

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y DE ENERGÍA



“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EMISIÓN ACÚSTICA EN
RECIPIENTES A PRESIÓN Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO
DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN
EMPRESA MINERAS: MILPO Y MINSUR”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
GERENCIA DEL MANTENIMIENTO

BACH. CRISÓSTOMO BARRIOS, CHRISTIAN EDGAR
BACH. PALACIOS RETO, JOSÉ LUIS

Callao, 2019

PERÚ

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

JURADO EXAMINADOR Y ASESOR DE TESIS

Presidente:

Secretario:

Miembro:

Miembro:

Miembro suplente:

N° DE LIBRO DE SUSTENTACIÓN:

N° DE ACTA DE SUSTENTACIÓN:

FECHA DE APROBACIÓN DE LA TESIS:

DEDICATORIA

A la Universidad Nacional del Callao, a nuestro asesor, a nuestros colegas, a la empresa Ademinsac por la confianza depositada.

A nuestras familias por siempre impulsarnos a cumplir nuestros objetivos, por la comprensión y el apoyo brindado. Sobre todo, a Dios, por darnos las fuerzas y los ánimos para culminar la presente investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primero a nuestras familias por el apoyo incondicional durante todo el proceso de estudio para lograr el objetivo.

A nuestros formadores, personas de gran capacidad quienes nos ayudaron a llegar a nuestra meta.

Fácil no ha sido el proceso, pero gracias al apoyo y a las ganas de transmitirnos sus conocimientos y dedicación, hemos logrado culminar el desarrollo de nuestra tesis con éxito.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
TABLAS DE CONTENIDO	4
TABLA DE IMÁGENES	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I:	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Descripción de la realidad problemática	10
1.2 Formulación del problema.....	11
1.2.1 Problema General	11
1.2.2 Problemas Específicos	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Limitantes de la investigación	12
1.4.1 Teórica.....	12
1.4.2 Temporal	12
1.4.3 Metodológica	122
CAPÍTULO II:	133
MARCO TEÓRICO	133
2.1 Antecedentes	133
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	133
2.2 Bases teóricas	177
2.3 Conceptual.....	39
2.4. Definición de términos básicos	466

CAPÍTULO III:	48
HIPÓTESIS Y VARIABLES	48
3.1 Hipótesis de la investigación.....	48
3.1.1. Hipótesis General	48
3.1.2. Hipótesis Específicas.....	48
3.2 Definición conceptual de variables.....	48
3.2.1 Operacionalización de variables	49
CAPÍTULO IV:	500
DISEÑO METODOLÓGICO	500
4.1. Tipo y diseño de la investigación	500
4.2 Método de investigación	500
4.3. Población y muestra	500
4.3.1. Población.....	500
4.3.2. Muestra.....	511
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de la información documental.....	511
4.4.1. Análisis de contenidos	511
4.4.2. Análisis documental.....	511
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de la información.....	51
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	522
CAPÍTULO V:	533
RESULTADOS	533
5.1 Resultados descriptivos	53
5.2 Resultados inferenciales.....	57
5.3 Otro tipo de resultados estadísticos.....	633
CAPÍTULO VI:	711
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	711
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	711
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	711
CONCLUSIONES	733
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ANEXOS.....77

Matriz de consistencia

Base de datos

TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 2.1 Características de la Emisión Acústica y la comparación frente a otros métodos.....	19
Tabla 2.2. Falla vs Frecuencia.....	23
Tabla 5.3 Lista de recipientes inspeccionados y características.....	53
Tabla 5.4 Cuadro comparativo de Emisión Acústica y Métodos No Destructivos (MND).....	56
Tabla 5.5 Cuadro de cargos y responsabilidades durante la inspección.....	57
Tabla 5.6 Herramientas requeridas para la inspección.....	60

TABLA DE IMÁGENES

Figura 2.1 Señal continua	21
Figura 2.2 Señal Transitoria.....	21
Figura 2.3 Discontinuidades vs Amplitud.....	22
Figura 2.4 Tipos de falla vs frecuencia	22
Figura 2.5 Principio de EA.....	24
Figura 2.6 Proceso de emisión acústica.....	25
Figura 2.7 Efecto Káiser.....	26
Figura 2.8 Fórmula de Relación de Felicity.....	27
Figura 2.9 Registro acumulativo en función a la carga.....	28
Figura 5.10 Cuadro de costes (\$) por método de inspección realizado a los tanques a presión - Minera Minsur (2016).....	58
Figura 5.11 Lista de recipientes inspeccionados en Milpo (2013)	59
Figura 5.12 Cuadro de costes (\$) por método de inspección realizado a los tanques a presión - Minera Milpo (2013).....	61

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el impacto de la aplicación del Método de Emisión Acústica en recipientes a presión en la ejecución del programa de mantenimiento predictivo, para ello se recurrió a la información obtenida en las pruebas efectuadas a los tanques en las mineras Milpo y Minsur, así como a la opinión recopilada a través de una encuesta al personal directamente involucrado en este procedimiento.

Se recurrió a los datos obtenidos en estas empresas por ser las que más recurrentemente han solicitado ese servicio, el cual es muy especializado; necesitando para su implementación de condiciones muy particulares en todos los elementos intervinientes.

El método de investigación empleado fue el hipotético-deductivo, con un diseño no experimental, transversal. Los datos obtenidos con las técnicas de recolección empleadas, fueron procesadas tanto descriptiva como inferencialmente, permitiendo de esta manera, al contrastar con los resultados obtenidos, confirmar las hipótesis planteadas en el presente trabajo de investigación.

Se llegó a la conclusión de que la aplicación del método de Emisiones Acústicas en recipientes a presión en la ejecución del programa de mantenimiento predictivo de las empresas Milpo y Minsur, impacta positivamente en aspectos como tiempos, rentabilidad y productividad, asimismo, los procedimientos expuestos en las Normas ASME y API 510, hacen confiable el método de Emisiones Acústicas, de igual manera, la logística empleada en la ejecución del método influye en forma considerable en la ejecución del programa de mantenimiento, estando presente en cada proceso, finalmente el método mencionado optimiza los costos de mantenimiento, evitando paradas innecesarias en la producción.

Palabras Claves: Emisión Acústica, Productividad, Método emergente, Tiempo, empresas mineras.

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the impact of the application of the Acoustic Emission Method on pressure vessels in the execution of the predictive maintenance program, for this purpose the information obtained in the tests carried out on the tanks in the miners was used Milpo and Minsur, as well as the opinion collected through a survey of personnel directly involved in this procedure.

The data obtained in these companies was used because they were the ones that have most frequently requested this service, which is very specialized; needing for its implementation of very particular conditions in all the intervening elements.

The research method used was hypothetical-deductive, with a non-experimental, transversal design. The data obtained with the collection techniques used, were processed both descriptively and inferentially, thus allowing, when contrasting with the results obtained, to confirm the hypotheses raised in this research work.

It was concluded that the application of the Acoustic Emissions method in pressure vessels in the execution of the predictive maintenance program of the Milpo and Minsur companies positively impacts aspects such as time, profitability and productivity, as well as the procedures set forth in ASME and API 510 standards, make the Acoustic Emissions method reliable, in the same way, the logistics used in the execution of the method greatly influences the execution of the maintenance program, being present in each process, finally the mentioned method optimizes maintenance costs, avoiding unnecessary production stops.

Keywords: Acoustic Emission, Productivity, Emerging Method, Time, mining companies.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria minera, existe una gran cantidad de recipientes a presión, los cuales deben ser inspeccionados periódicamente para garantizar su buen estado. Sin embargo, el mayor problema que se ha presentado es que las mineras evitan realizar estas tareas de prevención, debido a algunos factores como el tiempo prolongado de inspección, lo que requiere dejar fuera de servicio a los recipientes a presión evaluados; otro factor considerado, es el costo elevado en la aplicación de algunas técnicas de mantenimiento emergentes.

Pero lo hacen muchas veces, sin ser conscientes que, al no aplicarlas, no solo se pueden presentar paradas innecesarias que generan pérdidas económicas, sino que también, se está poniendo en riesgo el centro de trabajo y la salud e integridad de todos los que laboran en él. Si bien hay entidades que velan por el cumplimiento de diversos estándares de calidad en las industrias en cuanto a seguridad ocupacional, medio ambiente, entre otros; las empresas en Latinoamérica han ido adaptándolos poco a poco por un tema de competitividad más que por compromiso propio.

En muchas ocasiones, las inspecciones ofrecen resultados favorables, indicando que los recipientes a presión se encuentran en buen estado; sin embargo, con la finalidad de evitar que un equipo quede fuera de servicio durante la inspección, se plantea emplear una técnica alternativa de la emisión acústica, la cual evalúa la integridad de los recipientes a presión, permitiendo un ahorro de tiempo y dinero a la industria minera.

El presente informe está abocado a implementar y documentar la técnica alternativa de inspección de recipientes a presión según lo establecido por la American Society of Mechanical Engineers (ASME) en la Sección V – Art. 12 (que define parámetros que deben ser registrados durante el ensayo de tanques sometidos a alta presión, por la técnica de Emisión Acústica (AE) – punto 5.7.1 cod. ASME 2011) y API 510 (Que establece condiciones y

requerimientos aplicables a la inspección y mantenimiento de recipientes a presión), normas y códigos que proponen el método de Emisión Acústica para la inspección de recipientes sometidos a presión partiendo de los procedimientos generales, hasta la aplicación en un caso específico. Para esto, la investigación consta de la siguiente estructura:

En el capítulo I, se presenta el planteamiento de la investigación; el problema que existe en las distintas empresas mineras hoy en día en el tema de mantenimiento, los objetivos, la justificación y las delimitaciones que ha tenido el presente trabajo.

En el capítulo II, se abordan aspectos teóricos considerando estudios anteriores sobre el método de Emisión acústica, así como también investigaciones realizadas en temas como; normas técnicas, implementación de programas de mantenimiento, tiempos de parada de recipientes a presión y contaminación interna, entre otros.

En el capítulo III, se da el planteamiento de las hipótesis (general y específicas) además de presentarse el cuadro de operacionalización de las variables que se escogieron para esta investigación.

En el capítulo IV, se desarrolla la metodología que se ha utilizado en la investigación, el tipo, diseño y muestreo de la misma.

Finalmente, en el capítulo V, se exponen los resultados obtenidos por la presente investigación que se pretende sean positivos y que muestren la gran capacidad del método de Emisión Acústica para evaluar la integridad de los recipientes a presión.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La problemática se presenta en el contexto peruano, al cual se evoca los intereses de esta investigación, los cuales nos llevan a determinar la gran escasez de conocimientos que nos preceden, en este caso se presenta una tendencia de inspección ya conocida en algunos países desarrollados como EE.UU., España, Suecia, etc., pero no difundida en el país, como lo es la Inspección mediante la técnica de Emisiones Acústicas (AET – Acoustic Emission Technique) que es parte de los Ensayos No Destructivos.

En el Perú, son muy pocos los estudios que se han llevado a cabo sobre el tema de Emisiones Acústicas, hasta la fecha. Ya que en la mayoría de los países de Europa o en Estados Unidos, utilizan la técnica, por un tema de compromiso con las personas, además de permitirles optimizar los recursos que tienen y evitarse grandes pérdidas en producción. Hacen una inversión a largo plazo y los resultados han sido los esperados, razón por la cual, han profundizado sus investigaciones sobre este método desde hace mucho tiempo.

Como explica en su investigación, Ruzzante (2016):

Pocos años después del inicio de los estudios, investigaciones y aplicaciones de la nueva técnica de EA, sus especialistas, técnicos y usuarios en varias partes del mundo, comenzaron a organizarse. Así en EEUU se creó en 1967, el “Acoustic Emission Working Group, AEWG”, para reunir a los investigadores y usuarios de la EA, centralizar la información, compatibilizar la terminología y las técnicas experimentales, y compilar e intercambiar experiencias. Su primer Encuentro fue en 1968.

En Japón comenzó a reunirse en 1969 el “Japanese Committee on Acoustic Emission (JCAE)”. Por otro lado, Europa comenzó la organización de la comunidad usuaria de la EA en 1972, con la “Physics Conference on Acoustic

Emission” en Londres, allí se creó el “European Working Group on Acoustic Emission, EWGAE”. Todos estos Grupos periódicamente organizan Congresos Internacionales donde se presentan los últimos trabajos de investigación, desarrollo y aplicaciones de la EA.

Es por ello que se hacen necesarias las investigaciones sobre este método emergente, que, desde luego, se irá incorporando poco a poco al programa de mantenimiento predictivo en las compañías mineras en todo el Perú. Para que puedan tener presente las ventajas de este método frente a los convencionales y el beneficio que le traería a su gestión de mantenimiento en aspectos como: rentabilidad, productividad (tiempos de parada innecesarios), seguridad y confiabilidad (certificaciones de calidad), entre otros.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Qué impacto tiene la aplicación de método de Emisión Acústica en recipientes a presión, en la ejecución del programa de mantenimiento predictivo en las Empresas Mineras: Milpo y Minsur?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Se pueden implementar las normas ASME y API 510 referentes al método de Emisión Acústica en la ejecución del programa de mantenimiento predictivo?

¿Influirá la logística establecida para la aplicación del método de Emisión Acústica, en la ejecución del programa de mantenimiento predictivo?

¿De qué manera la aplicación del método de emisión acústica ayuda a optimizar el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar el impacto que genera la aplicación del método de Emisión Acústica en recipientes a presión, en la ejecución del programa de mantenimiento predictivo de las Empresas Mineras: Milpo y Minsur.

1.3.2 Objetivos Específicos

Verificar los principios y procedimientos para el método de Emisión Acústica, planteadas en las normas ASME y API 510.

Determinar la influencia de la logística adecuada para la aplicación del método de Emisión Acústica, en la ejecución del programa de mantenimiento predictivo.

