
Entropía espectral	0,3727						
Entropía aproximada	1,5973						

4

Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	15,022	51,0503	3,2975	2,5647
Amplitud	0,1935	0,0836	0,0107	0,0076	0,0056	0,0053	0,0048
Entropía espectral	0,4759						
Entropía aproximada	1,496						

5

Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	51,0503	15,022	3,4196	2,5647
Amplitud	0,198	0,0804	0,0108	0,0069	0,0059	0,0059	0,0042

Entropía espectral	0,4473
Entropía aproximada	1,504

- **Frecuencia 6 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1	<table border="1"> <tr> <td>Frecuencia (Hz)</td> <td>5,9844</td> <td>11,9687</td> <td>17,9531</td> <td>59,9658</td> <td>5,7401</td> <td>24,0596</td> <td>47,9971</td> </tr> <tr> <td>Amplitud</td> <td>0,2407</td> <td>0,1361</td> <td>0,0362</td> <td>0,0113</td> <td>0,0112</td> <td>0,0074</td> <td>0,0067</td> </tr> <tr> <td>Entropía espectral</td> <td colspan="7">0,6615</td> </tr> <tr> <td>Entropía aproximada</td> <td colspan="7">0,4293</td> </tr> </table>	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	5,7401	24,0596	47,9971	Amplitud	0,2407	0,1361	0,0362	0,0113	0,0112	0,0074	0,0067	Entropía espectral	0,6615							Entropía aproximada	0,4293						
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	5,7401	24,0596	47,9971																										
Amplitud	0,2407	0,1361	0,0362	0,0113	0,0112	0,0074	0,0067																										
Entropía espectral	0,6615																																
Entropía aproximada	0,4293																																
2	<table border="1"> <tr> <td>Frecuencia (Hz)</td> <td>5,9844</td> <td>11,9687</td> <td>17,9531</td> <td>59,9658</td> <td>30,044</td> <td>47,9971</td> <td>24,0596</td> </tr> <tr> <td>Amplitud</td> <td>0,2592</td> <td>0,1199</td> <td>0,0339</td> <td>0,0102</td> <td>0,0067</td> <td>0,0066</td> <td>0,006</td> </tr> <tr> <td>Entropía espectral</td> <td colspan="7">0,5536</td> </tr> <tr> <td>Entropía aproximada</td> <td colspan="7">0,4262</td> </tr> </table>	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	30,044	47,9971	24,0596	Amplitud	0,2592	0,1199	0,0339	0,0102	0,0067	0,0066	0,006	Entropía espectral	0,5536							Entropía aproximada	0,4262						
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	30,044	47,9971	24,0596																										
Amplitud	0,2592	0,1199	0,0339	0,0102	0,0067	0,0066	0,006																										
Entropía espectral	0,5536																																
Entropía aproximada	0,4262																																
3	<table border="1"> <tr> <td>Frecuencia (Hz)</td> <td>5,9844</td> <td>11,9687</td> <td>17,9531</td> <td>59,9658</td> <td>30,044</td> <td>47,9971</td> <td>24,0596</td> </tr> <tr> <td>Amplitud</td> <td>0,2607</td> <td>0,1228</td> <td>0,0343</td> <td>0,0092</td> <td>0,0065</td> <td>0,006</td> <td>0,0055</td> </tr> <tr> <td>Entropía espectral</td> <td colspan="7">0,5585</td> </tr> <tr> <td>Entropía aproximada</td> <td colspan="7">0,4448</td> </tr> </table>	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	30,044	47,9971	24,0596	Amplitud	0,2607	0,1228	0,0343	0,0092	0,0065	0,006	0,0055	Entropía espectral	0,5585							Entropía aproximada	0,4448						
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	30,044	47,9971	24,0596																										
Amplitud	0,2607	0,1228	0,0343	0,0092	0,0065	0,006	0,0055																										
Entropía espectral	0,5585																																
Entropía aproximada	0,4448																																
4	<table border="1"> <tr> <td>Frecuencia (Hz)</td> <td>5,9844</td> <td>11,9687</td> <td>17,9531</td> <td>59,9658</td> <td>5,7401</td> <td>30,044</td> <td>47,9971</td> </tr> <tr> <td>Amplitud</td> <td>0,264</td> <td>0,1151</td> <td>0,0331</td> <td>0,0092</td> <td>0,0092</td> <td>0,006</td> <td>0,0058</td> </tr> <tr> <td>Entropía espectral</td> <td colspan="7">0,5248</td> </tr> <tr> <td>Entropía aproximada</td> <td colspan="7">0,4428</td> </tr> </table>	Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	5,7401	30,044	47,9971	Amplitud	0,264	0,1151	0,0331	0,0092	0,0092	0,006	0,0058	Entropía espectral	0,5248							Entropía aproximada	0,4428						
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	5,7401	30,044	47,9971																										
Amplitud	0,264	0,1151	0,0331	0,0092	0,0092	0,006	0,0058																										
Entropía espectral	0,5248																																
Entropía aproximada	0,4428																																



