

**EVALUACIÓN DE FONDO DE TANQUES MEDIANTE LA TÉCNICA DE
EMISIÓN ACÚSTICA Y FACTORES QUE AFECTAN LA ADQUISICIÓN
DE DATOS**



JUAN PABLO CHANDIA

PROYECTO INTEGRADOR FINAL

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del

Comahue como requisito para la obtención del grado de

INGENIERO MECÁNICO

Neuquén - Argentina

AÑO 2025

**EVALUACIÓN DE FONDO DE TANQUES MEDIANTE LA TÉCNICA DE
EMISIÓN ACÚSTICA Y FACTORES QUE AFECTAN LA ADQUISICIÓN DE
DATOS**

JUAN PABLO CHANDIA

Director: Ing. DANIEL RODOLFO BOCCANERA

Co-director: Ing. CARLOS CANAL

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue como
requisito para la obtención del grado de
INGENIERO MECÁNICO

Neuquén - Argentina

AÑO 2025

**EVALUACIÓN DE FONDO DE TANQUES MEDIANTE LA TÉCNICA DE
EMISIÓN ACÚSTICA Y FACTORES QUE AFECTAN LA ADQUISICIÓN DE
DATOS**

JUAN PABLO CHANDIA

Aprobado en fecha 18 de agosto de 2025

Tribunal evaluador:

- Dra. SAUGO, Melisa
- Dr. CÓRDOBA, Matías
- Ing. GONZÁLEZ, Gerardo

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por estar siempre ahí, brindándome su apoyo incondicional.

A mis padres, quienes han sido fundamentales en la formación de la persona que soy hoy.

A mis compañeros de estudios, con quienes compartí esta carrera y que, aunque fue la carrera la que nos unió, el paso del tiempo nos hizo hermanos.

Agradezco especialmente a Daniel y Carlos por su invaluable ayuda en este trabajo.

A mis compañeros y a todo el equipo de la OAT, donde desarrollé el presente trabajo y compartí más de siete años de experiencias inolvidables.

A mi abuela Isabel, quien me enseñó que el título más valioso y significativo proviene del corazón.

EVALUACIÓN DE FONDO DE TANQUES MEDIANTE LA TÉCNICA DE EMISIÓN ACÚSTICA Y FACTORES QUE AFECTAN LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Autor: JUAN PABLO CHANDIA

Director: DANIEL RODOLFO BOCCANERA

Co-Director: CARLOS CANAL

Resumen

Debido a la naturaleza inherente de la actividad hidrocarburífera, esta presenta riesgos significativos para equipos, instalaciones, la salud de las personas, y el medio ambiente. El almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados en tanques, debido a los grandes volúmenes implicados, conlleva uno de los mayores riesgos potenciales en yacimientos, plantas, locaciones y refinerías. Por lo tanto, es crucial realizar controles periódicos para evaluar la integridad de los recipientes que almacenan estos productos.

Una de las áreas más críticas y difíciles de acceder para la inspección en los tanques de almacenamiento de hidrocarburos es el fondo. Existe una técnica de ensayo no destructivo, llamada “Emisión Acústica”, que permite evaluar la condición del fondo sin necesidad de sacar el tanque de servicio ni limpiarlo.

Este trabajo refleja la experiencia adquirida durante más de cuatro años en la aplicación de la técnica para evaluar pisos de tanques en diversas regiones del país. Se estudian varios casos donde factores externos al mecanismo de daño del piso afectan directamente los resultados del ensayo. El objetivo es realizar un análisis exhaustivo, evaluación y conclusiones de los ensayos realizados en el fondo de tanques que presentaron estas particularidades. Estas experiencias pretenden establecer precedentes importantes para futuras investigaciones y aplicaciones de la técnica.

Palabras clave: Almacenamiento de hidrocarburos; evaluación de integridad de tanques; evaluación de pisos de tanques; emisión acústica; señales; eventos

TANK BOTTOM EVALUATION USING THE ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUE AND FACTORS AFFECTING DATA ACQUISITION

Author: JUAN PABLO CHANDIA

Advisor: DANIEL RODOLFO BOCCANERA

Co-Advisor: CARLOS CANAL

Summary

Due to the inherent nature of hydrocarbon activities, they pose significant risks to equipment, facilities, human health, and the environment. The storage of hydrocarbons and their derivatives in tanks, due to the large volumes involved, entails one of the highest potential risks in fields, plants, locations, and refineries. Therefore, it is crucial to conduct periodic checks to assess the integrity of vessels storing these products.

One of the most critical and challenging areas to inspect in hydrocarbon storage tanks is the bottom. There is a non-destructive testing technique called “Acoustic Emission” that allows the assessment of the bottom's condition without the need to take the tank out of service or clean it.

This work reflects the experience gained over more than four years in applying the technique to evaluate tank bottoms in various regions of the country. Several cases are studied where external factors to the bottom damage mechanism directly affect the test results. The aim is to provide a comprehensive analysis, evaluation, and conclusions of the tests conducted on tank bottoms that exhibited these particularities. These experiences aim to establish significant precedents for future research and applications of the technique.

Keywords: Hydrocarbon storage; tank integrity assessment; tank floor evaluation; acoustic emission; signals; events

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	4
2.1.	OBJETIVOS GENERAL	4
2.2.	OBJETIVOS PARTICULARES	4
3.	MARCO TEÓRICO.....	6
3.1.	HISTORIA Y DESARROLLO DE LA EMISIÓN ACÚSTICA.....	6
3.2.	TEORÍA.....	7
3.2.1.	DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA EMISIÓN ACÚSTICA	7
3.2.2.	CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN ACÚSTICA	8
3.2.3.	ONDAS ELÁSTICAS. TIPOS Y PROPAGACIÓN	10
3.2.4.	ATENUACIÓN DE ONDA.....	13
3.2.5.	TIPOS DE SEÑALES DE EMISIÓN ACÚSTICA Y CARACTERIZACIÓN .	14
3.2.6.	TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN DE FUENTES	18
3.2.7.	SENSORES DE EMISIÓN ACÚSTICA.....	20
3.2.8.	INSTALACIÓN DE SENSORES.....	22
3.2.9.	ENSAYO DE EMISIÓN ACÚSTICA EN FONDO DE TANQUE.....	23
4.	METODOLOGÍA	37
4.1.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
4.2.	EQUIPAMIENTO	38
4.3.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	41
4.3.1.	CONDICIONES NORMATIVAS Y LIMITACIONES.....	41
4.3.2.	ETAPAS DEL ENSAYO.....	41
4.3.3.	BASE DE DATOS	48

5.	DESARROLLO	49
5.1.	EFFECTOS EN EL TIEMPO DE REPOSO DEL FLUIDO.....	49
5.2.	EFFECTO DEL VIENTO EN LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO	56
5.3.	EFFECTO DEL RUIDO ELÉCTRICO.....	63
5.4.	EFFECTO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO ACTIVOS	71
5.5.	CIERRE PARCIAL DE VÁLVULA	76
5.6.	ENSAYO DE CORROSIÓN ACTIVA. VERIFICACIÓN CON APERTURA DE TANQUE	82
6.	CONCLUSIONES GENERALES FINALES	87
7.	BIBLIOGRAFÍA	89
8.	ANEXO I	90
9.	ANEXO II.....	100
10.	ANEXO III.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema básico de instrumentación	3
Figura 2- a) Ondas longitudinales b) Ondas transversales c) Ondas superficiales	12
Figura 3- Ondas de Lamb	13
Figura 4- Ondas de Love.....	13
Figura 5- Señales transitorias o discretas.....	14
Figura 6- Señales continuas	15
Figura 7- Caracterización de señales transitorias. Extraído de [8]	18
Figura 8 - Tiempo de llegada entre dos sensores.....	19
Figura 9 - Ubicación espacial con 3 sensores	19
Figura 10- visualización de localización con software	20
Figura 11- Distribución de sensores	28
Figura 12- Distribución de sensores	28
Figura 13- Dispositivo Hsu-Nielsen	30
Figura 14- Determinación de umbral.....	31
Figura 15 Equipo de emisión acústica	39
Figura 16- sensores VS30-SIC-46dB.....	40
Figura 17- sistema de fijación MAG4SI.....	40
Figura 18- Ruido de fondo.....	44
Figura 19- Prueba válida de Hsu-Nielsen	45
Figura 20- Configuración del localizado de eventos	46
Figura 21- Configuración de clústeres	47
Figura 22- Distribución de sensores	50
Figura 23- Fotografía del tanque ensayado.....	50
Figura 24- Ruido de fondo con 2 hs de reposo	51
Figura 25- Ruido de fondo con 24 hs de reposo	51
Figura 26- eventos localizados con 2hs de reposo.....	52
Figura 27- clústeres formados con 2 hs de reposo.....	52
Figura 28- Lista de clústeres	53
Figura 29- Eventos localizados con 24 de reposo.....	53

Figura 30- Clústeres formados con 24 hs de reposo	54
Figura 31- Lista de clústeres	54
Figura 32- Diferencias en la actividad acústica con diferente tiempos de reposo.	54
Figura 33- Distribución de sensores	57
Figura 34- Tanque ensayado.....	57
Figura 35- ruido de fondo con viento más intenso	58
Figura 36- Ruido de fondo con menor intensidad de viento.....	58
Figura 37- Eventos localizados con mayor intensidad de viento. 253 eventos localizados	59
Figura 38- Eventos localizados con menor intensidad de viento. 17 eventos localizados	59
Figura 39- Clústeres formados con viento de mayor intensidad.....	60
Figura 40- Lista de clustres formadas con vientos de mayor intensidad	60
Figura 41- Actividad acústica con viento de menor intensidad.....	61
Figura 42- Distribución geométrica de la instalación	62
Figura 43- Distribución de sensores	64
Figura 44- Tanque ensayado.....	64
Figura 45- Ruido de fondo.....	65
Figura 46- Eventos localizados.....	66
Figura 47 - Clústeres formados en el periodo de ensayo	66
Figura 48- Listado de clústeres formados en el periodo de ensayo	66
Figura 49- Telemedición del tanque	67
Figura 50- Ruido de fondo sin perturbaciones eléctricas.....	68
Figura 51- Eventos localizados.....	68
Figura 52- Clústeres formados en el periodo de ensayo	69
Figura 53- Listado de clústeres	69
Figura 54- Tanque ensayado.....	71
Figura 55- Distribución de ánodos.....	72
Figura 56- Distribución de sensores	72
Figura 57- Eventos localizados.....	73
Figura 58- Distribución de los eventos localizados	74
Figura 59 - Distribución de ánodos y eventos localizados	74
Figura 60- Distribución de sensores	77

Figura 61 - Tanque ensayado	77
Figura 62 - Ruido de fondo antes de la prueba	78
Figura 63 - Eventos localizados	78
Figura 64 - Distribución de eventos localizados	79
Figura 65 - Lista de clústeres	79
Figura 66- Distribución de eventos son filtro de radio	80
Figura 67- Línea de entrada de producto y distribución de sensores.....	80
Figura 68- Distribución de sensores	82
Figura 69- Tanque Ensayado	83
Figura 70- Ruido de fondo.....	83
Figura 71- Ruido de fondo durante la prueba	84
Figura 72- Eventos Localizados.....	84
Figura 73- Clúster formado durante el ensayo.....	85
Figura 74- Lista de clústeres	85
Figura 75- Fuente de Emisión Acústica.....	86
Figura 76- solapa de ensayos realizados	104
Figura 77- Carga de ensayos.....	105

1. INTRODUCCIÓN

La industria hidrocarburífera en la región del Comahue tiene un impacto socioeconómico y ambiental significativo. Debido a la naturaleza intrínseca de esta actividad, existe un potencial considerable de riesgo para los equipos, instalaciones, la salud de las personas y el medio ambiente.

El almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados, dada la magnitud de los volúmenes involucrados, representa uno de los mayores riesgos en yacimientos, plantas, locaciones y refinerías. Por lo tanto, es crucial realizar controles periódicos para evaluar la integridad de los recipientes que contienen estos productos.

En respuesta a esta necesidad, en 2005 la Secretaría de Energía de la Nación emitió la Resolución 785/05 [1], aprobando y poniendo en marcha el "Programa Nacional de Control de Pérdidas de Tanques Aéreos de Almacenamiento de Hidrocarburos y sus Derivados". Los principales objetivos de esta resolución son:

- Realizar un censo para evaluar la cantidad y el estado de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados en Argentina.
- Implementar controles rutinarios de integridad en dichos tanques.
- Efectuar controles para prevenir pérdidas de hidrocarburos y mitigar sus efectos ambientales.
- Impulsar, verificar y controlar que las operadoras de hidrocarburos adopten medidas adecuadas para prevenir, corregir y contener la contaminación.

En 2008, el MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS emitió la Resolución 266/2008 [2], otorgando a las Universidades Nacionales el poder de realizar Auditorías Técnicas, Ambientales y de Seguridad en áreas como almacenaje, bocas de expendio, plantas de procesamiento y refinerías, entre otras instalaciones relacionadas con hidrocarburos.

El 18 de diciembre de 2009, mediante la Resolución SE 1122/09 [3], la Universidad Nacional del Comahue quedó formalmente inscrita en el registro de Universidades Nacionales para realizar auditorías técnicas, ambientales y de seguridad. En 2010, en este contexto y dentro de la Facultad de Ingeniería, se creó el grupo de Organización de Auditorías Técnicas (OAT).

En las inspecciones de tanques de almacenamiento verticales sobre superficie, el fondo del tanque representa la parte más crítica y sensible a evaluar. Es aquí donde los procesos corrosivos pueden causar los daños más graves, incluyendo posibles perforaciones con derrame de producto y consecuente impacto ambiental. Además, el acceso limitado a la superficie inferior del fondo, en contacto directo con la base donde se asienta el tanque, añade complejidad a estas evaluaciones.

Por lo tanto, es evidente la necesidad de contar con métodos que permitan evaluar adecuadamente el estado de integridad de los fondos de los tanques. Uno de estos métodos es la técnica de ensayo no destructivo conocida como "Emisión Acústica" (EA).

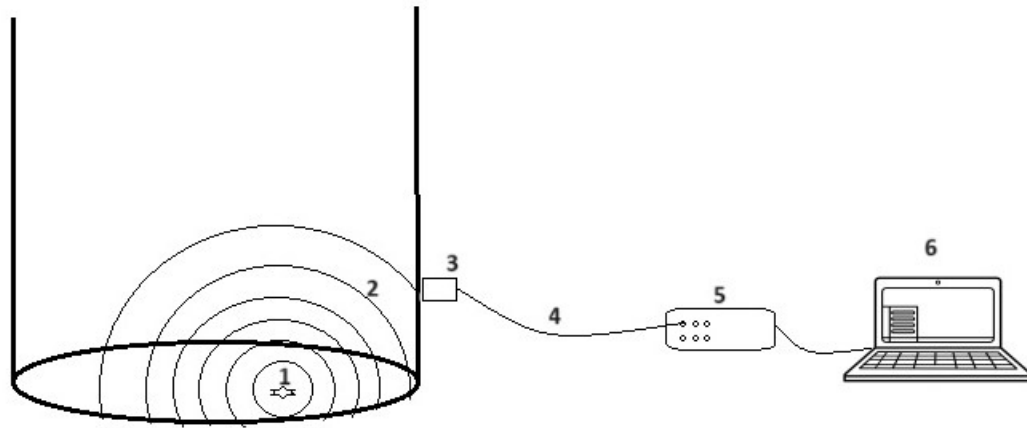
La "Emisión Acústica" se puede definir como la liberación espontánea de energía en forma de ondas elásticas transitorias dentro de un material cuando este es sometido a esfuerzos [3].

La aplicación de esfuerzos o condiciones ambientales desfavorables, pueden producir cambios en su estructura interna, tales como el crecimiento de fisuras, deformación plástica, procesos corrosivos, etc. Estos fenómenos están acompañados de la emisión de ondas elásticas en su interior. En otras palabras, podemos decir que materiales con algún defecto en su interior, al ser sometidos a esfuerzos generan señales de emisión acústica. [4]

Con el equipamiento adecuado, estas señales pueden ser detectadas y mediante técnicas sísmicas localizar las fuentes de dichas señales. De esta manera, es posible realizar una evaluación cuantitativa del daño en el fondo del tanque y determinar su ubicación precisa (ver Figura 1).

El presente trabajo tiene como objetivo analizar, evaluar y extraer conclusiones de los ensayos realizados en fondos de tanques que presentaron características específicas de interés, con el fin de establecer precedentes para futuros estudios, en virtud de la escasa bibliografía disponible sobre los ensayos aquí documentados.

Los ensayos fueron llevados a cabo conforme a lo establecido en la Resolución 785/05, en el marco de las actividades del grupo de vinculación y transferencia OAT.



1- Fuente de EA

2- Señal (propagación) EA

3- Sensor con amplificador de EA

4- Cable de baja impedancia para adquisición de datos

5- Equipo procesador de EA

6- PC con software de análisis

Figura 1 - Esquema básico de instrumentación

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERAL

El presente trabajo tiene como objetivo principal plasmar los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica, enmarcados en el “Proyecto Integrador Profesional” (PIP). Para tal fin se plantea la evaluación y análisis de ensayos de emisión acústica en fondos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, que presentaron ciertas particularidades y son de interés de estudio por sus características. Dentro de estos ensayos se pretende evaluar cómo se ven afectados los datos adquiridos con el ruido generado por factores que no están directamente relacionados con el mecanismo de degradación en el fondo del tanque. Estos factores pueden ser: factores climáticos, ruidos de fuentes electromecánicas, ruido provocado por ánodos de sacrificio activos, movimiento de fluido y cierre parcial de válvulas [5]. Asimismo, se llevó a cabo un ensayo con la posterior apertura del tanque, lo que permitió verificar la técnica y evaluar su eficacia en condiciones reales.

Estos ensayos fueron realizados dentro del grupo de vinculación y transferencia OAT perteneciente al Departamento de Mecánica Aplicada (DMA) de la Facultad de Ingeniería (FAIN) de la UNCo, en el marco del cumplimiento de la Resolución 266/08 del Ministerio de Planificación Federal e Ingresos Públicos [6].

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar el impacto del tiempo de reposo del fluido dentro del tanque en el desarrollo del ensayo, el análisis de los resultados y el periodo de reinspección.
- Analizar y evaluar la influencia del viento en la ejecución del ensayo y en las conclusiones obtenidas.
- Estudiar el efecto del ruido eléctrico en la realización del ensayo y en la interpretación de sus resultados.
- Determinar cómo los ánodos de sacrificio activos dentro del tanque afectan la adquisición de datos durante el ensayo.

- Analizar el impacto del cierre parcial de una válvula en la calidad y precisión de los datos adquiridos.
- Validar el ensayo para procesos de corrosión activa, incluyendo su verificación en campo mediante la apertura del tanque.
- Desarrollar una base de datos para registrar, ordenar y clasificar todos los ensayos realizados por el grupo OAT, así como elaborar un procedimiento general que estandarice la realización de los ensayos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. HISTORIA Y DESARROLLO DE LA EMISIÓN ACÚSTICA

Primeras aplicaciones

La técnica de emisión acústica tiene orígenes que datan del 2600 a.C., cuando se utilizaba como método de control de calidad. Una de las aplicaciones consistía en escuchar el ruido emitido por las vasijas de cerámica al enfriarse en el horno. Otros ejemplos históricos incluyen el ruido producido por el estaño al deformarse o el hierro al enfriarse tras ser forjado. Las primeras documentaciones de estos fenómenos se atribuyen al alquimista Yábir ibn Hayyan (721–815 d.C.), conocido en Latinoamérica como Geber [6].

En 1540, el metalúrgico italiano Vannoccio Biringuccio, considerado el padre de la industria de la fundición, mencionó en su libro *De la Pirotechnia* el ruido producido por las aleaciones de plomo y estaño al ser deformadas [3]. De forma similar, en 1640, Álvaro Alonso Barba, en su obra *El Arte de los Metales*, describió el ruido del estaño con la frase: "Se produce un estridor cuando se lo muerde o quiebra", fenómeno conocido como "el chillido o grito del estaño". Más tarde, en 1795, Andrés Manuel del Río Fernández, en su libro *Elementos de Oricognosia*, detalló la caracterización de minerales a partir del sonido que producían al ser golpeados con un objeto duro.

Avances en el siglo XX, etapa pre-científica

En 1916, el químico polaco Jan Czochralski correlacionó los diferentes metales con los sonidos que emitían al ser deformados. Posteriormente, en 1920, el físico ruso Abram Joffe estudió el ruido generado durante la deformación de cristales de sal y zinc, observando que el corte de cristales de sal roca y monocristales de zinc iba acompañado de un ruido característico [3].

En 1923, Albert Portevin y François Le Chatelier detectaron emisiones acústicas al deformar una aleación de Al-Cu-Mn [3]. Más adelante, en 1933, el japonés Fuyuhiko Kishinouye registró ondas elásticas emitidas por una varilla de madera sometida a esfuerzos de flexión, utilizando una cápsula de fonógrafo como sensor [6]. En 1937, Percy Williams Bridgman documentó el ruido característico emitido por diversos metales y no metales bajo compresión.

Formalización científica

Aunque la emisión acústica era conocida desde la antigüedad, su reconocimiento como disciplina científica comenzó en 1950 gracias a la tesis doctoral de Joseph Kaiser, titulada Estudios del Fenómeno Acústico en Ensayos de Tracción. Este trabajo marcó un hito al establecer las bases del estudio sistemático de la técnica [3].

Aplicaciones industriales

El trabajo de Kaiser ganó importancia una década después, cuando en 1967 se realizaron las primeras aplicaciones industriales de la EA en plantas petroquímicas. A partir de los años 90, los avances en tecnología informática, junto con la capacidad de almacenar y procesar grandes cantidades de datos, permitieron una implementación masiva de esta técnica en diversas industrias, tales como la petroquímica, la metalúrgica, la aeroespacial, la ingeniería civil y la sismología.

3.2. TEORÍA

3.2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA EMISIÓN ACÚSTICA

Como se mencionó anteriormente, la emisión acústica se define como la liberación espontánea de energía dentro de un material en forma de ondas elásticas transitorias, que ocurre cuando dicho material es sometido a esfuerzos [3].

Frecuencia:

Por lo general, estas ondas se encuentran por encima del rango de frecuencias audibles (> 20 kHz, rango ultrasónico).

En aplicaciones generales, el rango ultrasónico de interés suele situarse entre 100 kHz y 300 kHz, optimizando la detección de eventos acústicos en estructuras metálicas. Sin embargo, cuando la propagación de la señal ocurre a través del líquido, el rango de frecuencia utilizado se reduce significativamente, situándose entre 20 kHz y 80 kHz. Esto se debe a la atenuación de las ondas en el fluido, lo que exige trabajar en frecuencias más bajas para mejorar la transmisión y garantizar una detección precisa de defectos, como ocurre en los fondos de tanques.

Causas:

Materiales sometidos a esfuerzos o condiciones ambientales propicias pueden experimentar cambios en su estructura interna, como:

- Crecimiento de fisuras
- Proceso de corrosión activa
- Deformación plástica
- Cambios de fase

Estos fenómenos están acompañados de la emisión de ondas elásticas (emisión acústica). La fuente que genera ondas elásticas se presenta como un fenómeno dentro del material. Identificar la fuente de EA y comprender los mecanismos que la originan puede resultar complejo en muchos casos.

3.2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN ACÚSTICA

Una fuente es la región espacial donde ocurren uno o más eventos de emisión acústica, caracterizados por la generación de ondas elásticas debido a la liberación de energía interna del material. El término también se refiere a la respuesta del material a un estímulo que puede ser de naturaleza mecánica, térmica, química, etc., que provoca un estado tensional en el material y modifica localmente su estructura interna.

Las fuentes se pueden clasificar en [7]:

- Fuentes primarias
- Fuentes secundarias
- Ruido

FUENTES PRIMARIAS

Se conocen como fuentes de EA primarias aquellos mecanismos que son útiles para evaluar la integridad estructural de un componente o estructura. Por lo general, estas fuentes son el resultado de la respuesta del material a la aplicación de una carga.

Mecanismos: Los mecanismos que generan las ondas mecánicas se comportan de manera distinta. Comprender las características de estas fuentes es fundamental para el análisis de cada fenómeno y para la evaluación de los datos recopilados.

Ejemplos de fuentes primarias:

- Propagación de grietas (inter o transgranulares)
- Deformación plástica
- Descohesión de inclusiones o de fibras en un material compuesto
- Movimiento de dislocaciones
- Nucleación de defectos intersticiales
- Interacción química (corrosión)

FUENTES SECUNDARIAS

Se conocen como fuentes secundarias todas aquellas que se pueden detectar con los equipos de EA, pero no corresponden propiamente a la respuesta del material cuando está sometido a algún tipo de estímulo.

Ejemplos de fuentes secundarias:

- Rozamiento de superficies durante el crecimiento de una fisura
- Fugas de líquidos y gases
- Cavitación
- Formación de burbujas (ebullición)

RUIDO

Estas son todas las fuentes que no contribuyen al ensayo propiamente dicho y no son deseables. Estas fuentes pueden estar generadas en el entorno del ensayo y pueden incluir:

- Máquinas en movimiento (motores, generadores, bombas, etc.)
- Sistemas neumáticos e hidráulicos
- Descargas eléctricas o electromagnéticas

- Factores climáticos (lluvia o viento)
- Escapes de vapor
- Cierre y apertura de válvulas

3.2.3. ONDAS ELÁSTICAS. TIPOS Y PROPAGACIÓN

Como se definió, la emisión acústica es la propagación de ondas elásticas a través de un material; en esta sección se abordarán estos conceptos.

Según la dirección de propagación de la onda y el tipo de movimiento de oscilación de las partículas en medios sólidos podemos definir los siguientes tipos de ondas [3]:

- **Ondas longitudinales o P:** en este tipo de onda, el frente de propagación acústico (c) es en la misma dirección que el movimiento oscilatorio de las partículas (v). (ver Figura 2)

La velocidad de propagación es dependiente de algunas propiedades del material como la densidad (ρ) y el módulo de elasticidad (E). En medios gaseosos o líquidos es la única onda de propagación que se da. Para medios homogéneos la velocidad es:

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

dónde:

C_l es la velocidad de propagación de onda longitudinal.

E es el módulo de elasticidad

ρ es la densidad el material

- **Ondas Transversales o S:** en este caso, el frente de propagación acústico (c) es perpendicular a la dirección del movimiento de las partículas (v).

La velocidad de propagación de estas ondas, es dependiente de la densidad y el módulo de corte. Como el módulo de elasticidad (E) es mayor al módulo de corte (T), las ondas viajan a una velocidad menor a las ondas longitudinales, aproximadamente a la mitad. (Ver figura 3)

$$C_T = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

dónde:

C_T es la velocidad de propagación de la onda transversal

T es el módulo de corte

ρ es la densidad el material

- **Ondas superficiales o de Rayleigh:** estas ondas solo se propagan en la superficie del material y el movimiento de las partículas es perpendicular a la superficie. Este tipo de onda se da solo en la interfaz solido-gas y la velocidad de propagación es aproximadamente el 90% de la velocidad de una onda transversal. La velocidad de propagación de las ondas superficiales también depende del material y no coincide con la de otros tipos de ondas. En este caso, la velocidad de propagación varía según el estado de tensiones de la superficie.