Analizar la manera en que la aplicación del método de emisión acústica optimiza la ejecución del plan de mantenimiento predictivo.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Teórica

Por tratarse de una prueba muy especializada, existen muy pocas referencias bibliográficas nacionales, es por esto, que en Latinoamérica dicho método aún no es comúnmente escuchado. Para realizar este informe, se buscaron (mayormente) textos internacionales a los cuales se hará referencia posteriormente.

1.4.2 Temporal

Dado que la prueba se ejecuta en intervalos de tiempo muy prolongados, los datos obtenidos se encuentran distanciados por un elevado intervalo de tiempo.

1.4.3 Metodológica

El presente informe de investigación estuvo determinado por la metodología que permitió analizar informes facilitados por la empresa Ademinsac, sobre la gestión de mantenimiento que se realizó en el caso de la aplicación de este método emergente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La Emisión Acústica es conocida desde tiempos remotos, y su término ha sido utilizado para describir los sonidos percibidos en diversos fenómenos naturales como: movimientos sísmicos, congelamiento del hielo, rotura de rocas en las minas, etc.

Los primeros estudios básicos sobre fenómenos de emisión acústica se dieron en el siglo XX en Europa con publicaciones de J. Czochralski (1916), Albert M. Portevin y François Le Chatellier (1923) quienes informaban sobre “pequeños ruidos secos” perfectamente audibles a varios metros de distancia en aleaciones de aluminio-cobre-manganeso. (Ruzzante J., López, M., 2016)

También en los Estados Unidos, se informaba que “la transformación del litio de la forma cúbica centrada en las caras es acompañada por una serie de ‘clics audibles’ como en el maclado del estaño o magnesio.” (Charles Barret, 1947)

Más tarde, Káiser, en Alemania, daría comienzo a la etapa científico-tecnológica ya que fue el primero que utilizó una instrumentación electrónica para registrar los sonidos audibles producidos por los metales durante su deformación. Y en todos ellos detectó una emisión acústica (entre ellos el zinc, los aceros, el aluminio, el cobre y el plomo). (Drouillard, T. History of Acoustic Emission, Journal of Acoustic Emission, 1996, pp. 1-34)

Ya en Latinoamérica se realizó las actividades de Emisión Acústica en Argentina entre los años 1970 y 1980, además de una serie de estudios sobre las mismas. A continuación, algunas de las recientes investigaciones que se han dado sobre este tema:

2.1.1. Antecedentes internacionales

Dana Aguirre Morales, en su tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales. “Estudio del crecimiento subcrítico de grietas en papel: análisis

estadístico y correlación por emisión acústica”. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica. México–2011.

En este trabajo de investigación se reporta el análisis de la emisión acústica (EA) de la fractura subcrítica de papel y tiene por objetivo dilucidar las posibles relaciones entre los parámetros asociados al crecimiento subcrítico y la emisión acústica generada por una grieta al propagarse en un medio elástico cuasi bidimensional, a través del análisis estadístico de tiempos de espera, energía disipada y las longitudes características del avance típico de la grieta y de la microestructura.

Se realizó el estudio en tres materiales comerciales con micro estructuras diferentes en diámetro y distribución del tamaño de fibra, para observar posibles diferencias en la señal de EA obtenida tras el ensayo de fractura subcrítica. Además de un análisis de caracterización de las muestras por microscopía electrónica de barrido (SEM), y el análisis de datos se realizó por medio de Matlab con un algoritmo propio para la EA, y un análisis estadístico del propio programa.

Como resultado, se corroboró la hipótesis de la existencia de una correlación entre la EA y el crecimiento individual de la grieta en la región subcrítica. Se obtuvo la estadística de los parámetros de crecimiento y de la EA, pero se encontraron diferencias cualitativas de los eventos individuales de EA, de los diferentes materiales.

Por último, la autora sugiere continuar estudiando el ensayo para lograr a identificar por emisión acústica el crecimiento individual de la grieta.

Conclusiones: Esta tesis aporta información sobre la aplicación del método de Emisión Acústica en otros materiales y se prueba su efectividad, a través de un análisis estadístico con variables como; tiempos de espera, energía disipada y longitud. Para encontrar la correlación entre el crecimiento de la grieta, con las características del material en estudio.

Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco, en su tesis para obtener el grado de Magíster en Gestión de mantenimiento Industrial “Desarrollo de un plan modelo de mantenimiento para el funcionamiento adecuado de los

equipos eléctricos y mecánicos de un edificio de oficinas en la ciudad de Cuenca”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador –2016.

Esta investigación habla sobre el deterioro de las infraestructuras (edificaciones), para lo cual se tomó como estudio a una empresa de aproximadamente 57 edificios, extendidos por el cantón Cuenca. Y con tal extensión se hace imprescindible una gestión de mantenimiento. La investigación se centró en los equipos que pertenecen a la familia eléctrica y mecánica, específicamente del departamento donde se encontraba la gerencia general.

La problemática se basa en que los responsables de la planificación de mantenimiento de los edificios han pasado por alto el hecho de que los edificios se deterioran rápidamente sin una planificación de mantenimiento adecuado.

Esta deficiencia en la planificación de las actividades de mantenimiento ya había repercutido en el deterioro de la edificación, específicamente las instalaciones eléctricas y mecánicas que se encuentran en las edificaciones de este tipo. No existían registros de los tiempos de parada para reparación de los equipos o sobre las actividades de mantenimiento que se hayan realizado en los equipos, para que el investigador pueda emplearlos en realizar los cálculos de la disponibilidad de los equipos o de algún otro indicador de mantenimiento.

La investigación tiene por objetivo, desarrollar un plan modelo de mantenimiento aplicable a equipos eléctricos y mecánicos de un edificio de oficinas en la ciudad de Cuenca para su adecuado funcionamiento.

Finalmente, se logró establecer un modelo para la planificación, que se determinó a través de cuatro criterios principales: inventario jerárquico, análisis de criticidad, plan de mantenimiento y, control y mejora de la planificación del mantenimiento.

El desarrollo del plan se logró a través de la aplicación del modelo para la planificación del mantenimiento de edificios públicos, que la autora propuso, el empleo del banco de tareas del software SisMAC y la consulta a especialistas en el área de mantenimiento.

Conclusiones: De esta tesis se puede resaltar la importancia de realizar una gestión de mantenimiento ya sea en edificaciones o equipos electrónicos, recipientes, etc. Se comprobó la hipótesis planteada para saber si la aplicación del plan de mantenimiento permitiría el funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos y mecánicos del edificio en estudio.

Juan Luis Ferrando Chacón, en su tesis para obtener el grado de Doctor of Philosophy en la Escuela de Ingeniería y Diseño “Fault Detection in Rotating Machinery Using Acoustic Emission”. Brunel University London. England - 2015.

La investigación se basa en el mantenimiento de la maquinaria rotativa, que se utiliza en una gama de sistemas de transmisión mecánica y su fiabilidad es un aspecto clave de muchas aplicaciones domésticas e industriales.

La detección de fallas en una etapa temprana en maquinaria rotativa es de gran importancia para evitar averías inesperadas, ahorrar recursos y aumentar la seguridad en las plantas industriales. El estudio presenta teorías anteriores sobre la efectividad de la aplicación del método de AE para la detección de fallas en maquinarias rotativas, sin embargo, cuando se realiza la aplicación se presentan algunos inconvenientes que deben superarse para que se aplique como una solución confiable, principalmente en el procesamiento, interpretación y clasificación de la información. El ruido es detectado como el factor en el que se debe trabajar.

El objetivo principal de esta tesis fue la investigación de dos enfoques diferentes para mejorar la técnica AE para detectar fallas en máquinas rotativas.

Se realizó un estudio experimental para validar el método de detección de un defecto sembrado en la carrera externa de un rodamiento, y los defectos localizados en una etapa temprana en los rodamientos y engranajes que utilizan AE se ha mejorado combinando WP como preprocesador y ACF como pos procesador. También se ha explorado la detección de SAM utilizando AE, encontrando superioridades en el conocido espectro de aceleración en la detección de fallas en diferentes condiciones operativas.

Esta investigación demostró que AE ofrece una mayor estabilidad y una SNR de hasta 34 dB más alta para la detección de SAM en diferentes condiciones operativas.

El autor recomienda seguir investigando esta combinación de AE y envolvente, porque si bien se ha investigado su efectividad para la detección de SAM, también podrían detectarse otras fallas dinámicas en el rotor.

Conclusiones: El autor demuestra que, en algunos casos, para el mantenimiento de algunos materiales, la emisión acústica funciona muy bien de la mano de otro método que lo ayuda a optimizar el estudio, en este caso a reducir el ruido. Siempre buscando obtener un mejor resultado en las inspecciones.

2.2 Bases teóricas

Teoría de la Emisión Acústica

La Emisión Acústica, en diferentes materiales, se produce por una serie de causas o sucesos que ocurren en el interior del material, por ejemplo, los movimientos sísmicos que generan o pueden generar ondas elásticas (impulsos) que se propagan a través del material y que pueden ser detectadas con sensores. En resumen, lo que produce la Emisión Acústica es una variación en el campo de tensiones creado en el interior del material al aplicarle una presión determinada.

Por lo general, los fenómenos en los que es útil el ensayo de EA son fenómenos no audibles sin un equipo especial, si más no, cabe destacar que no todos los sonidos provocados por las EA son ultrasónicos, existen diversos ejemplos, siempre por debajo de los 20kHz, como por ejemplo la madera al quebrar, un papel al rasgarse o romperse o el agua al congelarse. Para que el material emita ondas de Emisión Acústica se le debe aplicar cierto nivel de tensión, esta tensión produce cierta deformación en el material. A nivel macroscópico la deformación del material parece continua, pero a nivel microscópico se observa como en realidad es discreta (Closa, P, 2014).

Pau Closa advierte en su investigación sobre la emisión acústica, que los defectos estables o de baja emisión no se revelan durante la prueba, pero, estos pueden volverse potencialmente peligrosos con el uso continuo del componente a causa de la presencia de esfuerzos como la fatiga, la corrosión, la sobrecarga, etc. Por este motivo no se deben sustituir los otros Ensayos No Destructivos por la Emisión Acústica.

El fenómeno de la Emisión Acústica

La definición de Emisión Acústica (EA) es la clase de fenómeno que produce ondas elásticas transitorias generadas por un cambio de energía que se da en un material al tener una deformación. La primera investigación bien documentada de emisión acústica en los metales fue hecha en Alemania por Joseph Káiser en 1950. Él informó que todos los metales examinados (zinc, acero, aluminio, cobre y plomo) exhiben el fenómeno de Emisión Acústica. El uso de la Emisión Acústica como técnica de inspección no destructiva ha estado en desarrollo durante mucho tiempo y también en la actualidad la actividad de desarrollo está todavía en progreso. (Closa, P, 2014)

Debido a que la emisión acústica es un método cualitativo, es fundamental utilizar una segunda prueba no destructiva complementaria con la finalidad de caracterizar problemas potenciales.

Características de la Emisión Acústica

El objetivo principal de una evaluación bajo este método emergente es realizar un control volumétrico al 100% para localizar y controlar las fuentes de emisión acústica causados por el crecimiento o evolución de defectos y/o discontinuidad en el material generado por una presión aplicada. Algunos de los factores que afectan esta evaluación son: las propiedades y condición estructural del material, el tipo y amplitud del esfuerzo aplicado además de su velocidad. Las ondas acústicas son captadas por sensores adecuados, colocados en la superficie del componente bajo examen, que convierten el movimiento de la superficie del material en una señal eléctrica.

Estas señales se procesan y se analizan mediante una instrumentación adecuada para localizar las fuentes de emisión acústica.

Tabla 2.1 Características de la Emisión Acústica y la comparación frente a otros métodos

Característica	Emisión acústica	Otros métodos
Descubrimiento rápido y temprano de los defectos	sí	no
Detecta el movimiento del defecto	sí	no
Detecta la forma del defecto	no	sí
Detecta la disposición de posibles defectos	sí	no
Requiere someter la pieza a esfuerzos	sí	no
Repetitividad del ensayo	cada carga es única	muy repetitivo
Sensibilidad al tipo de material	alta	baja
Sensibilidad a la geometría de la pieza	baja	alta
Intrusión en el proceso o en la planta	baja	alta
Acceso requerido	sólo a los sensores	toda el área de inspección
Inspección	toda la pieza a la vez	por zonas
Sensibilidad a la detección de crecimiento/movimiento de los defectos	alta	baja
Permite monitorización global	sí	no
Permite realizar monitorización a tiempo real	sí	no
Se requiere limpieza de la superficie	no	sí
Principales problemas	Ruido, interpretación de los resultados	Acceso, geometría e interpretación de los resultados

Fuente: Pau Closa González

Según Reyna A. en su investigación señala algunos de los problemas que se pueden detectar bajo este método de Emisión Acústica.

- Movimiento de dislocaciones (deformaciones plásticas).
- Las grietas por fatiga.
- Grietas por carga.

- Corrosión bajo carga cíclica.
- Corrosión.
- Fragilización por hidrógeno.
- La fricción.
- Impacto mecánico.
- Ebullición.
- Cavitaciones.
- Fugas.
- Monitorización del crecimiento de grieta.
- Evaluación de integridad estructural.
- Seguimiento de la evolución.

La emisión acústica se trata de un método pasivo y se aplica solo cuando el material es sometido a un esfuerzo o durante funcionamiento. Generalmente se trata de un proceso irreversible y es sensible al efecto Káiser, principio bajo el cual se evalúan materiales metálicos.

La emisión acústica se detecta a partir de un bajo nivel de carga hasta la ruptura, pero solo si el material no ha sido esforzado o cargado previamente a niveles de carga superiores al de la evaluación. Por lo tanto, no hay actividad de emisión acústica hasta la carga máxima aplicada previamente.

Durante la examinación, no se tiene control sobre el mecanismo de generación de sonido; sin embargo, es posible someter un material a las condiciones que harán la producción de emisión acústica. Estas pueden ser un alto nivel de esfuerzo o una alta temperatura que producen una inestabilidad en el material.