5							
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	59,9658	11,7245	47,9971	30,044
Amplitud	0,2391	0,1402	0,0335	0,0125	0,0074	0,0067	0,0058
Entropía espectral	0,6624						
Entropía aproximada	0,4585						

Datos obtenidos con el sensor 2

1							
Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	17,9531	6,595	5,3737	24,0596
Amplitud	0,4185	0,0195	0,01	0,0044	0,0039	0,0023	0,0018
Entropía espectral	0,0228						
Entropía aproximada	1,0007						
2							
Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	17,9531	6,595	5,3737	53,9814
Amplitud	0,4183	0,0164	0,0092	0,0055	0,0036	0,0025	0,002
Entropía espectral	0,0188						
Entropía aproximada	1,0624						
3							
Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	17,9531	6,4729	5,3737	53,9814
Amplitud	0,4145	0,0143	0,0085	0,0052	0,0037	0,0033	0,0025
Entropía espectral	0,0163						
Entropía aproximada	1,0858						
4							
Frecuencia (Hz)	5,9844	5,7401	59,9658	47,9971	17,9531	53,9814	6,595
Amplitud	0,4165	0,0157	0,0144	0,0076	0,0053	0,0034	0,0028
Entropía espectral	0,0257						
Entropía aproximada	1,1062						
5							

Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	6,4729	17,9531	5,3737	53,9814
Amplitud	0,4173	0,0184	0,0106	0,0056	0,004	0,0037	0,0022
Entropía espectral	0,0233						
Entropía aproximada	1,0826						

- **Frecuencia 10 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	9,404	10,7474	8,9155	11,1138
	Amplitud	0,4734	0,0136	0,0045	0,0034	0,0023	0,0012	0,0009
	Entropía espectral	0,0086						
	Entropía aproximada	0,2922						
2	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	9,404	10,6253	8,9155	11,1138
	Amplitud	0,4752	0,0117	0,0051	0,0039	0,0028	0,0012	0,0011
	Entropía espectral	0,0075						
	Entropía aproximada	0,3091						
3	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	9,404	10,6253	9,0376	11,1138
	Amplitud	0,4739	0,0117	0,005	0,0043	0,0033	0,0016	0,001
	Entropía espectral	0,0078						
	Entropía aproximada	0,3254						
4	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	9,404	10,6253	9,0376	11,1138
	Amplitud	0,4756	0,0109	0,0048	0,0039	0,0037	0,0014	0,0011
	Entropía espectral	0,0071						
	Entropía aproximada	0,3343						

aproximada							
Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	9,404	10,6253	9,0376	11,1138
Amplitud	0,4752	0,011	0,0052	0,0041	0,0033	0,0014	0,0012
Entropía espectral	0,0073						
Entropía aproximada	0,3413						

Datos obtenidos con el sensor 2

Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	40,0586	59,9658	30,044	20,0293	90,0098
Amplitud	0,1648	0,0447	0,0388	0,0345	0,0318	0,028	0,0102
Entropía espectral	0,8093						
Entropía aproximada	1,6185						
Frecuencia (Hz)	10,0147	59,9658	50,0733	20,0293	30,044	40,0586	90,0098
Amplitud	0,1632	0,04	0,0364	0,035	0,0324	0,03	0,0138
Entropía espectral	0,8055						
Entropía aproximada	1,6424						
Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	59,9658	40,0586	20,0293	30,044	90,0098
Amplitud	0,1595	0,0453	0,0417	0,0402	0,0307	0,0287	0,0124
Entropía espectral	0,8944						
Entropía aproximada	1,6074						
Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	59,9658	40,0586	30,044	20,0293	90,00988
Amplitud	0,1711	0,0468	0,0423	0,0347	0,0279	0,0279	0,012
Entropía espectral	0,79						
Entropía aproximada	1,6205						

Frecuencia (Hz)	10,0147	30,044	50,0733	59,9658	40,0586	20,0293	190,1563
Amplitud	0,1185	0,0622	0,0592	0,0397	0,028	0,0255	0,0146
Entropía espectral	1,3112						
Entropía aproximada	1,6872						

