

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE JOSÉ MIGUEL CARRERA – VIÑA DEL MAR

**DISEÑO DE UN INSTRUCTIVO TÉCNICO PARA LA OPERACIÓN Y
APLICACIÓN DE UN EQUIPO DE ULTRASONIDO AEROTRANSPORTADO,
ORIENTADO A LA FORMACIÓN EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Trabajo de Titulación para optar al título de
INGENIERO EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumno:

Sr. Benjamín Isaías González Correa

Profesor Guía:

Mg. Ing. Pablo Andrés Duque Ramírez

2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Diseño de un instructivo técnico para la operación y aplicación de un equipo de un equipo de ultrasonido aerotransportado, orientado a la formación en mantenimiento industrial.

Nombre del candidato(a): Benjamín Isaías González Correa

Carrera / Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial con licenciatura en Ingeniería.

Campus: José Miguel Carrera – Viña del Mar; Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Andrés Duque Ramírez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un período de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 02-06-2026

Firma: _____



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 2/06/2026

Firma: _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mis padres por todo el esfuerzo que hacen todos los días y el que han hecho durante toda su vida, para que yo me convierta en un profesional, con solo haber llegado al grado de enseñanza básica, supieron darme las herramientas necesarias, para hoy estar donde estoy, no soy más que nadie y nadie es más que yo, toda mi fe reside en Dios que me cuida y guía en mi camino. Gracias por todo. Los amo, me faltará vida para devolverles todo lo que han hecho por mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Técnica Federico Santa María, por facilitar las instalaciones del laboratorio y disponer del equipo SoundCam Ultra, recursos fundamentales para el desarrollo y validación del presente trabajo de título. El acceso al equipo y al entorno controlado de ensayo, permitió realizar las actividades prácticas, mediciones estandarizadas y procesos de validación necesarios, para la construcción de este instructivo técnico.

De manera especial, agradezco a mi profesor guía, por su orientación constante a lo largo de este proceso. Más que una ayuda puntual, su criterio técnico y disposición para guiarme en cada etapa del trabajo, fueron fundamentales para estructurar correctamente la metodología, fortalecer el enfoque del instructivo y mantener la rigurosidad académica requerida.

RESUMEN

Durante los últimos años, el mantenimiento industrial evolucionó progresivamente hacia estrategias de monitoreo basadas en condición, incorporando técnicas de ensayos (END), orientadas a la detección temprana de fallas y a la evaluación del estado operativo de los activos. Dentro de estas técnicas, el ultrasonido aerotransportado, el cual adquirió una gran relevancia debido a su capacidad para detectar emisiones acústicas asociadas a fenómenos presentes en sistemas mecánicos, eléctricos y de fluidos, lo que permitió identificar comportamientos anómalos mediante procesos de inspección aplicables en tiempo real sin la necesidad de desensamblar el equipo.

A pesar de las ventajas técnicas que ofrece, se identificó una brecha importante dentro del contexto formativo, con la ausencia de procedimientos estandarizados orientados al aprendizaje y a la utilización pedagógica de estos equipos. Esta situación dificultaba la correcta interpretación de los fenómenos acústicos, la configuración adecuada de los parámetros de medición y la obtención de registros comparables entre los estudiantes, generando diferencias en la ejecución de las mediciones y limitaciones en la repetibilidad de los procesos de aprendizaje.

Frente a esta necesidad, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un instructivo técnico estandarizado para la operación y aplicación del equipo de SoundCam Ultra, orientado a los estudiantes del Técnico Universitario e Ingeniería en Mantenimiento Industrial. La metodología utilizada se fundamentó en lineamientos técnicos y normativos establecidos en las normas ISO 16810:2024, ISO 17359:2018, ISO 9001:2015, ISO 9712:2022 e ISO 18436-2:2014, permitiendo estructurar un diseño instruccional progresivo orientado a la configuración del equipo.

Finalmente, la validación del instructivo se realizó mediante una actividad práctica desarrollada en el laboratorio del departamento de mecánica, utilizando un motor eléctrico montado en un banco de prueba. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que el instructivo facilitó la correcta utilización del equipo, fortaleció el aprendizaje práctico de los estudiantes y favoreció al desarrollo de actividades más estructuradas, repetibles y comparables dentro de un contexto formativo orientado al mantenimiento industrial.

PALABRAS CLAVE

Ultrasonido aerotransportado

Mantenimiento predictivo

Ensayos no destructivos (END)

Estandarización

Beamforming

ABSTRACT

Over the past few years, industrial maintenance has progressively evolved towards condition-based monitoring strategies, incorporating non-destructive testing (NDT) techniques aimed at the early detection of faults and the evaluation of the operational status of assets. Among these techniques, airborne ultrasound has gained significant relevance due to its ability to detect acoustic emissions associated with phenomena present in mechanical, electrical, and fluid systems. This has allowed for the identification of anomalous behavior through real-time inspection processes without the need to disassemble the equipment.

Despite the technical advantages it offers, a significant gap was identified within the training context, with the absence of standardized procedures geared towards learning and the pedagogical use of this equipment. This situation hindered the correct interpretation of acoustic phenomena, the proper configuration of measurement parameters, and the obtaining of comparable records among students, generating differences in the execution of measurements and limitations in the repeatability of the learning processes. In response to this need, the present work aimed to develop a standardized technical instruction manual for the operation and application of the SoundCam Ultra equipment, geared towards students of the University Technician and Industrial Maintenance Engineering programs. The methodology used was based on technical and regulatory guidelines established in ISO 16810:2024, ISO 17359:2018, ISO 9001:2015, ISO 9712:2022, and ISO 18436-2:2014, allowing for the structuring of a progressive instructional design focused on equipment configuration.

Finally, the instruction manual was validated through a practical activity conducted in the mechanical engineering department's laboratory, using an electric motor mounted on a test bench. The results obtained demonstrated that the instruction manual facilitated the correct use of the equipment, strengthened students' practical learning, and fostered the development of more structured, repeatable, and comparable activities within a training context focused on industrial maintenance.

ÍNDICE

1CAPÍTULO 1: MARCO CONCEPTUAL, NORMATIVO Y CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO SOUNDCAM ULTRA	14
1.1INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL-----	15
1.2TIPOS DE MANTENIMIENTO-----	16
1.3FUNDAMENTOS DEL ULTRASONIDO-----	18
1.4APLICACIÓN DEL ULTRASONIDO EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL-----	20
1.5-----ULTRASONIDO AEROTRANSPORTADO -----	23
1.6	
PROPÓSITOS-----	24
1.6.1 Características para la identificación de los fenómenos acústicos	¡Error!
Marcador no definido.	
1.6.2Detección de fenómenos acústicos en sistemas mecánicos	24
1.6.3Detección de fenómenos acústicos en sistemas de fluidos	26
1.6.4Detección de fenómenos acústicos en sistemas eléctricos	28
1.7LIMITACIONES Y CONSIDERACIONES -----	32
1.7.1 Sector industrial	32
1.7.2Uso pedagógico	32
1.8CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA DE SOUNDCAM ULTRA	33

1.9PRINCIPIOS	DEL	
BEAMFORMING -----		34
1.10MODOS	DE	
OPERACIÓN-----		35
1.11PROCEDIMIENTOS	DE	
	PREPARACIÓN	
EQUIPO 37	DEL	
1.11.1 Distancia		38
1.11.2 Escala		39
1.11.3 Filtro de frecuencia		41
1.11.4 Tiempo de grabación.....		42
1.12FORMACIÓN,	CERTIFICACIÓN	Y
COMPETENCIAS -----		44
1.12.1 Formación según la norma ISO 9712:2022 – Ensayos no destructivos: Calificación y certificación del personal (END)		45
1.12.2 Formación según la norma ISO 18436-2:2014 – Personal en monitoreo de vibraciones y diagnóstico		46
1.13LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS PARA EL USO DE SOUNDCAM ULTRA -----		47
2CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO DE SOUNDCAM ULTRA.....		48
2.1		
METODOLOGÍA-----		49
2.2NORMATIVA TÉCNICA INTERNACIONAL (BASE DEL ESTÁNDAR DE CALIDAD)-----		51
2.2.1 Enfoque basado en procesos		51
2.2.2 Principios del ultrasonido		51
2.2.3 Monitoreo basado en condición		52

2.2.4	Competencias del personal	52
2.2.5	Clasificación del personal en monitoreo de condición	52
2.3	METODOLOGÍA DEL DISEÑO INSTRUCCIONAL	53
2.3.1	Competencias requeridas.	53
2.3.2	Contenidos técnicos	55
2.4	SECUENCIA PEDAGÓGICA DEL INSTRUCTIVO	57
2.5	SELECCIÓN DE ACTIVIDADES PRÁCTICAS Y ESCENARIOS	60
2.5.1	Recursos disponibles y condiciones de seguridad	60
2.5.2	Clasificación de actividades según nivel de complejidad	61
2.5.3	Diseño de actividades medibles y replicables	61
2.5.4	Selección de escenarios	61
2.6	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	62
2.7	INTEGRACIÓN FINAL DEL DISEÑO INSTRUCCIONAL PARA INSTRUCTIVO TÉCNICO	65
3	CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO	66
3.1	PROPÓSITO Y ALCANCE DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO	67
3.2	ENFOQUE PEDAGÓGICO Y TÉCNICO	69
3.3	CONTEXTO Y CONDICIONES DE APLICACIÓN	70

3.3.1 Datos del motor eléctrico	74
3.4 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUCTIVO	77
3.5 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO	78
3.5.1 Diagnóstico acústico identificado	82
3.5.2 Evaluación del desempeño del estudiante	82
3.5.3 Comparación con mediciones complementarias del evaluador	83
3.6 COMPARACIÓN ENTRE EL MANUAL COMERCIAL Y EL INSTRUCTIVO TÉCNICO DESARROYADO	86
3.7 PROYECCIONES DE MEJORA	88
3.8 CONCLUSIÓN	89
4..... BIBLIOGRAFÍA	92
Anexo A	93
Anexo B	94
Anexo C	97
Anexo D	100
Anexo E	122
Anexo F	144
Anexo G	166
Anexo H	170
Anexo I	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - SoundCam Ultra.	33
Figura 2 - Menú inicial.....	35
Figura 3 - Pantalla de SoundCam Ultra, configuración de la distancia.	38
Figura 4 - Pantalla de SoundCam Ultra, configuración de escala.	40
Figura 5 - Pantalla de SoundCam Ultra, configuración de filtro de frecuencia.....	41
Figura 6 - Pantalla de SoundCam Ultra, tiempo de medición.	43
Figura 7 - Escenario práctico.	70
Figura 8 - Escenario y estudiante.	71
Figura 9 - Motor eléctrico en banco de prueba.	72
Figura 10 - Motor eléctrico en banco de prueba, cambio de ángulo.	73
Figura 11 - Placa del motor eléctrico.	74
Figura 12 - EPP.	79
Figura 13 – Ejecución de la actividad de validación.	80
Figura 14 - Mapa acústico captado por el estudiante.....	81
Figura 15 - Mapa acústico captado por el estudiante, desde otro ángulo.	81
Figura 16 - Mapa acústico captado por el evaluador.	84
Figura 17 - Mapa acústico captado por el evaluador.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Tipos de ultrasonido.	19
Tabla 2 - Relación entre fenómenos acústicos y técnicas de monitoreo basado en condición.	21
Tabla 3 - Relación entre condiciones generadoras y técnicas de monitoreo basado en condición.	22
Tabla 4 - Relación entre fenómenos acústicos mecánicos, patrones geométricos y condiciones generadoras probables.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5 - Relación entre fenómenos acústicos en sistemas de fluidos, patrones geométricos y condiciones generadoras probables.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 6 - Relación entre fenómenos acústicos en sistemas eléctricos, patrones geométricos y condiciones generadoras probables.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7 - Modos de ajuste de filtros del SoundCam Ultra.	41
Tabla 8 - Componentes esenciales.	50
Tabla 9 - Niveles de progresión.	59
Tabla 10 - Criterios de evaluación.	62
Tabla 11 - Diferenciación de pasos guías.	64
Tabla 12 - Placa del motor eléctrico.	75
Tabla 13 - Parámetros utilizados por el estudiante.	79
Tabla 14 - Parámetros utilizados por el evaluador.	83
Tabla 15 - Comparación entre el manual comercial SoundCam Ultra y el instructivo técnico desarrollado.	87

INTRODUCCIÓN

En el ámbito del mantenimiento industrial, la detección temprana de fallas cumple un rol fundamental, al garantizar la continuidad operativa de los equipos y el cumplimiento de las funciones estratégicas, dentro de los sistemas productivos, debido a que permite disminuir sus tiempos de detención y optimizar los costos asociados al ciclo de vida de los activos. Esto favoreció la incorporación de técnicas en los ensayos (END), una de ellas el ultrasonido aerotransportado, el cual facilita la evaluación de los equipos en tiempo real, sin la necesidad de desensamblarlos.

Sin embargo, esta técnica depende en gran medida del conocimiento y competencias del personal encargado de realizar la inspección, estas deficiencias pueden derivar en interpretaciones erróneas y diagnósticos incorrectos.

Bajo este contexto, se identificó una problemática asociada a la ausencia de procedimientos estandarizados orientados específicamente al aprendizaje y utilización pedagógica de estos equipos.

Si bien se dispone de manuales comerciales, estos solo se enfocan principalmente en describir funciones operativas y características generales del sistema, utilizando un lenguaje técnico avanzado y sin incorporar metodologías progresivas de enseñanza aplicadas al contexto académico.

Frente a esta necesidad, el presente trabajo se orientó al desarrollo de un instructivo técnico estandarizado para la utilización pedagógica de SoundCam Ultra, permitiendo fortalecer las competencias prácticas relacionadas con la inspección, identificación de fenómenos acústicos y apoyo al diagnóstico técnico dentro de actividades vinculadas al mantenimiento industrial.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un instructivo técnico para la operación y aplicaciones de un equipo de ultrasonido aerotransportado, dirigido a estudiantes de Técnico Universitario e Ingeniería en Mantenimiento Industrial, asegurando la estandarización de procedimientos y el aprendizaje de buenas prácticas, en actividades de inspección y mantenimiento.

Objetivos Específicos

- 1) Caracterizar el equipo de ultrasonido aerotransportado, describiendo sus características técnicas, operativas y los procedimientos de preparación y operación.
- 2) Diseñar un instructivo técnico estandarizado, que facilite la comprensión, el aprendizaje y la aplicación del equipo, por parte de los estudiantes de Técnico Universitario e Ingeniería en Mantenimiento Industrial.
- 3) Validar el instructivo, mediante su aplicación en actividades prácticas de laboratorio o terreno, evaluando su efectividad pedagógica y su aporte al aprendizaje de los estudiantes.

1 CAPÍTULO 1: MARCO CONCEPTUAL, NORMATIVO Y CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO SOUNDCAM ULTRA

1.1 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El mantenimiento industrial es un conjunto de actividades técnicas y administrativas que tiene como propósito preservar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, controlando su deterioro a lo largo de todo su ciclo de vida bajo sus condiciones operacionales (Mobley, 2004).

Este cumple una función estratégica, que está orientada principalmente a asegurar que los equipos, sistemas y procesos mantengan su capacidad operativa de manera segura, continua y eficiente.

Cada activo con el paso del tiempo sufrirá una degradación progresiva que eventualmente puede provocar desgaste, deformación, fatiga, etc.

El rol del mantenimiento es intervenir con estrategias que permitan prevenir o corregir los distintos tipos de síntomas, antes de que ocurra una falla funcional. Con el paso del tiempo este ha ido evolucionando, a medida que se han ido implementado nuevas tecnologías en la industria.

El aumento de la complejidad de los sistemas, los costos de detención y seguridad, impulsó modelos preventivos, para posteriormente dar paso a estrategias predictivas.

En la actualidad, el mantenimiento industrial, se considera clave dentro del ciclo de vida de los activos, estando centrado en la confiabilidad y el monitoreo de condición, permitiendo controlar el riesgo operacional, reducir la probabilidad de fallas inesperadas y optimizar la vida útil de los equipos, además de prevenir incidentes que puedan generar un gran impacto al ambiente o algún peligro para los trabajadores.

La indisponibilidad de un equipo crítico puede generar pérdidas significativas, interrumpiendo procesos o fallas en las cadenas de suministro, es por eso que el mantenimiento es un factor clave que contribuye directamente a la rentabilidad y sostenibilidad dentro de la industria.

1.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Dado el desarrollo de nuevas metodologías que se orientan a la vida completa de los activos, es posible proponer diferentes tipos de mantenimiento, cada uno para una función estratégica y específica, ya sean condiciones operativas o niveles de criticidad.

El mantenimiento correctivo es el enfoque más básico y comúnmente conocido y aplicado, este consiste en intervenir el equipo únicamente después de que ocurre una falla. Su aplicación puede resultar adecuada en equipos no críticos o cuando el costo de la falla es más rentable que el costo de una intervención preventiva, de igual manera presenta varias desventajas en términos de seguridad, costos indirectos y continuidad operacional.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo se ejecuta de manera planificada ya sea por intervalos, periodos, etc.

Este se basa en realizar inspecciones y reemplazos periódicos para evitar que los equipos fallen o alcancen estados de deterioro avanzados. Aunque reduce la probabilidad de fallas no siempre garantiza que las intervenciones sean eficientes porque no considera la condición real en la que está operando el equipo.

Por último, el mantenimiento predictivo o basado en condición CBM, corresponde a uno de los enfoques más avanzados en la actualidad y consiste en predecir la falla o anticiparnos a ella (Moblely, 2002).

Bajo este contexto, el mantenimiento predictivo no es solamente la aplicación de técnicas de monitoreo para la detección de fallas, sino una toma de decisiones basada en la condición real del equipo.

Según (Moblely, 2002), el objetivo principal del mantenimiento predictivo es proporcionar información confiable y oportuna que permita planificar intervenciones eficientes, evitando acciones innecesarias y priorizando los recursos en función del riesgo y la criticidad del equipo.

Estos tres son los más comunes, sin embargo, también pueden encontrarse otras metodologías complementarias, como el análisis de causa raíz, estos se enfocan principalmente en prevenir las causas físicas que originaron el deterioro, su objetivo es investigar cuáles son las fallas y modificar las condiciones que las producen con el propósito de disminuir su recurrencia en el tiempo.

El mantenimiento no solo depende de su metodología específica, sino que, de una gestión coordinada, esta principalmente debe responder a estos cuatro fundamentos.

- 1) Qué se va a hacer, cuando y con qué recursos.
- 2) Procedimientos, inspecciones, mediciones.
- 3) Revisión de datos, tendencias y resultados.
- 4) Decisiones de reemplazo, rediseño.

La finalidad del mantenimiento es asegurar que los activos mantengan su capacidad operativa a lo largo de todo su ciclo de vida, minimizando las posibles fallas inesperadas y garantizando que los procesos se realicen de manera segura, continua y rentable.

Esto se traduce en que los equipos se intervienen de una manera estratégica que maximiza su disponibilidad, reduce los costos y tiempos fuera de servicio. Además de que un equipo sin un mantenimiento es un equipo riesgoso, pudiendo ocasionar graves accidentes, ya sean para los trabajadores o para el ambiente, es por esto que intervenirlos de una manera adecuada rigiéndose por normas que garanticen que los activos se mantengan dentro de los estándares establecidos, evita fallas que puedan terminar en problemas de mayor envergadura (Mobley, 2004).

1.3 FUNDAMENTOS DEL ULTRASONIDO

De acuerdo con la norma ISO 16810:2024, el ultrasonido es una forma de energía mecánica que se propaga en forma de ondas a través de un medio. Este se caracteriza por presentar frecuencias superiores a los 20 kHz, lo que lo hace imperceptible para el oído humano (International Organization for Standardization, 2024).

La frecuencia del ultrasonido se mide en hertz (Hz). Esta unidad representa los ciclos por segundo de una onda mecánica y cuando estas alcanzan valores demasiado altos se utiliza el kilohertz (kHz), donde 1 kHz es igual a 1.000 Hz.

Desde el punto de vista físico, el ultrasonido se produce cuando una fuente produce una vibración, generando ondas que pueden ser longitudinales, transversales o superficiales, particularmente en los ensayos (END), los tipos de onda más utilizados son los longitudinales, ya que facilitan la detección de discontinuidades, cambios de espesor y variaciones en la condición de los equipos, su propagación depende del material, densidad, rigidez, etc.

Cada cambio en estas propiedades altera la velocidad de propagación, atenuación y amplitud de la señal que se recibe. Es fundamental saber todos estos conceptos para poder utilizar cualquier técnica de medición que lo utilice, en especial cuando se orienta al mantenimiento, ya que permite entender qué es lo que se está midiendo, cómo se propaga la energía sonora y como ciertas condiciones provocan emisiones específicas.

Dentro de un contexto industrial, el ultrasonido ha ido evolucionando desde tecnologías de inspección interna, soldadura o espesores a tecnologías basadas en ultrasonido aerotransportado, lo que facilita identificar fenómenos que se asocian al funcionamiento del equipo, pudiendo ser, fugas, fricción, turbulencias entre otras.

La siguiente tabla presenta una comparación general entre los distintos tipos de ultrasonido y sus principales aplicaciones, permitiendo contextualizar al ultrasonido aerotransportado dentro de los distintos tipos utilizados.

Tabla 1 - Tipos de ultrasonido.

Tipo de ultrasonido	Principio	Aplicaciones
Ultrasonido médico	Ondas ultrasónicas para diagnóstico por imagen	Ecografías y diagnóstico clínico
Ultrasonido industrial por contacto	Transmisión directa en materiales sólidos	Medición de espesores, detección de discontinuidades
Ultrasonido de potencia Ultrasonido	Uso de energía ultrasónica de alta intensidad	Limpieza, soldadura, corte y mecanizado
Ultrasonido aerotransportado	Detección de emisiones ultrasónicas en el aire	Detección de fugas, inspección eléctrica, monitoreo mecánico

Fuente - Elaboración propia, 2025.

1.4 APLICACIÓN DEL ULTRASONIDO EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El ultrasonido se aplica mediante la detección, medición o interpretación de ondas acústicas de alta frecuencia que se generan por los distintos comportamientos de los equipos, estas son captadas por sensores donde luego son analizadas para evaluar la condición real del equipo.

Toda condición anómala genera un patrón distintivo pudiendo ser por una consecuencia de algún impacto, fricción, etc. Como el ultrasonido es direccional, facilita localizar con precisión la fuente de emisión sonora.

El ultrasonido parte por comprender el comportamiento de las ondas, propagación en el medio y la relación entre intensidad, distancia y dirección.

La norma ISO 16810:2024 dice que el ultrasonido aplicado en ensayos no destructivos se basa en la generación, recepción y análisis de las ondas superiores a 20 kHz, permitiendo identificar la continuidad del medio, variaciones y patrones que evidencian condiciones de fallas (International Organization for Standardization, 2024).

En la práctica la aplicación sigue un orden lógico que comprende las siguientes etapas:

- 1) Seleccionar la técnica y el sensor adecuado.
- 2) Configurar el instrumento.
- 3) Capturar señales.
- 4) Análisis e interpretación.
- 5) Integración con programas de monitoreo de condición.

El ultrasonido se usa principalmente para el mantenimiento predictivo, permitiendo detectar fenómenos acústicos asociados a fallas en su etapa temprana generadas por fenómenos asociados al comportamiento de los componentes

Según la norma ISO 17359:2018, el ultrasonido es uno de los métodos que se recomienda para evaluar condiciones críticas como fricción, flujo, turbulencias, descargas parciales y sistemas eléctricos (International Organization for Standardization, 2018).

Según la norma ISO 17359:2018, el monitoreo basado en condición puede integrar distintas técnicas que permiten detectar fenómenos asociados al comportamiento operacional de los equipos (International Organization for Standardization, 2018).

Bajo este contexto, el ultrasonido aerotransportado destaca por su capacidad de identificar emisiones relacionadas con fenómenos mecánicos, eléctricos y de fluidos. Sin embargo, esta técnica no permite determinar directamente una causa raíz, sino identificar síntomas o condiciones generadoras probables que posteriormente deben complementarse con otras técnicas de monitoreo de condición.

Tabla 2 - Relación entre fenómenos acústicos y técnicas de monitoreo basado en condición.

Fenómeno acústico	Vibraciones	Termografía	Ultrasonido aerotransportado	Análisis de aceite
Fricción	Sí	Sí	Sí	Sí
Impacto	Sí	No	Sí	No
Golpeteo	Sí	No	Sí	Sí
Fuga	No	No	Sí	No
Turbulencia	No	No	Sí	No
Cavitación	Sí	No	Sí	No
Arco eléctrico	No	Sí	Sí	No
Efecto corona	No	Sí	Sí	No
Tracking	No	Sí	Sí	No
Descarga parcial	No	Sí	Sí	No

Fuente - Elaboración propia, 2025.

Ciertas condiciones generadoras pueden manifestarse mediante distintos parámetros físicos simultáneamente, por lo que la integración de técnicas (CBM) complementarias, permite obtener una evaluación más completa de la condición operacional del equipo. Lo que fortalece la confiabilidad del análisis realizado.

Tabla 3 - Relación entre condiciones generadoras y técnicas de monitoreo basado en condición.

Condición generadora	Vibraciones	Termografía	Ultrasonido aerotransportado	Análisis de aceite
Holgura	Sí	No	Sí	No
Desalineación	Sí	No	Sí	No
Desbalanceo	Sí	No	No	No
Falta de lubricación	Sí	No	Sí	Sí
Desgaste	Sí	Sí	Sí	Sí
Restricción de flujo	No	No	Sí	No
Sobrepresión	No	No	Sí	No
Subpresión	No	No	Sí	No
Válvula mal dimensionada	No	No	Sí	No
Contaminación superficial	No	Sí	Sí	No
Humedad	No	Sí	Sí	No
Alta tensión	No	Sí	Sí	No

Fuente - Elaboración propia, 2025.

1.5 ULTRASONIDO AEROTRANSPORTADO

Con el tiempo, nuevas tecnologías y estrategias se han ido desarrollando, una de ellas el ultrasonido aerotransportado, este es capaz de detectar emisiones acústicas que se desplazan a través del aire sin la necesidad de tener que intervenir en los equipos, se utiliza para escuchar y visualizar las emisiones que emergen hacia el aire desde la fuente de la emisión sonora, en comparación con los métodos más tradicionales que requieren un acoplamiento directo con una superficie.

Gracias a esto, es posible ampliar el alcance dentro del CBM, especialmente donde hay zonas de difícil acceso y existencia de riesgo, ya que permite realizar evaluaciones a distancia.

Su funcionamiento puede resumirse en tres procesos principales los cuales son, la generación de la señal acústica, ya que toda condición genera un comportamiento acústico característico. Estas se propagan por el aire para luego ser capturadas a través de un sensor de alta frecuencia que convierte las vibraciones en señales medibles.

Por último, el procesamiento de filtrado y visualización, una vez capturada la señal, se filtran las frecuencias correspondientes al ruido no deseado, para luego enfocarse en la zona donde se encuentra la emisión acústica. Esto permite convertir la señal en una representación visual y así poder generar un análisis más detallado con las mediciones obtenidas.

Según la norma ISO 17359:2018, estas mediciones pueden ser parte del monitoreo basado en condición, ya que el ultrasonido aerotransportado es una técnica válida para detectar cambios en parámetros acústicos asociados a fallas incipientes, al no ser invasivo y siendo aplicable a múltiples áreas (fugas, electricidad, mecánica, vapor y lubricación) lo convierten en una herramienta esencial dentro del monitoreo basado en condición y del mantenimiento predictivo (International Organization for Standardization, 2018).

1.6 PROPÓSITOS

El ultrasonido aerotransportado permite la identificación y detección de distintos tipos de fenómenos acústicos que corresponden a emisiones ultrasónicas por procesos físicos anómalos en diferentes sistemas, sin embargo, es importante comprender que estas emisiones no constituyen la primera causa del problema, sino la manifestación energética de una condición generadora.

El equipo de SoundCam Ultra permite detectar el fenómeno acústico, mientras que el análisis técnico posterior permite definir la posible condición que lo origina. Esta relación causa-efecto representa el primer paso hacia un diagnóstico técnico fundamentado.

1.6.1 Detección de fenómenos acústicos en sistemas mecánicos

Los sistemas mecánicos generan distintos fenómenos acústicos asociados al contacto y movimiento de sus componentes. Además, estas emisiones pueden variar dependiendo de las condiciones (Mobley, Maintenance Fundamentals, 2004).

Entre los principales detectables se encuentran:

La fricción: Es la resistencia entre dos superficies en contacto, esta puede generar roce, aumento en la temperatura y vibraciones.

Impacto: Es un choque puntual entre componentes mecánicos, generado por contactos bruscos instantáneos entre superficies.

Golpeteo: Es un choque repetitivo entre componentes mecánicos que deberían tener un juego controlado, estos impactos pueden deberse a desviaciones operativas como pérdida de tolerancias, desajustes o deterioro.

Factores que afectan la detección de emisiones acústicas en sistemas mecánicos

La detección de emisiones en sistemas mecánicos puede verse influenciada por distintas variables operacionales, estas condiciones pueden modificar la intensidad, propagación y su comportamiento. Afectando directamente la capacidad de identificación del fenómeno acústico.

Entre los principales factores que pueden influir en la detección de emisiones se encuentran:

- 1) Velocidad de rotación del componente y carga mecánica aplicada.
- 2) Condición de lubricación y estado de desgaste de componentes.
- 3) Rigidez estructural del sistema y condiciones de montaje.
- 4) Tipo de elemento mecánico (rodamientos, engranajes, acoplamientos, etc).
- 5) Geometría de contacto entre componentes.

1.6.1.1 Condiciones generadoras

Los fenómenos acústicos anteriormente mencionados, pueden originarse a partir de las distintas condiciones mecánicas presentes en los equipos. Estas condiciones generadoras corresponden al comportamiento anómalo de estos, favoreciendo la aparición de emisiones detectables por ultrasonido aerotransportado.