La velocidad de propagación de las ondas superficiales o Rayleigh (C_R), se calcula aproximadamente mediante la siguiente ecuación:

$$C_R = \frac{0,87 + 1,12\tau}{1 + \tau} C_T$$

dónde:

C_R es la velocidad de propagación de onda superficial o Rayleigh

C_T es la velocidad de propagación de la onda transversal

τ es el coeficiente de Poisson

C: dirección de propagación de la onda v: movimientos de las partículas

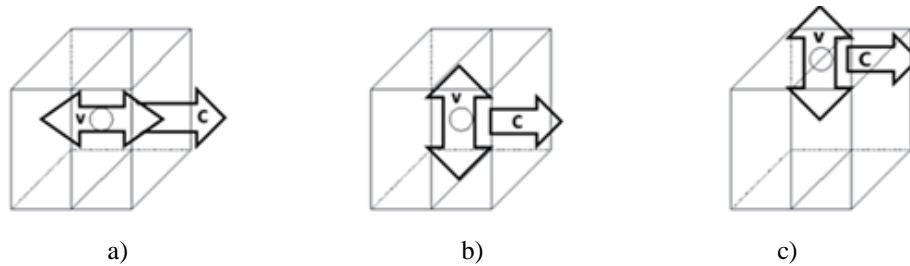


Figura 2- a) Ondas longitudinales b) Ondas transversales c) Ondas superficiales

- **Ondas de Lamb:** este tipo de ondas se generan en materiales de espesores delgados, es decir, cuando la longitud de onda es comparable con el espesor del material. Estas ondas son la superposición de la reflexión de ondas longitudinales y transversales entre las superficies. Este tipo de onda presenta un comportamiento marcadamente diferente a las descritas anteriormente. La velocidad con la que se propagan estas ondas varía con la frecuencia. Este fenómeno se denomina dispersión.

Dentro de las ondas de Lamb existen dos tipos (ver figura 3):

Ondas de Lamb simétricas: en este caso las oscilaciones tienen comportamiento puramente longitudinal.

Ondas de Lamb asimétrica: en este caso las oscilaciones tienen comportamiento transversal.

C: velocidad de propagación v : Movimiento de las partículas e: espesor de la lamina

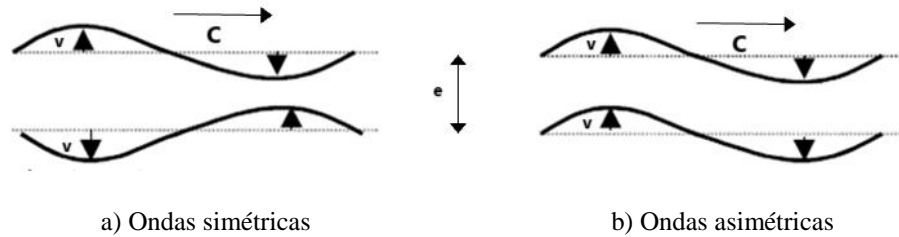


Figura 3- Ondas de Lamb

- **Ondas de Love:** este tipo de onda es común en sismología, el movimiento de partículas es perpendicular a la dirección de propagación. Sin embargo, a diferencia de las ondas transversales, en las ondas Love el movimiento ocurre en el plano horizontal y no vertical. En lugar de que la vibración se produzca hacia arriba y hacia abajo, se produce dentro y fuera del plano, como se ilustra en la Figura 4. La mayor amplitud de vibración se produce en la superficie y, cuanto mayor es la profundidad en el material, menor es el movimiento vibratorio.

C: velocidad de propagación v : Movimiento de las partículas

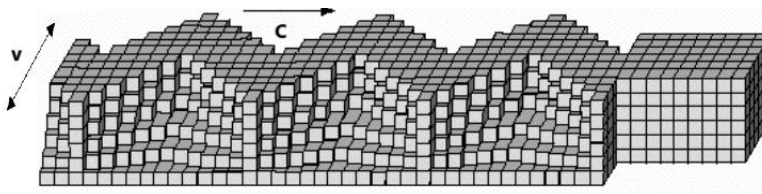


Figura 4- Ondas de Love

3.2.4. ATENUACIÓN DE ONDA.

Una vez generada por la fuente, la onda se propaga a través del medio y su energía por unidad de área, es decir, su amplitud, disminuye por distintos factores, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes [7]:

Atenuación geométrica: La atenuación geométrica se da por la pérdida de amplitud debido a la distancia de la fuente. Suponiendo que no existen otros mecanismos de pérdidas, a medida que el frente de onda avanza, la superficie esférica es mayor, por lo

tanto, para que la energía se mantenga constante la amplitud de la onda debe disminuir a medida que la distancia a la fuente aumenta.

Absorción: consiste en la transformación de energía mecánica de la onda en calor. Se puede decir que es la resistencia que presentan las partículas a vibrar.

Dispersión: es la disminución de la amplitud de la onda debido a la heterogeneidad de los materiales, como pueden ser inclusiones, poros, bordes de grano, entre otros.

3.2.5. TIPOS DE SEÑALES DE EMISIÓN ACÚSTICA Y CARACTERIZACIÓN

Existen básicamente dos tipos de señales de EA que podemos observar y analizar [3]:

- **Señales transitorias o discretas:** Las señales transitorias o discretas se caracterizan por tener un punto de inicio y un punto de fin definidos. Su duración y amplitud dependen tanto de la fuente emisora como del medio en el que se propagan (Ver figura 5)

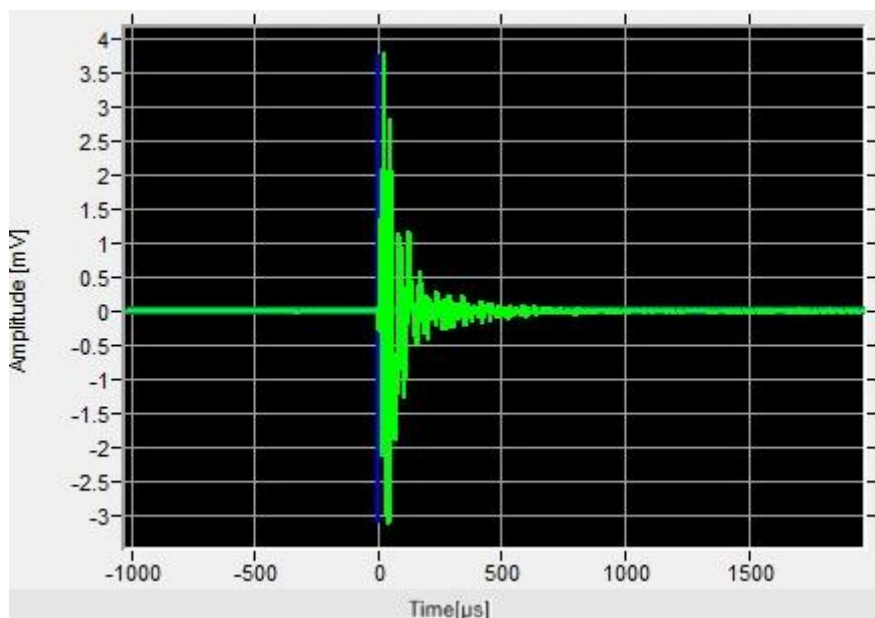


Figura 5- Señales transitorias o discretas

• **Señales continuas:** Este tipo de señales no presenta un inicio ni un fin definidos, pero permite observar variaciones en amplitud y frecuencia. Se mantienen activas mientras persista el mecanismo que las genera. (ver figura 6).

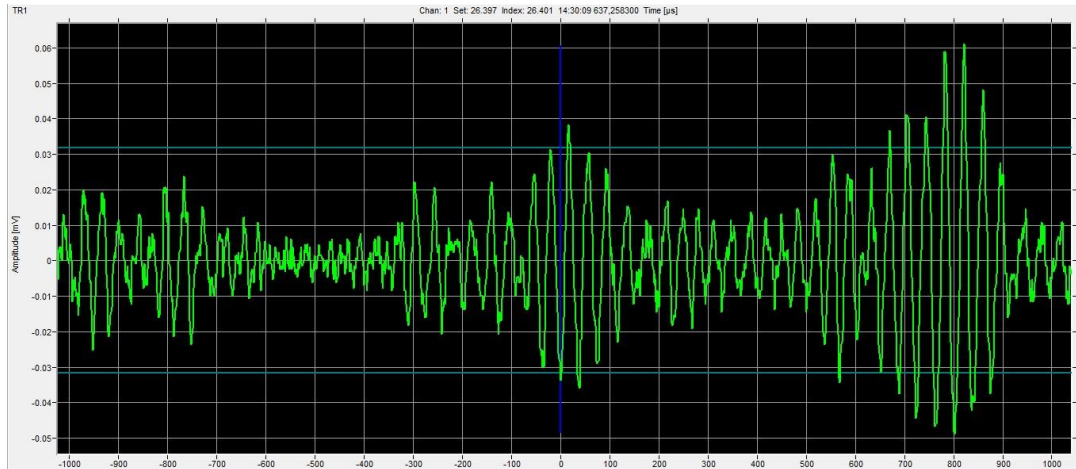


Figura 6- Señales continuas

Factores que generan señales transitorias son:

- Crecimiento de fisuras
- Crecimiento de defectos
- Degradación de superficies por procesos corrosivos
- Rotura de inclusiones o precipitado dentro de un material

Factores de eventos que generan señales continuas son:

- Fuga de líquidos
- Fuga de gases
- Rozamiento entre piezas
- Contactos intermitentes
- Piezas sueltas

CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES

Para la caracterización de las señales transitorias (ver Figura 7), existe una terminología típica que pueden extenderse para definir también a las señales continuas.

A continuación, definiremos algunos términos fundamentales para el estudio de las señales transitorias, basados en la norma IRAM 779 [8].

Amplitud de la señal: es el mayor pico de tensión obtenido por la forma de la onda de la señal de un evento de emisión.

Umbral de detección: nivel de tensión que se debe sobrepasar para que una señal de emisión acústica sea detectada y procesada. (este umbral puede ser ajustable, fijo o flotante).

Tiempo de llegada (“tiempo de ocurrencia”, “hit time”): es el tiempo en que la señal discreta cruza por primera vez el umbral de detección.

Duración de la señal de EA: es el tiempo entre la primer y la última vez que la señal cruza el umbral de detección.

Tiempo de subida de la señal de EA: es el tiempo entre el inicio de la señal de EA y la máxima amplitud de esa señal. Es el tiempo en el que la señal cruza por primera vez el umbral y la amplitud máxima que alcanza la señal.

Conteo de EA (número de cuentas): Número de veces que la señal discreta cruza el umbral de detección.

Energía del evento: energía elástica liberada por un evento de EA.

Energía MARSE: Se refiere al área medida bajo la envolvente de la señal rectificadas, conocida en inglés como "Measured Area under Rectified Signal Envelope". Esta parametrización no depende del umbral, pero sí está influenciada por la amplitud y la duración de la señal.

Valor Cuadrático Medio (RMS, por sus siglas en inglés “Root Mean Square”): Este valor se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [V(t)]^2 dt\right)}$$

V es el voltaje de salida del sensor.

El valor RMS representa el equivalente en corriente continua de la energía total generada por una onda alterna. En el caso de ondas elásticas, el RMS proporciona una medida cuantitativa de su amplitud, reflejando la magnitud efectiva de la señal y optimizando su análisis en aplicaciones de monitoreo y evaluación estructural.

Canal de EA: conexión de un sensor, preamplificador, filtros, amplificadores y detectores o procesadores de señal.

Evento de EA: es el cambio localizado en el material que produce un aumento de EA. Podemos decir que es el fenómeno físico que genera una emisión acústica.

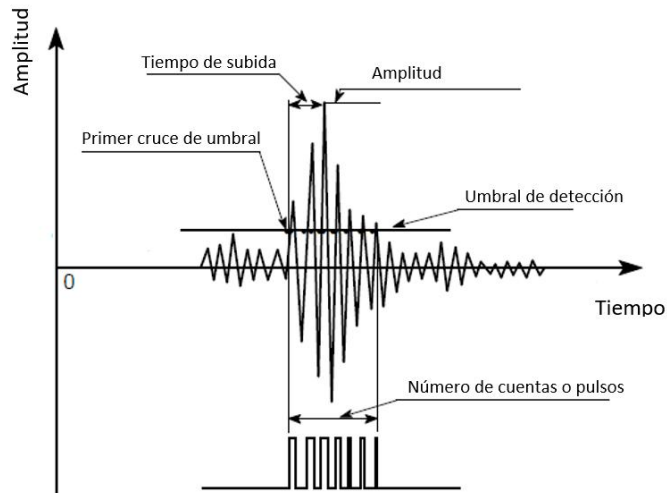
Fuente de EA: es la causa física de uno o más eventos de EA. Básicamente, es el elemento espacial a partir del cual se origina uno o más eventos de EA.

Ruido de fondo: son señales producidas por otras causas distintas de la EA o por fuentes de EA que no están relacionadas con el ensayo.

Fuente de Hsu-Nielsen: es un dispositivo para simular una señal de EA utilizando la rotura de una mina de grafito sometida por un soporte adecuado.

Hit: Es la detección y medición de una señal (transitoria) de EA en un canal.

Velocidad aparente de emisión acústica: es la velocidad calculada usando los tiempos de llegada y las distancias de propagación.



Fuente: IRAM. IRAM 779: Ensayos de emisión acústica -Terminología. Buenos Aires: IRAM, 2012, pág. 9, fig. 1.

Figura 7- Caracterización de señales transitorias. Extraído de [8]

3.2.6. TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN DE FUENTES

En fondos de tanque la localización de eventos es planar. Es decir, la localización es en 2 dimensiones.

Para poder realizar una localización, el software (Vallen AE-Suite software) utiliza la técnica de “intersección de hipérbolas”.

Para realizar una localización en el plano, se necesitan al menos 3 sensores. Cuando ocurre un evento de EA, genera ondas acústicas que son detectadas por los sensores. Cada sensor registra el tiempo exacto en que llega la señal. Se calcula la diferencia de tiempo de llegada entre las señales recibidas por los diferentes sensores. Esta diferencia de tiempo (tiempo de retardo) es crucial para determinar la ubicación del evento. Utilizando las diferencias de tiempo y la velocidad de propagación de las ondas acústicas, se construye un modelo matemático que permite localizar el evento en el espacio [7].

Una hipérbola, se define como el conjunto de todos los puntos en un plano tal que la diferencia de sus distancias a dos puntos fijos (llamados focos) es una constante. Si se

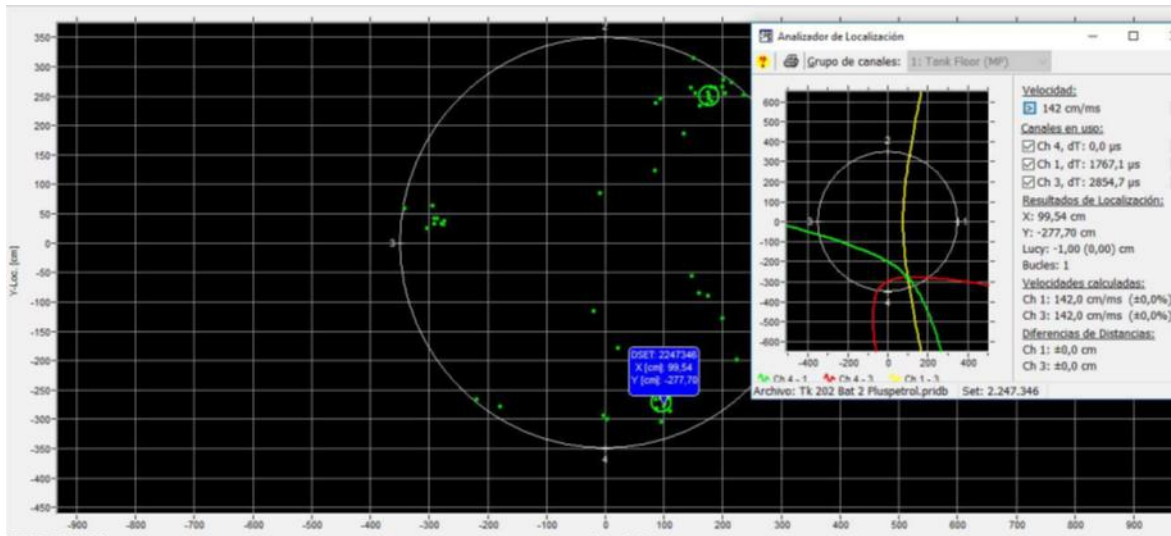


Figura 10- visualización de localización con software

3.2.7. SENSORES DE EMISIÓN ACÚSTICA.

Los transductores o sensores son elementos capaces de detectar movimientos mecánicos de las superficies de los materiales y transformarlos en señales eléctricas.

En la mayoría de los ensayos de emisión acústica se utilizan sensores que aprovechan el efecto piezoeléctrico de ciertos materiales. Estos tienen la capacidad de generar una carga eléctrica cuando son sometidos a una deformación mecánica y, de manera inversa, experimentar una alteración estructural al aplicárseles un campo eléctrico [3].

Dentro de los materiales piezoeléctricos se pueden distinguir tres clases:

- Los que presentan el efecto piezoeléctrico naturalmente como el cuarzo y la turmalina.
- Los materiales Ferroeléctricos: tantalato de litio, nitrato de litio, berlinita, estos materiales adquieren la propiedad de piezoeléctricos una vez que son polarizados.
- Existe una tercera clase de materiales piezoeléctricos creados mediante técnicas como la pulvimetalurgia; un ejemplo de ello es el Fluoruro de Polivinilideno.

Tipos de sensores

La selección del sensor se realiza teniendo en cuenta el entorno de prueba, las condiciones del ensayo, el tipo de material y la atenuación de la onda acústica. A continuación, se detallan los diferentes tipos de sensores disponibles [7]:

Resonante: Los sensores resonantes son los sensores más usados para la mayoría de aplicaciones de EA. La característica de estos sensores es tener una respuesta de pico en una gama de frecuencias de 150 a 200 kHz y una temperatura de trabajo desde -10 hasta 100 ° C.

Plano o de banda ancha: Los sensores de banda ancha se emplean en estudios de laboratorio porque ofrecen una respuesta más uniforme en un amplio rango de frecuencias (usualmente de 20 kHz a 400 kHz, según el sensor), lo que permite detectar múltiples tipos de señales con mayor precisión.

Este tipo de sensor se utiliza en la evaluación de fondos de tanque, donde la detección de defectos se realiza a través del líquido.

Sensores con electrónica integrada: El uso de sensores con electrónica integrada viene de la necesidad de aumentar la inmunidad al ruido. El sensor piezoeléctrico (sensor EA) combinado con un Preamplificador de alta impedancia de entrada y bajo ruido, constituyen el detector.

Sensores especiales. Sensores de EA de aplicaciones industriales que requieran cumplir con condiciones específicas de operación. Algunos ejemplos son sensores fabricados para resistir corrosión, para trabajar a altas temperaturas, sumergibles, ambientes explosivos, etc. Estos dispositivos permiten una monitorización eficiente en condiciones desfavorables.

3.2.8. INSTALACIÓN DE SENSORES

Acoplante

Para una correcta transmisión de ondas acústicas entre la superficie a ensayar y la cara del sensor, es necesario colocar una capa delgada de material acoplante que asegure el contacto acústico a nivel microscópico y desplace completamente el aire [6].

Las ondas elásticas, se transmiten con mayor eficacia en sólidos y líquidos porque estos medios tienen una densidad mucho mayor que en los gases, lo que permite una mejor transmisión de energía. En medios más densos, las partículas están más próximas entre sí, facilitando la propagación de la onda sin grandes pérdidas de energía.

El aire tiene una densidad mucho menor y una estructura molecular más dispersa, lo que provoca que la energía de la onda se disipe rápidamente. Además, la absorción de energía por parte de las moléculas de aire reduce la intensidad de la onda conforme se propaga.

Existe una gran variedad de materiales acoplantes, y su elección depende del tipo de ensayo, del material a ensayar y del entorno (especialmente la temperatura del ensayo).

Algunos acoplantes más usados comúnmente son: grasas, grasas siliconadas, epoxis, vaselina, agua, geles, resinas, glicerina, etc.

Sistemas de fijación

Los sistemas de fijación de sensores de emisión acústica son fundamentales para garantizar una correcta transmisión de señales y minimizar interferencias externas. Algunos métodos comunes de fijación pueden ser:

Acoplamiento con adhesivos:

- Se utilizan compuestos como epoxi para fijar el sensor a la superficie.
- Proporciona una conexión firme y mejora la transmisión de señales.
- Ideal para aplicaciones permanentes o de larga duración.

Fijación magnética:

- Se emplean bases magnéticas para adherir el sensor a estructuras metálicas.
- Permite una instalación rápida y reutilizable.
- Útil en monitoreo temporal o inspecciones periódicas.

Montaje con abrazaderas mecánicas:

- Se utilizan soportes ajustables para sujetar el sensor sin necesidad de adhesivos.
- Facilita la instalación en superficies irregulares o de difícil acceso.
- Común en aplicaciones industriales donde se requiere movilidad del sensor.

Acoplamiento con geles o acopladores:

- Se utiliza el mismo gel o acoplante para la transmisión de ondas, como fijación
- Reduce la pérdida de señal y mejora la sensibilidad del sensor.
- Frecuente en estudios de laboratorio y pruebas de precisión.

3.2.9. ENSAYO DE EMISIÓN ACÚSTICA EN FONDO DE TANQUE

En esta sección se describe el proceso para realizar el ensayo de emisión acústica. En el Anexo I, se detalla el procedimiento específico desarrollado y adoptado por el grupo OAT para llevar a cabo este ensayo en los fondos de los tanques de almacenamiento.

El ensayo de emisión acústica, como se mencionó con anterioridad, permite detectar dos tipos de mecanismos de daño en los fondos de los tanques: corrosión activa (localizada y generalizada) y fuga de producto.

Cuando existen procesos de corrosión activa, se generan capas de óxido sobre la superficie del material afectado. Estas capas poseen propiedades distintas al metal base y se caracterizan por su fragilidad. A medida que se desarrollan, aumenta la tensión en la interfaz entre el acero y el óxido acumulado. Esta tensión provoca la fractura y desprendimiento de las láminas, lo que genera emisiones acústicas detectables [9].

Además de la tensión interna en la interfaz, la columna hidráulica del tanque ejerce una presión adicional, contribuyendo a la rotura de las capas de óxido durante el ensayo.

El aumento de la actividad de EA está directamente relacionada con el aumento del daño. Si aumenta la actividad acústica dentro de un tanque, es debido, posiblemente a la existencia de un proceso corrosivo evolucionando en el tiempo.

Cuando estamos en presencia de fuga de producto, se produce un campo de presión fluctuante y continuo, asociado con la turbulencia en el fluido. Si en un tanque existe fuga de producto, esta puede ser detectada porque la amplitud de la señal será mayor a un valor previamente configurado en el software (umbral de detección).

En el caso de fuga de producto existe una limitación: el fluido debe tener una viscosidad cinemática menor o igual a 40 centistokes (cTs). Para valores superiores, la turbulencia disminuye y con ello las emisiones acústicas asociadas. [10]

En la industria petrolera existen diferentes productos que se almacenan, la mayoría no supera este valor límite (40 CTS). Sin embargo, existen algunos productos que están por encima de este valor, algunos ejemplos son gas oíl pesado (max. 86 CTS a 56°C), asfalto (159-324 CTS a 25°C), fuel oíl (97 a 50°C), etc. [11]. Por lo tanto, al evaluar estos productos, es posible que la detección de fugas resulte limitada, aunque la identificación de procesos de corrosión activa sigue siendo posible.

El procedimiento se basa en los lineamientos de la Norma IRAM 725 [12]. Esta norma describe las pruebas de emisión acústica en recipientes metálicos llenos de líquido para la detección de procesos de corrosión activa durante el ensayo. A continuación, se describirá la norma en detalle.

Las ondas elásticas de emisión acústicas generadas por los procesos de corrosión activa se propagan a través tanto del líquido como de la estructura metálica. En tanques de almacenamiento la propagación de las ondas se tomará a través del líquido. Por lo tanto, se requiere de un nivel mínimo de llenado, que debe estar por encima de la colocación de los sensores (mayor a 1 m). Se recomienda que el nivel del líquido supere el 50% del volumen total del tanque para optimizar la transmisión de las ondas acústicas, reducir la atenuación y mejorar la precisión en la identificación de fuentes de emisión. Además, como se

mencionó anteriormente, un mayor volumen de líquido ejerce una presión hidrostática adicional que puede influir en la activación de mecanismos de degradación.

Para realizar el ensayo es necesario que el fluido almacenado permanezca estático, no debe entrar ni salir producto del tanque. Esto es necesario para evitar ruido interno que afecte al ensayo. La estanqueidad del tanque depende de las dimensiones del tanque, pero un tiempo de 24 hs de reposo es suficiente.

Si el tanque posee serpentines de calentamiento o sistema de protección catódica por -corriente impresas-, estos sistemas, deben ser apagados/desconectados.

La frecuencia de detección de los sensores utilizados debe estar entre el rango de 20 a 80 kHz.

Se debe preparar la superficie donde van a ser colocados los sensores para garantizar el máximo contacto, es decir, limpiar la superficie y si es necesario acondicionarla mediante una suave abrasión mecánica.

Se debe utilizar un acoplante adecuado para permitir la correcta transición de ondas sin que afecten adversamente la superficie del tanque ni las caras del sensor.

Los sensores deben ser fijados como se mencionó en la sección anterior, mediante un sistema magnético, algún tipo de pegamento o cintas adhesivas.

El equipo de adquisición de datos debe tener la capacidad de medir los siguientes parámetros por canal:

- Recuento del número de señales transitorias de EA;
- Parámetro adecuado para poder registrar y medir el ruido de fondo;
- Amplitud máxima de la señal transitoria;
- Duración de la señal transitoria;
- Tiempo de subida de la señal transitoria;
- Energía de la señal transitoria;
- Tiempo de llegada.

Además de los parámetros de la señal transitoria, es necesario registrar la forma de onda de cada evento detectado en los canales de adquisición disponibles y llevar a cabo un análisis de frecuencia de la señal.

La instrumentación deberá:

Almacenar todos los datos adquiridos;

Proporcionar una visualización de la ubicación online de la prueba realizada.

Ensayo

El ensayo en fondos de tanques consiste colocar dos filas de sensores distribuidos equiespaciados alrededor del tanque. La primera fila se coloca a 1m de altura con respecto al piso del tanque.

La distancia entre sensores no debe superar los 15 m. Al colocar los sensores, es fundamental considerar detalles estructurales como conexiones, bocas de ingreso y cordones soldados. Basándose en la experiencia, se recomienda una distancia máxima de separación entre sensores de 13 m para optimizar la precisión de la detección.

La ubicación de los sensores de emisión acústica debe considerar la presencia de cordones de soldadura, ya que estos pueden generar ruido no deseado que interfiere con la detección de señales relevantes. Las tensiones residuales, microfisuras y procesos de deformación en las zonas soldadas pueden actuar como fuentes de emisión acústica, dificultando la identificación precisa de eventos relacionados con el daño estructural. Además, la geometría y composición del material en estas áreas pueden alterar la propagación de las ondas acústicas, afectando la precisión de la medición. Por ello, es recomendable evitar la colocación de sensores cerca de estos puntos para minimizar interferencias y mejorar la confiabilidad del monitoreo.