- **Frecuencia 15 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	15,5105	45,066	16,9761	13,4343	74,9879
Amplitud	0,4649	0,0141	0,0021	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001
Entropía espectral	0,0076						
Entropía aproximada	0,221						
Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	15,7548	45,066	74,9878	12,3351	17,831
Amplitud	0,4623	0,0139	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001
Entropía espectral	0,0073						
Entropía aproximada	0,219						
Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	15,6326	45,066	13,19	74,9878	17,0982
Amplitud	0,464	0,147	0,0017	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002
Entropía espectral	0,0078						
Entropía aproximada	0,2131						
Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	45,066	16,1212	74,9878	11,4802	11,236
Amplitud	0,4627	0,0137	0,0004	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001
Entropía espectral	0,0071						
Entropía	0,2179						

aproximada							
Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	16,2433	15,999	16,4875	45,066	16,8539
Amplitud	0,4622	0,0145	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
Entropía espectral	0,0078						
Entropía aproximada	0,2222						

Datos obtenidos con el sensor 2

Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	74,9878	30,044	10,0147	25,0366
Amplitud	0,134	0,0843	0,0285	0,0206	0,0169	0,014	0,0124
Entropía espectral	0,9062						
Entropía aproximada	1,6364						
Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	74,9878	10,0147	30,044	25,0366
Amplitud	0,1339	0,0836	0,0284	0,0208	0,018	0,016	0,0112
Entropía espectral	0,9146						
Entropía aproximada	1,6319						
Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	74,9878	30,044	10,0147	5,0073
Amplitud	0,1382	0,0809	0,0286	0,0218	0,0157	0,0148	0,0097
Entropía espectral	0,8698						
Entropía aproximada	1,6132						
Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	74,9878	30,044	10,0147	105,0318
Amplitud	0,1434	0,0926	0,0318	0,0221	0,0189	0,0126	0,0104
Entropía espectral	0,9041						
Entropía aproximada	1,6						

5

Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	74,9878	10,0147	30,044	5,0073
Amplitud	0,1356	0,0739	0,0304	0,0232	0,0185	0,0167	0,0113
Entropía espectral	0,9035						
Entropía aproximada	1,613						

### Caso 5: quitando diagonal 6

- Frecuencia 3 Hz

Datos obtenidos con el sensor 1

1

Frecuencia (Hz)	3,0532	5,9844	11,9687	3,2975	2,6869	15,022	9,0376
Amplitud	0,3286	0,0298	0,0199	0,0165	0,0098	0,0084	0,005
Entropía espectral	0,1026						
Entropía aproximada	0,2298						

2

Frecuencia (Hz)	3,0532	5,9844	11,9687	3,2975	2,6869	15,022	9,0376
Amplitud	0,3321	0,0269	0,0233	0,0178	0,0121	0,0085	0,0069
Entropía espectral	0,108						
Entropía aproximada	0,2319						

3

Frecuencia (Hz)	3,0532	5,9844	11,9687	3,2975	2,36869	15,022	9,0376
Amplitud	0,3304	0,0252	0,0223	0,0165	0,0125	0,0096	0,0065
Entropía espectral	0,1019						
Entropía aproximada	0,2216						

4

Frecuencia (Hz)	3,0532	5,9844	11,9687	3,2975	2,6869	15,022	9,0376
-----------------	--------	--------	---------	--------	--------	--------	--------

Amplitud	0,3268	0,0385	0,0234	0,0176	0,0114	0,0098	0,0067
Entropía espectral	0,1423						
Entropía aproximada	0,2464						
Frecuencia (Hz)	3,0532	5,9844	11,9687	15,022	3,4196	9,0376	2,5647
Amplitud	0,2961	0,0315	0,0253	0,0112	0,0067	0,0066	0,0043
Entropía espectral	0,1245						
Entropía aproximada	0,2472						

Datos obtenidos en el sensor 2

Frecuencia (Hz)	5,9844	3,0532	9,0376	15,022	5,3737	6,4729	42,0127
Amplitud	0,3338	0,048	0,0312	0,0057	0,0044	0,0042	0,0035
Entropía espectral	0,1538						
Entropía aproximada	1,2796						
Frecuencia (Hz)	5,9844	3,0532	9,0376	15,022	6,4729	5,4958	2,6869
Amplitud	0,3378	0,0459	0,0254	0,0063	0,0053	0,0041	0,0029
Entropía espectral	0,1318						
Entropía aproximada	1,2923						
Frecuencia (Hz)	5,9844	3,0532	9,0376	15,022	6,4729	5,4958	2,6869
Amplitud	0,3282	0,506	0,0245	0,0079	0,006	0,0028	0,0026
Entropía espectral	0,1521						
Entropía aproximada	1,2803						
Frecuencia (Hz)	5,9844	3,0532	9,0376	15,022	6,4729	5,4958	51,0503
Amplitud	0,3563	0,0526	0,0153	0,0072	0,005	0,0046	0,0035
Entropía espectral	0,1239						

Entropía aproximada	1,2306						
Frecuencia (Hz)	5,9844	3,0532	9,0376	5,7401	15,022	5,2516	6,595
Amplitud	0,351	0,042	0,0156	0,0137	0,0096	0,0028	0,0024
Entropía espectral	0,1064						
Entropía aproximada	1,2227						