Entre las principales se encuentran las siguientes:

Holgura: Es la separación o el juego excesivo entre componentes mecánicos que están diseñados para operar bajo tolerancias controladas.

Desalineación: Es la desviación geométrica entre ejes o componentes que deberían operar de manera coaxial o paralela.

Desbalanceo: Es la distribución desigual de la masa en un elemento rotativo que genera fuerzas centrífugas no uniformes durante su operación.

Falta de lubricación: Cuando el lubricante es inexistente, insuficiente o inadecuado en viscosidad o calidad, impide la separación entre superficies en movimiento.

Desgaste: Esta es la pérdida excesiva del material en superficies de contacto.

1.6.2 Detección de fenómenos acústicos en sistemas de fluidos

Los sistemas de fluidos pueden generar distintos fenómenos acústicos asociados al comportamiento del flujo, variación de presión y condiciones presentes en tuberías, válvulas, etc.

Entre los principales fenómenos detectables se encuentran los siguientes:

Fuga: Es la liberación de un fluido, gas o líquido, a través de una abertura en un sistema presurizado. La intensidad de la emisión acústica depende del diferencial de presión, tamaño del orificio, tipo de fluido y geometría de la abertura.

Turbulencia: Es un régimen de flujo inestable que se caracteriza por la formación de remolinos, variaciones de velocidad y cambios locales de presión.

Esto produce emisiones ultrasónicas variables y distribuidas que se observan como patrones difusos en el mapa acústico.

Cavitación: Es un fenómeno físico que ocurre cuando la presión local de un fluido desciende por debajo de su presión de vapor, lo que provoca la formación de microburbujas, estas colapsan finalmente en zonas de mayor presión provocando micro impactos y daño erosivo progresivo.

Factores que afectan la detección de emisiones acústicas en sistemas de fluidos

La detección de emisiones en sistemas de fluidos puede verse influenciada por distintas variables operacionales y propiedades físicas del fluido, estas condiciones pueden modificar su comportamiento y propagación de emisiones dentro del sistema.

Entre los principales factores que pueden influir en la detección de emisiones se encuentran:

- 1) Diferencial de presión del sistema.
- 2) Tipo de fluido o gas.
- 3) Viscosidad del fluido.
- 4) Velocidad del flujo.
- 5) Régimen de flujo (laminar o turbulento).
- 6) Geometría del conducto o tubería.
- 7) Presencia de restricciones en el flujo.
- 8) Temperatura del fluido.

1.6.2.1 Condiciones generadoras

Los fenómenos acústicos presentes en sistemas de fluidos pueden originarse a partir de distintas alteraciones operativas, relacionadas con la presión, caudal y comportamiento del flujo. Estas condiciones generadoras favorecen la aparición de emisiones detectables por ultrasonido aerotransportado.

Entre las principales se encuentran las siguientes:

Restricción de flujo: Es la restricción de flujo debido a obstrucciones, válvulas parcialmente cerradas o diseño inadecuado.

Sobrepresión: Es cuando la presión interna del sistema supera el valor del diseño.

Subpresión: Es cuando la presión está por debajo del rango operativo esperado.

Válvula mal dimensionada: Esta válvula no tiene el tamaño, capacidad o no se ajusta al caudal requerido por el sistema.

1.6.3 Detección de fenómenos acústicos en sistemas eléctricos

Los fenómenos acústicos presentes en sistemas eléctricos pueden estar asociados a condiciones de riesgo como cortocircuito, incendios o explosiones.

Entre los principales detectables se encuentran los siguientes:

Arco eléctrico: Corresponde al flujo de electricidad del aire de un conductor a otro objeto que conduzca electricidad, la corriente salta a través del aire.

Efecto corona: Las moléculas de aire rodean los conductores y comienzan una carga eléctrica o ionización. Hay dos derivados producidos por este efecto que son el ozono y el óxido de nitrógeno, estos se presentan comúnmente en cables de media y alta tensión.

Tracking: Corresponde a una falla donde la corriente se desplaza a través de la superficie de un material aislante.

Descarga parcial: Es un fenómeno producido por la ionización localizada del aire o del material aislante en equipos energizados sin que se produzca una descarga completa entre los conductores.

Factores que afectan la detección de emisiones acústicas en sistemas eléctricos

La detección de emisiones en sistemas eléctricos puede verse influenciada por distintas variables operacionales y ambientales, estas variables pueden modificar el comportamiento y propagación de emisiones dentro del sistema.

Entre los principales factores que pueden influir en la detección de emisiones se encuentran:

- 1) Nivel de tensión del sistema.
- 2) Condición del aislamiento eléctrico.
- 3) Presencia de humedad o condensación.
- 4) Geometría de conductores y terminales.
- 5) Distancia entre conductores energizados.
- 6) Condiciones del campo eléctrico en el sistema.

1.6.3.1 Condiciones generadoras

Los fenómenos acústicos presentes en los sistemas eléctricos pueden desarrollarse a partir de distintas condiciones operativas y ambientales que afectan el comportamiento de los componentes energizados.

Entre las principales se encuentran las siguientes:

Contaminación superficial: Es la presencia de polvo, residuos industriales, sales o partículas conductivas sobre la superficie de aisladores o conductores.

Humedad: Es la presencia de agua o condensación sobre superficies aislantes, la combinación de humedad con la de contaminantes ayuda a la formación de caminos conductivos superficiales.

Esta condición favorece el desarrollo progresivo de tracking o descargas parciales.

Alta tensión: Es un sistema eléctrico con niveles elevados de voltaje, generando campos eléctricos alrededor de los conductores energizados.

La siguiente tabla resume los principales fenómenos acústicos detectables mediante ultrasonido aerotransportado en sistemas mecánicos, fluidos y eléctricos. Además, se identifican las características técnicas generales asociadas a cada fenómeno y el tipo de sistema donde pueden presentarse.

Fenómeno acústico	Sistema mecánico	Sistema de fluidos	Sistema eléctrico	Observaciones técnicas
Fricción	Sí	No	No	Requiere contacto mecánico entre superficies
Impacto	Sí	No	No	Golpes repetitivos o choques entre componentes
Golpeteo	Sí	No	No	Fenómeno intermitente, asociado a holguras
Fuga	No	Sí	No	Propio de sistemas presurizados (aire, gas o líquido)
Turbulencia	No	Sí	No	Relacionada con flujo inestable
Cavitación	No	Sí	No	Requiere líquido y variaciones de presión
Descarga parcial	No	No	Sí	Solo en equipos eléctricos energizados
Corona	No	No	Sí	Fenómeno eléctrico en alta tensión
Tracking / Arco superficial	No	No	Sí	Descarga superficial en aisladores

Si bien los fenómenos acústicos corresponden a la manifestación energética detectable mediante el ultrasonido aerotransportado, estos no representan directamente la causa raíz del problema.

La correcta interpretación del fenómeno detectado requiere relacionarlo con las posibles condiciones generadoras presentes en el sistema inspeccionado, ya que, estas corresponden a las alteraciones operativas o físicas que favorecen la aparición de emisiones acústicas.

La siguiente tabla resume las principales condiciones generadoras asociadas a sistemas mecánicos, fluidos y eléctricos, identificando el tipo de sistema donde pueden desarrollarse y sus principales características técnicas.

Condiciones generadoras	Sistema mecánico	Sistema de fluidos	Sistema eléctrico	Observaciones técnicas
Holgura	Sí	No	No	Separación excesiva entre componentes mecánicos
Desalineación	Sí	No	No	Desviación entre ejes o componentes rotativos
Desbalance	Sí	No	No	Distribución desigual de masa en elementos rotativos
Falta de lubricación	Sí	No	No	Insuficiente película lubricante entre superficies
Desgaste	Sí	No	No	Pérdida progresiva de material en componentes
Restricción de flujo	No	Sí	No	Disminución parcial del paso del fluido
Sobrepresión	No	Sí	No	Presión superior a la condición normal de operación
Subpresión	No	Sí	No	Presión inferior a la requerida en el sistema
Válvula mal dimensionada	No	Sí	No	Selección incorrecta de válvula respecto al caudal o presión
Contaminación superficial	No	No	Sí	Presencia de suciedad o partículas conductivas en aisladores
Humedad	No	No	Sí	Presencia de agua o condensación en componentes eléctricos
Alta tensión	No	No	Sí	Elevado potencial eléctrico entre conductores

Fuente - Elaboración propia, 2025.

La correcta interpretación de la relación entre los fenómenos acústicos y sus condiciones generadoras permite establecer hipótesis técnicas fundamentadas y orientar decisiones de mantenimiento preventivo o correctivo.

1.7 LIMITACIONES Y CONSIDERACIONES

El ultrasonido aerotransportado presenta distintas limitaciones y consideraciones, tanto en aplicaciones industriales como en contextos formativos. Pudiendo influir directamente en la calidad de las mediciones e interpretación de los fenómenos acústicos.

1.7.1 Sector industrial

- 1) En entornos industriales el ultrasonido aerotransportado se ve afectado por el ruido ambiental, lo que puede dificultar la detección de la emisión acústica de interés.
- 2) Los rangos de medición varían, ya que, si se contara con un equipo que mide hasta los 100 kHz y el fenómeno acústico se encontrara en un rango más alto, este no se podría detectar, siendo necesario utilizar otro equipo con un mayor rango de medición.
- 3) Algunos equipos pueden encontrarse confinados, encapsulados o en zonas restringidas de difícil acceso, lo que limitaría el posicionamiento adecuado de SoundCam Ultra, afectando la calidad de la medición.

1.7.2 Uso pedagógico

- 1) Orientado a los estudiantes del Técnico Universitario e Ingeniería en Mantenimiento Industrial.
- 2) La información proporcionada es introductoria y no posee ninguna certificación.
- 3) Aunque no se necesita una certificación para el uso de este equipo, se recomienda tener conocimiento de los fundamentos del ultrasonido para su utilización.
- 4) La falta de procedimientos estandarizados para la realización de mediciones puede generar diferencias en la configuración del equipo, interpretación de los fenómenos acústicos y finalmente el registro de los resultados, lo que dificultaría la repetibilidad y comparación de mediciones.
- 5) Finalmente, el uso del ultrasonido aerotransportado, tanto en la industria como en la formación requiere entender que este no reemplaza ninguna otra técnica o herramienta, sino que las complementa. Sus limitaciones y consideraciones deben abordarse de una manera progresiva, siguiendo los protocolos de aplicación, ajustes y metodologías de monitoreo de condición.

1.8 CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA DE SOUNDCAM ULTRA

Soundcam Ultra es un dispositivo portátil diseñado para la detección, localización y visualización de fuentes sonoras en un rango de hasta 100 kHz.

La siguiente figura presenta el equipo utilizado durante el desarrollo de este trabajo, el cual corresponde a la herramienta principal emplea para las actividades.

Figura 1 - SoundCam Ultra.



Fuente - CAE Software and Systems GmbH (2025).

Este equipo permite identificar con precisión la ubicación espacial de la fuente de emisión sonora y al mismo tiempo transformar estas señales imperceptibles para el oído humano en representaciones gráficas visuales, opera de forma remota por lo que no tendría que tener contacto para tomar mediciones en comparación con otros equipos ya que capta el sonido directamente desde el aire (aerotransportado), esto se logra a través de una matriz de micrófonos que viene incorporada en él, haciendo posible el registro de múltiples señales de manera simultánea. Está diseñado con un grado de protección IP54 que lo protege contra el polvo y limitada contra el agua, cuenta con una cámara integrada que captura todo el entorno visual y un software que superpone la imagen sobre la imagen real permitiendo identificar el punto exacto donde se genera el sonido (beamforming).

1.9 PRINCIPIOS DEL BEAMFORMING

El beamforming es un principio utilizado en aplicaciones de localización y procesamiento de señales acústicas, el cual permite dirigir y concentrar espacialmente la señal hacia una zona específica, lo que facilita la localización de la fuente de emisión (International Organization for Standardization, 2024).

El SoundCam Ultra, compara las diferencias del tiempo de llegada de la onda sonora a cada uno de los micrófonos permitiendo calcular la dirección y la distancia relativa de la fuente de emisión y así reconstruir la trayectoria de la señal dentro del campo visual, identificando el punto donde se origina el sonido, el resultado aparece como una imagen acústica, donde distintos colores representan variaciones en la intensidad energética detectada, los colores cálidos como el amarillo y rojo, indican una mayor intensidad energética, mientras los colores más fríos como el azul, tienden a presentar niveles de intensidad más bajos (CAE Software and Systems GmbH, 2025).

Permite visualizar el comportamiento de la señal mediante espectros y sonogramas, facilitando la identificación de las variaciones acústicas asociadas a las distintas condiciones operativas de los equipos inspeccionados, sin la necesidad de detener el proceso.

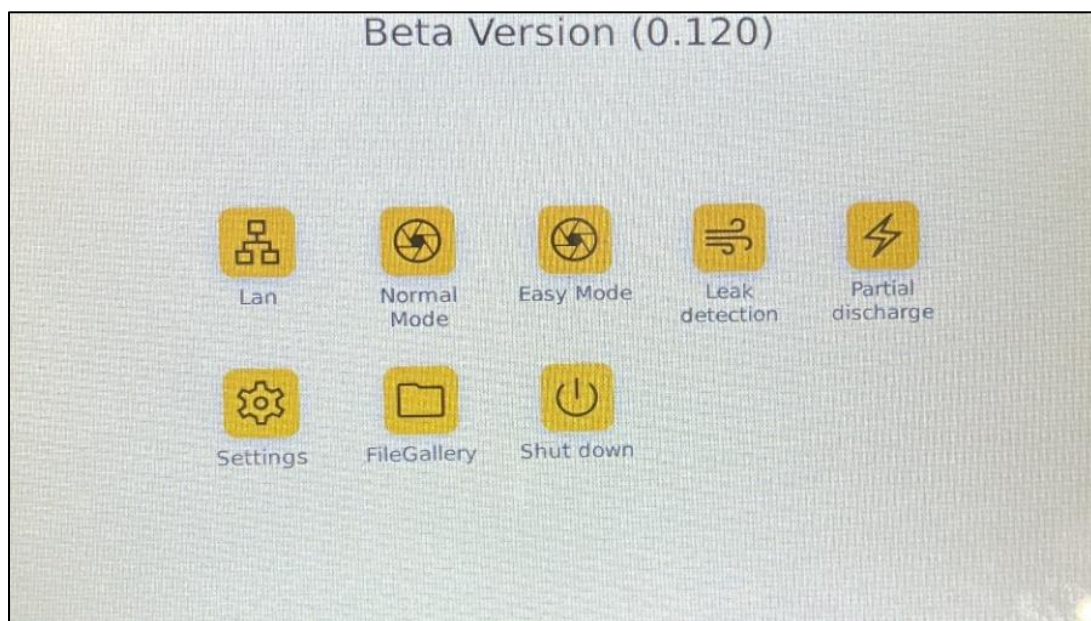
Estas características permiten utilizar el equipo dentro de actividades formativas, ya que, las representaciones visuales de las emisiones acústicas favorecen la identificación espacial de las fuentes sonoras y la interpretación de los fenómenos detectados.

1.10 MODOS DE OPERACIÓN

Para encender el equipo, se debe presionar el botón de ON/OFF, por dos segundos hasta que se encienda una luz de color verde. Una vez iniciado el sistema, se desplegará la pantalla principal, donde será posible acceder a los distintos modos de funcionamiento y herramientas disponibles.

Esta corresponde a la pantalla principal del sistema desde donde se accede a los distintos modos de funcionamiento del equipo.

Figura 2 - Menú inicial



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Desde esta pantalla será posible acceder a las distintas funciones y modos de operación disponibles en SoundCam Ultra. Cada uno orientado a diferentes tipos de inspección, análisis.

Las principales opciones disponibles son las siguientes:

- 1) LAN: Permite la conexión del equipo a una red local para la transferencia de datos, visualización remota o comunicación con otros dispositivos.
- 2) Normal mode: Es el modo estándar de operación del equipo, utilizado para inspecciones generales y detección de emisiones acústicas en distintos tipos de sistemas.
- 3) Easy mode: Es el modo simplificado del modo normal lo que facilita el uso del equipo mediante una interfaz más intuitiva, orientado a inspecciones rápidas o usuarios con menor experiencia.
- 4) Leak detection: Es el modo especializado para la detección de fugas en sistemas presurizados, optimizando el procesamiento de señales ultrasónicas generadas por escapes de fluidos o gases.
- 5) Partial discharge: Este modo está orientado a la detección de fenómenos eléctricos como descargas parciales, corona o tracking en equipos energizados.
- 6) Settings: Permite el acceso a configuración general del sistema.
- 7) File gallery: Permite visualizar, revisar y gestionar las grabaciones, capturas de pantalla y registros almacenados en el equipo.
- 8) Shut down: Es la opción para apagar el equipo de forma segura, cerrando los procesos activos y evitando la pérdida de información almacenada.

1.11 PROCEDIMIENTOS DE PREPARACIÓN DEL EQUIPO

Antes de iniciar alguna inspección, se deberá realizar una preparación previa del equipo. En primer lugar, se efectuará una inspección visual del equipo, verificando que no existan obstrucciones en los micrófonos u otros elementos que puedan interferir en el proceso. Posteriormente se verificará el nivel de carga de la batería para asegurar un funcionamiento adecuado durante la inspección, finalmente el equipo podrá utilizarse en el ambiente que se estime conveniente.

No se requerirá de una calibración tradicional como ocurre con otros equipos, sin embargo, será necesario ajustar sus parámetros antes de la medición.

Como recomendación, se sugiere crear un perfil de usuario, en el cual se puedan almacenar todos los datos que se registren en el proceso de medición. Además, el sistema permite guardar configuraciones predefinidas para facilitar futuras inspecciones sin la necesidad de reconfigurar nuevamente el equipo, una vez encendido el equipo se visualizará la imagen acústica en tiempo real y el espectro de frecuencia, el cual podrá ajustarse según el análisis requerido, en un rango de hasta 100 kHz.

Antes de realizar cada medición, se recomienda configurar cuatro parámetros principales.

1.11.1 Distancia

Para reconstruir correctamente la imagen acústica el equipo requiere conocer la distancia correcta de la fuente de emisión sonora para localizarla de una manera más precisa, está pudiéndose manualmente.

Una distancia incorrecta podría distorsionar la reconstrucción espacial del sonido, lo que dificultaría su localización. Además, la señal podría confundirse con el ruido ambiental lo que provocaría que la imagen se viera desenfocada.

A continuación, se muestra la configuración de distancia dentro de la interfaz del equipo.

Figura 3 - Pantalla de SoundCam Ultra, configuración de la distancia.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

1.11.2 Escala

Representa los niveles de sonido en los colores anteriormente mencionados, es decir, cómo se visualiza la señal.

Existen tres tipos de escalas, primera es el “Modo Auto”, resalta la zona con mayor nivel acústico, es útil donde hay una sola fuente de emisión. Además, permite evaluaciones rápidas e intuitivas orientadas a inspecciones generales, sin embargo, ambientes ruidosos puede saturarse lo que dificulta encontrar el origen de la señal ya que resalta los ruidos del ambiente.

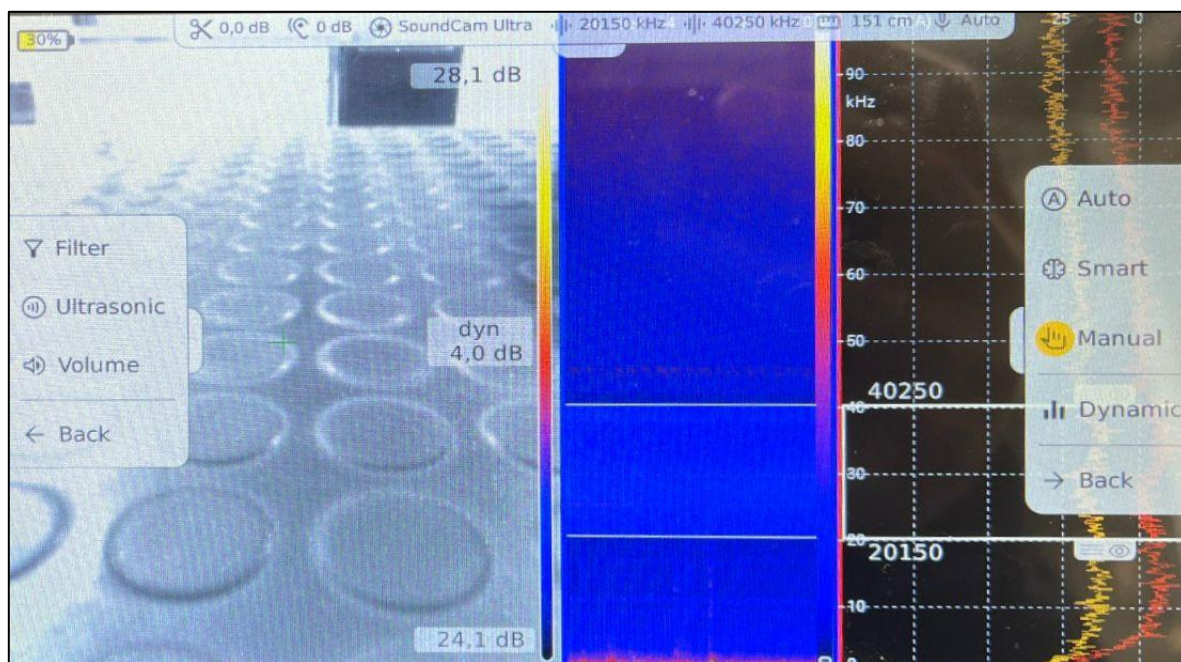
También se dispone del “Modo Smart”, el cual suprime el ruido de fondo que pueda crear una imagen saturada, reduciendo el sonido del viento o máquinas cercanas.

El nivel de ruido de fondo se determina constantemente, permitiendo que el sistema se adapte a las condiciones acústicas del entorno, facilitando la observación de fuentes reales, minimizando errores, el mejor para ambientes industriales.

Y por último el “Manual”, que permite comparar diferentes mediciones con niveles de referencia.

A continuación, se presenta la configuración de escalas disponible dentro de la interfaz del equipo.

Figura 4 - Pantalla de SoundCam Ultra, configuración de escala.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

1.11.3 Filtro de frecuencia

Los filtros reducen el ruido del ambiente e incrementa la precisión de beamforming, permitiendo que el sistema se centre únicamente en el punto de interés. El equipo posee tres modos de filtrado, cada uno con características distintas dependiendo lo que se quiera lograr.

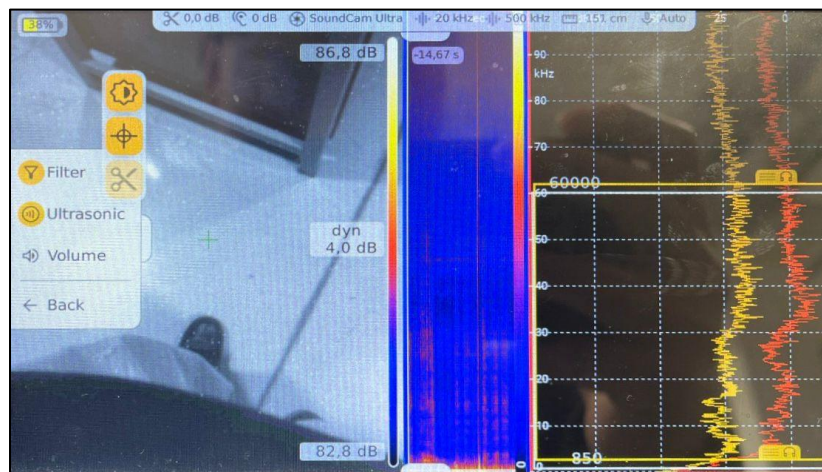
Tabla 4 - Modos de ajuste de filtros del SoundCam Ultra.

Tipo de filtro	Función	Aplicación en la medición
Filtro paso bajo (Low-pass)	Permite el paso de frecuencias bajas y atenúa o elimina frecuencias altas.	Se utiliza cuando se desea reducir o eliminar ruido de alta frecuencia que puede interferir en la medición.
Filtro paso alto (High-pass)	Permite el paso de frecuencias altas y atenúa o elimina frecuencias bajas.	Se emplea para aislar fenómenos típicamente ultrasónicos y reducir componentes de baja frecuencia presentes en el ambiente o en el equipo.
Filtro paso banda (Band-pass)	Permite el paso de un intervalo específico de frecuencias definido entre un valor mínimo y máximo.	Se utiliza cuando se desea analizar un rango de frecuencia específico, aislando la emisión acústica de interés y reduciendo interferencias externas.

Fuente - Elaboración propia, 2025.

A continuación, se muestra la configuración de filtros disponible dentro de la interfaz del equipo.

Figura 5 - Pantalla de SoundCam Ultra, configuración de filtro de frecuencia.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

1.11.4 Tiempo de grabación

Controla la duración máxima de la grabación, principalmente, el equipo ofrece opciones de 10 s, 30 s y 60 s, hasta 180s, cada una plantea un distinto modo de análisis, por ejemplo:

La grabación de 10 s puede ser utilizada para alguna inspección rápida, alguna fuga, etc. Entre 30 s – 60 s para fenómenos internos y pasándonos de ese tiempo sería un monitoreo más prolongado, vibraciones más complejas.

Mientras mayor sea el tiempo de grabación, mayor será el espacio utilizado por el archivo. Sin embargo, también se dispondrá de una mayor cantidad de datos para el análisis que se quiera realizar, este equipo posee una capacidad interna de memoria de 32 GB.

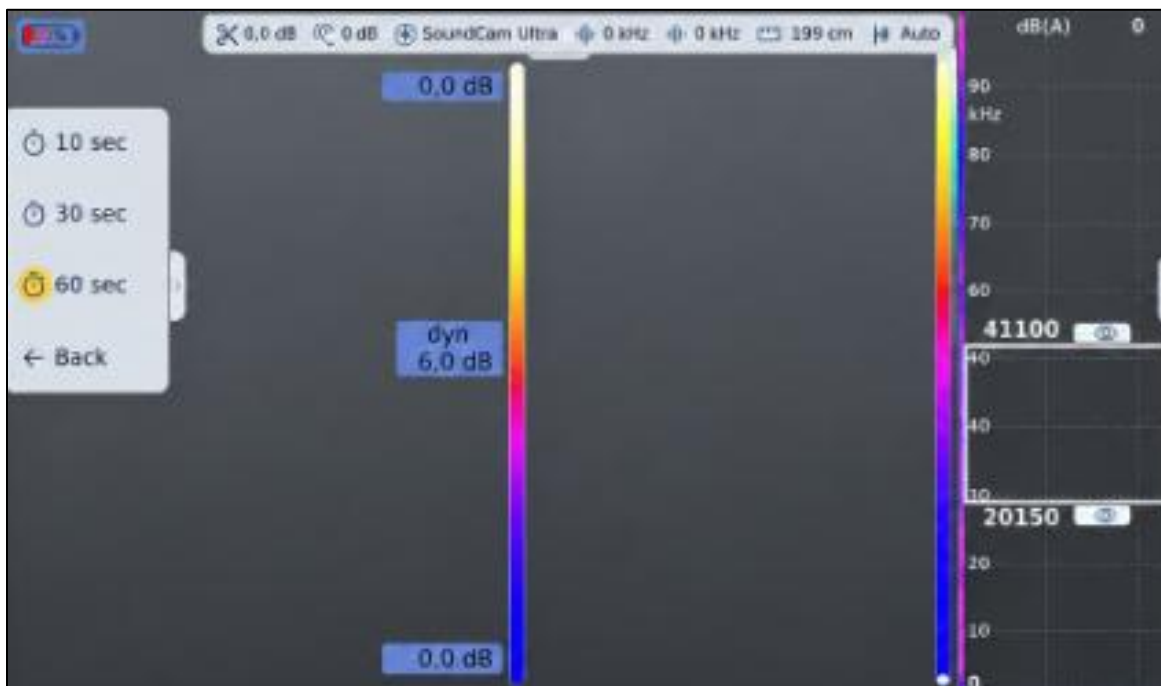
La grabación con trigger permite detectar automáticamente un evento y guardar solo la parte más importante de la grabación, sin la necesidad de supervisión constante en tiempo real registrando información antes, durante y después.

Esta función permite grabar sin la necesidad de estar esperando el momento en que sucederá el evento, permitiendo registrar fenómenos esporádicos sin la necesidad de mantener grabaciones continuas.

Por último, la medición (LTM) está orientada a ser más duradera que las demás llegando a una estimación de entre 10 s a 900 s, esto facilita observar con más claridad el comportamiento de la emisión acústica que no podrían analizarse mediante una grabación convencional.

A continuación, se muestra la configuración de tiempo de grabación disponible dentro de la interfaz del equipo.

Figura 6 - Pantalla de SoundCam Ultra, tiempo de medición.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

1.12 FORMACIÓN, CERTIFICACIÓN Y COMPETENCIAS

Según la norma ISO 17359:2018, el personal asociado a actividades de monitoreo basado en condición debe ser competente, capacitado y entrenado en la metodología (International Organization for Standardization, 2018).

Bajo estos lineamientos, la utilización del SoundCam Ultra requiere conocimientos previos relacionados con los fundamentos del ultrasonido, interpretación de fenómenos acústicos, criterios básicos de monitoreo de condición y registro estandarizado de las mediciones realizadas durante las inspecciones. Dentro de un contexto industrial, una inspección incorrecta puede generar errores de interpretación y diagnóstico, intervenciones innecesarias o incluso fallas irreversibles en los equipos.

Por otra parte, dentro del entorno académico, se busca que los estudiantes adquieran los conocimientos fundamentales relacionados con el funcionamiento de los equipos, los fenómenos acústicos, condiciones generadoras que pueden estar presentes en los distintos tipos de sistemas y la forma en que estas emisiones pueden transformarse en información para la toma de decisiones adecuadas.

En este sentido, la formación del personal cumple un rol relevante tanto para la industria como para los espacios de enseñanza. Bajo este contexto, el instructivo integra una perspectiva técnica y formativa orientada a los estudiantes del Técnico Universitario e Ingeniería en Mantenimiento Industrial orientada a la utilización de SoundCam Ultra dentro de actividades de inspección y monitoreo de condición.

