



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS MEDIANTE  
VALORES FRECUENCIALES EN TUBERÍAS INDUSTRIALES DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: CHRISTIAN ANDRÉS SEGARRA CABRERA

TUTOR: ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESANTEZ

Cuenca – Ecuador

2024

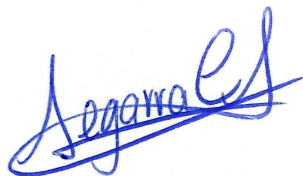
# **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Christian Andrés Segarra Cabrera con documento de identificación N° 0106806391 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



Christian Andrés Segarra Cabrera  
0106806391

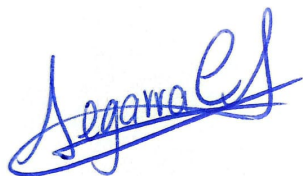
# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Christian Andrés Segarra Cabrera con documento de identificación N° 0106806391, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Diseño de un sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



Christian Andrés Segarra Cabrera  
0106806391

# **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Paúl Andrés Chasi Pesantez con documento de identificación N° 0103652095, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS MEDIANTE VALORES FRECUENCIALES EN TUBERÍAS INDUSTRIALES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE, realizado por Christian Andrés Segarra Cabrera con documento de identificación N° 0106806391, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



Paúl Andrés Chasi Pesantez  
0103652095

# Dedicatoria

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A Dios, quien ha sido mi camino y fortaleza para llevar a cabo cada una de las metas que me he propuesto.

A mis padres Sonia y Galo, quienes con su amor, paciencia, enseñanza y apoyo incondicional, me han permitido llegar a cumplir otro de los objetivos trazados en mi vida. Gracias por siempre ser mi pilar e inculcar en mí valentía, esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos, quienes en todo momento han sumado su granito de arena para lograr culminar con esta meta trazada.

A mi pareja, quien cada día me ha estado brindando apoyo, consejos y ha estado hasta los últimos momentos de este proyecto.

A mis abuelos, quienes son el motor que me impulsa a mejorar cada día de mi vida, para verlos a ellos felices.

Finalmente, dedico a las personas que formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo de una u otra forma.

# Agradecimientos

Inicialmente agradezco a Dios por permitirme llegar a cumplir esta meta, por brindarme salud, fuerza e impartirme sabiduría y paciencia a lo largo del proceso.

Agradezco a mis padres que, gracias al amor, la paciencia y comprensión han estado en cada minuto de este proceso apoyándome con cada palabra de motivación que ellos me han brindado.

Personalmente, agradecer a mi mamá que nunca bajo los brazos en los momentos complicados de este proceso, sino siempre me mantuvo abrazado, demostrándome su amor incondicional.

A mi papá, que a partir del primer momento en el que empezó esta carrera universitaria supo impartir motivación, amor, comprensión y muchos conocimientos, los cuales me ayudaron a sobresalir en cada situación presentada.

A mis hermanos, que, el apoyo ha permanecido incondicionalmente, haciéndome caer en cuenta de mis errores cometidos a lo largo de este tiempo. Nunca han llegado a soltar mi mano, por lo contrario, cada tropiezo ellos me han levantado con enseñanzas, palabras de esfuerzo y lleno de amor.

A mi pareja, que, sin su apoyo esto no pudo haber sido posible, por brindarme su mano derecha en cada ocasión requerida, su apoyo me hace crecer en los estudios y en la vida cotidiana.

Me gustaría además agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. Paúl Chasi, por su esfuerzo y dedicación brindado al actual trabajo de titulación. Sus conocimientos, su guía, y su mentalidad han hecho que este proyecto cumpla con las expectativas deseadas.

También quiero hacer una mención especial a todas aquellas personas que con su conocimiento y experiencia han estado dispuestos a resolver cualquier inquietud presentada y brindar sugerencias.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>1</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	1
2.2. Descripción del problema . . . . .	2
2.3. Importancia y alcances . . . . .	3
2.4. Delimitación . . . . .	3
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	3
2.4.2. Temporal . . . . .	4
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	4
2.5. Problema General . . . . .	4
2.6. Problemas Específicos . . . . .	5
<b>3. Objetivos</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	5
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	5
<b>4. Hipótesis</b>	<b>5</b>
4.1. Hipótesis General . . . . .	5
4.2. Hipótesis Específicas . . . . .	6



<b>5. Marco Teórico</b>	<b>6</b>
5.1. Características de tuberías industriales y dimensionamientos . . . . .	7
5.2. Clasificación y características de las fugas de agua . . . . .	9
5.3. Sistemas de detección de fugas . . . . .	11
<b>6. Marco metodológico</b>	<b>17</b>
6.1. Identificación de parámetros iniciales para la selección del dispositivo del sistema de detección de fugas . . . . .	17
6.2. Metodología del proceso . . . . .	21
6.2.1. Diseño del proceso . . . . .	21
<b>7. Resultados</b>	<b>27</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>60</b>
<b>Referencias</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>63</b>

# Lista de Tablas

- 1. Lista de requisitos y requerimientos . . . . . 18
- 2. Lista de métricas . . . . . 19

## Lista de Figuras

1.	Datos detección de fugas . . . . .	2
2.	Ubicación Universidad Politécnica Salesiana . . . . .	4
3.	Tubería industrial de agua potable . . . . .	8
4.	Fuga de agua . . . . .	9
5.	Fuga por rotura . . . . .	10
6.	Fuga en unión . . . . .	11
7.	Sensor piezoeléctrico . . . . .	13
8.	Diagrama proyecto con sensor de caudal . . . . .	15
9.	Diagrama proyecto acelerómetro . . . . .	16
10.	Detección de fugas con sistema acústico . . . . .	17
11.	Árbol de decisión . . . . .	20
12.	Diagrama técnico de conexión del sistema . . . . .	21
13.	Ubicación del sensor acústico primer ensayo . . . . .	22
14.	Ubicación del sensor acústico segundo ensayo . . . . .	25
15.	Válvula cerrada en su totalidad en primer ensayo. . . . .	28
16.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con cierre del 100% . . . . .	29
17.	Válvula abierta al 25% en primer ensayo. . . . .	30
18.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con apertura de 25% . . . . .	31
19.	Válvula abierta en rango del 50% en primer ensayo. . . . .	32
20.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con apertura de 50% . . . . .	33
21.	Válvula abierta al 75% en primer ensayo. . . . .	34
22.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con apertura de 75% . . . . .	35
23.	Válvula abierta al 100% en primer ensayo. . . . .	36
24.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con apertura de 100% . . . . .	37
25.	Resultado comparación de señales . . . . .	38
26.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	39
27.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	40
28.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	41
29.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	42
30.	Mapa de correlación de señales - Primer ensayo . . . . .	43
31.	Válvula abierta al 100% en segundo ensayo. . . . .	44
32.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula abierta en su totalidad . . . . .	45
33.	Válvula cerrada el 25% en segundo ensayo. . . . .	46

34.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada al 25% . . .	47
35.	Válvula cerrada el 50% en segundo ensayo. . . . .	48
36.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada al 50% . . .	49
37.	Válvula cerrada el 75% en segundo ensayo. . . . .	50
38.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada al 75% . . .	51
39.	Válvula cerrada el 100% en segundo ensayo. . . . .	52
40.	Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada al 100% . .	53
41.	Resultado comparación de señales . . . . .	54
42.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	55
43.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	56
44.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	57
45.	Aplicación de correlación entre señales . . . . .	58
46.	Mapa de correlación de señales - Segundo ensayo . . . . .	59

## Resumen

El agua como elemento fundamental de la vida es un recurso que debemos cuidar y proteger de manera extrema. Por esta razón la detección de fugas de agua debe ser analizada de manera técnica y aplicando tecnología que permita acciones inmediatas. En este documento se expone la propuesta de diseño de un sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales aplicado en tuberías industriales de distribución de agua potable. El proyecto ha sido implementado al interior del Laboratorio de Automatización y Control Totalmente Integrado en la Universidad Politécnica Salesiana.

Para el sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales se ocupa un sensor acústico el cual registra la señal obtenida, pasa a una tarjeta de adquisición de datos, la cual consolida y envía al software MatLab, en el cual se trabaja con el análisis de las señales para la obtención de resultados, en el cual mediante el procesamiento de las muestras se obtuvo una variación entre señales representando que existe una fuga en un tiempo establecido con una frecuencia determinada.

**Palabras clave:** Fugas, Frecuencia, Sistema, Tuberías.

## Abstract

Water as a fundamental element of life is a resource that we must care for and protect in an extremely. For this reason, the detection of water leaks must be analyzed technically and by applying technology that allows immediate action.

This document presents the proposal for the design of a leak detection system using frequency values applied to industrial pipelines for the distribution of potable water. The project has been implemented within the Laboratory of fully Integrated Automation And Control at the “Universidad Politécnica Salesiana”. For the leak detection system using frequency values, an acoustic sensor is used, which records the obtained signal and passes it to a data acquisition card. The card consolidates and sends the data to MatLab software, where signal analysis is performed to obtain results. Through the processing of samples, a variation between signals was obtained, indicating the presence of a leak within a specified time frame and with a determined frequency.

**Keywords:** Leaks, Frequency, System, Pipes.

# 1. Introducción

El agua es uno de los recursos más valiosos que tiene el mundo. Ante esto, el proceso para obtener agua potable debe ser riguroso y altamente costoso debido a todo su desarrollo de captación, infraestructura de transmisión, potabilización y distribución.

Este proyecto de investigación centra su análisis en la detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales. El sistema planteado es efectuado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, en el Laboratorio de Automatización y Control Totalmente Integrado.

El sistema propuesto emplea un sensor colocado en diferentes ubicaciones a lo largo de la red de tuberías, con el objetivo de inspeccionar la localización de las fugas mediante la adquisición de valores frecuenciales para su comprobación. Al comparar los valores frecuenciales dentro de la base de datos, el sistema identifica la zona en donde existe la posible fuga de agua.

El diseño de este sistema de detección de fugas de agua, tiene un alcance representativo para los sistemas de distribución de agua potable; además, contiene una implicación significativa para las empresas encargadas de distribuir el agua potable, permitiendo ahorrar los recursos monetarios y ambientales, conservando un buen suministro de agua potable para los consumidores.

A partir de ello, el documento menciona varios puntos extras que deben ser tomados en cuenta para la ejecución de un sistema de detección de fugas, otorgando resultados favorables del funcionamiento óptimo del desarrollo del sistema de detección de fugas.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

A lo largo de los años se ha contemplado la situación crítica que sucede al momento en el que no se detecta las fugas de agua tempranamente. Ante esto se obtuvieron datos que indican la importancia de que sean estudiadas y corregidas inmediatamente. La empresa ETAPA EP, distribuidora de agua potable en la ciudad de Cuenca, examinó las fugas de agua desde el año 2002 hasta el 2007 demostrando la cantidad de fallos que existieron en ese periodo, como indica la figura 1

## Figura 1

*Datos detección de fugas.*

### Detección de fugas

Año	Fugas encontradas (UCANC)	Fugas encontradas (Centro de Control)	Total de fugas encontradas
2002	126	103	229
2003	336	117	453
2004	204	159	363
2005	319	208	527
2006	301	131	432
2007	321	143	464

**Nota:** La figura indica el número de fugas detectado por la empresa ETAPA EP. (*ETAPA EP - Servicios de Telefonía, Televisión, Internet, Agua Potable, Alcantarillado de Cuenca - Ecuador >Principal >Agua potable >Unidad de control de agua no contabilizada >Detección de fugas, s.f.*)

Dada la importancia de detectar las fugas a tiempo, se comprueba los sistemas que han existido para sanar dichos inconvenientes. Por lo cual, se ha realizado varios estudios con base en sistemas de detección de fugas a nivel de tuberías industriales, en estos documentos se explica que existen diferentes métodos y sistemas que han podido ser implementadas dependiendo de la forma en la que ha sido causada la necesidad. En el Municipio de San Francisco Cundinamarca, Colombia, existe un antecedente (Pérez y Sastoque, 2017), en donde se encontró variaciones de presión y caudal utilizando instrumentos electroacústicos, otro antecedente similar, se dio en Cuba, donde un estudio realizado por estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría” se presentó una solución a la problemática en espacios bulliciosos con la implementación de filtros y sistemas de procesamiento de señales (Trutié-Carrero y cols., 2019)

## 2.2. Descripción del problema

Las fugas dentro del sistema de distribución de agua potable generan percances económicos, desperdicio y pérdidas de presión en las acometidas de los usuarios, por lo que, es de mucha importancia la detección rápida y eficaz de las mismas, permitiendo que se pueda ubicar el punto específico de la fuga para actuar sobre ella, de igual manera, adicionalmente a este



problema se origina otra consecuencia, el deterioro de vías a grandes distancias con una larga duración de reparo.

### **2.3. Importancia y alcances**

Es importante desarrollar este sistema de detección de fugas para evitar las pérdidas que son originadas dentro de las tuberías industriales, por lo cual, se busca brindar una mejora a las empresas que distribuyen agua potable, apoyando conjuntamente a la sociedad, dándoles una mejor calidad de vida, previniendo daños en las vías por un extenso periodo de tiempo.

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar un sistema empleando elementos electroacústicos, aportando también un análisis de valores frecuenciales que permite comprobar la existencia de fugas de agua en tuberías industriales

### **2.4. Delimitación**

Para este proyecto se ha dividido el proceso en tres espacios necesarios en los cuales va a ser llevado a cabo, a continuación los mencionamos:

#### **2.4.1. Espacial o geográfica**

La problemática y su solución será estudiada y manejada dentro de la Universidad Politécnica Salesiana, que está ubicada en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay.

## Figura 2

*Ubicación Universidad Politécnica Salesiana.*



**Nota:** Imagen representativa de la ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. (Maps, 2024)

### 2.4.2. Temporal

Para el presente proyecto se ha determinado un tiempo estimado de 240 horas, el cual se realizará dentro del periodo académico 63, agosto 2023 - febrero 2024.

### 2.4.3. Sectorial o institucional

El presente trabajo de titulación se desarrollará dentro del sector público en las empresas con distribución de agua potable.

## 2.5. Problema General

- ¿Es posible diseñar un sistema que mediante valores de frecuencia detecten las fugas a nivel de tuberías industriales para empresas de distribución de agua potable?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Es factible plantear un sistema que mediante valores de frecuencia detecten las fugas a nivel de tuberías industriales para empresas de distribución de agua potable?
- ¿Es posible proponer un nuevo sistema que mediante valores de frecuencia detecten las fugas a nivel de tuberías industriales para empresas de distribución de agua potable?
- ¿Es posible manejar un sistema que mediante valores de frecuencia detecten las fugas a nivel de tuberías industriales para empresas de distribución de agua potable?

## **3. Objetivos**

### **3.1. Objetivo General**

- Diseñar un sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características y elementos necesarios para un sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.
- Desarrollar el diseño de un sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.
- Verificar el funcionamiento del sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.

## **4. Hipótesis**

### **4.1. Hipótesis General**

- El sistema diseñado permitirá la detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.

## 4.2. Hipótesis Específicas

- Se determinará las características que contiene un sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.
- Se desarrollará el diseño de un sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.
- Se verificará el funcionamiento del sistema de detección de fugas mediante valores frecuenciales en tuberías industriales de distribución de agua potable.

## 5. Marco Teórico

Las fugas de agua son un problema común en los Sistemas de Agua, ya sea porque provoca pérdidas económicas, como por el daño que puede causar a todo lo que esté a su paso en la línea de evacuación. (your way, 2023)

La detección temprana de fugas de agua es fundamental dentro de varios aspectos tales como:

- El ahorro en la economía de hogares y empresas,
- La prevención de daños en infraestructuras,
- Problemas en el medioambiente; y,
- El manejo de los desperdicios de recursos.

Las fugas de agua se las podría calificar como de estado crítico, pues deben ser analizadas y consideradas al momento de realizar un trabajo de estas características (Mercado, Quiñonez, Angulo, Reyes, y Cevallos, 2023). Hay que tener en cuenta que las fugas de agua también se pueden presentar por factores externos, como:

- Problemas de construcción,
- Cambios climáticos,
- Erosiones; o,
- Mala adecuación o uso inadecuado de las tuberías.

## **5.1. Características de tuberías industriales y dimensionamientos**

Entre los factores más importantes a considerar en el análisis para la detección de fugas de agua, son las características que cumplen las tuberías industriales, que son utilizadas para distribuir el agua potable están regidas bajo normativas para su uso, parte de las normativas es el material de construcción, que, en el caso de agua potable, pueden ser: Acero galvanizado (norma NTE INEN 2470), polipropileno (PP), policloruro de vinilo clorado (PVC-C), polietileno reticulado (PER), polibutileno (PB), policloruro de vinilo (PVC), bajo la normativa NTE INEN 1372, 1373; y, 2497. (de desarrollo urbano y vivienda, 2011).

Según el uso cambian las propiedades y los materiales de las tuberías. Las tuberías industriales de agua, generalmente, se ubican de manera subterráneas, tal y como se puede apreciar en la figura 3.

### Figura 3

*Tubería industrial de agua potable.*



**Nota:** Se demuestra como es una tubería industrial de agua en vía subterránea. (*Tuberías Subterráneas y Aéreas - Alliance Specialized Systems, s.f.*).

El diámetro interior nominal de las tuberías va desde 1/8 de pulgada hasta 12 pulgadas, mientras que el diámetro exterior nominal se encuentra estandarizado, y es cercano al valor del diámetro interior nominal, “El diámetro nominal es una cantidad estandarizada por la American National Standards Institute (ANSI) y no debe confundirse con los muchos tipos de estándares. . .”. (*Las Tuberías y los Tubos en la Industria – MS Soluciones en Ingeniería, s.f.*).

En el contexto de análisis, es importante ahondar sobre las características de las tuberías, debido a que la elección incorrecta de materiales utilizados y las propiedades podrían generar o ser susceptibles a presentar fugas de agua.

Las características que deben cumplir las tuberías que transportan agua potable deben ser de mayor durabilidad y resistencia a la corrosión ya que soportan altas presiones, resistencia

a impactos.

A partir del conocimiento de las tuberías, el siguiente ítem se centrará en la relevancia de las fugas de agua, su clasificación y las características apropiadas

## 5.2. Clasificación y características de las fugas de agua

Las fugas de agua deben ser analizadas de manera temprana y cuidadosa, comprobando los diferentes daños que causan las fugas de agua. De acuerdo a la Agencia de Regulación y Control de Agua mencionó en una entrevista que el agua no contabilizada, evaporaciones, hurtos y/o fugas, en los últimos cuatro años ha incrementado un 5,23% generando así grandes pérdidas de recursos económicos y ambientales. (Torres, 2021) Esto es debido a varios factores externos que desempeñan un papel muy importante en su clasificación.

### Figura 4

*Fuga de agua.*



**Nota:** Representación de una fuga de agua. (*¿Cómo sellar una fuga de agua en tuberías de manera efectiva?* - Royse, s.f.)

Dentro de la clasificación de las fugas, se distinguen dos clases fundamentales, las cuales son fugas de agua visibles o no visibles.

Las fugas visibles son simples de examinar, pues mayormente éstas se dan por una rotura de la tubería generando una dispersión del agua en grandes cantidades, cabe destacar que esta se puede dar en uniones entre tuberías o en medidas diferentes. En la siguientes figuras se

demuestra como es la fuga por rotura a mitad de la tubería por alguna fisura, y como es la fuga en la unión de tuberías

**Figura 5**

*Fuga por rotura.*



**Nota:** En la gráfica se representa la fisura de la tubería en una distancia desconocida. (*Cómo detectar fugas de agua en tuberías/ Desatascos Barrido, s.f.*)



## Figura 6

*Fuga en unión.*



**Nota:** En la gráfica se demuestra la fuga cuando es en la unión entre tuberías.(MACOVENCA, 2017)

Las fugas de agua no visibles son demasiado pequeñas, que incluso se puede llegar a omitir una importancia, pero con el pasar del tiempo llegan a deteriorar la infraestructura cercana, pues estas son de gran dificultad de ser detectadas de una manera sencilla a comparación de las fugas visibles, pues estas solo generan humedad a la tubería generando una destrucción de la misma, o en ciertos casos, cuando la tubería está pegada a techos, o paredes, llega a afectar dichas estructuras. Por lo tanto, para cada tipo de fuga que llega a presentarse, existe un sistema de detección que puede abordarlo

### 5.3. Sistemas de detección de fugas

A lo largo de los años se ha visto notoriamente un avance tecnológico en todos los aspectos necesarios vitales para la humanidad, es por tal que este apartado se basa en los sistemas de detección de fugas, como ha empezado y como ha evolucionado según las necesidades de las empresas que son encargadas de distribuir agua potable.

Dentro de los tipos de sistemas, existen dos métodos de detección de fugas de agua: El método basado en software, el cual implica el uso de varios programas para analizar mediciones de flujo, observadores, y estimadores de estado; y el método basado en hardware el cual se enfoca más en incorporar sensores y equipos capaces de identificar la fuga de agua. (Gómez, Jaramillo, y Coronel, 2019). Estos dos métodos son gestionados mediante dos modalidades

de pruebas, las pruebas destructivas o las no destructivas, como se menciona en (Swagelok, 2024), sin embargo, esta sección se centra en el método mediante hardware.

Dentro del método de hardware, los detectores de fugas de agua son aquellos dispositivos que ayudan a localizar la falla de una manera más eficiente, y son verificados según el tamaño de la fuga de agua que se estudia, entre ellos están: sensores piezoeléctricos, de ultrasonido, acústicos, amplificadores de sonido, entre otros. (Gómez y cols., 2019)

- a. Sistema con sensor piezoeléctrico: Los sensores piezoeléctricos son una manera más de detectar fugas; sin embargo, es una de las más complicadas, debido a que en estas se ocupan materiales que requieren mayor trabajo y análisis, como son los cuarzos. Estos generan un voltaje a partir de fuerzas mecánicas externas, sin embargo, con el avance tecnológico, este sistema ha podido ocuparse con materiales ferroeléctricos para una mayor optimización de polarización. En este caso, existe un proyecto utilizando este método por parte de la Universidad de Carabobo. Dando a conocer como la piezoelectricidad están relacionados con el caudal, debido a que existe una correlación de la fluctuación de la presión con la velocidad de flujo entregada en la tubería. (de Sousa, Manganiello, Millán, Vega, y Yanez, 2021).