- **Frecuencia 6 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

Frecuencia (Hz)	11,9687	5,9844	0,1221	29,9218	24,0596	36,0596	11,7245
Amplitud	0,2844	0,0741	0,0177	0,0149	0,0107	0,005	0,0045
Entropía espectral	0,2911						
Entropía aproximada	0,5231						
Frecuencia (Hz)	11,9687	5,9844	30,044	24,0596	17,9531	0,1221	53,9814
Amplitud	0,2313	0,0986	0,0387	0,009	0,0035	0,0033	0,0031
Entropía espectral	0,5427						
Entropía aproximada	0,4568						
Frecuencia (Hz)	11,9687	5,9844	17,9531	36,0283	24,0596	59,9658	30,044
Amplitud	0,2433	0,1041	0,0198	0,0068	0,0057	0,0019	0,0017
Entropía espectral	0,4728						
Entropía aproximada	0,4013						
Frecuencia (Hz)	11,9687	5,9844	17,9531	30,044	24,0596	36,0283	47,9971



Amplitud	0,2135	0,1304	0,0168	0,0135	0,0115	0,0065	0,0016
Entropía espectral	0,6482						
Entropía aproximada	0,4191						
Frecuencia (Hz)	11,9687	5,9844	30,044	18,0752	24,0596	36,0283	47,9971
Amplitud	0,2002	0,1433	0,0167	0,0142	0,0093	0,0053	0,0017
Entropía espectral	0,7001						
Entropía aproximada	0,409						

Datos obtenidos con el Sensor 2

Frecuencia (Hz)	5,9844	5,7401	11,9687	47,9971	42,0127	6,7171	30,044
Amplitud	0,433	0,0129	0,0085	0,0082	0,0039	0,0031	0,0017
Entropía espectral	0,0154						
Entropía aproximada	0,9197						
Frecuencia (Hz)	5,9844	42,0127	53,9814	11,9687	47,9971	17,9531	65,9502
Amplitud	0,4211	0,0115	0,0094	0,005	0,0044	0,0027	0,0006
Entropía espectral	0,0133						
Entropía aproximada	0,93						
Frecuencia (Hz)	5,9844	42,0127	47,9971	17,9531	36,0283	53,9814	60,0879
Amplitud	0,4062	0,0094	0,0033	0,0029	0,0026	0,0021	0,0014
Entropía espectral	0,0068						
Entropía aproximada	1,0914						
Frecuencia (Hz)	5,9844	47,9971	36,0283	17,9531	42,0127	60,0879	90,0098
Amplitud	0,4101	0,0069	0,0041	0,0032	0,0028	0,0022	0,0015

5

Entropía espectral	0,0053						
Entropía aproximada	1,0953						
Frecuencia (Hz)	5,9844	47,9971	36,0283	17,9531	42,0127	59,9658	90,0098
Amplitud	0,4106	0,0065	0,0046	0,0034	0,0033	0,0032	0,0028
Entropía espectral	0,0061						
Entropía aproximada	1,1503						

- **Frecuencia 10 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1

Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	60,0879	10,7474	69,9805	40,0586
Amplitud	0,4453	0,0264	0,0143	0,001	0,0007	0,0001	0,0001
Entropía espectral	0,0315						
Entropía aproximada	0,3475						
Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	60,0879	10,9917	40,0586	69,9805
Amplitud	0,4428	0,0225	0,0163	0,0017	0,0004	0,0001	0,0001
Entropía espectral	0,0284						
Entropía aproximada	0,3455						
Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	60,0879	11,6023	11,8466	12,213
Amplitud	0,4413	0,0223	0,0174	0,0015	0,0001	0,0001	0,0001
Entropía espectral	0,0294						
Entropía	0,3444						

2

3

4	aproximada							
	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	60,0879	10,6253	40,0586	13,0679
	Amplitud	0,4408	0,0219	0,0191	0,0017	0,0009	0,0001	0,0001
	Entropía espectral	0,031						
	Entropía aproximada	0,3512						
5								
	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	60,0879	10,9917	40,0586	5,9844
	Amplitud	0,4394	0,0224	0,0198	0,0017	0,0004	0,0001	0,0001
	Entropía espectral	0,0328						
	Entropía aproximada	0,3509						