Las señales de emisión acústica son de dos tipos:

- Señales continuas: este tipo de señal está presente en todo momento, se analiza la amplitud y frecuencia.

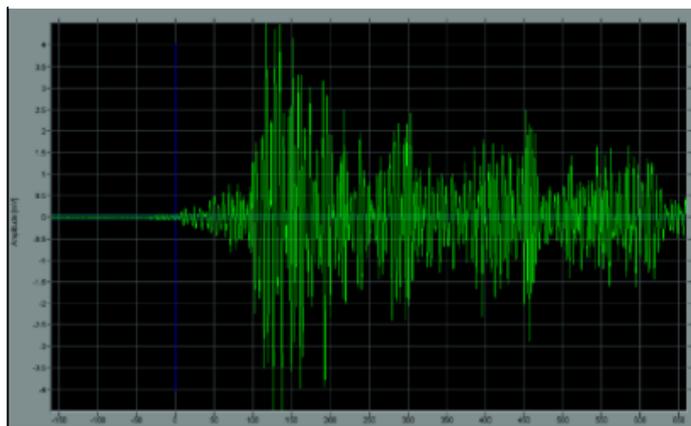
Figura 2.1 Señal continua



Fuente: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6248> -junio de 2013

- Señales transitorias: constan de puntos iniciales y puntos finales.

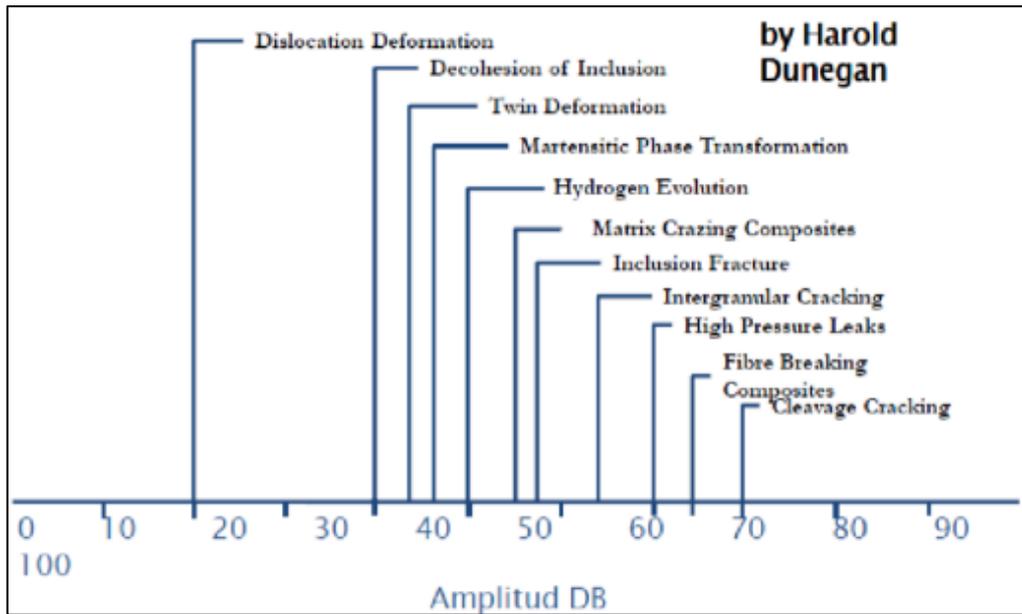
Figura 2.2 Señal Transitoria



Fuente: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6248> -junio de 2015

Cada tipo de daño es característico de cierto nivel de amplitud (decibeles), razón por la cual es conveniente saber qué tipo de falla se espera encontrar en el componente que está siendo evaluado. A continuación, se muestra un cuadro en el que se observa qué amplitud se genera para cada tipo de daño

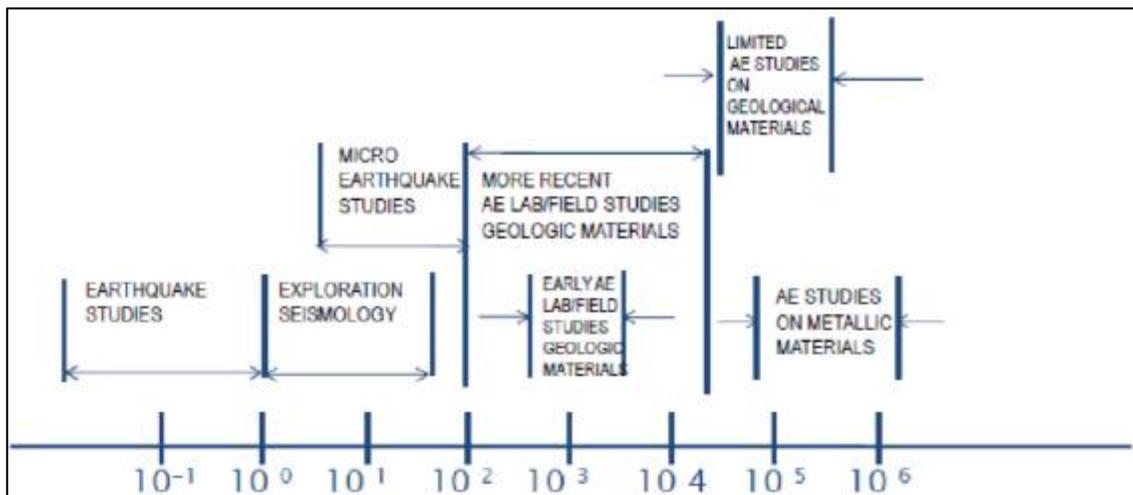
Figura 2.31. Discontinuidades vs Amplitud



Fuente: Emisión Acústica, Niveles I y II

Por otro lado, se ha estudiado qué tipos de falla pueden ser encontradas según el rango de frecuencias de los sensores seleccionados en la evaluación por Emisión Acústica. A continuación, se muestra el rango de frecuencia de varios tipos de estudios de Emisión Acústica.

Figura 2.4 Tipos de Falla vs Frecuencia



Fuente: avingenieria.net

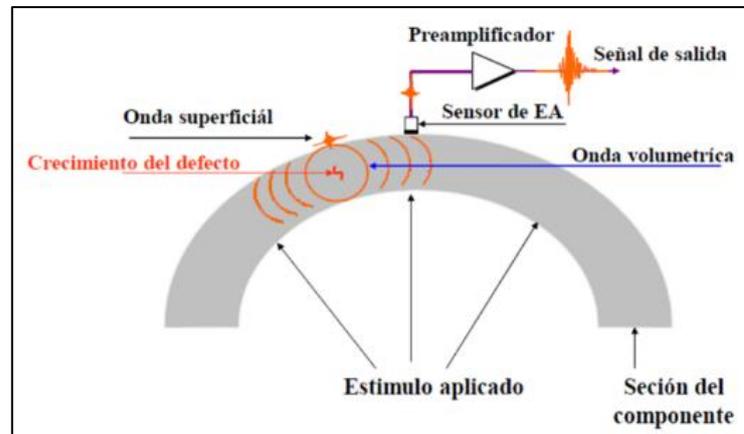
Tabla 2.2 Falla Vs Frecuencia

Aplicación	20 – 100 kHz	100 – 400 kHz	>400 kHz
Detección de corrosión en fondo de tanques	X		
Detección de fugas en tuberías (agua/combustible)	X		
Detección de fisura		X	
Pruebas de integridad de recipientes a presión		X	
Detección de descargas parciales	X (cuando el ruido es bajo)	X	
Pruebas de integridad de estructuras metálicas		X	
Pruebas de integridad de materiales compuestos		X	
Pruebas de integridad de estructuras de concreto	X		
Monitoreo en procesos de secado de madera		X	

Fuente: avingeneria.net

a. Principio de Emisión Acústica

Figura 22.5 Principio de EA



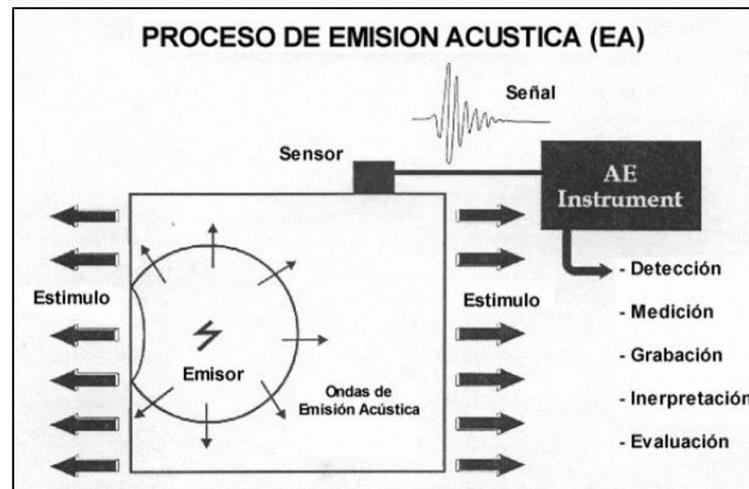
Fuente: http://www.edc-sa.com.ar/index_archivos/EMISIONACUSTICA.htm -2009

El principio de esta técnica está basado en el efecto Káiser el cual indica que, si a un material se le aplica una carga mayor a la de trabajo, entonces este va a liberar energía en forma de ondas. La energía que es liberada en este proceso puede ser captada por algunos sofisticados sensores y mediante un proceso (software) se analizan y se puede identificar si existe algún problema con el sistema que altere su funcionalidad.

El concepto básico de la emisión acústica consiste en aplicar un estímulo al material o estructura hasta localizar un punto de cedencia del material. Este punto de cedencia produce una onda de esfuerzo que se propaga elásticamente por la estructura. En algún punto llega a la superficie y estimula un sensor piezoeléctrico. Este sensor convierte la energía mecánica en una señal eléctrica que se amplifica para el proceso de los análisis.

Un artículo publicado por la Universidad Politécnica de Cataluña sobre las emisiones acústicas, habla sobre el efecto Káiser y Felicity

Figura 2.6 Proceso de emisión acústica



Fuente: www.scielo.org.mx– junio 2012

Efecto Káiser

Según Juan Lara Magallanes, una característica importante de Emisión Acústica es su respuesta irreversible en muchos metales. Esta característica de los metales se ha evidenciado en 1950 por Josef Káiser de la que tomó el nombre y se define como la ausencia de detectar emisión acústica hasta que no se haya alcanzado previamente el nivel de esfuerzo.

La emisión acústica se crea por la formación o propagación, bajo una carga aplicada, de un "defecto" como una grieta, una avalancha de dislocaciones, descohesión de una interface, etc.

Si se desea producir nuevamente una emisión acústica a partir del mismo defecto, se deberá esforzar el sistema a un esfuerzo mayor al que se esforzó anteriormente para producir la emisión acústica. El nivel de la presencia del efecto Káiser varía con los metales y puede desaparecer por completo para la aleación con características de recocido a temperatura ambiente.

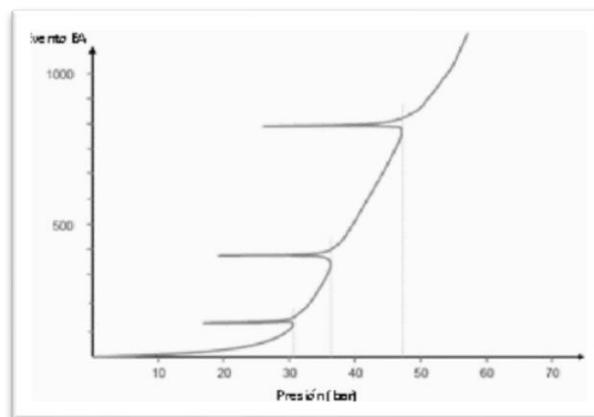
Se ha demostrado que este efecto no es permanente y que el efecto Káiser podría disminuir en función de la duración del intervalo entre la aplicación sucesiva de esfuerzo y a la temperatura a la que los materiales han sido sometidos, entre uno y el otro esfuerzo. Esta condición se cumplirá siempre

que los defectos no se alteren de forma irreversible durante la descarga, recarga o entre la descarga y recarga.

Es esencial que no haya nuevas fuentes de emisión acústica generadas durante el ciclo de descarga – recarga. Estas condiciones son a menudo cumplidas y el efecto Káiser se observa para muchos materiales. Los más graves errores de las condiciones requeridas para el efecto Káiser surgen de procesos activados térmicamente.

Los efectos de los procesos activados térmicamente pueden ser acelerados por una temperatura elevada entre la descarga y ciclos de recarga.

Figura 2.73 Efecto Káiser



Fuente: Emisión Acústica. Niveles I y II

Efecto Felicity

Este efecto se define como la emisión acústica significativa a un nivel de carga por debajo de la carga máxima anterior que se observa en el efecto Káiser. Podemos ver que a niveles más altos de la tensión el material está débil y por eso aparecen las ondas acústicas antes de que la carga máxima anterior es alcanzada. Dicho de otra manera, el efecto Felicity es lo contrario que el efecto Káiser. (Mella, O, 2017).

A menudo se presenta en materiales en condiciones pobres y/o cercanos a fallar y se le denomina el efecto Felicity.

Figura 2.84 Fórmula de Relación de Felicity

$$FR = \frac{\text{Carga a la que vuelve a comenzar la emisión}}{\text{carga máxima anterior}}$$

Fuente: <https://prezi.com/m/sj6dbmlzpic4/efecto-felicity/>

Se deduce por tanto que el efecto Káiser es un efecto Felicity cuya relación FR es igual o superior a 1.