La distancia recomendada entre cordones soldados o placa de refuerzo y los sensores de emisión acústica debe ser de al menos 200 mm.

Como se mencionó anteriormente, la primera fila de sensores debe instalarse a una altura aproximada de 1 m con respecto al fondo del tanque. La segunda fila, conformada por los

sensores guardianes, debe ubicarse a una altura inferior al nivel del líquido, con una separación mínima de 1 m. La función de estos sensores guardianes es excluir cualquier fuente de ruido que no provenga del fondo del tanque, como aquellas originadas en el techo u otras estructuras externas.

La presencia de lodo en el fondo del tanque influye significativamente en la propagación de las ondas acústicas, afectando la precisión en la adquisición de datos. Por ello, cuando el tanque contiene lodo, se recomienda elevar la altura de los sensores para reducir las distorsiones en la señal y optimizar la calidad del monitoreo. Sin embargo, este ajuste en la altura puede comprometer la precisión en la localización de las fuentes de emisión.

La ubicación de las fuentes de emisión acústica, como se mencionó anteriormente, se basa en la medición de diferenciales de tiempo, es decir, el tiempo que tarda la onda en llegar al sensor que la detecta. Al evaluar las condiciones del piso con respecto a la corrosión activa, el error en la ubicación de una fuente suele encontrarse dentro del 10% del diámetro del tanque. Este error es menor cerca del centro y tiende a aumentar a medida que la fuente de emisión acústica se aproxima al anillo anular.

Las interfaces próximas a la envolvente del tanque pueden generar reflejos o difracciones de las ondas acústicas, lo que altera la forma de la señal. Estas alteraciones pueden provocar un desplazamiento aparente en el tiempo de llegada que registran los sensores, contribuyendo a un error en la localización de la fuente.

Además, en la periferia del tanque, las variaciones abruptas en las características materiales y estructurales se traducen en cambios en la atenuación de la onda. Cuando ésta pasa cerca de límites o zonas con propiedades acústicas distintas, la señal puede distorsionarse, afectando la precisión de la medición del tiempo de llegada y, por ende, incrementando el error en la estimación de la ubicación.

Esquemáticamente puede observarse como debe ser la distribución de sensores en la Figura 11. Donde “S” es el sensor utilizado como normal; “SG” sensor guardián

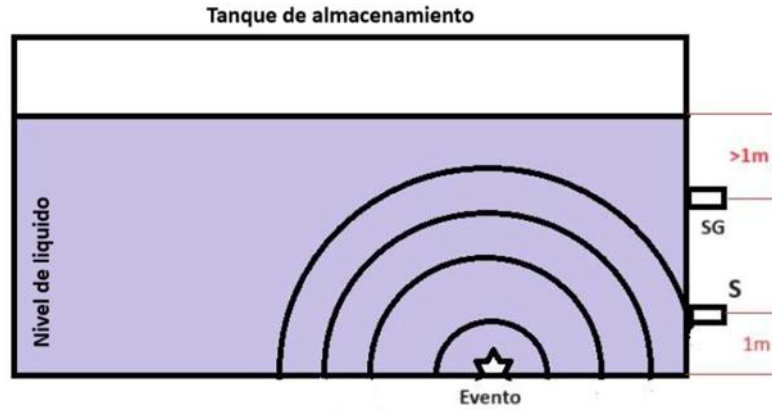
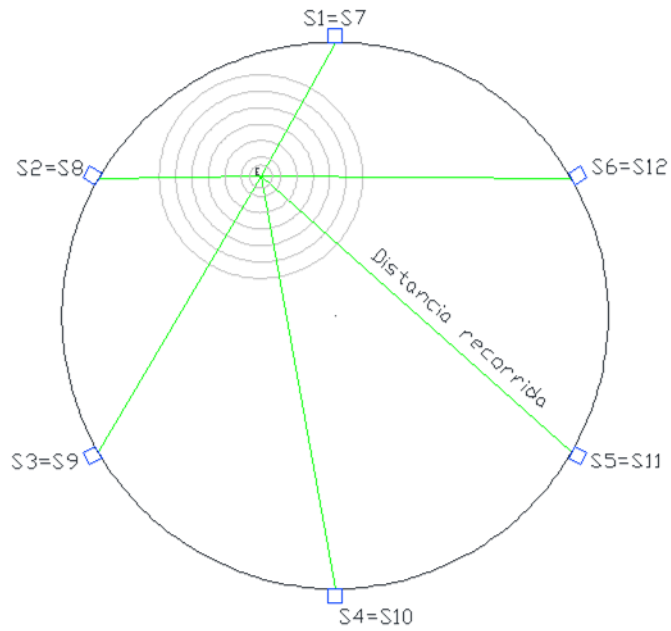


Figura 11- Distribución de sensores

En la figura 12 se observa la distribución de sensores desde una vista superior del tanque.



S1 a S6 sensores normales. S7 a S12 sensores guardianes
E: Evento de Emisión Acústica

Figura 12- Distribución de sensores

Umbral de detección

Una vez instalados los sensores se debe realizar un control del ruido de fondo para cada canal. Este nivel debe ser bajo para no afectar los resultados del ensayo. En caso de detectarse interferencias debida a ruido externo, se deben implementar acciones correctivas orientadas a identificar su origen y proceder a la eliminación o mitigación de la fuente generadora. El valor estándar del ruido de fondo para que el ensayo no sea afectado no debe ser superior a 5 μV .

Antes de realizar el ensayo, se debe realizar la comprobación del funcionamiento de todos los sensores y la instrumentación, esto se realiza mediante la rotura de una mina de carbono a 0,05 m de los sensores (ensayo de Hsu-Nielsen).

La rotura de mina genera una señal acústica intensa, bastante similar a una fuente de Emisión acústica natural. La ruptura de la mina tiene dos finalidades específicas, la primera, es garantizar que los sensores y el material a ensayar presenten un buen acople acústico. La ruptura de la mina a 0,05 m del sensor debe generar amplitudes de 85 dB a 95 dB. Si no se alcanza este rango, se deben tomar medidas para mejorar el contacto acústico, tales como retirar el sensor, limpiarlo y reaplicar el acoplante, o sustituir el cable o el sensor. La segunda función de esta prueba es corroborar el funcionamiento de los demás sensores y que sean capaces de localizar con precisión la ubicación de la fuente.

La prueba de Hsu-Nielsen se realiza con una mina de grafito de dureza 2 H y diámetro 0,5 mm. La mina de lápiz se rompe por medio de una guía especial de teflón que se monta para ayudar a romper la cabeza siempre con el mismo ángulo (30°) y una longitud de entre 2 y 3 mm (Ver Figura 13)

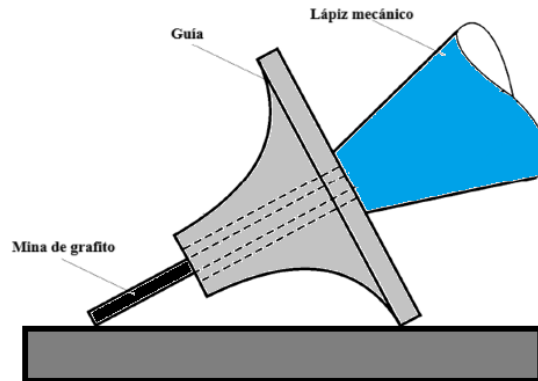


Figura 13- Dispositivo Hsu-Nielsen

Según la norma el valor de un “umbral de detección estándar” (Ad_s) debe estar definido en las instrucciones del ensayo, además de un umbral máximo (Ad_{max}) de detección y un factor de referencia de Hsu-Nielsen (K_C).

El valor (K_C), expresado en decibeles [dB], junto con el valor (Ad_s), expresado en decibeles de EA [dB_{AE}], define la amplitud de pico mínima (A_h) que una fuente Hsu-Nielsen a 0,05 m desde el centro del sensor generará. El valor (Ad_t) o umbral de detección de la prueba será normalmente inferior o igual a (Ad_s). El valor mínimo de umbral de detección se caracteriza por la primera aparición de una ocurrencia relevante de traslape en más de un canal. Si (Ad_{min}) es mayor que (Ad_s), el valor de (Ad_t) se puede incrementar hasta (Ad_{max}). El valor real de Ad_t se tendrá en cuenta para la evaluación de datos. Se debe demostrar que el umbral de detección establecido para la prueba, junto con todos los ajustes de la instrumentación utilizada, es capaz de identificar la corrosión activa en el material. (Ver Figura 14).

Velocidad aparente de emisión acústica.

Es necesario calcular la velocidad de la emisión acústica aparente para cada uno de los algoritmos de localización utilizados. Para determinar esta velocidad en el líquido contenido en el tanque, es adecuada la medición del tiempo de llegada de una onda generada por una fuente de Hsu-Nielsen o un generador de impulsos entre dos sensores, junto con la distancia entre estos sensores.

Realización del ensayo.

El período de prueba (tiempo efectivo de escucha después de los ajustes y la calibración) se seleccionará considerando las fuentes de ruido internas y externas con el fin de minimizar su efecto sobre el resultado. Las condiciones ambientales ideales incluyen ausencia de lluvia, viento o luz solar directa. Eventualmente, si es necesario, la prueba puede realizarse durante la noche.

Se requiere un mínimo de una hora de adquisición de datos en condiciones adecuadas para la evaluación de la prueba. Durante la prueba, el ruido de fondo debe ser supervisado. Los períodos de interferencia de ruido deberán ser marcados y excluidos de la evaluación, y, en consecuencia, se deberá añadir un período de tiempo suficiente para la duración de la prueba.

Varios períodos de adquisiciones de datos de una hora cada uno, en general, sirven para mejorar la base de datos utilizada para evaluar la prueba.

Verificación final.

Al finalizar el ensayo, se debe realizar nuevamente la comprobación de los sensores y la instrumentación mediante una prueba de Hsu-Nielsen. La diferencia entre canales no debe superar los ± 3 dB.

Evaluación de los datos.

Durante la adquisición de los datos, se debe tener cuidado en la evaluación para asegurarse de que el ruido aleatorio no influya en el resultado.

Los eventos de EA serán identificados mediante el análisis de las diferencias en el tiempo de llegada de los hits detectados. Con la ayuda de la velocidad aparente de emisión acústica, se calculará la posición de cada evento de EA localizable encontrado. Los eventos localizados próximos entre sí se considerarán como un solo grupo (clúster) y representarán una fuente de EA.

Clasificación de fondo de tanques.

El sistema de clasificación se determinará en función de la actividad acústica de las fuentes identificadas, como el número de eventos recopilados en una hora en la zona de referencia del agrupamiento localizado, así como la actividad de Emisión Acústica de la estructura.

El sistema de calificación aplicado deberá cubrir el rango desde "ninguna fuente de EA encontrada" hasta "fuente de EA grave encontrada" y atenderá a las condiciones intermedias de acuerdo con la actividad de las fuentes de EA (Ver Tabla 1). En el caso en que no se detecten fuentes de EA, se recomienda el período de servicio máximo. Si se encuentran fuentes de EA severas, se recomienda la apertura del tanque para su inspección interna, con el fin de aclarar las indicaciones de la EA.

El sistema de clasificación debe abarcar todas las situaciones intermedias y debe basarse en la Tabla 1.

Grado	Criticidad	Periodo máximo de re inspección
I	Baja	5 años ¹
II	Media	2 años
III	Media Alta	1 año
IV	Alta	6 meses
V	Muy alta	Apertura inmediata

Tabla 1- Sistema de clasificación

Criterio de clasificación de pisos de tanques.

La norma describe, en sus anexos, dos ejemplos de criterios de clasificación:

1. Criterio de clasificación de tanques en función de parámetros de emisión acústica.
2. Criterio de clasificación de tanques basado en condición de piso y actividad de emisión acústica.

Criterio de condición del piso

El criterio adoptado por el grupo OAT está basado en el código BVPC de ASME, Sección V (Non Destructive Examinacion) art 12. Este criterio se fundamenta en el principio de que, si aumenta la actividad acústica, también aumenta la posibilidad de comprometer la integridad del piso. Físicamente, se puede decir que el aumento de la actividad acústica se debe a la existencia de un proceso que ha evolucionado con el tiempo.

Si no existe ningún agrupamiento localizado (clúster) o no más de 3, se considera que la actividad acústica es baja. En este caso se considera que no existen eventos relacionados por lo que no puede aseverarse la existencia de una fuente de emisión acústica.

Cuando existen varios agrupamientos localizados pueden indicar zonas que registran actividad de emisión acústica.

¹ Aunque la norma establece un período máximo de 5 años hasta la próxima inspección, la legislación vigente, Resolución 785/05, establece en el subanexo V un período máximo de 24 meses entre inspecciones.

En presencia de casos intermedios debe evaluarse de forma particular en cada situación antes de asignarles un valor índice.

En función de la actividad acústica se puede elaborar la siguiente Tabla 2

Índice	Condición de piso	Detección de eventos
A	No afectado por corrosión	Hasta 50 eventos localizados o hasta 3 agrupamientos localizados (clúster)
B	Afectado por corrosión de baja intensidad	Hasta 100 eventos localizados o hasta 3 agrupamientos localizados con menos de 10 eventos
C	Afectado por corrosión de media intensidad	Hasta 250 eventos localizados o más de 5 agrupamientos localizados y como mínimo 3 de ellos entre 10 y 25 eventos en su interior
D	Afectado por corrosión de alta intensidad	Más de 250 eventos localizados o más de 10 agrupamientos localizados y como mínimo 3 de ellos con más de 25 eventos

Tabla 2 -Criterio de condición del piso

Criterio según el tipo de actividad acústica.

Este criterio se basa en la amplitud y la energía acumulada en los segmentos localizados y es coherente con el código BVPC bajo la ASME, sección V, artículo 12. Físicamente, asimila el aumento de intensidad con una mayor degradación o una zona mayor de material que se degrada en un tiempo finito.

Un análisis conjunto de estos dos parámetros establece la Tabla 3.

Al igual que con el criterio anterior, los casos intermedios deben evaluarse de forma particular antes de asignarles un valor índice.

Índice	Tipo de actividad acústica/ Energía acumulada	Descripción
1	Baja	Amplitud promedio de todos los canales menor o igual a 3 dB por encima del umbral de detección
2	Media	Amplitud promedio 20% por encima del umbral de detección
3	Alta	Amplitud promedio 40% por encima del umbral de detección
4	Muy Alta	Amplitud promedio 60% por encima del umbral de detección

Tabla 3- Criterio según el tipo de actividad acústica

Criterio resultante- Periodo máximo recomendado hasta la próxima inspección.

La evaluación conjunta de los índices obtenidos en las tablas Tabla 2 y Tabla 3 permite definir la Tabla 4. De esta manera, se puede calificar el tanque según los criterios establecidos en la Tabla 1.

Tipo de actividad de EA	Condición de Piso			
	A	B	C	D
1	5 Años (I)	2 Años (II)	2 Años (II)	1 Año (III)
2	2 Años (II)	2 Años (II)	1 Año (III)	6 meses (IV)
3	2 Años (II)	1 Año (III)	6 meses (IV)	Apertura (V)
4	1 Año (III)	6 meses (IV)	Apertura (V)	Apertura (V)

Tabla 4- Criterio de clasificación

4. METODOLOGÍA

4.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación adopta un enfoque experimental, aplicado y exploratorio, orientado al estudio de las interferencias que afectan la adquisición de datos en ensayos de Emisión Acústica en fondos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

A través de la ejecución de ensayos reales en locaciones de diferentes operadoras del sector, se busca evaluar cómo diversos factores externos, ajenos a los procesos de degradación estructural, inciden en la calidad, precisión y confiabilidad de los registros acústicos. Entre estos factores se destacan el viento, el ruido eléctrico, el movimiento interno del fluido, la activación de ánodos de sacrificio y el cierre parcial de válvulas.

Para el presente estudio se analizaron un total de nueve ensayos, distribuidos de la siguiente manera:

- Dos ensayos destinados a evaluar el efecto del tiempo de reposo del fluido almacenado en el tanque.
- Dos ensayos orientados a analizar la influencia del viento sobre la adquisición de datos.
- Dos ensayos centrados en el impacto del ruido eléctrico en los registros obtenidos.
- Un ensayo enfocado en la interferencia generada por ánodos de sacrificio activos.
- Un ensayo que analiza el efecto del cierre parcial de una válvula.
- Un ensayo con presencia de corrosión activa, verificada mediante apertura del tanque para inspección directa.

Todos los ensayos realizados por el grupo OAT de EA, incluidos los del presente estudio, se han registrado en la base de datos diseñada específicamente para este fin (ver ANEXO III).

4.2. EQUIPAMIENTO

Todos los ensayos se realizaron utilizando el equipamiento disponible en la OAT, diseñado para la adquisición y análisis de datos (ver Figura 15). Este equipo cuenta con las siguientes características:

Sistema de adquisición de datos AMSY-6 de la compañía Vallen Systeme, este sistema permite captar y procesar las ondas elásticas generadas en los materiales evaluados. Su aplicación en este estudio se centra en la evaluación de la integridad de los pisos de tanques de almacenamiento, aunque también puede emplearse en otros ensayos, como:

- Pruebas de integridad estructural, analizando la evolución de microgrietas.
- Evaluación de daños en materiales compuestos mediante caracterización acústica.
- Detección y localización de fugas en tuberías y recipientes a presión.
- Diagnóstico de descargas parciales en transformadores, mejorando su eficiencia.
- Estudios sobre fallo estructural en ciencia y desarrollo de materiales.

El equipo utiliza el software Vallen AE-Suite, compuesto por varios programas que cumplen funciones específicas. En términos generales, el software se divide en:

- **Adquisidor de datos**, encargado de almacenar la información en archivos con una extensión propia del sistema.
- **Analizador de datos**, que permite procesar y visualizar la información obtenida.
- **Verificador de hardware**, utilizado para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.
- **Programas de visualización**, que facilitan la interpretación de los resultados.

Para el análisis de los datos, se emplea el programa VisualAE, el cual permite procesar y mostrar la información registrada. A partir de este software, se extraen los datos necesarios para su análisis, interpretación y conclusión, en este caso, sobre el estado del piso de los tanques ensayados. Además, puede configurarse para evaluar otros componentes, como recipientes a presión, esferas de gas y cañerías.

La computadora utilizada para ejecutar el software es una Lenovo, equipada con un procesador Intel® Core™ i5-1035G1 con una frecuencia base de 1.00 GHz y una frecuencia máxima de 1.19 GHz.

Los cables utilizados en los ensayos son coaxiales RG 58 U con conexiones de RF. Se trata de cables flexibles con una impedancia de 50 ohmios. Su construcción incluye un conductor central de cobre sólido, un aislamiento de polietileno (PE), un blindaje de cobre trenzado y una cubierta de PVC, lo que les proporciona una buena protección contra interferencias y una adecuada durabilidad.



Figura 15 Equipo de emisión acústica

Los sensores utilizados en los ensayos son los VS30-SIC-46dB de la compañía Vallen Systeme, este es un sensor piezoeléctrico de Emisión Acústica con preamplificador integrado (ver Figura 16). Su baja respuesta de frecuencia lo hace especialmente adecuado para la monitorización de objetos grandes o materiales altamente atenuantes. Se emplea en diversas aplicaciones, entre ellas:

- Detección de corrosión y fugas en fondos de tanques.
- Identificación de fugas en tuberías.
- Detección de descargas parciales en sistemas eléctricos.
- Pruebas de integridad en estructuras de hormigón.

El preamplificador integrado cuenta con una ganancia de 46 dB y admite la transmisión de pulsos, lo que permite la prueba automática de sensores.



Figura 16- sensores VS30-SIC-46dB

Para la sujeción de los sensores, en todos los casos se utilizaron los dispositivos MAG4SI, diseñados específicamente para el montaje de sensores VS30-SIC-46dB. Este sistema de fijación cuenta con dos imanes que, junto con resortes, proporcionan una fuerza de sujeción constante, garantizando un contacto estable y seguro durante los ensayos. (Ver Figura 17.)



Figura 17- sistema de fijación MAG4SI

Para asegurar una correcta transmisión de ondas, se utilizó como acoplante grasa siliconada OKS 1110, cuyas propiedades garantizan un contacto eficiente entre el sensor y la superficie de ensayo. Sus características principales son:

- Temperatura de aplicación inferior: -40 °C
- Temperatura de aplicación superior: 200 °C
- Consistencia: Clase 3 NLGI (según DIN ISO 2137)
- Viscosidad a 40°C: 9.500 mm²/s (Aceite base)

4.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.3.1. CONDICIONES NORMATIVAS Y LIMITACIONES

Los ensayos se llevaron a cabo conforme a lo establecido en la norma IRAM 725 (2019) y en el marco de la Resolución 785/05 de la Secretaría de Energía de la Nación.

La resolución establece que no se pueden realizar auditorías consecutivas con la misma firma auditora. Para que una entidad auditora pueda ser nuevamente asignada, deben haber transcurrido al menos dos auditorías consecutivas llevadas a cabo por otras firmas habilitadas por la Secretaría de Energía.

Además, la resolución limita la cantidad de ensayos de Emisión Acústica a tres consecutivos, con un máximo acumulado de seis años. Si no se detectan indicios de corrosión o fugas, el plazo máximo para la próxima inspección es de dos años; sin embargo, esta disposición difiere de la normativa, que en estos casos amplía el rango de tiempo a cinco años.

Con lo mencionado anteriormente es difícil realizar verificaciones de las indicaciones obtenidas en los ensayos con la apertura e inspección interna del tanque.

4.3.2. ETAPAS DEL ENSAYO

El Anexo I describe en detalle el procedimiento adoptado por el grupo OAT para la realización de los ensayos. En esta sección se presenta, de forma resumida, la síntesis de los pasos y parámetros fundamentales seguidos en los ensayos realizados en este trabajo.

Cabe destacar que se respetaron todas las etapas descritas, excepto en aquellos casos en los que, por motivos prácticos, algún parámetro no pudo cumplirse de forma estricta; en dichos casos, la evaluación se mantuvo para sustentar las conclusiones finales.

Preparación previa al ensayo

Antes de acudir a la locación, es esencial realizar un estudio previo de las condiciones meteorológicas previstas para el día de la prueba. Además, se debe recopilar toda la información relevante del tanque, incluyendo:

- Las características técnicas y constructivas, así como las propiedades y la temperatura del producto almacenado.
- Informes de inspecciones anteriores.
- Detalles sobre reparaciones previas.

Verificación en sitio

Una vez en el lugar de ensayo, se deben comprobar que las condiciones climáticas sean adecuadas, garantizando la ausencia de lluvia, nieve o viento excesivo (ráfagas inferiores a 25 km/h). Además, es necesario relevar las dimensiones del tanque y contrastarlas con la información proporcionada por la operadora. Se debe verificar in situ el nivel de llenado y el tiempo de reposo del líquido, el cual debe ser de al menos 24 horas.

La empresa operadora puede validar esta información mediante documentación respaldatoria, entre la cuales se incluyen:

- Registro del medidor de nivel, en formato digital o visual en campo.
- Ensayo termográfico, que además permite evaluar la acumulación de lodos dentro del tanque.
- Medición manual realizada por un operador, utilizando cinta y pilón para determinar la altura del líquido.

Adicionalmente, se debe inspeccionar el entorno del tanque para identificar posibles fuentes de ruido que puedan interferir en el ensayo, tales como bombas, compresores u otros equipos cercanos.

Se deben realizar mediciones previas para determinar la ubicación óptima de los sensores, tanto los cercanos al piso como los sensores de guarda. Los sensores de la primera fila se

deben colocar a un metro de la base del taque, mientras que los sensores de guarda por encima de estos, procurando que se encuentren debajo del nivel de líquido.

Verificación y configuración del equipo.

Es imprescindible verificar el correcto funcionamiento del equipo y de los sensores antes de iniciar la prueba. Una vez confirmada su operatividad, se debe proceder con la configuración de adquisición de datos y calibración para asegurar mediciones precisas.

Nivel del ruido de fondo.

Antes de colocar los sensores en la envolvente del tanque, se debe realizar la medición del "ruido de fondo" ambiental (valor RMS). Este procedimiento permite detectar la presencia de ruidos externos que podrían interferir en el ensayo y afectar la confiabilidad de los resultados.

El monitoreo debe efectuarse durante cinco minutos, asegurando que el valor promedio del ruido de fondo se mantenga por debajo 5 μ V. Si este valor es superior se debe tratar de eliminar, reducir o atenuar la fuente de ruido, de ser posible.

Una vez verificada la condición anterior, se procede a la instalación de los sensores en sus posiciones definidas en la envolvente del tanque. Para asegurar una transmisión eficaz de las señales acústicas, se aplica una fina capa de material acoplante en la superficie de cada sensor, garantizando un contacto homogéneo que minimice las pérdidas en la propagación de la señal.

Tras el montaje, se realiza una segunda medición del ruido de fondo con el propósito de detectar posibles perturbaciones acústicas provenientes del interior del tanque o generadas en su superficie. Este monitoreo se extiende durante cinco minutos y el valor promedio no

debe superar los 5 μV . En caso de que se exceda este umbral y no sea posible eliminar, reducir o atenuar la fuente de ruido, el ensayo no debe continuar.

La Figura 18 muestra un ejemplo representativo de un nivel de ruido de fondo adecuado para la ejecución del ensayo.

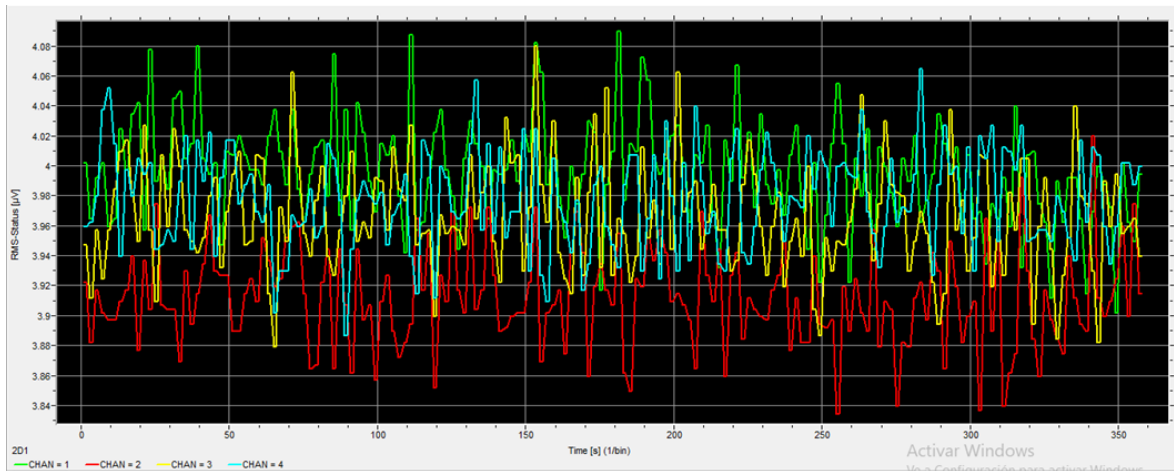


Figura 18- Ruido de fondo

Calibración de sensores.