1.12.1 Formación según la norma ISO 9712:2022 – Ensayos no destructivos: Calificación y certificación del personal (END)

Según la norma ISO 9712:2022, el personal asociado a los ensayos no destructivos requiere distintos niveles de competencias para ejecutar las inspecciones, interpretar resultados y validar los procesos de inspección (International Organization for Standardization, 2022).

Aunque no regula explícitamente el ultrasonido aerotransportado, establece lineamientos asociados a la formación y competencias del personal. Clasificándolo por distintos niveles, definidos según el grado de conocimiento, responsabilidad y capacidades técnicas en las actividades de inspección.

Dentro de esta clasificación, el nivel 1 se orienta principalmente a realizar las mediciones bajo instrucciones específicas y al conocimiento básico del funcionamiento y los parámetros del equipo. Posteriormente el nivel 2, incorpora competencias orientadas a la interpretación de los resultados, evaluación de las indicaciones detectadas y la selección de los parámetros adecuados según las condiciones de la inspección.

Finalmente, el nivel 3, considera las competencias asociadas al diseño y a la validación de los procedimientos, supervisión técnica y conocimientos relacionados con los materiales, propagación de ondas y metodologías de inspección.

Aunque SoundCam Ultra no exige una certificación para su utilización, se deben conocer los fundamentos del ultrasonido. Bajo este contexto, este instructivo se orienta principalmente al desarrollo de las competencias iniciales, en donde los estudiantes comprenderán los fundamentos del ultrasonido, parámetros básicos de operación, fenómenos acústicos asociados al monitoreo de condición y criterios generales para la utilización adecuada del equipo.

1.12.2 Formación según la norma ISO 18436-2:2014 – Personal en monitoreo de vibraciones y diagnóstico

Según la norma ISO 18436-2:2014, el personal asociado al monitoreo de condición mediante vibraciones se clasifica en distintas categorías de competencia técnica, relacionadas con la ejecución de las mediciones, interpretación de los resultados y análisis de fallas (International Organization for Standardization, 2014).

Aunque esta norma se orienta principalmente al análisis de vibraciones, resulta relevante dentro de este contexto debido a que establece criterios asociados a la formación y competencias del personal de monitoreo de condición. En este caso, su incorporación se relaciona con las capacidades técnicas y criterios de interpretación que deberán desarrollar los estudiantes, asociados a las actividades de inspección y análisis de condición.

Esta norma establece distintas categorías según el nivel de conocimiento, interpretación y responsabilidad del personal. Dentro de esta clasificación, la categoría 1 se orienta principalmente al reconocimiento de condiciones básicas de falla y a la realización de las mediciones de manera supervisada. Posteriormente, la categoría 2, incorpora competencias orientadas a la interpretación de los resultados y la detección de fallas mecánicas dentro del monitoreo de condición.

Finalmente, las categorías 3 y 4, consideran las competencias asociadas a la gestión de programas (CBM), análisis avanzados y diseño de estrategias.

Bajo los lineamientos de esta norma, el presente instructivo se orienta al desarrollo de las competencias iniciales relacionadas con la identificación de fenómenos acústicos asociados al monitoreo de condición, permitiendo que los estudiantes desarrollen criterios básicos de interpretación y análisis durante las actividades de inspección. Los resultados esperados para los estudiantes corresponden a competencias equivalentes entre las categorías 1 y 2, permitiendo identificar los distintos fenómenos acústicos presentes en los sistemas inspeccionados y sus condiciones generadoras.

1.13 LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS PARA EL USO DE SOUNDCAM ULTRA

SoundCam Ultra permite inspeccionar los equipos sin la necesidad de tener que estar directamente en contacto con ellos, esto favorece a la seguridad de los trabajadores en entornos complejos y de difícil acceso donde pueden correr algún riesgo. No obstante, aunque mantenga una distancia segura, el entorno no siempre lo es. Es por esto que se deben utilizar como protección mínima los EPP exigidos, con el fin de disminuir los riesgos asociados en el área inspeccionada, ya sea por, sistemas eléctricos, presurizados o mecánicos.

Al no solo ser un equipo avanzado en el monitoreo de condición, también permite comprender de una manera más didáctica como el sonido se transforma en una imagen visual, lo que facilita la comprensión de los distintos fenómenos que se hablan en la teoría y se ven en la práctica.

Esto reduce la complejidad de la comprensión teórica y ayuda a que los estudiantes y futuros profesionales desarrollen confianza y seguridad, favoreciendo la obtención de mediciones más confiables y estableciendo buenas prácticas.

Al registrar los datos durante la medición se debe tener en cuenta la distancia, escala y la realización de inspecciones comparativas antes y después de cada intervención. Documentar los hallazgos que se encuentren de manera que no solo sean datos, sino que también sea de manera visual. Priorizar las inspecciones a equipos críticos definiendo rutas de medición.

2 CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO DE SOUNDCAM ULTRA

2.1 METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para el diseño del instructivo técnico de SoundCam Ultra contendrá elementos técnicos, normativos y pedagógicos para asegurar su aplicación en contextos de formación en el mantenimiento industrial.

Según Mobley (2004), cuando no existen procedimientos claramente definidos y aplicados de manera estandarizada, tienden a ejecutarse de manera distinta, lo que genera registros difíciles de comparar y decisiones dependientes de la experiencia individual del operador.

Frente a esto, el desarrollo de un instructivo técnico estandarizado resulta fundamental, ya que permite que los procesos puedan ser medibles, replicables y observables, aportando directamente al aprendizaje de los estudiantes (International Organization for Standardization, 2015).

Establecer un procedimiento con una metodología que sea igual para todos permite centrar la atención en la calidad de los datos obtenidos y no en interpretaciones individuales (International Organization for Standardization, 2018).

Este marco metodológico establecerá inicialmente la definición de principios, normas, competencias y parámetros que se utilizarán para organizar los contenidos, seleccionar fenómenos representativos, procedimientos operativos y establecer los criterios de evaluación.

La siguiente tabla presenta los principales elementos considerados dentro de la metodología utilizada para el diseño del instructivo, permitiendo organizar los criterios técnicos, normativos y pedagógicos que estructurarán su desarrollo.

Tabla 5 - Componentes esenciales.

Componentes esenciales	
Estándares normativos	Regulan el uso del ultrasonido y el monitoreo de condición
Estándares cuantificables	Distancia, frecuencia, escala, tiempo de grabación
Competencias que el estudiante debe demostrar	habilidades y conocimientos
Estructura pedagógica	Aprendizaje progresivo y observable

Fuente - Elaboración propia, 2025.

2.2 NORMATIVA TÉCNICA INTERNACIONAL (BASE DEL ESTÁNDAR DE CALIDAD)

Las normas permitirán proporcionar lineamientos para diseñar un instructivo coherente asegurando sus procedimientos, parámetros de medición y que estos se alineen con los estándares de calidad en la industria. Estas servirán como base estructural, ya que definen los fundamentos del ultrasonido, prácticas de monitoreo de condición y los requisitos de competencia del personal.

2.2.1 Enfoque basado en procesos

El instructivo técnico estará alineado con los principios establecidos en la norma ISO 9001:2015, lo que permite asegurar la estandarización, repetibilidad y control de las actividades ejecutadas (International Organization for Standardization, 2015).

2.2.2 Principios del ultrasonido

Según la norma ISO 16810:2024, el ultrasonido permite definir los parámetros físicos que deben considerarse durante la medición (International Organization for Standardization, 2024).

Su incorporación permite definir cuáles son los parámetros medibles que deben enseñarse en el instructivo y en qué condiciones deben ser ajustados por el estudiante. De esta manera, se contribuye a estructurar la base técnica para las actividades prácticas con los fundamentos del ultrasonido.

2.2.3 Monitoreo basado en condición

Según la norma ISO 17359:2018, los programas de monitoreo basado en condición requieren procedimientos documentados, criterios de aceptación y registros comparables (International Organization for Standardization, 2018).

Esta norma entregará los lineamientos CBM, incluirá en el instructivo procedimiento documentados, formatos de registro, criterios y metodologías comparables entre los estudiantes.

Al incorporar esta norma, se asegurará de que las mediciones con SoundCam Ultra sean repetibles, auditables y estandarizadas.

2.2.4 Competencias del personal

Según la norma ISO 9712:2022, las competencias que debe demostrar el personal que utiliza técnicas (END), permiten establecer indicadores medibles en los estudiantes (International Organization for Standardization, 2022).

En contexto con el instructivo, esta norma será utilizada para determinar qué habilidades medibles, observables y cuantificables deberán demostrar los estudiantes durante su formación.

2.2.5 Clasificación del personal en monitoreo de condición

Según la norma ISO 18436-2:2014, se definen los niveles cognitivos que deben abordarse en el instructivo y los distintos tipos de fenómenos que los estudiantes deberán aprender a interpretar (International Organization for Standardization, 2014).

Finalmente, la integración de todas estas normas posibilita que el instructivo sea coherente dentro del ambiente industrial como dentro de un área pedagógica, asegurando el aprendizaje de los estudiantes, estableciendo procedimientos replicables y bajo normas internacionales.

2.3 METODOLOGÍA DEL DISEÑO INSTRUCCIONAL

La metodología del diseño instruccional considerara distintos elementos técnicos, operativos y pedagógicos, con el propósito de estructurar progresivamente el aprendizaje.

2.3.1 Competencias requeridas.

Estas permitirán definir las habilidades, conocimientos y desempeño deberá demostrar el estudiante al utilizar el instructivo técnico de SoundCam Ultra. Donde en primer lugar, se identificarán y clasificarán.

2.3.1.1 Competencias técnicas

Estas están en relación con los conocimientos que deben tener los estudiantes sobre los fundamentos del ultrasonido, ultrasonido aerotransportado y la interpretación de los distintos fenómenos acústicos.

2.3.1.2 Competencias operativas

Relacionadas con el uso seguro y eficiente del equipo, la configuración de sus parámetros y el registro estandarizado de datos con la correcta ejecución del procedimiento.

2.3.1.3 Competencias analíticas

Finalmente, las competencias que permiten interpretar los mapas acústicos y patrones de fallas características.

Estas competencias serán identificadas mediante un análisis comparativo basado en cuatro elementos claves.

2.3.1.4 Análisis de los requisitos normativos

Donde se revisará que define cada norma, para luego extraerse como elementos observables, donde finalmente se creara una lista de competencias mínimas basadas en los estándares internacionales que luego se adaptaran al estudiante.

2.3.1.5 Análisis de los contenidos técnicos del ultrasonido aerotransportado

Con la información brindada en el capítulo 1, se pasará a competencias operacionales o prácticas donde se identificarán los distintos fenómenos que el estudiante ya debería saber detectar.

Para cada fenómeno acústico hay un patrón que lo define, un rango, una intensidad y condiciones que lo amplifican o disminuyen. Esto permite identificar, distinguir y reconocer visualmente cada uno de estos garantizando que las competencias estén alineadas con fenómenos reales.

2.3.1.6 Análisis de los parámetros operativos de SoundCam Ultra

Aquí se revisará cada uno de los parámetros operativos convirtiéndolos en habilidades observables, como:

La configuración de la distancia, ajustar el rango de frecuencia, etc. Esto se hará para el estudiante demuestre de una manera práctica su habilidad manipulando los parámetros reales del equipo.

2.3.1.7 Análisis de las necesidades pedagógicas del estudiante

Todo lo anteriormente mencionado se adaptará a un nivel educativo real.

Las exigencias serán determinadas considerando la experiencia previa, familiaridad con el equipo, capacidad de interpretar información visual y espectral, esto se hará mediante competencias que sean alcanzables en laboratorio donde puedan observarse directamente, medirse mediante listas, que permitan una progresión de lo básico a lo avanzado.

Cada uno de estos pasos es cuantificable mediante indicadores como, exactitud en las fallas, tiempo de ejecución, etc. Principalmente para que el instructivo no sea demasiado complejo ni básico, sino adecuado al nivel de los estudiantes.

Esto permitirá construir una matriz de competencias medibles, observables y cuantificables que será la base principal para el diseño del instructivo técnico, ya que establece que es lo que deben saber los estudiantes, cómo deberá demostrarlo y bajo qué criterios finalmente será evaluado. Esto asegurará que el instructivo cumpla con los requisitos de estandarización y repetibilidad.

2.3.2 Contenidos técnicos

Se seleccionarán los contenidos técnicos fundamentales que serán incorporados dentro del instructivo.

Se seleccionarán qué contenidos técnicos aprenderán los estudiantes y cuáles serán incluidos dentro de este, a diferencia de las competencias que describen lo que los estudiantes deben ser capaces de hacer, los contenidos corresponden a los conocimientos que serán enseñados dentro de este instructivo.

Algunos de estos pueden ser:

2.3.2.1 Fenómenos acústicos

Fricción, impacto o golpeteo, fugas, turbulencias, cavitación, descargas parciales, corona, tracking.

2.3.2.2 Parámetros operativos de SoundCam Ultra

Estos corresponden a los principales factores que afectarán las mediciones, distancia, rango de frecuencia, duración de la grabación, filtros, escalas, etc.

2.3.2.3 Procedimientos operativos y de registro

Donde se incluirán pasos estandarizados para realizar mediciones, documentar resultados, interpretar y garantizar la repetibilidad del proceso.

Primero se analizarán los fenómenos acústicos más representativos, dando prioridad a los que sean más claramente observables para luego evaluar cuál de estos puede ser enseñado de una forma progresiva y demostrable en laboratorio, asegurando que el contenido sea comprensible para los estudiantes contrastando con las normas que explicaran que aspectos del ultrasonido y el CBM deben enseñarse.

Donde finalmente, se verificará que SoundCam Ultra pueda reproducir estos contenidos de forma medible, ajustando sus distintos modos y parámetros para garantizar que este contenido pueda ser enseñado y evaluado en tiempo real.

La selección de estos contenidos se hace para asegurar que el instructivo promueva un aprendizaje significativo, con fenómenos reales, desarrollando habilidades prácticas relacionadas con el diagnóstico de fallas, además los contenidos al poder ser evaluados mediante indicadores cuantificables permitirán medir el progreso del estudiante.

2.4 SECUENCIA PEDAGÓGICA DEL INSTRUCTIVO

Esta secuencia contribuirá a la organización progresiva de los contenidos técnicos y a las actividades que el estudiante desarrollará. Además, considerará competencias y requerimientos formativos asociados a los perfiles de egreso de las carreras de Técnico Universitario e Ingeniería en Mantenimiento Industrial, especialmente los relacionados con monitoreo de condición, interpretación de fallas y utilización de tecnologías aplicadas al mantenimiento.

Esto asegurará que se entreguen las bases necesarias para avanzar por etapas. Una estructura progresiva de niveles facilitará la comprensión gradual de los fenómenos acústicos y contribuirá a la reducción de la carga cognitiva.

Se diseñará una secuencia de enseñanza progresiva que organizará las actividades teóricas y prácticas con un orden lógico.

La enseñanza se iniciará con los conceptos básicos del ultrasonido, ultrasonido aerotransportado y SoundCam Ultra, finalizando con el análisis y la interpretación de fallas.

Se presentarán los conceptos clave mencionados en la norma ISO 16810:2024, los cuales permiten al estudiante entender cómo se propaga el ultrasonido, qué afecta la señal y los determinados fenómenos que generan patrones acústicos característicos (International Organization for Standardization, 2024).

Posteriormente, se incorporará el uso básico de SoundCam Ultra mediante la explicación de sus parámetros a través de ejercicios guiados y medibles.

Se implementarán prácticas controladas donde el estudiante observará fenómenos acústicos simples y los relacionará con su representación visual en el mapa acústico. Posteriormente, en etapas más avanzadas se introducirán fenómenos de mayor complejidad representativos de contextos industriales, integrando los lineamientos asociados al monitoreo basado en condición (International Organization for Standardization, 2018).

Dando paso así finalmente a actividades autónomas donde se aplicará todo lo aprendido, ejecutando mediciones estandarizadas, comparación de registros, interpretación de resultados para su posterior documentación de hallazgos.

Cada una de estas etapas incorporara indicadores de logro como:

- 1) Número de parámetros del SoundCam Ultra, correctamente configurados.
- 2) Número de fenómenos acústicos correctamente identificados.
- 3) Número de interpretaciones de fallas correctas.
- 4) Registro estandarizado.
- 5) Nivel de asistencia requerida por el estudiante durante la ejecución de procedimiento.

Esta secuencia evitara que los estudiantes enfrenten tareas o desafíos complejos sin una base sólida previa, esto consolidara de forma gradual y progresiva la confianza en los estudiantes mediante el uso del equipo, su capacidad de interpretación de fallas y al agregar evaluaciones continuas con los indicadores anteriormente mencionados, será posible monitorear el avance individual y asegurar que los estudiantes alcancen el nivel de desempeño esperado.

Esto garantizara que el instructivo no solo sea un texto informativo sino una herramienta formativa que desarrolle las competencias aplicables al campo laboral del mantenimiento industrial.

La siguiente tabla presenta la estructura progresiva de aprendizaje considerada para el diseño del instructivo técnico, organizando los niveles de formación, contenidos y criterios de logro asociados a cada etapa.

Tabla 6 - Niveles de progresión.

Niveles de progresión	Enfoque del aprendizaje	Contenidos	Actividad principal	Indicadores de logro (medibles y observables)
Nivel 1: Comprensión básica	Reconocimiento conceptual	Fundamentos del ultrasonido y ultrasonido aerotransportado. Funcionamiento general del SoundCam Ultra.	Clase demostrativa y análisis guiado de mapas acústicos simples	Identifica conceptos básicos Reconoce visualmente señales simples en el mapa acústico Identificación de colores Describe correctamente qué es frecuencia, distancia y escala
Nivel 2: Operación inicial del equipo	Manipulación básica de parámetros	Distancia de medición. Rango de frecuencia. Escalas: Auto/Smart/Off Filtros acústicos.	Ejercicio práctico de configuración del SoundCam Ultra en condiciones controladas	Configura parámetros correctamente en el $\geq 55\%$ de los casos. Ajusta distancia y frecuencia según instrucciones. Selecciona la escala adecuada para el fenómeno observado
Nivel 3: Identificación guiada de fenómenos acústicos y condiciones generadoras	interpretación inicial de patrones	Fricción, Impacto, Golpeteo Fugas, turbulencias, cavitación Descargas parciales, arco, corona, tracking	Actividad práctica supervisada analizando fallas simuladas o controladas	Identificación de al menos 4 – 5 fenómenos correctamente. Relaciona patrón visual con tipo de falla. Utiliza filtros y escalas para mejorar la visualización
Nivel 4: Diagnóstico autónomo y documentación	Aplicación completa del proceso	Interpretación avanzada de mapas acústicos Registro estandarizado de mediciones, ISO 17359:2018	Diagnóstico autónomo de un caso real o simulado	Registro completo según formato estandarizado Descripción técnica adecuada y fundamentada del hallazgo

Fuente - Elaboración propia, 2025.

2.5 SELECCIÓN DE ACTIVIDADES PRÁCTICAS Y ESCENARIOS

Se seleccionarán y diseñarán actividades prácticas que formarán parte del instructivo técnico, estas estarán organizadas por un nivel de aprendizaje con la secuencia pedagógica ya antes mencionada. Estas actividades deberán permitir al estudiante, observar los fenómenos acústicos, configurar parámetros de SoundCam Ultra, interpretar patrones, procedimientos de medición y registrarán la información de manera estandarizada.

Estas actividades se realizarán en entornos controlados como talleres grupales, bancos de prueba, equipos mecánicos o los equipos que estén disponibles dentro del laboratorio, además cada escenario deberá permitir que los estudiantes capten de forma clara los fenómenos y que la medición que obtengan sea repetible y comparable.

La selección se realizará siguiendo 4 etapas:

2.5.1 Recursos disponibles y condiciones de seguridad

Se evaluará que equipos estarán disponibles para realizar las actividades, los cuales generarán señales acústicas para, fricción, holgura, fugas, etc.

Se verificará también que los escenarios no sean un peligro para los estudiantes, especialmente en actividades que tengan que ver con descargas eléctricas o fluido. En el caso de no ser posible trabajar con fallas reales, se emplearán registros acústicos ya previamente capturados.

2.5.2 Clasificación de actividades según nivel de complejidad

Se dividirán en 3 partes, básico, medio e intermedio. Las actividades básicas corresponderán a las observaciones guiadas del mapa acústico el reconocimiento de escalas y la identificación de fuentes.

Las actividades intermedias corresponderán a la configuración de los parámetros, análisis de los fenómenos acústicos y comparaciones entre las grabaciones para finalmente llegar a las actividades avanzadas donde se realizarán diagnósticos autónomos, interpretación de fallas reales y elaboraciones de informes.

2.5.3 Diseño de actividades medibles y replicables

Las actividades se diseñarán para que los estudiantes compartan situaciones similares, permitiendo que haya comparabilidad entre ellos, cada una de estas se formulará incorporando indicadores cuantificables como, porcentaje de aciertos en identificación de fallas, correcta configuración de parámetros, capacidad de justificar o fundamentar su diagnóstico y el tiempo requerido para tomar la medición.

2.5.4 Selección de escenarios

El presente espacio corresponderá al entorno en el cual se desarrollarán las actividades consideradas dentro del instructivo, generalmente en un laboratorio. Dependiendo del equipamiento disponible, se determinarán los equipos que serán analizados, así como los posibles síntomas y fallas que estos puedan presentar.

2.6 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Se emplearán criterios de evaluación con el propósito de saber si el estudiante es capaz de manipular correctamente el equipo, interpretar los distintos fenómenos acústicos, registrar de manera estandarizada y ejecutar los procesos de CBM. Para lograr esto, los criterios fueron diseñados bajo principalmente, objetividad, medición cuantitativa y observación. Estos se alinean con una progresión lógica que permite observar cómo avanza el estudiante.

La siguiente tabla presenta dichos criterios para medir el desempeño del estudiante durante las actividades prácticas, permitiendo establecer indicadores objetivos, observables y comparables asociados a la correcta utilización de SoundCam Ultra y la ejecución del procedimiento.

Tabla 7 - Criterios de evaluación.

Criterios de evaluación	
Número de parámetros del SoundCam Ultra configurados correctamente	Competente: $\geq 90\%$ Aceptable: 55–89% Insuficiente: $<55\%$
Número de posibles fenómenos acústicos correctamente identificados	Competente: $\geq 90\%$ correctos Aceptable: 55–89% correctos Insuficiente: $< 55\%$ correctos
Identificación correcta de las posibles condiciones generadoras	Competente: Correcta Aceptable: Parcial Insuficiente: Incorrecta
Registro estandarizado ISO 17359:2018	Competente: Completo y conforme Aceptable: Parcialmente conforme Insuficiente: No conforme
Nivel de asistencia requerida por el estudiante durante la ejecución del procedimiento	Competente: Sin asistencia Aceptable: Asistencia puntual Insuficiente: Asistencia constante

Fuente - Elaboración propia, 2025.

En función de los criterios anteriormente presentados, los principales aspectos que serán considerados durante la evaluación serán los siguientes:

- 1) Se evaluará la correcta configuración de sus parámetros como distancia, rango de frecuencia, escalas, filtros y tiempo de grabación.
- 2) Se medirá si el estudiante logra reconocer síntomas asociados a fricción, fugas, cavitación, turbulencias y descargas parciales.
- 3) Se evaluará la capacidad del estudiante para interpretar el mapa acústico distinguiendo las diferentes emisiones y relacionándolas con las fallas que le corresponden.
- 4) Se evaluará si el estudiante realiza correctamente el procedimiento de medición siguiendo la estructura de la norma ISO 17359:2018.
- 5) Nivel de asistencia requerida por el estudiante para la configuración, medición, interpretación y registro de datos.

Se utilizarán listas de verificación para evaluar si el estudiante ejecuta correctamente las distintas etapas del procedimiento. Además, se emplearán criterios de desempeño y actividades prácticas orientadas a evaluar capacidades relacionadas con la identificación e interpretación de fenómenos acústicos.

Estos instrumentos corresponden a la actividad de validación, checklist y plantilla de registro estandarizada presentes en los anexos del instructivo técnico.

El propósito de los criterios de evaluación es asegurar la transferencia de los conocimientos adquiridos hacia situaciones reales en el ámbito del mantenimiento industrial, evaluar a los estudiantes con indicadores facilita determinar si posee las habilidades necesarias para la utilización de SoundCam Ultra en actividades de monitoreo de condición e interpretación de fenómenos acústicos, verificar si los comprende y documenta los resultados de manera estandarizada.

Asimismo, estos criterios también permiten identificar debilidades presentes durante el proceso formativo, contribuyendo a generar retroalimentación orientada al fortalecimiento de áreas específicas.

La siguiente tabla permite diferenciar los principales elementos metodológicos dentro del instructivo, estableciendo la función que cumple cada uno dentro del proceso formativo.

Tabla 8 - Diferenciación de pasos guías.

Pasos guías	Definición	Ejemplos
Contenidos	Definen que es lo que el estudiante debe aprender	Rango de frecuencia, distancia, filtros, escalas, etc.
Competencias	Establecen lo que el estudiante debe ser capaz de hacer	Configurar parámetros del SoundCam Ultra
Secuencia pedagógica	Indica el orden en el cual aprenderán esos contenidos	Nivel 1: Teoría básica Nivel 2: Operación del equipo Nivel 3: Interpretación guiada Nivel 4: Interpretación autónoma
Actividades prácticas	Establece qué ejercicios realizará para desarrollar esas competencias	Configurar distancia, medir fuga, analizar fricción, etc.
Criterios de evaluación	Indica como sabrá que aprendió lo que debía	Numero de parámetros de SoundCam Ultra configurados correctamente

Fuente - Elaboración propia, 2025.

2.7 INTEGRACIÓN FINAL DEL DISEÑO INSTRUCCIONAL PARA INSTRUCTIVO TÉCNICO

La integración de este diseño para el instructivo técnico de SoundCam Ultra, permite comprender bajo qué metodologías operará, ya que aporta coherencia, continuidad y aplicabilidad.

Todos los puntos anteriormente vistos se articulan de manera lógica, progresiva y funcional. Permitiendo que el instructivo opere de manera estandarizada orientada al aprendizaje y al fortalecimiento de las habilidades de los estudiantes.

Este instructivo no es un conjunto de pasos sino un sistema estructurado que guía a los estudiantes desde los fundamentos del ultrasonido, ultrasonido aerotransportado, hasta la interpretación avanzada de los distintos fenómenos acústicos. Además, se encuentra respaldado por normas, permitiendo que esté alineado bajo estándares internacionales lo que reforzará su validez y asegura que el aprendizaje de los estudiantes sea transferible a situaciones reales en el mantenimiento industrial.

Finalmente, la integración de este diseño en el instructivo establece su operatividad, cada sección del instructivo se fundamenta en la metodología ya definida. Por lo tanto, estará alineado con objetivos formativos de los estudiantes.

3 CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO

3.1 PROPÓSITO Y ALCANCE DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO

El propósito de este instructivo es guiar a los estudiantes de manera estandarizada para la correcta utilización de SoundCam Ultra, identificando, registrando e interpretando fenómenos acústicos.

Esto quiere decir que traduce la información de los capítulos anteriores hacia una herramienta práctica ejecutable y evaluable. Diseñada para ser utilizada en un entorno controlado, sin la necesidad de tener algún conocimiento previo.

¿Por qué es tan importante la estandarización?

Si cada persona registra de forma diferente no es posible la comparación de datos, ya sea por múltiples factores como, fechas, operadores, equipos, etc.

Se busca asegurar la repetibilidad y trazabilidad de los procesos, evitando errores en la interpretación siguiendo con un orden lógico. Para este caso en particular, a utilizar SoundCam Ultra y que el estudiante sepa interpretar condiciones operativas, detectar fenómenos asociados a fallas y documentar con claridad.

Es por esto que el diseño de un instructivo técnico estandarizado se vuelve necesario ya que permite unificar criterios de registro y aportar al desarrollo formativo de los estudiantes, a diferencia de los manuales comerciales los cuales solo tienen como finalidad describir las características de su funcionamiento con un lenguaje técnico avanzado.

Este instructivo se limita solo al uso académico y formativo del SoundCam Ultra orientado a los estudiantes de Ingeniería en Mantenimiento Industrial y Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial, abarcando todos los pasos para poder ejecutar una correcta medición acústica.

Su alcance no se extiende a análisis más avanzados como confiabilidad ni planes de mantenimiento, tampoco presenta certificaciones al finalizar, ni sustituye criterios profesionales. Además, si bien el ultrasonido es una técnica efectiva para la detección de fenómenos asociados a fallas, no reemplaza otras técnicas de CBM, sino que las complementa.

Según (Mobley, 2002), ninguna técnica por sí sola es suficiente para diagnosticar los modos de falla presentes en un activo, es por esto que el instructivo prioriza la comprensión, aplicación e interpretación.

3.2 ENFOQUE PEDAGÓGICO Y TÉCNICO

Este instructivo se orienta a un aprendizaje práctico y progresivo, donde el estudiante interactúa directamente con el equipo mientras aprende de la teoría, “aprender haciendo”. Esto reduce la carga cognitiva de los estudiantes, lo que facilita su aprendizaje y la comprensión de los conceptos técnicos.

Por otra parte, el instructivo incorpora lineamientos normativos que permiten estandarizar la forma en la que se realizan las mediciones asegurándonos que estas sean repetibles, observables y comparables dentro del contexto formativo.