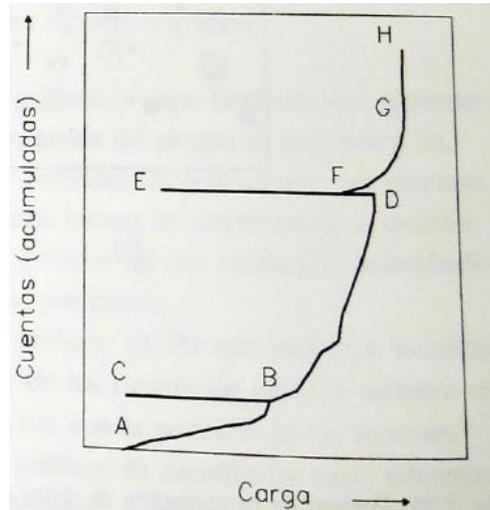
Este efecto a menudo se presenta en materiales pobres y/o cercanos a fallar.

Lectura del valor FR:

El valor de FR es muy útil en los ensayos de recipientes de plástico reforzados con fibra. Cuando el material se aproxima a la rotura, se produce una disminución sistemática de la relación y, según ASME 11, un valor de FR inferior a 0.95 es causa suficiente para el rechazo del recipiente.

En el caso de los recipientes metálicos, ASME 12 considera admisible descartar los resultados del primer ciclo de carga y considerar sólo los del segundo. Esto se basa en el hecho de que los resultados del primer ciclo están muy contaminados por emisiones locales de poco o nulo interés práctico, mientras que sólo los defectos significativos emitirán en el segundo ciclo.

Figura 2.9 Registro acumulativo en función a la carga



Fuente:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23450/Las%20emisiones%20ac%C3%A1sticas.%20Pau%20Closa.pdf>

Se observan (Fig. 8) diversos fenómenos de interés que se producen durante los sucesivos ensayos de carga. En el primer ensayo la emisión empieza cuando llega al valor A, al aumentar la carga se acumulan las cuentas hasta B y si, en ese momento se descarga el registro pasa al punto C. Si ahora se vuelve a cargar no se producen nuevas cuentas hasta que la carga alcanza de nuevo el valor en B, dónde la curva de acumulación retoma el crecimiento que es el efecto Káiser.

Pero cuando aumentan los niveles de carga se produce el efecto Felicity, que se representa en la zona DEF, la emisión se reanuda en F, que es antes de llegar a D, el nivel máximo de la carga anterior.

Con respecto al fenómeno de la emisión continua a carga constantes (Fig. 8) Sucede en el tramo GH de la curva. Su explicación está asociada, igual que el efecto Felicity a la naturaleza inestable de los defectos significativos. Este efecto simplifica los ensayos de recipientes de plásticos ya que, durante el

mantenimiento de la carga, la emisión está mucho menos contaminada por ruido que cuando la carga está creciendo.

Los detalles que definen el ciclo de aplicación de la carga, tales como velocidades, tiempos, etc. Deben especificarse escrupulosamente. En el caso de los recipientes de plástico reforzado se recurre a veces a un período de acondicionamiento (aplicación de una carga reducida) antes del ensayo. No pueden permitirse fallos de coordinación entre el personal de fabricación y el responsable de las pruebas, ya que un ensayo de emisión acústica puede ser totalmente invalidado si el recipiente o la estructura han sido cargados antes inadvertidamente.

De los informes brindados por la empresa Ademinsac a las dos empresas mineras, se puede extraer la siguiente información:

Equipamiento

Instrumentación de prueba de emisión acústica:

- Instrumentación.
- Acondicionamiento de señal.
- El ruido del sistema de emisión acústica.
- Los lazos de tierra.
- Acoplamiento electrostático.
- Acoplamiento magnético.
- Acondicionamiento de señal – Filtros.
- Acondicionamiento de señal – Amplificador de potencia.
- Convertidor de audio – Elementos.
- El digitalizador de señal de emisión acústica – Elementos.
- Las unidades de medida de amplificación.
- Procesamiento de señales.

La aplicación de la técnica de emisión acústica requiere un sistema capaz de adquirir, procesar, visualizar y almacenar los datos en tiempo real. El equipo de

emisión acústica será elegido para garantizar la correcta aplicación del método, llevar a cabo una prueba completa de emisión acústica, incluso si se trata de una aplicación particular.

Procedimiento de Inspección

El procedimiento de inspección dependerá del tipo de componente que está siendo evaluado (tube-trailers, tanques de almacenamiento, estructuras, transformadores, etc). En este caso, a partir de la información brindada en los informes de las compañías mineras Milpo y Minsur, solo se presentará el procedimiento de inspección de un recipiente a presión tal como lo indicado en los informes.

Volumen de los recipientes: se preparan los recipientes para que cumpla las siguientes condiciones mínimas, que son las siguientes:

1. Nivel de presión: Un inicio del 50% máximo del nivel mínimo de presión de operación de trabajo, con esto se logra tener un récord de subida de presión, que permita estímulos de respuesta donde se encuentren las discontinuidades, este será el inicio para poder comenzar con la subida de presión después de tener la configuración completa, tanto en el recipiente como en el software AET.
2. Aislamiento del recipiente a presión: Deberá estar ubicado cercano a la mesa de trabajo (mesa de carga), esto permite que cualquier ruido externo, al cual la prueba es muy sensible, sea minimizado y se obtengan resultados veraces.
3. Inspección previa: Empleando la técnica de ultrasonido aerotransportado e inspección visual se descarta la existencia de fuentes de ruido, los cuales introducen indicaciones falsas en los resultados.

4. De acuerdo con los estándares: se procede a la colocación de sensores mediante un sujetador magnético y grasa siliconada (Fig. 2.32) en forma simétrica. La cantidad de sensores a utilizar dependerá del volumen de cada recipiente, con un mínimo de 3 sensores por recipiente. Toda esta distribución de sensores es llevada al software AET.
5. Se verifica el acoplamiento de los sensores mediante la técnica PLB con al menos tres roturas a distancia no mayor a 100 mm del centro del transductor, empleando grafito de 0.5 mm con dureza 2H, se repite para todos los sensores. Con esto se verifica que el tiempo de llegada del estímulo desde la zona de ruptura hasta el sensor sea el mismo, garantizando que los sensores tengan un buen acople.
6. Se elabora curva de atenuación con roturas de grafito de 0.5 mm con 2H de dureza (al menos 4 roturas), tres repeticiones a distancias de 1 pie entre cada zona de rotura. La curva de atenuación es realizada por el software del sistema, el cual capta la intensidad con la cual está llegando los impulsos dados por la rotura. A medida que vamos alejando la rotura, la intensidad del estímulo disminuye lo cual permite al software calcular la atenuación del sonido en el material.
7. Se calcula la velocidad de la onda mediante roturas de grafito de 0.3 mm con 2H de dureza en diversas posiciones. Teniendo en cuenta que la velocidad del sonido es constante (V), conociendo el tiempo de llegada, dato que ofrece el software, desde la zona de rotura hacia el sensor (T) y conociendo la distancia (D) entre la zona de rotura y el sensor, se puede calcular la velocidad del sonido ($D = V * T$)
8. Ajuste de los parámetros del procesador. HDT, EDT, ELT, HLT, Threshold (35 dB). Esto permite tener la mejor relación señal-ruido por lo que nuestra probabilidad de detección aumenta significativamente.

9. Registro de actividad, se iniciarán los registros al empezar con la subida de presión (la más lenta posible), hasta el 110% de la presión de trabajo, luego de alcanzar esta presión; se procede a seguir con la adquisición por una hora adicional. Parar y guardar la data.
10. Estimación de Severidad de la emisión acústica, de acuerdo con las prácticas desarrolladas en los procedimientos de inspección, se emplean los siguientes criterios para la estimación de la severidad de la emisión acústica y su relación con la condición:
 - Hits (H): Número de Hits por canal, análisis de la distribución de Amplitud vs Duración.
 - Eventos (Ev): Escala de crecimiento de eventos, análisis y parámetro de presión.
 - Energía (En): Escala de crecimiento de energía absoluta y parámetro de presión.

b. Normas Técnicas

Como se ha mencionado anteriormente, el método de Emisión Acústica es aplicable para distintos materiales y equipos industriales. Si bien existen una cantidad de normas para la inspección por Emisión acústica, las que regulan directamente la inspección de recipientes a presión que es el objeto de estudio de la presente investigación, son algunas de las siguientes:

Código ASME Secc. V- Art. 12

La organización ASME ha estandarizado la práctica del ensayo de Emisión Acústica bajo el código ASME BPVC del 2007 en la sección V Artículo 12. El sistema de medición que se describe en el código encuadra en la figura de “sistema por análisis de parámetros”, en contraposición a los llamados “sistemas por análisis de señales”.

Esto quiere decir que de la emisión acústica detectada se guardan ciertos parámetros y no una muestra completa de la señal. Estos sistemas basados en parámetros permiten registrar un número importante de señales por segundo, sin saturar las posibilidades del procesador de manejarlas, ya que una señal queda caracterizada por unos pocos bytes de información en lugar de una larga cadena conteniendo toda la señal digitalizada. (Ortega C. *Análisis del informe de resultados de ensayo de Emisión Acústica en base a lo establecido en el código ASME*, ,2009)

Parámetros definidos por el código

El código establece los parámetros y variables que el sistema debe registrar además de fijar el número mínimo de emisiones que el sistema debe ser capaz de guardar en su memoria no volátil.

El párrafo I-1291 obliga a registrar los siguientes parámetros de la emisión en cada canal,

Tiempos de arribo: Tiempos en que la señal llega a los sensores luego de disparado el sistema por el primero de ellos.

Hits (Emisiones): Cantidad de emisiones por encima del umbral.

Counts (Cuentas): Veces que la señal pasa por el nivel de umbral.

Peakamplitude (Máximo): Valor máximo de la señal.

MARSE: Área de la señal rectificadas. Da una idea de la energía involucrada.

Presión: Presión en el interior del recipiente bajo prueba.

Tiempo: Momento, medido en horas, minutos y segundos, en que se registró la emisión en la memoria del sistema

Norma API653 – Inspección, reparación, modificación y reconstrucción de estanques

Es aplicable en la inspección, reparación, alteración desmontaje y reconstrucción de tanques horizontales o verticales, basándose en las recomendaciones del STD API 650. Recomienda también la aplicación de las técnicas de ensayos no destructivos aplicables

Este estándar cubre el diseño, inspección, ensayos y mantenimiento de los tanques y fueron desarrollados para recipientes de almacenaje en la industria petrolera y petroquímica, pero su aceptación ha sido aplicada en otras industrias. (Textos Científicos, 2006)

ISO 9001- 2008 - Gestión de Calidad Organizacional

Son un conjunto de instrucciones, creada por la Organización Internacional de la Estandarización (ISO), que van a servir para elaborar el Plan de Gestión de la Calidad Integral en cualquier organización orientada hacia la satisfacción del cliente. Para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados y que interactúan. A menudo el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso.

Por tal razón involucra todas las áreas de la Organización desde Recursos Humanos, Producto (Diseño y Desarrollo, Planeación, Compras, Operación, etc), Monitoreo y Auditorías.

La norma presenta los siguientes beneficios:

1. Disminución en los costos.
2. Incremento del nivel de ventas.
3. Todos los procesos realizados en la empresa se encuentran perfectamente definidos.

4. Las responsabilidades de cada empleado se definen en forma clara y concreta.
5. Hay una perfecta descripción de puestos y funciones de todos los integrantes de la organización.
6. Se optimizan todas las vías y los métodos de comunicación interna de la empresa.
7. La imagen de la empresa, ante el entorno, aumenta considerablemente.
8. Crece la conciencia del trabajo con Calidad entre los empleados.
9. Aumento en el nivel de capacitación del personal.
10. Aumento del nivel en que los clientes son satisfechos.
11. Aumento de la calidad que los proveedores suministran a la empresa.
12. Aumento en el conocimiento de los requerimientos de los clientes, sus necesidades y sus expectativas.
13. Aumento de la productividad total de la empresa. (Castelmonte Asociados, 2013)

Cabe resaltar que cualquier tipo de empresas puede implementar un Sistema de Gestión de la Calidad basado en la Norma ISO 9001: 2008. No importa el tamaño de la empresa. Pero dependerá de la función de cada empresa en particular, el tiempo para implementarla.

Una vez implementado el sistema de gestión de la calidad de acuerdo a los requisitos de la Norma ISO 9001: 2008, es necesario planificar las tareas de mantenimiento y mejora de la eficacia del mismo; estas tareas pueden asumirla la empresa con recursos propios, eventualmente, si se da el caso es posible requerir algún tipo de asesoramiento adicional, por ejemplo, para la mejora de los procesos.

ISO 14001- 2015– Sistemas de Gestión medioambiental

Hoy en día, los clientes esperan que las empresas cumplan con las normas medioambientales y demuestren su compromiso con la reducción del impacto ambiental en sus operaciones diarias.

Los beneficios de esta norma son:

- Gestiona los aspectos medioambientales de un modo efectivo;
- Mejora del cumplimiento de la legislación medioambiental;
- Prevención de la contaminación;
- Disminuye el consumo de energía y recursos al reducir los costes operativos;
- Mejora continua del rendimiento medioambiental;
- Reduce el riesgo de sanciones y evita litigios;
- Aumento de la confianza de los interesados;
- Mejora la moral de los empleados;
- Nuevas oportunidades de negocio con clientes preocupados por el medio ambiente. (SGS, 2018)

OHSAS 18001– Gestión de seguridad y Salud Ocupacional

OHSAS es la sigla en inglés de “Occupational Health and Safety Assessment Series” que traduce “Serie de normas de Evaluación en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional”. La norma OHSAS 18001 es un documento elaborado por los organismos normalizadores de diferentes países liderados por el Instituto Británico de Normalización BSI.

En esta norma se especifica los requisitos para un Sistema de Gestión en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional SG de S&SO, destinados a permitir que una organización desarrolle e implemente su Política de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, así como sus objetivos relacionados, habiendo tenido en cuenta los requisitos legales aplicables en materia de seguridad industrial y salud ocupacional, así como los compromisos que de manera voluntaria haya suscrito la organización y la información relativa a los peligros y riesgos.

En el Perú existe un dispositivo legal que obliga a las empresas a implantar un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo: La Ley 29783 y su Reglamento el DS005:2012-TR, que está acorde a los estándares internacionales de la norma OHSAS 18001.