## Figura 7

*Sensor piezoeléctrico.*



**Nota:** Modelo de un sensor piezoeléctrico.

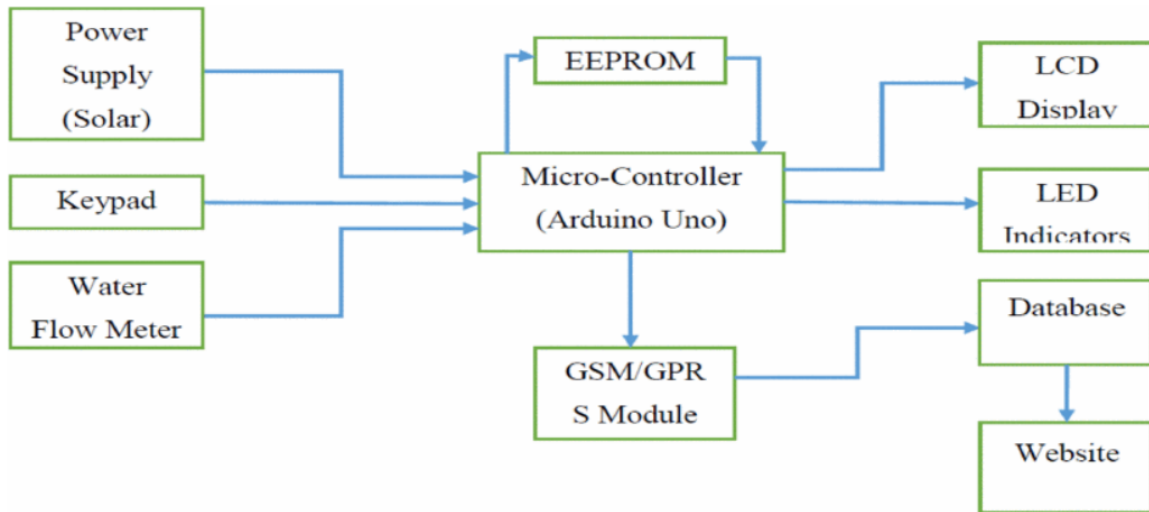
- b.** Sistemas con sensor ultrasónico: Los sistemas de detección de fugas mediante sensores ultrasónicos se basan en la búsqueda de fallas por caudal en fugas no visibles. Consiste en que el sensor envía una señal, las cuales son ondas sonoras de altas frecuencias, por medio de la tubería. Si no existe ningún fallo, la señal de sonido emitida alcanzará la medición completa (longitudinalmente) de la tubería. En cambio, si existe una fuga, el sensor envía la señal de sonido la cual no llega a completar el tramo total de la tubería de agua; se pierde en el punto donde existe el problema. Sin embargo, se deben tomar varias medidas para reconocer la precisión de la fuga, debido a que esto se da con una metodología de repetición para una mayor exactitud.
- c.** Sistemas con sensor de presión: Los sistemas de detección de fugas de agua mediante un sensor de presión han aparecido con el pasar del tiempo, y el avance de la tecnología. Estos sistemas han sido de gran ayuda para la detección de fugas en tuberías industriales,

evitando las pérdidas de uno de los recursos más preciados como lo es el agua. Alrededor del mundo se ha elaborado diferentes sistemas con este sensor, como por ejemplo (S y cols., 2023) demuestra en su investigación “Sistema inteligente de alerta y monitoreo de fugas de agua basado en IoT”; su experimento en el cual ocupan dos tanques de agua, un subterráneo y uno de superficie, el sensor de presión, y la comunicación es enviada a la nube. Por lo cual, cuando la presión de uno de los dos tanques baja, el sensor activa como robo o una fuga de agua, y notifica con un mensaje al celular del usuario.

- d.** Sistemas con sensor de caudal: Los sistemas de detección de fugas mediante caudal son muy útiles dentro de la sociedad. Han tenido un progreso favorable entorno a la problemática causada por las fugas de agua. El proyecto denominado “Dispositivo inteligente de detección y medición de fugas de agua” se basa en la ocupación de un sensor caudalímetro, este sistema funciona de la siguiente manera: El molinete está unido a un imán, y cada vez que la rueda cumple con un giro completo, el sensor con efecto Hall envía una señal a un lector, el lector es un microcontrolador el cual recepta la señal y convierte en un caudal de agua el cual funciona en medidas de l/h. Es así que todo el sistema funciona como un medidor de agua, debido a que los valores correspondientes obtenidos por el sensor y procesados en el microcontrolador, se representan en una pantalla LCD, este experimento también tiene como función enviar notificaciones al usuario para indicar el consumo de agua o una posible fuga. La posible fuga está caracterizada por el método “Umbral”, el cual expone que cualquier valor debajo de un nivel establecido es un fallo, en este caso, si está debajo del nivel de consumo se sintetiza como una posible fuga de agua. (Sithole, Rimer, Ouahada, C, y J, 2016)

**Figura 8**

*Diagrama proyecto con sensor de caudal.*



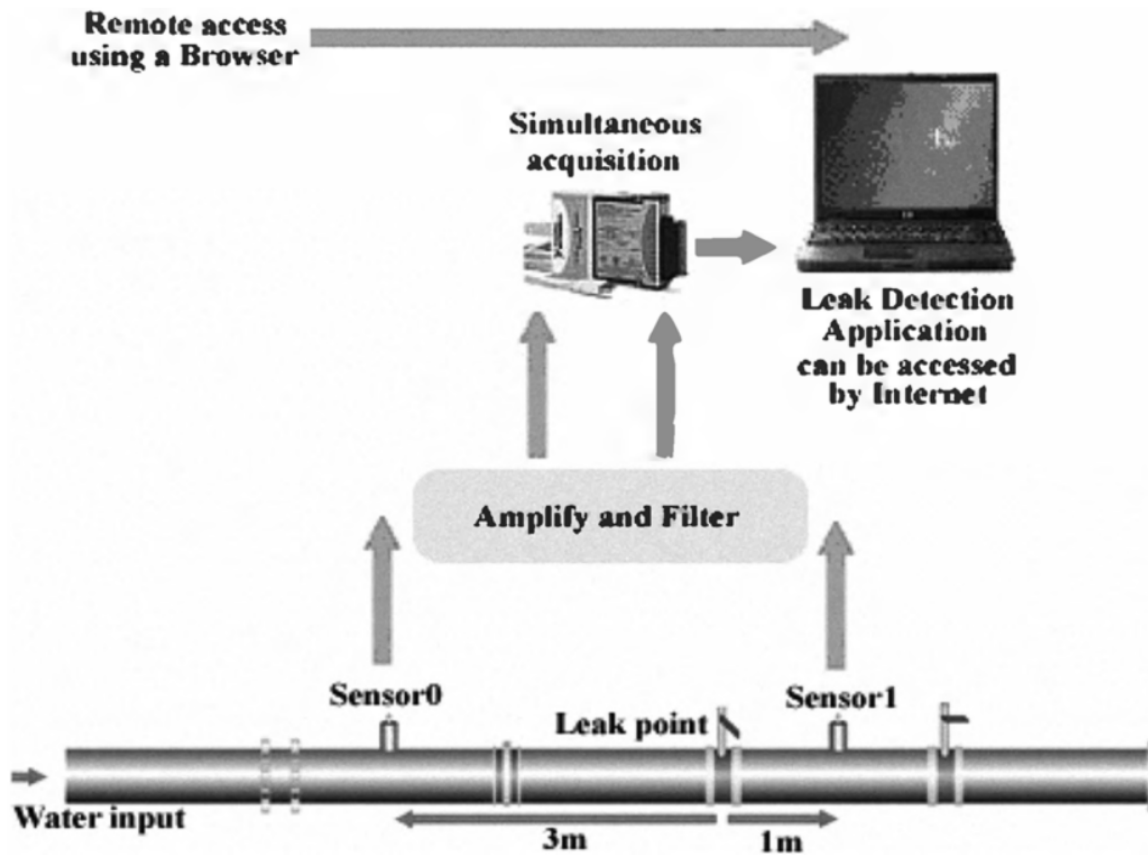
**Nota:** Diagrama del proyecto con sensor de caudal.(Sithole y cols., 2016)

- e. Sistema con sensor acelerómetro: Los acelerómetros son instrumentos de gran utilidad en base a los experimentos de detección de fugas de agua. En base al artículo “Remote automatic selection of suitable frequency intervals for improved leak detection” (Ionel, Ignea, y Ionel, 2010) se ha realizado un prototipo de sistema de detección de fugas de agua con dos acelerómetros. El sistema consta en la colocación de los dos sensores en la tubería donde se va a realizar la prueba, el primer sensor está ubicado a 1 metro de distancia de punto de fuga, y el segundo sensor está a los 3 metros de dicho fallo. Se envía el caudal, y se empieza a tomar las señales, una vez capturadas las señales, pasan por un amplificador y se registran en una tarjeta de adquisición de datos, para ser convertidas de señales analógicas a digitales.

Dentro del análisis de las señales, se comprueba donde se ubica el pico más alto, si a la izquierda, o a la derecha, para verificar la cercanía de la fuga en comparación de las ubicaciones del sensor. A partir de comprobar esto, ya se puede trabajar la necesidad planteada en el proyecto en base con la señal obtenida.

**Figura 9**

*Diagrama proyecto acelerómetro.*



**Nota:** Diagrama del proyecto con acelerómetros. (Ionel y cols., 2010)

- f. Sistema con sensor acústico: Para los sistemas de detección de fugas que tienen como dispositivo principal el sensor acústico, se rigen de manera en que el caudal y la presión nos darán una vibración mecánica, la cual se transforma en una señal acústica la cual es escuchada mediante auriculares. Cabe recalcar que este sistema no es muy preciso, ya que el sensor deberá incrementar mediante la señal con un amplificador. En este caso, ha existido un sistema acústico en la ciudad de Quito, en el cual indican que este dispositivo capta el sonido, lo amplifica, y mediante el ruido más agudo o intenso se puede detectar la presencia de una fuga. (informa, 2021)

## Figura 10

*Detección de fugas con sistema acústico.*



**Nota:** La imagen representa la detección de fugas en la ciudad de Quito con el sistema acústico.(informa, 2021)

A partir de eso, podemos mencionar que cada una de estas pruebas se realiza con diferentes instrumentos, por lo que, cuando entramos en el tema de tuberías industriales necesitamos de instrumentos más avanzados que satisfaga la necesidad que se ha planteado en base a reducción de tiempos y ahorro de los recursos.

## 6. Marco metodológico

### 6.1. Identificación de parámetros iniciales para la selección del dispositivo del sistema de detección de fugas

Dentro del inicio del proyecto se llevó a cabo una revisión del estado del arte, basado en documentos digitales, incluyendo artículos científicos, revistas digitales, tesis extranjeras y una variedad de documentos adicionales, donde se analizó la clasificación y características de las fugas de agua, los métodos y sistemas existentes alrededor del mundo para la detección de

fugas en las tuberías encargadas de distribuir agua potable. Del mismo modo, se realizaron consultas en un entorno cercano con empresas especializadas que manejan una variedad de dispositivos para realizar estos tipos de trabajos. Después de analizar los diferentes sistemas empleados alrededor del mundo, se aplicó un estudio más focalizado para la selección del instrumento que mejor se adaptó a las necesidades contempladas en este proyecto.

A continuación se detalla el proceso que se manejó para evaluar las mejores opciones de sistemas y dispositivos a utilizar. En primer lugar, se elaboró una lista de los requisitos y requerimientos que abarca el proyecto, como se demuestra a continuación:

**Tabla 1**

*Lista de requisitos y requerimientos.*

Requisitos	Requerimientos
Dispositivo detecta fugas mediante valor frecuencial	Tener un hardware y software para detección de fugas de agua
Sistema auténtico para manejo de dispositivo	Dispositivo fijo o móvil
Manejo fácil y útil del sistema	Variedad de tamaños según requiera

**Nota:** Se puede apreciar la lista de requisitos y requerimientos que debe tener el sistema.

A continuación de obtener la lista de requisitos y requerimientos, se procedió con el análisis de una nómina de métricas que debe contener el sistema para ser puesto en marcha.



**Tabla 2***Lista de métricas.*

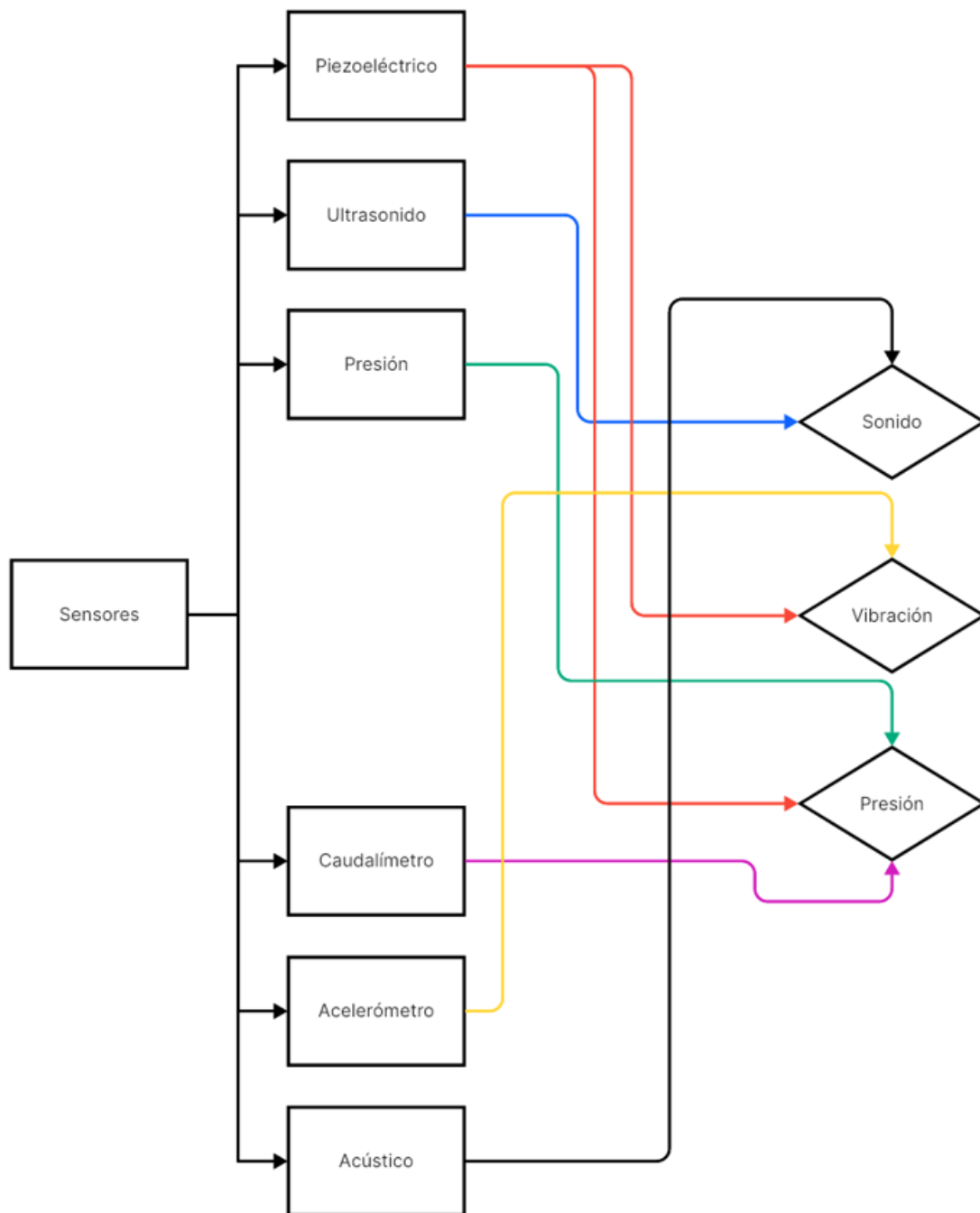
Métrica	Rango	Unidad de medida
Rango de frecuencia que maneja el dispositivo	20-20000	Heartz (Hz)
Facilidad de manipulación del sistema	Subjetiva	Subjetiva
Adaptable a diferentes software	Subjetiva	Subjetiva
Tiempo requerido para mantenimiento del sistema	Subjetivo	Segundos (s)
Vida útil del sistema	Subjetivo	Años
Velocidad para receptar datos	Subjetivo	Segundos (s)
Tipos de cable para conexiones	Subjetivo	Subjetivo
Fuente de alimentación para sensor	2.4-5.5	Volitos (V)

**Nota:** Lista de métricas que debe cumplir el sistema.

A partir de tener la lista de métricas, se realizó el árbol de decisión, el cual contempla los diferentes métodos de detección mencionados anteriormente, y se optó por la mejor opción en la selección de sensores.

**Figura 11**

*Árbol de decisión.*



**Nota:** En el diagrama se representa el árbol de decisión para seleccionar el sistema.

Una vez que se obtuvo el árbol de decisión con los sensores que pueden ser seleccionados, se realizó el estudio de la mejor opción para implementar en el sistema del proyecto.

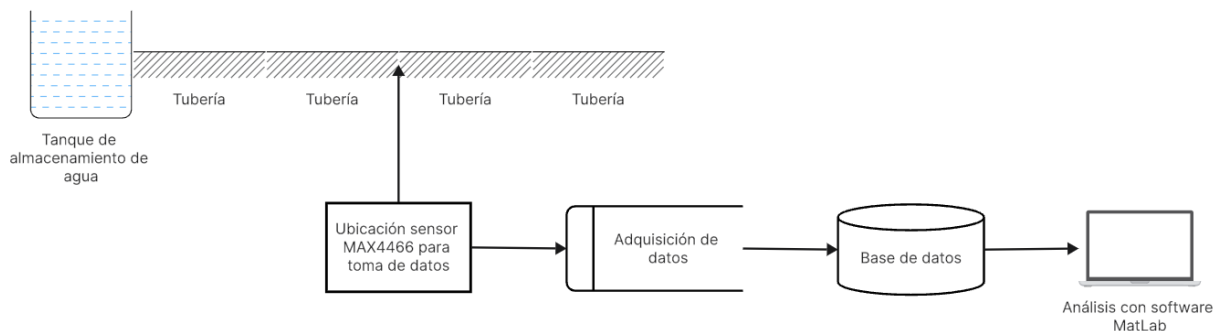
## 6.2. Metodología del proceso

### 6.2.1. Diseño del proceso

Para el diseño de proceso y de acuerdo con la metodología de la investigación en donde se analizó los sensores más utilizados para la detección de fugas de agua, se optó como la mejor opción el sensor acústico. El sensor acústico que cumple con las métricas planteadas en la tabla 2 es el dispositivo MAX4466, que tiene unas características de voltaje de 2.4V a 5.5V, frecuencia mínima y máxima de 20 a 20000Hz, con ganancia de 600kHz, además, se seleccionó por su tamaño debido a que se colocará en una tubería de acero galvanizado con un diámetro nominal de 90mm, con un espesor de 5mm.

#### Figura 12

*Diagrama técnico de conexión del sistema.*



**Nota:** Diagrama técnico de conexión del sistema de detección de fugas.

La elaboración de los experimentos de detección de fugas de agua se realizó dentro del Laboratorio de Automatización y Control Totalmente Integrado (LACTI), el cual posee una planta industrial que está conformada por tanques de almacenamiento de agua, tuberías industriales, y válvulas de interrupción, regulación, y accionamiento mecánico. (VYMA, 2022)

Dentro del primer ensayo, el sensor acústico fue ubicado de forma vertical y adherido a la tubería de agua de acero galvanizado, la cual tiene un espesor de 5mm, un diámetro interno nominal de 90mm y un diámetro externo de 100mm representado en la figura 13. La tubería

tiene una conexión directa con los tanques de almacenamiento, siendo el paso de carga y descarga del agua de los tanques. Este paso directo genera una fuerte vibración y hace que la toma de señales se vea afectada por ruidos generados por el golpe del sensor con la tubería.

### Figura 13

*Ubicación del sensor acústico primer ensayo.*



**Nota:** Ubicación del sensor acústico en el primer experimento.

Posterior a ubicar el sensor, se tomaron las señales de la siguiente manera: Se realizó la toma de 25 señales en total, las cuales fueron divididas en grupos de cinco señales por cada rango de apertura manual de la válvula (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). Estas señales obtenidas fueron registradas en la tarjeta de adquisición de datos, la cual adquirió los datos a un periodo de muestreo de 0.2 segundos, a una frecuencia de muestreo de 5kHz, entregando un total de 10000 datos muestreados por cada señal obtenida. Dentro de la adquisición de señales está aplicada la transformada rápida de Fourier (FFT) para la obtención de señales en espectros de frecuencia.

Para las primeras cinco muestras se procedió con el llenado del tanque de agua al 100% de su capacidad, donde hubo un intervalo de tiempo de 5 segundos de espera para la toma

de cada señal, debido a que cuando se realizó la apertura de válvulas existió el efecto de cavitación. Cuando el agua llegó a estado estacionario se tomó las primeras cinco muestras. Después, se procedió a abrir la válvula con el primer rango de 25%, esta apertura imitó una fuga de agua del tanque y se tomaron las siguientes cinco muestras; después, se realizó una apertura mayor en el rango de 50%, imitando una fuga más extensa, en este proceso se tomaron las siguientes cinco muestras de señales. Para las siguientes cinco muestras de señales fueron tomadas con la apertura de válvula en un rango del 75%, mientras que, para las últimas cinco muestras de las señales, se realizó la apertura del 100% de la válvula imitando una fuga excesiva.

A partir de la obtención de las 25 señales, se trabajó en cada una de ellas en un proceso de normalización, el cual constó en encontrar el valor máximo de la señal y ser dividido para el mismo valor.