Datos obtenidos con el sensor 2

1								
	Frecuencia (Hz)	10,0147	30,044	59,9858	20,0293	39,9365	190,0342	90,0098
	Amplitud	0,2809	0,0315	0,0255	0,0115	0,0077	0,0053	0,0046
	Entropía espectral	0,1367						
	Entropía aproximada	1,6459						
2								
	Frecuencia (Hz)	10,0147	59,9658	20,0293	30,044	40,0586	240,1075	90,0098
	Amplitud	0,3162	0,0376	0,0105	0,0056	0,0054	0,0052	0,0046
	Entropía espectral	0,0917						
	Entropía aproximada	1,5861						
3								
	Frecuencia (Hz)	10,0147	60,0879	30,044	40,0586	20,0293	90,0098	50,0733
	Amplitud	0,2996	0,0263	0,0166	0,016	0,0157	0,0076	0,0049
	Entropía espectral	0,1108						
	Entropía aproximada	1,5556						
4								
	Frecuencia	10,0147	60,0879	40,0586	30,044	20,0293	90,0098	50,0733

(Hz)							
Amplitud	0,292	0,0247	0,0235	0,0211	0,0189	0,0074	0,0044
Entropía espectral	0,1457						
Entropía aproximada	1,542						
Frecuencia (Hz)	10,0147	30,044	59,9658	40,0586	20,0293	90,0098	240,1075
Amplitud	0,3036	0,0234	0,0233	0,0183	0,0168	0,0092	0,0059
Entropía espectral	0,1258						
Entropía aproximada	1,5692						

- **Frecuencia 15Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	14,1671	60,0879	44,9438	13,0679	12,8236
Amplitud	0,4434	0,0206	0,001	0,0008	0,0007	0,0003	0,0002
Entropía espectral	0,0155						
Entropía aproximada	0,2981						
Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	45,066	59,9658	15,8769	15,6326	22,4719
Amplitud	0,4601	0,0201	0,0011	0,0009	0,0008	0,0008	0,0001
Entropía espectral	0,0141						
Entropía aproximada	0,3078						
Frecuencia (Hz)	15,055	30,044	45,066	60,0879	15,999	16,3654	90,0098
Amplitud	0,4492	0,0197	0,0015	0,0011	0,0005	0,0004	0,0001
Entropía espectral	0,0141						
Entropía	0,291						

4	aproximada							
	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	59,9658	15,999	16,3654	45,066	22,4719
	Amplitud	0,4542	0,0189	0,0007	0,0006	0,0004	0,0003	0,0002
	Entropía espectral	0,0128						
	Entropía aproximada	0,3059						
5	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	45,066	59,9658	15,6326	15,999	74,9878
	Amplitud	0,4597	0,019	0,001	0,0008	0,0007	0,0007	0,0001
	Entropía espectral	0,0128						
	Entropía aproximada	0,2924						

Datos obtenidos con el sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	60,0879	105,0318	74,9878	240,1075
	Amplitud	0,2046	0,06	0,0174	0,0091	0,0076	0,0062	0,0061
	Entropía espectral	0,3493						
	Entropía aproximada	1,6211						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	44,9438	90,0098	74,9878	59,9658	150,0977	105,0318
	Amplitud	0,1765	0,0405	0,0161	0,0099	0,0091	0,0076	0,0074
	Entropía espectral	0,3032						
	Entropía aproximada	1,6496						
3	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	74,9878	105,0318	230,0928	30,044
	Amplitud	0,1637	0,0998	0,0089	0,0065	0,0054	0,0049	0,004
	Entropía espectral	0,6208						

4	Entropía aproximada	1,6515						
	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	90,0098	59,9658	74,9878	150,0977	105,0318
	Amplitud	0,2027	0,036	0,177	0,0087	0,0086	0,0066	0,0062
	Entropía espectral	0,2186						
	Entropía aproximada	1,6835						
5	Frecuencia (Hz)	15,022	44,9438	90,0098	74,9878	150,0977	105,0318	59,9858
	Amplitud	0,2244	0,041	0,037	0,0147	0,0078	0,0078	0,0078
	Entropía espectral	0,3087						
	Entropía aproximada	1,5749						

**Caso 6 : quitando montantes**

- **Frecuencia 3 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	9,0376	5,9844	3,0532	11,9687	15,022	17,9531	9,2819
	Amplitud	0,157	0,138	0,0721	0,0299	0,0233	0,0169	0,0083
	Entropía espectral	1,1103						
	Entropía aproximada	0,3635						
	2	Frecuencia (Hz)	5,9844	9,0376	3,0532	11,9687	17,9531	15,022
Amplitud		0,156	0,1399	0,0626	0,0295	0,0175	0,0148	0,0071
Entropía espectral		1,0511						
Entropía aproximada		0,3514						
3								