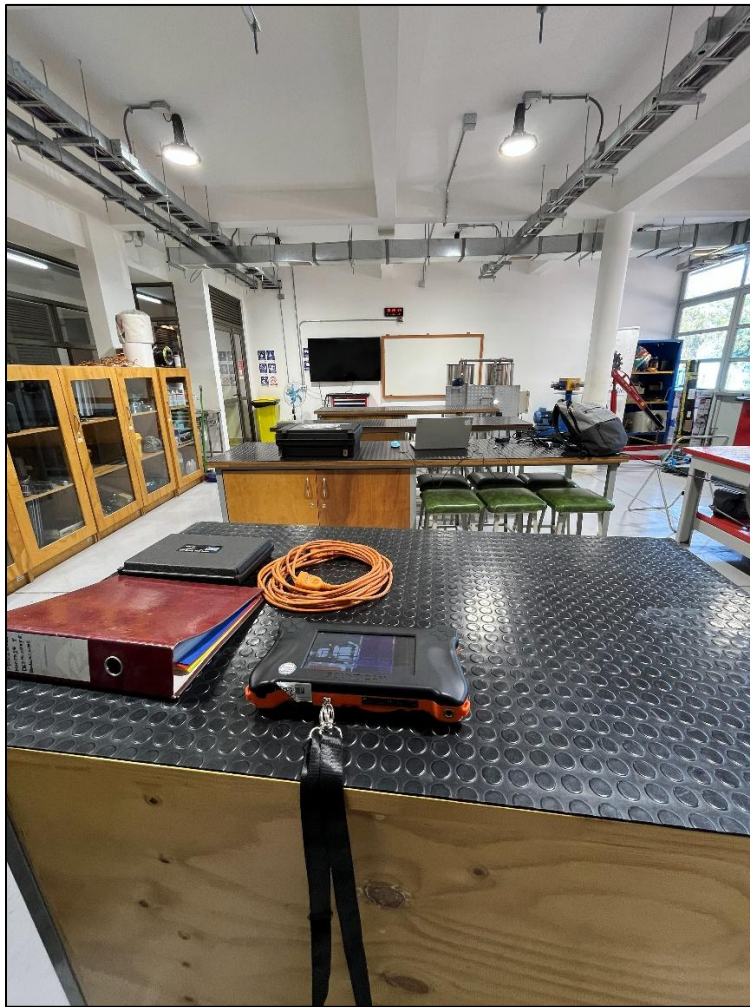
Además, se busca que el estudiante no solo aprenda a operar el equipo, sino que también a desarrollar criterios básicos de interpretación técnica, frente a los distintos fenómenos acústicos presentes en sistemas mecánicos, eléctricos y de fluidos. Favoreciendo la relación entre los fundamentos teóricos y su aplicación práctica en escenarios similares a los que podrían encontrarse en entornos industriales.

Finalmente, su estructura progresiva permite que el aprendizaje se desarrolle por etapas, fortaleciendo gradualmente su autonomía, la correcta toma de mediciones y la capacidad de registrar información técnica de manera ordenada y estandarizada.

3.3 CONTEXTO Y CONDICIONES DE APLICACIÓN

Esta validación se realizó dentro de la universidad técnica Federico Santa María – Sede José Miguel Carrera bajo un contexto controlado de laboratorio, permitiendo garantizar condiciones seguras y repetibles para su ejecución práctica orientada a procesos de enseñanza y aprendizaje de técnicas CBM con ultrasonido aerotransportado.

Figura 7 - Escenario práctico.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

La actividad practica considero además la participación directa del estudiante durante la ejecución del procedimiento.

Figura 8 - Escenario y estudiante.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

La actividad se desarrolló utilizando un banco de prueba compuesto por un motor eléctrico montado sobre una estructura rígida, eje, apoyo y una base de fijación. Este tipo de configuración permite representar condiciones operativas similares a las presentes en sistemas utilizados dentro de entornos industriales, por lo que resulta adecuado para desarrollar actividades controladas dentro del laboratorio bajo condiciones estables y repetibles.

Figura 9 - Motor eléctrico en banco de prueba.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Además, se consideraron distintos ángulos de observación durante las actividades, con el propósito de facilitar la visualización de las emisiones acústicas y complementar el análisis.

Figura 10 - Motor eléctrico en banco de prueba, cambio de ángulo.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

3.3.1 Datos del motor eléctrico

A continuación, la placa de identificación del motor eléctrico utilizado durante la actividad práctica, desde donde se obtuvieron los principales datos técnicos considerados para la validación.

Figura 11 - Placa del motor eléctrico.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Los datos obtenidos desde la placa del motor se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 9 - Placa del motor eléctrico.

Placa motor eléctrico	
Fabricante	VEB Elektromotorenwerke; Thurm - DDR
Modelo	K12 112/2 FT1 -132
Número de fabricación	25956/373
Tensión nominal	220/380V
Corriente nominal	14,7/8,5A
Frecuencia	50Hz
Conexión	Δ / Y (Delta / Estrella)
Velocidad nominal	2890 (rpm)
Potencia nominal	4 kW
Factor de potencia	0,88
Clase de aislamiento	Clase B
Grado de protección	IP44
Forma constructiva	B3 (motor con patas)
Temperatura admisible	45 °C
Peso del motor	35,8Kg
Sello	SGS
Normado	TGL 20675
D Mot	Motor trifásico
W-KI. B	Clase de aislamiento B, 130 °C

Fuente - Elaboración propia, 2025.

El banco de prueba fue probado bajo condiciones estables durante toda la actividad con el propósito de asegurar que las variaciones observadas con SoundCam Ultra correspondieran al comportamiento del equipo y no a cambios abruptos en el régimen de operación.

Por otro lado, la configuración de este se realizó siguiendo los pasos previamente definidos en el instructivo tales como, distancia, escala, rango de medición, etc.

Esto permitió seguir un orden lógico y estandarizado para luego realizar las correspondientes mediciones efectuadas por el estudiante. Posterior a estas mediciones, se realizaron otras adicionales efectuadas por el instructor bajo distintas configuraciones, estas tuvieron como objetivo reforzar el análisis técnico y obtener una mayor cantidad de datos que permitieran contrastar y comparar los resultados sin afectar la validación final del instructivo.

3.4 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUCTIVO

Esta metodología consistió en que el estudiante realizara una actividad práctica (véase Anexo A), siguiendo solamente las instrucciones de este instructivo sin recibir ninguna ayuda adicional durante este procedimiento, de esta manera se buscó verificar si el instructivo entrega suficiente información comprensible para permitir la correcta recopilación de los datos, registro y configuración del equipo.

Durante esta actividad el estudiante utilizó el SoundCam Ultra realizando una inspección acústica al motor eléctrico ya anteriormente mencionado, aplicando los pasos definidos, los resultados obtenidos fueron registrados por este mismo en una plantilla de registro estandarizada (véase Anexo B), diseñada como parte integral del instructivo.

Esta permitió documentar de forma estructurada los parámetros utilizados, las observaciones realizadas y el diagnóstico identificado.

En paralelo a esta actividad el proceso fue observado por el evaluador, mediante un checklist de evaluación (véase Anexo C), dando como objetivo verificar el grado de cumplimiento del procedimiento, la correcta aplicación de las instrucciones y el nivel de logro de las competencias definidas en el capítulo 2.

Este checklist no tiene como finalidad calificar al estudiante, sino más bien evaluar indirectamente la efectividad del instructivo a través de él, identificando fortalezas, debilidades y posibles oportunidades de mejora para el futuro en su diseño. Además, esta actividad fue documentada audiovisualmente mediante la grabación y la captura de imágenes secuenciales de los mapas acústicos generados durante esta práctica, respaldando los resultados obtenidos.

Posteriormente al finalizar esta actividad el evaluador realizó mediciones adicionales bajo distintas configuraciones en el equipo, modificando sus parámetros. Estos registros no formaron parte de esta actividad, sino que solo se utilizaron como referencia técnica para contrastar los resultados obtenidos del estudiante durante la validación.

3.5 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO

El desarrollo de esta actividad permitió contrastar el desempeño del estudiante con un análisis técnico posterior, evaluando de manera objetiva la efectividad del instructivo técnico como herramienta de apoyo en el aprendizaje para los estudiantes.

Se evaluó el desempeño del estudiante considerando el cumplimiento del procedimiento, la correcta configuración del equipo y la ejecución de la medición. Se observó que el estudiante logró completar la mayor parte de los pasos de manera adecuada, manteniendo una secuencia ordenada y coherente con la metodología propuesta.

Además, se registró un tiempo de ejecución estable durante las mediciones, junto con una disminución en la necesidad de asistencia por parte del instructor.

Estos resultados evidencian que el instructivo técnico permite estandarizar la ejecución del procedimiento, facilitando la comprensión del uso del equipo y la identificación de fenómenos acústicos. De esta manera, se demuestra que la aplicación del instructivo contribuye directamente al proceso formativo, permitiendo obtener mediciones más consistentes y comparables.

Evidencia de la actividad práctica

El día 18/12/2025 se realizó la actividad práctica dentro del laboratorio ubicado en el edificio x (Departamento de mecánica), primeramente, inicialmente, se verifico el uso de los elementos de protección personal requeridos, antes de iniciar la configuración y el desarrollo de la actividad.

Figura 12 - EPP.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Los parámetros configurados por el estudiante durante la actividad practica se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 10 - Parámetros utilizados por el estudiante.

Parámetros de la configuración de SoundCam Ultra	
Distancia	1,58 m
Rango	20 kHz – 60 kHz
Sensibilidad o escala	Auto
Tiempo de grabación	30s
Filtros	ninguno

Fuente - Elaboración propia, 2025.

Posteriormente de esta configuración se pasó a encender el motor y observar que tipo de fenómeno acústico presentaba a través de SoundCam Ultra. Todo esto mientras el evaluador observaba y anotaba en el checklist.

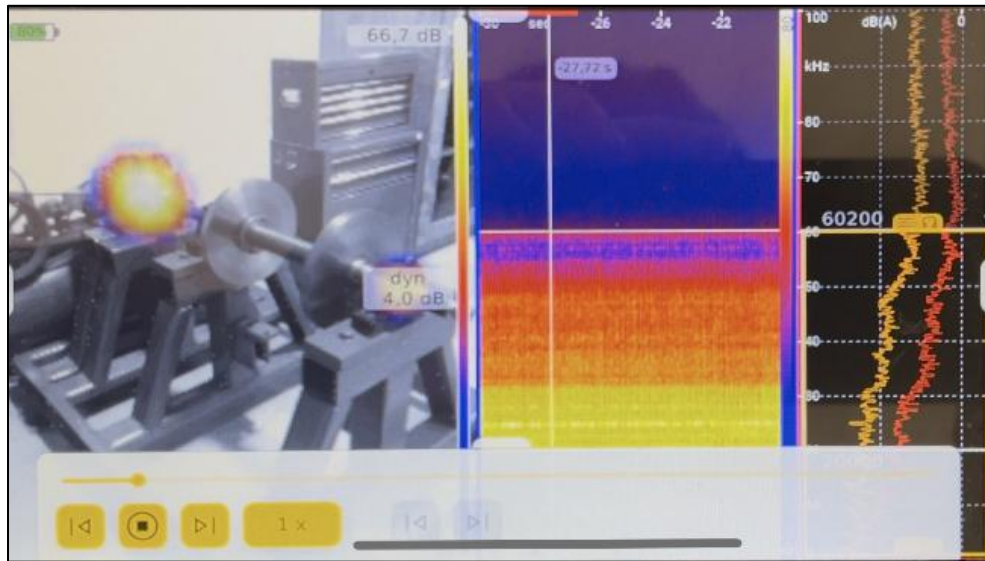
Figura 13 – Ejecución de la actividad de validación.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Las mediciones por parte del estudiante fueron tomadas desde distintos ángulos, lo que es fundamental para asegurar la correcta localización del fenómeno acústico.

Figura 14 - Mapa acústico captado por el estudiante.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Figura 15 - Mapa acústico captado por el estudiante, desde otro ángulo.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

La energía acústica observada no presentó un comportamiento aleatorio ni transitorio, sino que se mantuvo constante dentro de una misma región del equipo, además al estar dentro de un ambiente controlado con bajo nivel de ruido, se descartó la interferencia por ruidos ambientales.

Se registró una intensidad máxima de 66,9dB con un nivel promedio de 4,0dB, localizando la fuente dominante en el primer soporte del motor, el estudiante evidenció una concentración de colores intensa de color (amarillo) y un sonido de roce metálico o chirrido.

3.5.1 Diagnóstico acústico identificado

En base a el mapa acústico, este pudo identificar el fenómeno dando como resultado del análisis fricción mecánica. Como causa probable de este, el estudiante indicó un desalineamiento entre el motor eléctrico y el primer soporte. Estas observaciones demuestran que el instructivo permitió al estudiante adquirir información técnicamente válida, aun encontrándose en proceso formativo lo que evidencia la capacidad del instructivo para guiar una medición funcionalmente correcta.

3.5.2 Evaluación del desempeño del estudiante

El desempeño del estudiante fue observado por el evaluador a través de un checklist que sirvió como medio para evaluar a través del estudiante la validación del instructivo.

Los resultados de este checklist permiten evidenciar que el estudiante cumplió con los requisitos de seguridad y preparación, ejecución correcta de la configuración los parámetros del equipo siguiendo con el orden lógico del instructivo para el uso de SoundCam Ultra propuesto en el capítulo 2, aunque con algunas observaciones y ayuda del evaluador en algunos casos.

Esto no fue determinante para el desarrollo de la actividad, proceso y el diagnóstico final del fenómeno acústico analizado.

3.5.3 Comparación con mediciones complementarias del evaluador

Luego de haber terminado la actividad desarrollada, el evaluador realizó mediciones adicionales bajo distintas configuraciones a las del estudiante, modificando los parámetros de SoundCam Ultra.

Estas mediciones no formaron parte de la validación del instructivo, sino que solo fueron realizadas para contrastar los resultados obtenidos por el estudiante, confirmando que este pudo obtenerlos y que estos estuvieran técnicamente alineados.

Estas mediciones no formaron parte de la validación del instructivo, sino que fueron realizadas con el propósito de contrastar los resultados obtenidos por el estudiante y verificar la coherencia técnica de las mediciones efectuadas durante la actividad práctica.

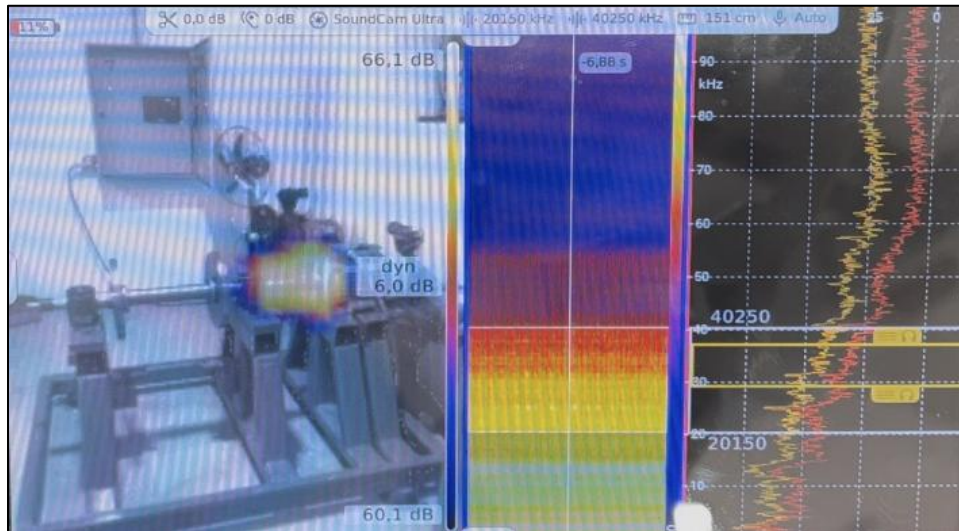
Tabla 11 - Parámetros utilizados por el evaluador:

Parámetros de la configuración de SoundCam Ultra	
Distancia	1,51 m
Rango	20 kHz – 40 kHz
Sensibilidad o escala	Manual
Tiempo de grabación	30s
Filtros	Ninguno

Fuente - Elaboración propia, 2025.

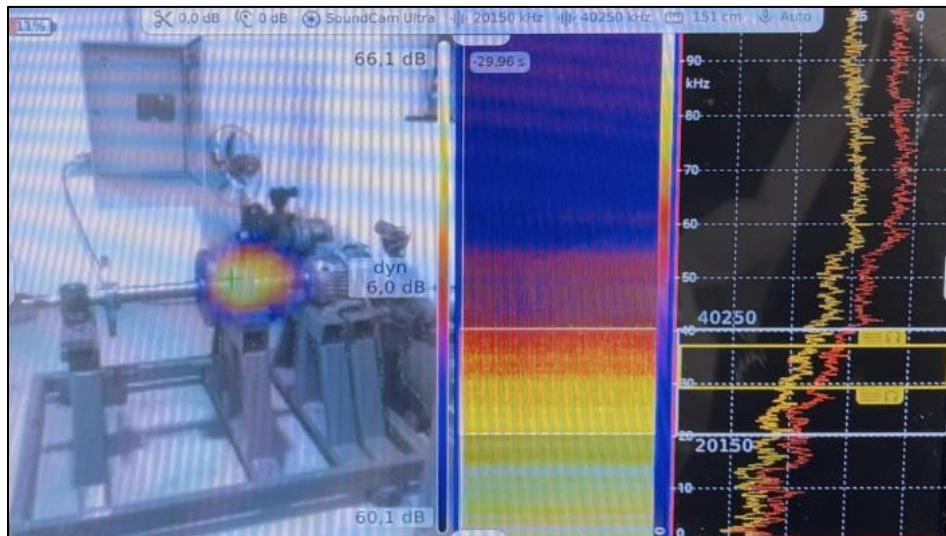
Posteriormente, una vez configurados los parámetros de medición por parte del evaluador, se procedió a realizar las mediciones complementarias.

Figura 16 - Mapa acústico captado por el evaluador.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Figura 17 - Mapa acústico captado por el evaluador.



Fuente - Elaboración propia, 2025.

Los cambios en la configuración permitieron reducir el ruido de baja frecuencia para observar con mayor claridad la energía acústica, esta misma se mantuvo localizada en el primer soporte del motor, de un color amarillo, no hubo patrones aleatorios ni transitorios.

Se registro una intensidad máxima 66,1 dB menor que lo registrado por el estudiante debido al cambio de escala y distancia y un nivel promedio de 6,0 dB. El fenómeno acústico presento características asociadas a fricción mecánica, con una condición generadora probable de desalineamiento entre el eje del motor eléctrico y el primer soporte.

Finalmente, los resultados del evaluador confirmaron el diagnóstico obtenido por el estudiante, aunque con una configuración no tan exacta por parte del estudiante, este pudo lograr identificar correctamente el fenómeno acústico gracias al instructivo.

3.6 COMPARACIÓN ENTRE EL MANUAL COMERCIAL Y EL INSTRUCTIVO TÉCNICO DESARROYADO

El manual comercial de SoundCam Ultra proporciona información relacionada con la operación general, configuración, funcionamiento técnico y la utilización básica de este. Sin embargo, su enfoque principalmente se orienta al uso operativo del equipo, sin incorporar una estructura metodológica orientada al contexto formativo.

La utilización de equipos de ultrasonido aerotransportado sin criterios estandarizados de observación y registro pueden generar interpretaciones incorrectas de los fenómenos acústicos detectados, afectando la identificación de posibles causas generadoras, favoreciendo la toma de decisiones equivocadas durante los procesos de monitoreo.

La ausencia de registros estandarizados dificulta la trazabilidad, comparación y análisis de las mediciones realizadas. Una interpretación incorrecta de los fenómenos acústicos detectados puede favorecer decisiones técnicas equivocadas durante los procesos de mantenimiento, pudiendo derivar en intervenciones innecesarias, costos operacionales y detenciones no programadas.

Según la norma ISO 17359:2018, los procesos de monitoreo basado en condición deben considerar procedimientos documentados, parámetros monitoreados y criterios de evaluación que permitan diagnósticos técnicos fundamentados (International Organization for Standardization, 2018).

Bajo este contexto, el instructivo desarrollado incorporo criterios técnicos, pedagógicos y metodologías orientadas a la estandarización de procedimientos, interpretación de fenómenos acústicos y desarrollo progresivo de competencias.

Se incorporaron registros estructurados, criterios observables y relaciones entre fenómenos acústicos y condiciones generadoras, permitiendo desarrollar actividades formativas que fueran repetibles, comparables y observables dentro del proceso formativo.

A diferencia del manual comercial, el instructivo desarrollado no se limitó únicamente a explicar el funcionamiento del equipo, sino que estableció una metodología de utilización orientada al aprendizaje técnico, interpretación de resultados y aplicación práctica.

Debe considerarse que SoundCam Ultra, permite detectar emisiones acústicas asociadas a distintos fenómenos en los distintos tipos de sistemas inspeccionados, sin embargo, estas emisiones no representan directamente la causa raíz de la condición anómala del equipo. Por lo que la correcta interpretación de los fenómenos acústicos detectados requiere criterios técnicos de análisis, correlación con las posibles causas generadoras y complemento con las distintas técnicas de monitoreo basado en condición.

La siguiente tabla, resume las principales diferencias entre el manual comercial del equipo y el instructivo técnico desarrollado.

Tabla 12 - Comparación entre el manual comercial SoundCam Ultra y el instructivo técnico desarrollado.

Aspecto	Manual comercial SoundCam Ultra	Instructivo técnico desarrollado
Enfoque	Operacional/técnico	Técnico-pedagógico
Público objetivo	Usuarios especializados	Estudiantes TUMI e IMI
Lenguaje	Técnico avanzado	Progresivo y formativo
Procedimientos estandarizados	Parciales	Sí
Interpretación de fenómenos acústicos y condiciones generadoras >	Limitada	Desarrollada
Registro de mediciones	General	Estandarizado
Secuencia pedagógica	No	Sí
Actividades prácticas	No incorpora	Sí
Criterios de evaluación	No	Sí
Aplicación en contexto	No	Sí

Fuente - Elaboración propia, 2025.

3.7 PROYECCIONES DE MEJORA

La validación del instructivo en este capítulo permitió comprobar su aplicabilidad y efectividad pedagógica bajo un contexto controlado, aun así, es importante reconocer sus limitaciones para abrir oportunidades de mejora y la futura proyección de este.

Primeramente, la validación fue realizada utilizando un único equipo industrial, este correspondió a un motor eléctrico montado en un banco de prueba dentro de un laboratorio.

Bajo este contexto, fue posible asegurar el control, repetibilidad y seguridad del proceso durante toda la actividad, sin embargo, limito los resultados a un solo equipo dejando fuera otros tipos de activos industriales.

El plantear escenarios distintos para el desarrollo de las actividades donde se incorporen más variables como el ruido ambiental, industrial, condiciones climáticas, equipos que presentan alguna restricción o son de difícil acceso, suelen influir directamente en la calidad de la medición y los resultados finales.

Es por esto que una oportunidad de mejora sobre el instructivo es su validación en algún otro contexto operacional, donde se presenten más factores externos y haya sido más de un equipo el analizado, ya que cada activo presenta comportamientos acústicos diferentes, tales como, bombas o sistemas presurizados.

Finalmente, la integración de otras técnicas CBM, tales como el análisis de vibraciones y cámara termográfica, podría ser un punto que fortalecería el enfoque de este instructivo y permitiría que el estudiante obtuviera una formación académica más completa alineadas con la industria.

3.8 CONCLUSIÓN

La caracterización técnica y operacional del equipo SoundCam Ultra fue una etapa fundamental, debido a que permitió establecer la base técnica necesaria para diseñar posteriormente un instructivo coherente con las capacidades reales del equipo, sus condiciones de uso y sus parámetros de operación. Esta caracterización permitió identificar qué aspectos debían ser enseñados, cómo debían organizarse las actividades prácticas y qué criterios técnicos eran necesarios para orientar a los estudiantes durante la preparación, configuración y utilización dentro de actividades asociadas al monitoreo basado en condición. A partir del análisis de sus parámetros operativos, funcionamiento y capacidades de detección acústica, fue posible reconocer la importancia que posee la correcta configuración del equipo durante los procesos de inspección, especialmente en la interpretación de mapas acústicos y en el reconocimiento de fenómenos presentes en sistemas mecánicos, eléctricos y de fluidos.

Esto resulta relevante ya que una configuración incorrecta puede alterar la captación de las emisiones acústicas, afectar la visualización de los patrones en el mapa acústico y generar interpretaciones erróneas durante la inspección.

Estas deficiencias podrían derivar en diagnósticos incorrectos, diferencias entre los resultados obtenidos por distintos estudiantes y limitaciones en la repetibilidad y confiabilidad de las mediciones realizadas.

En relación con el diseño del instructivo, su desarrollo permitió establecer una metodología de trabajo orientada específicamente al contexto formativo de los estudiantes del Técnico Universitario e Ingeniería en Mantenimiento Industrial, abordando una necesidad que no era cubierta por los manuales comerciales.

A diferencia de estos documentos, los cuales se enfocan principalmente en describir funciones generales del equipo, el instructivo desarrollado incorporó una secuencia progresiva por niveles de aprendizaje orientada a la preparación, configuración, ejecución de mediciones, interpretación de mapas acústicos e identificación de fenómenos acústicos presentes en sistemas mecánicos, eléctricos y de fluidos.

La estructuración de estas actividades permitió organizar de manera más clara y estandarizada el proceso de utilización del ultrasonido aerotransportado dentro de las actividades prácticas, facilitando que los estudiantes comprendieran no solo el funcionamiento del equipo, sino también la relación existente entre los parámetros de configuración, el comportamiento de la señal acústica y la correcta interpretación de los resultados obtenidos durante la inspección. Asimismo, se evidenció que la incorporación de procedimientos estandarizados y registros técnicos contribuyó a disminuir las diferencias entre las mediciones de los estudiantes, favoreciendo la repetibilidad, comparabilidad y trazabilidad de las actividades desarrolladas en laboratorio.

Del mismo modo, la integración de lineamientos técnicos y normativos permitió fortalecer el carácter técnico del instructivo, promoviendo actividades formativas más medibles, observables y estructuradas, alineadas con principios asociados al monitoreo basado en condición.

Respecto a la validación del instructivo técnico, los resultados obtenidos durante las actividades prácticas permitieron comprobar su aplicabilidad dentro de contextos formativos. El uso del instructivo permitió que el estudiante desarrollara procedimientos de inspección acústica con SoundCam Ultra de manera guiada y estructurada, ejecutando configuraciones operativas, mediciones acústicas e interpretación de fenómenos presentes en el sistema, bajo una secuencia metodológica previamente definida. Esto permitió evidenciar que la incorporación de procedimientos estandarizados favoreció el desarrollo de actividades

prácticas más ordenadas, repetibles y comparables, disminuyendo la variabilidad entre las mediciones.

El medio para evaluar el desempeño del estudiante y la aplicabilidad del instructivo fue el checklist y la plantilla de registro estandarizada, los cuales permitieron verificar que el estudiante alcanzo los criterios de desempeño aceptables y competentes durante la actividad de validación. Cumpliendo con la configuración de los parámetros operativos, interpretación del mapa acústico, identificación del fenómeno y ejecución del procedimiento.

En base a los criterios definidos en la metodología de evaluación, estos resultados corresponden a niveles de desempeño iguales o superiores al 55% de cumplimiento, alcanzando en algunos casos criterios competentes superiores al 90%.

Finalmente, se concluyó que la validación realizada permitió demostrar que el instructivo técnico constituye una herramienta de apoyo efectiva para la enseñanza y utilización pedagógica del ultrasonido aerotransportado dentro de actividades formativas relacionadas con el mantenimiento industrial permitiendo desarrollar un mayor nivel de autonomía, criterio técnico y comprensión operativa. No obstante, se consideró que futuras aplicaciones podrían ampliar el proceso de validación mediante la incorporación de un mayor número de estudiantes, distintos escenarios operacionales y nuevas condiciones de inspección, permitiendo fortalecer aún más la aplicabilidad y alcance del instructivo dentro de contextos técnicos y académicos.

Asimismo, fue posible concluir que el ultrasonido aerotransportado no constituye una técnica orientada a determinar causas raíz de manera directa, sino una herramienta complementaria de monitoreo basado en condición, cuya principal función corresponde a la identificación temprana de fenómenos acústicos y anomalías operacionales que posteriormente deben ser analizadas y corroboradas mediante otras técnicas de diagnóstico y monitoreo de condición. En este contexto, la correcta interpretación de los fenómenos acústicos identificados depende tanto de la adecuada configuración del equipo como del criterio técnico desarrollado por el operador durante el proceso de inspección.

4 BIBLIOGRAFÍA

CAE Software and Systems GmbH. (2025). *Manual del producto SoundCam Ultra*. dOOble Ingeniería SpA.

International Organization for Standardization. (2014). *ISO 18436-2:2014 Condition monitoring and diagnostics of machines—Requirements for qualification and assessment of personnel—Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics*.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements*.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 17359:2018 Condition monitoring and diagnostics of machines—General guidelines*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2022). *ISO 9712:2022 Non-destructive testing—Qualification and certification of NDT personnel*.

International Organization for Standardization. (2024). *ISO 16810:2024 Non-destructive testing—Ultrasonic testing—General principles*.

Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Butterworth-Heinemann.

Mobley, R. K. (2004). *Maintenance Fundamentals*. Butterworth-Heinemann.

Anexo A

 UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA		ACTIVIDAD DE VALIDACIÓN DEL INSTRUCTIVO TÉCNICO DE SOUNDCAM ULTRA	Departamento de  Sede José Miguel Carrera	
Doc. N°	1	Inspección acústica de un motor eléctrico utilizando SoundCam Ultra en condiciones de laboratorio	Revisión	1
Semestre	2025-II		Páginas	1 de 1

Objetivo de la actividad:

Validar la claridad, aplicabilidad y efectividad pedagógica del instructivo técnico mediante la ejecución real del procedimiento de medición en un motor eléctrico.

Competencias a evaluar:

Configurar parámetros básicos del SoundCam Ultra, Registrar mediciones estandarizadas según ISO 17359:2018, Identificar fenómenos acústicos y condiciones generadoras, Documentar resultados en plantilla estandarizada.

Equipos y materiales:

SoundCam Ultra, Motor eléctrico montado sobre banco de prueba, Plantilla de registro, EPP.