La ecuación representa el proceso matemático de la normalización, en el cual:

$$A_{\text{norm}} = \frac{[A]}{\max[A]} \quad (1)$$

Después del proceso de normalización, se realizó una media entre cada grupo de cinco muestras de las aperturas de válvula, obteniendo una señal total por cada rango de apertura de válvula. Para la obtención de la media de la señal se realizó mediante la siguiente ecuación

$$\bar{X} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 [X_i] \quad (2)$$

Cuando se obtuvieron las cinco señales totales promediadas, se ejecutó una correlación entre la muestra total promediada cuando la válvula no tuvo fuga y con cada uno de los procesos cuando existió un rango de apertura de válvula que imitaba la fuga de agua. Este proceso ayudó para comprobar la similitud entre las señales especificadas, y se realizó mediante las ecuaciones

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}][Y_i - \bar{Y}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \bar{Y}]^2}} \quad (3)$$

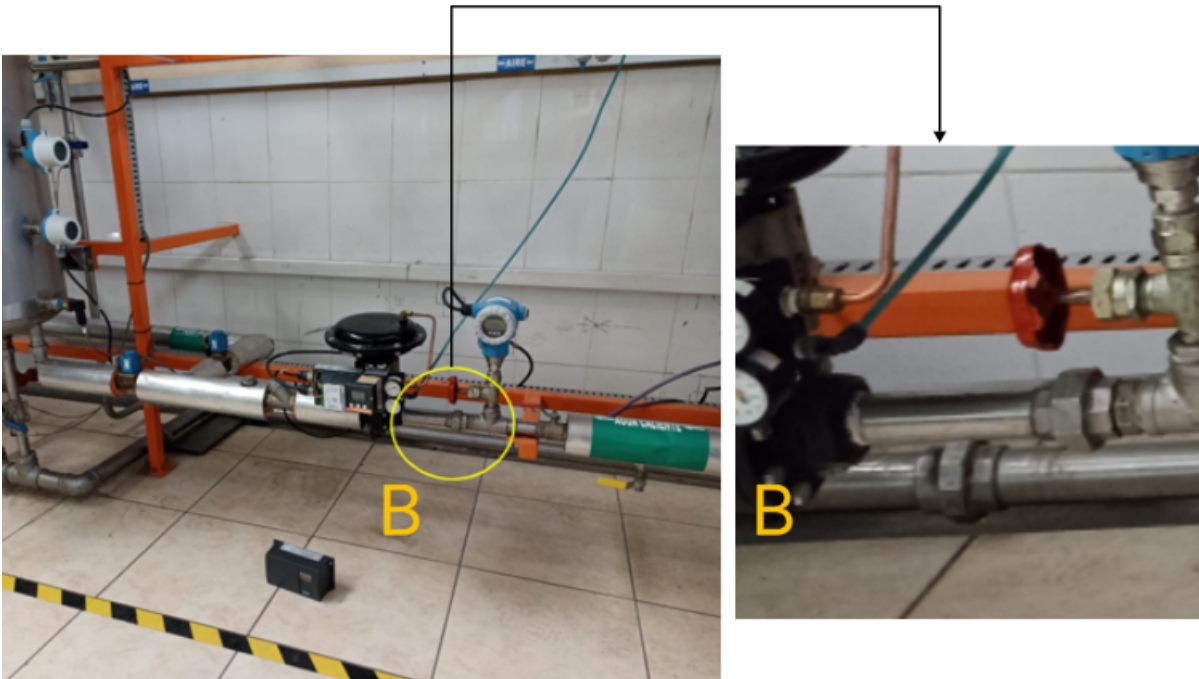
A partir de obtener la correlación entre señales, se aplicó el método de mínimos cuadrados, la cual ayudó a encontrar la diferencia de valores entre máximos y mínimos de las señales dentro del espectro de frecuencia.

En base al siguiente experimento, se ejecutó en la tercera fila de las tuberías de la planta A del laboratorio LACTI, esta tubería de agua tiene un espesor de 5mm, un diámetro exterior de 100mm, y un diámetro interior nominal de 90mm, siendo su material el acero galvanizado; la colocación del sensor acústico en esta tubería fue de manera horizontal.

Se fijó al sensor acústico a la tubería de agua para disminuir ruidos externos al momento de adquirir las señales. En este ensayo práctico se tuvo un apoyo exterior, el cual ayudó a controlar de manera más precisa los rangos de aperturas de la válvula y el caudal que emitía los tanques de almacenamiento de agua. Los elementos que contribuyeron a controlar estos dos factores fueron un caudalímetro el cual demostraba el valor del caudal que pasaba por la tubería, y una válvula proporcional que exhibía en que porcentaje de apertura está la válvula que imita la fuga de agua con un funcionamiento automático.

## Figura 14

*Ubicación del sensor acústico segundo ensayo.*



**Nota:** Ilustración donde se ubicó el sensor acústico para el segundo ensayo.

Consecutivo a la colocación del sensor MAX4466 en la tubería de agua, se procedió a capturar las 25 señales totales, y dividir las en grupos de cinco señales por los rangos establecidos (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). Dentro de la adquisición de señales, la tarjeta se programó a una frecuencia de muestreo de 5kHz, en un periodo de 0.2 segundos, entregando como efecto una base de datos de 10000 muestras para el análisis de cada señal. Dentro de la adquisición de datos se aplicó la transformada rápida de Fourier (FFT) para la obtención de señales en espectros de frecuencia. Cada una de las señales fueron tomadas después de un intervalo de 5 segundos, debido a que el agua estaba en un efecto de cavitación, y se esperó hasta que llegue a estado estacionario.

Durante la completa apertura de la válvula, el caudal transmitido fue de 51.26 l/min, en el cual se registraron las primeras cinco muestras de señales. Posteriormente, se realizó un ajuste en la apertura de la válvula al 75%, lo que resultó un caudal menor, y se adquirieron las siguientes cinco muestras. Luego, se modificó la apertura de válvula al 50% para obtener

las próximas cinco señales. Se imitó una fuga donde el caudal fue de 6.83 l/min debido a que se efectuó una apertura de válvula del 25%, donde se obtuvo las penúltimas cinco muestras de señales. Finalmente, se configuró la válvula con un rango del 0%, para obtener las últimas cinco muestras de señales, para el posterior análisis de cada una de las señales.

Cuando se adquirieron las 25 señales, se trabajó en cada una de ellas, realizando un proceso de normalización, el cual consiste en encontrar el valor máximo de cada base de datos y dividir para ese valor obtenido.

$$A_{\text{norm}} = \frac{[A]}{\max[A]} \quad (4)$$

Luego de normalizar cada señal, se procedió a agrupar las señales por cada rango de apertura de válvula, y en cada agrupación se ejecutó el proceso para del valor medio para tener una señal resultante

$$\bar{X} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 [X_i] \quad (5)$$

Posterior a obtener el valor medio, se ejecutó el método de correlación. Esta medida estadística fue aplicada entre las señales de la válvula cerrada al 100% con cada una de las señales de los diferentes rangos mencionados anteriormente.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}][Y_i - \bar{Y}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2 \sum_{i=1}^n [Y_i - \bar{Y}]^2}} \quad (6)$$

Después de la correlación entre señales, se ejecutó el método de mínimos cuadrados; se realizó para la encontrar diferencias de los valores entre máximos y mínimos de las señales dentro del espectro de frecuencia.



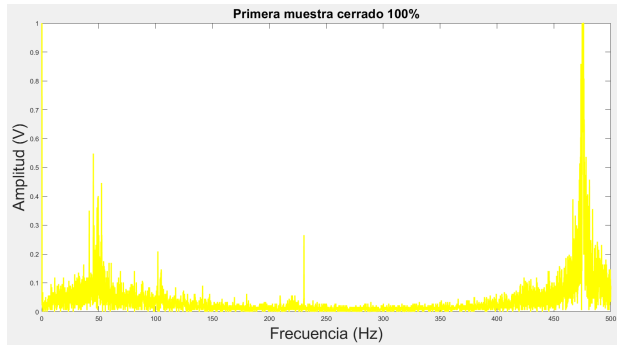
## 7. Resultados

- Válvula cerrada el 100% - Primer ensayo

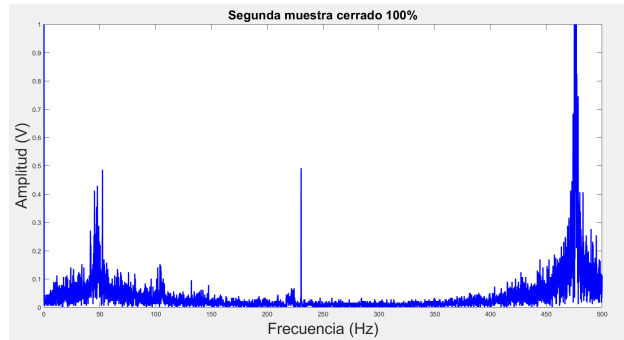
A continuación, se demuestra los resultados de las señales adquiridas de las primeras cinco muestras, las cuales fueron cuando el tanque estuvo abierto sin imitación de fuga existente.

## Figura 15

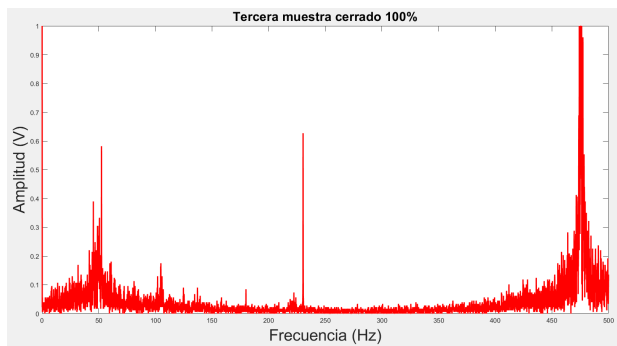
*Válvula cerrada en su totalidad en primer ensayo.*



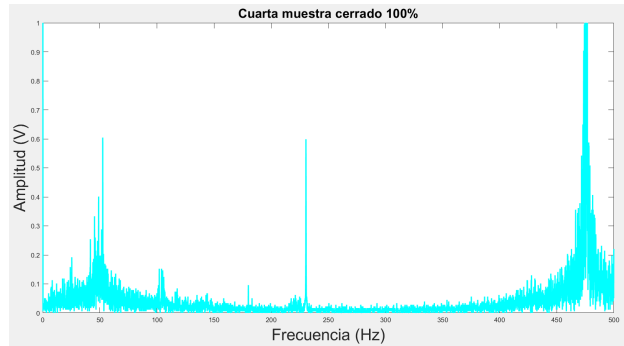
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



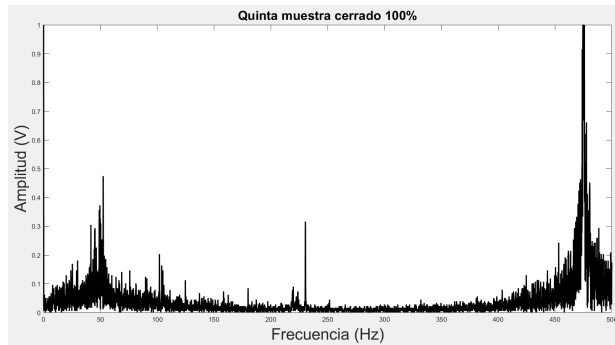
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



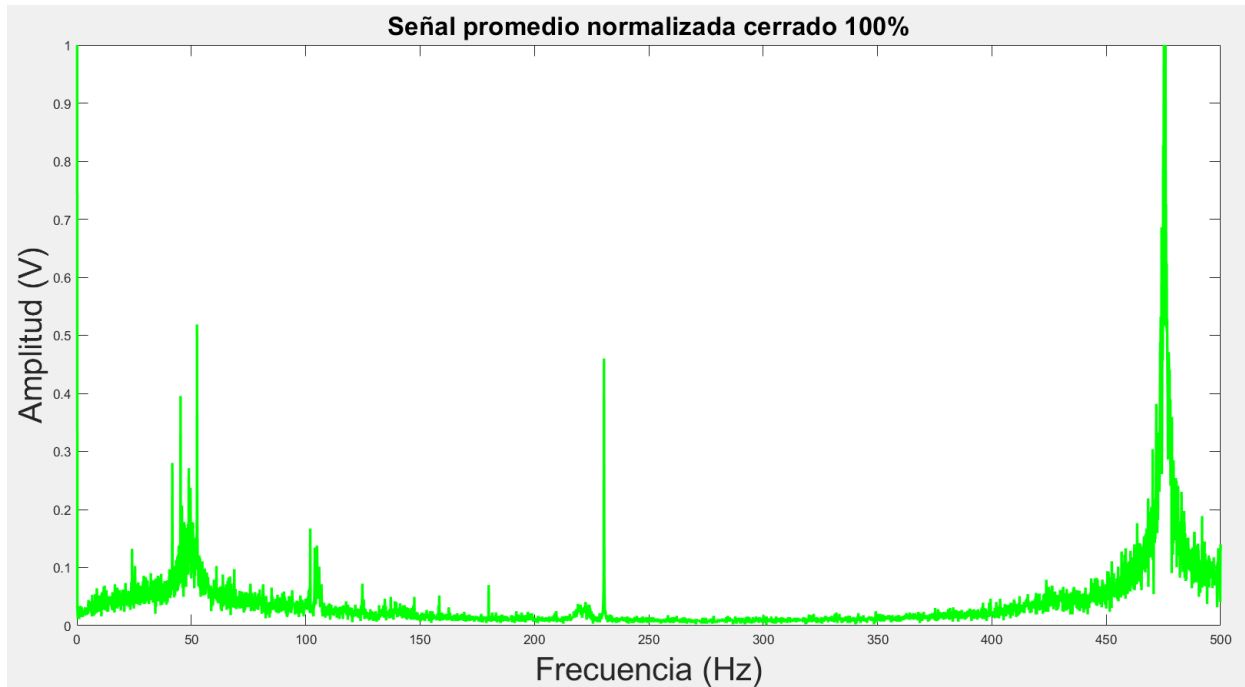
(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del primer ensayo con la válvula cerrada al 100%

Representación total de la señal normalizada y promediada de la válvula cerrada en su totalidad

**Figura 16**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada completamente.*



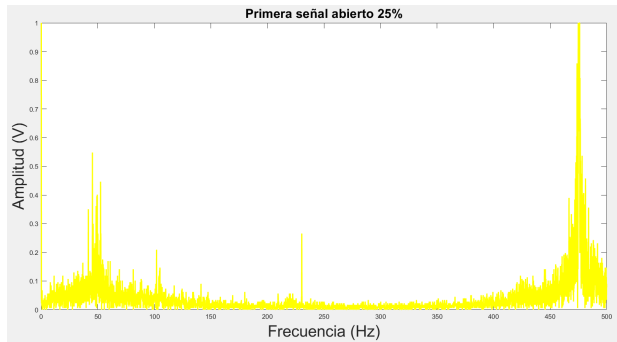
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula cerrada completamente

- Válvula abierta el 25% - Primer ensayo

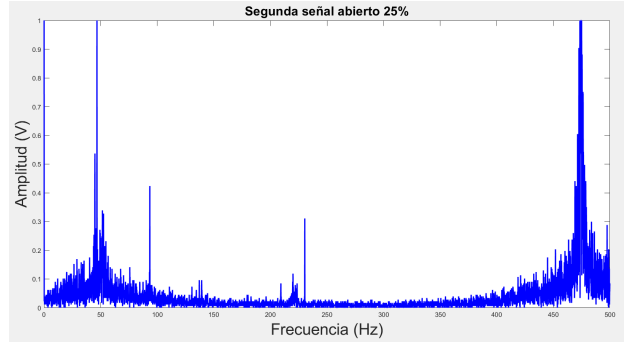
Demostración de los resultados obtenidos cuando la válvula tuvo un rango de apertura del 25% simulando una fuga de agua

## Figura 17

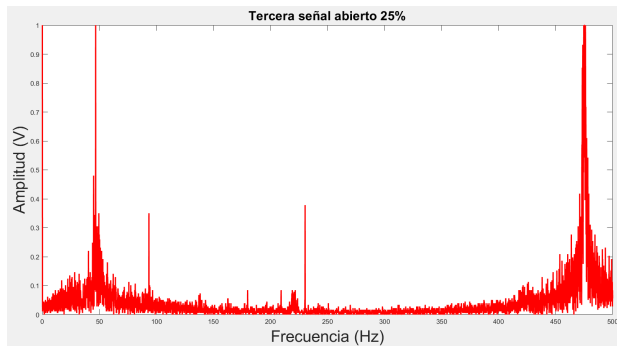
*Válvula abierta al 25% en primer ensayo.*



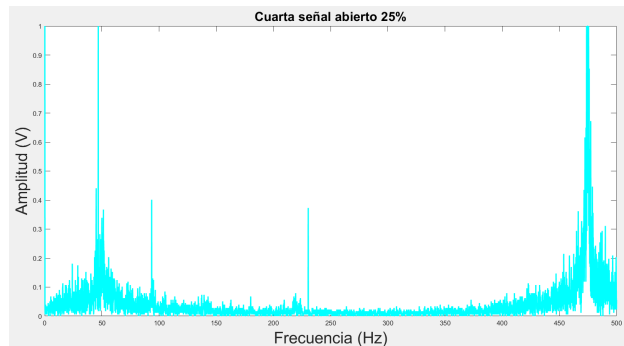
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



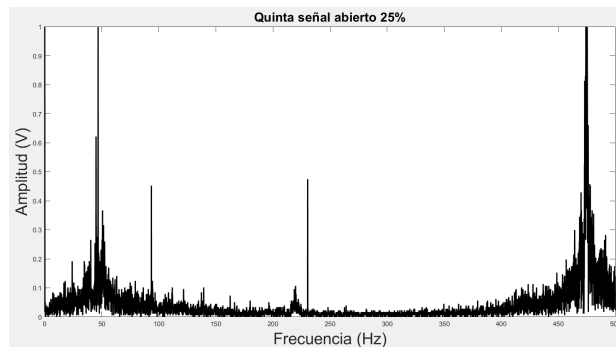
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



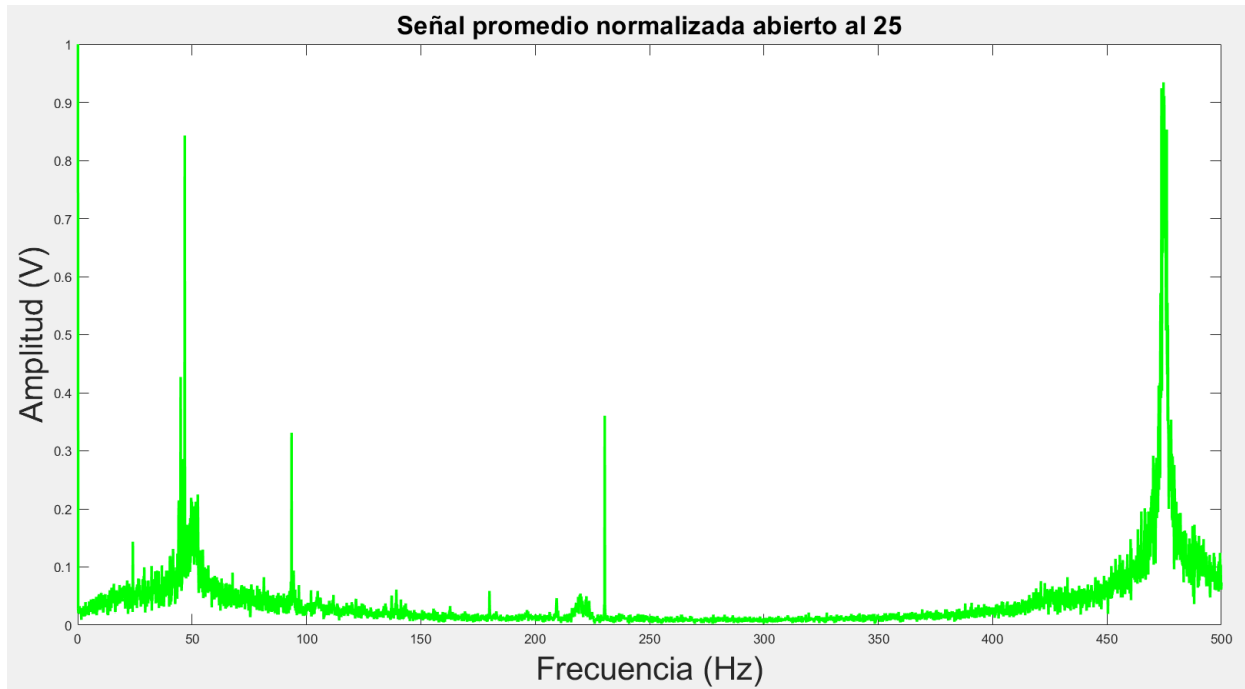
(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del primer ensayo con rango de la válvula abierta al 25%.

Obtención de las cinco muestras, existió la normalización y promedio de las señales, dando como resultado la siguiente señal

**Figura 18**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con rango de apertura de 25%.*



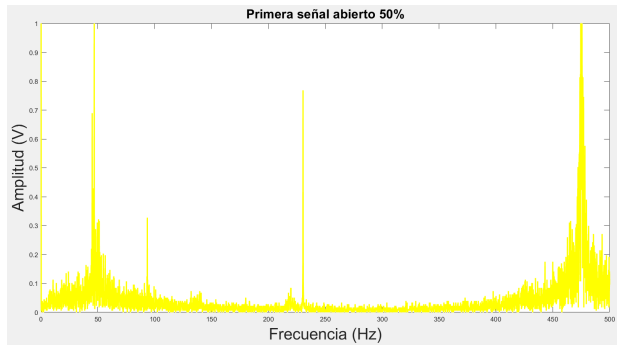
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula con apertura 25%.