Con un nivel de ruido de fondo adecuado, se procede a la calibración de los sensores. Para ello, se realiza el ensayo de Hsu-Nielsen, como se explicó previamente. Este ensayo consiste en la rotura de la mina de carbono a una distancia de 0,05 m de los sensores.

Durante la prueba, se debe verificar que la fractura de la mina genere amplitudes de señal dentro del rango de 85 dB a 95 dB (Ver Figura 19), asegurando así la correcta sensibilidad y respuesta de los sensores ante eventos de emisión acústica.

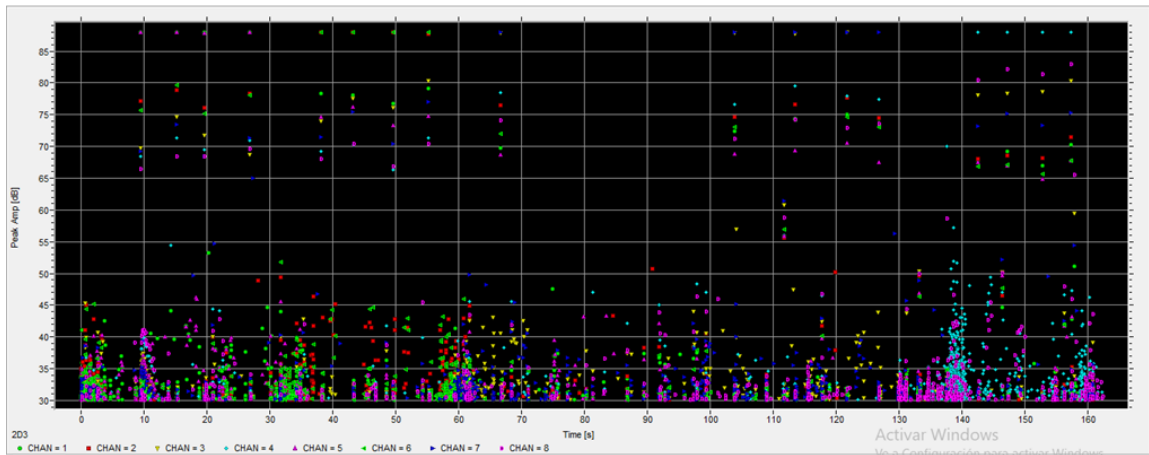


Figura 19- Prueba válida de Hsu-Nielsen

Posteriormente, se debe realizar una calibración de los sensores utilizando la función de pulsador del equipo de EA, la cual permite que los sensores actúen como generadores de ondas elásticas.

Para verificar la correcta sensibilidad de los sensores, se debe analizar la tabla de pulsaciones generada por el software, asegurando que todos los sensores registren las señales con una sensibilidad similar. La tolerancia admitida para esta calibración está dentro de un rango de ± 3 dB respecto a la media del resto de los sensores.

Este comportamiento puede observarse en la diagonal principal de la tabla de pulsaciones (ver Figura 20), donde cada valor representa la amplitud de la señal registrada por los sensores identificados del 1 al 8, en este caso.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	74,8	44,2	72,6	39,0	88,0	48,7	43,1	50,7
2	44,5	74,3	50,8	58,6	49,7	88,0	51,0	42,8
3	72,6	52,2	73,9	42,5	37,5	41,0	82,6	42,7
4	39,0	54,4	41,4	74,2	50,4	38,6	44,3	88,0
5	88,0	49,3	37,1	50,4	74,6	49,7	51,9	52,3
6	49,1	88,0	42,2	39,9	50,2	73,9	52,2	36,3
7	43,4	50,5	81,5	44,1	52,2	52,3	73,9	52,8
8	50,7	42,1	42,5	88,0	52,6	64,3	52,7	74,5

Tabla 5 - Tabla de pulsaciones

Configuración del procesador de localización.

Mediante el software, se obtiene un listado de los tiempos de arribo de las señales a los distintos sensores. Esta información permite verificar la correcta distribución de los sensores sobre la envolvente del tanque y calcular la velocidad aparente de propagación de la onda en el líquido, tomando como referencia los tiempos de detección registrados.

Con la velocidad aparente calculada y el diámetro del tanque, se procede a la configuración del localizador de eventos (ver Figura 20), el cual permite identificar y determinar con precisión la ubicación de los eventos generados en el fondo del tanque.

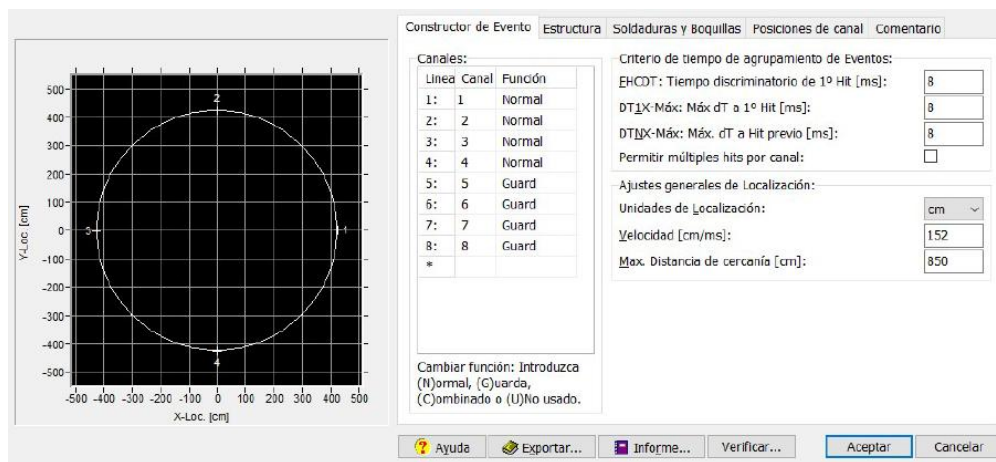


Figura 20- Configuración del localizado de eventos

Como parte del análisis de eventos acústicos, se configura en el software un Procesador de Clúster, que permite visualizar la distribución de eventos detectados dentro de la envolvente del tanque.

Los clústeres se definen con una forma circular y un tamaño equivalente al 10% del diámetro del tanque. La cantidad de eventos registrados dentro de cada clúster determina su clasificación por color (Ver figura 21):

- Clúster verde: hasta 5 eventos.
- Clúster amarillo: hasta 10 eventos.
- Clúster azul: hasta 25 eventos.
- Clúster rojo: hasta y más de 50 eventos.

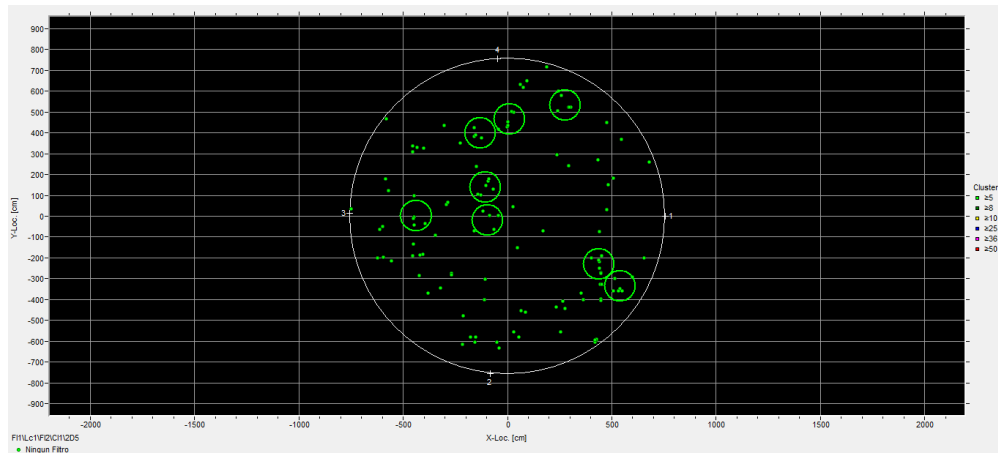


Figura 21- Configuración de clústeres

Ejecución de la prueba.

Una vez completada la calibración y la configuración del procesador de ubicación, se procede a la ejecución del ensayo. Según la normativa, el tiempo mínimo recomendado para la evaluación es una hora, aunque puede extenderse si se detectan eventos externos como ráfagas de viento u otras fuentes de ruido que puedan comprometer la fiabilidad de los resultados. Durante la prueba, estos eventos deben ser identificados en tiempo real para su posterior exclusión del análisis. Asimismo, se debe monitorear continuamente el nivel de ruido de fondo, asegurando que su promedio no exceda el límite de $5 \mu\text{V}$, ya que valores superiores podrían comprometer la validez de los datos obtenidos.

Verificación de la validez del ensayo.

Una vez finalizado el periodo de evaluación, se deben repetir los ensayos de Hsu-Nielsen y la calibración de sensores utilizando la función de pulsador.

Los valores obtenidos en estas pruebas deben mantenerse dentro de un margen de $\pm 3 \mu\text{V}$ respecto a los registrados antes del inicio del ensayo. Si se detectan variaciones fuera de este rango, el ensayo no puede considerarse válido, ya que la discrepancia indica posibles alteraciones en la sensibilidad de los sensores.

4.3.3. BASE DE DATOS

El propósito de la base de datos es conservar de manera completa e integral los registros de los ensayos realizados por el grupo OAT, sin importar si los resultados obtenidos se consideran válidos o no. Este registro no solo asegura la trazabilidad de cada prueba, sino que también optimiza su búsqueda y consulta.

Para ello, se precisan los siguientes datos: todas las características geométricas del tanque; el nombre asignado por la operadora; el número otorgado por la Secretaría de Energía; el nombre de la operadora y localización de la instalación donde se realizó el ensayo (nombre); la fecha de ejecución; un informe final en formato PDF; y todas las observaciones relevantes que puedan derivarse de cada ensayo.

5. DESARROLLO

En este capítulo se analizan ensayos que, debido a sus características y resultados, son de especial interés para su estudio. Estos casos particulares provienen de más de 4 años de experiencia y de más de 50 ensayos realizados por el grupo OAT en diversas instalaciones petrolíferas del país.

5.1. EFECTOS EN EL TIEMPO DE REPOSO DEL FLUIDO

En esta sección se analizará cómo afecta el tiempo de reposo del líquido contenido en el tanque en la evaluación de la integridad de del fondo del mismo.

En este caso, se llevaron a cabo dos pruebas en el mismo tanque. Las condiciones para ambas pruebas fueron idénticas: las condiciones climáticas eran aptas para realizar el ensayo, y el tanque contenía la misma cantidad y tipo de producto almacenado. La única variable que se modificó fue el tiempo de reposo del fluido interno, es decir, el tiempo transcurrido desde que el tanque dejó de recibir o enviar producto hasta el inicio del ensayo. Durante este periodo, no se extrajo ni se introdujo ningún fluido en el tanque.

La primera prueba se realizó con un tiempo de reposo del fluido dentro del tanque de 2 horas, mientras que la segunda prueba se llevó a cabo con un tiempo de reposo de más de 24 horas.

A continuación, se detallan las características del tanque (Tabla 6).

Diámetro [m]	5
Altura [m]	2,5
Capacidad [m ³]	49,08
Producto almacenado	PETRÓLEO/AGUA
Altura de llenado [m]	1,7
Umbral de detección [dB]	30

Tabla 6 – Datos del tanque

Instrumentación del tanque

El tanque fue instrumentado de la siguiente manera:

- El primer sensor (S1) se colocó a 1,8 metros a la derecha de la boca de inspección A1.
- La separación entre sensores fue de 3,93 metros y la separación entre los sensores primarios y los guardianes fue de 0,3 metros.

Se colocaron sensores en dos anillos:

- El primer anillo se ubicó a 1 metros de altura con respecto al fondo del tanque.
- El segundo anillo se situó a 1,3 metros de altura con respecto al fondo del tanque.

Los sensores del anillo superior se colocaron directamente por encima de los inferiores y fueron instalados en sentido antihorario (ver figura 22 y 23).

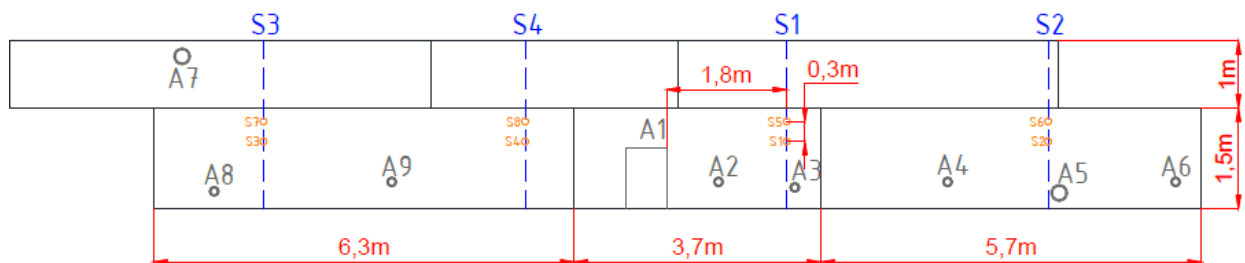


Figura 22- Distribución de sensores



Figura 23- Fotografía del tanque ensayado

En primer lugar, se analizó el ruido de fondo (valor RMS) registrado en ambos ensayos. Cada canal se identifica mediante un color, correspondiendo los sensores del 1 al 4 a la primera fila de sensores, mientras que los restantes conforman el anillo de guarda. Se observó que el promedio del ruido de fondo en el ensayo con 2 horas de reposo era ligeramente superior al valor máximo recomendado de $5 \mu\text{V}$. Sin embargo, esta diferencia no es significativa y, para fines prácticos, se realizó el ensayo.

En el caso del tanque con 24 horas de reposo, el valor promedio del ruido de fondo es inferior a $5 \mu\text{V}$. (Ver figura 24).

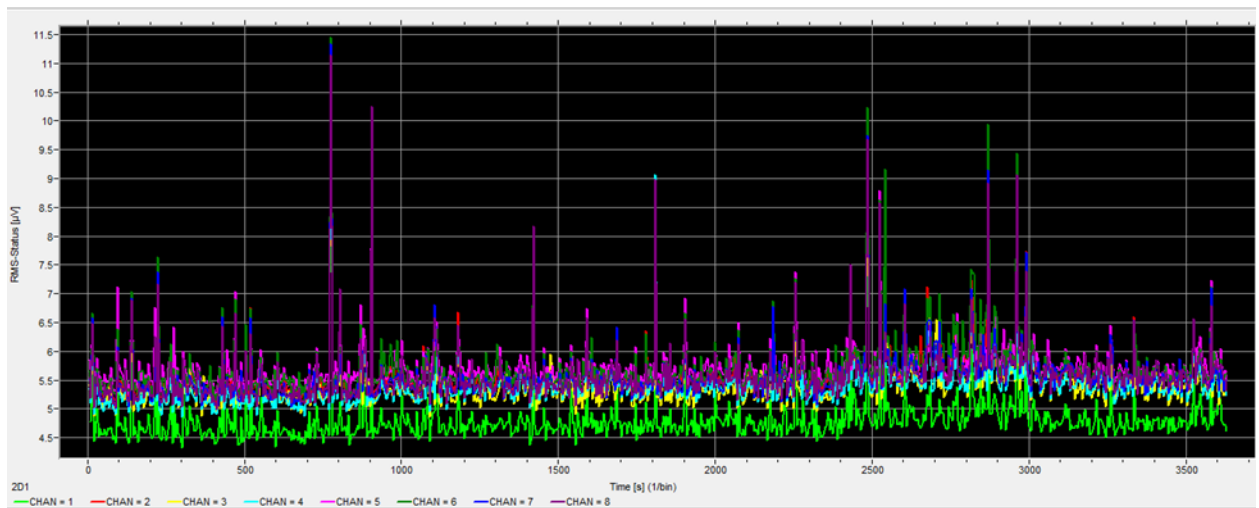


Figura 24- Ruido de fondo con 2 hs de reposo

Con 24 horas de reposo, el ruido de fondo promedio durante la prueba (60 minutos) se mantuvo por debajo de $5 \mu\text{V}$. (Ver figura 25)

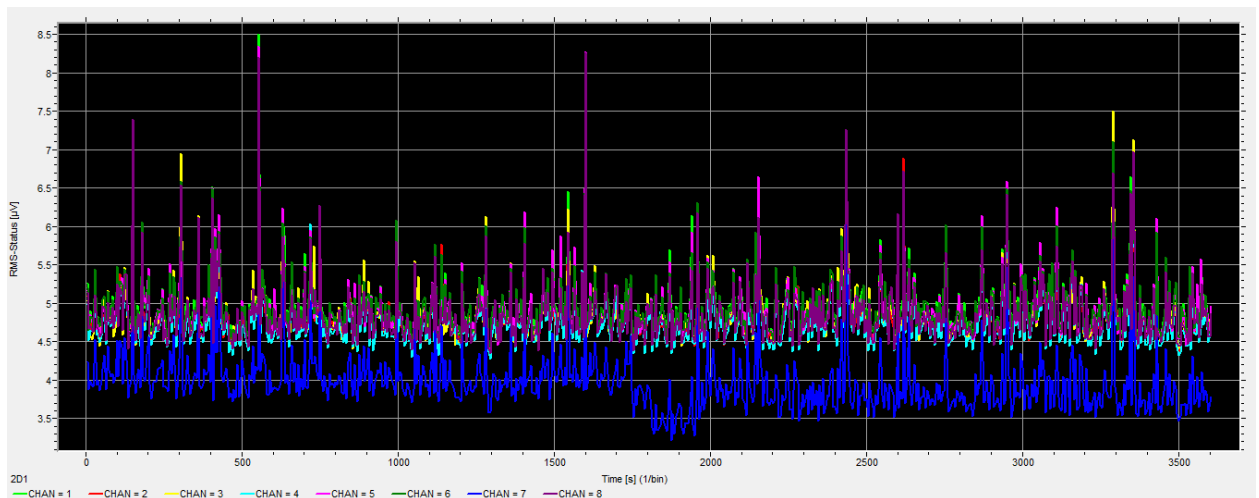


Figura 25- Ruido de fondo con 24 hs de reposo

Durante la prueba con dos horas de reposo se registraron 207 eventos localizados. (Ver Figura 26). Formándose 15 clústeres dentro del diámetro del tanque. (Ver figura 27 y 28).

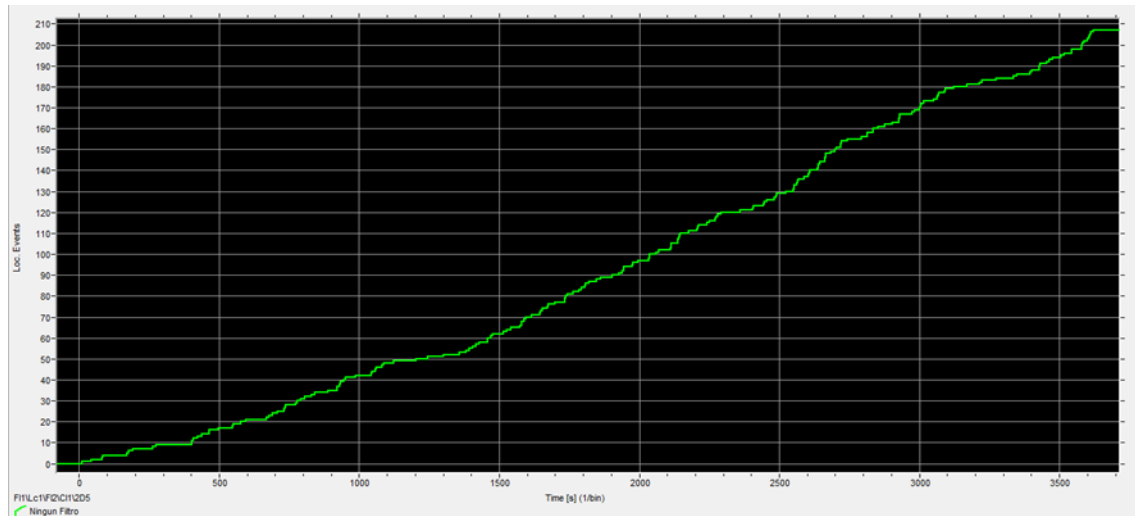


Figura 26- eventos localizados con 2hs de reposo

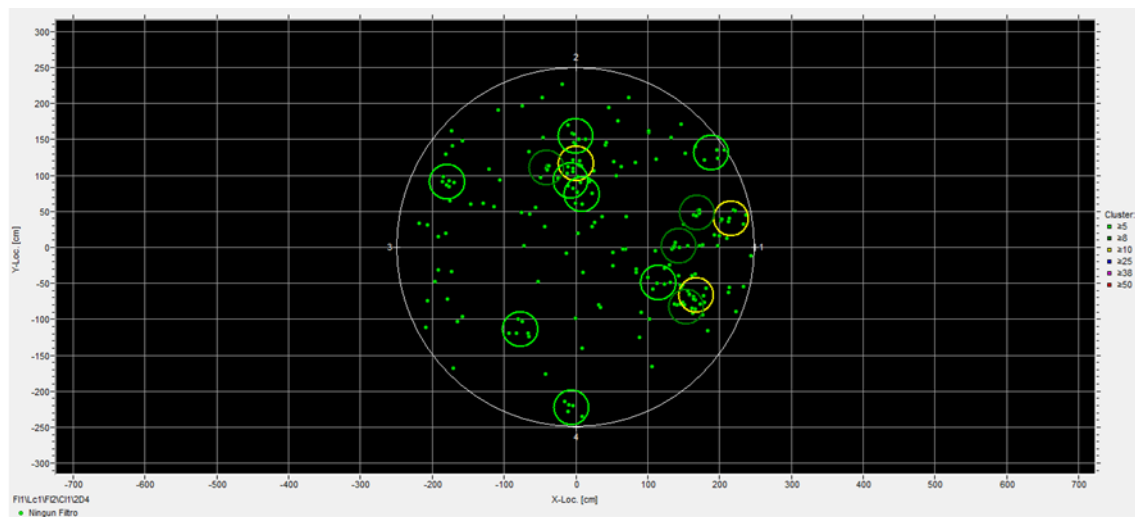


Figura 27- clústeres formados con 2 hs de reposo

Cluster	Elements	X-Loc. [cm]	Y-Loc. [cm]	mean(Peak Amp [dB])	sum(Energy [eJ])	sum(Counts)
10	11	0,61	116,74	52,60	21988	489,0
5	11	216,42	40,39	46,98	4410	152,0
13	10	168,33	-66,17	43,71	7422	612,0
4	9	143,63	1,46	58,67	103337	2594
15	9	-40,28	110,55	38,60	164,6	21,00
25	9	154,29	-82,99	52,92	36230	1857
47	8	169,21	48,32	42,40	586,3	44,00
12	6	-0,25	154,97	41,05	237,5	27,00
22	6	-178,92	90,62	42,34	852,2	68,00
8	6	-77,06	-114,08	44,31	1169	95,00
6	6	8,67	73,80	60,63	941454	2351
43	6	-7,02	92,56	60,79	130502	1128
44	5	-6,23	-223,14	39,14	206,8	21,00
29	5	189,15	131,41	50,31	10733	642,0
17	5	115,26	-49,63	46,21	5808	593,0

Figura 28- Lista de clústeres

Para el caso de estudio con el periodo de reposo de 24 hs, se registraron 105 eventos localizados. (Ver figura 29). Formándose 5 clústeres dentro del radio del tanque. (Ver figuras 30 y 31).

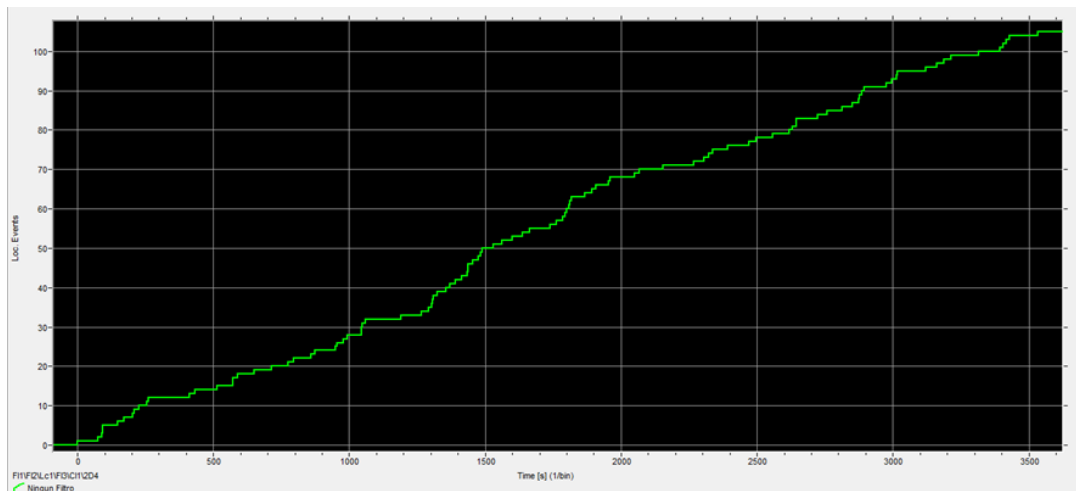


Figura 29- Eventos localizados con 24 de reposo

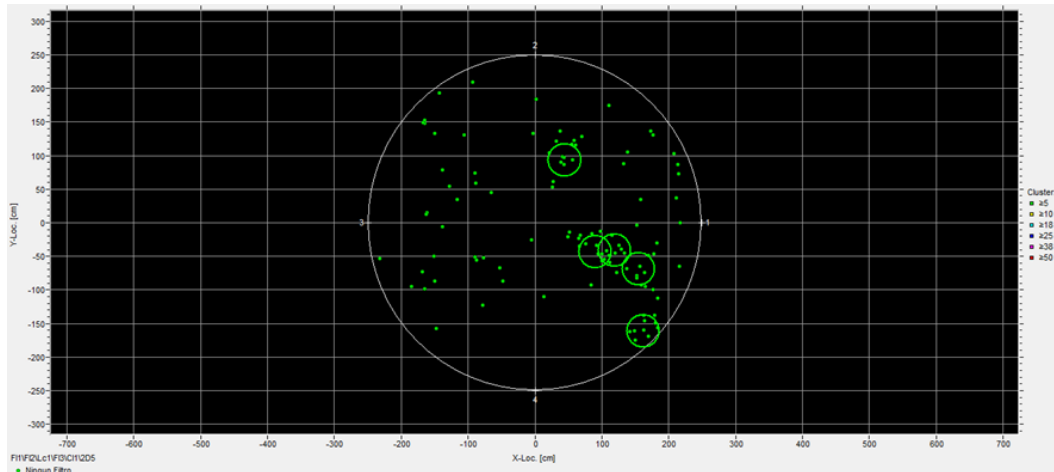


Figura 30- Clústeres formados con 24 hs de reposo

Cluster	Elements	X-Loc. [cm]	Y-Loc. [cm]	mean(Peak Amp [dB])	sum(Energy [eu])	sum(Counts)
1	8	119,00	-41,35	58,21	251317	6891
3	7	90,44	-43,29	59,12	1245259	7798
10	7	162,36	-161,82	50,43	5655	392,0
4	6	155,11	-69,28	48,94	8887	1255
6	5	44,58	93,54	52,91	31998	2358

Figura 31- Lista de clústeres

En la figura 32 se observan claras diferencias en la cantidad de actividad acústica en función de los distintos tiempos de reposo.