Junto a la Ley 29783 y su reglamento aportan las siguientes ventajas:

- Mejora del nivel de satisfacción de los Interesados (Stakeholders).
- Fortalecimiento de la fidelidad de los clientes.
- Incremento de la participación de mercado como resultado de una mayor orientación al cliente e interesados.
- Adecuación y mejora de la estructura organizacional.
- Mejoramiento de la imagen empresarial.
- Mayor accesibilidad a la obtención de recursos financieros.
- Integración con proveedores.
- Reducción potencial del número de accidentes.
- Demostración de la conformidad legal y normativa en materia de SST.
- Demostración a las partes interesadas del compromiso con la salud y la seguridad.
- Mayor acceso a nuevos clientes y socios comerciales.
- Reducción potencial de los costes de los seguros de responsabilidad civil.
- Es compatible con otros sistemas de gestión como ISO 9001 E ISO 14001.
(Peruvian Quality, *Desarrollo e implementación del ISO 9001*, 2017)

ISO 50001 – Gestión de Energía

La Organización Internacional de Normalización (ISO) comenzó a trabajar en esta norma internacional de Gestión de la Energía en 2008, con la asistencia de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO), y se publicó en 2011.

La norma ISO 50001 es una norma internacional que especifica los requisitos del sistema de gestión de la energía para las empresas, con el fin de desarrollar e implementar políticas y objetivos teniendo en cuenta todas las obligaciones legales pertinentes. La normalización en el sector de la Gestión de la Energía incluye los siguientes factores:

- Suministro de Energía.
- Adquisición de equipos y sistemas que utilizan energía.
- Uso de la energía y cuestiones relacionadas con su eliminación.
- Medición del consumo actual de energía.
- Implementación de un sistema de medición para documentar, informar y validar la mejora continua en el área de Gestión de la Energía.
(TUVReinland, 2010)

Alcance

La Certificación de la Norma ISO 50001 sobre la Gestión de la Energía, es adecuada para todo tipo de industria que quiera establecer sistemas de gestión energética.

Las industrias afectadas específicamente por la norma son las de acero, metal, carbón, electricidad, productos químicos, construcción, papel, textil y cemento.

Si bien estas normas cubren muchos aspectos, no todos están contemplados, razón por la que existen otras normas complementarias a las mismas.

API 510 – Código de inspección para mantenimiento, reparaciones, tasado y alteraciones de recipientes a presión

Este código de inspección cubre la inspección de mantenimiento, reparaciones, alteraciones, y procedimiento de re-potenciación, para recipientes a presión usados en las industrias de procesos petroleros y químicos.

La aplicación de este código de inspección está restringida a las organizaciones que emplean o que tiene acceso a personal u

organizaciones de ingeniería e inspección que están técnicamente calificados para mantenimiento, inspección, reparación, alteración o re-potenciación de recipientes a presión.

Los inspectores de recipientes a presión, tendrán que ser certificados como está establecido en este código.

Este código de inspección, aplica a recipientes construidos de acuerdo a API/ASME Código para recipientes a presión no incendiables, para líquidos y gases de petróleo, Sección VIII de Código ASME, y otros códigos de recipientes a presión conocidos; para recipientes no estandarizados; y para otros recipientes construidos bajo ningún código o aprobado como jurisdiccional especial.

Este código es solo aplicable a recipientes que han sido puestos en servicio y han sido inspeccionados por una agencia de inspección autorizada.

2.3 Conceptual

a. Método de Emisión Acústica

Método utilizado para evaluar el comportamiento de discontinuidades bajo esfuerzos, es un método volumétrico de gran alcance con capacidades demostradas para monitorear la integridad estructural, detectar fugas, fallas incipientes en equipos mecánicos y caracterizar el comportamiento de materiales.

Con aplicaciones en la Inspección de estructuras, recipientes a presión, tube-trailer, esferas de gas, tanques de almacenamiento, recipientes de fibra de vidrio. Siendo el objetivo de esta técnica (aplicada a la inspección del recipiente a presión); determinar el estado e integridad de recipientes a presión. Monitorear los cambios en la condición de los recipientes sometidos a carga y descarga cíclica en busca de defectos en desarrollo. (Ledezma L. 2015).

Ventajas generales de la emisión acústica respecto de otros métodos de END

Inspección en servicio: La emisión acústica permite evaluar la integridad estructural de elementos como recipientes a presión en línea, bajo las condiciones normales de operación y las experiencias mientras está en uso.

Inspección de toda la estructura: Si se determina bien el área donde se fijará el sensor la inspección se puede realizar con un número pequeño de sensores. Esta característica es muy útil en estructuras largas, esferas, intercambiadores de calor en donde el acceso y áreas de inspección son difíciles y requieren demasiado tiempo.

Permite encontrar defectos significativos: La Emisión Acústica es utilizada bajo condiciones reales de carga esto permite diferenciar las anomalías que están creciendo y las que son insignificantes estructuralmente. Con otras técnicas, es posible establecer la presencia de una anomalía, pero es difícil determinar sus defectos cuando la estructura está en servicio.

Permite realizar una medición de la severidad estructural: Utilizando los procedimientos de inspección y análisis se puede dar una medida de una fuente activa de Emisión Acústica en una estructura. Existen programas informáticos que nos dan parámetros de los datos de Emisión Acústica cuando inspeccionamos la estructura bajo los procedimientos determinados. Los programas más usados son MONPAC y MONPACPLUS.

Es un método no-invasivo: Los sensores son instalados en la parte exterior del recipiente. Sólo se necesitan pequeños huecos de acceso para la instalación de los sensores y el resto de aislamiento permanece sin perturbación.

Datos permanentes: La inspección por Emisión Acústica deja datos guardados en el ordenador. Estos datos están disponibles para hacer futuros análisis y pueden ser usados para futuras referencias y así ser comparados con datos de estructuras similares. (Closa P.,2014)

Mantenimiento Predictivo

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:

➤ **Organización del mantenimiento predictivo**

- Vibración de cojinetes.
- Temperatura de las conexiones eléctricas.
- Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor.

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas (por ejemplo, la vibración de un cojinete) en intervalos periódicos hasta que el componente falle.

Curva típica que resulta de graficar la variable (vibración) contra el tiempo. Como la curva lo sugiere, deberán reemplazarse los cojinetes subsecuentes cuando la vibración alcance 1,25 in/seg (31,75 mm/seg). Los fabricantes de instrumentos y software para el mantenimiento predictivo pueden recomendar rangos y valores para reemplazar los componentes de la mayoría de los equipos, esto hace que el análisis histórico sea innecesario en la mayoría de las aplicaciones. (EcuRed)

Recipientes a presión

Se considera como un recipiente a presión cualquier recipiente cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o de vacío, independientemente de su forma o dimensiones. Existen numerosos tipos de recipientes que se utilizan en las plantas industriales o de procesos.

Algunos de estos tienen la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen de algún proceso, este tipo de recipientes son llamados en general

tanques. Los diferentes tipos de recipientes que existen, se clasifican de la siguiente manera:

Por su uso: Los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de procesos. Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión y de acuerdo con sus servicios son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc.

Por su forma: Los recipientes a presión pueden ser: cilíndricos o esféricos.

Los primeros son horizontales o verticales y pueden tener en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según sea el caso. Los esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes esféricos a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma natural que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna esta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión sin embargo en la fabricación de estos es mucho más cara a comparación de los recipientes cilíndricos. (Aboytes F., 2010)

Programa de Mantenimiento Predictivo

La operación segura del recipiente requiere el establecimiento de una gestión fiable de seguridad, eficacia y continuidad de la operación y esto requiere un soporte de gestión de los operadores y personal de mantenimiento para corregir los problemas de planta a medida que aparezcan.

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar. (Renovetec, ingeniería de mantenimiento, 2009)

Tipos de mantenimiento.

Muchas plantas trabajan sobre una base de mantenimiento sobre rotura, lo que significa que al equipo se le permite funcionar hasta el fallo, antes de ser reparado o sustituido. Este tipo de mantenimiento requiere poca planificación, pero produce una utilización ineficiente de los trabajadores, que están pagados con horas extra en las emergencias y producen tiempos de servicio excesivos, así como de producción.

El mantenimiento preventivo, combina un análisis predictivo y unas pruebas técnicas para determinar la frecuencia de la revisión general o de la inspección parcial, así como de la reparación o sustitución para maximizar el tiempo operativo y eliminar trabajo innecesario de desmontaje general, basado solo en pruebas frecuentes. Algunos trabajos de inspección son dictados por requisitos legales y normalmente son utilizados como punto de partida para el programa a de trabajo o de mantenimiento preventivo. A medida que las presiones y temperaturas aumentan y el efecto de un accidente o el gasto de una parada se hacen notar, las inspecciones legales deben complementarse con programas de mantenimiento predictivo.

Medición de espesores

El espesor de un recubrimiento es un parámetro fundamental en la industria de tratamientos superficiales, para asegurar la calidad y durabilidad tanto del recubrimiento como del sustrato.

Aunque la película es seca, habitualmente, el principal parámetro a medir, durante la aplicación también se mide el espesor en húmedo, con el fin de llevar un control durante todo el proceso, pudiendo optimizar el mismo. Medir el espesor en húmedo durante el proceso, nos puede ayudar a identificar la necesidad de una corrección y un posible ajuste en la aplicación. La relación entre la medición entre capa seca y capa húmeda va a depender del volumen de sólidos en el recubrimiento, así como del sistema que se utilice para su

aplicación. Un espesor insuficiente o inadecuado puede derivar en problemas técnicos o costes excesivos. (Calderón M, 2014)

Importancia de indicadores de mantenimiento

Se debe definir una serie de parámetros que nos permitan evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento. Es decir: a partir de una serie de datos, nuestro sistema de procesamiento debe devolver una información, una serie de indicadores, los que servirán como base para tomar decisiones sobre la evolución del mantenimiento.

Es de mucho cuidado la elección de estos indicadores e índices de medición de la gestión del mantenimiento, ya que se corre el riesgo de aplicarlos y al fin obtener datos inútiles que al final no definan lo que queremos saber en realidad.

Tiempos de parada de recipientes a presión

La operación de una minera donde se encuentran recipientes sometidos a presión, está generalmente tasada por el rendimiento de trabajo, costes, disponibilidad y, lo que es a veces tomado como garantizado y descontado, una operación segura. A medida que el tamaño y capacidades aumentan, la posibilidad de una parada forzosa, especialmente la que resulta de una rotura de tubos o de una explosión, toma un significado más importante.

Según el código de inspección de recipientes a presión (API 510), la duración de la parada y el coste de las reparaciones son proporcionales al tamaño del recipiente. Así que deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para prevenir fallos mediante la adecuada inspección y un mantenimiento cercano. Las inspecciones visuales son necesarias todavía para tener la certeza de que todas las partes y zonas de los recipientes, están controladas y comprobadas tan de cerca como sea posible.

En las instalaciones de tipo antiguo, esto era posible porque la mayor parte de las superficies de las piezas y partes bajo presión eran accesibles, porque así lo hacían posible los antiguos diseños. Y se suministraban equipos con más aberturas. Pero con los modernos diseños de recipientes a presión, esto a menudo no es posible. Así, la inspección de grandes recipientes también incluye una revisión de lecturas de instrumentación y puntualizar en zonas de problemas. Por ejemplo, un aumento en la caída de presión en un haz tubular puede indicar ensuciamiento de tubos en ese banco y esto es más rápido que miraren los tubos.

En grandes plantas, los datos de las salidas se comparan con los de las entradas y esto puede ayudar a puntualizar posibles zonas del recipiente o de sus controles que pueden necesitar atención. Por ejemplo, una pérdida de rendimiento puede requerir una revisión de las condiciones internas de las superficies de transferencia térmica o quizá de los controles de combustión. Las causas pueden ser muchas y se requiere un personal experimentado para hallar la razón, por revisión de los datos operativos, de una caída de las condiciones o datos de salida.

En la ejecución de las pruebas hidrostáticas se debe detener el funcionamiento del recipiente, realizar el sellado de todas las conexiones y luego proceder con el llenado de agua para finalmente aplicar la presión de prueba. Todo este proceso genera tiempos de parada de los recipientes ocasionando pérdidas en la producción de los equipos.

Contaminación interna

La calidad del producto o los requisitos de control de corrosión interna pueden requerir que un régimen de secado de la tubería se realice después de que el medio de prueba sea desplazado. Agua libre, si usó como el medio de prueba, puede ser removida de la tubería por múltiples corridas de marranos propulsados por aire comprimido si la tubería está libre de gas o no contiene vapores residuales de hidrocarburo

El nitrógeno se recomienda si la línea no está libre de gas o contiene vapores residuales de hidrocarburo, lo que puede pasar si la tubería estuvo en servicio de gas o de líquidos peligrosos antes de la prueba de presión. Si se usa aire o gas inerte, también debe darse consideración a la cantidad de energía acumulada en el gas comprimido. Cuando es usada como medio de prueba, debe removerse el agua de los cuerpos de las válvulas, de las piernas muertas, drenajes, cabezales, prefabricados y otras partes de la tubería donde el drenado normal no es eficaz. Cuando la tubería ha sido drenada, la operación de secado puede comenzar si se requiere.

2.4. Definición de términos básicos

Acoplamiento magnético: Fenómeno físico por el cual el paso de una corriente eléctrica variable en el tiempo por una bobina produce una diferencia de potencial entre los extremos de las demás bobinas del circuito.

Atenuación: La pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión. Por ejemplo, La atenuación del sonido es el reparto de energía de la onda entre un volumen de aire cada vez mayor. La atenuación no suele expresarse como diferencia de potencias sino en unidades logarítmicas como el decibelio.

Corrosivo: Que puede destruir o dañar irreversiblemente otra superficie o sustancia con la cual entra en contacto. La corrosión de las superficies que no son tejidos vivos tales como los metales es un proceso distinto. Por ejemplo, una celda electroquímica de agua/aire corroe el hierro y tiende a oxidarlo.