- Válvula abierta el 50% - Primer ensayo

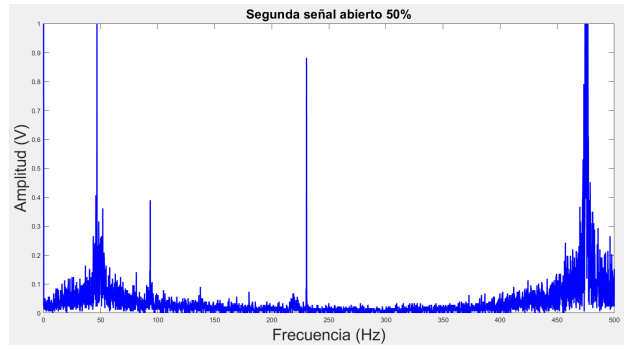
Las señales exhibidas a continuación representan los resultados obtenidos cuando se realizó la apertura de la válvula en rango del 50%

## Figura 19

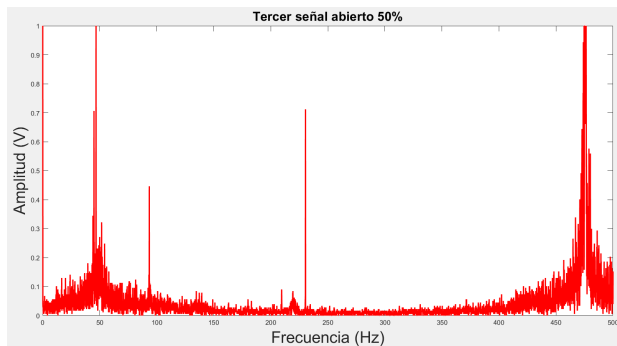
*Válvula abierta en rango del 50% en primer ensayo.*



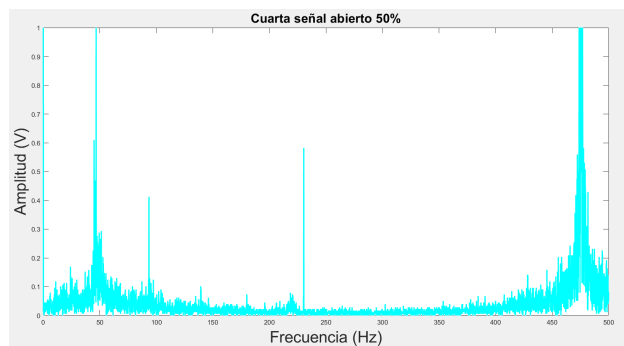
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



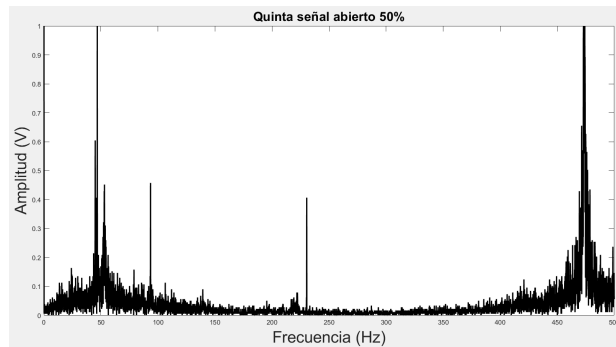
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



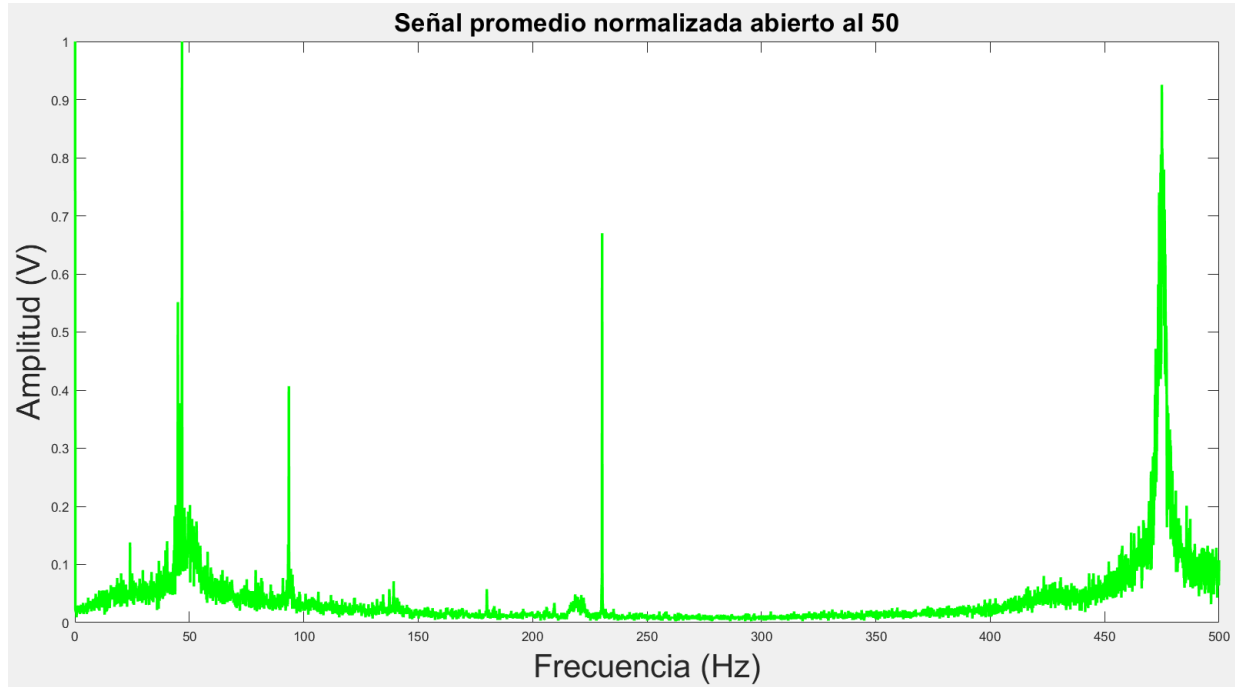
(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del primer ensayo con la válvula abierta el 50%.

Señal promediada y normalizada de las muestras obtenidas del rango de apertura del 50% de la válvula

**Figura 20**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con apertura de 50%.*



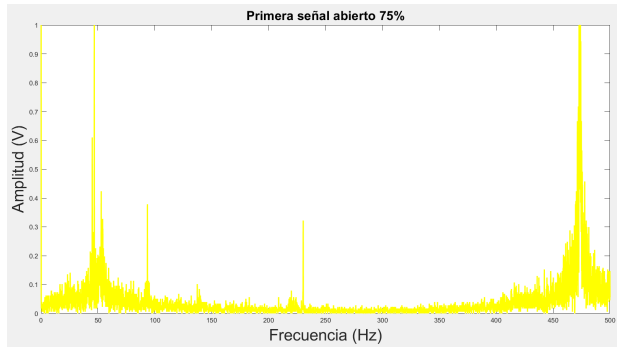
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula con apertura 50%.

- Válvula abierta el 75% - Primer ensayo

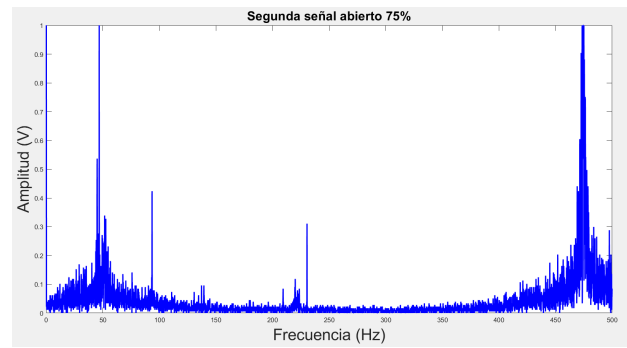
Señales resultantes de la adquisición de datos cuando la válvula tuvo una apertura del 75% son las siguientes

## Figura 21

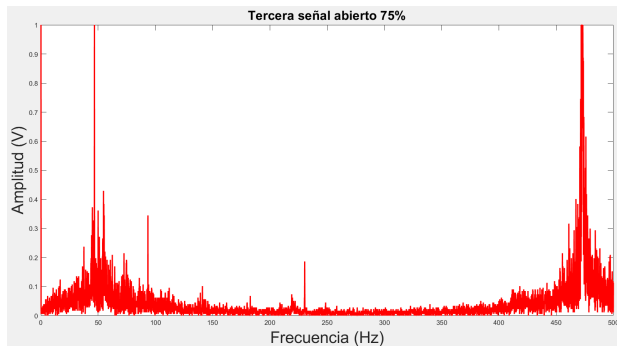
*Válvula abierta al 75% en primer ensayo.*



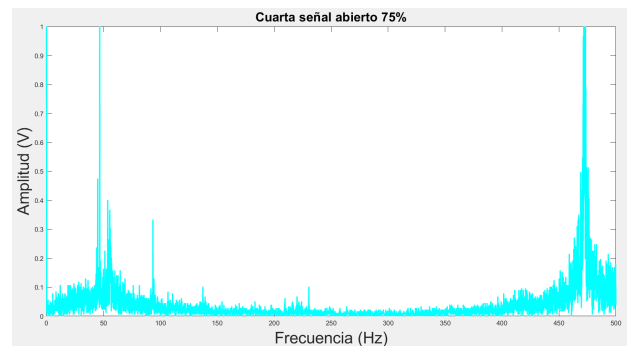
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



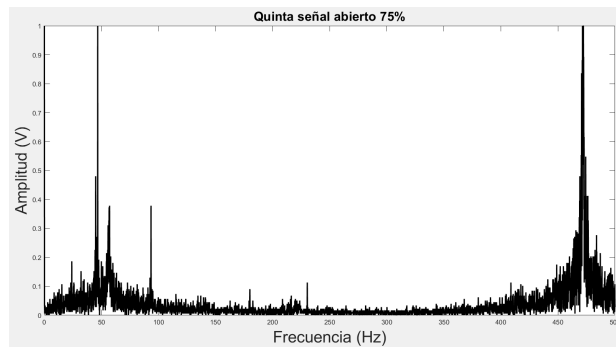
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

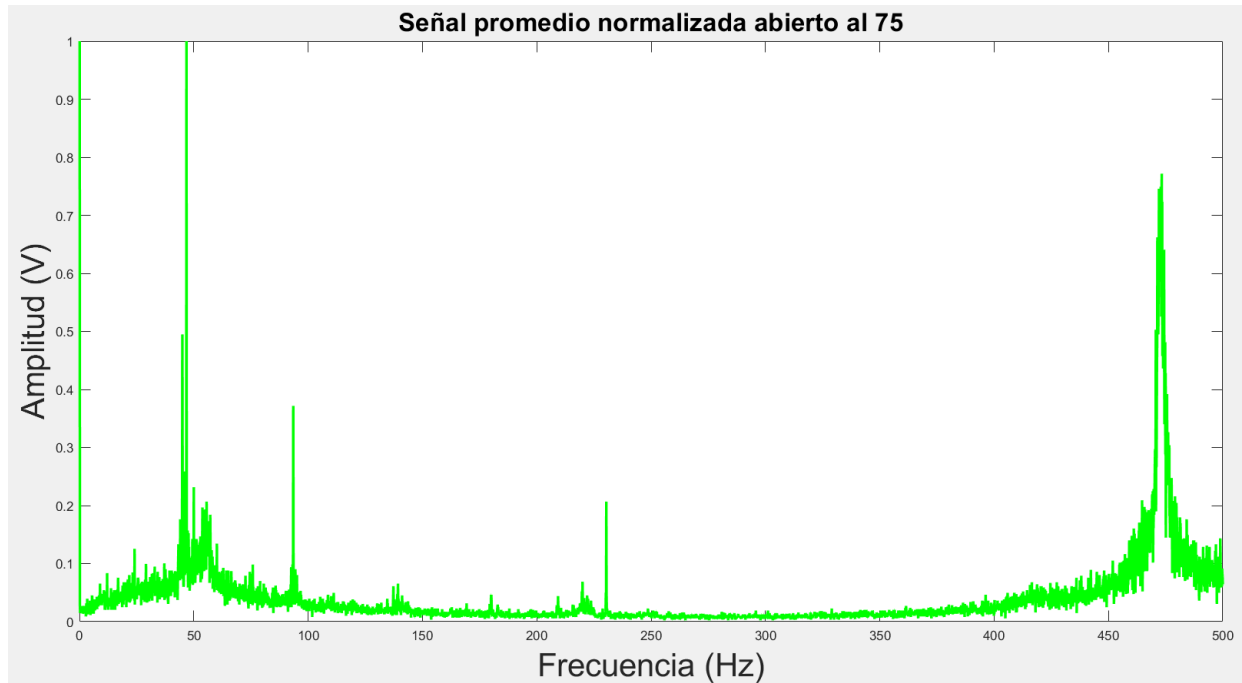
**Nota:** Señales sin proceso de normalización del primer ensayo con la válvula abierta el 75%.

Señal promedio y normalizada de los datos adquiridos con la válvula abierta en el rango del 75%



**Figura 22**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con apertura de 75%.*



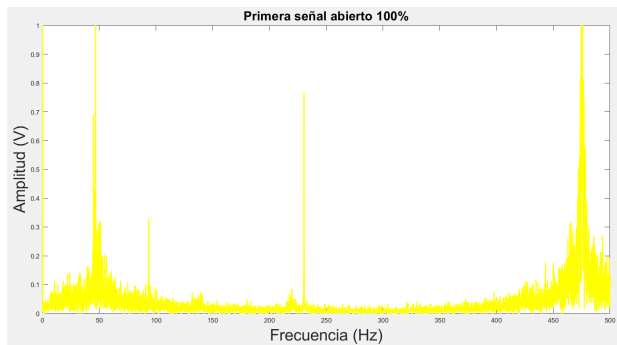
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula con apertura 75%.

- Válvula abierta el 100% - Primer ensayo

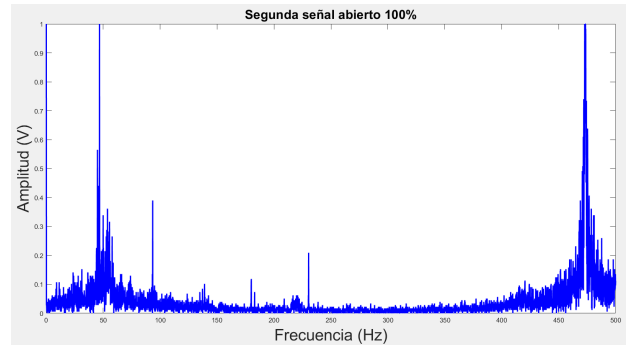
Resultados de las señales adquiridas de las últimas cinco muestras del primer ensayo. Las cuales fueron cuando el tanque estuvo en el rango del 100% imitando una fuga de agua existente.

## Figura 23

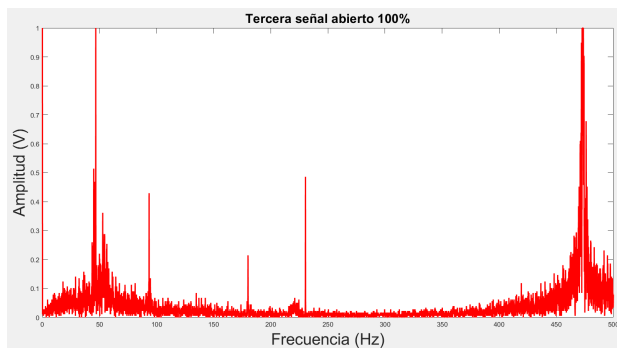
*Válvula abierta al 100% en primer ensayo.*



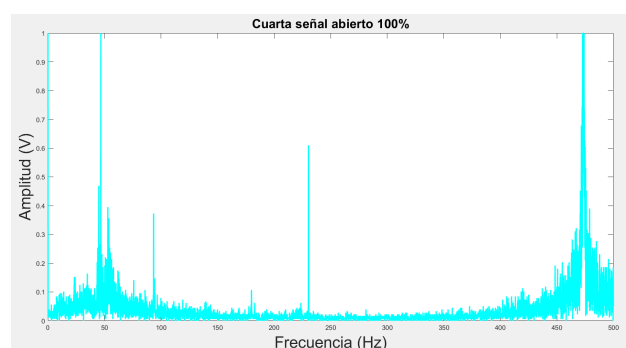
(a) Primera señal sin proceso de normalización.



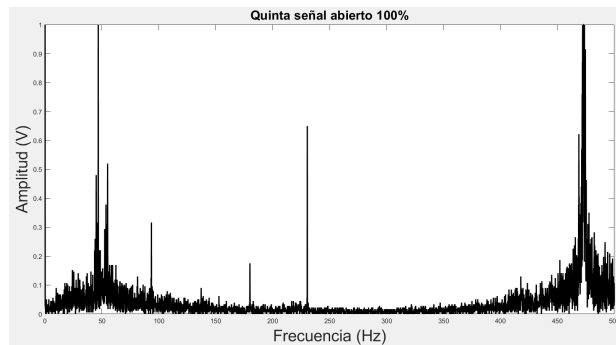
(b) Segunda señal sin proceso de normalización.



(c) Tercera señal sin proceso de normalización.



(d) Cuarta señal sin proceso de normalización.



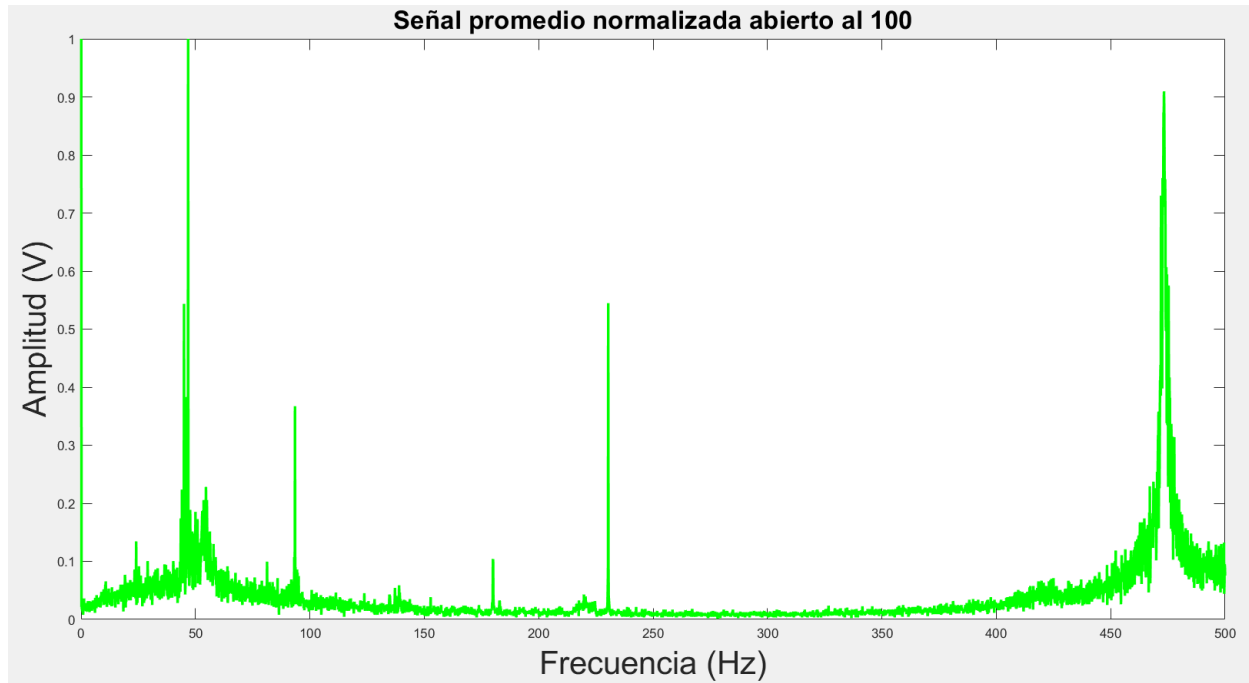
(e) Quinta señal sin proceso de normalización.

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del primer ensayo con la válvula abierta el 100%.

Posteriormente, se representa la ilustración total de la señal normalizada y promediada de la válvula abierta al 100%

**Figura 24**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula con apertura de 100%.*

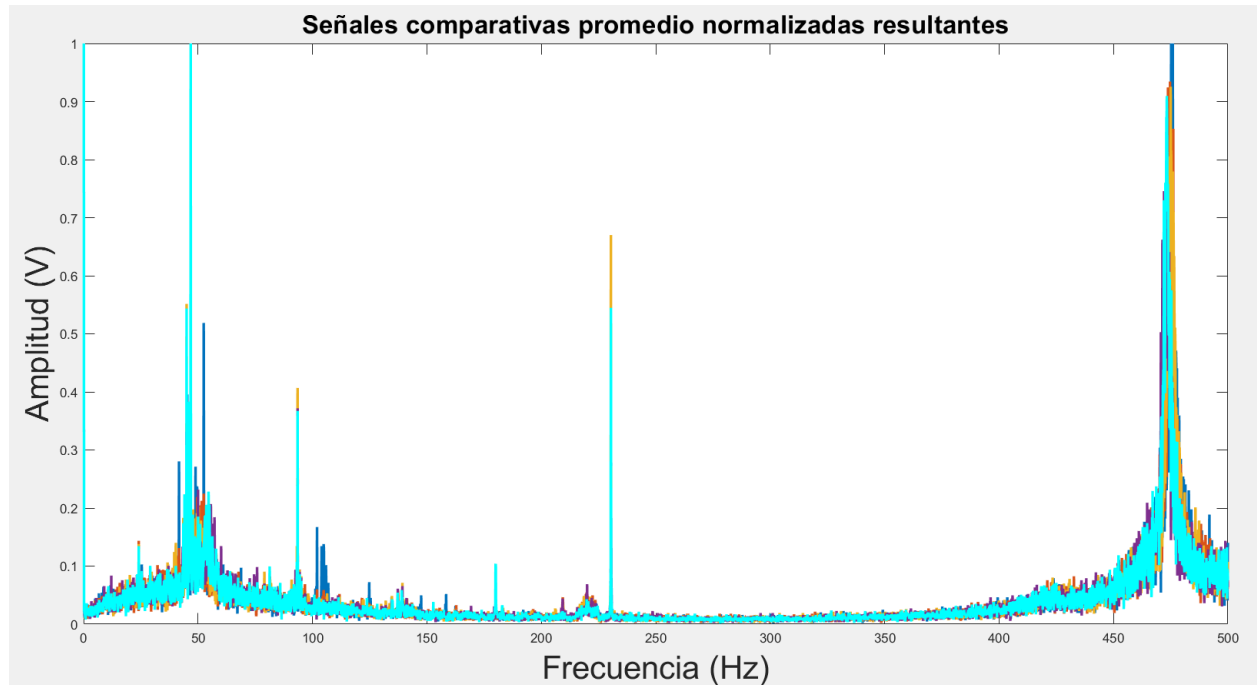


**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula con apertura 100%.

Una vez obtenidas las cinco señales promediadas y normalizadas, se realizó un proceso de comparación entre ellas, representado a continuación

## Figura 25

*Resultado comparación de señales.*



**Nota:** Ilustración comparativa de las señales promediadas normalizadas.

A partir de la ilustración comparativa, se realizó un proceso de correlación para verificar la relación entre señales. Este proceso fue dando entre la señal abierta 0% como principal, con cada una de las otras señales resultantes.

- Señal de válvula cerrada 100% y válvula abierta 25%

A continuación se exhibe la gráfica del proceso de resta que se realizó para cada señal resultante promediada y normalizada. Esta operación se realizó para identificar las variaciones que existen entre el caso ideal (Cerrado 100%) con el caso de apertura de válvula en rango del 25%. Se aprecia que tanto al inicio como al final existen picos de variación que sobrepasan la amplitud de 0.2V, y el pico mayor se da en el valor de 0.44V.