Frecuencia (Hz)	5,9844	9,0376	3,0532	11,9687	17,9531	15,022	9,2819
Amplitud	0,1582	0,1483	0,0678	0,0364	0,0175	0,0117	0,0071
Entropía espectral	1,075						
Entropía aproximada	0,3648						
Frecuencia (Hz)	5,9844	9,0376	3,0532	11,9687	17,9531	15,022	21,0064
Amplitud	0,1555	0,1209	0,0483	0,0292	0,0129	0,0119	0,002
Entropía espectral	0,9671						
Entropía aproximada	0,3564						
Frecuencia (Hz)	5,9844	9,0376	3,0532	11,9687	15,022	17,9531	21,0064
Amplitud	0,161	0,1167	0,0499	0,0307	0,0141	0,0129	0,0016
Entropía espectral	0,9658						
Entropía aproximada	0,3472						

Datos obtenidos con el sensor 2

Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	11,9687	15,022	5,9844	3,2975	9,2819
Amplitud	0,1611	0,1498	0,0129	0,0095	0,0075	0,0071	0,0066
Entropía espectral	0,7452						
Entropía aproximada	1,3781						
Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	15,022	9,2819	3,2975
Amplitud	0,1533	0,1486	0,0121	0,0104	0,0079	0,0041	0,0035
Entropía espectral	0,7417						
Entropía aproximada	1,4168						
Frecuencia (Hz)	3,0532	9,0376	5,9844	11,9687	3,2975	2,6869	15,022
Amplitud	0,1607	0,1439	0,0182	0,0112	0,0094	0,0071	0,0071

Entropía espectral	0,7685						
Entropía aproximada	1,4108						
Frecuencia (Hz)	9,0376	3,0532	5,9844	11,9687	15,022	42,0127	21,0064
Amplitud	0,1231	0,1165	0,0171	0,0092	0,0088	0,0055	0,0038
Entropía espectral	0,7864						
Entropía aproximada	1,4381						

- **Frecuencia 6 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	53,9814	59,9658	66,0723
Amplitud	0,2482	0,1424	0,0134	0,0095	0,006	0,0031	0,0015
Entropía espectral	0,5871						
Entropía aproximada	0,4645						
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	53,9814	59,9658	0,1221
Amplitud	0,2484	0,1366	0,0258	0,011	0,0028	0,002	0,0016
Entropía espectral	0,5973						
Entropía aproximada	0,4435						
Frecuencia	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	53,9814	47,9971	30,044



(Hz)							
Amplitud	0,2362	0,0937	0,049	0,0111	0,0024	0,0011	0,0008
Entropía espectral	0,5513						
Entropía aproximada	0,4009						
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	47,9971	53,9814	36,0283
Amplitud	0,234	0,0789	0,0661	0,0075	0,0022	0,0012	0,0008
Entropía espectral	0,5609						
Entropía aproximada	0,3955						
Frecuencia (Hz)	5,9844	11,9687	17,9531	24,0596	47,9971	53,9814	59,9658
Amplitud	0,2426	0,0711	0,0688	0,008	0,0031	0,0011	0,0011
Entropía espectral	0,5172						
Entropía aproximada	0,4138						

Datos obtenidos con el sensor 1

Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	53,9814	47,9971	11,9687	24,0596	36,0283
Amplitud	0,3947	0,0199	0,0074	0,0048	0,0047	0,0044	0,0033
Entropía espectral	0,0256						
Entropía aproximada	1,655						
Frecuencia (Hz)	5,9844	59,9658	47,9971	24,0596	11,9687	53,9814	36,0283
Amplitud	0,3957	0,0141	0,0054	0,0054	0,0046	0,0042	0,0037
Entropía espectral	0,0168						
Entropía aproximada	1,1106						
Frecuencia (Hz)	5,9844	53,9814	36,0283	59,9658	11,9687	17,9531	24,0596

4	Amplitud	0,4051	0,0098	0,0043	0,0042	0,004	0,004	0,0031
	Entropía espectral	0,0098						
	Entropía aproximada	1,0596						
	Frecuencia (Hz)	5,9844	42,0127	47,9971	24,0596	36,0283	17,9531	11,9687
5	Amplitud	0,4118	0,0067	0,0044	0,0035	0,0033	0,0032	0,0032
	Entropía espectral	0,0064						
	Entropía aproximada	1,0959						
	Frecuencia (Hz)	5,9844	42,0127	47,9971	24,0596	36,0283	17,9531	59,9658
	Amplitud	0,4128	0,009	0,0065	0,0031	0,0025	0,0025	0,002
	Entropía espectral	0,0081						
	Entropía aproximada	1,0469						
	Frecuencia (Hz)	5,9844	42,0127	47,9971	24,0596	36,0283	17,9531	59,9658

- **Frecuencia 10 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	10,8696	50,0733	40,0586	59,9658
	Amplitud	0,4617	0,0243	0,0033	0,0006	0,0005	0,0002	0,0002
	Entropía espectral	0,0196						
	Entropía aproximada	0,2037						
2	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	19,7851	10,8696	11,1138	50,0733
	Amplitud	0,4737	0,0107	0,0026	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
	Entropía espectral	0,0048						
	Entropía aproximada	0,2318						
3	Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	10,9917	50,0733	5,7401	59,9658