Delaminación: Quiere decir que el aire ha logrado penetrar entre las capas y se ha iniciado un proceso de desprendimiento. Delaminación significa falta de adherencia entre capas.

Ensayo no destructivo (END): Tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la

aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

Grafito: Mineral de carbono casi puro, de textura compacta, color negro y brillo metálico, graso al tacto y buen conductor de la electricidad; procede de rocas carbonosas que han sufrido metamorfismo y se emplea para hacer lápices.

Hidrostática: La hidrostática es la rama de la hidráulica que estudia los fenómenos asociados a los fluidos que se encuentran confinados en algún tipo de contenedor.

Impedancia: Es la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan sobre este y por lo tanto es equivalente a la impedancia eléctrica, es decir una forma de disipación de energía de las ondas que se desplazan en un medio.

Ohmios: Es la unidad derivada de resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades. Se define a un ohmio como la resistencia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor, cuando una diferencia de potencial constante de 1 voltio aplicada entre estos dos puntos, produce, en dicho conductor, una corriente de intensidad de 1 amperio.

Refracción: Es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo.

Transferencia térmica: se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1. Hipótesis General

La aplicación del método de Emisión Acústica a los recipientes a presión, tiene un impacto positivo en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- Al implementar, en el programa de mantenimiento predictivo, las normas establecidas para la aplicación del método de Emisión Acústica, se logra un estándar de confiabilidad de los recipientes a presión.
- Una correcta logística para la aplicación del método de Emisión Acústica, permite un mejor desarrollo del programa de mantenimiento predictivo.
- La aplicación del método de emisión acústica ayuda a optimizar el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo.

3.2 Definición conceptual de variables

Emisión Acústica. - Pau Closa (2014) define esto, como: “El fenómeno producido como consecuencia de la liberación de energía elástica almacenada en el interior de un material cuando este está sometido a cierto nivel de esfuerzos (...)”

Programa de Mantenimiento Predictivo. - Según Antonio Aguilera (2011) son: “un conjunto de técnicas que, debidamente seleccionadas, permiten el seguimiento y examen de ciertos parámetros característicos del equipo en estudio, que manifiestan algún tipo de modificación al parecer una anomalía en el mismo (...)”

3.2.1 Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	MÉTODO - TÉCNICA
Emisión Acústica	<p>Aplicación del Método de Emisión Acústica</p> <p>Respaldo del Método de Emisión Acústica</p>	<p>Logística</p> <p>Personal calificado</p> <p>Desarrollo del programa mantenimiento predictivo</p> <p>Normas Técnicas</p>	<p>Cantidad de equipos AET</p> <p>Cantidad de operadores calificados</p> <p>Índice de satisfacción por el mantenimiento predictivo por el método EA</p> <p>Disposición del personal de apoyo</p> <p>Índice de confiabilidad de la norma ASME Sección V Art. 12</p> <p>Índice de confiabilidad de la norma API 512</p> <p>Certificaciones (ISO)</p>	<p>Método Hipotético-Deductivo</p> <p>Técnica: Encuesta, Análisis Documental</p> <p>Instrumento: Cuestionario, análisis de contenidos</p> <p>Estadística Descriptiva</p> <p>Medidas de tendencia central</p>
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	MÉTODO-TÉCNICA
Programa de Mantenimiento Preventivo	<p>Planificación del Mantenimiento</p> <p>Equipos</p> <p>Inversión</p>	<p>Tiempo medio entre fallas</p> <p>Tiempo máximo permisible para inspección</p> <p>Cantidad de equipos operativos</p> <p>Calidad de equipos a utilizar</p> <p>Mano de obra</p> <p>Diferencia de inversión en comparación a otras técnicas</p>	<p>Facilidades de requerimientos in situ</p> <p>Índice de fallas (operatividad de los recipientes)</p> <p>Número de tanques sometidos a la prueba</p> <p>Índice de horas trabajadas por tanque</p> <p>Cantidad de equipos necesariamente operativos</p> <p>Índice de equipos certificados</p> <p>Costo de mano de obra por tipo de técnica de inspección</p> <p>Coste total del mantenimiento por AET</p> <p>Índice de costos de mantenimiento bajo otros END</p>	<p>Método Hipotético-Deductivo</p> <p>Técnica: Encuesta, Análisis Documental</p> <p>Instrumento: Cuestionario, análisis de contenidos</p> <p>Estadística Descriptiva</p> <p>Medidas de tendencia central</p>

CAPÍTULO IV

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de la investigación

De acuerdo con el propósito de investigación, naturaleza de los problemas y objetivos formulados en el trabajo, el presente estudio reúne las condiciones para ser calificado como una investigación descriptiva aplicada, ya que el desarrollo de las hipótesis brindó estimaciones o pronósticos de los sucesos al aplicar diferentes acciones; basándonos en la parte teórica conceptual y casos prácticos de campo. Y cuantitativa, ya que se apoyó en fórmulas estadísticas y datos.

Dada la naturaleza de variables, su diseño es no experimental - transversal. Ya que el estudio se circunscribe a un momento puntual o un segmento de tiempo durante el año, analizando datos ya existentes de inspecciones a fin de medir o caracterizar el fenómeno en cuestión. (HERNÁNDEZ, 2014)

4.2 Método de investigación

Se utilizó el método hipotético-deductivo, este se da cuando un investigador propone una hipótesis como consecuencia de sus inferencias del conjunto de datos empíricos o de principios y leyes más generales. (VILLEGAS, 2011)

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población en estudio estuvo conformada por todos los encargados del área de mantenimiento de las empresas mineras Milpo (Cerro Lindo) y Minsur (Mina San Rafael).

4.3.2. Muestra

Se realizó un muestreo no probabilístico en donde, en base a los criterios de los investigadores, se eligió como muestra a los ingenieros supervisores que tienen conocimiento de la aplicación del método de Emisión Acústica en recipientes a presión inspeccionados en las empresas mineras Milpo (Cerro Lindo) y Minsur (Mina San Rafael).

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de la información documental

4.4.1. Análisis de contenidos

Búsqueda y recolección de informes emitidos a mineras con el concepto de *Emisiones Acústicas en recipientes a presión*, realizados por la empresa ADEMINSAC en Milpo y Minsur.

Adicionalmente se buscó empresas similares que hayan realizado este tipo de inspecciones.

4.4.2. Análisis documental

Se verificó las normativas actuales que validan y respaldan este tipo de técnicas emergentes.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de la información

Se utilizó la técnica de la encuesta a través de su herramienta el cuestionario, de manera virtual. Asimismo, se recolectaron y analizaron los datos de inspecciones anteriores realizadas a los recipientes a presión de las compañías mencionadas.

Se realizaron encuestas virtuales las cuales fueron emitidas a los clientes de empresas mineras con la finalidad de percibir las ventajas y desventajas de este tipo de técnica de inspección para lograr realizar una matriz comparativa entre tiempo, efectividad y calidad de métodos convencionales y emergentes.

Para el análisis, se aplicó la estadística descriptiva en el caso de las encuestas, ya que se apoya en gráficos y porcentajes. Por otro lado, se utilizó estadística inferencial en la revisión de los datos que proporcionan los informes.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Se realizaron encuestas virtuales las cuales fueron emitidas a los clientes de empresas mineras con la finalidad de percibir las ventajas y desventajas de este tipo de técnica de inspección para lograr realizar una matriz comparativa entre tiempo, efectividad y calidad de métodos convencionales y emergentes.

Para el análisis, se aplicó la estadística descriptiva en el caso de las encuestas, ya que se apoya en gráficos y porcentajes. Por otro lado, se utilizó estadística inferencial en la revisión de los datos que proporcionan los informes.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

INFORME MINSUR:

Analizando los datos encontrados en los informes realizados por la empresa Ademinsac en servicio a la compañía MINSUR en el año 2016: Inspección por emisión acústica realizada a pulmones de aire para la compañía MINSUR – Mina San Rafael, Puno.

Se tiene a los siguientes equipos inspeccionados y el tiempo de inspección para cada recipiente.

Tabla 5.3 Lista de recipientes inspeccionados y características

Ítem	Área	Equipo	Diam . (m)	Altura	Presión operación	Duración de ensayo
Tanque T-02	Casa fuerza	Compresor ER 8	1,42	4,05	100 PSI	50 min
Tanque T-03	Casa fuerza	Compresor ER 8	1,42	4,05	100 PSI	47min
Tanque T-04	Casa fuerza	Compresor ER 8	1,37	4,10	100 PSI	55 min
Tanque T-05	Casa fuerza	Compresor ER 8	1,24	3,92	100 PSI	41 min
Tanque T-06	Casa fuerza	Grupo sulzer #1	0,49	2,70	20 BAR	41 min
Tanque T-07	Casa fuerza	Grupo sulzer #2	0,49	2,70	20 BAR	60 min
Tanque T-08	Casa fuerza	Grupo sulzer #3	0,49	2,70	20 BAR	87 min
Tanque T-09	Casa fuerza	Grupo sulzer #4	0,49	2,70	20 BAR	46 min

Tanque T-10	Casa fuerza	Grupo sulzer #5	0,49	2,63	20 BAR	36 min
Tanque T-11	Casa fuerza	Grupo sulzer #6	0,49	2,63	20 BAR	54 min
Tanque T-12	Casa fuerza	Grupo sulzer #7	0,49	2,51	20 BAR	53 min
Tanque T-16	Reubicado de taller de llantas	Compresor de taller	0,47	1,74	140 PSI	23 min
Tanque T-17	Taller de transportes	Camión lubricador mina	0,64	1,2	125 PSI	23 min
Tanque T-18	Planta	Celda columna	0,80	1,53	100 PSI	23 min
Tanque T-19	Planta	Filtro placa A y B	0,80	1,53	110 PSI	28 min
Tanque T-21	Planta	Espesador 120	----- --	-----	110 PSI	35 min
Tanque T-22	Planta	Muestreador faja JM – 03	0,40	0,62	110 PSI	35 min
Tanque T-23	Planta	Tk – 120 m ⁰	0,40	0,60	100 PSI	35 min
Tanque T-24	Planta	Compresor GA 200 A	0,40	0,60	100 PSI	35 min
Tanque T-25	Planta	Compresor GA 200 B	0,30	0,60	110 PSI	35 min
Tanque T-26	Planta	Compresor GA 200	1,27	3,40	110 PSI	35 min
Tanque T-37	Interior mina	Nivel 4370 Preli	1,00	2,93	100 PSI	35 min
Tanque T-38	Interior mina	Nivel 4370 Preli	0,49	1,16	100 PSI	35 min
Tanque T-39	Interior mina	Nivel 4370 Preli	0,69	1,52	100 PSI	35 min
Tanque	Interior mina	Nivel 4370 Preli	1,50	2,32	100 PSI	35 min

T-40						
Tanque T-41	Interior mina	Nivel 4370 Preli	0,49	1,17	100 PSI	35 min
Tanque T-42	Interior mina	Nivel 4370 Preli	0,49	1,74	100 PSI	35 min
Tanque T-43	Interior mina	Nivel 4370 Preli	1,50	2,32	100 PSI	35 min
Tanque T-44	Interior mina	Nivel 4370 Preli	2,43	2,55	100 PSI	35 min

Fuente: Elaboración propia

Frente otros Métodos convencionales de pruebas No Destructivas (Radiografía Industrial RT o Ultrasonido Industrial UT), el tiempo que se emplea para la inspección de cada tanque o recipiente y la calidad de información que se obtiene, constituye una ventaja considerable para tomar en cuenta este método en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo.

En este caso, se puede observar que los tiempos varían según el diámetro y la altura de cada recipiente, el tiempo máximo aproximado para un tanque puede estar de 1h 30 min. a 2h.

OTROS MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS, Y LA EMISIÓN ACÚSTICA

Teniendo en cuenta que los tiempos de parada para realizar algunas inspecciones, terminan afectando en sobremanera a la productividad de las compañías. A continuación, un pequeño cuadro comparativo entre el Método de Emisión Acústica y otros métodos de pruebas No Destructivas.

Tabla 5.4 Cuadro comparativo de Emisión Acústica y Métodos No Destructivos (MND)

Emisión Acústica	MND
Defecto: Crecimiento/Movimiento	Presencia de Defecto
En relación a la carga aplicada	En relación a la forma
Más sensitivo al material	Menos sensitivo al material
Evaluación global	Evaluación local
Principal Problema:	Principal Problema:
Ruido y Evaluación de Datos	Acceso, Geometría y Evaluación de datos

Fuente: Lara J.(2001). *Emisión Acústica: Método de Inspección No Destructivo para la evaluación de componentes soldados.*

PERSONAL CERTIFICADO Y CALIFICADO

Para la realización de este método se necesita personal calificado y certificado para poder interpretar los resultados de manera adecuada y el correcto uso de las herramientas.

Según el punto 4.5 (pág. 22) del Código ASME -2014- los inspectores autorizados para realizar mantenimientos a tanques a presión, deberán tener estudios y experiencia de acuerdo a los requerimientos mencionados en el mismo código (punto 7.3) así como poseer la certificación API.

Cuando se dan inspecciones, reparaciones o alteraciones en recipientes a presión, un inspector API autorizado debe ser responsable para determinar que los requerimientos API 510 en inspección. Este inspector autorizado, puede también, ser asistido por otros individuos propiamente entrenados y calificados los cuales no necesariamente pueden estar certificados para tanques a presión.

El ingeniero profesional es una persona que posee experiencia y conocimiento en las disciplinas de la ingeniería asociadas con la evaluación mecánica y de características de materiales, las cuales afectan la integridad y fiabilidad de los recipientes a presión. Según el código de Inspección de Recipientes a Presión,

él es considerado apto para resolver todas las necesidades para evaluar apropiadamente los requerimientos técnicos.

Finalmente, a la persona que asiste al inspector autorizado API en NDE específicos, se le denomina “examinador” y no necesita estar certificado de acuerdo API 510, en ocasiones él requiere de otras certificaciones.