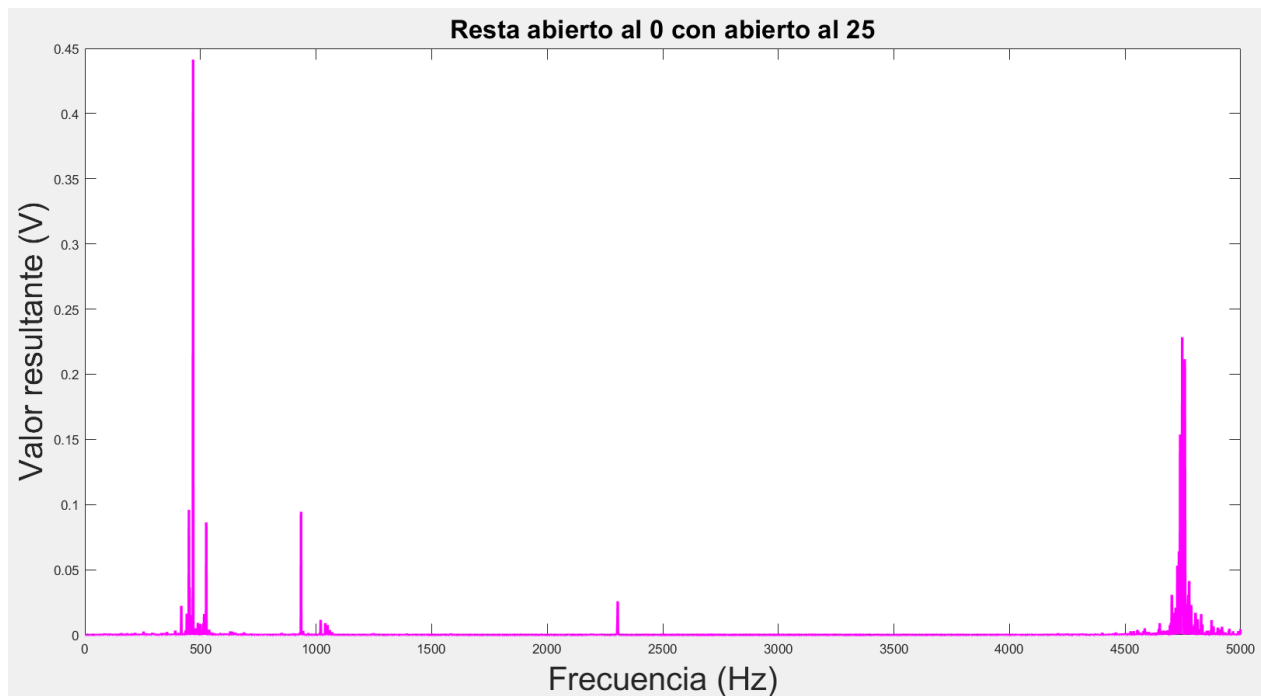
## Figura 26

Aplicación de correlación entre señales.

```
>> v150_50= corrcoef(zp, zp_1)
```

0.9119

(a) Valor obtenido aplicada la correlación.



(b) Señal obtenida de la correlación

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

- Señal de válvula cerrada 100% y válvula abierta 50%

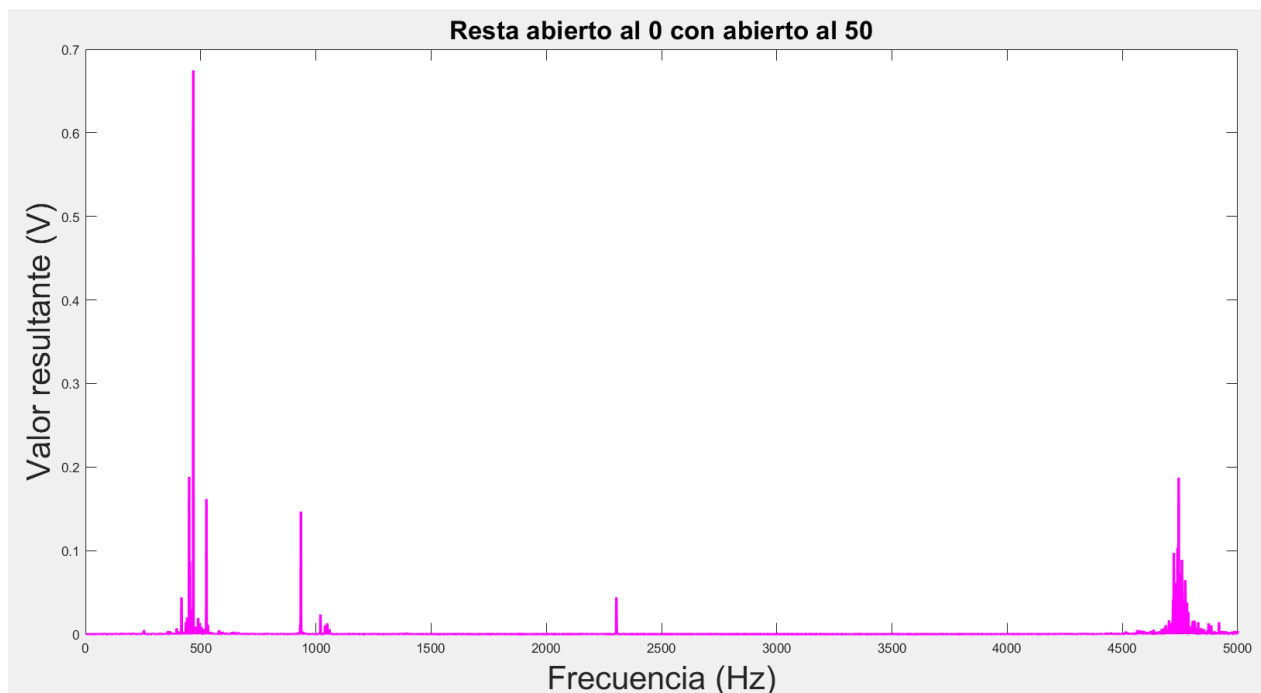
La siguiente gráfica demuestra los valores resultantes de la resta realizada entre el cierre de la válvula en su totalidad con la apertura de la válvula al 50%. Donde se valua que el valor de pico máximo es 0.67V; además existe un cambio al final de las muestras que no llega a sobrepasar los 0.2V.

## Figura 27

*Aplicación de correlación entre señales.*

```
>> v150_51= corrcoef(zp, zp1_1)  
  
0.8988
```

(a) *Valor obtenido aplicada la correlación.*



(b) *Señal obtenida de la correlación*

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

- Señal de válvula cerrada 100% y válvula abierta 75%

Entre la resta de las señales del caso ideal y la válvula abierta el 75%, existe una mayor diferencia al final de las señales. En este caso tenemos un pico que sobrepasa la amplitud de 0.5V, lo cual en las dos anteriores aperturas no sucedió.

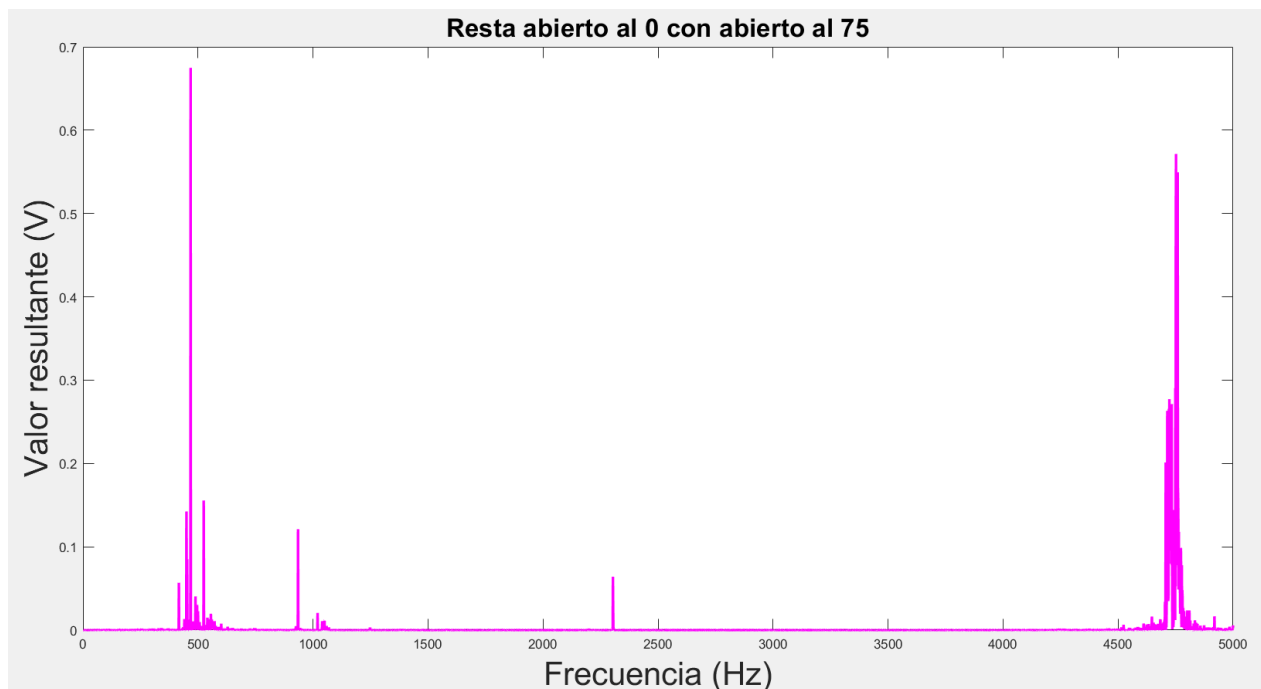
## Figura 28

*Aplicación de correlación entre señales.*

```
>> v150_52= corrcoef(zp,zp2_1)
```

0.7155

(a) *Valor obtenido aplicada la correlación.*



(b) *Señal obtenida de la correlación*

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

- Señal de válvula cerrada 100% y válvula abierta 100%

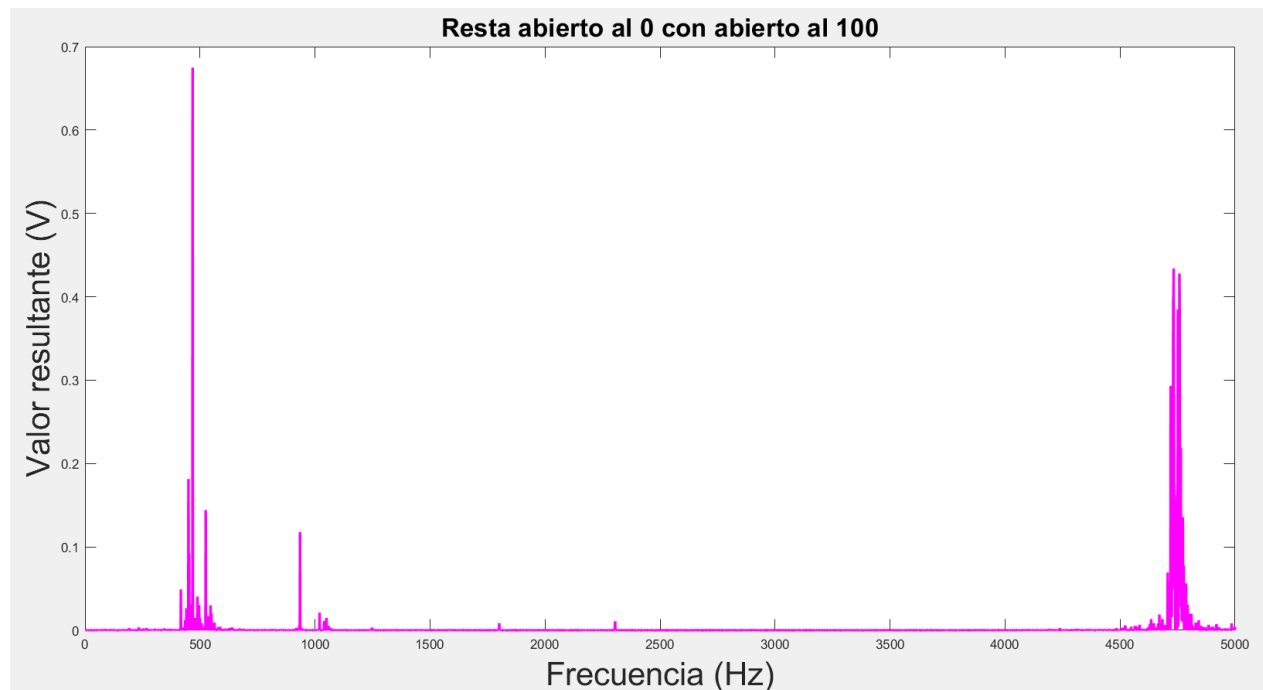
Para la última resta del primer ensayo, se logra apreciar la diferencia que se tiene al final de las señales, donde el pico final llega a una amplitud de 0.42V.

## Figura 29

*Aplicación de correlación entre señales.*

```
>> v150_53= corrcoef(zp, zp3_1)  
  
0.7461
```

(a) *Valor obtenido aplicada la correlación.*



(b) *Señal obtenida de la correlación*

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

Posteriormente, se realizó una verificación de igualdad de señales promediadas y normalizadas, mediante el método de correlación, donde se obtuvo el siguiente mapa de relación

En la figura 30 se demuestra la correlación entre señales, lo cual permite identificar el valor de relación entre cada uno de los métodos empleados. Como resultado de este análisis, se determinó que una mayor apertura de la válvula se vincula con un valor menor de relación. Esto sucede debido a que cada apertura imita una fuga de agua. Logrando detectar si la fuga persiste o existe un cambio en el flujo de desfogue.

Así mismo, se identificó que no solo existe la variación entre el método ideal (cerrado 100%), sino, que entre señales también tenemos una diferencia mínima pero apreciativa sobre

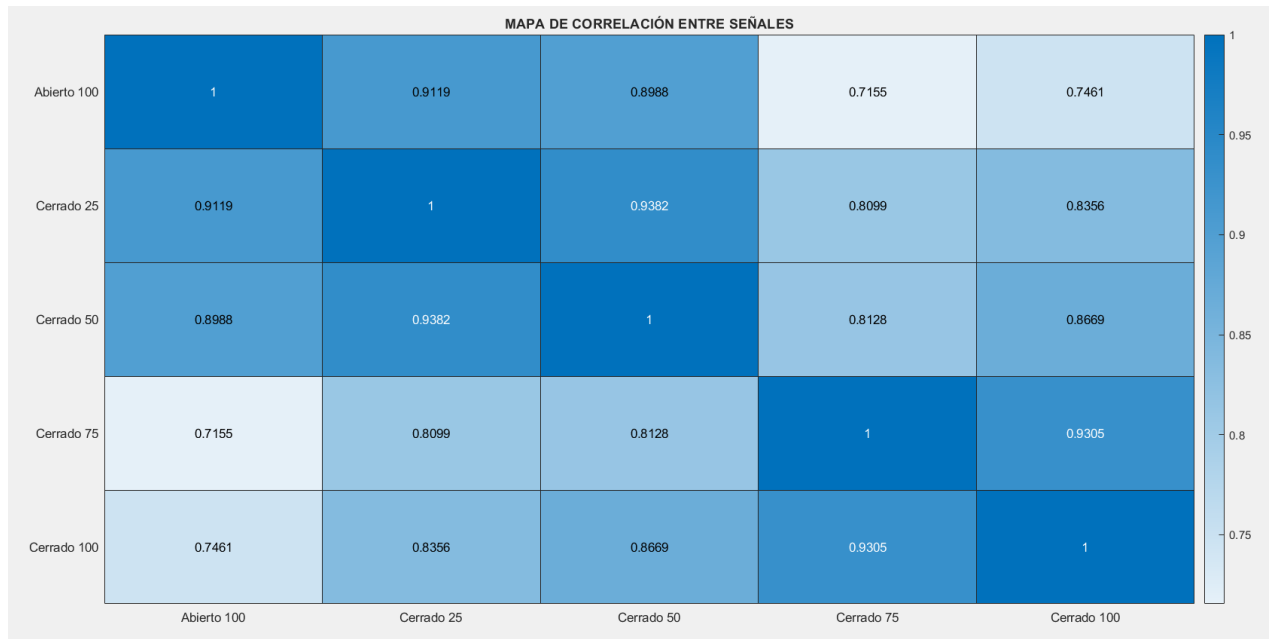


la fuga existente

- Los valores dentro de los cuadrantes es el valor resultante de la correlación de cada una de las señales.

**Figura 30**

*Mapa de correlación de señales - Primer ensayo.*



**Nota:** Mapa de relación entre señales promediadas y normalizadas del primer ensayo.

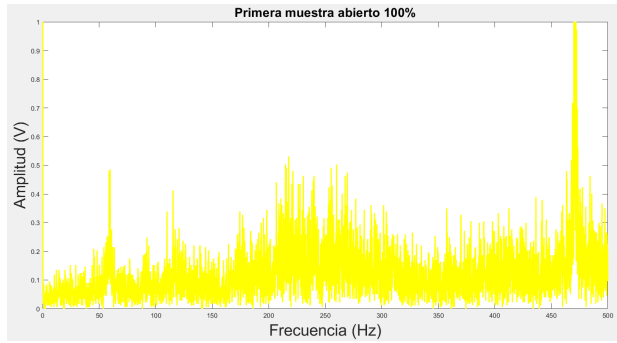
Dentro del segundo ensayo, se realizó igual procedimiento, y los resultados conseguidos fueron los siguientes:

- Válvula abierta el 100% - Segundo ensayo

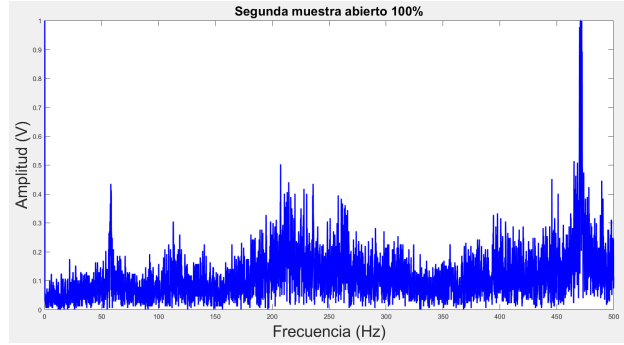
Primera toma de datos del segundo ensayo se obtuvo las siguientes señales

### Figura 31

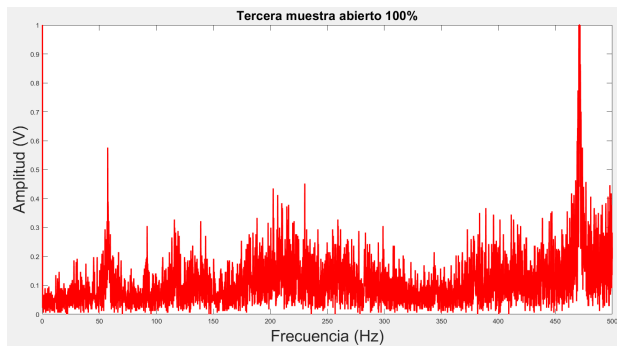
*Válvula abierta al 100% en segundo ensayo.*



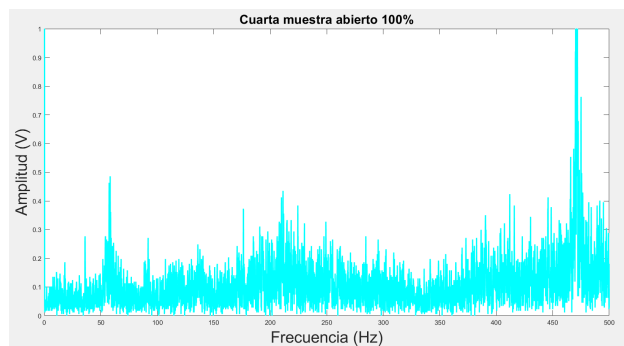
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



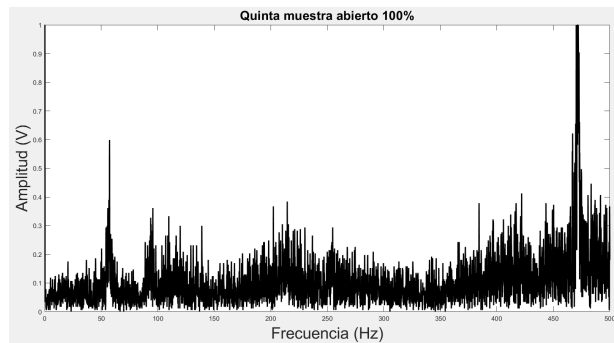
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



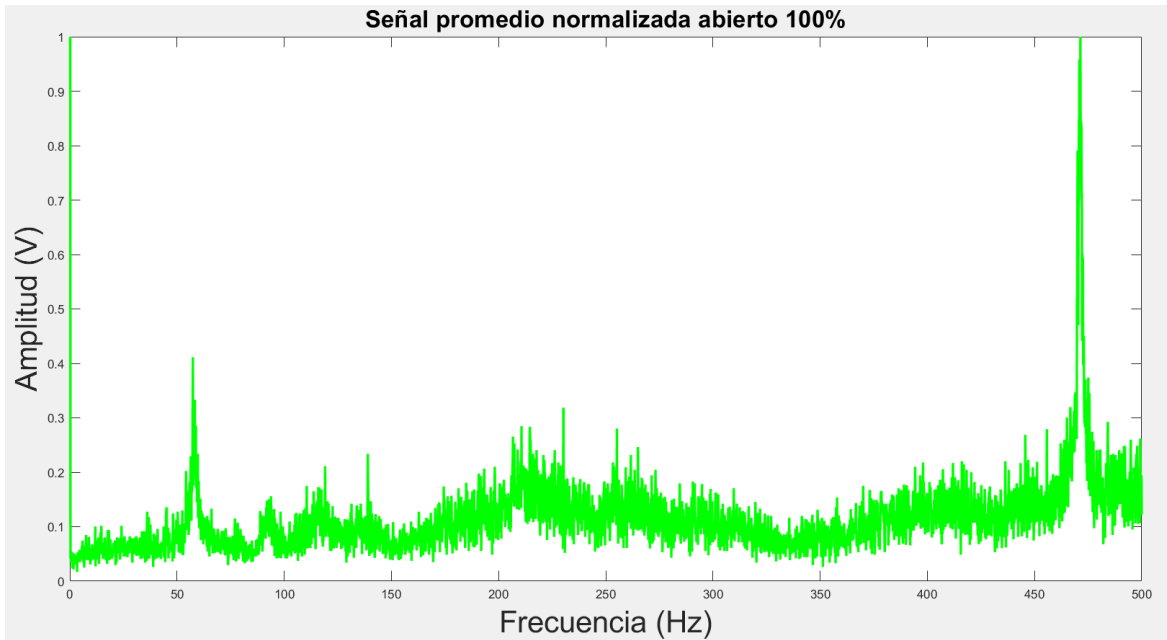
(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del segundo ensayo con la válvula abierta en su totalidad.

Señal total promediada y normalizada obtenida de las cinco muestras fue la siguiente

### Figura 32

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula abierta en su totalidad.*



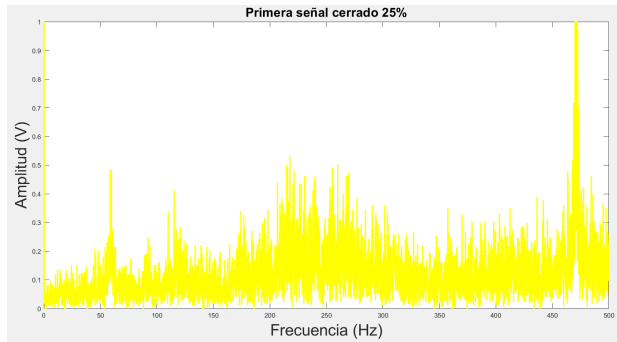
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula abierta completamente.