Procedimiento paso a paso:

- 1) Preparar entorno y equipo (seguridad, encendido).
- 2) Configurar parámetros según instructivo (frecuencia, escala, sensibilidad).
- 3) Iniciar sesión de medición.
- 4) Capturar mapa acústico.
- 5) Identificar fuente dominante.
- 6) Documentar medición.
- 7) Interpretar los fenómenos acústicos y condiciones generadoras.
- 8) Completar plantilla estandarizada.

Criterios de evaluación:

Logrado, Parcialmente logrado, No logrado

Anexo B

Plantilla de registro estandarizada – Inspecciones con SoundCam Ultra

1. Información general de la inspección

Fecha de inspección:	18/12/2025
Hora:	14:39 pm
Operador / Estudiante:	Estudiante
Instructor / Supervisor:	Sr. Benjamín González
Lugar de la medición:	Laboratorio – Depto. mecánica, edificio X
Condiciones ambientales, temperatura: 21°C / Ruido ambiental: ____ dB / Otros:	Sin interferencia relevante

2. Identificación del equipo inspeccionado

Tipo de equipo:	Motor eléctrico
Código o identificación del equipo:	Kr 112,272/2 FT1-132
Ubicación del equipo en planta o laboratorio:	Laboratorio – Depto. mecánica, edificio X
Estado operativo al momento de la medición:	Operativo continuo
Observaciones iniciales del equipo:	Sonido metálico en el soporte 1

3. Parámetros de configuración del SoundCam Ultra (ISO 16810:2024)

Distancia de medición (m):	Se tomo una distancia de 1,58 m
Rango de frecuencia seleccionado (kHz):	20 kHz – 60 kHz
Sensibilidad / Escala:	Automático
Tiempo de grabación (s):	30s
Modo de medición:	Ultrasonido aerotransportado
Observaciones sobre la configuración:	Ninguna

4. Captura del mapa acústico

Imagen del mapa acústico (insertar en Word):	
Intensidad máxima registrada (dB):	66,9 dB
Ubicación de la fuente predominante:	Primer soporte
Observaciones de la captura:	Fuerte intensidad de colores en el primer soporte, predominante color amarillo

5. Interpretación del fenómeno acústico (ISO 18436-2:2014)

Fenómeno dominante identificado:	Fricción
Descripción del fenómeno:	Fuerte chirrido, rose metálico
Posible causa:	Desalineamiento
Observaciones adicionales:	El motor eléctrico se encuentra un poco por debajo del primer soporte

6. Registro cuantitativo (ISO 17359:2018)

Nivel promedio de intensidad (dB):	4,0 dB
Nivel máximo (dB):	66,9 dB
Frecuencia predominante (kHz):	Predominante hacia 60 kHz
Variabilidad del ruido (%):	58%
Comentarios:	Valores estables de medición

7. Conclusión de la inspección

Condición general del equipo:	Aceptable con indicios de fricción
Recomendación inmediata:	Arreglar la desalineación que esta entre el motor y el primer soporte utilizando laines.
Observaciones finales:	Se sugiere nivelar y lubricar los componentes entre el motor y el primer soporte, con posterior cambio de rodamiento.

8. Firma

Firma Operador / Estudiante:	Piero Araya
Firma Supervisor / Instructor:	Benjamín González

Anexo C

CHECKLIST DE VALIDACIÓN – Instructivo Técnico SoundCam Ultra

Evaluación del desempeño del estudiante durante la actividad práctica de inspección acústica.

1) Preparación del entorno (seguridad y estandarización)

Ítem a evaluar	Logrado	Parcialmente logrado	No logrado	Observaciones
Uso de EPP básico (según entorno de laboratorio)	x			
Revisión del área (equipos seguros, zona despejada)	x			
Verificación del SoundCam Ultra (batería, encendido)	x			
Definición correcta de distancia segura (ISO 16810:2024)	x			

2) Configuración inicial del SoundCam Ultra

Ítem a evaluar	Logrado	Parcialmente logrado	No logrado	Observaciones
Selección del rango de frecuencia adecuado		x		Necesita ayuda del evaluador al confundir Hz de kHz
Ajuste correcto de sensibilidad / escala	x			
Configuración precisa de la distancia		x		Ajustaba la distancia, pero no se mantenía en el lugar
Verificación del ruido ambiente previo a la medición	x			

3) Ejecución de la medición

Ítem a evaluar	Logrado	Parcialmente logrado	Logrado	Observaciones
Posicionamiento estable y correcto de la cámara	x			
Captura clara del mapa acústico sin saturación	x			
Identificación de la fuente sonora dominante	x			
Realiza mediciones comparativas si corresponde	x			

4) Interpretación de resultados

Ítem a evaluar	Logrado	Parcialmente logrado	No logrado	Observaciones
Identificación correcta del fenómeno acústico	x			
Interpretación adecuada del mapa acústico	x			
Relación entre fenómeno y condición del equipo		x		Necesito ayuda del evaluador para la diferenciación
Autonomía en la interpretación (sin asistencia)		x		

5) Registro estandarizado (ISO 17359:2018)

Ítem a evaluar	Logrado	Parcialmente logrado	No logrado	Observaciones
Completa correctamente la plantilla estandarizada	x			
Incluye imagen o captura del mapa acústico		x		
Registra valores cuantitativos coherentes	x			
Cumple con trazabilidad y repetibilidad	x			

6) Evaluación general del desempeño

Ítem a evaluar	Logrado	Parcialmente logrado	No logrado	Observaciones
Comprensión del instructivo (claridad)	x			
Tiempo de ejecución adecuado			x	
Aplicación de buenas prácticas	x			
Actitud proactiva y orden lógico	x			

Anexo D

Instructivo técnico sistema mecánico – SoundCam Ultra

INSTRUCTIVO TÉCNICO ESTANDARIZADO PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS – SOUNDCAM ULTRA.

Procedimiento técnico para el uso del sistema SoundCam Ultra en la detección e identificación de fenómenos acústicos asociados al ultrasonido aerotransportado.

	Nombre/cargo
Elaborado por	Benjamín Isaías González Correa
Revisado por	Ing. Mg. Pablo Duque Ramírez
Revisado por	Ing. Mg. Marcelo Rojas Vidal

Introducción

El mantenimiento basado en condición utiliza técnicas de monitoreo que permiten evaluar el estado de los activos sin intervenir físicamente el equipo. Dentro de estas técnicas, el ultrasonido aerotransportado se ha consolidado como una herramienta eficaz para detectar fenómenos asociados a fricción, impacto, lubricación deficiente y otros comportamientos anómalos en sistemas mecánicos.

El sistema SoundCam Ultra emplea tecnología de formación de haz acústico (beamforming), que permite localizar espacialmente las emisiones ultrasónicas generadas por componentes mecánicos en funcionamiento. Esta tecnología genera un mapa acústico superpuesto sobre una imagen visual del equipo, facilitando la identificación rápida de fuentes de emisión sonora anormal.

El presente procedimiento establece la metodología para realizar inspecciones en sistemas mecánicos, con el objetivo de detectar fenómenos acústicos asociados a condiciones anómalas en componentes rotativos o elementos mecánicos en operación.

Propósito del instructivo

Este instructivo tiene como propósito establecer un procedimiento estandarizado para la utilización del sistema SoundCam Ultra, está orientado a la formación de los estudiantes, definiendo los pasos operativos, parámetros de configuración, los criterios técnicos y los métodos de registro que deben seguirse durante la práctica, con el fin de asegurar la repetibilidad de las mediciones y la correcta interpretación de los resultados.

Objetivo general

Establecer un procedimiento estandarizado para la utilización de SoundCam Ultra en actividades orientadas a procesos formativos permitiendo a los estudiantes ejecutar mediciones mediante ultrasonido aerotransportado, identificar fenómenos acústicos asociados a condiciones anómalas y registrar los resultados bajo criterios estructurados y comparables.

Objetivos específicos

- 1) Definir los pasos operativos para la correcta preparación, configuración y utilización del equipo.
- 2) Establecer criterios técnicos para la configuración adecuada de los parámetros operativos.
- 3) Proporcionar criterios técnicos para la identificación de fenómenos acústicos detectables mediante ultrasonido aerotransportado en sistemas mecánicos.
- 4) Establecer un método uniforme de registro y documentación de resultados, asegurando la trazabilidad, repetibilidad y comparabilidad de las mediciones realizadas.

Alcance

El presente procedimiento establece los lineamientos para la inspección de sistemas mecánicos mediante ultrasonido aerotransportado, bajo el contexto de actividades formativas orientadas al mantenimiento industrial.

Este procedimiento define los pasos para la preparación, configuración, ejecución de la medición, identificación de fenómenos acústicos y registro de resultados, permitiendo realizar inspecciones bajo criterios estandarizados que aseguren la repetibilidad y comparabilidad de las mediciones.

El procedimiento está orientado principalmente a la inspección de equipos mecánicos tales como:

- 1) Motores eléctricos.
- 2) Rodamientos.
- 3) Ventiladores.
- 4) Equipos rotativos en general.

Su aplicación no se extiende a análisis más avanzados como confiabilidad ni planes de mantenimiento, tampoco presenta certificaciones al finalizar. Este procedimiento no reemplaza manuales técnicos del fabricante ni procedimientos industriales específicos, sino que complementa su uso mediante una metodología estandarizada orientada a la formación y comprensión de los fenómenos acústicos asociados al comportamiento de sistemas mecánicos.

Definiciones

Ultrasonido: Es la energía mecánica que se propaga en forma de onda con frecuencias superiores a los 20 kHz, imperceptibles para el oído humano.

Ultrasonido aerotransportado: Es una técnica de monitoreo basada en la detección de emisiones acústicas, estas se propagan a través del aire y permiten identificar fenómenos asociados al comportamiento anómalo de equipos mecánicos, eléctricos y fluidos, sin la necesidad de tener contacto directo con el equipo.

Fenómeno acústico: Es una emisión sonora de alta frecuencia generada por un proceso físico específico, como alguna fuga, descarga eléctrica, etc. Esta puede ser detectada y visualizada a través del ultrasonido aerotransportado.

Fenómenos acústicos en sistemas mecánicos:

Fricción: Es un fenómeno producido por el contacto de dos superficies, produciendo vibraciones a alta frecuencia, asociadas a un roce metálico.

Impacto: Es un choque puntual entre componentes mecánicos, generado por contactos bruscos instantáneos entre superficies.

Golpeteo: Es un choque repetitivo entre componentes mecánicos que deberían tener un juego controlado.

Condiciones generadoras en sistemas mecánicos:

Holgura: Es la separación o el juego excesivo entre componentes mecánicos.

Desalineación: Es la desviación geométrica entre ejes o componentes que deberían operar de manera coaxial o paralela.

Desbalance: Distribución desigual de masa en elementos rotativos que genera fuerzas centrífugas no uniformes.

Falta de lubricación: Es la condición insuficiente para mantener la separación adecuada entre superficies.

Desgaste: Es la pérdida progresiva de material por fricción, fatiga o abrasión.

Diagnóstico acústico: Es el proceso en el cual se interpreta el mapa acústico y el comportamiento espectral que se observe, aquí se identifica el fenómeno acústico asociado a una falla o condición anómala del equipo inspeccionado.

CBM: Es una estrategia de mantenimiento basada en la evaluación de la condición real del activo mediante técnicas de monitoreo, permitiendo la toma de decisiones fundamentadas.

Mapa acústico: Es la representación visual generada por el SoundCam Ultra mediante el principio del beamforming, aquí se mostrarán las zonas de intensidad acústica superpuestas sobre la imagen real del entorno.

Beamforming: Este es el principio bajo el cual opera SoundCam Ultra, este permite localizar espacialmente las fuentes acústicas y concentrar toda la energía acústica del ambiente en un solo punto, el punto de interés.

Parámetros operativos: Variables configurables de SoundCam Ultra (distancia, rango de frecuencia, escala, filtros, etc).

Registro estandarizado: Formato estructurado destinado a documentar los parámetros utilizados, el fenómeno acústico identificado y las observaciones técnicas, asegurando su trazabilidad y comparabilidad entre mediciones.

Emisión acústica: Es la liberación de energía en forma de ondas sonoras que son generadas por procesos físicos como (fricción, turbulencia, etc).

Patrón acústico: Es el comportamiento visual que toma la emisión en el mapa acústico, pudiendo presentarse como puntual, lineal o difuso.

Intensidad acústica: Nivel de energía detectada por el equipo que se representa en el mapa acústico mediante la escala de colores que indica la magnitud de la emisión.

Condición generadora: Es la condición física u operativa del sistema que origina o favorece la aparición de un fenómeno acústico detectado por UT-A.

Estructura progresiva del procedimiento

Nivel 1 – Compresión básica

Fundamentos operativos del ultrasonido

El ultrasonido corresponde a ondas acústicas de alta frecuencia que se propagan a través de un medio, estas emisiones pueden generarse a partir de distintos procesos físicos asociados al funcionamiento de los equipos.

Fenómenos como la fricción entre superficies, impactos mecánicos, turbulencia en el flujo de fluidos o descargas eléctricas producen liberación de energía acústica en el rango ultrasónico.

El ultrasonido aerotransportado permite detectar estas emisiones a distancia, ya que las ondas se propagan a través del aire y pueden ser captadas por sensores especializados.

SoundCam Ultra posee micrófonos que ayudan a captar estas emisiones mediante el principio de beamforming. El cuál permite localizar espacialmente la fuente de emisión acústica y representarla como un mapa acústico superpuesto sobre una imagen del entorno en tiempo real visualizando la intensidad de la emisión en colores.

Para intensidades altas amarillo y rojo y para intensidades bajas azul.

Equipo	Función
SoundCam Ultra	Detección de ultrasonido aerotransportado
Trípode (opcional)	Estabilidad en medición
Registro estandarizado	Documentación de resultados

Tabla 1 – Equipos y recursos utilizados en el procedimiento de medición.

Nivel 2 – Operación inicial del equipo

Verificación de las condiciones de seguridad

- 1) Uso de EPP.
- 2) Distancia segura.
- 3) Ambiente controlado.

Encender SoundCam Ultra y verificar

- 1) Nivel de la batería.
- 2) Estado visual de los micrófonos, que no estén obstruidos o dañados.
- 3) Correcto inicio del sistema.
- 4) Disponibilidad de almacenamiento.

No se debe seguir al siguiente paso si el equipo no está operativo.

Lo primero que se deberá hacer al haber comprobado todo lo anterior es la creación de su perfil técnico, donde se almacenaran todas las evidencias del proceso ejecutado como, grabaciones y capturas.

Menú de inicio

Es la pantalla principal del sistema desde donde se accede a los distintos modos de funcionamiento del equipo.

Las principales opciones disponibles son:

- 1) LAN: conexión en red para transferencia de datos.
- 2) Normal mode: modo estándar de operación.
- 3) Easy mode: modo simplificado para inspecciones rápidas.
- 4) Leak detection: modo optimizado para detección de fugas.
- 5) Partial discharge: modo orientado a detección de descargas parciales.
- 6) Settings: acceso a configuración general del sistema.
- 7) File gallery: visualización de grabaciones y capturas almacenadas.
- 8) Shut down: apagado seguro del equipo.

Sistema inspeccionado	Modo recomendado	Propósito del modo
Sistema mecánico	Normal Mode	Operación estándar para detección de fenómenos mecánicos como fricción, impacto o golpeteo

Tabla 2 – Correspondencia entre tipo de sistema y modo de operación del SoundCam Ultra.

Posteriormente, paso a la configuración de los parámetros del equipo.

Arriba del todo hay un menú superior, pero no se configura: solo muestra los parámetros visibles con los que estás trabajando.

Menú 1 - parte derecha

Distancia: Esta deberá ser ajustada dependiendo de cuanto sea la brecha de usted y el equipo inspeccionado en (cm). Se debe mantener una distancia constante durante todo el análisis.

Rango de frecuencia: Se iniciará con un rango amplio, las emisiones por ultrasonido empiezan desde los 20 kHz hacia adelante para luego ir ajustándolo progresivamente y así aislar la fuente acústica dominante, aunque no es necesario si ya sabe cuál es el rango de frecuencia de la emisión acústica que quiere analizar.

Escala de visualización: Se seleccionará entre el modo Auto, Smart o Manual según las condiciones del entorno. Estas escalas solo modifican la intensidad acústica que se observa en el mapa (la intensidad de colores).

Modo	Ajuste de escala	Estabilidad visual	Ideal para
Auto	Automático	Baja (variable)	Ajustar automáticamente la escala de colores según la intensidad acústica máxima detectada. Permite localizar rápidamente las zonas con alta emisión acústica, aunque esta cambia constantemente por lo que no es una gran opción si se requiere hacer comparaciones.
Smart	Automático estable	Media	Ajustar automáticamente con mayor estabilidad visual comprendiendo el ruido ambiental y permitiendo observar el fenómeno sin cambios extremos.
Manual	Fijado por el usuario	Alta	Un análisis comparativo y asegura la repetibilidad de las mediciones.

Tabla 3 – Modos de ajuste de escala y estabilidad del SoundCam Ultra.

Menú 2 - parte izquierda

Tipo de filtro	Función	Aplicación en la medición
Filtro paso bajo (Low-pass)	Permite el paso de frecuencias bajas y atenúa o elimina frecuencias altas.	Se utiliza cuando se desea reducir o eliminar ruido de alta frecuencia que puede interferir en la medición.
Filtro paso alto (High-pass)	Permite el paso de frecuencias altas y atenúa o elimina frecuencias bajas.	Se emplea para aislar fenómenos típicamente ultrasónicos y reducir componentes de baja frecuencia presentes en el ambiente o en el equipo.
Filtro paso banda (Band-pass)	Permite el paso de un intervalo específico de frecuencias definido entre un valor mínimo y máximo.	Se utiliza cuando se desea analizar un rango de frecuencia específico, aislando la emisión acústica de interés y reduciendo interferencias externas.

Tabla 4 – Modos de ajuste de filtros del SoundCam Ultra.

Tiempo de grabación: Entre 10 s, 30 s y 60 s, hasta 180 s. Cada una cumpliendo la tarea específica mínima de lo que se requiera en un análisis más corto o largo.

Trigger: Esta función permite grabar antes, durante y después, ayudando a captar fenómenos intermitentes, sin la necesidad de mantener una supervisión constante sobre la emisión acústica.

Ltm: Permite una grabación de un tiempo extenso para análisis que requieran de más datos, útil cuando el fenómeno no es constante o tiene variaciones en el tiempo.

Una vez configurados los parámetros del equipo se deberá ejecutar la medición siguiendo con el orden lógico.

1) Posicionamiento

- 1) Ubicar SoundCam Ultra frente al equipo a analizar.
- 2) Confirmar que la distancia configurada se mantiene constante.

2) Concentración de la señal

Cuando se detecte una zona con concentración acústica.

- 1) Mantener posición fija.
- 2) Confirmar que la señal se mantiene estable durante el tiempo de grabación seleccionado.
- 3) Ajustar ligeramente el rango de frecuencia solo si se requiere mejorar la definición.

3) Repetibilidad

- 1) Retirar ligeramente el equipo.
- 2) Reposicionarlo en un ángulo diferente y repetir medición con la misma configuración.
- 3) Confirmar que el patrón reaparece en la misma ubicación.

4) Captura de evidencia

- 1) Realizar una captura de pantalla de la emisión acústica.
- 2) Guardar la grabación correspondiente.
- 3) Registrar parámetros utilizados.

No se procederá a la identificación del fenómeno sin evidencia guardada.

Nivel 3 – Identificación del fenómeno acústico

Parámetro	Frecuencia
Intensidad acústica	durante medición
Patrón acústico	durante medición
Ruido ambiental	antes de medición
Distancia	cada medición

Tabla 5 – Parámetros de observación y frecuencia de medición.

1) Análisis de la distribución de intensidad acústica

Lo primero será analizar la distribución espacial de la intensidad acústica representada en el mapa de colores de la imagen durante la medición, identificando las zonas donde se concentra la mayor energía ultrasónica.

La concentración del color dominante permite localizar el punto o zona de mayor emisión acústica, lo que facilita la identificación del origen del fenómeno observado.

2) Análisis del comportamiento geométrico

Tipo de patrón	Descripción técnica	Representación visual
Patrón puntual	Corresponde a una concentración localizada de la emisión acústica en un punto específico del componente o sistema analizado.	Se observa como un punto de color intenso y bien definido en el mapa acústico.
Patrón lineal	La emisión acústica se genera a lo largo de una zona extendida, siguiendo una trayectoria o línea continua dentro del componente analizado.	Se visualiza como una franja o trazo continuo que sigue la dirección del fenómeno acústico.
Patrón difuso	La emisión acústica no presenta un foco claro y se distribuye de manera amplia dentro o alrededor del componente evaluado.	Se observa como una mancha de intensidad menos definida, con bordes irregulares y sin un centro claramente identificado.

Tabla 6 – Clasificación de patrones geométricos de emisión acústica.

3) Comportamiento temporal

Una vez identificado el patrón se analizará su comportamiento a lo largo del tiempo, determinando si corresponde a:

- 1) Continua: No se interrumpe.
- 2) Intermitente: Aparece y desaparece.
- 3) Pulsante: Se repite en intervalos.
- 4) Fluctuante: Varía en intensidad.

Una vez analizados estos puntos, se procederá a asociar la señal con el fenómeno acústico correspondiente, esta solo se realizará cuando exista coherencia entre el patrón, comportamiento temporal y el tipo de sistema.

Fenómeno	Patrón típico	Comportamiento temporal	Característica acústica	Sistema asociado
Fricción	Puntual o lineal	Continuo o fluctuante	Chirrido o roce	Rodamientos, ejes, superficies en contacto
Impacto	Puntual	Intermitente	Golpe de alta intensidad	Engranajes, piezas sometidas a impactos
Golpeteo	Puntual	Pulsante	Golpe repetitivo	Piezas sueltas

Tabla 7 – Caracterización de fenómenos acústicos mecánicos.

Factores que afectan la detección de emisiones acústicas en sistemas mecánicos

- 1) Velocidad de rotación del componente.
- 2) Carga mecánica aplicada al sistema.
- 3) Condición de lubricación.
- 4) Estado de desgaste de los componentes.
- 5) Rigidez estructural del sistema.
- 6) Tipo de elemento mecánico (rodamientos, engranajes, acoplamientos, etc).
- 7) Condiciones de montaje del equipo.
- 8) Geometría de contacto entre componentes.

Nivel 4 – Correlación fenómeno – condición

El operador deberá asociar el fenómeno acústico identificado con la condición generadora probable del sistema inspeccionado, considerando fenómeno acústico identificado, la ubicación física de la emisión y el comportamiento general observado durante la medición.

Condiciones generadoras en sistemas mecánicos
Holgura
Desalineación
Desbalance
Falta de lubricación
Desgaste

Tabla 8 – Condiciones generadoras en sistemas mecánicos.

Criterio de la formulación

La condición generadora probable solo se establecerá cuando corresponda lógicamente con el fenómeno detectado y una condición conocida del sistema.

Limitación del diagnóstico

SoundCam Ultra detecta emisiones acústicas (fenómenos acústicos), pero no identifica de manera directa la causa que las origina (condiciones generadoras), por lo tanto, el diagnóstico que se formule estará emitido como causa probable y podrá requerir su verificación mediante otras técnicas como la termografía o el análisis de vibraciones ya que finalmente el ultrasonido aerotransportado no es la técnica definitiva sino una técnica complementaria.

Redacción del diagnóstico

El diagnóstico deberá ser registrado obligatoriamente en la plantilla de registro estandarizada correspondiente.

Identificación de riesgos del procedimiento

Con el fin de asegurar la consistencia y repetibilidad del procedimiento, se identifican los principales riesgos asociados a la ejecución de mediciones mediante ultrasonido aerotransportado:

- 1) Interpretación incorrecta del patrón acústico.
- 2) Configuración inadecuada de los parámetros.
- 3) Interferencia por ruido ambiental.
- 4) Correlación errónea entre fenómeno acústico y condición generadora.
- 5) Registro incompleto o inconsistente con los resultados.

Cualquiera de estas situaciones puede comprometer la confiabilidad de la medición, afectar la repetibilidad de los resultados y generar inconsistencias en la correlación entre el fenómeno acústico identificado y la condición generadora propuesta. Por ende, el diagnóstico podría verse alterado afectando la coherencia metodológica del procedimiento.

Para evitar estos riesgos se establecen los siguientes controles:

- 1) Verificar nuevamente la configuración.
- 2) Aplicación obligatoria del esquema secuencial de niveles desde el uno al cuatro.
- 3) Confirmación visual del patrón geométrico.
- 4) Repetición de mediciones en caso de duda técnica.

Responsabilidades

Operador/Estudiante: Es el responsable de ejecutar el procedimiento técnico establecido en el instructivo, cumpliendo con las condiciones de seguridad, configuración, medición, identificación y diagnóstico definidas en los distintos niveles.

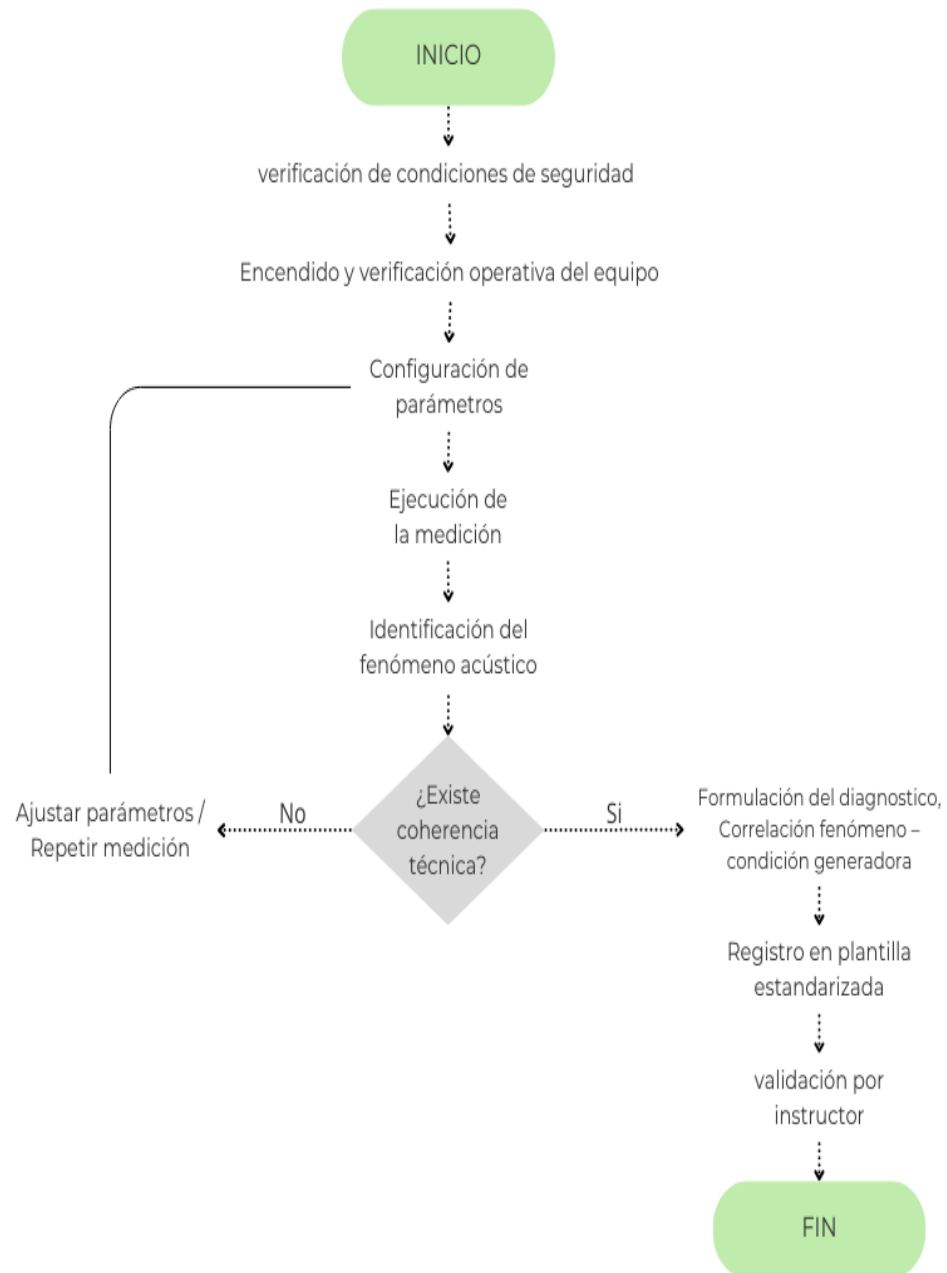
Deberá aplicar correctamente los parámetros operativos del equipo SoundCam Ultra conforme a lo indicado y mantener una conducta ordenada durante toda la medición para garantizar que la identificación del fenómeno acústico y la formulación de la condición generadora probable se encuentren fundamentadas en la evidencia obtenida. Además, será responsable de completar la plantilla de registro estandarizada, asegurando la trazabilidad, consistencia y claridad de la información documentada.

No podrá omitir etapas del procedimiento ni realizar conclusiones sin respaldo técnico derivado de la medición realizada.

Instructor/Supervisor: Será el responsable de velar por el correcto desarrollo de la actividad práctica, verificando que el estudiante aplique el instructivo conforme a lo establecido en cada uno de sus niveles. Además, deberá supervisar el cumplimiento de las condiciones de seguridad y estandarización, orientar cuando corresponda dentro del contexto formativo y evaluar objetivamente el desempeño del estudiante mediante el checklist de validación definido para la actividad.

Asimismo, será responsable de revisar la coherencia técnica entre el fenómeno identificado, la condición generadora propuesta y el registro documental efectuado, validando finalmente la completitud del proceso mediante su firma y aprobación formal.

Responsable académico del laboratorio: Será responsable de autorizar y coordinar el uso del equipo SoundCam Ultra en actividades académicas, asegurando su disponibilidad operativa. Deberá garantizar que el procedimiento se encuentre disponible y que el uso del equipo se realice conforme a lo establecido en el instructivo y en el Anexo B – Plantilla de registro estandarizada.