5.2 Resultados inferenciales

Tabla 5.5 Cuadro de cargos y responsabilidades durante la inspección

#	CARGO	RESPONSABILIDADES
1	Ingeniero Inspector Nivel I	Registro de la data, configuración del equipo y control de la prueba.
1	Ingeniero profesional Nivel II AET	Responsable de las actividades descritas, revisión del informe y diagnóstico de datos registrados.
1	Técnico certificado END ASNT – TC – 1ª, Nivel II en las técnicas, UT, VT	Toma de datos, ejecución de procedimientos, elaboración de informes bajo supervisión.
*	Personal calificado END ASNT – TC – 1A, Nivel II o Nivel III	

Fuente: Elaboración propia

Para el cuadro anterior, se tomaron datos del nivel de responsabilidad (en el informe) del personal asignado para el trabajo de campo en Minera MINSUR – Unidad: San Rafael en Puno en el mes de marzo del año 2016. Donde el personal de Ademinsac inspeccionó 44 tanques en un plazo de 9 días.

INVERSIÓN

Figura 5.10 Cuadro de costes (\$) por método de inspección realizado a los tanques a presión – Minera Minsur (2016).

Empresa	Descripción	Equipo	Tipo de mantenimiento	Criticidad	parada por hora (US \$)	VT	UT	RT	AET
MINERA MINSUR	Tanque T-02	Compresor ER8	PREDICTIVO	ALTA	75000.00	260.00	360.00	202.95	900.00
	Tanque T-03	Compresor ER9	PREDICTIVO	ALTA	75000.00	260.00	360.00	202.95	900.00
	Tanque T-04	Compresor ER10	PREDICTIVO	ALTA	78000.00	250.00	350.00	205.43	900.00
	Tanque T-05	Compresor ER11	PREDICTIVO	ALTA	70000.00	230.00	340.00	198.39	880.00
	Tanque T-06	Grupo sulzer #1	PREDICTIVO	ALTA	87000.00	100.00	200.00	135.15	680.00
	Tanque T-07	Grupo sulzer #2	PREDICTIVO	ALTA	87000.00	100.00	200.00	135.15	680.00
	Tanque T-08	Grupo sulzer #3	PREDICTIVO	ALTA	87000.00	100.00	200.00	135.15	680.00
	Tanque T-09	Grupo sulzer #4	PREDICTIVO	ALTA	87000.00	100.00	200.00	288.94	680.00
	Tanque T-10	Grupo sulzer #5	PREDICTIVO	ALTA	87000.00	100.00	200.00	288.94	680.00
	Tanque T-11	Grupo sulzer #6	PREDICTIVO	ALTA	85000.00	100.00	200.00	285.44	680.00
	Tanque T-12	Grupo sulzer #7	PREDICTIVO	ALTA	82000.00	100.00	200.00	125.65	680.00
	Tanque T-16	Compresor de taller	PREDICTIVO	BAJA	22000.00	90.00	180.00	234.66	660.00
	Tanque T-17	Camión lubricador mina	PREDICTIVO	BAJA	22000.00	100.00	190.00	261.06	660.00
	Tanque T-18	Celda Columna	PREDICTIVO	ALTA	82000.00	110.00	220.00	327.83	710.00
	Tanque T-19	Filtro Placa A y B	PREDICTIVO	ALTA	82000.00	110.00	220.00	327.83	710.00
	Tanque T-21	Espesador 120	PREDICTIVO	ALTA	84000.00	110.00	220.00	327.83	710.00
	Tanque T-22	Muestreador Faja JM - 03	PREDICTIVO	ALTA	59000.00	70.00	150.00	156.66	590.00
	Tanque T-23	Tk 120 m3	PREDICTIVO	ALTA	58000.00	70.00	150.00	155.66	590.00
	Tanque T-24	Compresor GA 200 A	PREDICTIVO	ALTA	58000.00	70.00	150.00	155.66	590.00
	Tanque T-25	Compresor GA 200 B	PREDICTIVO	ALTA	60000.00	70.00	150.00	153.25	590.00
	Tanque T-26	Compresor GA 200	PREDICTIVO	ALTA	83000.00	220.00	340.00	566.98	880.00
	Tanque T-37	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	42000.00	170.00	270.00	460.66	820.00
	Tanque T-38	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	31000.00	90.00	170.00	58.15	590.00
	Tanque T-39	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	33000.00	100.00	200.00	321.35	680.00
Tanque T-40	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	36000.00	220.00	340.00	687.24	880.00	
Tanque T-41	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	32000.00	90.00	170.00	212.44	590.00	
Tanque T-42	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	34000.00	100.00	190.00	240.94	660.00	
Tanque T-43	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	36000.00	220.00	340.00	687.24	880.00	
Tanque T-44	Nivel 4370 Preli	PREDICTIVO	MEDIO	38000.00	300.00	450.00	890.91	990.00	

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se puede deducir que el costo de la Emisión Acústica es algo elevado respecto a los otros. Y que, en éste, como en los demás servicios, el precio final que aparece, ya incluye la mano de obra.

INFORME MILPO:

Analizando los datos encontrados en los informes realizados por la empresa Ademinsac en servicio a la compañía MILPO en el año 2013: Inspección por emisión acústica realizada a pulmones de aire para la compañía MILPO – Mina Cerro Lindo. Se tienen los siguientes equipos inspeccionados:

Figura 5.11 Lista de recipientes inspeccionados en Milpo (2013)

#	Fecha	Ubicación	Fab.	Año Fab.	Serial	P. Diseño (PSI)	Diám. (mm)	Altura (mm)	Fab/Mod. Compresor	Cap. Compresor (PSI)
1	29-07-13	Planta	Lohenner GmbH & Co.	2006	79428	160	1400	3820	Atlas Copco/GA110	107
2	29-07-13	Planta	Masprod	2010	MT-197	175	2590	6550	Atlas Copco/GA355A	157
3	30-07-13	Planta	Masprod	2012	MT-234	190	2500	7375	Atlas Copco/GA355B	157
4	30-07-13	CH 2°	Lohenner GmbH & Co.	2006	79451	160	1150	3440	Atlas Copco/GA22+	107
5	31-07-13	CH 1°	Lohenner GmbH & Co.	2006	79455	160	1150	3440	Atlas Copco/GA15+	107
6	31-07-13	Nv 1800	Lohenner GmbH & Co.	2006	79456	160	1150	3440	Atlas Copco/GA315	107
7	31-07-13	Nv 1970	Sin ID	-	-	-	1150	2000	Atlas Copco/GA250	132
8	01-08-13	R. Pasta I	Masprod	2007	MT-169	130	1850	5680	Atlas Copco/GA200	107
9	01-08-13	R. Pasta I	Lohenner GmbH & Co.	2006	79454	160	1150	3440	Atlas Copco/GA200	107
10	02-08-13	R. Pasta II	Masprod	2011	MT-221	130	2464	7600	Atlas Copco/GA200	107
11	02-08-13	R. Pasta II	Lohenner GmbH & Co.	2011	207760	160	1400	3820	Atlas Copco/GA200	107
12	02-08-13	T. Agua	Lohenner GmbH & Co.	2006	79029	160	800	2400	Atlas Copco/GA15+	107
13	03-08-13	F. Relaves	Masprod	2008	MT-178	175	2610	6900	Atlas Copco/GA355	157
14	03-08-13	F. Relaves	Lohenner GmbH & Co.	2010	206593	160	1400	3820	Atlas Copco/GA110+	107

Fuente: Elaboración Propia

Lo que se realiza con el método de emisiones acústicas es determinar el estado e integridad de recipientes a presión, monitorear los cambios en la condición de los recipientes sometidos a carga y descarga cíclica en busca de defectos en desarrollo.

EQUIPOS

Tabla 5.6 Herramientas requeridas para la inspección

Equipos necesarios para realizar la inspección por AE
Equipo para Emisiones Acústicas SAMOS – “MISTRAS” y accesorios.
Transductores: Resonantes Intrínsecamente seguros, Frecuencia 100 Khz.
Transductor de Presión
PLB, grafito de calibración 0.3mm, 2H
Grasa siliconada.
Cinta Adhesiva Industrial

Fuente: Elaboración propia, DATOS: Informe Ademinsac

Se ha de tener mucho cuidado con el equipo que se utiliza al momento de la inspección, ya que los costos de algunos suelen ser muy altos, además que deben estar certificados y correctamente calibrados.

INVERSIÓN

Figura 5.125. Cuadro de costes (\$) por método de inspección realizado a los tanques a presión – Minera Milpo (2013)

Empresa	ITEM	Ubicación	Fab.	Año de fabricación	Tipo de mantenimiento	Críticidad	Costo de parada por hora (US \$)	Costo (US \$) incluye mano de obra			
								VT	UT	RT	AET
MINERA MILPO	1	Planta	Lohenner GmbH & Co.	2008	PREDICTIVO	Alta	64000.00	160.00	250.00	630.82	750.00
	2	Planta	Masprod.	2010	PREDICTIVO	Alta	67000.00	280.00	380.00	201.55	950.00
	3	Planta	Masprod.	2012	PREDICTIVO	Alta	75000.00	290.00	390.00	201.55	950.00
	4	CH 2ª	Lohenner GmbH &	2008	PREDICTIVO	Baja	22000.00	120.00	220.00	200.71	720.00
	5	CH 1ª	Lohenner GmbH &	2008	PREDICTIVO	Baja	22000.00	120.00	220.00	200.71	720.00
	6	Nv 1800	Lohenner GmbH &	2008	PREDICTIVO	Media	36000.00	120.00	220.00	533.28	720.00
	7	Nv 1970	Sin ID		PREDICTIVO	Media	34000.00	100.00	200.00	461.28	680.00
	8	R.Pasta I	Masprod.	2007	PREDICTIVO	Media	38000.00	180.00	290.00	966.20	870.00
	9	R.Pasta I	Lohenner GmbH &	2008	PREDICTIVO	Media	37000.00	120.00	220.00	533.28	720.00
	10	R.Pasta II	Masprod.	2011	PREDICTIVO	Media	40000.00	290.00	390.00	1154.09	950.00
	11	R.Pasta II	Lohenner GmbH &	2011	PREDICTIVO	Media	32000.00	160.00	250.00	630.82	750.00
	12	T. Agua	Lohenner GmbH &	2008	PREDICTIVO	Alta	56000.00	90.00	180.00	371.33	660.00
	13	F. Relaves	Masprod.	2008	PREDICTIVO	Media	39000.00	290.00	390.00	1.16	950.00
	14	F. Relaves	Lohenner GmbH &	2010	PREDICTIVO	Media	32000.00	160.00	250.00	630.82	750.00

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro anterior se puede deducir que el costo de la Emisión Acústica es algo elevado respecto a los otros. Y que, en éste, como en los demás servicios, el precio final que aparece, ya incluye la mano de obra.

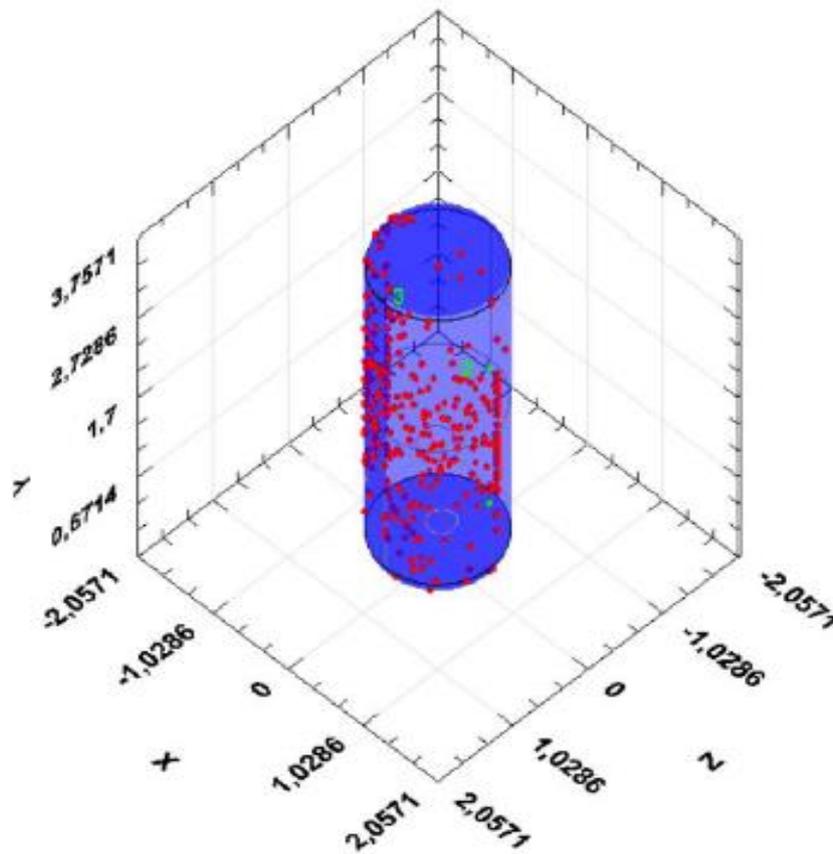
Al ser un método emergente, su precio puede ser alto; pero al ver la cantidad que una empresa pierde en las horas de parada. Es muy conveniente pagar un poco más por algo que se sabe que es más efectivo y ayudará a las mejoras económicas en la producción de la organización.

Recolección de información:

# Corrida	Presión de ensayo (PSI)	Duración de ensayo (min)	Observaciones
1	110	50	Ninguna

La recolección de la información y estructura del informe está a cargo del ingeniero Inspector Nivel II, el cual interpreta mediante el software las señales acústicas obtenidas a través de los sensores instalados en los recipientes. (Información global).