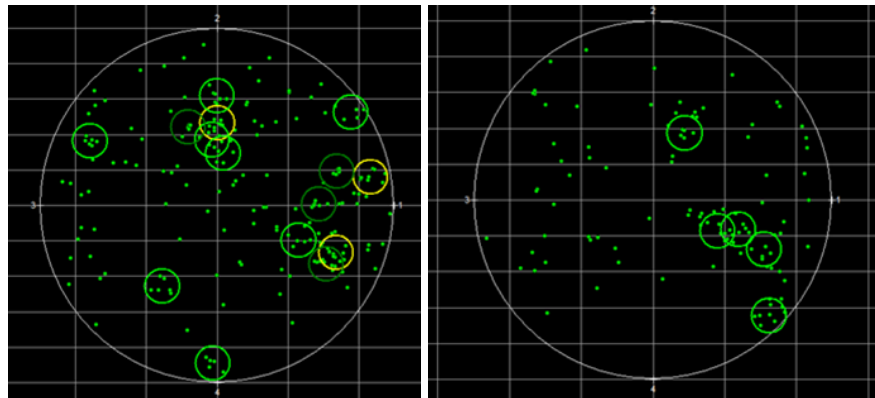


Figura 32- Diferencias en la actividad acústica con diferente tiempos de reposo.

Aplicando el criterio de clasificación de fondos de tanque al primer ensayo, obtenemos 207 eventos localizados y 15 clústeres dentro del diámetro del tanque. Esto puede evaluarse como que el fondo del tanque está afectado por "corrosión de mediana intensidad", lo que le corresponde un índice "C". Evaluando la actividad acústica, se observan clústeres con alta energía acumulada y un valor promedio superior al 60% del umbral de detección, lo que

corresponde a una energía muy alta, con índice "4". En conjunto, el fondo queda evaluado como "C4", **por lo que el tanque debe abrirse a la brevedad.**

Aplicando el criterio de clasificación para el segundo caso, observamos que la cantidad de eventos localizados disminuyó a 105, al igual que la cantidad de clústeres, que se redujo a 5. Podemos clasificarlo con un índice "B", indicando que el piso del tanque está "afectado por corrosión de baja intensidad".

En cuanto a la actividad acústica, se observa al menos un clúster con alta energía acumulada, por lo que se clasifica con un índice "3", indicando "alta actividad acústica". El fondo del tanque queda clasificado como "B3", **por lo que el tanque debe inspeccionarse al año.**

CONCLUSIONES:

La cantidad de actividad acústica aumenta a medida que disminuye el tiempo de reposo.

El ruido de fondo y la actividad acústica dentro del fluido, observados con un reposo de 2 horas, pueden atribuirse a varios factores como la sedimentación de partículas dentro del tanque, procesos de desgasificación, movimiento del fluido debido a diferencias de temperatura (convección) o diferencias de densidad (decantación) [5].

A partir de lo relevado, se concluye que un tiempo de reposo de 2 horas no es suficiente para realizar un ensayo adecuado del fondo del tanque. Un tiempo de reposo reducido podría llevar a conclusiones erróneas respecto al estado de integridad del fondo del tanque.

De acuerdo con lo establecido en la bibliografía y en las normativas técnicas aplicables a la evaluación mediante Emisión Acústica, se recomienda un tiempo mínimo de reposo de 24 horas, considerado suficiente para asegurar condiciones estables del fluido y una adquisición confiable de señales.

5.2. EFECTO DEL VIENTO EN LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO

En esta sección se analizará cómo afectan los factores climáticos la adquisición de datos, más precisamente cómo se ve afectado el ensayo con la presencia de viento.

Se realizaron dos ensayos en el mismo tanque, manteniendo constante el nivel de llenado y el tiempo mínimo de reposo del fluido estipulado por la norma. Los ensayos se llevaron a cabo en diferentes ocasiones: un día con la presencia de viento superior a 20 km/h, y otro día con una leve brisa que no superaba los 15 km/h. Además, la dirección del viento fue diferente en cada ensayo.

A continuación (Tabla 7), se describen las características del tanque:

Diámetro [m]	10,3
Altura [m]	12,5
Capacidad [m ³]	1041,54
Producto almacenado	Mezcla (petróleo y agua)
Altura de llenado [m]	10,5
Umbral de detección [dB]	36

Tabla 7- Datos del tanque

Instrumentación del tanque

El tanque fue instrumentado de la siguiente manera:

- El primer sensor (S1) se colocó a 4,22 metros a la derecha de la boca de inspección A5.
- La separación entre sensores fue de 8,09 metros y la separación entre los sensores primarios y los guardianes fue de 1,1 metros.

Se colocaron sensores en dos anillos:

- El primer anillo se ubicó a 1 metros de altura con respecto al fondo del tanque.
- El segundo anillo se situó a 2,1 metros de altura con respecto al fondo del tanque.

Los sensores del anillo superior se colocaron directamente por encima de los inferiores y fueron instalados en sentido antihorario (ver figura 33 y 34).

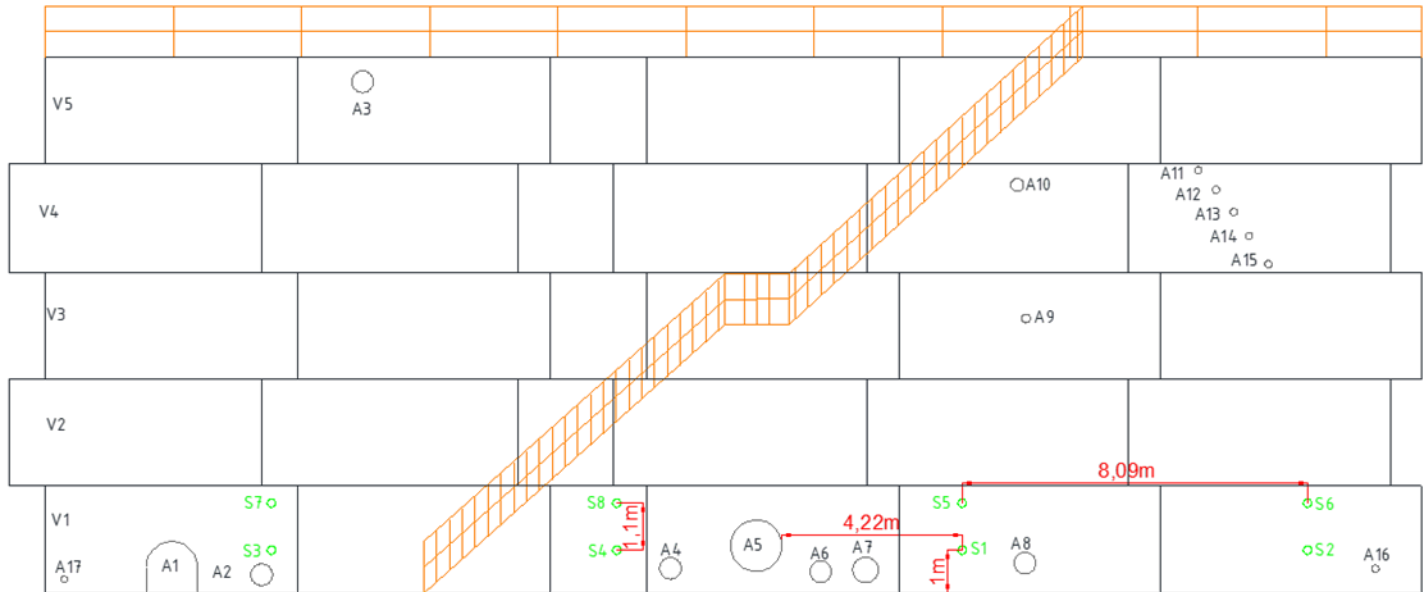


Figura 33- Distribución de sensores



Figura 34- Tanque ensayado

En primer lugar, se observa el ruido de fondo durante la prueba. En el día con mayor intensidad de viento, se constató que el ruido de fondo era superior, con un promedio por encima de los $5 \mu\text{V}$ (Ver figura 35). En contraste, el día con menor intensidad de viento mostró un ruido de fondo promedio inferior a los $5 \mu\text{V}$ (ver figura 36)

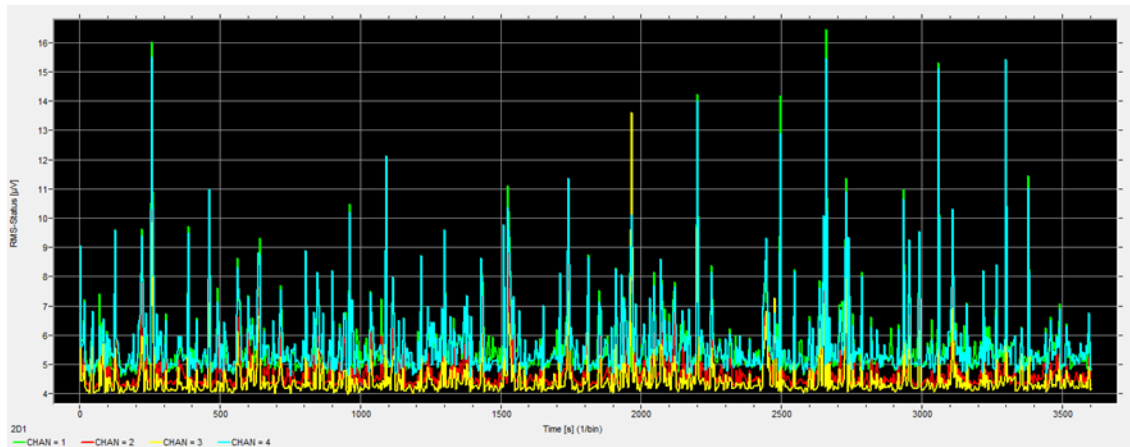


Figura 35- ruido de fondo con viento más intenso

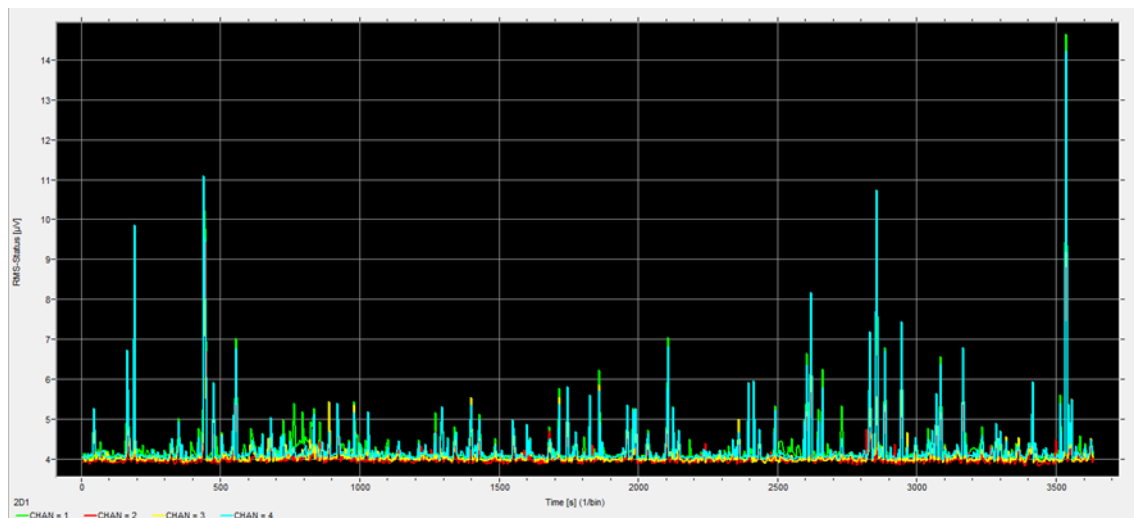


Figura 36- Ruido de fondo con menor intensidad de viento

A pesar de que el ruido de fondo en el día con mayor intensidad de viento superó el límite recomendado de $5 \mu\text{V}$, se decidió continuar con el ensayo solo por razones prácticas.

La cantidad de eventos localizados en el día con mayor intensidad de viento fue de 253 (Ver figura 37), mientras que en el día con menor intensidad de viento fue de solo 17 (Ver figura 38), una cifra considerablemente menor.

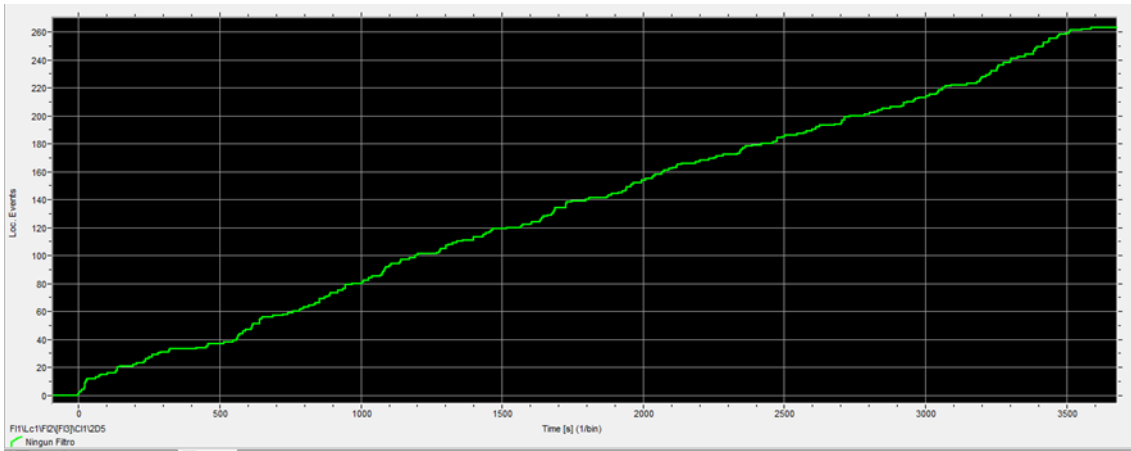


Figura 37- Eventos localizados con mayor intensidad de viento. 253 eventos localizados

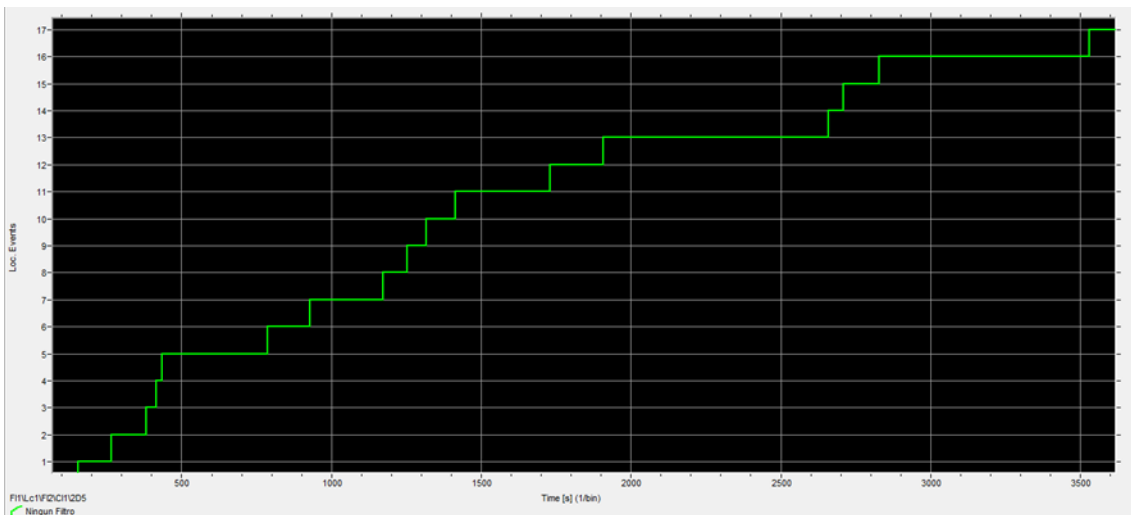


Figura 38- Eventos localizados con menor intensidad de viento. 17 eventos localizados

El día con mayor intensidad de viento se generaron 21 clústeres con un promedio de amplitud de 45,55 dB. Considerando que el umbral de detección en este ensayo fue de 36 dB, la amplitud de los eventos es un 26,5% superior a dicho umbral. (Ver figura 40)

Se puede observar que la cantidad de eventos y clústeres formados se concentran en una mitad del tanque dada entre los sensores 1,2 y 3. (Ver figura 39)

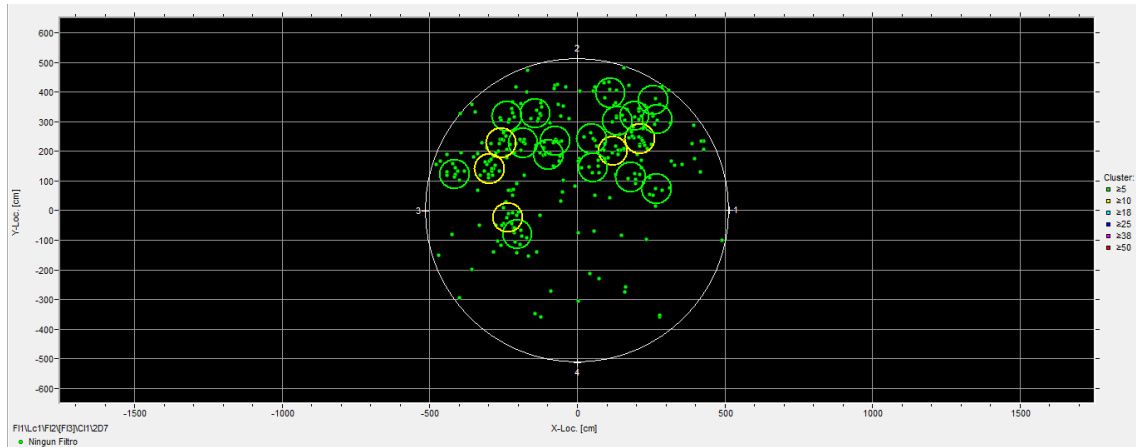


Figura 39- Clústeres formados con viento de mayor intensidad

Cluster	Elements	X-Loc. [cm]	Y-Loc. [cm]	mean(Peak Amp [dB])	sum(Energy [eu])	sum(Counts)
2	16	212,50	241,45	47,68	23558	377,0
8	14	-296,73	141,01	45,86	20024	252,0
4	11	-257,39	228,82	45,45	6827	202,0
20	10	120,81	200,80	44,92	5612	139,0
29	10	-235,48	-23,51	49,85	12788	241,0
19	9	-202,27	-80,44	44,44	3363	119,0
13	9	-97,57	188,22	42,93	2572	119,0
11	9	-141,35	327,53	47,83	14964	229,0
9	8	193,71	319,88	46,93	9698	171,0
38	8	-183,38	228,20	42,39	1772	87,00
26	7	-414,70	122,59	49,54	14473	192,0
7	7	181,75	112,37	45,38	4111	130,0
37	7	112,57	397,52	51,37	17191	230,0
31	6	53,14	145,29	40,61	711,7	48,00
27	6	268,65	73,21	51,99	27196	199,0
28	6	-75,14	234,60	41,67	3973	74,00
33	6	-237,99	317,68	47,05	11598	170,0
42	5	135,98	302,95	44,70	1809	77,00
17	5	271,49	308,64	42,41	613,1	39,00
30	5	48,65	242,77	41,84	1254	61,00
1	5	258,20	373,15	41,83	1316	67,00

Figura 40- Lista de claustrs formadas con vientos de mayor intensidad

En la jornada con menor intensidad de viento, no se registró una cantidad suficiente de eventos como para conformar un clúster (Ver Figura 41).

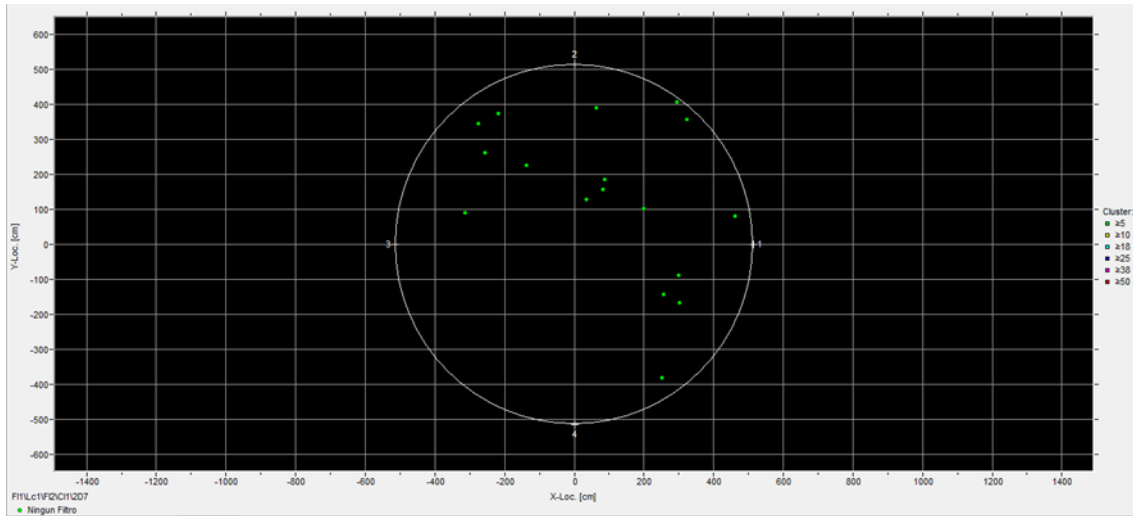


Figura 41- Actividad acústica con viento de menor intensidad

Aplicando el criterio de calificación para ambos ensayos, en el día con mayor intensidad de viento se registraron más de 253 eventos localizados, lo que indica que el fondo del tanque está "afectado por corrosión de alta intensidad", le corresponde un índice "D". La amplitud promedio es superior al 30% del valor del umbral de detección y algunos clústeres con alta energía, lo que sugiere una actividad acústica "alta" y un índice 3. Según el criterio de clasificación, esto corresponde a "D3", lo que sugiere que **El tanque debe ser abierto para inspección.**

En el día con menor intensidad de viento, se registraron 17 eventos localizados, lo que, según el criterio de calificación, indica que el fondo "no está afectado por corrosión". Dado que no se formó ningún clúster, podemos concluir que no existe actividad acústica relevante (baja). Por lo tanto, según el criterio de clasificación, esto corresponde a la categoría "A1", y **El tanque debe ser reinspeccionado en 5 años.**

Basado en la experiencia, se recomienda realizar los ensayos en condiciones de viento que no superen los 25 km/h. En el primer caso, el viento no superó los 20 km/h.

Una posible explicación para la elevada actividad acústica observada durante el ensayo podría estar relacionada con la distribución geométrica del tanque y la dirección del viento. Cabe destacar que la temperatura ambiente y la del fluido contenido en el tanque no mostraron diferencias significativas respecto al segundo ensayo. En ambos casos, además, el cielo se encontraba despejado.

El aumento de la actividad acústica en el tanque puede atribuirse al incremento de la velocidad del viento debido a la reducción del área entre los tanques (efecto Venturi), como se observa en la Figura 42.

La actividad acústica, como se mencionó, se presentó en la mitad del tanque, y se limitó a los sensores 1, 2 y 3. En esta zona, comienza la reducción del área, la disminución de la presión del aire y el consecuente aumento de la velocidad del viento.



Figura 42- Distribución geométrica de la instalación

CONCLUSIONES

De los ensayos realizados, se puede observar que la velocidad del viento afecta de manera significativa la obtención de datos. El viento no solo genera eventos sobre la envolvente del tanque debido al impacto de partículas, sino que también provoca movimientos en toda la estructura del tanque. Esto ocasiona el movimiento del fluido contenido, la precipitación de partículas y movimientos convectivos del fluido debido a las diferencias de temperatura.

Por lo analizado anteriormente, se puede evidenciar la sensibilidad de la técnica al viento, por lo que se recomienda realizar los ensayos en las mejores condiciones climáticas posibles.

5.3. EFECTO DEL RUIDO ELÉCTRICO

El ruido eléctrico también afecta considerablemente la adquisición de datos para la evaluación de la integridad del fondo de un tanque de almacenamiento.

En este caso, inicialmente no se realizó el ensayo completo debido a la presencia de ruido eléctrico. Sin embargo, se midió el ruido de fondo durante más de 15 minutos con los sensores colocados en la envolvente del tanque. En una segunda instancia, se logró realizar el ensayo de manera completa.

A continuación, se describen las características del tanque:

Diámetro [m]	9,05
Altura [m]	2,5
Capacidad [m ³]	160,81
Producto almacenado	Petróleo crudo
Altura de llenado [m]	1,13
Umbral de detección [dB]	32.1

Tabla 8- Datos del Tanque

Instrumentación del tanque

El tanque fue instrumentado de la siguiente manera:

- El primer sensor (S1) se colocó a 2,7 metros a la derecha de la boca de inspección A1.
- La separación entre sensores fue de 7,15 metros y la separación entre los sensores primarios y los guardianes fue de 0,35 metros.

Se colocaron sensores en dos anillos:

- El primer anillo se ubicó a 0,7 metros² de altura con respecto al fondo del tanque.
- El segundo anillo se situó a 1,05 metros de altura con respecto al fondo del tanque.

² En este caso, debido a que la operadora no pudo almacenar una mayor cantidad de producto (1,13m), se decidió disminuir la altura de los sensores normales al fondo del tanque, de 1 metro a 0,7 metros.

La distancia entre los sensores fue de 0,35 metros. Los sensores del anillo superior se colocaron directamente por encima de los inferiores y fueron instalados en sentido antihorario (ver Figura 43 y 44).

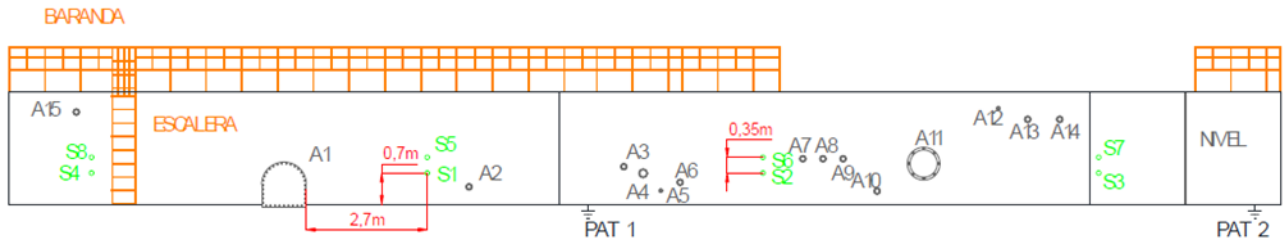


Figura 43- Distribución de sensores



Figura 44- Tanque ensayado

Al analizar el ruido de fondo en la primera prueba, donde se detectó la presencia de ruido eléctrico, se observa que el ruido de fondo en los canales 2, 3 y 4 es superior a $5 \mu\text{V}$, siendo el canal 3 el que presenta el valor más alto. (Ver figura 45).