Diagrama de flujo del procedimiento

Registros

Con el fin de asegurar la trazabilidad, repetibilidad y verificación del procedimiento, se establecen como registros obligatorios asociados al presente instructivo los siguientes documentos.

La plantilla de registro estandarizada, utilizada para inspecciones con SoundCam Ultra, permite que el estudiante u operador documente los parámetros configurados durante la medición, la evidencia obtenida y la identificación de fenómenos acústicos y condiciones generadoras probables.

La utilización de estos registros forma parte del proceso estandarizado definido en el presente instructivo. La estandarización permite asegurar la repetibilidad de las mediciones, la comparabilidad de los resultados y la identificación de oportunidades de mejora en la aplicación del procedimiento.

El formato correspondiente se presenta en el Anexo B – Plantilla de registro estandarizada - inspecciones con SoundCam Ultra.

Seguimiento y evaluación del desempeño del procedimiento

Con el fin de verificar la eficacia del procedimiento y su correcta aplicación en contexto formativo, el desempeño podrá evaluarse mediante indicadores observables asociados a:

- 1) Porcentaje de configuraciones correctas.
- 2) Número de fenómenos correctamente identificados.
- 3) Nivel de asistencia requerida.
- 4) Completitud y calidad de los registros generados.
- 5) Repetibilidad intergrupal.

La revisión de estos indicadores permite identificar oportunidades de mejora metodológica y fortalecer la confiabilidad en el procedimiento ayudando al proceso formativo.

Lista de distribución

El presente instructivo técnico estará disponible para su utilización en actividades formativas asociadas a la asignatura correspondiente del área de mantenimiento industrial.

El documento será distribuido en formato digital a los estudiantes que participen en actividades prácticas relacionadas, así como al instructor o supervisor responsable de su aplicación y validación.

La versión vigente del instructivo deberá mantenerse disponible en los medios académicos oficiales definidos por la institución, asegurando que los usuarios accedan únicamente a la versión actualizada del documento.

Cualquier modificación o actualización del instructivo deberá quedar registrada en el control de versión correspondiente.

Anexo E

Instructivo técnico sistema de fluidos – SoundCam Ultra

INSTRUCTIVO TÉCNICO ESTANDARIZADO PARA INSPECCIÓN EN SISTEMAS DE FLUIDOS – SOUNDCAM ULTRA.

Procedimiento técnico para el uso del sistema SoundCam Ultra en la detección e identificación de fenómenos acústicos asociados al ultrasonido aerotransportado.

	Nombre/cargo
Elaborado por	Benjamín Isaías González Correa
Revisado por	Ing. Mg, Pablo Duque Ramírez
Revisado por	Ing. Mg. Marcelo Rojas Vidal

Introducción

El mantenimiento industrial ha ido evolucionando a través del paso del tiempo desde una perspectiva correctiva hasta llegar a estrategias basadas en condición CBM, las cuales tienen como propósito detectar fallas en etapas tempranas mediante la medición y análisis del comportamiento real de los activos. Una de estas técnicas es el ultrasonido aerotransportado el cual permite observar la condición del equipo sin la necesidad de desensamblar el equipo.

En sistemas de fluidos, distintos procesos físicos pueden generar emisiones acústicas en el rango ultrasónico. Fenómenos como fugas, cavitación o turbulencia producen liberación de energía acústica de alta frecuencia, las cuales pueden propagarse a través del aire y ser detectadas mediante sensores especializados.

SoundCam Ultra utiliza la técnica del UT-A y opera bajo el principio del beamforming para localizar espacialmente emisiones acústicas y representarlas mediante un mapa acústico superpuesto sobre una imagen real del entorno. Esta característica permite identificar de forma rápida y visual la ubicación de posibles anomalías en los equipos inspeccionados.

Para garantizar una correcta utilización del equipo es necesario contar con procedimientos claros que orienten su operación, configuración y registro estandarizado de mediciones. Bajo este contexto, el presente instructivo establece los lineamientos técnicos que deben seguir los estudiantes durante el uso del sistema de SoundCam Ultra, con el fin de asegurar mediciones ordenadas, repetibles y correctamente interpretadas.

Propósito del instructivo

Este instructivo tiene como propósito establecer un procedimiento estandarizado para la utilización del sistema SoundCam Ultra, está orientado a la formación de los estudiantes, definiendo los pasos operativos, parámetros de configuración, los criterios técnicos y los métodos de registro que deben seguirse durante la práctica, con el fin de asegurar la repetibilidad de las mediciones y la correcta interpretación de los resultados.

Objetivo general

Establecer un procedimiento estandarizado para la utilización de SoundCam Ultra en actividades orientadas a procesos formativos permitiendo a los estudiantes ejecutar mediciones mediante ultrasonido aerotransportado, identificar fenómenos acústicos asociados a condiciones anómalas y registrar los resultados bajo criterios estructurados y comparables.

Objetivos específicos

- 1) Definir los pasos operativos para la correcta preparación, configuración y utilización del equipo.
- 2) Establecer criterios técnicos para la configuración adecuada de los parámetros operativos.
- 3) Proporcionar criterios técnicos para la identificación de fenómenos acústicos detectables mediante ultrasonido aerotransportado en sistemas de fluidos.
- 4) Establecer un método uniforme de registro y documentación de resultados, asegurando la trazabilidad, repetibilidad y comparabilidad de las mediciones realizadas.

Alcance

El presente procedimiento establece los lineamientos para la inspección de sistemas de fluidos mediante ultrasonido aerotransportado, bajo el contexto de actividades formativas orientadas al mantenimiento industrial.

Este procedimiento define los pasos para la preparación, configuración, ejecución de la medición, identificación de fenómenos acústicos y registro de resultados, permitiendo realizar inspecciones bajo criterios estandarizados que aseguren la repetibilidad y comparabilidad de las mediciones.

El procedimiento está orientado principalmente a la inspección de sistemas donde circulan fluidos, tales como:

- 1) Tuberías.
- 2) Válvulas.
- 3) líneas de aire comprimido.
- 4) Trampas de vapor.
- 5) Sistemas hidráulicos.

En estos sistemas es posible detectar fenómenos acústicos asociados a fugas, cavitación o turbulencia, los cuales pueden indicar condiciones anómalas en el funcionamiento del sistema.

Su aplicación no se extiende a análisis más avanzados como confiabilidad ni planes de mantenimiento, tampoco presenta certificaciones al finalizar. Este procedimiento no reemplaza manuales técnicos del fabricante ni procedimientos industriales específicos, sino que complementa su uso mediante una metodología estandarizada orientada a la formación y comprensión de los fenómenos acústicos asociados al comportamiento de sistemas de fluidos.

Definiciones

Ultrasonido: Es la energía mecánica que se propaga en forma de onda con frecuencias superiores a los 20 kHz, imperceptibles para el oído humano.

Ultrasonido aerotransportado: Es una técnica de monitoreo basada en la detección de emisiones acústicas, estas se propagan a través del aire y permiten identificar fenómenos asociados al comportamiento anómalo de equipos mecánicos, eléctricos y fluidos, sin la necesidad de tener contacto directo con el equipo.

Fenómeno acústico: Es una emisión sonora de alta frecuencia generada por un proceso físico específico, como alguna fuga, descarga eléctrica, etc. Esta puede ser detectada y visualizada a través del ultrasonido aerotransportado.

Fenómenos acústicos en sistemas de fluidos:

Fuga: Es un fenómeno producido por la liberación de un fluido a través de una abertura o defecto en un sistema.

Turbulencia: Es un fenómeno producido por un flujo inestable comúnmente presentado como remolinos, cambios bruscos de velocidad o presión.

Cavitación: Es un fenómeno producido por la formación y el colapso de microburbujas en un fluido por variaciones de presión.

Condiciones generadoras en sistemas de fluidos:

Restricción de flujo: Reducción parcial del paso del fluido dentro de un conducto.

Sobrepresión: Es la condición en que la presión supera el valor de diseño del sistema.

Subpresión: Disminución de la presión por debajo del rango operativo.

Válvula mal dimensionada: Elemento de control de tamaño no adecuado para el caudal requerido.

Diagnóstico acústico: Es el proceso en el cual se interpreta el mapa acústico y el comportamiento espectral que se observe, aquí se identifica el fenómeno acústico asociado a una falla o condición anómala del equipo inspeccionado.

CBM: Es una estrategia de mantenimiento basada en la evaluación de la condición real del activo mediante técnicas de monitoreo, permitiendo la toma de decisiones fundamentadas.

Mapa acústico: Es la representación visual generada por el SoundCam Ultra mediante el principio del beamforming, aquí se mostrarán las zonas de intensidad acústica superpuestas sobre la imagen real del entorno.

Beamforming: Este es el principio bajo el cual opera SoundCam Ultra, este permite localizar espacialmente las fuentes acústicas y concentrar toda la energía acústica del ambiente en un solo punto, el punto de interés.

Parámetros operativos: Variables configurables de SoundCam Ultra (distancia, rango de frecuencia, escala, filtros, etc.).

Registro estandarizado: Formato estructurado destinado a documentar los parámetros utilizados, el fenómeno acústico identificado y las observaciones técnicas, asegurando su trazabilidad y comparabilidad entre mediciones.

Emisión acústica: Es la liberación de energía en forma de ondas sonoras que son generadas por procesos físicos como (fricción, turbulencia, etc).

Patrón acústico: Es el comportamiento visual que toma la emisión en el mapa acústico, pudiendo presentarse como puntual, lineal o difuso.

Intensidad acústica: Nivel de energía detectada por el equipo que se representa en el mapa acústico mediante la escala de colores que indica la magnitud de la emisión.

Condición generadora: Es la condición física u operativa del sistema que origina o favorece la aparición de un fenómeno acústico detectado por UT-A.

Estructura progresiva del procedimiento

Nivel 1 – Comprensión básica.

Fundamentos operativos del ultrasonido

El ultrasonido corresponde a ondas acústicas de alta frecuencia que se propagan a través de un medio, estas emisiones pueden generarse a partir de distintos procesos físicos asociados al funcionamiento de los equipos.

Fenómenos como la fricción entre superficies, impactos mecánicos, turbulencia en el flujo de fluidos o descargas eléctricas producen liberación de energía acústica en el rango ultrasónico.

El ultrasonido aerotransportado permite detectar estas emisiones a distancia, ya que las ondas se propagan a través del aire y pueden ser captadas por sensores especializados.

SoundCam Ultra posee micrófonos que ayudan a captar estas emisiones mediante el principio de beamforming. El cuál permite localizar espacialmente la fuente de emisión acústica y representarla como un mapa acústico superpuesto sobre una imagen del entorno en tiempo real visualizando la intensidad de la emisión en colores.

Para intensidades altas amarillo y rojo y para intensidades bajas azul.

Equipo	Función
SoundCam Ultra	Detección de ultrasonido aerotransportado
Trípode (opcional)	Estabilidad en medición
Registro estandarizado	Documentación de resultados

Tabla 1 – Equipos y recursos utilizados en el procedimiento de medición.

Nivel 2 – Operación inicial del equipo**Verificación de las condiciones de seguridad**

- 1) Uso de EPP.
- 2) Distancia segura.
- 3) Ambiente controlado.

Encender SoundCam Ultra y verificar

- 1) Nivel de la batería.
- 2) Estado visual de los micrófonos, que no estén obstruidos o dañados.
- 3) Correcto inicio del sistema.
- 4) Disponibilidad de almacenamiento.

No se debe seguir al siguiente paso si el equipo no está operativo.

Lo primero que se deberá hacer al haber comprobado todo lo anterior es la creación de su perfil técnico, donde se almacenaran todas las evidencias del proceso ejecutado como, grabaciones y capturas.

Menú de inicio

Es la pantalla principal del sistema desde donde se accede a los distintos modos de funcionamiento del equipo.

Las principales opciones disponibles son:

- 1) LAN: conexión en red para transferencia de datos.
- 2) Normal mode: modo estándar de operación.
- 3) Easy mode: modo simplificado para inspecciones rápidas.
- 4) Leak detection: modo optimizado para detección de fugas.
- 5) Partial discharge: modo orientado a detección de descargas parciales.
- 6) Settings: acceso a configuración general del sistema.
- 7) File gallery: visualización de grabaciones y capturas almacenadas.
- 8) Shut down: apagado seguro del equipo.

Sistema inspeccionado	Modo recomendado	Propósito del modo
Sistema de fluidos	Leak Detection	Optimizado para detectar fugas y fenómenos asociados al flujo de fluidos

Tabla 2 – Correspondencia entre tipo de sistema y modo de operación del SoundCam Ultra.

Posteriormente, se dará paso a la configuración de los parámetros del equipo.

Arriba del todo hay un menú superior, pero no se configura: solo muestra los parámetros visibles con los que estás trabajando

Menú 1 - parte derecha

Distancia: Esta deberá ser ajustada dependiendo de cuanto sea la brecha de usted y el equipo inspeccionado en (cm). Se debe mantener una distancia constante durante todo el análisis.

Rango de frecuencia: Se iniciará con un rango amplio, las emisiones por ultrasonido empiezan desde los 20 kHz hacia adelante para luego ir ajustándolo progresivamente y así aislar la fuente acústica dominante, aunque no es necesario si ya sabe cuál es el rango de frecuencia de la emisión acústica que quiere analizar.

Escala de visualización: Se seleccionará entre el modo Auto, Smart o Manual según las condiciones del entorno. Estas escalas solo modifican la intensidad acústica que se observa en el mapa (la intensidad de colores).

Modo	Ajuste de escala	Estabilidad visual	Ideal para
Auto	Automático	Baja (variable)	Ajustar automáticamente la escala de colores según la intensidad acústica máxima detectada. Permite localizar rápidamente las zonas con alta emisión acústica, aunque esta cambia constantemente por lo que no es una gran opción si se requiere hacer comparaciones.
Smart	Automático estable	Media	Ajustar automáticamente con mayor estabilidad visual comprendiendo el ruido ambiental y permitiendo observar el fenómeno sin cambios extremos.
Manual	Fijado por el usuario	Alta	Un análisis comparativo y asegura la repetibilidad de las mediciones.

Tabla 3 – Modos de ajuste de escala y estabilidad del SoundCam Ultra.

Menú 2 - parte izquierda

Tipo de filtro	Función	Aplicación en la medición
Filtro paso bajo (Low-pass)	Permite el paso de frecuencias bajas y atenúa o elimina frecuencias altas.	Se utiliza cuando se desea reducir o eliminar ruido de alta frecuencia que puede interferir en la medición.
Filtro paso alto (High-pass)	Permite el paso de frecuencias altas y atenúa o elimina frecuencias bajas.	Se emplea para aislar fenómenos típicamente ultrasónicos y reducir componentes de baja frecuencia presentes en el ambiente o en el equipo.
Filtro paso banda (Band-pass)	Permite el paso de un intervalo específico de frecuencias definido entre un valor mínimo y máximo.	Se utiliza cuando se desea analizar un rango de frecuencia específico, aislando la emisión acústica de interés y reduciendo interferencias externas.

Tabla 4 – Modos de ajuste de filtros del SoundCam Ultra.

Tiempo de grabación: Se definirá cuál es el tiempo adecuado para cada análisis, las opciones disponibles corresponden a 10 s, 30 s y 60 s, hasta 180 s. Cada una cumpliendo la tarea específica mínima de lo que se requiera en un análisis más corto o largo.

Trigger: Esta función permite grabar antes, durante y después, ayudando a captar fenómenos intermitentes, sin la necesidad de mantener una supervisión constante sobre la emisión acústica.

Ltm: Permite una grabación de un tiempo extenso para análisis que requieran de más datos, útil cuando el fenómeno no es constante o tiene variaciones en el tiempo.

Una vez configurados los parámetros del equipo se deberá ejecutar la medición siguiendo con el orden lógico.

1) Posicionamiento

- 1) Ubicar SoundCam Ultra frente al equipo a analizar.
- 2) Confirmar que la distancia configurada se mantiene constante.

2) Concentración de la señal

Cuando se detecte una zona con concentración acústica

- 1) Mantener posición fija.
- 2) Confirmar que la señal se mantiene estable durante el tiempo de grabación seleccionado.
- 3) Ajustar ligeramente el rango de frecuencia solo si se requiere mejorar la definición.

3) Repetibilidad

- 1) Retirar ligeramente el equipo.
- 2) Reposicionarlo en un ángulo diferente y repetir medición con la misma configuración.
- 3) Confirmar que el patrón reaparece en la misma ubicación.

4) Captura de evidencia

- 1) Realizar una captura de pantalla de la emisión acústica.
- 2) Guardar la grabación correspondiente.
- 3) Registrar parámetros utilizados.

No se procederá a la identificación del fenómeno sin evidencia guardada.

Nivel 3 – Identificación del fenómeno acústico

Parámetro	Frecuencia
Intensidad acústica	durante medición
Patrón acústico	durante medición
Ruido ambiental	antes de medición
Distancia	cada medición

Tabla 5 – Parámetros de observación y frecuencia de medición.

1) Análisis de la distribución de intensidad acústica

Lo primero será analizar la distribución espacial de la intensidad acústica representada en el mapa de colores de la imagen durante la medición, identificando las zonas donde se concentra la mayor energía ultrasónica.

La concentración del color dominante permite localizar el punto o zona de mayor emisión acústica, lo que facilita la identificación del origen del fenómeno observado.

2) Análisis del comportamiento geométrico

Tipo de patrón	Descripción técnica	Representación visual
Patrón puntual	Corresponde a una concentración localizada de la emisión acústica en un punto específico del componente o sistema analizado.	Se observa como un punto de color intenso y bien definido en el mapa acústico.
Patrón lineal	La emisión acústica se genera a lo largo de una zona extendida, siguiendo una trayectoria o línea continua dentro del componente analizado.	Se visualiza como una franja o trazo continuo que sigue la dirección del fenómeno acústico.
Patrón difuso	La emisión acústica no presenta un foco claro y se distribuye de manera amplia dentro o alrededor del componente evaluado.	Se observa como una mancha de intensidad menos definida, con bordes irregulares y sin un centro claramente identificado.

Tabla 6 – Clasificación de patrones geométricos de emisión acústica.

3) Comportamiento temporal

Una vez identificado el patrón, se analizará su comportamiento a lo largo del tiempo, determinando si corresponde a:

- 1) Continua: No se interrumpe.
- 2) Intermitente: Aparece y desaparece.
- 3) Pulsante: Se repite en intervalos.
- 4) Fluctuante: Varía en intensidad.

Una vez analizados estos puntos, se procederá asociar la señal con el fenómeno acústico correspondiente, esta solo se realizará cuando exista coherencia entre el patrón, comportamiento temporal y el tipo de sistema.

Fenómeno	Patrón típico	Comportamiento temporal	Característica acústica	Sistema asociado
Fuga	Puntual	Continuo	Soplido o escape de fluido	Sistemas neumáticos o hidráulicos, uniones, conexiones, sellos
Turbulencia	Difuso	Variable	Ruido de flujo irregular	Tuberías, válvulas, cambios de sección en líneas de fluido
Cavitación	Difuso localizado	Variable con intensidad fluctuante	Ruido similar a burbujeo o implosión	Bombas, válvulas y sistemas de fluido bajo presión

Tabla 7 – Caracterización de fenómenos acústicos en fluidos.

Factores que afectan la detección de emisiones acústicas en sistemas de fluidos

- 1) Diferencial de presión del sistema.
- 2) Tipo de fluido o gas.
- 3) Viscosidad del fluido.
- 4) Velocidad del flujo.
- 5) Régimen de flujo (laminar o turbulento).
- 6) Geometría del conducto o tubería.
- 7) Presencia de restricciones en el flujo.
- 8) Temperatura del fluido.

Nivel 4 – Correlación fenómeno – condición

El operador deberá asociar el fenómeno acústico identificado con la condición generadora probable del sistema inspeccionado, considerando fenómeno acústico identificado, la ubicación física de la emisión y el comportamiento general observado durante la medición.

Condiciones generadoras en sistemas de fluidos
Restricción de flujo
Sobrepresión
Subpresión
Válvula mal dimensionada

Tabla 8 – Condición generadora para el sistema de fluidos.

Criterio de la formulación

La condición generadora probable solo se establecerá cuando corresponda lógicamente con el fenómeno detectado y una condición conocida del sistema.

Limitación del diagnóstico

SoundCam Ultra detecta emisiones acústicas (fenómenos acústicos), pero no identifica de manera directa la causa que las origina (condiciones generadoras), por lo tanto, el diagnóstico que se formule estará emitido como causa probable y podrá requerir su verificación mediante otras técnicas como la termografía o el análisis de vibraciones ya que finalmente el ultrasonido aerotransportado no es la técnica definitiva sino una técnica complementaria.

Redacción del diagnóstico

El diagnóstico deberá ser registrado obligatoriamente en la plantilla de registro estandarizada correspondiente.

Identificación de riesgos del procedimiento

Con el fin de asegurar la consistencia y repetibilidad del procedimiento, se identifican los principales riesgos asociados a la ejecución de mediciones mediante ultrasonido aerotransportado:

- 1) Interpretación incorrecta del patrón acústico.
- 2) Configuración inadecuada de los parámetros.
- 3) Interferencia por ruido ambiental.
- 4) Correlación errónea entre fenómeno acústico y condición generadora.
- 5) Registro incompleto o inconsistente con los resultados.

Cualquiera de estas situaciones puede comprometer la confiabilidad de la medición, afectar la repetibilidad de los resultados y generar inconsistencias en la correlación entre el fenómeno acústico identificado y la condición generadora propuesta. Por ende, el diagnóstico podría verse alterado afectando la coherencia metodológica del procedimiento.

Para evitar estos riesgos se establecen los siguientes controles:

- 1) Verificar nuevamente la configuración.
- 2) Aplicación obligatoria del esquema secuencial de niveles desde el uno al cuatro.
- 3) Confirmación visual del patrón geométrico.
- 4) Repetición de mediciones en caso de duda técnica.

Responsabilidades

Operador/Estudiante: Es el responsable de ejecutar el procedimiento técnico establecido en el instructivo, cumpliendo con las condiciones de seguridad, configuración, medición, identificación y diagnóstico definidas en los distintos niveles.

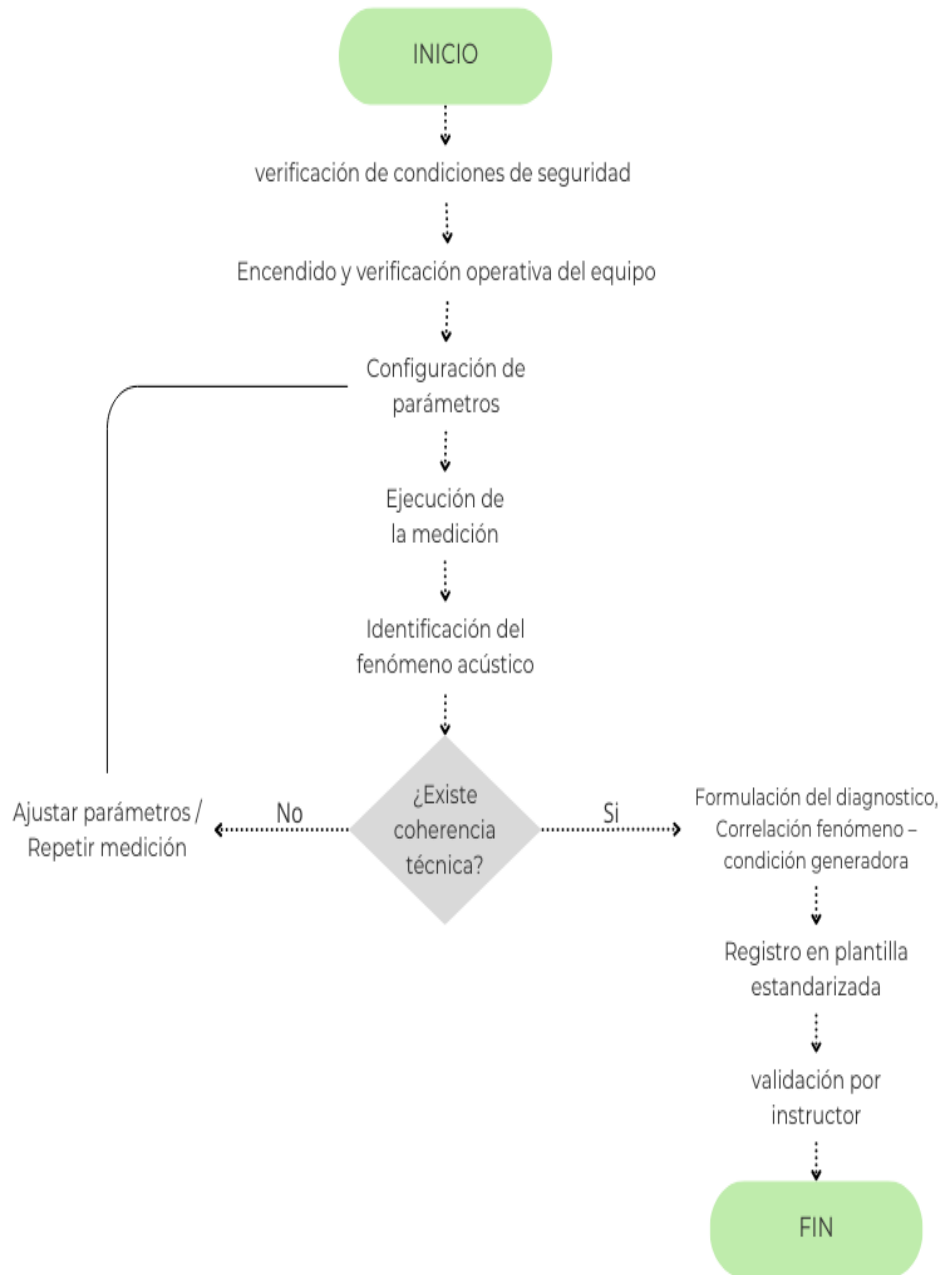
Deberá aplicar correctamente los parámetros operativos del equipo SoundCam Ultra conforme a lo indicado y mantener una conducta ordenada durante toda la medición para garantizar que la identificación del fenómeno acústico y la formulación de la condición generadora probable se encuentren fundamentadas en la evidencia obtenida. Además, será responsable de completar la plantilla de registro estandarizada, asegurando la trazabilidad, consistencia y claridad de la información documentada.

No podrá omitir etapas del procedimiento ni realizar conclusiones sin respaldo técnico derivado de la medición realizada.

Instructor/Supervisor: Será el responsable de velar por el correcto desarrollo de la actividad práctica, verificando que el estudiante aplique el instructivo conforme a lo establecido en cada uno de sus niveles. Además, deberá supervisar el cumplimiento de las condiciones de seguridad y estandarización, orientar cuando corresponda dentro del contexto formativo y evaluar objetivamente el desempeño del estudiante mediante el checklist de validación definido para la actividad.

Asimismo, será responsable de revisar la coherencia técnica entre el fenómeno identificado, la condición generadora propuesta y el registro documental efectuado, validando finalmente la completitud del proceso mediante su firma y aprobación formal.

Responsable académico del laboratorio: Será responsable de autorizar y coordinar el uso del equipo SoundCam Ultra en actividades académicas, asegurando su disponibilidad operativa. Deberá garantizar que el procedimiento se encuentre disponible y que el uso del equipo se realice conforme a lo establecido en el instructivo y en el Anexo B – Plantilla de registro estandarizada.

Diagrama de flujo del procedimiento

Registros

Con el fin de asegurar la trazabilidad, repetibilidad y verificación del procedimiento, se establecen como registros obligatorios asociados al presente instructivo los siguientes documentos.

La plantilla de registro estandarizada, utilizada para inspecciones con SoundCam Ultra, permite que el estudiante u operador documente los parámetros configurados durante la medición, la evidencia obtenida y la identificación de fenómenos acústicos y condiciones generadoras probables.

La utilización de estos registros forma parte del proceso estandarizado definido en el presente instructivo. La estandarización permite asegurar la repetibilidad de las mediciones, la comparabilidad de los resultados y la identificación de oportunidades de mejora en la aplicación del procedimiento.

El formato correspondiente se presenta en el Anexo B – Plantilla de registro estandarizada - inspecciones con SoundCam Ultra.

Seguimiento y evaluación del desempeño del procedimiento

Con el fin de verificar la eficacia del procedimiento y su correcta aplicación en contexto formativo, el desempeño podrá evaluarse mediante indicadores observables asociados a:

- 1) Porcentaje de configuraciones correctas.
- 2) Número de fenómenos correctamente identificados.
- 3) Nivel de asistencia requerida.
- 4) Completitud y calidad de los registros generados.
- 5) Repetibilidad intergrupal.

La revisión de estos indicadores permite identificar oportunidades de mejora metodológica y fortalecer la confiabilidad en el procedimiento ayudando al proceso formativo.

Lista de distribución

El presente instructivo técnico estará disponible para su utilización en actividades formativas asociadas a la asignatura correspondiente del área de mantenimiento industrial.

El documento será distribuido en formato digital a los estudiantes que participen en actividades prácticas relacionadas, así como al instructor o supervisor responsable de su aplicación y validación.

La versión vigente del instructivo deberá mantenerse disponible en los medios académicos oficiales definidos por la institución, asegurando que los usuarios accedan únicamente a la versión actualizada del documento.

Cualquier modificación o actualización del instructivo deberá quedar registrada en el control de versión correspondiente.

Anexo F

Instructivo técnico sistema eléctrico – SoundCam Ultra

INSTRUCTIVO TÉCNICO ESTANDARIZADO PARA INSPECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS – SOUNDCAM ULTRA.

Procedimiento técnico para el uso del sistema SoundCam Ultra en la detección e identificación de fenómenos acústicos asociados al ultrasonido aerotransportado.