- Válvula cerrada el 25% - Segundo ensayo

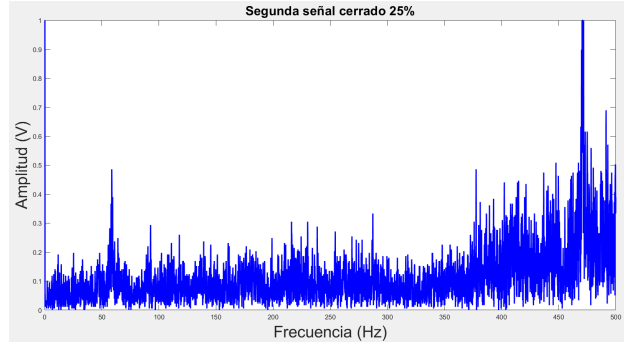
Adquisición de datos del segundo ensayo cuando la válvula se cerró el 25%; se obtuvo las siguientes señales

### Figura 33

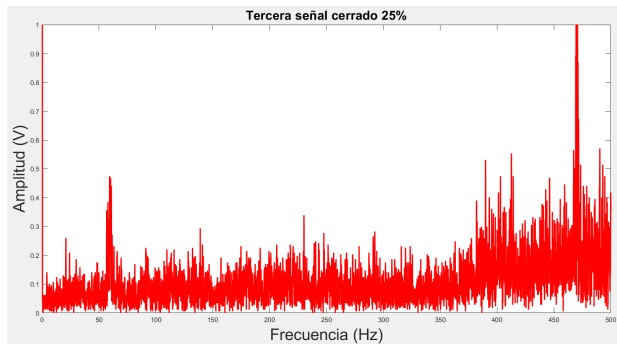
*Válvula cerrada el 25% en segundo ensayo.*



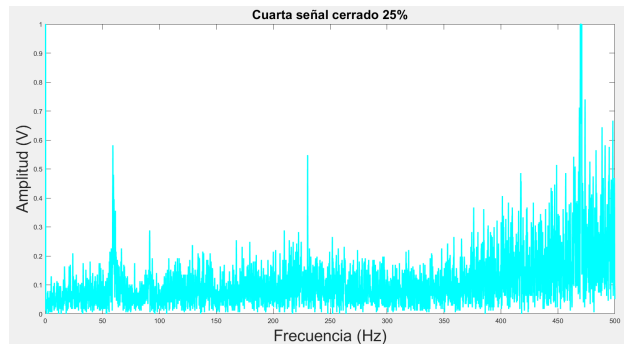
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



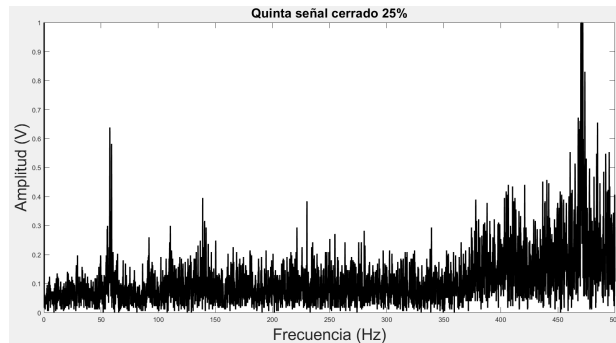
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



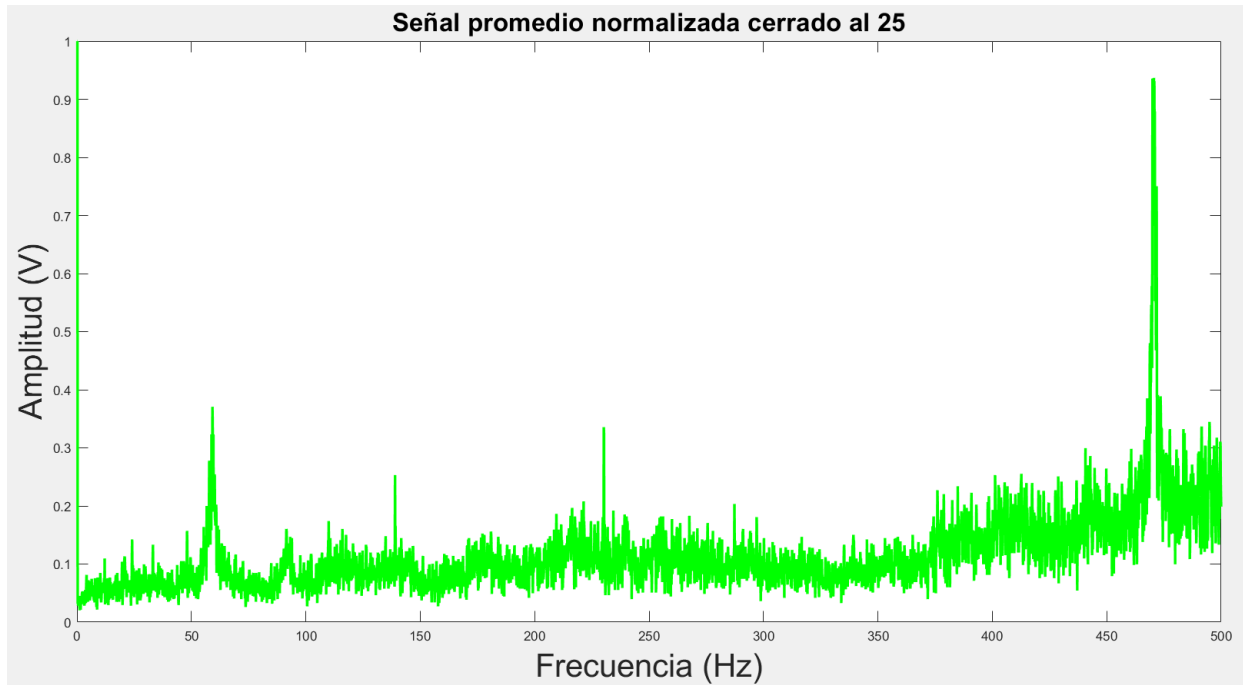
(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del segundo ensayo con la válvula cerrada el 25%.

La señal total promediada y normalizada obtenida de las cinco muestras fue la siguiente

**Figura 34**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada 25%.*



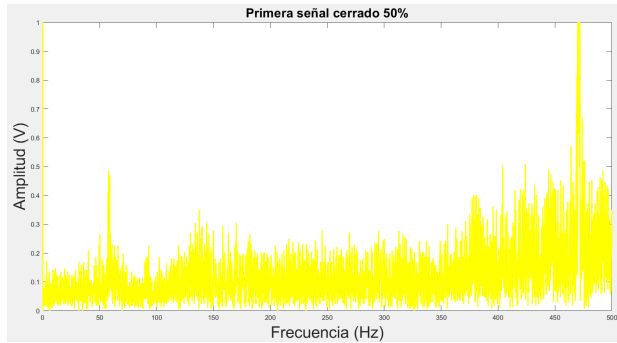
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula cerrada 25%.

- Válvula cerrada el 50% - Segundo ensayo

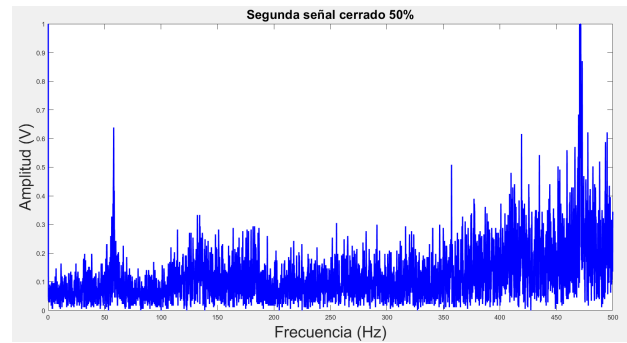
Cuando la válvula se cerró el 50% el resultado de las señales fue el siguiente

### Figura 35

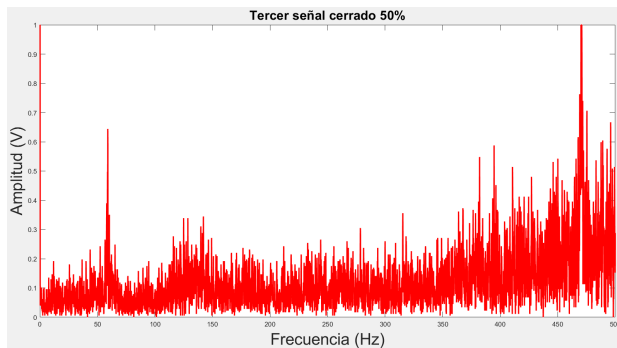
*Válvula cerrada el 50% en segundo ensayo.*



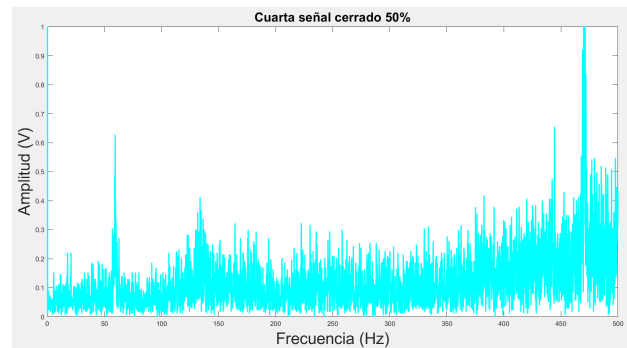
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



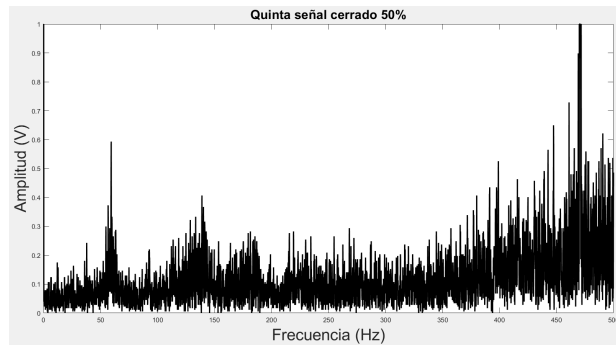
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



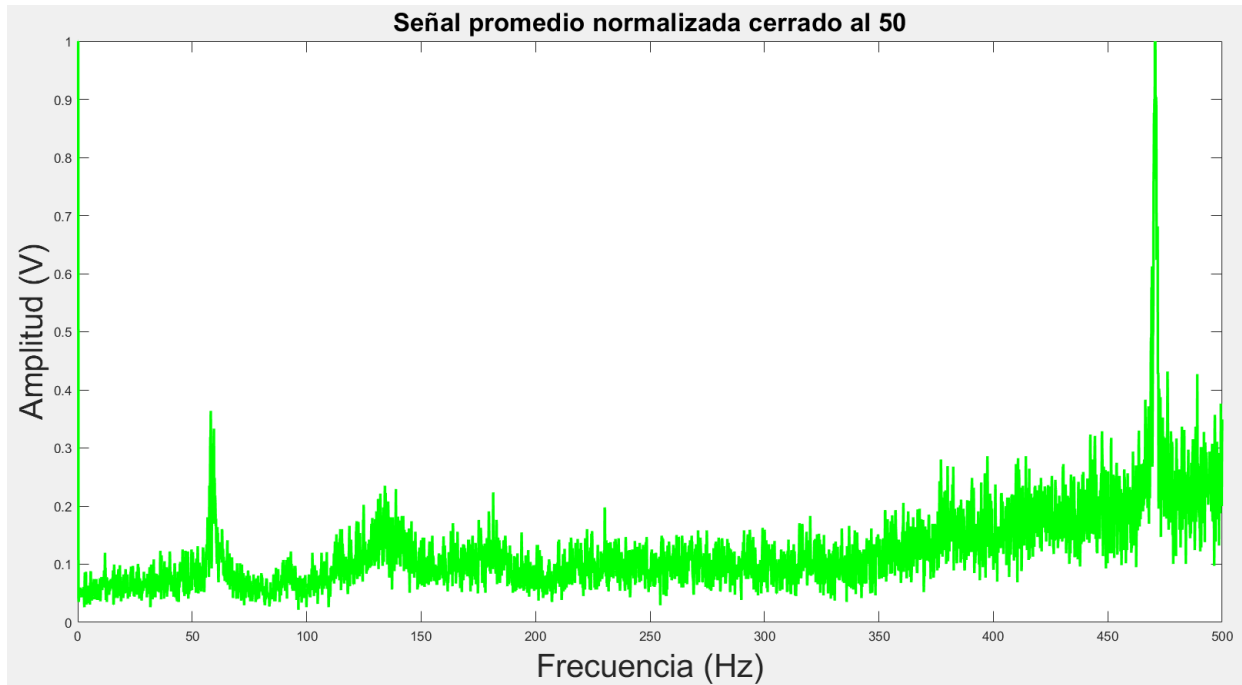
(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del segundo ensayo con la válvula cerrada el 50%.

La señal total obtenida de las cinco muestras promediadas y normalizadas fue la siguiente

**Figura 36**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada 50%.*



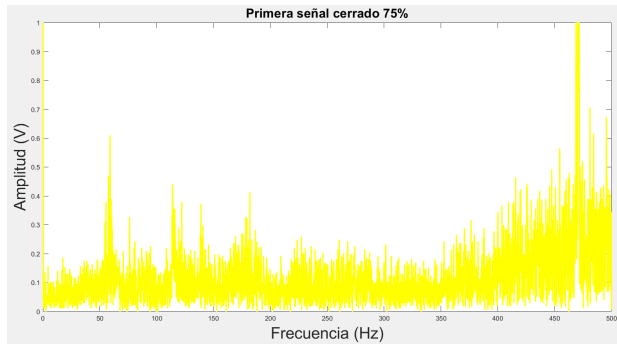
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula cerrada 50%.

- Válvula cerrada el 75% - Segundo ensayo

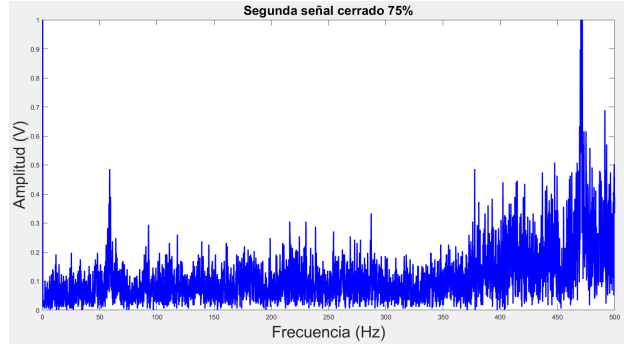
A partir de que la válvula se cerró el 75% el resultado de las señales fue el siguiente

### Figura 37

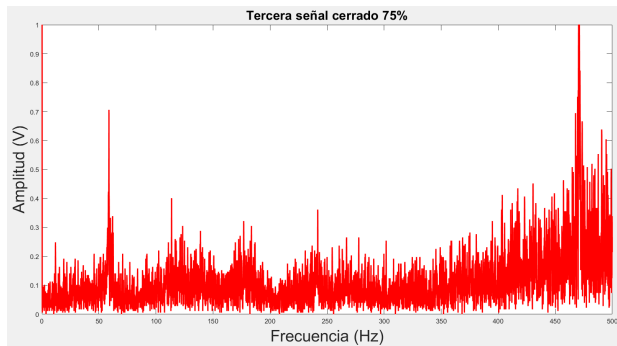
*Válvula cerrada el 75% en segundo ensayo.*



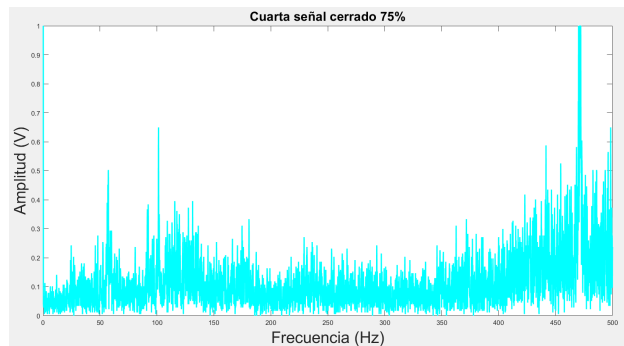
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



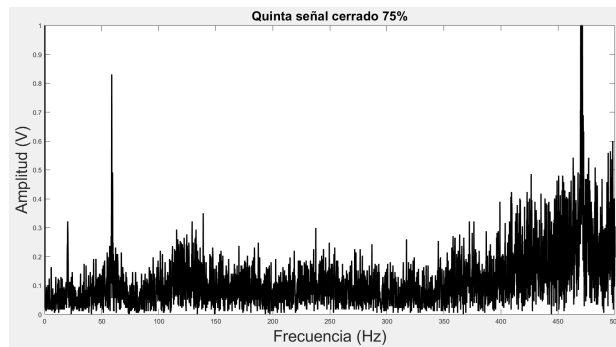
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

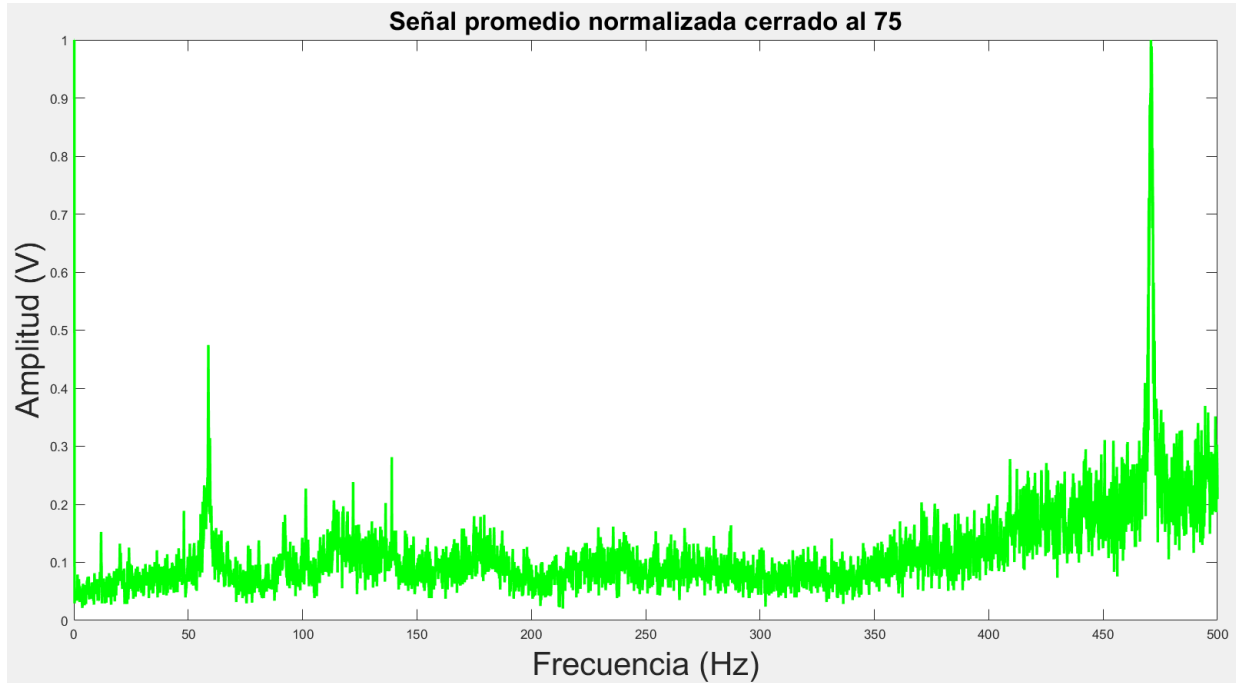
**Nota:** Señales sin proceso de normalización del segundo ensayo con la válvula cerrada el 75%.

La señal total obtenida de las cinco muestras promediadas y normalizadas fue la siguiente



**Figura 38**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada 75%.*



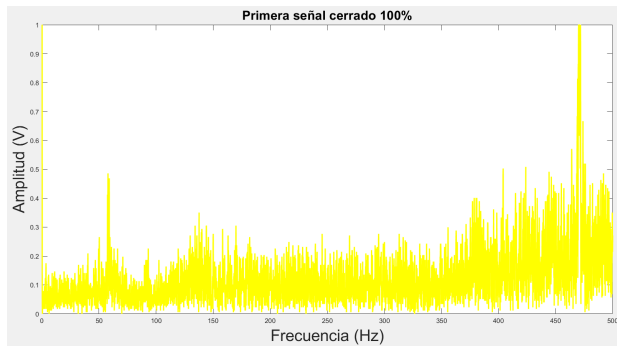
**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula cerrada 75%.