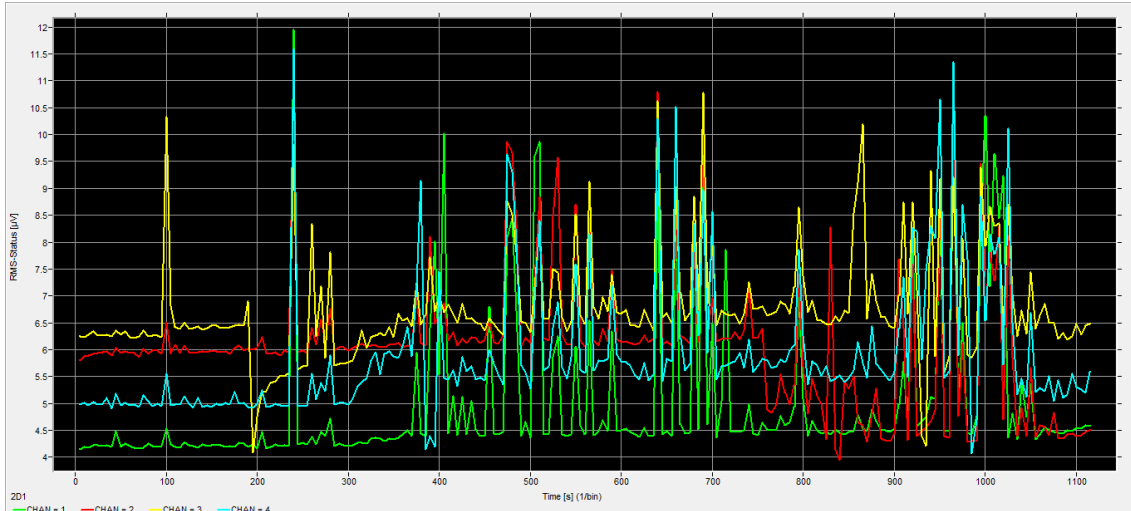


Figura 45- Ruido de fondo

Medición de eventos y clasificación durante la prueba con ruido eléctrico

Durante la medición del ruido de fondo en la primera prueba, en la cual se detectó la presencia de ruido eléctrico, se localizaron 212 eventos en un periodo de 1116 segundos (Ver Figura 46). En este ensayo se formaron 12 clústeres de alta amplitud promedio y alta energía (Ver Figuras 47 y 48).

Si aplicamos el criterio de clasificación, aunque solo sea a efectos prácticos, el análisis indica que el fondo del tanque está afectado por "corrosión de mediana intensidad" y presenta una "muy alta actividad acústica". Este diagnóstico ubica al tanque en la categoría "C4", **la cual recomienda la apertura inmediata del tanque para su revisión y mantenimiento.**

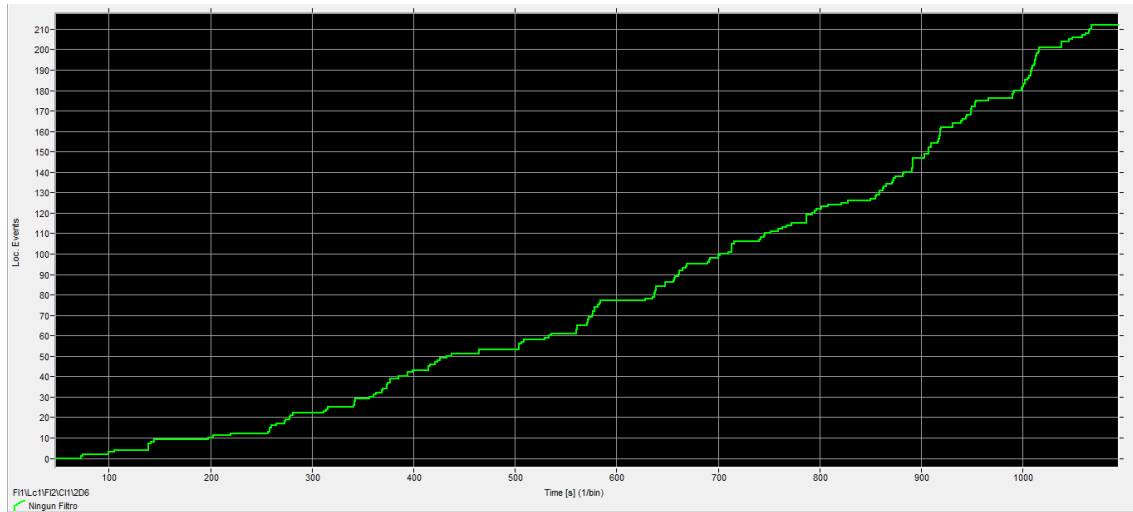


Figura 46- Eventos localizados

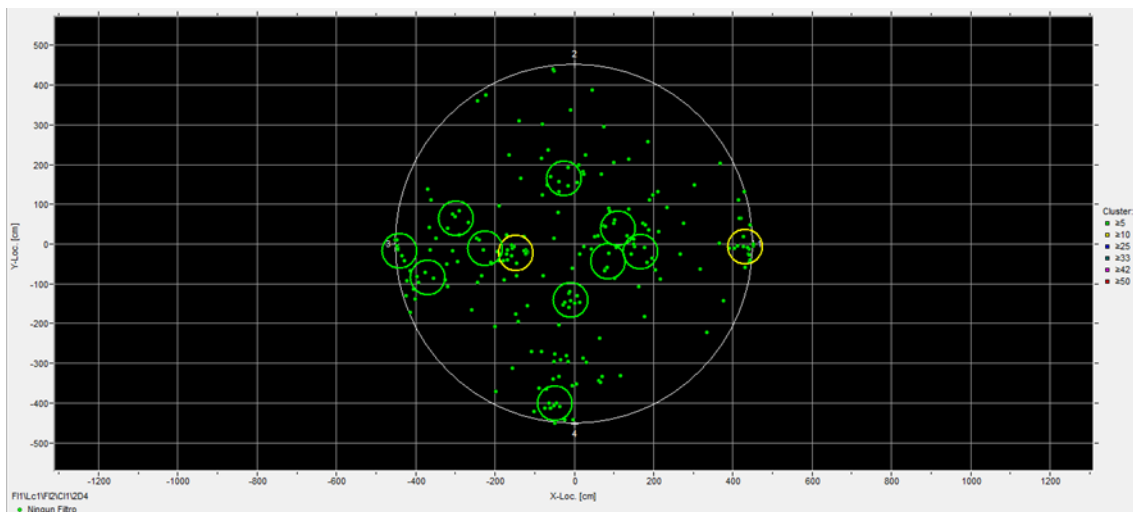


Figura 47 - Clústeres formados en el periodo de ensayo

Cluster	Elements	X-Loc. [cm]	Y-Loc. [cm]	mean(Peak Amp [dB])	sum(Energy [eu])	sum(Counts)
5	19	-147,42	-23,20	74,95	221318150	20120
11	12	431,39	-7,77	53,61	1272474	1104
3	9	-440,08	-17,54	52,80	1087947	1203
17	9	-9,08	-141,13	74,36	49982266	9936
14	8	-48,43	-401,28	55,88	5288602	2279
20	6	167,03	-20,28	71,72	72637722	6920
12	5	-223,52	-10,76	64,20	17819656	3829
1	5	111,43	38,72	45,69	47855124	1673
9	5	-297,10	64,31	59,47	215617	637,0
28	5	-369,71	-85,14	64,62	1731812	2362
18	5	-25,03	164,60	65,23	102655946	6492
27	5	86,18	-44,20	45,27	86449	1143

Figura 48- Listado de clústeres formados en el periodo de ensayo

Al finalizar la medición del ruido de fondo, se detectó la presencia de una conexión de telemetría, la cual aparentemente era la causa del ruido eléctrico observado. En la Figura 49 se puede apreciar la telemetración.



Figura 49- Telemetración del tanque

Repetición del ensayo

Se informó a la operadora sobre la presencia de ruido eléctrico, y posteriormente se realizó el ensayo nuevamente, con la telemetría desvinculada y desconectada eléctricamente. En este ensayo, se observó que el ruido de fondo se mantuvo en promedio por debajo de $5 \mu\text{V}$ durante toda la prueba. (Ver figura 50). Sin embargo, alrededor de los 1500 segundos, se registró un aumento en el ruido de fondo del sensor 4, provocado por una ráfaga de viento que desplazó su cable, haciéndolo impactar contra la envolvente. Este ruido no fue considerado en el ensayo debido a la activación del "filtro de radio".

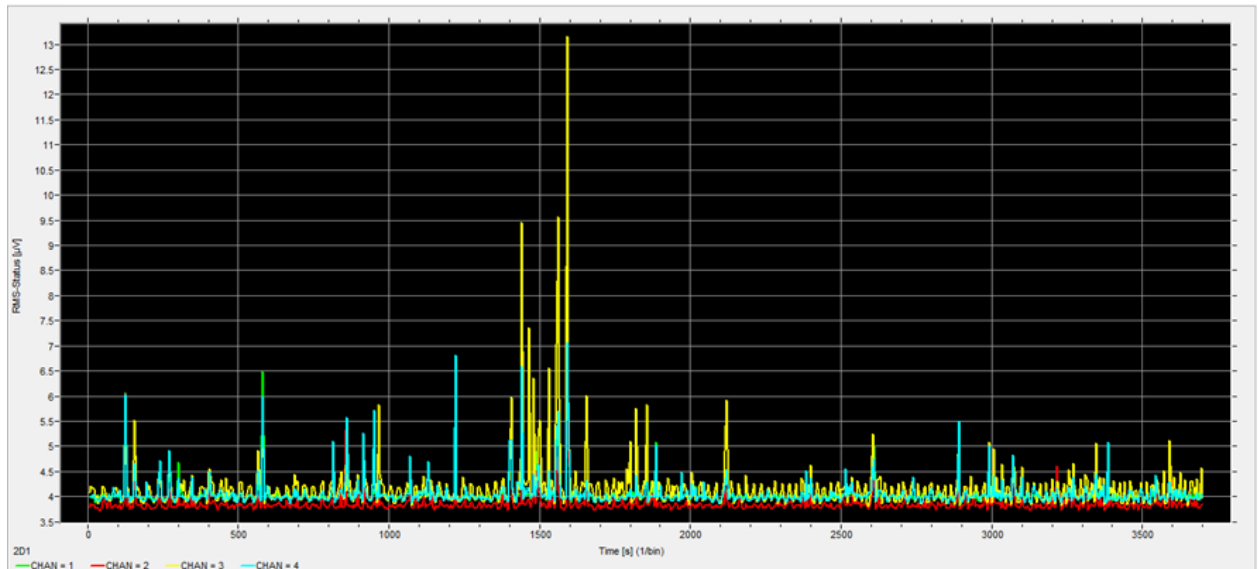


Figura 50- Ruido de fondo sin perturbaciones eléctricas

Resultados de la prueba sin ruido eléctrico

Durante la prueba, se detectaron 48 eventos localizados (Ver figura 51) y se formaron 3 clústeres (Ver figuras 52 y 53). A diferencia de los clústeres formados en la prueba con ruido eléctrico, estos presentaron menor amplitud y menor energía.

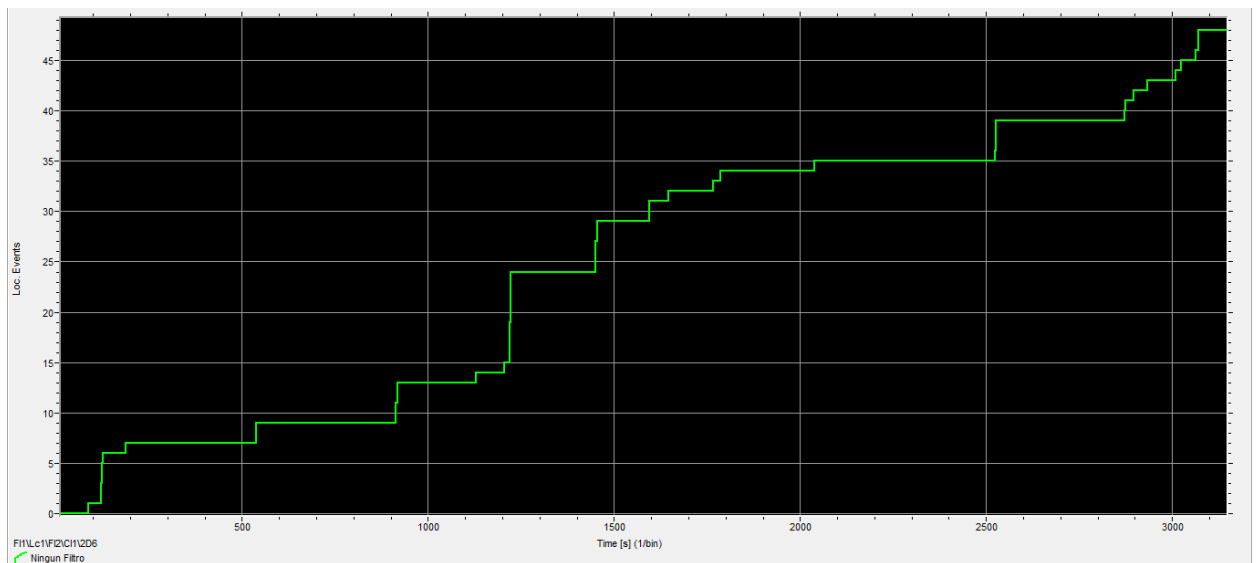


Figura 51- Eventos localizados

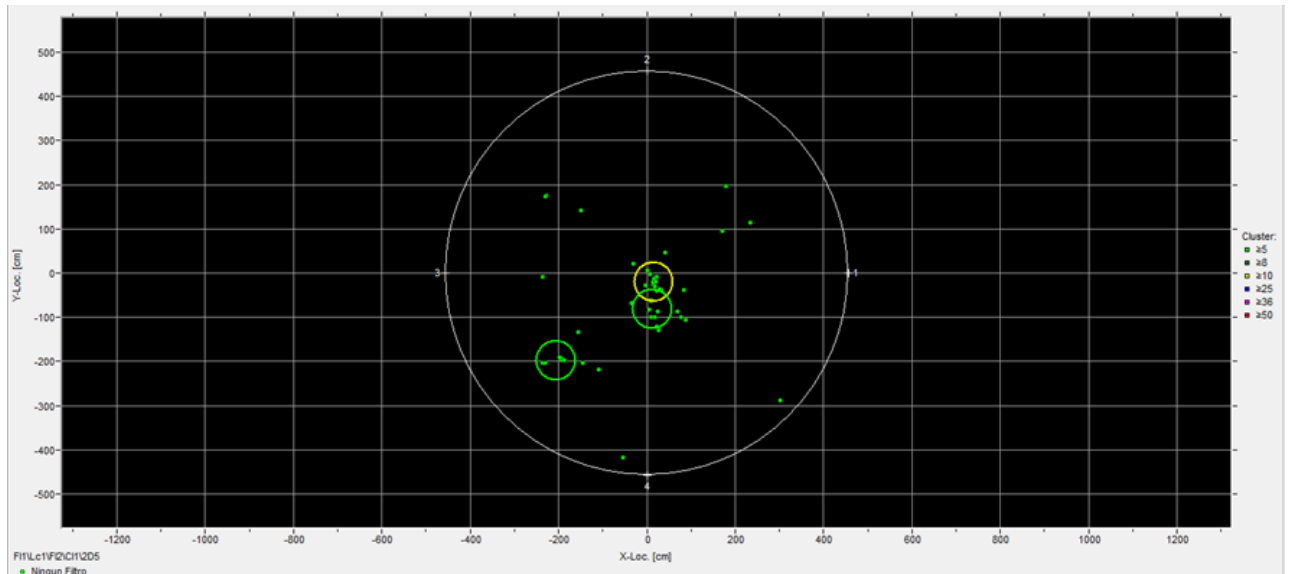


Figura 52- Clústeres formados en el periodo de ensayo

Cluster	Elements	X-Loc. [cm]	Y-Loc. [cm]	mean(Peak Amp [dB])	sum(Energy [eu])	sum(Counts)
2	14	16,12	-19,85	44,10	18736	1580
7	6	12,60	-82,02	48,67	29744	1137
10	6	-206,16	-197,43	48,78	21695	743,0

Figura 53- Listado de clústeres

Clasificación y recomendación

Para este ensayo, si aplicamos el criterio de clasificación de fondos de tanques, se registraron 48 eventos localizados, lo que indica que el fondo del tanque está "No afectado por corrosión", correspondiente a un índice "A". La amplitud promedio es superior al 40% del valor del umbral de detección, lo que sugiere una actividad acústica "alta" y un índice 3.

Según el criterio de clasificación, esto corresponde a un valor de "A3", y se **recomienda reinspeccionar el tanque en un plazo de 2 años.**

CONCLUSIONES

El ruido de fondo en el primer ensayo supera el límite máximo de $5 \mu\text{V}$; por lo tanto, este ensayo no es válido para su análisis. Sin embargo, si se ignora la amplitud del ruido de fondo y se procede con el ensayo, se demuestra claramente que el ruido afecta la adquisición de datos, generando actividad acústica que no se puede discriminar y que puede llevar a conclusiones erróneas sobre el estado de integridad del fondo del tanque.

Se pudo comprobar que la técnica de emisión acústica es muy sensible al ruido eléctrico. Por lo tanto, es crucial asegurar que el equipo a ensayar esté desvinculado eléctricamente y conectado a tierra para evitar interferencias eléctricas y realizar una correcta evaluación.

5.4. EFECTO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO ACTIVOS

En esta sección se analizará cómo los ánodos de sacrificio afectan significativamente la toma de datos, dado que, si están activos, generan actividad acústica.

El tanque bajo análisis presentaba las siguientes características:

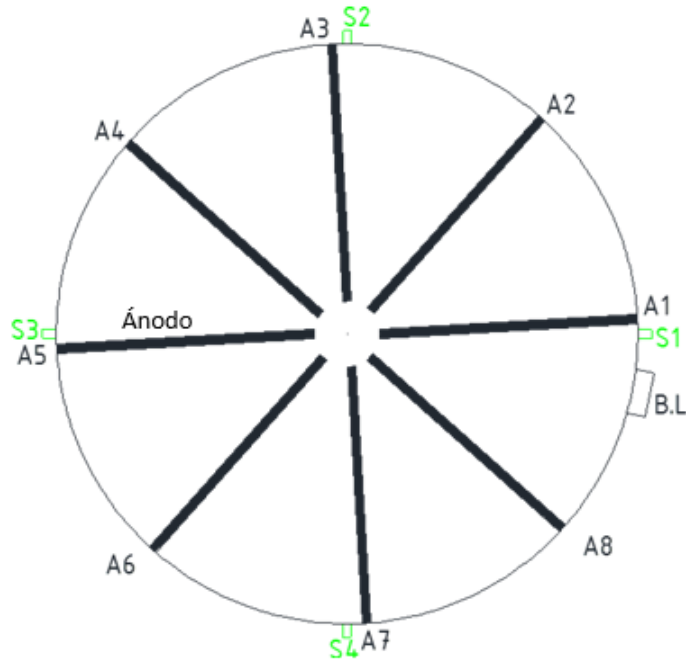
Diámetro [m]	9,1
Altura [m]	2,48
Capacidad [m ³]	161,3
Producto almacenado	PETRÓLEO/AGUA
Altura de llenado [m]	1,6
Umbral de detección [dB]	30

Tabla 9- Datos de Tanque

Antes del ensayo, la operadora no proveyó el plano constructivo del tanque. Durante la recorrida e inspección visual, se observó la presencia de ánodos de sacrificio radiales. En la Figura 54 se muestra el tanque y la ubicación de algunos de los ánodos. En la Figura 55 se muestra la distribución de los ánodos



Figura 54- Tanque ensayado



A1,...,A8: ánodos de sacrificio
 S1,...,S4: Sensores de EA

Figura 55- Distribución de ánodos

Instrumentación del tanque

El tanque fue instrumentado de la siguiente manera (ver figura 56):

- El primer sensor (S1) se colocó a 0,6 metros a la derecha de la boca de inspección A1.
- La separación entre los sensores fue de 7,14 metros.
- La separación entre los sensores primarios y los guardianes fue de 0,55 metros.

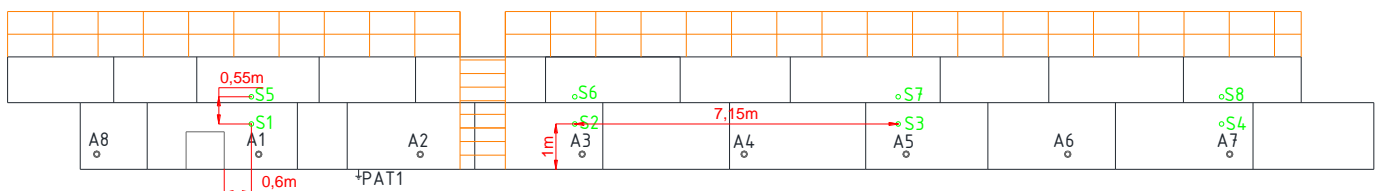


Figura 56- Distribución de sensores

Proceso de evaluación y resultados

Se inició evaluando el ruido de fondo para asegurarse de que se mantuviera por debajo de 5 μV . Aunque el ruido de fondo fue levemente superior a 5 μV , se consideró válido continuar con la prueba.

Posteriormente, se procedió a la calibración del sistema y, luego, se llevó a cabo la prueba. Como se muestra en la Figura 57, se registraron 2051 eventos localizados, lo que indica muy alta actividad acústica.

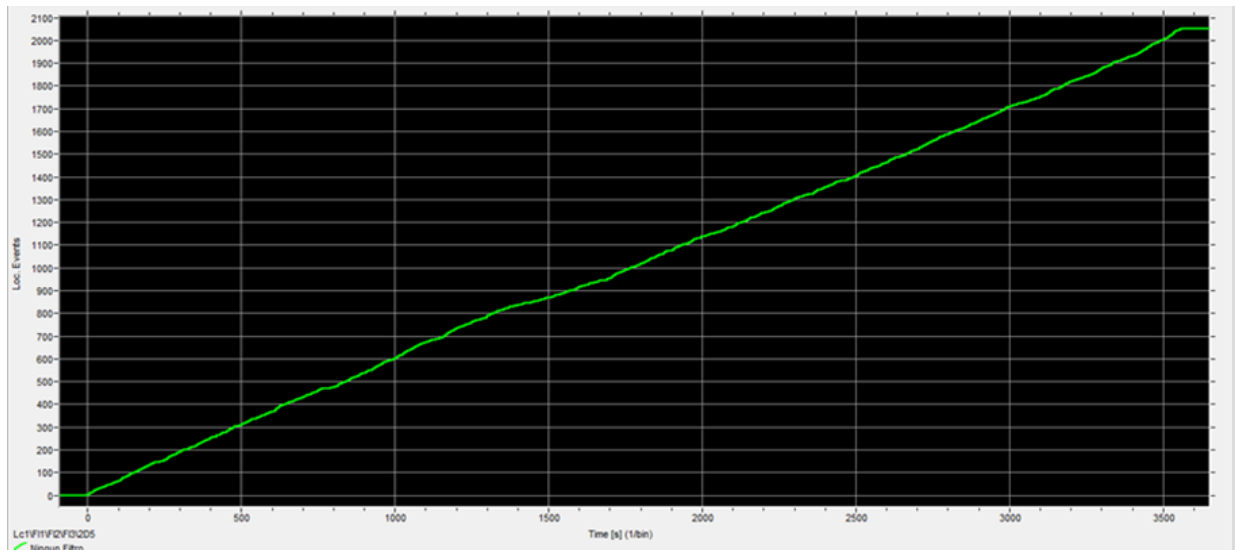


Figura 57- Eventos localizados

Al observar cómo el software localiza los eventos en el fondo del tanque (Ver Figura 58), se puede ver una acumulación de eventos que coincide con la distribución radial de los ánodos.

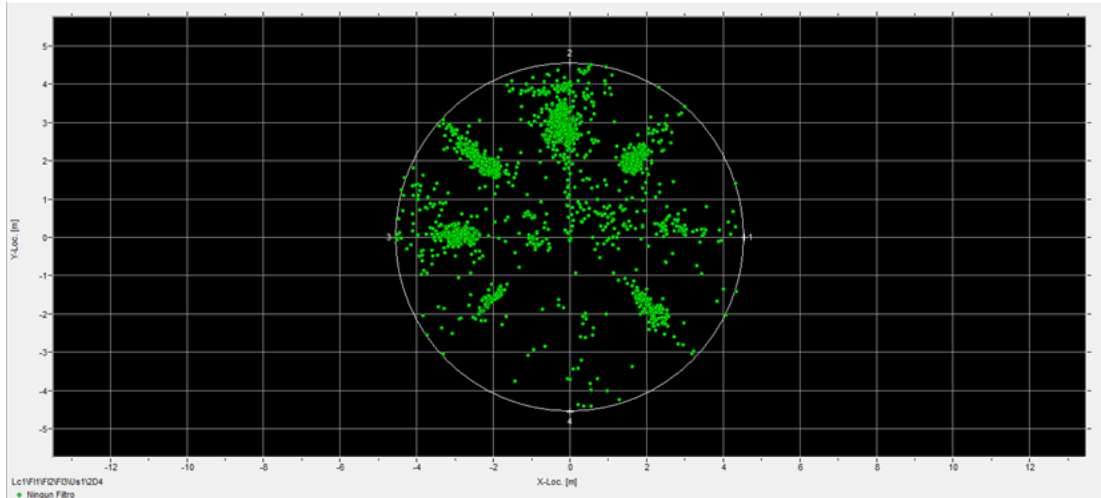


Figura 58- Distribución de los eventos localizados

En la Figura 59 se observa la superposición de eventos con la distribución de los ánodos de sacrificio. La posición de los eventos coincide claramente con la distribución de los ánodos, por lo que se puede asociar la actividad acústica al deterioro de los ánodos.

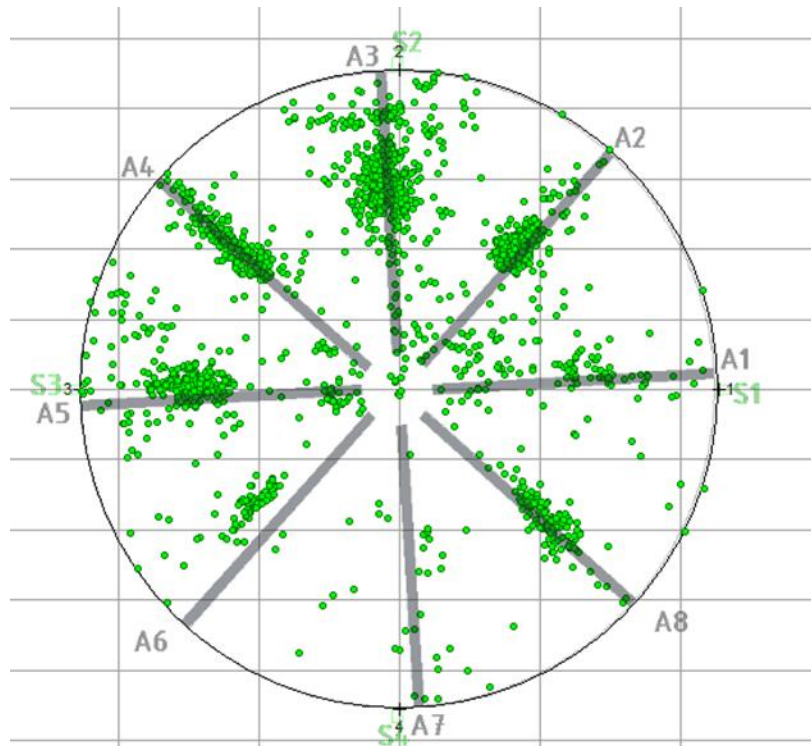


Figura 59 - Distribución de ánodos y eventos localizados

CONCLUSIONES:

Cuando los ánodos de sacrificio están activos, la evaluación completa del estado del fondo del tanque se ve limitada debido a la superposición de eventos. No obstante, si se conoce la posición exacta de los ánodos, es posible realizar una evaluación parcial del fondo del tanque en los sectores donde no haya eventos de emisión provocada por los ánodos.