	Nombre/cargo
Elaborado por	Benjamín Isaías González Correa
Revisado por	Ing. Mg. Pablo Duque Ramírez
Revisado por	Ing. Mg. Marcelo Rojas Vidal

Introducción

El mantenimiento basado en condición CBM utiliza técnicas de monitoreo que permiten evaluar el estado de los activos sin intervenir físicamente el equipo. Dentro de estas técnicas, el ultrasonido aerotransportado se ha consolidado como una herramienta eficaz para detectar fenómenos asociados a descargas eléctricas anómalas presentes en sistemas energizados.

En sistemas eléctricos, diversos procesos físicos pueden generar emisiones acústicas en el rango ultrasónico. Fenómenos como el efecto corona, las descargas parciales o los arcos eléctricos producen liberación de energía en forma de ondas acústicas de alta frecuencia.

El sistema SoundCam Ultra trabaja bajo el principio del (beamforming), el cual permite localizar espacialmente estas emisiones ultrasónicas y representarlas mediante un mapa acústico superpuesto sobre una imagen visual del entorno, facilitando la identificación rápida de posibles fuentes de emisión anómala en componentes eléctricos energizados.

El presente procedimiento establece la metodología para realizar inspecciones en sistemas eléctricos, con el objetivo de detectar fenómenos acústicos asociados a condiciones anómalas en equipos y componentes eléctricos, permitiendo su identificación mediante un proceso de medición estructurado y estandarizado en contexto formativo.

Propósito del instructivo

Este instructivo tiene como propósito establecer un procedimiento estandarizado para la utilización del sistema SoundCam Ultra, está orientado a la formación de los estudiantes, definiendo los pasos operativos, parámetros de configuración, los criterios técnicos y los métodos de registro que deben seguirse durante la práctica, con el fin de asegurar la repetibilidad de las mediciones y la correcta interpretación de los resultados.

Objetivo general

Establecer un procedimiento estandarizado para la utilización de SoundCam Ultra en actividades orientadas a procesos formativos permitiendo a los estudiantes ejecutar mediciones mediante ultrasonido aerotransportado, identificar fenómenos acústicos asociados a condiciones anómalas y registrar los resultados bajo criterios estructurados y comparables.

Objetivos específicos

- 1) Definir los pasos operativos para la correcta preparación, configuración y utilización del equipo.
- 2) Establecer criterios técnicos para la configuración adecuada de los parámetros operativos.
- 3) Proporcionar criterios técnicos para la identificación de fenómenos acústicos detectables mediante ultrasonido aerotransportado en sistemas eléctricos.
- 4) Establecer un método uniforme de registro y documentación de resultados, asegurando la trazabilidad, repetibilidad y comparabilidad de las mediciones realizadas.

Alcance

El presente procedimiento establece los lineamientos para la inspección de sistemas eléctricos mediante ultrasonido aerotransportado, bajo el contexto de actividades formativas orientadas al mantenimiento industrial.

Este procedimiento define los pasos para la preparación, configuración, ejecución de la medición, identificación de fenómenos acústicos y registro de resultados, permitiendo realizar inspecciones bajo criterios estandarizados que aseguren la repetibilidad y comparabilidad de las mediciones.

El procedimiento está orientado principalmente a la inspección de equipos y componentes eléctricos energizados, tales como:

- 1) Tableros eléctricos.
- 2) Interruptores y seccionadores.
- 3) Transformadores.
- 4) Conexiones eléctricas.
- 5) Aisladores y barras conductoras.

En estos sistemas es posible detectar fenómenos acústicos asociados a descargas parciales, efecto corona o arco eléctrico, los cuales pueden indicar condiciones anómalas en el funcionamiento del sistema eléctrico.

Su aplicación no se extiende a análisis más avanzados como confiabilidad ni planes de mantenimiento, tampoco presenta certificaciones al finalizar. Este procedimiento no reemplaza manuales técnicos del fabricante ni procedimientos industriales específicos, sino que complementa su uso mediante una metodología estandarizada orientada a la formación y comprensión de los fenómenos acústicos asociados al comportamiento de sistemas eléctricos.

Definiciones

Ultrasonido: Es la energía mecánica que se propaga en forma de onda con frecuencias superiores a los 20 kHz, imperceptibles para el oído humano.

Ultrasonido aerotransportado: Es una técnica de monitoreo basada en la detección de emisiones acústicas, estas se propagan a través del aire y permiten identificar fenómenos asociados al comportamiento anómalo de equipos mecánicos, eléctricos y fluidos, sin la necesidad de tener contacto directo con el equipo.

Fenómeno acústico: Es una emisión sonora de alta frecuencia generada por un proceso físico específico, como alguna fuga, descarga eléctrica, etc. Esta puede ser detectada y visualizada a través del ultrasonido aerotransportado.

Fenómenos acústicos en sistemas eléctricos:

Descarga parcial: Es un fenómeno producido por la ionización localizada del aire o del material aislante en equipos energizados sin que se produzca una descarga completa entre los conductores.

Corona: Es una descarga eléctrica parcial y localizada que ocurre alrededor de los conductores energizados cuando el campo eléctrico supera la rigidez dieléctrica del aire.

Tracking: Es una descarga eléctrica progresiva sobre superficies aislantes contaminadas.

Arco: Es una descarga eléctrica que se produce cuando la corriente circula a través del aire entre dos conductores con diferencia de potencial para ionizar el medio.

Condiciones generadoras en sistemas eléctricos:

Contaminación superficial: Es la presencia de partículas o residuos sobre superficies aislantes que reducen la capacidad de aislamiento eléctrico.

Humedad: Es la presencia de agua o vapor, esta disminuye la resistencia de aislamiento de los componentes eléctricos.

Alta tensión: Es una condición de operación con niveles elevados de voltaje, generando campos eléctricos intensos en el sistema.

Diagnóstico acústico: Es el proceso en el cual se interpreta el mapa acústico y el comportamiento espectral que se observe, aquí se identifica el fenómeno acústico asociado a una falla o condición anómala del equipo inspeccionado.

CBM: Es una estrategia de mantenimiento basada en la evaluación de la condición real del activo mediante técnicas de monitoreo, permitiendo la toma de decisiones fundamentadas.

Mapa acústico: Es la representación visual generada por el SoundCam Ultra mediante el principio del beamforming, aquí se mostrarán las zonas de intensidad acústica superpuestas sobre la imagen real del entorno.

Beamforming: Este es el principio bajo el cual opera SoundCam Ultra, este permite localizar espacialmente las fuentes acústicas y concentrar toda la energía acústica del ambiente en un solo punto, el punto de interés.

Parámetros operativos: Variables configurables de SoundCam Ultra (distancia, rango de frecuencia, escala, filtros, etc.).

Registro estandarizado: Formato estructurado destinado a documentar los parámetros utilizados, el fenómeno acústico identificado y las observaciones técnicas, asegurando su trazabilidad y comparabilidad entre mediciones.

Emisión acústica: Es la liberación de energía en forma de ondas sonoras que son generadas por procesos físicos como (fricción, turbulencia, etc).

Patrón acústico: Es el comportamiento visual que toma la emisión en el mapa acústico, pudiendo presentarse como puntual, lineal o difuso.

Intensidad acústica: Nivel de energía detectada por el equipo que se representa en el mapa acústico mediante la escala de colores que indica la magnitud de la emisión.

Condición generadora: Es la condición física u operativa del sistema que origina o favorece la aparición de un fenómeno acústico detectado por UT-A.

Estructura progresiva del procedimiento

Nivel 1 – Comprensión básica.

Fundamentos operativos del ultrasonido

El ultrasonido corresponde a ondas acústicas de alta frecuencia que se propagan a través de un medio, estas emisiones pueden generarse a partir de distintos procesos físicos asociados al funcionamiento de los equipos.

Fenómenos como la fricción entre superficies, impactos mecánicos, turbulencia en el flujo de fluidos o descargas eléctricas producen liberación de energía acústica en el rango ultrasónico.

El ultrasonido aerotransportado permite detectar estas emisiones a distancia, ya que las ondas se propagan a través del aire y pueden ser captadas por sensores especializados.

SoundCam Ultra posee micrófonos que ayudan a captar estas emisiones mediante el principio de beamforming. El cuál permite localizar espacialmente la fuente de emisión acústica y representarla como un mapa acústico superpuesto sobre una imagen del entorno en tiempo real visualizando la intensidad de la emisión en colores.

Para intensidades altas amarillo y rojo y para intensidades bajas azul.

Equipo	Función
SoundCam Ultra	Detección de ultrasonido aerotransportado
Trípode (opcional)	Estabilidad en medición
Registro estandarizado	Documentación de resultados

Tabla 1 – Equipos y recursos utilizados en el procedimiento de medición.

Nivel 2 – Operación inicial del equipo**Verificación de las condiciones de seguridad**

- 1) Uso de EPP.
- 2) Distancia segura.
- 3) Ambiente controlado.

Encender SoundCam Ultra y verificar

- 1) Nivel de la batería.
- 2) Estado visual de los micrófonos, que no estén obstruidos o dañados.
- 3) Correcto inicio del sistema.
- 4) Disponibilidad de almacenamiento.

No se debe seguir al siguiente paso si el equipo no está operativo.

Lo primero que se deberá hacer al haber comprobado todo lo anterior es la creación de su perfil técnico, donde se almacenaran todas las evidencias del proceso ejecutado como, grabaciones y capturas.

Menú de inicio

Es la pantalla principal del sistema desde donde se accede a los distintos modos de funcionamiento del equipo.

Las principales opciones disponibles son:

- 1) LAN: conexión en red para transferencia de datos.
- 2) Normal mode: modo estándar de operación.
- 3) Easy mode: modo simplificado para inspecciones rápidas.
- 4) Leak detection: modo optimizado para detección de fugas.
- 5) Partial discharge: modo orientado a detección de descargas parciales.
- 6) Settings: acceso a configuración general del sistema.
- 7) File gallery: visualización de grabaciones y capturas almacenadas.
- 8) Shut down: apagado seguro del equipo.

Sistema inspeccionado	Modo recomendado	Propósito del modo
Sistema eléctrico	Partial Discharge	Orientado a la detección de descargas parciales, corona y tracking

Tabla 2 – Correspondencia entre tipo de sistema y modo de operación del SoundCam Ultra.

Posteriormente, se dará paso a la configuración de los parámetros del equipo.

Arriba del todo hay un menú superior, pero no se configura: solo muestra los parámetros visibles con los que estás trabajando.

Menú 1 - parte derecha

Distancia: Esta deberá ser ajustada dependiendo de cuanto sea la brecha de usted y el equipo inspeccionado en (cm). Se debe mantener una distancia constante durante todo el análisis.

Rango de frecuencia: Se iniciará con un rango amplio, las emisiones por ultrasonido empiezan desde los 20 kHz hacia adelante para luego ir ajustándolo progresivamente y así aislar la fuente acústica dominante, aunque no es necesario si ya sabe cuál es el rango de frecuencia de la emisión acústica que quiere analizar.

Escala de visualización: Se seleccionará entre el modo Auto, Smart o Manual según las condiciones del entorno. Estas escalas solo modifican la intensidad acústica que se observa en el mapa (la intensidad de colores).

Modo	Ajuste de escala	Estabilidad visual	Ideal para
Auto	Automático	Baja (variable)	Ajustar automáticamente la escala de colores según la intensidad acústica máxima detectada. Permite localizar rápidamente las zonas con alta emisión acústica, aunque esta cambia constantemente por lo que no es una gran opción si se requiere hacer comparaciones.
Smart	Automático estable	Media	Ajustar automáticamente con mayor estabilidad visual comprendiendo el ruido ambiental y permitiendo observar el fenómeno sin cambios extremos.
Manual	Fijado por el usuario	Alta	Un análisis comparativo y asegura la repetibilidad de las mediciones.

Tabla 3 – Modos de ajuste de escala y estabilidad visual del SoundCam Ultra.

Menú 2 - parte izquierda

Tipo de filtro	Función	Aplicación en la medición
Filtro paso bajo (Low-pass)	Permite el paso de frecuencias bajas y atenúa o elimina frecuencias altas.	Se utiliza cuando se desea reducir o eliminar ruido de alta frecuencia que puede interferir en la medición.
Filtro paso alto (High-pass)	Permite el paso de frecuencias altas y atenúa o elimina frecuencias bajas.	Se emplea para aislar fenómenos típicamente ultrasónicos y reducir componentes de baja frecuencia presentes en el ambiente o en el equipo.
Filtro paso banda (Band-pass)	Permite el paso de un intervalo específico de frecuencias definido entre un valor mínimo y máximo.	Se utiliza cuando se desea analizar un rango de frecuencia específico, aislando la emisión acústica de interés y reduciendo interferencias externas.

Tabla 4 – Modos de ajuste de filtros del SoundCam Ultra.

Tiempo de grabación: Se definirá cuál es el tiempo adecuado para cada análisis, las opciones disponibles corresponden a 10 s, 30 s y 60 s, hasta 180 s. Cada una cumpliendo la tarea específica mínima de lo que se requiera en un análisis más corto o largo.

Trigger: Esta función permite grabar antes, durante y después, ayudando a captar fenómenos intermitentes, sin la necesidad de mantener una supervisión constante sobre la emisión acústica.

Ltm: Permite una grabación de un tiempo extenso para análisis que requieran de más datos, útil cuando el fenómeno no es constante o tiene variaciones en el tiempo.

Una vez configurados los parámetros del equipo se deberá ejecutar la medición siguiendo con el orden lógico.

1) Posicionamiento

- 1) Ubicar SoundCam Ultra frente al equipo a analizar.
- 2) Confirmar que la distancia configurada se mantiene constante.

2) Concentración de la señal

Cuando se detecte una zona con concentración acústica.

- 1) Mantener posición fija.
- 2) Confirmar que la señal se mantiene estable durante el tiempo de grabación seleccionado.
- 3) Ajustar ligeramente el rango de frecuencia solo si se requiere mejorar la definición.

3) Repetibilidad

- 1) Retirar ligeramente el equipo.
- 2) Reposicionarlo en un ángulo diferente y repetir medición con la misma configuración.
- 3) Confirmar que el patrón reaparece en la misma ubicación.

4) Captura de evidencia

- 1) Realizar una captura de pantalla de la emisión acústica.
- 2) Guardar la grabación correspondiente.
- 3) Registrar parámetros utilizados.

No se procederá a la identificación del fenómeno sin evidencia guardada.

Nivel 3 – Identificación del fenómeno acústico

Parámetro	Frecuencia
Intensidad acústica	durante medición
Patrón acústico	durante medición
Ruido ambiental	antes de medición
Distancia	cada medición

Tabla 5 – Parámetros de observación y frecuencia de medición.

1) Análisis de la distribución de intensidad acústica

Lo primero será analizar la distribución espacial de la intensidad acústica representada en el mapa de colores de la imagen durante la medición, identificando las zonas donde se concentra la mayor energía ultrasónica.

La concentración del color dominante permite localizar el punto o zona de mayor emisión acústica, lo que facilita la identificación del origen del fenómeno observado.

2) Análisis del comportamiento geométrico

Tipo de patrón	Descripción técnica	Representación visual
Patrón puntual	Corresponde a una concentración localizada de la emisión acústica en un punto específico del componente o sistema analizado.	Se observa como un punto de color intenso y bien definido en el mapa acústico.
Patrón lineal	La emisión acústica se genera a lo largo de una zona extendida, siguiendo una trayectoria o línea continua dentro del componente analizado.	Se visualiza como una franja o trazo continuo que sigue la dirección del fenómeno acústico.
Patrón difuso	La emisión acústica no presenta un foco claro y se distribuye de manera amplia dentro o alrededor del componente evaluado.	Se observa como una mancha de intensidad menos definida, con bordes irregulares y sin un centro claramente identificado.

Tabla 6 – Clasificación de patrones geométricos de emisión acústica.

3) Comportamiento temporal

Una vez identificado el patrón, se analizará su comportamiento a lo largo del tiempo, determinando si corresponde a:

- 1) Continua: No se interrumpe.
- 2) Intermitente: Aparece y desaparece.
- 3) Pulsante: Se repite en intervalos.
- 4) Fluctuante: Varía en intensidad.

Una vez analizados estos puntos, se procederá a asociar la señal con el fenómeno acústico correspondiente, esta solo se realizará cuando exista coherencia entre el patrón, comportamiento temporal y el tipo de sistema.

Fenómeno	Patrón típico	Comportamiento temporal	Característica acústica	Sistema asociado
Descarga parcial	Puntual o lineal superficial	Intermitente o pulsante	Descargas de baja intensidad repetitivas	Equipos eléctricos energizados, sistemas de aislamiento
Corona	Difuso o lineal alrededor del conductor	Continuo o pulsante	Emisión eléctrica sostenida de baja intensidad	Conductores y equipos de alta tensión
Tracking	Lineal sobre superficie aislante	Intermitente irregular	Descarga superficial progresiva	Aisladores contaminados o húmedos
Arco eléctrico	Puntual de alta intensidad	Emisiones intensas de corta duración	Descarga eléctrica de alta energía	Conexiones defectuosas, contactos eléctricos

Tabla 7 – Caracterización de fenómenos acústicos eléctricos.

Factores que afectan la detección de emisiones acústicas en sistemas eléctricos

- 1) Nivel de tensión del sistema.
- 2) Condición del aislamiento eléctrico.
- 3) Contaminación superficial en aisladores.
- 4) Presencia de humedad o condensación.
- 5) Geometría de conductores y terminales.
- 6) Distancia entre conductores energizados.
- 7) Estado de conexiones o empalmes eléctricos.
- 8) Condiciones del campo eléctrico en el sistema.

Nivel 4 – Correlación fenómeno – condición

El operador deberá asociar el fenómeno acústico identificado con la condición generadora probable del sistema inspeccionado, considerando fenómeno acústico identificado, la ubicación física de la emisión y el comportamiento general observado durante la medición.

Condiciones generadoras en sistemas eléctricos
Contaminación superficial
Humedad
Alta tensión

Tabla 8 – Condición generadora para el sistema eléctrico.

Criterio de la formulación

La condición generadora probable solo se establecerá cuando corresponda lógicamente con el fenómeno detectado y una condición conocida del sistema.

Limitación del diagnóstico

SoundCam Ultra detecta emisiones acústicas (fenómenos acústicos), pero no identifica de manera directa la causa que las origina (condiciones generadoras), por lo tanto, el diagnóstico que se formule estará emitido como causa probable y podrá requerir su verificación mediante otras técnicas como la termografía o el análisis de vibraciones ya que finalmente el ultrasonido aerotransportado no es la técnica definitiva sino una técnica complementaria.

Redacción del diagnóstico

El diagnóstico deberá ser registrado obligatoriamente en la plantilla de registro estandarizada correspondiente.

Identificación de riesgos del procedimiento

Con el fin de asegurar la consistencia y repetibilidad del procedimiento, se identifican los principales riesgos asociados a la ejecución de mediciones mediante ultrasonido aerotransportado:

- 1) Interpretación incorrecta del patrón acústico.
- 2) Configuración inadecuada de los parámetros.
- 3) Interferencia por ruido ambiental.
- 4) Correlación errónea entre fenómeno acústico y condición generadora.
- 5) Registro incompleto o inconsistente con los resultados.

Cualquiera de estas situaciones puede comprometer la confiabilidad de la medición, afectar la repetibilidad de los resultados y generar inconsistencias en la correlación entre el fenómeno acústico identificado y la condición generadora propuesta. Por ende, el diagnóstico podría verse alterado afectando la coherencia metodológica del procedimiento.

Para evitar estos riesgos se establecen los siguientes controles:

- 1) Verificar nuevamente la configuración.
- 2) Aplicación obligatoria del esquema secuencial de niveles desde el uno al cuatro.
- 3) Confirmación visual del patrón geométrico.
- 4) Repetición de mediciones en caso de duda técnica.

Responsabilidades

Operador/Estudiante: Es el responsable de ejecutar el procedimiento técnico establecido en el instructivo, cumpliendo con las condiciones de seguridad, configuración, medición, identificación y diagnóstico definidas en los distintos niveles.

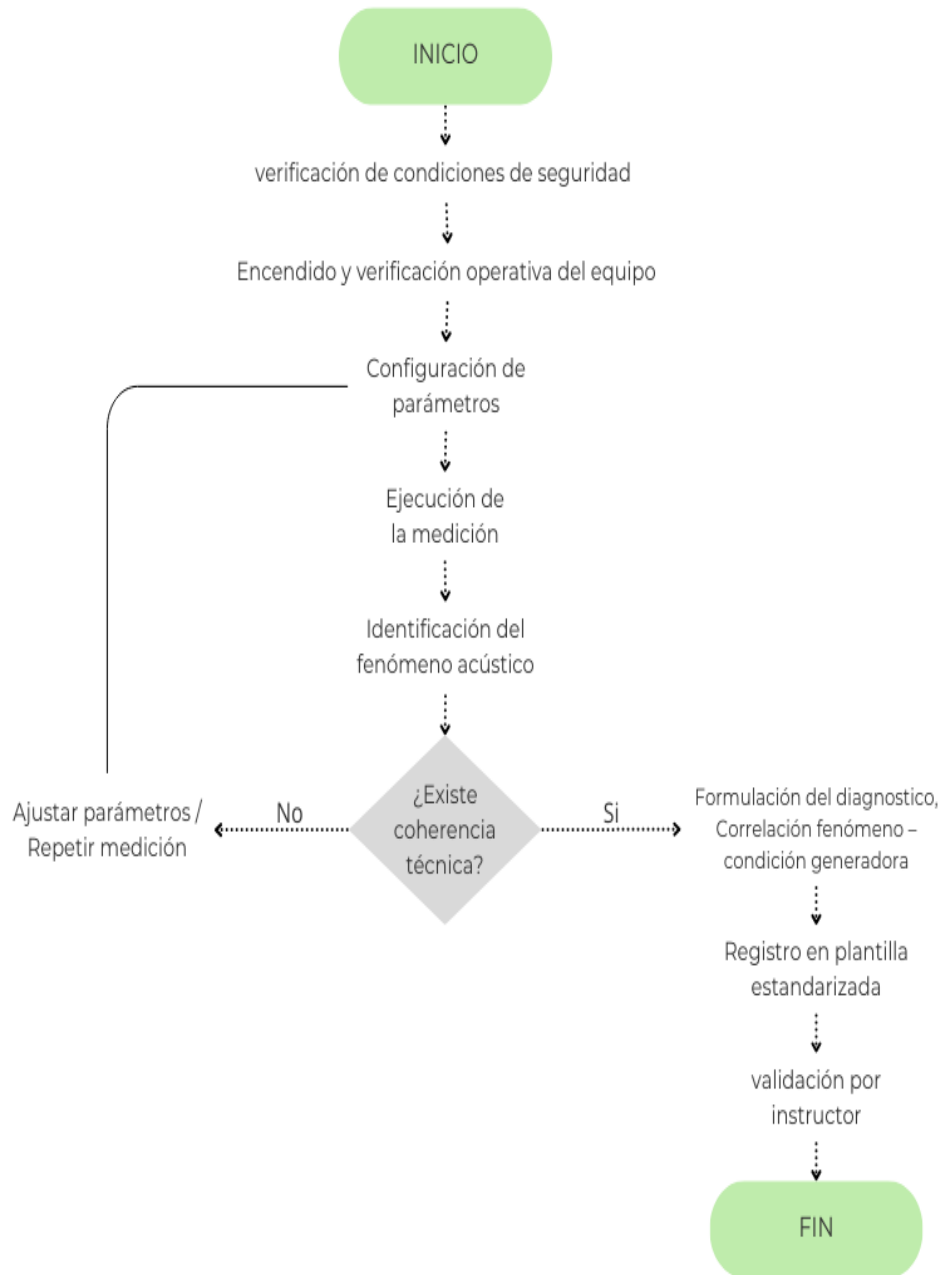
Deberá aplicar correctamente los parámetros operativos del equipo SoundCam Ultra conforme a lo indicado y mantener una conducta ordenada durante toda la medición para garantizar que la identificación del fenómeno acústico y la formulación de la condición generadora probable se encuentren fundamentadas en la evidencia obtenida. Además, será responsable de completar la plantilla de registro estandarizada, asegurando la trazabilidad, consistencia y claridad de la información documentada.

No podrá omitir etapas del procedimiento ni realizar conclusiones sin respaldo técnico derivado de la medición realizada.

Instructor/Supervisor: Será el responsable de velar por el correcto desarrollo de la actividad práctica, verificando que el estudiante aplique el instructivo conforme a lo establecido en cada uno de sus niveles. Además, deberá supervisar el cumplimiento de las condiciones de seguridad y estandarización, orientar cuando corresponda dentro del contexto formativo y evaluar objetivamente el desempeño del estudiante mediante el checklist de validación definido para la actividad.

Asimismo, será responsable de revisar la coherencia técnica entre el fenómeno identificado, la condición generadora propuesta y el registro documental efectuado, validando finalmente la completitud del proceso mediante su firma y aprobación formal.

Responsable académico del laboratorio: Será responsable de autorizar y coordinar el uso del equipo SoundCam Ultra en actividades académicas, asegurando su disponibilidad operativa. Deberá garantizar que el procedimiento se encuentre disponible y que el uso del equipo se realice conforme a lo establecido en el instructivo y en el Anexo B – Plantilla de registro estandarizada.

Diagrama de flujo del procedimiento

Registros

Con el fin de asegurar la trazabilidad, repetibilidad y verificación del procedimiento, se establecen como registros obligatorios asociados al presente instructivo los siguientes documentos.

La plantilla de registro estandarizada, utilizada para inspecciones con SoundCam Ultra, permite que el estudiante u operador documente los parámetros configurados durante la medición, la evidencia obtenida y la identificación de fenómenos acústicos y condiciones generadoras probables.

La utilización de estos registros forma parte del proceso estandarizado definido en el presente instructivo. La estandarización permite asegurar la repetibilidad de las mediciones, la comparabilidad de los resultados y la identificación de oportunidades de mejora en la aplicación del procedimiento.

El formato correspondiente se presenta en el Anexo B – Plantilla de registro estandarizada - inspecciones con SoundCam Ultra.

Seguimiento y evaluación del desempeño del procedimiento

Con el fin de verificar la eficacia del procedimiento y su correcta aplicación en contexto formativo, el desempeño podrá evaluarse mediante indicadores observables asociados a:

- 1) Porcentaje de configuraciones correctas.
- 2) Número de fenómenos correctamente identificados.
- 3) Nivel de asistencia requerida.
- 4) Completitud y calidad de los registros generados.
- 5) Repetibilidad intergrupal.

La revisión de estos indicadores permite identificar oportunidades de mejora metodológica y fortalecer la confiabilidad en el procedimiento ayudando al proceso formativo.

Lista de distribución

El presente instructivo técnico estará disponible para su utilización en actividades formativas asociadas a la asignatura correspondiente del área de mantenimiento industrial.

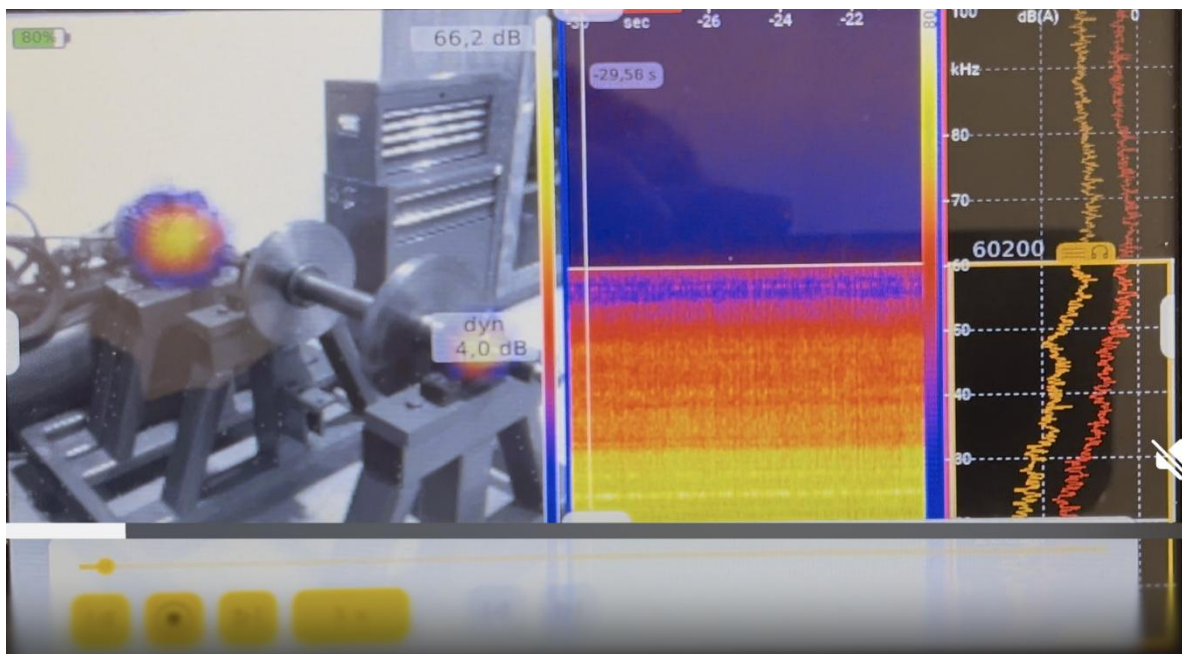
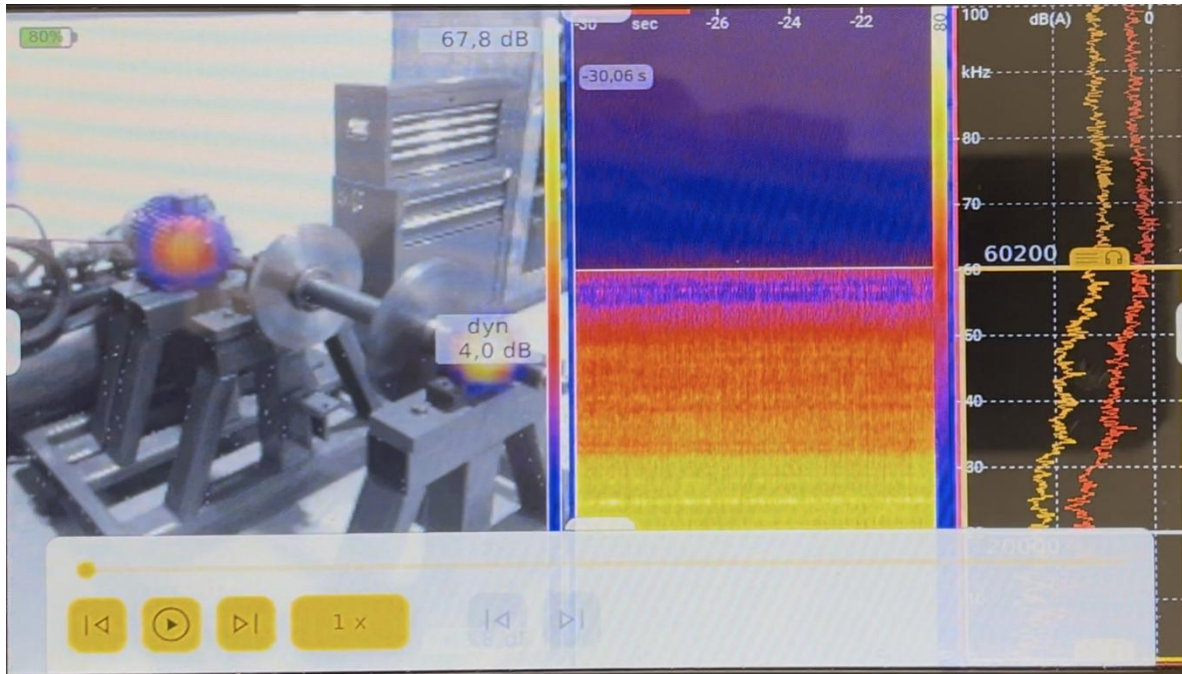
El documento será distribuido en formato digital a los estudiantes que participen en actividades prácticas relacionadas, así como al instructor o supervisor responsable de su aplicación y validación.