- Válvula cerrada el 100% - Segundo ensayo

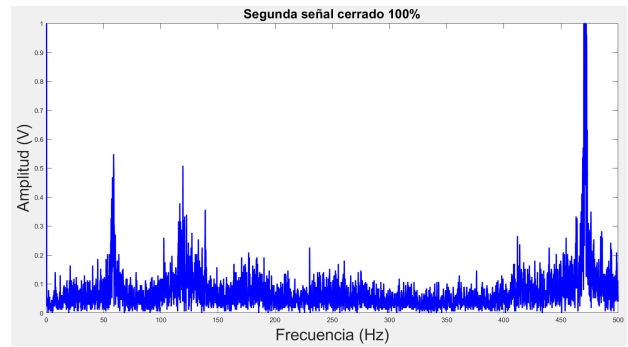
A partir de que la válvula se cerró en su totalidad, el resultado de las señales captadas fueron los siguientes

### Figura 39

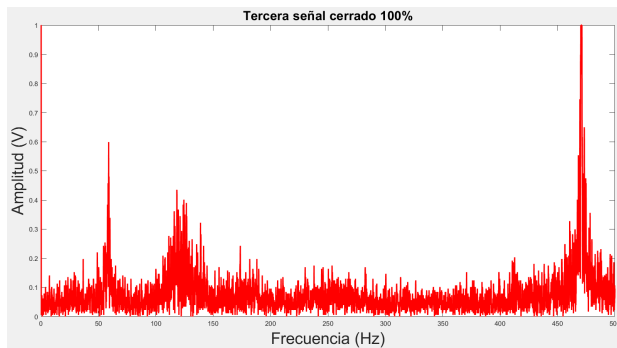
*Válvula cerrada el 100% en segundo ensayo.*



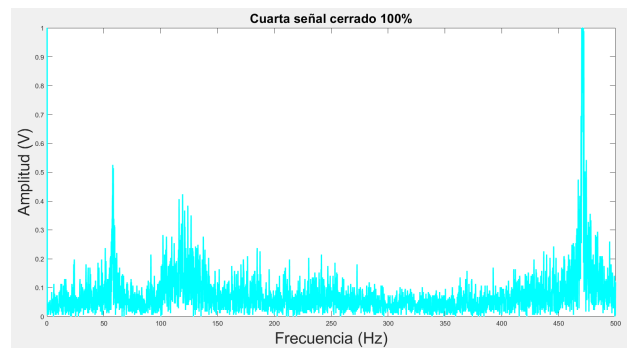
(a) *Primera señal sin proceso de normalización.*



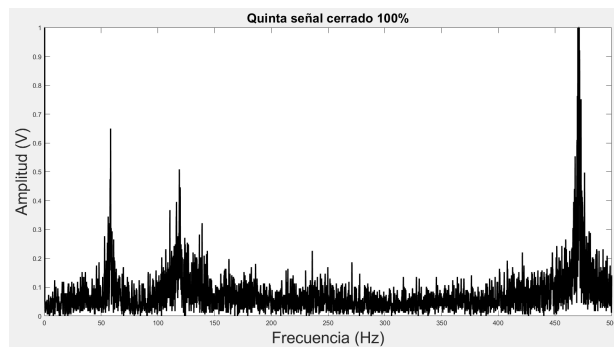
(b) *Segunda señal sin proceso de normalización.*



(c) *Tercera señal sin proceso de normalización.*



(d) *Cuarta señal sin proceso de normalización.*



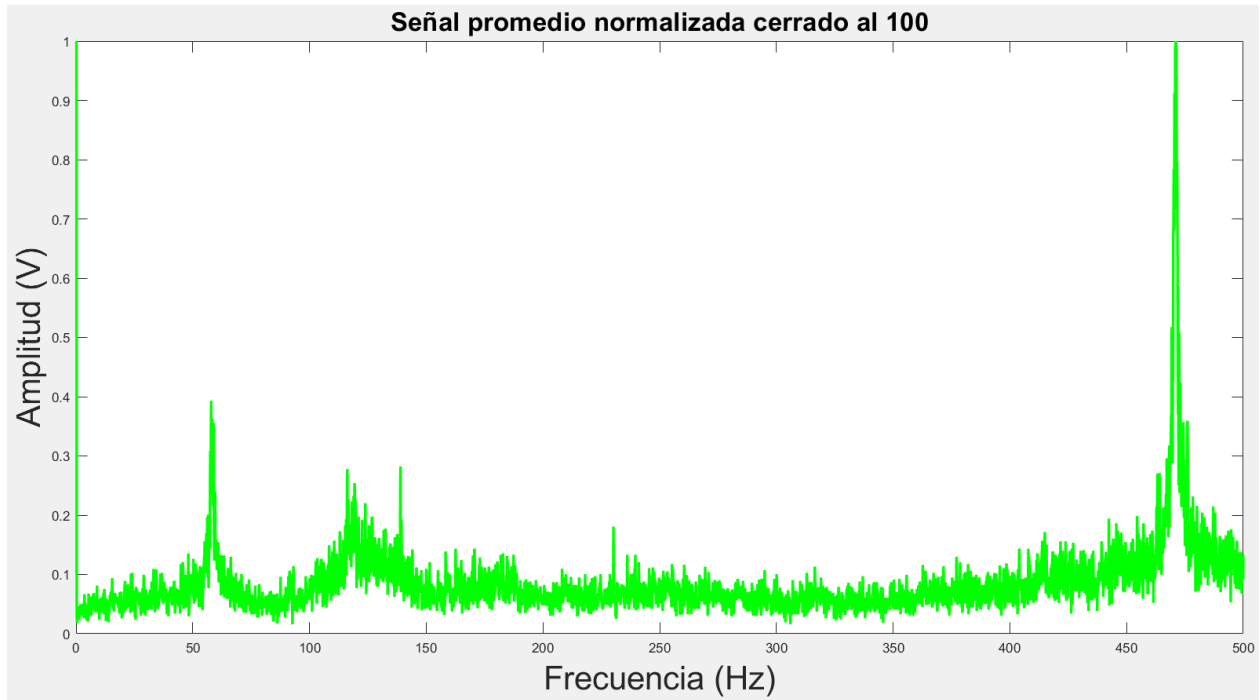
(e) *Quinta señal sin proceso de normalización.*

**Nota:** Señales sin proceso de normalización del segundo ensayo con la válvula cerrada el 100%.

Después de obtener cada señal, se realizó la normalización a cada una de ellas, y se obtuvo una señal promedio resultante expuesta a continuación

**Figura 40**

*Resultado señal promediada y normalizada de la válvula cerrada 100%.*

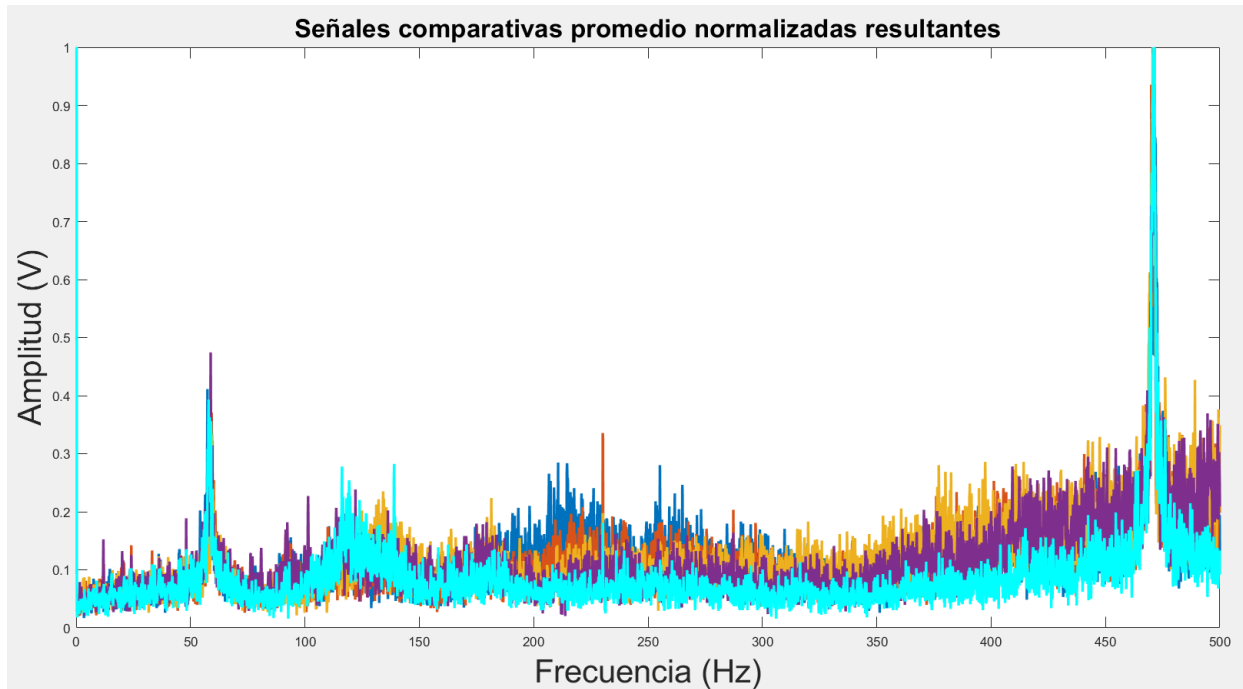


**Nota:** Señal resultante promediada y normalizada de la válvula cerrada 100%.

A partir de la obtención de las señales promediadas y normalizadas por cada rango de apertura de válvula, se realizó una imagen comparativa de las señales finales

**Figura 41**

*Resultado comparación de señales.*



**Nota:** Señal resultante de comparación entre señales promediadas y normalizadas.

Posterior a la ilustración comparativa, se ejecutó un proceso de correlación para verificar la relación existente entre señales. Esta medida estadística fue dado entre la señal de la válvula abierta completamente como principal, con cada una de las otras señales resultantes.

- Señal de válvula abierta 100% y válvula cerrada 25%

El valor mayor resultante de la resta entre el estado ideal (abierto 100%) y cerrado el 25% es de 0.24V en amplitud, llegando a apreciar una diferencia mínima.

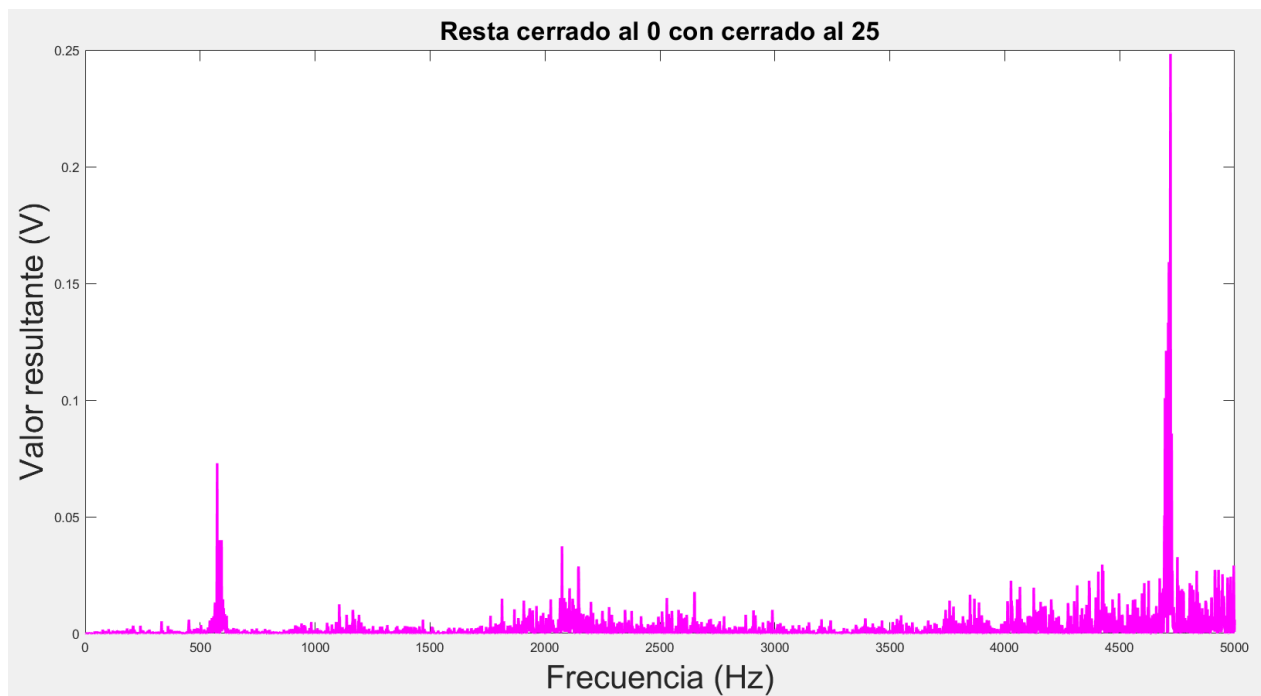
## Figura 42

*Aplicación de correlación entre señales.*

```
>> v150_50= corrcoef(zp,zp_1)
```

0.7875

(a) *Valor obtenido aplicada la correlación.*



(b) *Señal obtenida de la correlación*

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

- Señal de válvula abierta 100% y válvula cerrada 50%

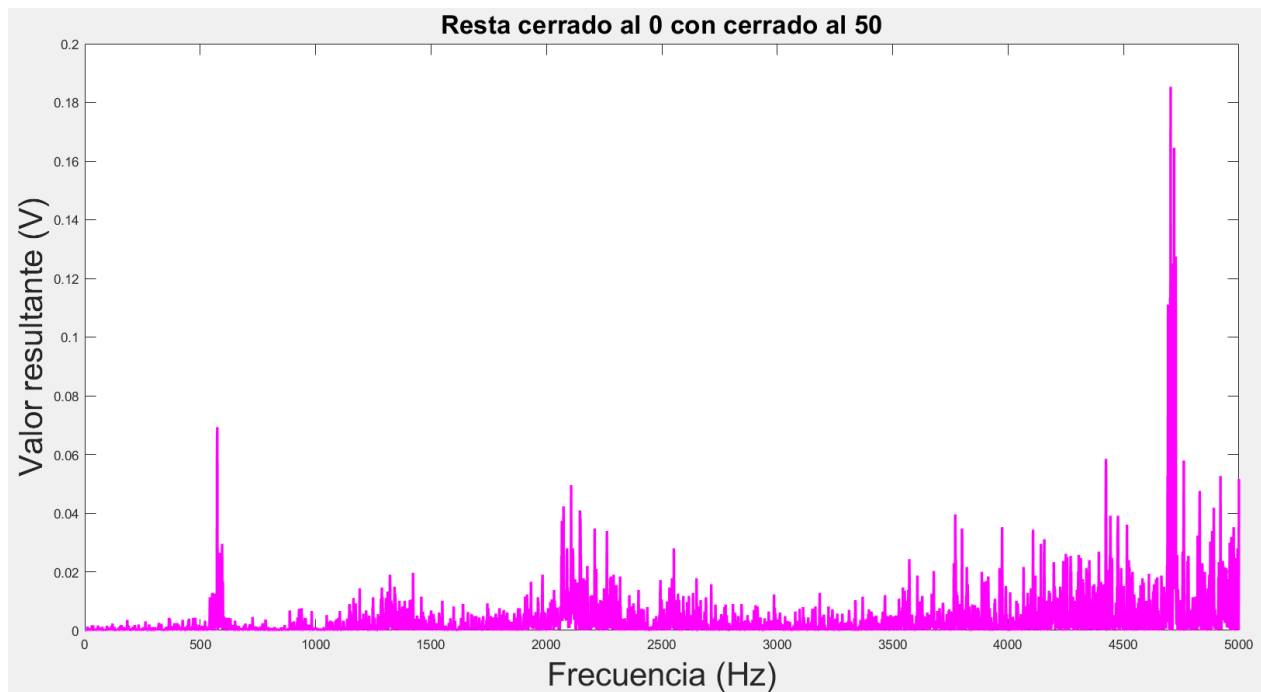
En este caso de la operación matemática, se aprecia una señal con más valores resultantes, en donde resalta el pico mayor de 0.18V en amplitud.

### Figura 43

*Aplicación de correlación entre señales.*

```
>> v150_51= corrcoef(zp,zp1_1)  
  
0.6922
```

(a) *Valor obtenido aplicada la correlación.*



(b) *Señal obtenida de la correlación*

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

- Señal de válvula abierta 100% y válvula cerrada 75%

La resta entre la apertura al 100% y apertura del 75%, es similar a la anterior cuando sucedió al 50%, sin embargo se aprecia una diferencia de menos picos entre frecuencias.

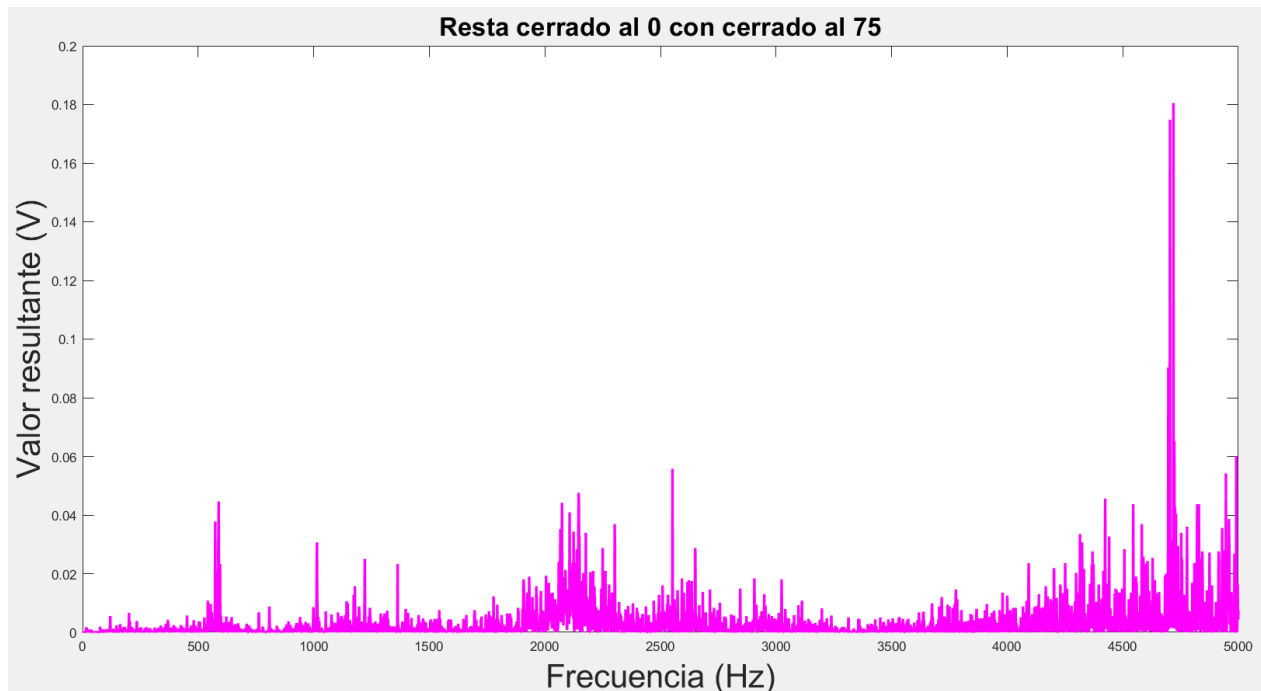
## Figura 44

*Aplicación de correlación entre señales.*

```
>> v150_52= corrcoef(zp, zp2_1)
```

0.7289

(a) *Valor obtenido aplicada la correlación.*



(b) *Señal obtenida de la correlación*

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

- Señal de válvula abierta 100% y válvula cerrada 100%

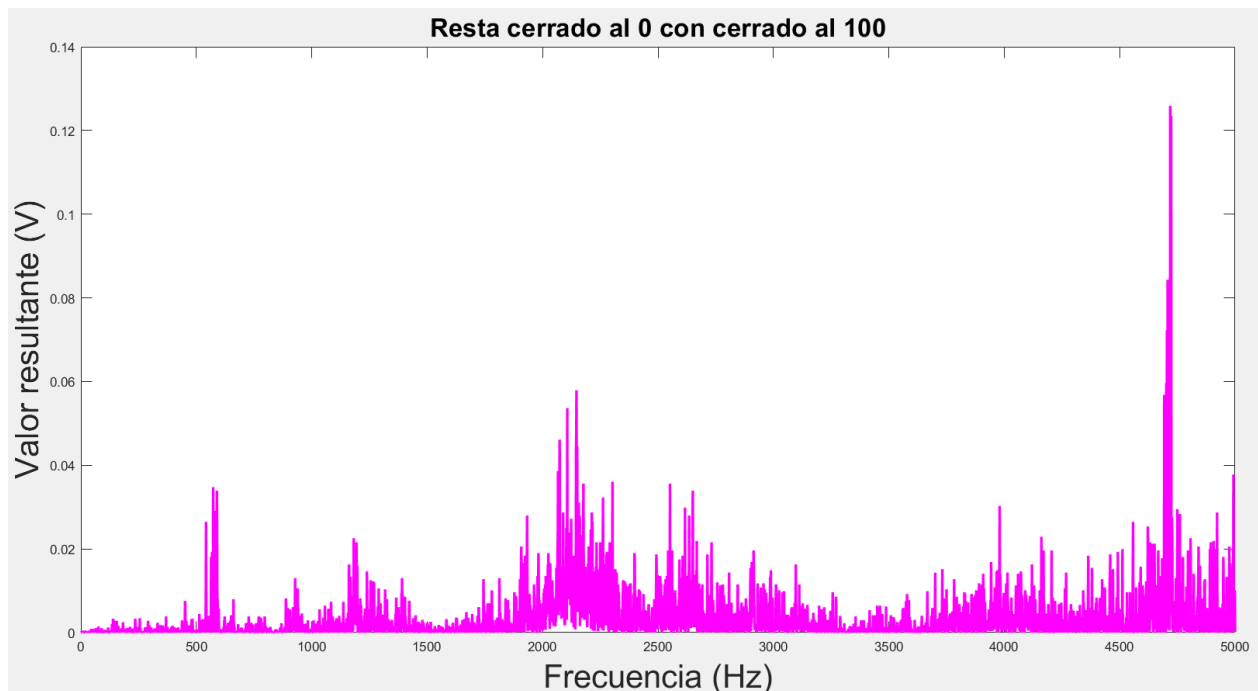
Para el último caso, el valor de la diferencia tuvo un cambio, el cual se aprecia en la amplitud, cuando su valor máximo es de 0.123V. Obteniendo diferencias con los 3 casos anteriores

## Figura 45

*Aplicación de correlación entre señales.*

```
>> v150_53= corrcoef (zp, zp3_1)  
  
0.7487
```

(a) *Valor obtenido aplicada la correlación.*



(b) *Señal obtenida de la correlación*

**Nota:** Aplicación de correlación entre señales

A continuación se representa el mapa de correlación entre las señales promedio normalizadas para verificar su igualdad.

En la gráfica se evidencia la variación entre señales, lo cual permite identificar el valor de relación entre todos los casos. Como resultado de este análisis, se determinó que una mayor apertura de la válvula correlaciona con un valor menor de relación. Esto sucede debido a que cada apertura imita una fuga de agua, consiguiendo detectar si la fuga persiste o existe un cambio en el flujo de desfogue.

Así mismo, se reconoció que no solo existe la variación entre el método idea (abierto

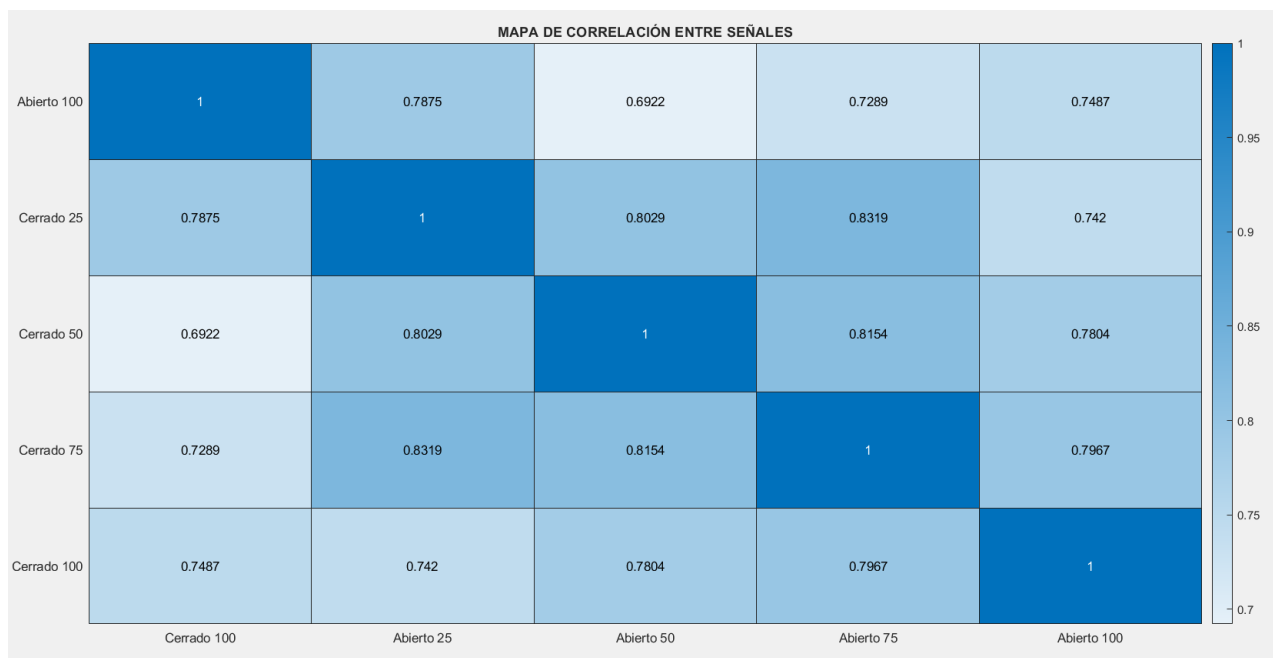


100%), sino, que entre señales también tenemos una diferencia mínima pero apreciativa sobre la fuga existente

- Los valores dentro de los cuadrantes es el valor resultante de la correlación de la señal respectivamente

### Figura 46

Mapa de correlación de señales - Segundo ensayo.