Es importante destacar que este ensayo representa una situación particular, ya que casi todos los ánodos estaban activos, una condición poco común. Además, es fundamental disponer de toda la información constructiva del tanque antes del ensayo para identificar la ubicación de los ánodos y evaluar su posible actividad acústica.

5.5. CIERRE PARCIAL DE VÁLVULA

En esta sección se analiza cómo el cierre parcial de una válvula afecta al ensayo de emisión acústica.

El tanque ensayado posee las siguientes características:

Diámetro [m]	9,07
Altura [m]	2,5
Capacidad [m ³]	161,53
Producto almacenado	PETRÓLEO/AGUA
Altura de llenado [m]	1,6
Umbral de detección [dB]	30

Tabla 10 - Datos del tanque

Instrumentación del tanque

El tanque fue instrumentado con un total de 8 sensores: 4 sensores normales y 4 sensores guardianes. La distribución fue la siguiente:

- El sensor S1 se colocó a 1,2 metros a la derecha de la boca de limpieza y a 1 metro de altura.
- Los sensores S2, S3 y S4 se ubicaron a 7,12 metros de distancia entre ellos, respectivamente.
- Los sensores S5, S6, S7 y S8 se colocaron por encima de los sensores normales a una altura de 1,3 metros desde la base del tanque.

En las figuras 60 y 61 se muestra la distribución de los sensores y el tanque ensayado respectivamente.

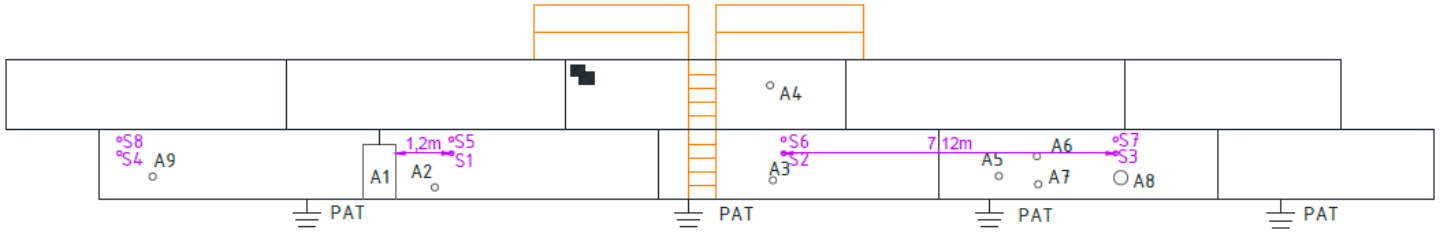


Figura 60- Distribución de sensores



Figura 61 - Tanque ensayado

Proceso de evaluación y resultados

Los valores de ruido de fondo antes de comenzar la prueba se mantuvieron, en promedio, ligeramente por encima del límite recomendado de $5 \mu\text{V}$ (Ver Figura 62). Sin embargo, se decidió continuar con el ensayo, ya que la diferencia no era lo suficientemente significativa como para afectar los resultados.

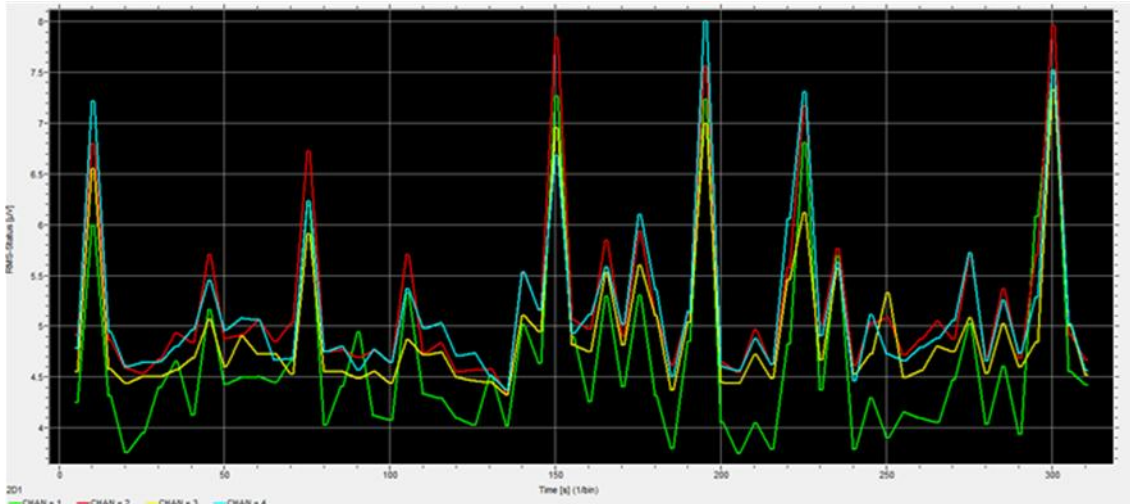


Figura 62 - Ruido de fondo antes de la prueba

Durante la prueba, se registraron 183 eventos localizados, lo que sugiere que el tanque podría estar experimentando una corrosión de intensidad media (Ver Figura 63).

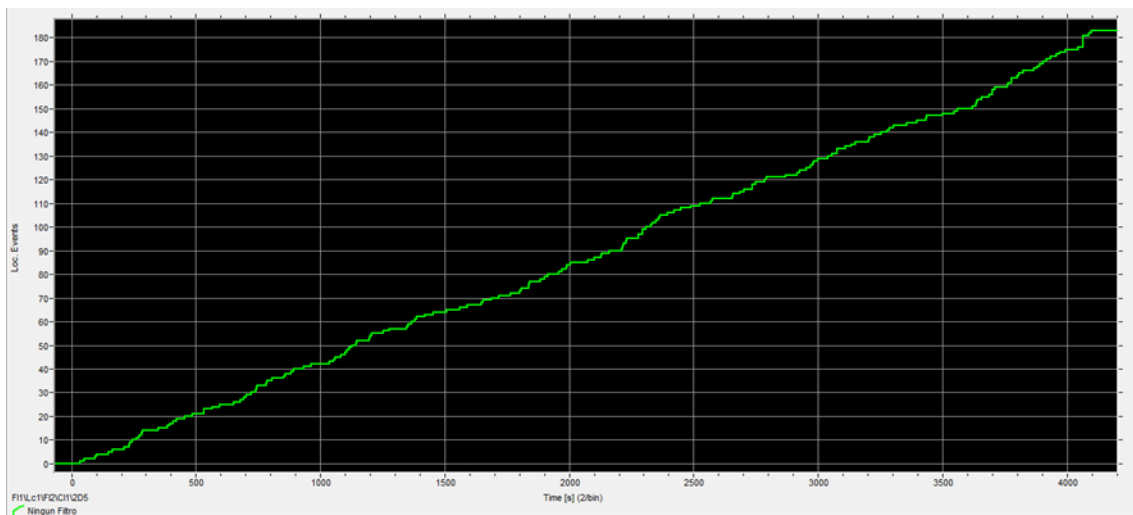


Figura 63 - Eventos localizados

Al analizar los eventos en el fondo del tanque, se identificó una zona de clústeres en el área delimitada por los sensores 1 y 2 y el centro del tanque (Ver Figura 64).

Los clústeres 4, 2, 9 y 7 son los que contienen el mayor número de eventos y con mayor energía, y se encuentran casi alineados, lo que sugiere que en esa zona está ocurriendo algún evento físico (Ver figura 65). Al eliminar el filtro utilizado para discriminar los eventos

provenientes del exterior del tanque, se observa que varios clústeres alineados coinciden con la ubicación de una conexión de entrada de producto (Ver figura 66).

Dado que esta conexión estaba en la posición de cierre durante el ensayo, se puede inferir que no sellaba completamente, lo que habría permitido el paso de fluido.

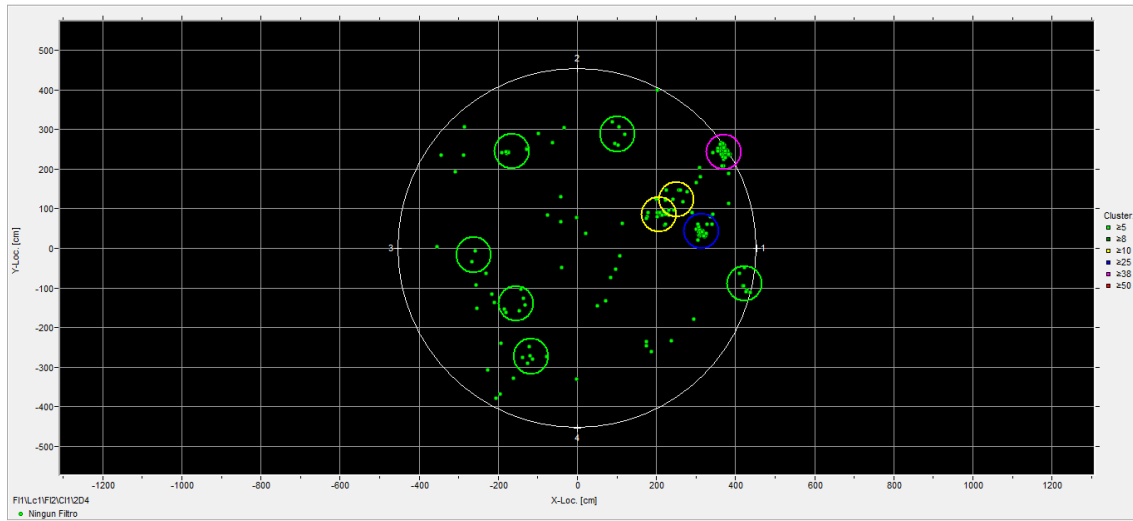


Figura 64 - Distribución de eventos localizados

Cluster List for F11\Lc1\FI2\C11

Cluster	Elements	X-Loc. [cm]	Y-Loc. [cm]	mean(Peak Amp [dB])	sum(Energy [eu])	sum(Counts)
4	44	371,27	242,86	50,97	157395	6392
2	34	314,68	42,39	51,32	82609	2832
9	16	207,39	85,13	44,32	6623	678,0
7	10	251,60	122,92	42,98	3960	338,0
3	7	-165,10	244,64	51,04	18762	632,0
12	7	423,45	-89,24	51,13	7684	343,0
5	6	-116,37	-272,77	52,66	24699	621,0
15	6	-154,21	-140,41	47,99	7354	359,0
8	5	102,35	287,65	47,30	18405	497,0
11	5	-261,81	-17,00	55,44	11871	270,0

Figura 65 - Lista de clústeres

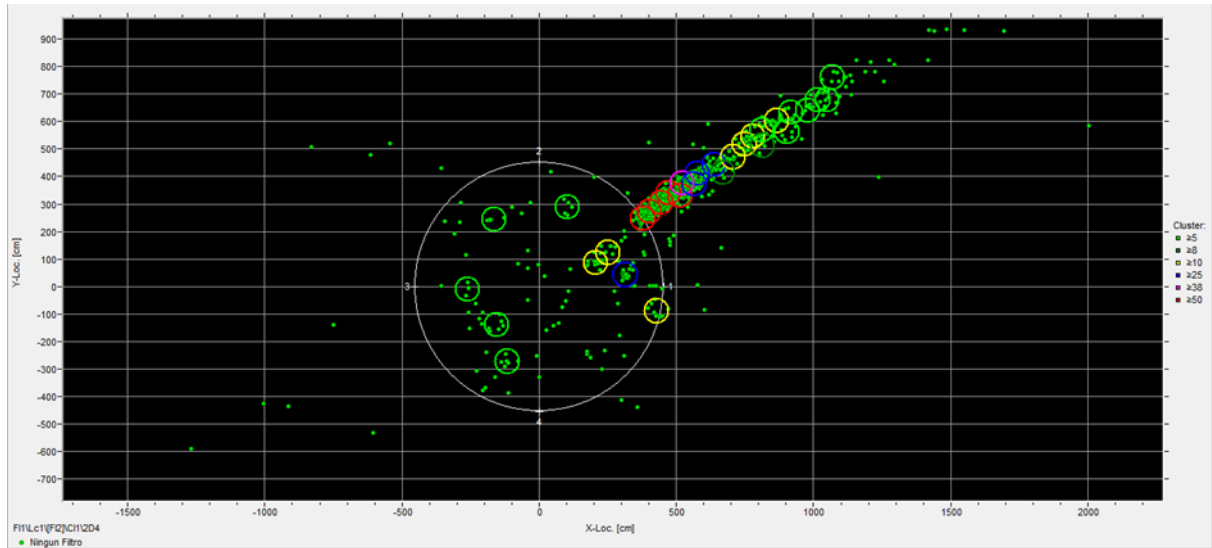


Figura 66- Distribución de eventos son filtro de radio

En la Figura 67, podemos observar la conexión de entrada de producto. Esta se encuentra entre los sensores S1 y S2, donde se registra la actividad acústica.



Figura 67- Línea de entrada de producto y distribución de sensores

Evaluación sin considerar la actividad acústica del pasaje de fluido

Si para este caso no tenemos en cuenta la actividad acústica del pasaje de fluido y aplicamos el criterio de evaluación, observamos 183 eventos localizados, lo que indica que el fondo está afectado por "corrosión de media intensidad", correspondiente a un índice "C".

La actividad acústica de los clústeres es "muy alta"; el promedio de las amplitudes es mayor al 60% del umbral de detección y al menos dos de ellos tienen elevada energía, lo que corresponde a un índice "4". La combinación de estos índices nos indica que se trata de un "C4", **lo que significa que el tanque debe abrirse a la brevedad.**

CONCLUSIONES:

Podemos concluir que, cuando se detectan varios clústeres alineados, con alta energía y ubicados geoméricamente sobre una conexión del tanque (ya sea en la entrada o salida de producto) con válvula, es probable que esta no esté realizando un cierre completo.

En tal caso, se recomienda considerar las siguientes acciones:

- Cerrar otra válvula aguas arriba para garantizar la estanqueidad del tanque.
- Reemplazar la válvula defectuosa.
- Bloquear la válvula mediante una placa.

Posteriormente, se deberá repetir el ensayo para verificar la efectividad del cierre y asegurar que no se detecte actividad acústica.

Si al realizar el ensayo no se tiene en cuenta este fenómeno del cierre deficiente de una válvula, se puede llegar a dar una mala evaluación del fondo del tanque. Como se demostró con la aplicación del criterio de Clasificación de fondo de tanques, este determinó que el tanque debe abrirse para ser inspeccionado.

En este caso, la operadora no pudo realizar ninguna de las maniobras mencionadas y no se pudo volver a realizar el ensayo.

5.6. ENSAYO DE CORROSIÓN ACTIVA. VERIFICACIÓN CON APERTURA DE TANQUE

En esta sección se procedió a realizar el ensayo de un tanque con las siguientes características:

Diámetro [m]	3,2
Altura [m]	2,5
Capacidad [m ³]	20,1
Producto almacenado	PETRÓLEO/AGUA
Altura de llenado [m]	1,75
Umbral de detección [dB]	30

Tabla 11- Datos del Tanque

Instrumentación del tanque

El tanque se instrumentó con un total de 8 sensores: 4 sensores normales y 4 sensores guardianes. La distribución fue la siguiente:

- El sensor S1 se colocó a 0,9 metros a la derecha de la boca de inspección y a 1 metro de altura.
- Los sensores S2, S3 y S4 se colocaron a 2,5 metros de distancia entre ellos.
- Por encima de estos sensores, se colocaron los sensores S5, S6, S7 y S8 a una altura de 1,6 metros.

En las Figuras 68 y 69 se observan las distribuciones de los sensores en el tanque y el tanque ensayado respectivamente.

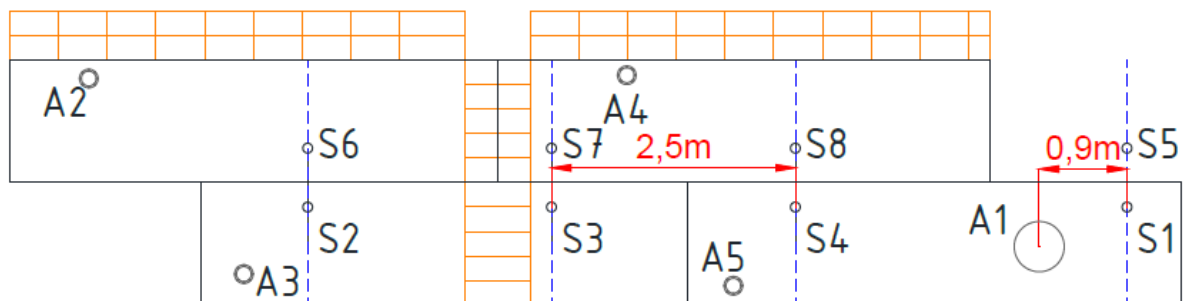


Figura 68- Distribución de sensores



Figura 69- Tanque Ensayado

Evaluación del ruido de fondo previo al ensayo

Durante los 5 minutos de grabación para evaluar el ruido de fondo del tanque, no se observaron variaciones significativas, y el promedio se mantuvo por debajo de los 5 μV requeridos para la realización del ensayo (Ver Figura 70).

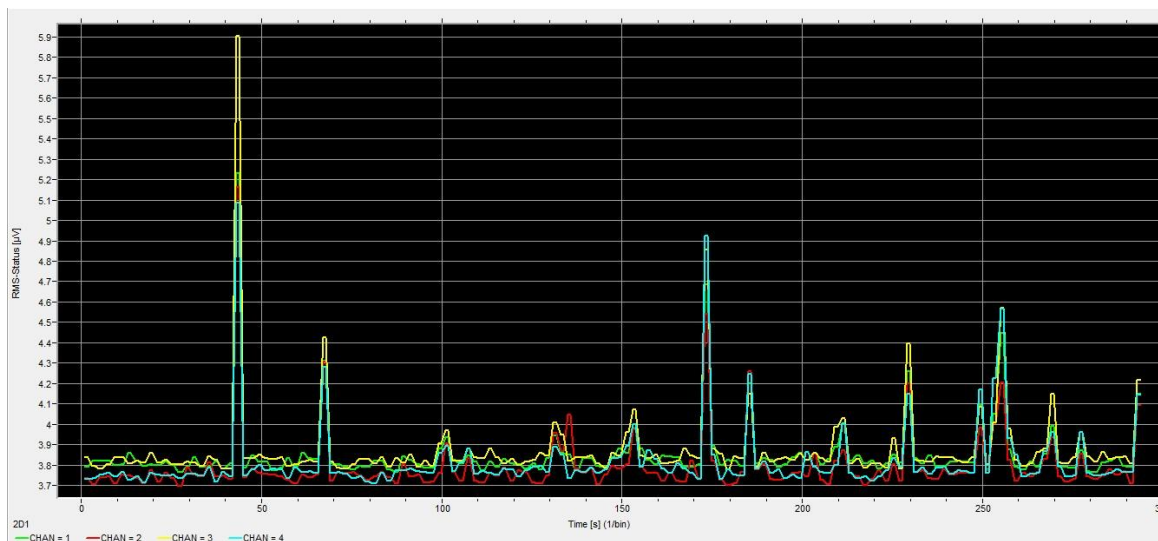


Figura 70- Ruido de fondo

Proceso de evaluación y resultados

El promedio del ruido de fondo durante la prueba no superó los $5 \mu\text{V}$, por lo tanto, se puede concluir que el ensayo es válido (ver Figura 71).

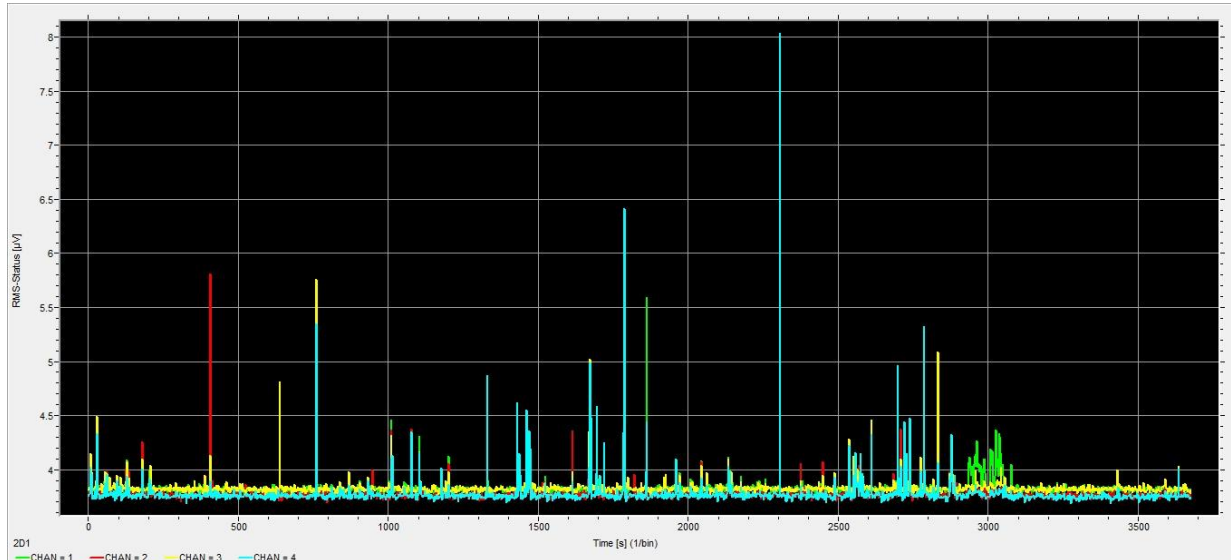


Figura 71- Ruido de fondo durante la prueba

Durante el ensayo, que tuvo una duración de 60 minutos, se registraron 65 eventos localizados provenientes del fondo del tanque (ver Figura 72). Estos eventos se localizan en el fondo del tanque, como se muestra en la Figura 73, donde se observa un clúster que contiene 10 eventos en su interior.

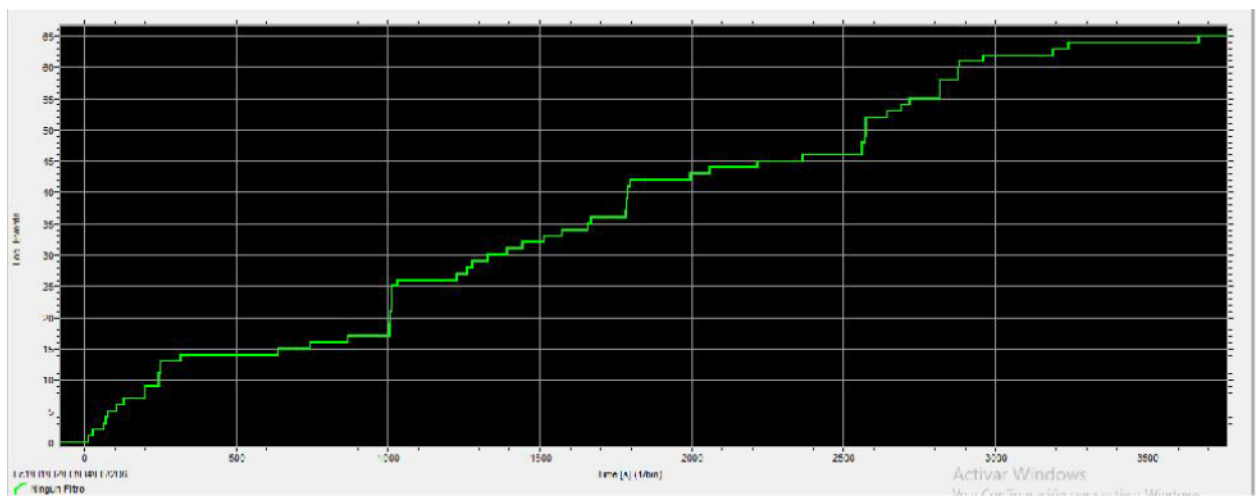


Figura 72- Eventos Localizados

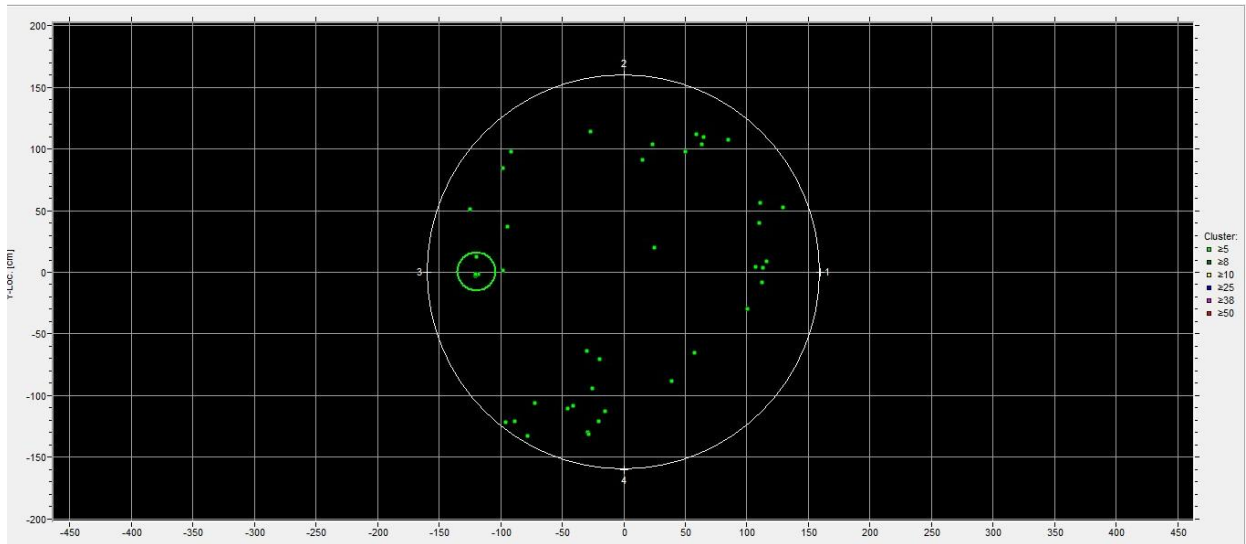


Figura 73- Clúster formado durante el ensayo

Analizando el clúster formado, se observa que tiene una amplitud considerable de 72,72 dB y una alta energía (Ver Figura 74).

Cluster	Elements	X-Loc. [m]	Y-Loc. [m]	mean(Peak Amp [dB])	sum(Energy [eu])	sum(Counts)
11	10	-1,20	-0,02	72,72	1414299	622,0

Figura 74- Lista de clústeres

Resultados del ensayo y evaluación de la corrosión

Según el criterio de evaluación, se registraron 65 eventos localizados, lo que indica que el fondo está "afectado por corrosión de baja intensidad", correspondiente a un índice "B". Al evaluar la actividad acústica, se observa que el clúster presenta una alta amplitud promedio y alta energía, lo que indica "alta actividad acústica".

De acuerdo con el criterio de clasificación, el fondo del tanque fue ubicado en la categoría "B4", por lo que se recomendó repetir el ensayo en un plazo de seis meses. Basándose en la experiencia previa y en el procedimiento empleado, se sospechaba la existencia de una fuente de corrosión activa.