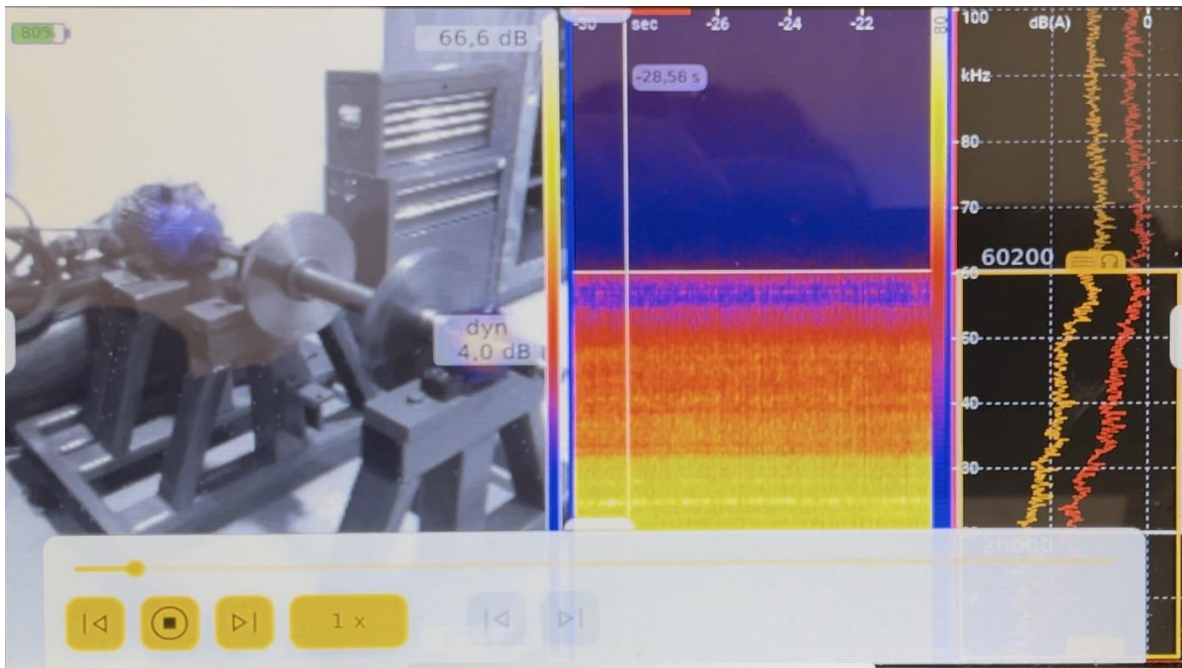
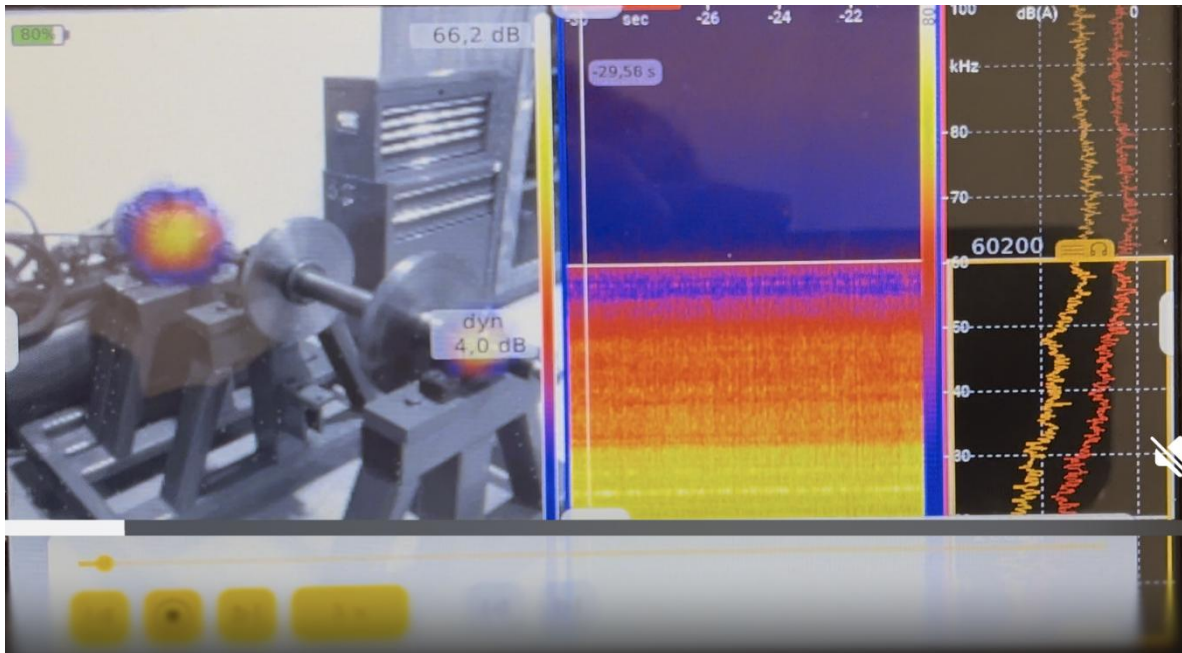
La versión vigente del instructivo deberá mantenerse disponible en los medios académicos oficiales definidos por la institución, asegurando que los usuarios accedan únicamente a la versión actualizada del documento.

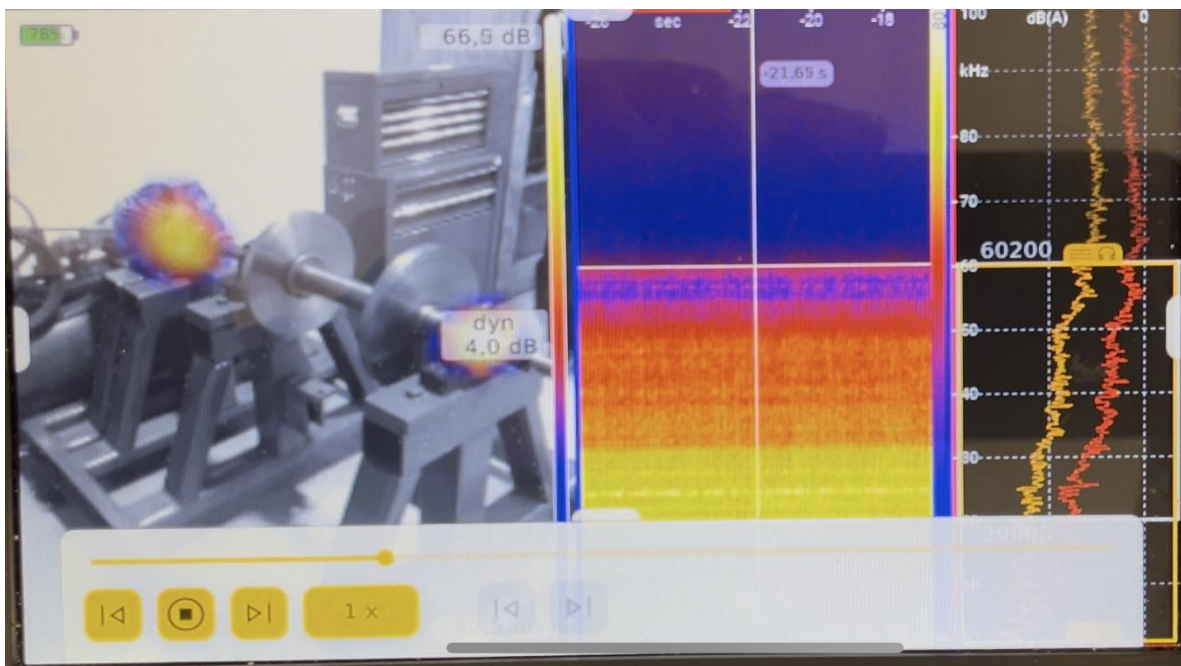
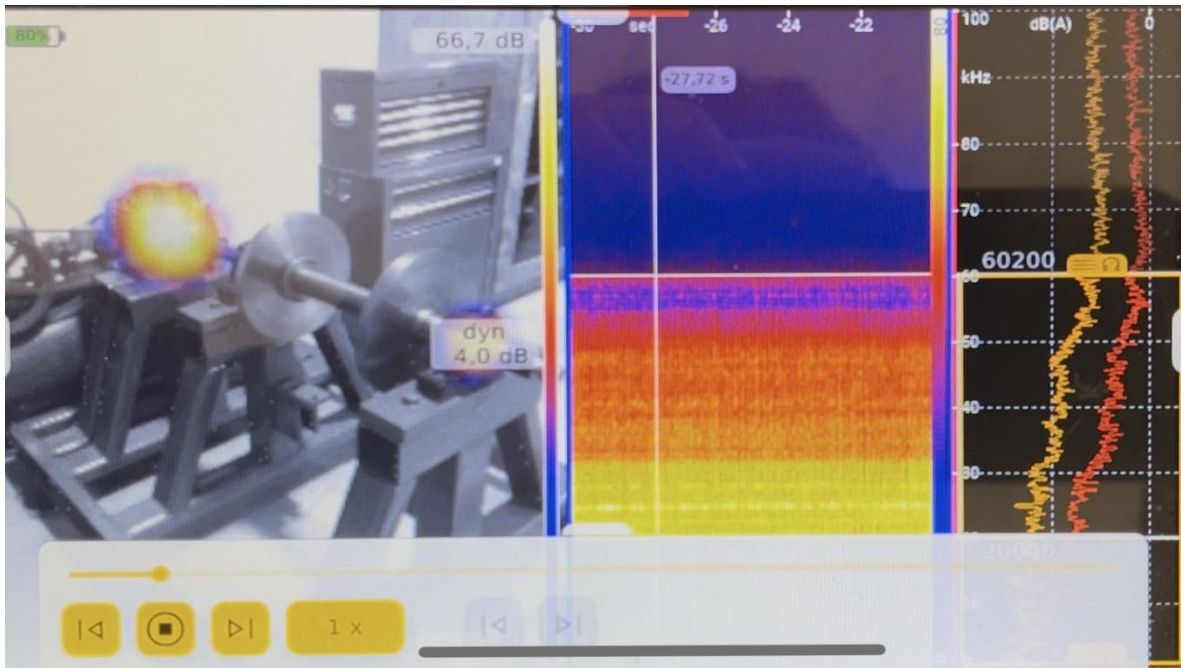
Cualquier modificación o actualización del instructivo deberá quedar registrada en el control de versión correspondiente.

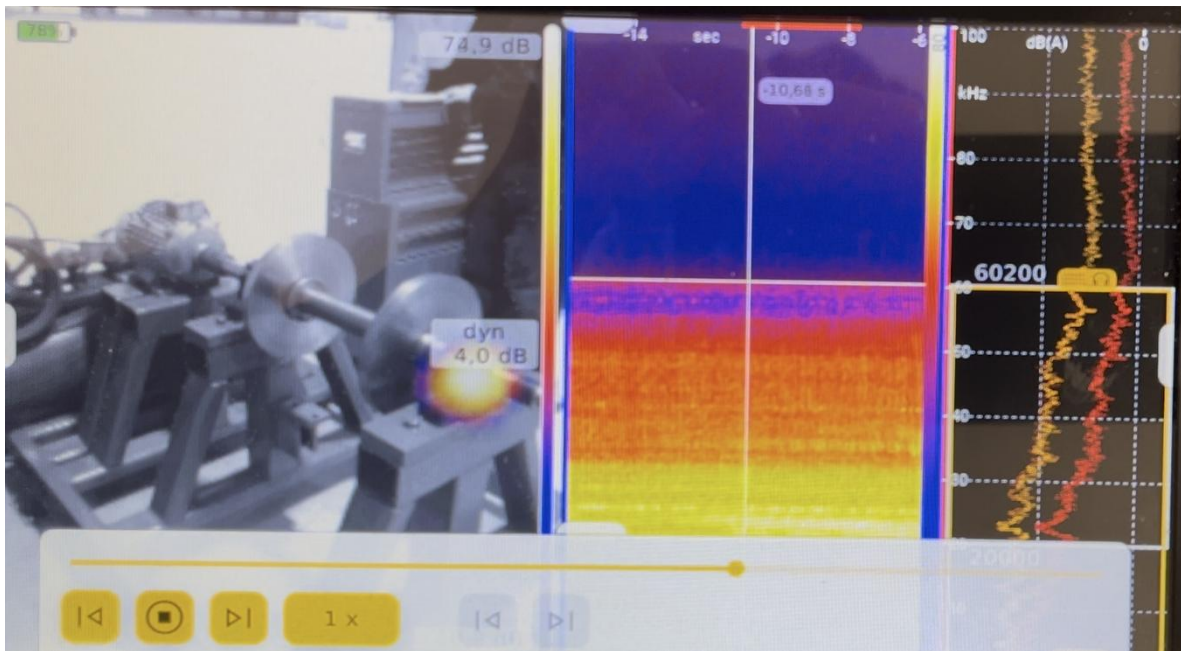
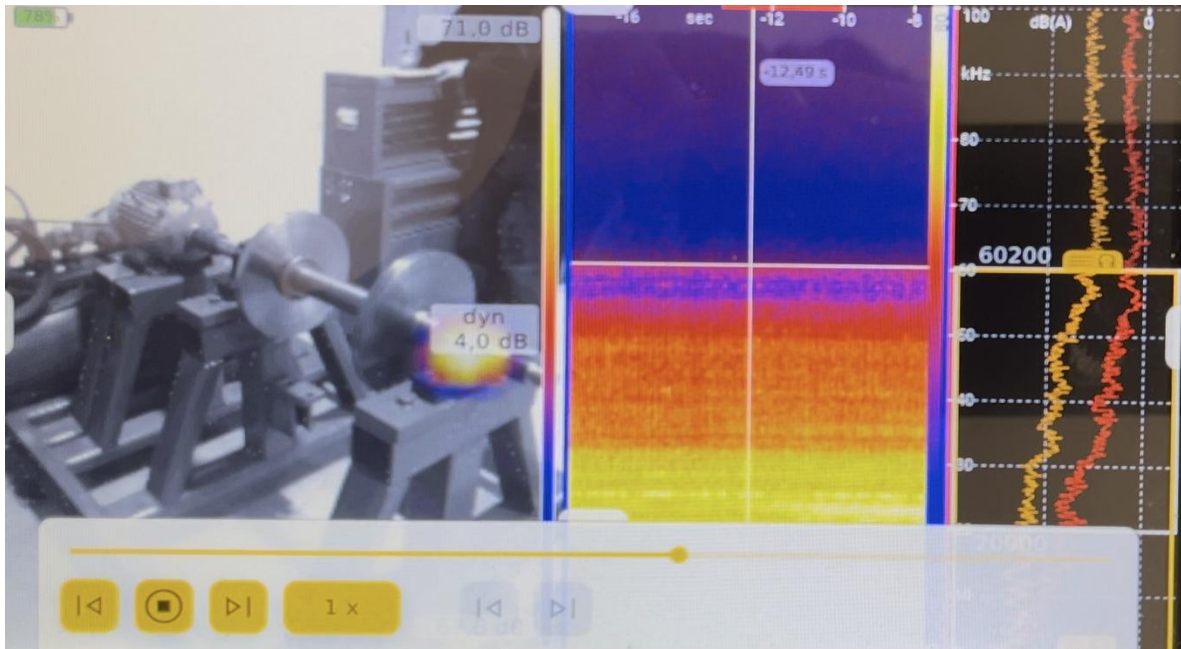
Anexo G

Capturas y mapas acústicos por parte del estudiante



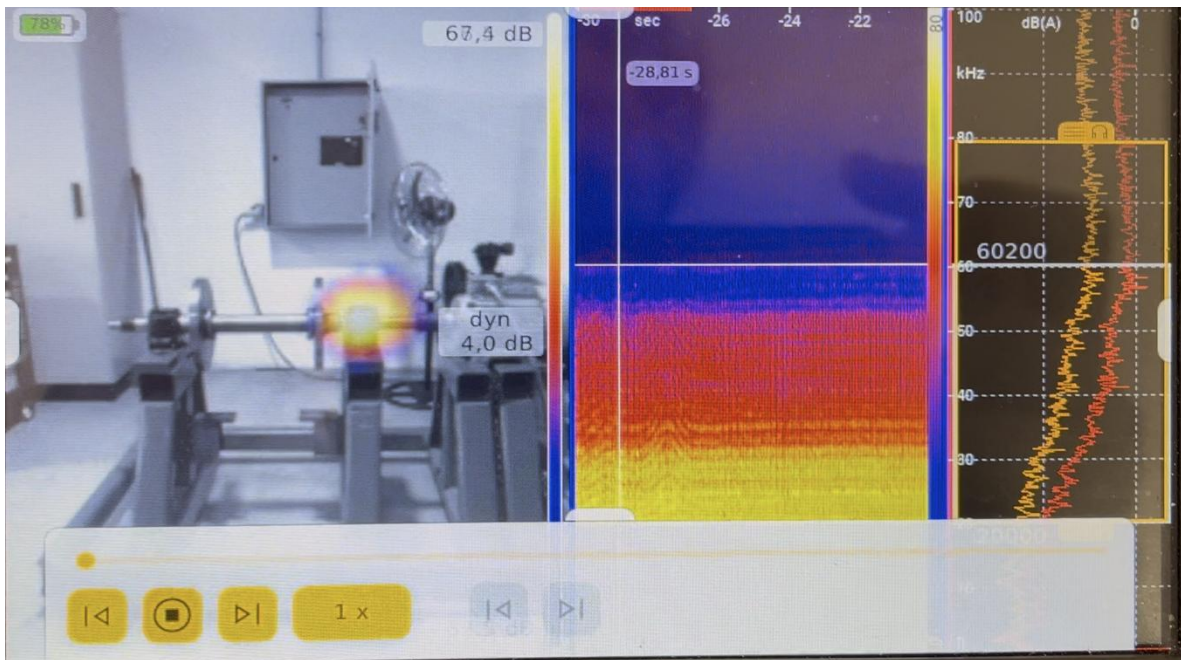
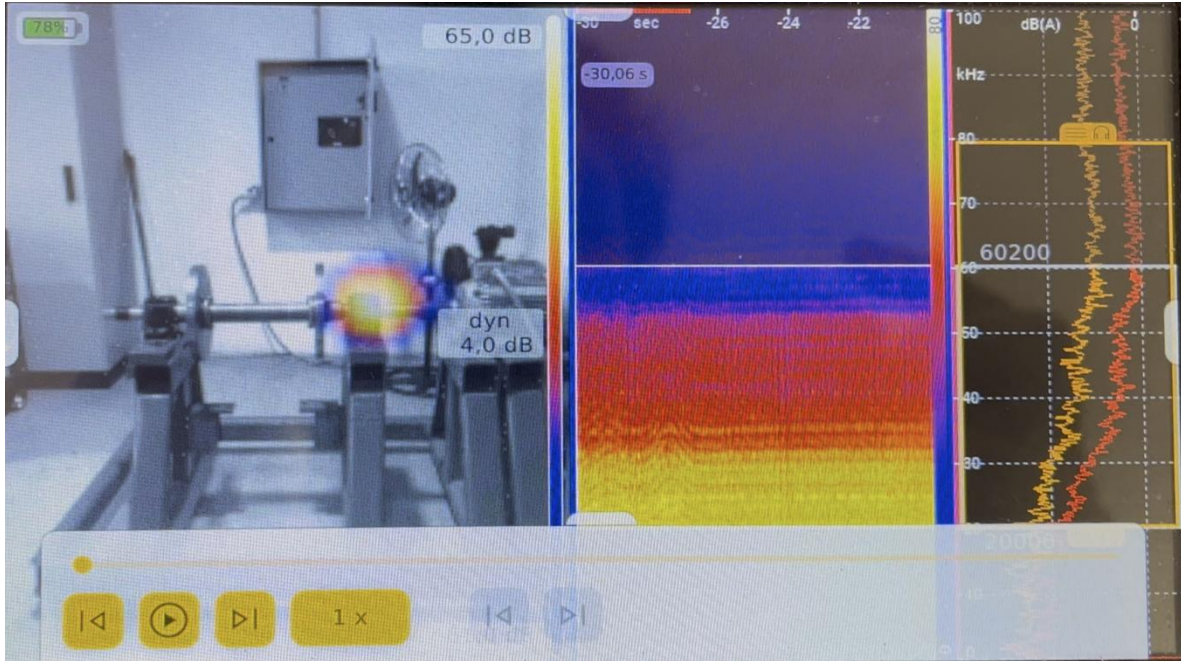


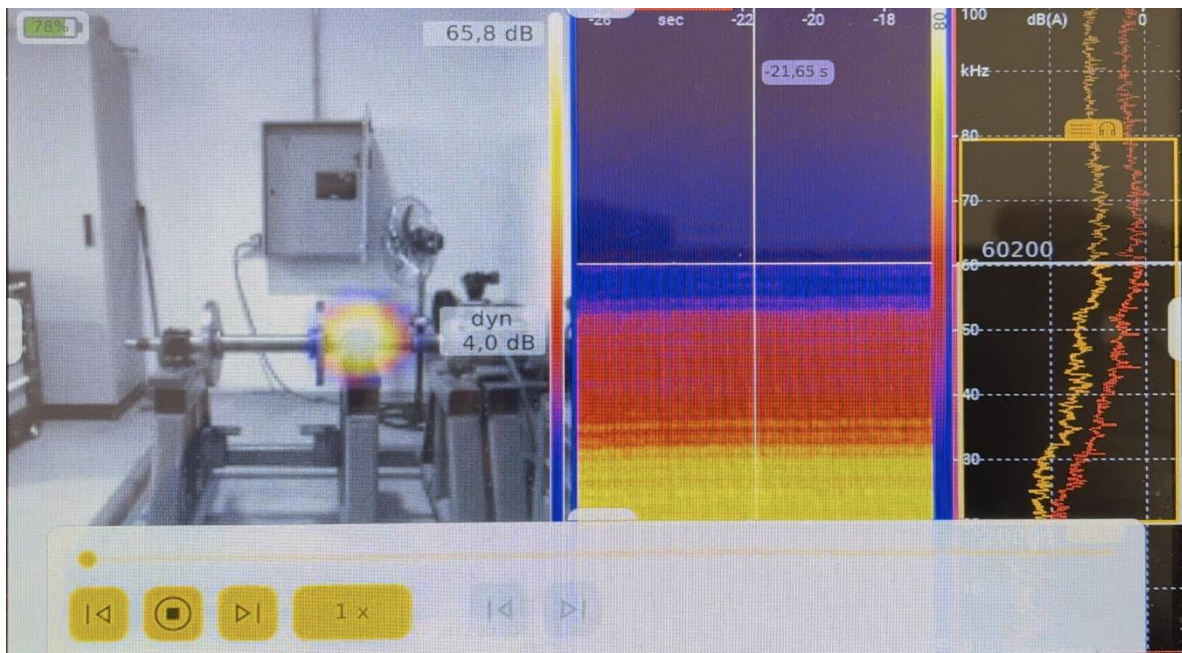
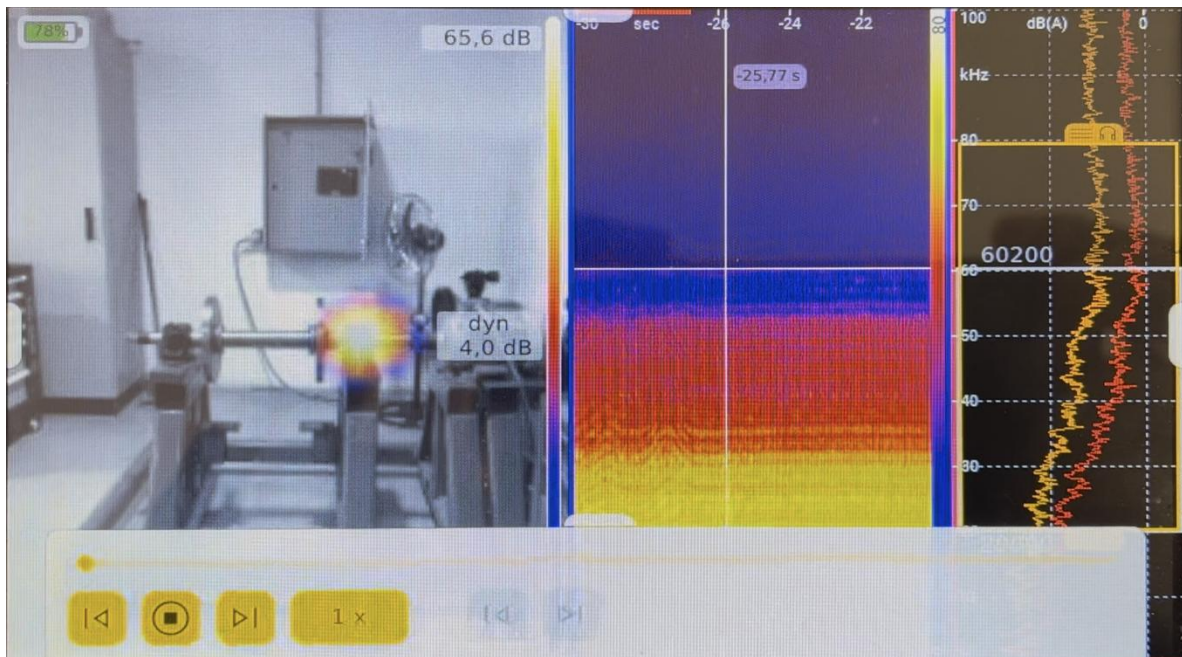


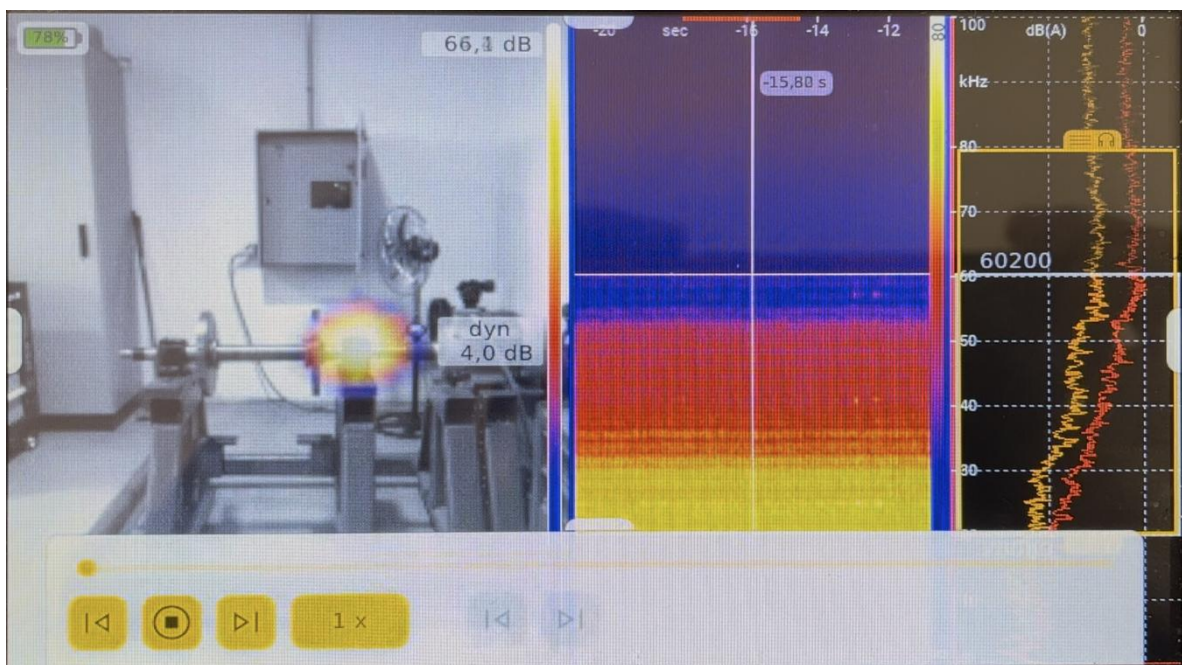


Anexo H

Segunda medición por parte del estudiante cambiando el Angulo de la cámara









Anexo I

Medición efectuada por el evaluador para contrastar la del alumno, (no evaluada y fuera de la actividad)