(Hz)							
Amplitud	0,4806	0,0069	0,0025	0,0005	0,0004	0,0001	0,0001
Entropía espectral	0,0023						
Entropía aproximada	0,2331						
Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	50,0733	11,4802	11,7245	12,3351
Amplitud	0,4804	0,0074	0,0023	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002
Entropía espectral	0,0025						
Entropía aproximada	0,2329						
Frecuencia (Hz)	10,0147	20,0293	30,044	10,5032	50,0733	7,9384	12,213
Amplitud	0,4793	0,0083	0,0025	0,0018	0,0004	0,0002	0,0001
Entropía espectral	0,0032						
Entropía aproximada	0,2392						

Datos obtenidos con el sensor 2

Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	20,0293	30,044	59,9658	180,0195	210,0635
Amplitud	0,2603	0,0431	0,0212	0,0189	0,0138	0,0058	0,0053
Entropía espectral	0,2174						
Entropía aproximada	1,5825						
Frecuencia (Hz)	10,0147	30,044	50,0733	60,0879	20,0293	120,0537	180,0195
Amplitud	0,2406	0,0436	0,0393	0,0212	0,0153	0,0056	0,0032
Entropía espectral	0,3256						
Entropía aproximada	1,671						
Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	30,044	60,0879	20,0293	190,0342	200,0489

4	Amplitud	0,2795	0,031	0,0214	0,0154	0,015	0,0091	0,0046
	Entropía espectral	0,1504						
	Entropía aproximada	1,5919						
	Frecuencia (Hz)	10,0147	30,044	50,0733	60,0879	20,0293	190,0342	200,0489
5	Amplitud	0,2684	0,0328	0,0304	0,0175	0,0139	0,004	0,0037
	Entropía espectral	0,1904						
	Entropía aproximada	1,5607						
	Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	30,044	60,0879	20,0293	200,0489	170,127
1	Amplitud	0,2738	0,0418	0,033	0,0162	0,0122	0,004	0,0026
	Entropía espectral	0,2191						
	Entropía aproximada	1,5825						
	Frecuencia (Hz)	10,0147	50,0733	30,044	60,0879	20,0293	200,0489	170,127

- **Frecuencia 15 Hz**

Datos obtenidos con el sensor 1

1	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	45,066	16,3654	74,9878	60,0879	20,2736
	Amplitud	0,4744	0,0028	0,0008	0,0003	0,0003	0,0002	0
	Entropía espectral	0,00044631						
	Entropía aproximada	0,2012						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	45,066	15,999	74,9878	59,9658	11,7245
	Amplitud	0,4735	0,0028	0,0007	0,0004	0,0003	0,0001	0,0001
	Entropía espectral	0,00045057						
	Entropía aproximada	0,1938						

3	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	45,066	15,999	74,9878	59,9658	11,7245
	Amplitud	0,4751	0,0028	0,0005	0,0005	0,0003	0,0001	0,0001
	Entropía espectral	0,00043266						
	Entropía aproximada	0,1898						
4	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	15,8769	45,066	74,9878	12,213	18,3195
	Amplitud	4753	0,0027	0,0007	0,0007	0,0003	0,0001	0,0001
	Entropía espectral	0,0795						
	Entropía aproximada	0,1909						
5	Frecuencia (Hz)	15,022	30,044	45,066	16,1212	74,9878	11,7245	11,3581
	Amplitud	0,4746	0,0025	0,0007	0,0004	0,0003	0,0001	0,0001
	Entropía espectral	0,0003725						
	Entropía aproximada	0,1849						

Datos obtenidos con el sensor 2

1	Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	10,0147	74,9878	60,0879	185,0269	40,0586
	Amplitud	0,1812	0,0393	0,0251	0,0168	0,013	0,0127	0,012
	Entropía espectral	0,3956						
	Entropía aproximada	1,6966						
2	Frecuencia (Hz)	15,022	185,149	45,066	60,0879	50,0733	74,9878	230,0928
	Amplitud	0,1886	0,0218	0,0217	0,0153	0,015	0,0143	0,0082
	Entropía espectral	0,2572						
	Entropía aproximada	1,7314						
3								