Transcurridos los seis meses, la operadora decidió realizar la apertura del tanque a fin de verificar dicha hipótesis. Al inspeccionar el interior, se constató que el poncho de refuerzo, ubicado debajo de la conexión de muestreo, presentaba signos iniciales de corrosión, como se observa en la Figura 75.

Si bien se identificó una fuente activa de corrosión, su grado de avance fue bajo. Se detectó deterioro en la pintura de protección y un leve proceso de oxidación, sin evidencias de pérdida de material ni afectación estructural. La zona dañada coincidió de forma precisa con la ubicación señalada por el software.



Figura 75- Fuente de Emisión Acústica

CONCLUSIONES:

Con la realización de este ensayo y la posterior apertura del tanque, se pueden extraer tres conclusiones principales:

1. El equipo de Emisión Acústica es efectivo para detectar procesos de corrosión activa.
2. El equipo tiene una aceptable precisión en la ubicación de estos procesos.
3. Este resultado reafirma la utilidad de la técnica como herramienta preventiva, permitiendo identificar tempranamente procesos corrosivos antes de que comprometan la integridad estructural

6. CONCLUSIONES GENERALES FINALES

En los últimos años, la técnica de emisión acústica (EA) se ha consolidado como una herramienta de vanguardia en los ensayos no destructivos, destacándose por evaluar con precisión la integridad estructural de los pisos de tanques de almacenamiento. Entre sus ventajas destacan la detección temprana de defectos críticos —como la corrosión activa (localizada o generalizada) y las fugas de productos—, así como su eficacia al cubrir grandes superficies sin interrumpir las operaciones. Estas características la posicionan como una técnica esencial para garantizar la continuidad operativa, la seguridad industrial y para promover una gestión orientada a la sostenibilidad, la optimización de recursos y el ahorro de costos.

No obstante, los ensayos analizados han evidenciado que la presencia de ruidos externos, no asociados al mecanismo de daño del piso, puede conducir a diagnósticos erróneos de su integridad estructural. Durante este estudio se constató que señales de fuentes ajenas a la degradación del material generan falsos positivos que, de no identificarse correctamente, comprometen la fiabilidad del diagnóstico. En consecuencia, resulta crucial contar con profesionales capacitados para interpretar con precisión las señales acústicas y diferenciar eficazmente las interferencias. La experiencia acumulada en más de cuatro años de ensayos en diversas instalaciones hidrocarbúferas ha permitido superar estas barreras, mejorar continuamente la aplicación de la técnica y desarrollar procedimientos más sólidos y confiables.

Este trabajo valida la eficacia de la EA en condiciones reales y constituye un recurso fundamental para el desarrollo de futuros proyectos en este ámbito. Los hallazgos sientan las bases para formular criterios avanzados de clasificación y procedimientos operativos que respondan eficazmente a las exigencias del entorno industrial. Al identificar de manera clara las características distintivas de las señales asociadas al daño estructural frente a las interferencias, se posibilita el desarrollo de estándares y protocolos más rigurosos y adaptados a las condiciones reales de operación, lo cual resulta indispensable para la implementación de un proceso diagnóstico confiable.

Finalmente, la metodología desarrollada establece cimientos para investigaciones futuras orientadas a identificar y eliminar sistemáticamente los ruidos externos en los ensayos de EA. Una mayor capacidad para diferenciar estas interferencias permitirá obtener evaluaciones más precisas, reduciendo diagnósticos erróneos y facilitando decisiones óptimas en materia de mantenimiento y seguridad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Secretaría de Energía de la Nación.** *Resolución 785/05.* Diario Oficial de la República Argentina, 2005.
- [2] **Ministerio De Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.** *Resolución 266/2008.* Diario Oficial de la República Argentina, 2008
- [3] **Veca, A. C.; Ruzzante, J. E.; López Pumarega, M. I.; Accolti, E.** *Ultrasonido y emisión acústica para ingenieros y estudiantes de ingeniería.* 2019.
- [4] **Martínez, E.; Gallego, A.** *La emisión acústica como método no destructivo: definición, ventajas y limitaciones.* 2013
- [5] **Olszewska, A.** *Using the acoustic emission method for testing aboveground vertical storage tank bottoms.* 2022.
- [6] **Closa González, P.** *Las emisiones acústicas y su aplicación al mantenimiento predictivo.* 2014.
- [7] **López Pumarega, M. I.** *Estudio de la emisión acústica generada por deformación en tubos: sus fuentes y características.* 1999.
- [8] **IRAM 779.** *Ensayo de emisión acústica (EA): terminología.* Buenos Aires, Argentina: IRAM, 2019.
- [9] **Filippin, C. G.** *Emissão acústica: conceitos e aplicações.* 2017.
- [10] **UNE-EN ISO (2017)** Ensayos no destructivos. Ensayo de emisión acústica. Detección de fugas mediante emisión acústica. 18081. Madrid, España
- [11] **The Engineering ToolBox.** *Liquids - Kinematic Viscosities.* [en línea] disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/kinematic-viscosity-d_397.html.
- [12] **IRAM 725.** *Principios generales del ensayo por emisión acústica (EA) para la detección de la corrosión en un recipiente metálico lleno de líquido.* Buenos Aires, Argentina. IRAM, 2019.

8. ANEXO I

INSTRUCCIÓN OPERATIVA TANQUE DE ALMACENAMIENTO

PREPARATIVO PREVIO A INSPECCIÓN

1. Reunir toda la información disponible del tanque:

- Planos
- Antecedentes técnicos
- Presencia de aislación
- Informes anteriores de EA, si existieran
- Informes de reparaciones, si existieran
- Dimensiones
- Producto almacenado
- Volumen del producto para la prueba
- Tiempo de reposo del tanque
- Si existe o no sedimento o lodo
- Información del esquema de pintura del fondo (tipo, espesor de pintura, etc.)
- Si existiera o no colchón de agua
- Existencia y tipo de protección catódica.

2. Preparar todos los elementos necesarios para la inspección:

- Revisar previamente la cantidad y largo de los cables a utilizar.
- Estimar el número de sensores necesarios según el diámetro del tanque, considerando los dos anillos a montar.
- Preparar los sensores VS-30 SIC con preamplificador de 46 dB y sus respectivos soportes magnéticos (máxima distancia entre sensores: 13 m).
- Llevar cables y sensores extras para reemplazar en caso de daño.

3. Verificar las condiciones climáticas esperadas para el día de la inspección:

- En caso de lluvia o alerta meteorológica por viento, evaluar con el operador del tanque las opciones, incluida posponer la visita.

4. Verificar con el operador la existencia de andamios en el sitio o medios de elevación:

- En caso de que no existan, evaluar la posibilidad de trabajar con escaleras para el montaje de los sensores guardianes.

TAREAS PREVIAS EN EL SITIO

5. Verificar las condiciones climáticas:

- Asegurarse de que las condiciones climáticas permiten iniciar el ensayo. No debe comenzarse la preparación en caso de lluvia o bajo condiciones de fuertes vientos (ráfagas superiores a 25 km/h).
- Realizar una recorrida alrededor del tanque para visualizar posibles fuentes de ruido que puedan interferir en el ensayo. Si se encuentran, solicitar al personal de la operadora las formas de eliminarlas o atenuarlas lo más posible.

6. Identificar fuentes de ruido externo:

- Identificar las posibles fuentes de ruido externo dentro del recinto (bombas, motores eléctricos, etc.).
- Verificar que la altura de llenado es la indicada por el operador. En caso de no coincidir, tomar la altura correcta.

7. Relevar dimensiones geométricas del tanque:

- Contrastar las dimensiones geométricas del tanque (diámetro y altura) con lo enviado por la operadora.
- Verificar que en toda la zona del anillo de la base del tanque no haya vegetación, hormigueros, etc., que puedan causar emisiones no deseadas.

8. Medir y marcar posiciones de los sensores:

- Identificar la boca de hombre y medir desde ella para marcar las posiciones de los sensores en el cuerpo del tanque.
 - Los sensores deben ubicarse a un metro de altura desde la pestaña. El primer sensor debe ubicarse a la derecha de la boca de hombre, al menos a un metro de distancia de la misma. El resto se ubican equidistantemente de este en sentido anti horario.
 - Al colocar los sensores, tener en cuenta tres consideraciones:
 - A. Las posiciones de los sensores no deben caer en una unión soldada y deben encontrarse a más de 20 cm de un cordón.
 - B. Las posiciones no deben caer en una zona sin acceso (por ejemplo, una conexión).
 - C. Las posiciones de los sensores guardianes no deben caer en una zona sin acceso.
- En caso de presentarse alguna de estas situaciones, rotar todas las posiciones para cumplir con la equidistancia de los sensores.

9. Montar el equipo y estirar los cables:

- Montar el equipo y estirar los cables.
- Vincular correctamente cada cable con el correspondiente canal asignado en el esquema del “Formulario de Inspección” (ANEXO II).
- Verificar el correcto funcionamiento del equipo (testigos lumínicos encendidos).

VERIFICACIONES INICIALES Y SET UP DEL EQUIPO

10. **Colocación de sensores:** Colocar todos los sensores en cada cable y verificar en el equipo que se cierran los canales. Si esto no ocurre, verificar el canal que no da indicación. Es posible un mal contacto del cable o que el mismo esté dañado. Corroborar la conexión con el sensor y, de ser necesario, cambiar el cable por otro.

11. **Verificación del software:** Desde el software de adquisición (Vallen Acquisition), verificar que el equipo reconoce todas las placas. Verificar que los sensores en cada canal son VS-30-SIC de 46 dB. De no ser así, realizar la corrección correspondiente.
12. **Creación de carpeta:** Crear la carpeta donde se guardarán los datos y archivos del ensayo, con la identificación clara del tanque, sede de emplazamiento y nombre del operador.
13. **Configuración general:** En la pantalla General (Pestaña “General Setting”), verificar que está activado el Grabador de Transitorio y el de AE. Fijar la adquisición máxima en 2.097.152.
14. **Configuración del anillo inferior:** Verificar que los canales asignados al anillo inferior tienen la siguiente configuración (Pestaña “EA-Channels”):
 - AE activado
 - TR activado
 - Threshold: 30 dB
 - Rearm time: 1 ms
 - Duration discrimination Time: 250 μ s
 - Calc Ganancia: 46 dB
 - Pretrigger: 400
 - Post sample: 400
 - Filtros: 25 a 300 KHz
15. **Configuración del anillo de guardia:** Verificar que los canales asignados al anillo de guardia tienen la siguiente configuración:
 - AE activado
 - TR desactivado
 - Threshold: 30 dB
 - Rearm time: 1 ms
 - Duration discrimination Time: 250 μ s

- Calc Ganancia: 46 dB
- Filtros: 25 a 300 KHz

16. **Verificación de parámetros:** En la pestaña “Data”, tildar los siguientes parámetros: Threshold, Amplitud, RMSS, Rise Time, Duración, Energía, Signal Strength, Cuenta, y todos los de cascada. No tildar los referidos a datos paramétricos.
17. **Seteo del intervalo de estado:** En la pestaña “Special”, setear el valor “Status Interval” en 5s (para RMSS, THR ENYS).
18. **Comentario:** En la pestaña “Comment”, colocar en el título el nombre del tanque y confirmar los datos de adquisición.
19. **Adquisición de datos:** Realizar el paso “Go data acquisition” para que el equipo reconozca los datos preestablecidos.

RUIDO DE FONDO Y CALIBRACIÓN

20. **Monitoreo del ruido de fondo:** Abrir el archivo “VisualEA” e insertar un gráfico de RMSS vs. Time y verificar el ruido de fondo en tiempo real sin sensores. Monitorear durante 5 minutos. Etiquetar la medición con las etiquetas IRFSS – FRFSS. Si el ruido de fondo monitoreado es superior a 5 μ V, identificar la fuente del ruido y, si proviene de algún dispositivo de la planta, solicitar al operador que la reduzca o elimine. Repetir el proceso hasta obtener una medición inferior a 5 μ V. Etiquetar cada medición como IRFSSX – FRFSSX, donde X es un número en secuencia. Si no se puede eliminar la fuente del ruido, dejar esto claro en el “Formulario de Inspección” (ANEXO II).
21. **Montaje de sensores en el anillo inferior:** Montar los sensores del anillo inferior en las posiciones prefijadas. Previamente, colocar en cada sensor una pequeña cantidad de acoplante que cubra toda la superficie del sensor.
22. **Montaje de sensores de guardia:** Con el medio de elevación previamente definido, montar en la misma generatriz de cada sensor del anillo inferior, el sensor de guardia. Igual que en los sensores de anillo, colocar acoplante en la superficie del sensor. El sensor de guardia debe ser montado, de ser posible, de 4 a 6 metros por sobre la pestaña, pero siempre como máximo a un metro por debajo de la interfaz con el líquido. En caso de no alcanzar

esa altura por falta de medio de elevación y permiso para el uso de escalera, colocar estos a la máxima altura segura posible (usualmente entre 2,8 y 3,5 metros).

23. **Monitoreo del ruido de fondo con sensores montados:** Verificar con el software el ruido de fondo en tiempo real con los sensores montados. Monitorear durante 5 minutos. Etiquetar la medición con las etiquetas IRFCS – FRFCS. Si el ruido de fondo monitoreado es superior a $5 \mu\text{V}$, identificar la fuente del ruido y tratar de eliminarla. Repetir el proceso hasta obtener una medición inferior a $5 \mu\text{V}$. Etiquetar cada medición como IRFCSX – FRFCSX, donde X es un número en secuencia. Si no se puede eliminar la fuente del ruido, dejar esto claro en el “Formulario de Inspección” (ANEXO II) y consultar con un Nivel II si se puede realizar el ensayo en esas condiciones.
24. **Verificación de saturación:** Establecido el ruido de fondo, verificar que ninguno de los canales dé indicaciones de saturación. De ser así, elevar el umbral. En caso contrario, bajar el umbral hasta que al menos 2 canales registren eventos (parpadeo verde de led en el equipo de AE). El umbral debe estar configurado entre 24 y 36 dB.
25. **Calibración de sensores (ensayo Hsu-Nielsen):** Insertar en el VisualEA un gráfico de Amplitud vs. Time y realizar la calibración de los sensores del anillo inferior con un ensayo Hsu-Nielsen. Grabar 4 quiebres de mina 0,5 2 H con el simulador (lápiz mecánico) para cada sensor, realizando el quiebre a 5 cm del centro de cada sensor. Etiquetar con las “labels” IHSUX - FHSUX, donde X es el número de cada sensor. Verificar que el sensor ensayado corresponda con el canal asignado. En caso de tener que repetir un ensayo, etiquetar con la etiqueta correspondiente agregando un número al final para su identificación. Los resultados de la calibración deben mostrar que todos los canales están recibiendo la onda acústica con la misma intensidad. De no ser así, revisar el canal que mide con menos intensidad. Una posible falla puede ser un mal acople acústico. La tolerancia admitida está en un rango de 3 dB desde la media del resto de los sensores. Retirar el sensor, limpiar ambas superficies (sensor/tanque), colocar acoplante y volver a montar. Repetir la prueba de Hsu-Nielsen. En caso que la falla persista, cambiar el sensor defectuoso. Una vez que todos los canales estén percibiendo con la misma intensidad, proceder a continuar el ensayo. La amplitud en el sensor donde se hace la ruptura de la mina debe registrar un valor de 85 a 95 dB.

26. **Calibración de sensores con pulsadores:** Realizar la calibración de los sensores con los pulsadores. Grabar una sesión de pulsación iterativa. Etiquetar este proceso con las etiquetas ICCP – FCCP. Verificar en la tabla de pulsaciones que todos los sensores escuchan con una sensibilidad similar. La tolerancia admitida está en un rango de 3 dB desde la media del resto de los sensores. Si la tabla refleja diferencias, es posible que se deba revisar algún canal (posiblemente del anillo superior). En caso de tener que repetir la calibración con sensores, etiquetar con la etiqueta correspondiente agregando un número al final para su identificación.
27. **Verificación del orden de llegada de señales:** Utilizando un “listado”, verificar que el orden de llegada a los sensores vecinos es el correcto, tomando como norma general que el primer sensor que captará en el ensayo Hsu-Nielsen o el de pulsado será primero el sensor de guardia que está en la misma línea (el más cercano) y luego los vecinos del mismo anillo. Calcular con el listado la velocidad aparente de la onda en el líquido.
28. **Configuración del procesador de localización:** Verificar que el procesador de localización tiene bien colocados los siguientes datos:
- Diámetro del tanque
 - Cantidad de sensores
 - Identificados todos los sensores normales
 - Identificados todos los sensores guardianes
 - Velocidad aparente calculada
 - Máxima distancia de cercanía (el diámetro del tanque)
 - Calcular el FHDT como $1,5 \times (\text{Diámetro del Tanque} / \text{Vel. Sonido aparente})$
 - DT1X Max y DT1N Max igual que FHDT
29. **Verificación de puntos del ensayo Hsu-Nielsen en el diagrama de fondo de tanque:** Verificar que los puntos del ensayo Hsu-Nielsen caen sobre los sensores correspondientes. De no ser así, tener en cuenta que para tanques con diámetro menor a 15 metros pueden existir errores de ubicación. Anotar esto en el “Formulario de Inspección” (ANEXO II).

Tomar fotografías generales del tanque con los sensores montados. Cada sensor tiene que tener escrito en la fotografía la fecha, el número y el tanque inspeccionado.

Realizados todos estos pasos, se puede pasar a la próxima sección.

EJECUCIÓN DE LA PRUEBA

30. **Análisis del ruido de fondo:** verificar si es posible bajar el umbral de adquisición prefijado. El mínimo valor admisible será aquel en el cual ningún sensor se sature. Registrar este valor en el “Formulario de Inspección” (ANEXO II).

31. **Inicio de la Prueba:** Iniciar la prueba y registrarla con la etiqueta IP. Monitorear constantemente el ensayo y el ruido de fondo.

32. **Registro de alteraciones durante el ensayo:** Registrar todo lo que suceda durante la prueba, tanto mediante etiquetas como en el “Formulario de Inspección” (ANEXO II). Sucesos como ráfagas de viento, vibraciones atribuibles a movimientos de objetos, acciones de operarios en el tanque que se reflejen en la inspección deben ser identificados.

En caso de aparecer ruidos permanentes que saturen permanentemente uno o más canales, elevar el umbral del ensayo de a 1 dB hasta eliminar esta fuente de ruido (sin exceder los 36 dB).

33. **Tiempo de monitoreo:** Luego de una hora de monitoreo continuo, la prueba puede concluirse, salvo que existen dudas de alguna zona puntual del piso del tanque. Si existieran muchos eventos ajenos a la evaluación del piso, como ráfagas de viento u otro tipo de ruido, el ensayo se debe prolongar 30 minutos extra.

Finalizado el tiempo de prueba, debe etiquetarse con el label FP.

VERIFICACIÓN DE LA VALIDEZ DEL ENSAYO

34. **Calibración de sensores (ensayo Hsu-Nielsen):** Realizar la calibración de los sensores del anillo inferior con un ensayo Hsu – Nielsen. Grabar 4 quiebres de mina 0,5 2 H con el simulador para cada sensor, realizando el quiebre a 5 cm del centro de cada sensor. Etiquetarlos con las labels IHSUFPX – FHSUFPX, donde X es el número de cada sensor.

En caso de tener que repetir una ruptura de mina o más, etiquetarlo con la etiqueta correspondiente agregando un número al final para su identificación.

Los resultados de la calibración deben mostrar que los canales percibieron con la misma intensidad que durante la primera calibración. La tolerancia admitida está en un rango de 3 dB desde la media del resto de los sensores.

Si esto no se verifica, el ensayo **NO puede considerarse como válido**. El ensayo debe repetirse.

35. Calibración de sensores con pulsadores: Realizar la calibración de los sensores con los pulsadores. Grabar una sesión de pulsación iterativa. Etiquetar este proceso con las labels ICCPPFP – FCCPPFP.

Verificar en la tabla de pulsaciones que todos los sensores perciben con una sensibilidad similar. La tolerancia admitida está en un rango de 3 dB desde la media del resto de los sensores.

Si la tabla refleja diferencias, el ensayo **NO puede considerarse como válido**. El ensayo debe repetirse

36. Validación de la prueba: si las calibraciones son satisfactorias el ensayo es considerado **VALIDO**, se deben desmontar todos los sensores, guardar los equipos y los cables.

Análisis preliminar de los datos y pre informe

37. Inserción del procesador de clúster:

- En el software, insertar un “Procesador de Clúster” con las siguientes características:
 - Clúster circular.
 - Diámetro del clúster: 10% del diámetro del tanque.
 - Cantidad de eventos localizados por clúster:
 - 5 eventos: clúster verde.
 - 10 eventos: clúster amarillo.

- 25 eventos: clúster azul.
- 50 eventos: clúster rojo.

38. Redacción del informe:

- Redactar un informe que contenga los resultados preliminares y que refleje todos los pasos realizados.
- Informar brevemente cualquier dificultad o suceso fuera de lo normal que se haya presentado.

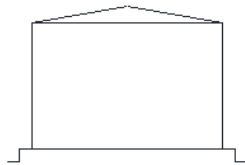
39. Envío del informe:

Enviar el informe de la prueba completa a un Nivel II o un Nivel III para su revisión y evaluación correcta.

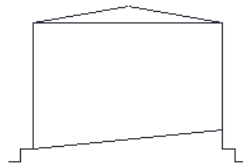
9. ANEXO II

Formulario de inspección

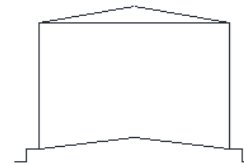
Equipo a inspeccionar:							
Producto		Densidad:		Viscosidad cinemática:		Temperatura del producto:	
Diámetro:		Altura:		Volumen geométrico :		Altura de llenado:	
Aislación:		Calentadores (serpentes/Tracing):		Protección catódica:		Agitadores:	
Tipo de piso:		Altura doble piso:		Fundación:		Pestaña:	
Techo:		Fijo:		Flotante:		Geodésico:	
Temperatura exterior:		Viento:		Velocidad:		Despejado/nublado:	
Tipo de fondo:		Nivel de lodo:		Nivel de agua:		Tiempo de reposo antes de la inspección	
Umbral de detección:		Cantidad de sensores:					



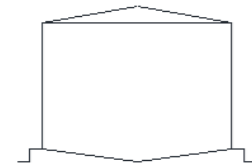
Tipo A



Tipo B



Tipo C



Tipo D

Distancia entre sensores vecinos:

Distancia entre sensores normales y guardianes:

Distancia conexión de referencia a sensor 1:

Conexión de referencia:

Nota: Fotografiar la posición de todos los sensores indicando: Numero de tanque, Fecha, instalación, operadora y numero de sensor

Indicaciones relevantes (anotar el evento y tiempo de ocurrencia y duración):

.....

.....

.....

.....

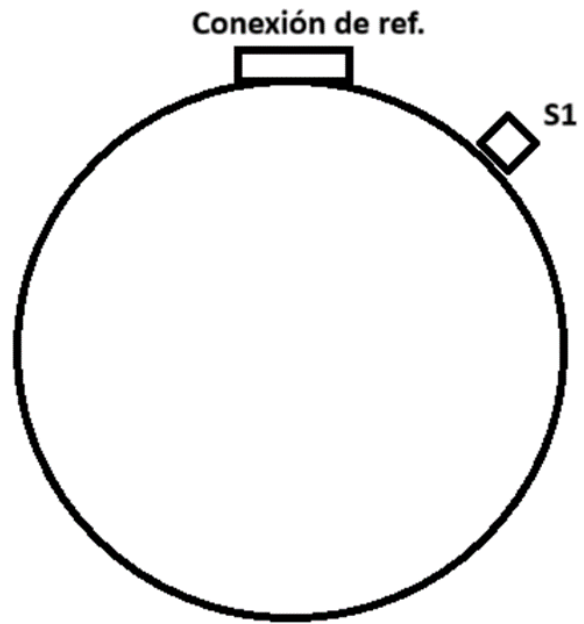
.....

.....

.....

.....

.....



10.ANEXO III

En este anexo se explica brevemente cómo utilizar la base de datos creada en "Access".

Información necesaria para el ensayo:

- Número de registro asignado por el grupo (OAT N°)
- Nombre del tanque ensayado (TAG)
- Diámetro del tanque (m)
- Altura del tanque (m)
- Número de Identificación de Tanque (CIT) asignado por la Secretaría de Energía
- Número de trámite A2 generado en SGDA (Sistema Generador De Alarma)
- Nombre de la operadora
- Nombre de la instalación donde se ubica el tanque
- Fecha de realización del ensayo
- Fecha de reinspección
- Informe final firmado por el Nivel III (se puede cargar una vez disponible)

Procedimiento de carga de informe:

1. Abrir el archivo de Access:

- Con la información de los datos del tanque recabada, abrir el archivo de Access "Registro de tanques evaluados con EA".

2. Ingresar a la solapa "Inicio":

- En la sección "Formularios", haz clic en "ENSAYOS DE EA" (ver figura 76).

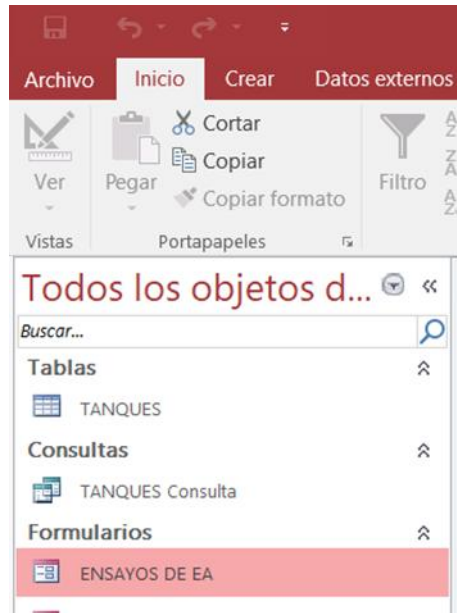


Figura 76- solapa de ensayos realizados

3. Formulario de ensayos:

- Se abrirá un formulario que contiene la información de los ensayos ya realizados.

4. Cargar un nuevo ensayo:

- Al seleccionar "Nuevo registro", se podrá cargar un nuevo ensayo.
- Completar todos los datos requeridos y, si se dispone de un informe en formato ".pdf", anexarlo.
- Indicar si el tanque fue abierto después del ensayo en el cuadro correspondiente. (Ver figura 77)
- Utilizar la casilla provista para registrar cualquier comentario surgido durante el ensayo o el análisis. (Ver figura 77)

ENSAYOS DE EA

GRUPO OAT Auditorías

LISTADO DE TANQUES ENSAYADOS CON EA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COAHUILA 1972

OAT N°

TANQUE

DIAMETRO 0

ALTURA 0

CIT

NUMERO DE TRAMITE A2

OPERADORA

UBICACION

FECHA DE ENSAYO

FECHA DE REINSPECCION

INFORME EA (PDF)

APERTURA

OBSERVACIONES

Cerrar

Nuevo registro Guardar Eliminar

Figura 77- Carga de ensayos

5. Guardar el registro:

- Una vez completadas todas las casillas con los datos del tanque, pulsar "Guardar" para registrar el ensayo.