**Nota:** Mapa de correlación entre señales del segundo ensayo

## 8. Conclusiones

- Se ha determinado que los elementos necesarios para el sistema de detección de fugas de agua está integrado por un sensor acústico, denominado MAX4466, el cual tiene una entrada de voltaje de 2.4V a 5.5V, trabaja en un rango de frecuencias de 20Hz a 20kHz, una ganancia de 600kHz, este sensor acústico fue seleccionado bajo el método del árbol de decisión mostrado en la figura 11; una tarjeta de adquisición de datos de 1GS/s, con trabajos de frecuencia de 100MHz, y sus fuentes de alimentación respectivas para su

funcionamiento; comprobando que las características de los instrumentos cumplan con las métricas y la lista de requisitos y requerimientos para su diseño, representadas en las tablas 1 y 2 respectivamente.

- El sistema fue diseñado para detectar fugas de agua en función de la captación del sonido, en el cual se tomó diferentes señales, se aplicó la transformada rápida de fourier (FFT), se realizó métodos matemáticos como normalización, valor medio, correlación y el método de mínimos cuadrados, para encontrar variaciones de frecuencia en los picos de las señales obtenidos para cada rango de apertura de válvula que imitan fugas de agua.
- Se ha verificado el funcionamiento del sistema de detección de fugas de agua, representando una eficacia y viabilidad por medio de esta metodología de aplicación, permitiendo detectar anomalías frecuenciales dentro de los ensayos de fugas de agua en las tuberías del laboratorio LACTI. Este sistema ha sido un éxito comprobatorio demostrando que con una correcta selección de elementos y el manejo apropiado de estos dispositivos se logró tener el sistema adecuado para la detección de fugas de agua. Además, este sistema cumple con los objetivos planteados dentro del trabajo.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar pruebas con diferentes tuberías, debido a que el cambio de material y de estructuras pueden generar otros tipos de resultados dentro del análisis frecuencial realizado en este sistema de detección de fugas de agua.
- Se sugiere tomar en cuenta que es un sensor de audio, el cual funciona con bajos ruidos, por lo cual, al momento de realizar el análisis comprobar ubicación, y configuración de los dispositivos para evitar disturbios armónicos al momento de realizar la adquisición de datos.
- Para proyectos futuros que deseen dar continuidad a esta investigación, se recomienda considerar los tipos de fuga de agua, entorno en el que se llevará a cabo el estudio, y los dispositivos requeridos para la detección de fuga a analizar.

## Referencias

- Cómo detectar fugas de agua en tuberías/ desatascos barrido.* (s.f.). Descargado de <https://www.desatascosbarrido.com/fuga-tuberias/>
- de desarrollo urbano y vivienda, M. (2011, 4). *Norma ecuatoriana de la construcción.* COMITÉ EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. Descargado de [https://evirtual401.insteclrg.edu.ec/pluginfile.php/7535/mod\\_resource/content/1/nec2011\\_cap\\_16\\_norma\\_hidrosanitaria.pdf](https://evirtual401.insteclrg.edu.ec/pluginfile.php/7535/mod_resource/content/1/nec2011_cap_16_norma_hidrosanitaria.pdf)
- de Sousa, C., Manganiello, L., Millán, A., Vega, C., y Yanez, W. (2021, 12). Design and characterization of a rapid response system based on piezoelectric detection. *Revista Ingeniería UC*, 28, 3-4.
- Etapa ep - servicios de telefonía, televisión, internet, agua potable, alcantarillado de cuenca - ecuador >principal >agua potable >unidad de control de agua no contabilizada >detección de fugas.* (s.f.). Descargado de <https://www.etapa.net.ec/principal/agua-potable/unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/-deteccion-de-fugas>
- Gómez, J., Jaramillo, H., y Coronel, L. (2019, 10). *Sistema para detección de fallos críticos en tuberías horizontales.*
- informa, Q. (2021, 9). Equipo especializado detecta fugas de agua en quito.
- Ionel, R., Ignea, A., y Ionel, S. (2010). Remote automatic selection of suitable frequency intervals for improved leak detection. *IEEEEXPLORE*, 246-251. Descargado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5541571>
- Las tuberías y los tubos en la industria – ms soluciones en ingeniería.* (s.f.). Descargado de <https://www.ms-ingenieria.com.mx/ingenieria-civil-y-estructural/las-tuberias-y-los-tubos-en-la-industria/>
- MACOVENCA. (2017, 3). *Conexiones hidraulicas.*
- Maps, G. (2024). *Ubicación.* Descargado de <https://www.google.com/maps/place/Universidad+Polit%C3%A9cnica+Salesiana+del+Ecuador/@-2.8860223,-78.9898781,422m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x91cd1826d90c7e47:0x8eb47b6b0138cb74!8m2!3d-2.8865291!4d-78.9898791!16s%2Fm%2F0cpdx8q?entry=ttu>
- Mercado, J., Quiñonez, M., Angulo, A., Reyes, C., y Cevallos, M. (2023). *Estaciones de bombeo, anti-golpe de ariete y control de fugas, válvulas y sistemas automáticos.* Descargado de <https://tech.iberojournals.com/index.php/IBEROTECS/article/view/617/451>
- Pérez, J. D. F., y Sastoque, J. C. R. (2017). Detección y localización de fugas en las

redes de agua potable del acueducto acuarrrayan san francisco, cundinamarca mediante electroacústica y análisis de presiones. Descargado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/131](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/131)

S, K., S, E., T, J., K, V., P, P., y Kumar, N. S. (2023). *Intelligent water leakage monitoring and alerting system based on the internet of things*. (IEEE ed., Vol. 1). IEEEEXPLORE. Descargado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/10113024/authors>

Sithole, B., Rimer, S., Ouahada, K., C, M., y J, P. (2016). Smart water leakage detection and metering device. *IEEEEXPLORE*, 1-9. Descargado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7530612>

Swagelok. (2024). *Causas comunes y costes de las fugas en los sistemas de fluidos*.

Torres, W. (2021, 7). *Primicias*. Descargado de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/perdidas-agua-fugas-ecuador-municipios/>

Trutié-Carrero, E., Delgado-Hernández, L. A., González-Zamora, C., Ramírez-Beltrán, J., Trutié-Carrero, E., Delgado-Hernández, L. A., ... Ramírez-Beltrán, J. (2019). Detección y localización de fuga de fondo en tuberías plásticas de agua bajo un ambiente ruidoso. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 40, 1-15. Descargado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282019000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=eshttp://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1815-59282019000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282019000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=eshttp://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59282019000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

*Tuberías subterráneas y aéreas - alliance specialized systems*. (s.f.). Descargado de <https://alliance-fire.com/servicios/tuberias-subterraneas-y-aereas/>

VYMA. (2022, 11). *Tipos de válvulas industriales, conócelos aquí en vyma*. Descargado de <https://vyma.mx/2022/11/24/tipos-devalvulas-industriales/#::~text=Tipos%20de%20v%C3%A1lvulas%20industriales%201%20Compuerta%20Una%20v%C3%A1lvula,Aguja%20...%208%20De%20pellizco%20...%20M%C3%A1s%20elementos>

your way, E. (2023, 10). *El papel en la detección de fugas en la gestión sostenible del agua*. Descargado de <https://energy5.com/es/el-papel-de-la-deteccion-de-fugas-en-la-gestion-sostenible-del-agua>

*¿cómo sellar una fuga de agua en tuberías de manera efectiva?* - royse. (s.f.). Descargado de <https://rodamientos.net/sellar-una-fuga-de-agua-en-tuberias/>

# **ANEXOS**

ANEXO A: HOJA DE DATOS DEL SENSOR  
ACÚSTICO MAX4466



# Low-Cost, Micropower, SC70/SOT23-8, Microphone Preamplifiers with Complete Shutdown

## General Description

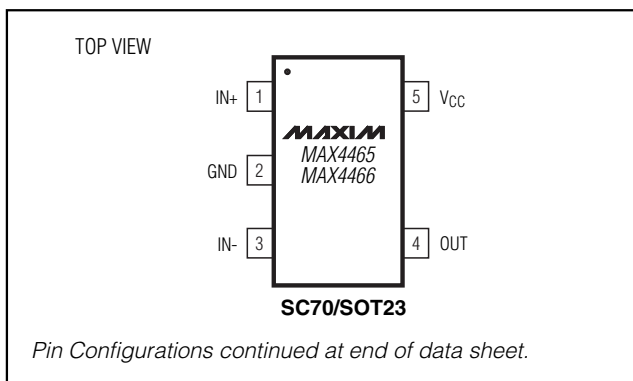
The MAX4465–MAX4469 are micropower op amps optimized for use as microphone preamplifiers. They provide the ideal combination of an optimized gain bandwidth product vs. supply current, and low voltage operation in ultra-small packages. The MAX4465/MAX4467/MAX4469 are unity-gain stable and deliver a 200kHz gain bandwidth from only 24 $\mu$ A of supply current. The MAX4466/MAX4468 are decompensated for a minimum stable gain of +5V/V and provide a 600kHz gain bandwidth product. In addition, these amplifiers feature Rail-to-Rail® outputs, high  $A_{VOL}$ , plus excellent power-supply rejection and common-mode rejection ratios for operation in noisy environments.

The MAX4467/MAX4468 include a complete shutdown mode. In shutdown, the amplifiers' supply current is reduced to 5nA and the bias current to the external microphone is cut off for ultimate power savings. The single MAX4465/MAX4466 are offered in the ultra-small 5-pin SC70 package, while the single with shutdown MAX4467/MAX4468 and dual MAX4469 are available in the space-saving 8-pin SOT23 package.

## Applications

Microphone Preamplifiers  
Hearing Aids  
Cellular Phones  
Voice-Recognition Systems  
Digital Dictation Devices  
Headsets  
Portable Computing

## Pin Configurations



Rail-to-Rail is a registered trademark of Nippon Motorola, Ltd.

## Features

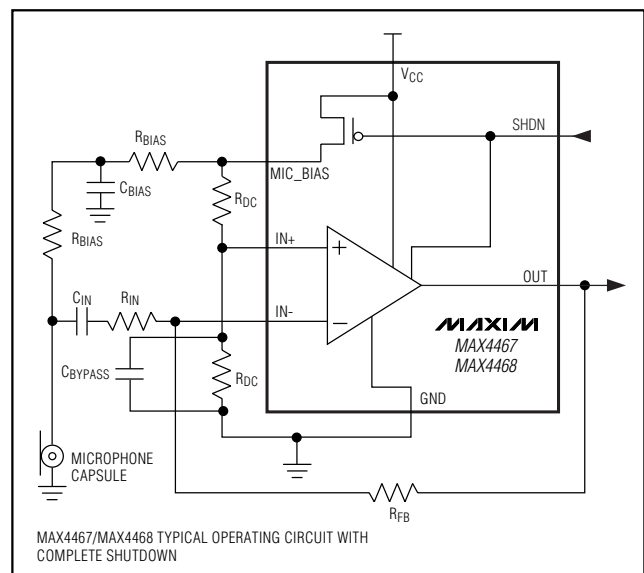
- ◆ +2.4V to +5.5V Supply Voltage Operation
- ◆ Versions with 5nA Complete Shutdown Available (MAX4467/MAX4468)
- ◆ Excellent Power-Supply Rejection Ratio: 112dB
- ◆ Excellent Common-Mode Rejection Ratio: 126dB
- ◆ High  $A_{VOL}$ : 125dB ( $R_L = 100k\Omega$ )
- ◆ Rail-to-Rail Outputs
- ◆ Low 24 $\mu$ A Quiescent Supply Current
- ◆ Gain Bandwidth Product:
  - 200kHz (MAX4465/MAX4467/MAX4469)
  - 600kHz  $A_V \geq 5$  (MAX4466/MAX4468)
- ◆ Available in Space-Saving Packages
  - 5-Pin SC70 (MAX4465/MAX4466)
  - 8-Pin SOT23 (MAX4467/MAX4468/MAX4469)

## Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX4465EXK-T	-40°C to +85°C	5 SC70-5
MAX4465EUK-T	-40°C to +85°C	5 SOT23-5
MAX4466EXK-T	-40°C to +85°C	5 SC70-5
MAX4466EUK-T	-40°C to +85°C	5 SOT23-5

Ordering Information continued at end of data sheet.

## Typical Operating Circuit



# Low-Cost, Micropower, SC70/SOT23-8, Microphone Preamplifiers with Complete Shutdown

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage ( $V_{CC}$ to GND).....	+6V	8-Pin SOT23 (derate 5.3mW/°C above +70°C) .....	421mW
All Other Pins to GND.....	-0.3V to ( $V_{CC}$ + 0.3V)	8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) .....	471mW
Output Short-Circuit Duration		Operating Temperature Range .....	-40°C to +85°C
OUT Shorted to GND or $V_{CC}$ .....	Continuous	Storage Temperature Range .....	-65°C to +150°C
Continuous Power Dissipation ( $T_A$ = +70°C)		Junction Temperature .....	+150°C
5-Pin SC70 (derate 2.5mW/°C above +70°C) .....	200mW	Lead Temperature (soldering, 10s) .....	+300°C
5-Pin SOT23 (derate 7.1mW/°C above +70°C) .....	571mW		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

( $V_{CC}$  = +5V,  $V_{CM}$  = 0,  $V_{OUT}$  =  $V_{CC}/2$ ,  $R_L$  =  $\infty$  to  $V_{CC}/2$ , SHDN = GND (MAX4467/MAX4468 only).  $T_A$  =  $T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted. Typical values specified at  $T_A$  = +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage Range	$V_{CC}$	Inferred from PSRR test	2.4		5.5	V
Supply Current (Per Amplifier)	$I_{CC}$	$T_A$ = +25°C		24	48	$\mu$ A
		$T_A$ = $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$			60	
Supply Current in Shutdown	$I_{SHDN}$	SHDN = $V_{CC}$ (Note 2)		5	50	nA
Input Offset Voltage	$V_{OS}$			$\pm 1$	$\pm 5$	mV
Input Bias Current	$I_B$	$V_{CM}$ = -0.1V		$\pm 2.5$	$\pm 100$	nA
Input Offset Current Range	$I_{OS}$	$V_{CM}$ = -0.1V		$\pm 1$	$\pm 15$	nA
Input Common-Mode Range	$V_{CM}$	Inferred from CMRR test	-0.1		$V_{CC} - 0.1$	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$-0.1V \leq V_{CM} \leq V_{CC} - 1V$	80	126		dB
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	$2.4V \leq V_{CC} \leq 5.5V$	80	112		dB
		MAX4465/MAX4467/MAX4469, $f$ = 3.4kHz		75		
		MAX4466/MAX4468, $f$ = 3.4kHz		80		
Open-Loop Gain	$A_{VOL}$	$R_L$ = 100k $\Omega$ to $V_{CC}/2$ , $0.05V \leq V_{OUT} \leq V_{CC} - 0.05V$		125		dB
		$R_L$ = 10k $\Omega$ to $V_{CC}/2$ , $0.1V \leq V_{OUT} \leq V_{CC} - 0.1V$	80	95		
Output Voltage Swing High	$V_{OH}$	$ V_{CC} - V_{OH} $	$R_L$ = 100k $\Omega$	10		mV
			$R_L$ = 10k $\Omega$	16	50	
Output Voltage Swing Low	$V_{OL}$		$R_L$ = 100k $\Omega$	10		mV
			$R_L$ = 10k $\Omega$	14	50	
Output Short-Circuit Current		To either supply rail		15		mA
Output Leakage Current in Shutdown		SHDN = $V_{CC}$ , $0 \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$ ; (Notes 2, 3)		$\pm 0.5$	$\pm 100$	nA
SHDN Logic Low	$V_{IL}$	(Note 2)			$V_{CC} \times 0.3$	V
SHDN Logic High	$V_{IH}$	(Note 2)	$V_{CC} \times 0.7$			V
SHDN Input Current		(Note 2)		2	25	nA
Gain Bandwidth Product	GBWP	MAX4465/MAX4467/MAX4469		200		kHz
		MAX4466/MAX4468		600		



# Low-Cost, Micropower, SC70/SOT23-8, Microphone Preamplifiers with Complete Shutdown

## Test Circuits/Timing Diagrams (continued)

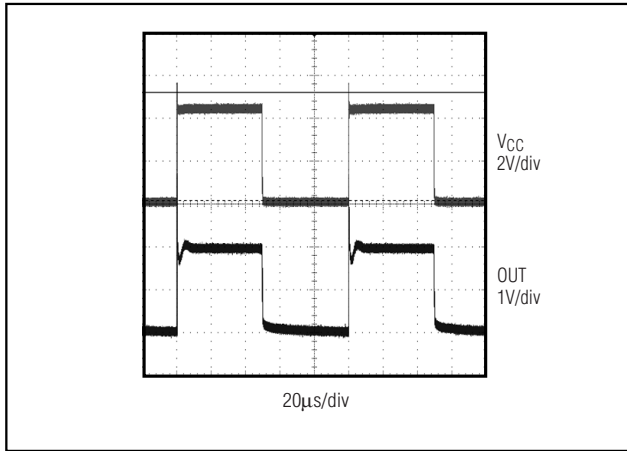


Figure 6. Power-Up/Power-Down Waveform

## Chip Information

MAX4465/MAX4466 TRANSISTOR COUNT: 62

MAX4467/MAX4468 TRANSISTOR COUNT: 72

MAX4469 TRANSISTOR COUNT: 113

PROCESS: BiCMOS

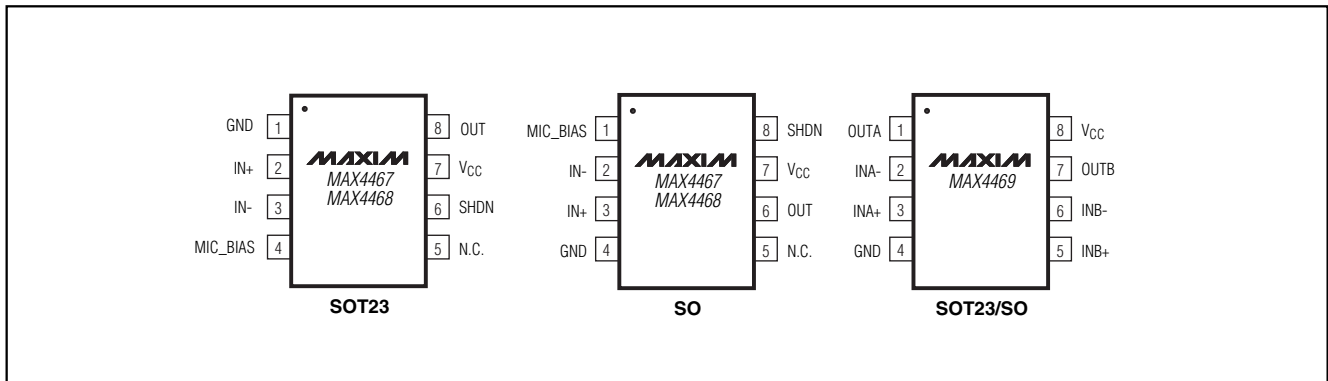
## Ordering Information (continued)

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX4467EKA-T	-40°C to +85°C	8 SOT23-8
MAX4467ESA	-40°C to +85°C	8 SO
MAX4468EKA-T	-40°C to +85°C	8 SOT23-8
MAX4468ESA	-40°C to +85°C	8 SO
MAX4469EKA-T	-40°C to +85°C	8 SOT23-8
MAX4469ESA	-40°C to +85°C	8 SO

## Selector Guide

PART	MINIMUM STABLE GAIN	EXTERNAL MICROPHONE SHDN	GBWP (kHz)	PIN-PACKAGE
MAX4465	+1	No	200	5 SC70/5 SOT23
MAX4466	+5	No	600	5 SC70/5 SOT23
MAX4467	+1	Yes	200	8 SOT23/8 SO
MAX4468	+5	Yes	600	8 SOT23/8 SO
MAX4469	+1	No	200	8 SOT23/8 SO

## Pin Configurations (continued)



ANEXO B: HOJA DE DIMENSIONES DE  
TUBERÍAS INDUSTRIALES

DIAMETRO NOMINAL NPS	DIÁMETRO EXTERIOR (Pulg.)	ESPESOR DE PARED (Pulg.)	PESO TUBO 6m.		LARGO DEL TUBO (m)	GRADO	PRESION DE PRUEBA (psi)	SCH
			NEGRO (kg.)	GALVANIZADO (kg)				
1/4"	0,540	0,088	3,780	3,962	6,00	A	700	40
3/8"	0,675	0,091	5,040	5,296	6,00	A	700	40
1/2"	0,840	0,109	7,620	7,887	6,00	A	700	40
3/4"	1,050	0,113	10,140	10,479	6,00	A	700	40
1"	1,315	0,133	15,000	15,479	6,00	A	700	40
1 1/4"	1,660	0,140	20,340	20,935	6,00	A	1200	40
1 1/2"	1,900	0,145	24,300	25,016	6,00	A	1200	40
2"	2,375	0,154	32,640	33,579	6,00	A	2300	40
2 1/2"	2,850	0,203	51,780	52,880	6,00	A	2500	40
3"	3,500	0,216	67,740	69,080	6,00	A	2500	40
4"	4,500	0,237	96,420	98,233	6,00	B	2210	40
6"	6,625	0,280	169,560	172,271	6,00	B	1780	40
8"	8,625	0,322	255,300	258,721	6,00	B	1570	40
10"	10,750	0,365	361,740	366,215	6,00	B	1430	40
12"	12,750	0,406	478,200	483,592	6,00	B	1340	40
16"	16,000	0,500	739,800	746,235	6,00	B	1310	40
20"	20,000	0,500	930,720	938,871	6,00	B	1050	30
24"	24,000	0,500	1121,640	1131,507	6,00	B	880	XS