Frecuencia (Hz)	15,022	45,066	185,149	74,9878	60,0879	50,0733	25,0366
Amplitud	0,1948	0,0219	0,0201	0,0182	0,0143	0,01	0,0095
Entropía espectral	0,236						
Entropía aproximada	1,6798						
Frecuencia (Hz)	15,022	185,149	74,9878	45,066	59,9658	50,0733	20,0293
Amplitud	0,2117	0,022	0,0195	0,0178	0,0116	0,0103	0,0096
Entropía espectral	0,1966						
Entropía aproximada	1,652						
Frecuencia (Hz)	15,022	74,9878	155,105	185,149	10,0147	60,0879	45,066
Amplitud	0,2018	0,0179	0,016	0,0146	0,0125	0,0117	0,0115
Entropía espectral	0,1812						
Entropía aproximada	1,6496						

## 5. Bibliografía

1. H. P. Hsu, "Análisis de Fourier.", Fondo Educativo Interamericano, S.A., 1973.
2. D. G. Fertis, "Mechanical and Structural Vibrations.", John Wiley & Sons, New York, 1995.
3. J. Bendat and A. G. Piersol, "Random Data Analysis and Measurement Procedures.", John Wiley & Sons, 2nd Ed., 1986.
4. R. W. Clough and J. Penzien, "Dynamics of Structures.", McGraw Hill Int., 2nd Ed., 1993.
5. D. E. Newland, "An Introduction to Random Vibrations, Spectral & Wavelet Analysis.", Longman Scientific & Technical, 3rd Ed., 1993.
6. D. G. Fertis, "Nonlinear Mechanics.", CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 1993.
7. R. A Ibrahim, "Recent Results in Random Vibration of Nonlinear Mechanical Systems.", Transactions of the ASME, 117, 6, 1995.
8. Z. Li and J. R. Houghton, "Damage Location in Structures Using Vibration Data and Its Sensitivity to Measurement Errors.", Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, Tennessee, February

13-16, 1995.

9. B. Carnahan, H. A. Luther, and J. O. Wilkes, "*Applied Numerical Methods.*", John Wiley & Sons, New York, NY, 1969.

10. S. Nakamura, "*Computational Methods in Engineering and Science.*", John Wiley & Sons, New York, NY, 1977.

11. E. Balmes, "*Parametric Families of Reduce Finite Element Models.*", Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, Tennessee, February 13-16, 1995.

12. R. Kohoutek, "*Stress Prediction by Analytical Model Verified by Modal Analysis.*", Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, Tennessee, February 13-16, 1995.

13. Y. Deger, R. Cantieni, S. Pietrzko, W. Rueker, and R. G. Rohrmann, "*Modal Analysis of a Highway Bridge: Experiment, Finite Element Analysis and Link.*", Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, Tennessee, February 13-16, 1995.

14. A. J. Felber and C. E. Ventura, "*Port Mann Bridge Testing and Model Correlation.*", Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference, Nashville, Tennessee, February 13-16, 1995.

15. NISA Inc., "*Finite Element Analysis Software.*", 1999.

16. ANSYS Inc., "*ANSYS Family of Products Brochure.*", 1999.

17. INRIA, "*MODULEF. Methods and Tools for Scientific Computing.*", 1999.

18. A. Graps, "*An Introduction to Wavelets.*", IEEE Computational Science and Engineering, 2, 2, 1995.

19. K. G. McConnell, "*Vibration Testing. Theory and Practice.*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1995.

20. A. H. Nayfeh and S. A. Nayfeh, "*On Nonlinear Modes of Continuous Systems.*", Journal of Vibration and Acoustics, 116, 1, 1994.

22. A. H. Nayfeh and S. A. Nayfeh, "*Nonlinear Normal Modes of a Continuous System with Quadratic Nonlinearities.*", Journal of Vibration and Acoustics, 117, 4, 1995.

23. J. Aubrecht and A. F. Vakakis, "*Localized and Non-Localized Nonlinear Normal Modes in a Multi-Span Beam with Geometric Nonlinearities.*", Journal of Vibration and Acoustics, 118, 10, 1996.

24. F. H. Harlow and A. A. Amsden, "*Fluid Dynamics.*", Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-4700, Los Alamos, NM, 1971.

25. K. J. Bathe, "*Finite Element Procedures in Engineering Analysis.*", Prentice Hall Inc., New Jersey, 1982.

26. O. C. Zienkiewicz, 1971, "*The Finite Element Method in Engineering Science.*", McGraw-Hill, 2nd Ed., London, 1971.

27. C. K. Chui, "*An Introduction to Wavelets.*", Academic Press, San Diego, CA., 1992.

28. A. Rytter, "Vibration based inspection of civil engineering structures", Tesis Doctoral, Department of Building Technology Structural Engineering. Universidad de Aalborg, Dinamarca, 1993.

29. C.P. Fietzen, G. Mengelpkamp, A. Güemes, "A CFRP plate with piezoelectric actuators and sensors as self-diagnosing intelligent structure", International Conference on Noise and Vibration Engineering, ISMA, pp. 185-191, Leuven, Belgium, 2002.