Gráfico No. 1



5.3 Otro tipo de resultados estadísticos

5.3.1 Datos de encuestados

Apellidos y nombres:

4 respuestas

Villanueva Reaño Juan Ricardo

Guerra Huamali Jhoan Franz

Sierra Tapia Rommel

Torres Malliza Carlos

Empresa a la que pertenece:

4 respuestas

Nexa Resources

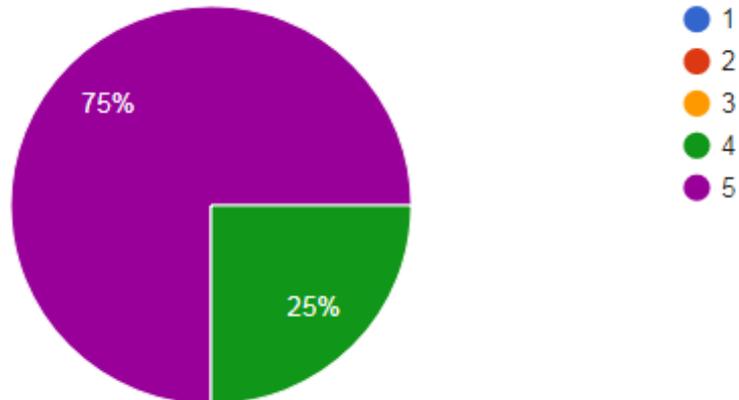
NEXA - Cerro Lindo

Minsur S.A

Minera Yanacocha

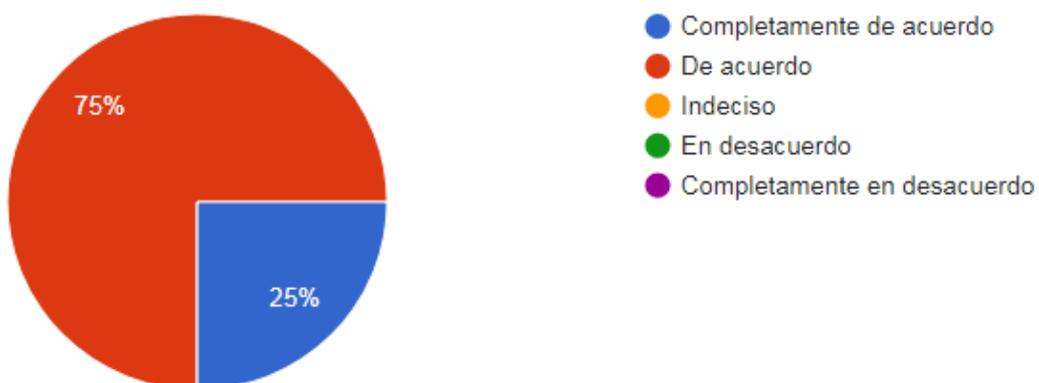
5.3.2 Resultados – Gráficos

1. En un rango del 1 al 5. ¿Qué tan importante considera un método de inspección que evite los tiempos de parada por mantenimiento? (considerando que 1 es "nada importante" y 5 es "muy importante")



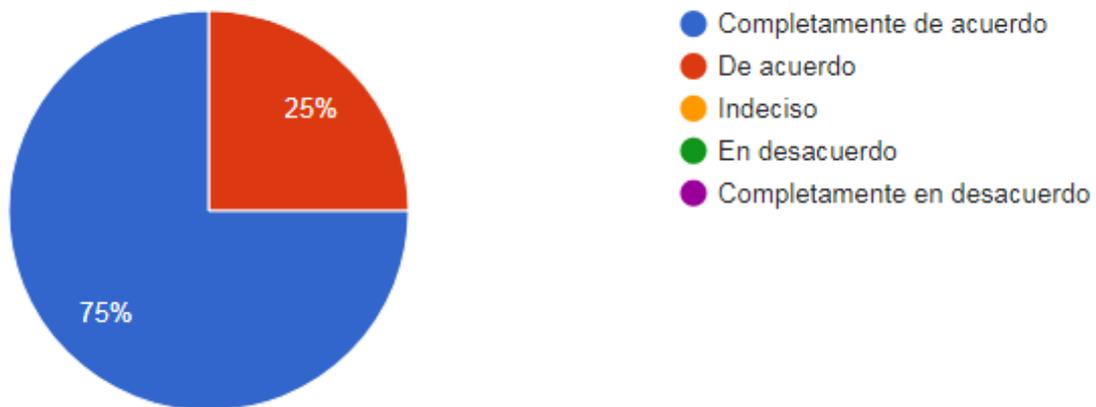
Interpretación. -Por todas las consecuencias que tienen los tiempos de parada de los recipientes, sobre todo en el aspecto económico, se tiene que un 75% considera muy importante el hecho de encontrar un método de inspección que pueda realizarse sin necesidad de afectar su operatividad en el momento. También se considera el 25 % que optó por responder que era importante para ellos un método de inspección con esa característica.

2. ¿Cree usted que una correcta logística, permite un mejor desarrollo del programa de mantenimiento predictivo?



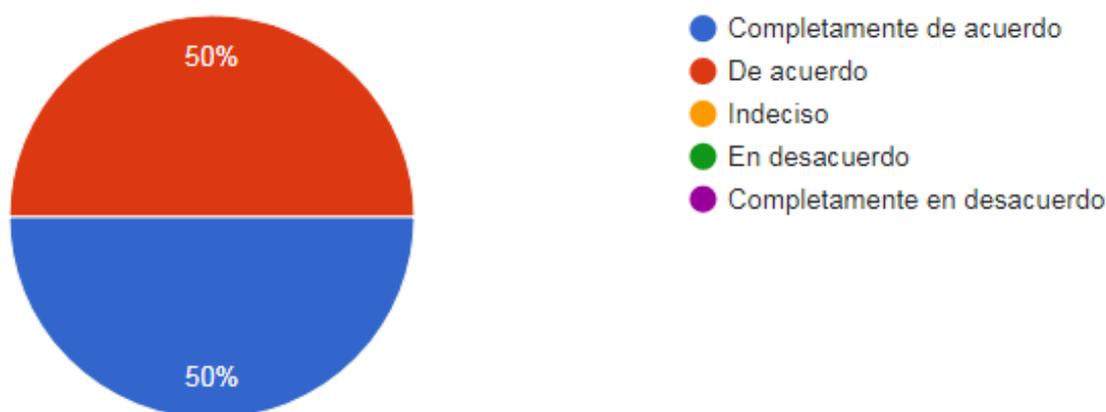
Interpretación. -En el caso de la logística requerida, el 75% está de acuerdo en que, una logística llevada adecuadamente permite un mejor desarrollo del programa de mantenimiento predictivo. Mientras que una persona (el 25%) estuvo completamente de acuerdo con esta afirmación.

3. ¿Considera usted, que la de las normas técnicas (ASME, API, ISO) al programa de mantenimiento, logra un estándar de confiabilidad de los recipientes a presión?



Interpretación. -La implementación de las normas presenta un interesante porcentaje, donde el 75% dijo estar completamente de acuerdo en que las normas técnicas implementadas para la aplicación del método de Emisión Acústica (de calidad, seguridad, etc.) logran establecer un estándar de confiabilidad de los recipientes a presión. Considerando que estas normas internacionales son necesarias para la aplicación de este método (AET), hace que sea mucho más importante y al ser un respaldo, le proporciona tranquilidad al cliente.

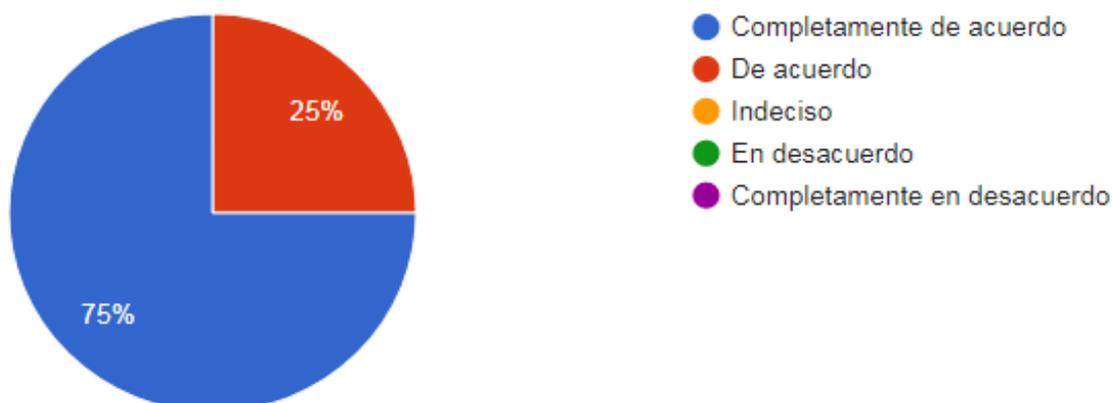
4. ¿La aplicación del método de Emisión Acústica en los recipientes a presión le ha permitido culminar el desarrollo del plan de mantenimiento, con mayores beneficios económicos?



Interpretación. -La mitad de los encuestados estuvo de acuerdo en que la aplicación de este método (AE) ha traído mayores beneficios económicos a la empresa en la que laboran. Mientras que la otra mitad estuvo completamente de acuerdo con esta afirmación.

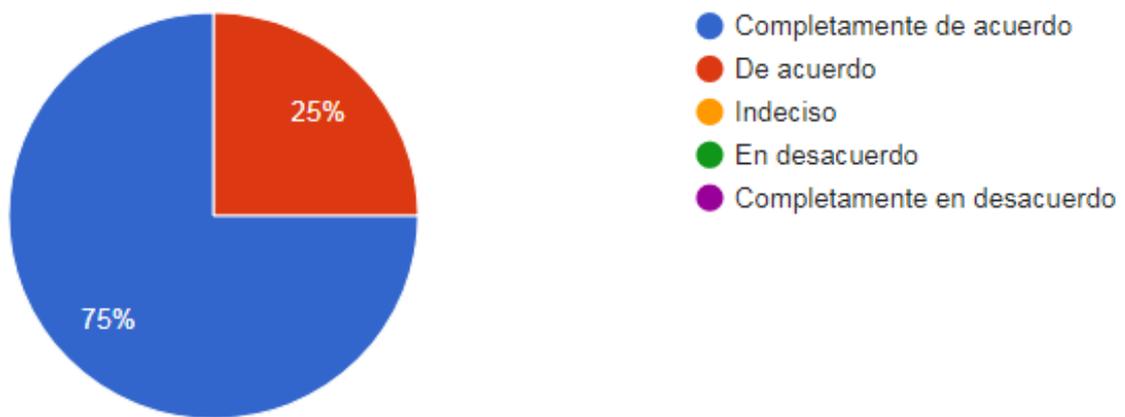
Se puede deducir que efectivamente es un punto a favor, que ayuda a que este método sea requerido nuevamente por ellos (a largo plazo).

5. ¿Los operadores calificados y la calidad de los equipos a utilizar, son un factor importante para elegir entre un servicio de inspección u otro?



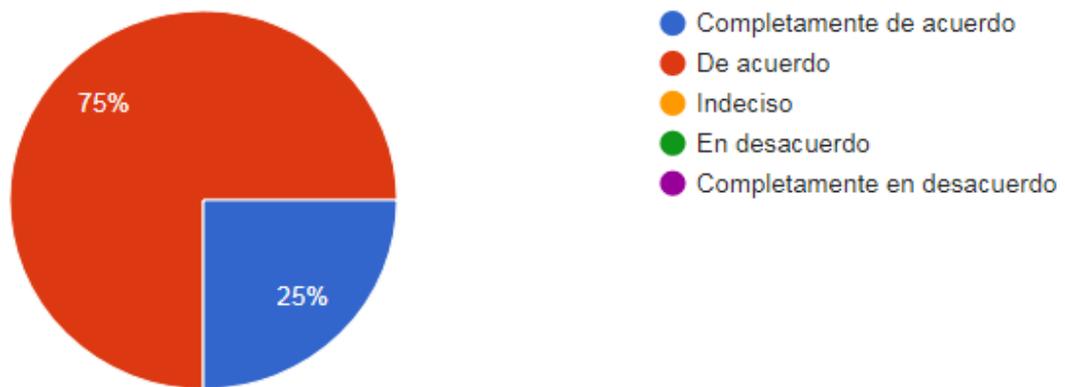
Interpretación. -La mayoría de los ingenieros (75%) encuestados coincidieron en que la calidad de los equipos utilizados para la inspección y el personal de campo asignado para la aplicación del método AE son factores importantes al momento de decidirse sobre una empresa que hará la prestación de servicios. El resto (25%) se encuentra de acuerdo con esto.

6. ¿El método de Emisión Acústica (EA) cubrió sus expectativas en cuanto a tiempos, efectividad y calidad?



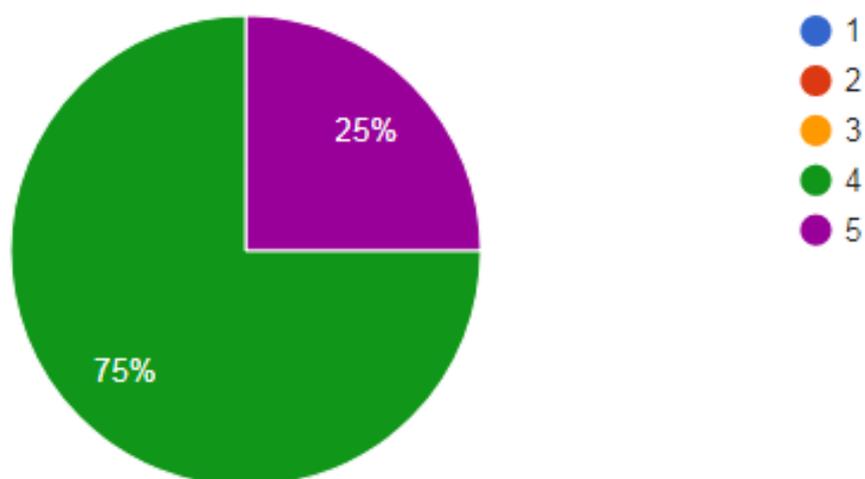
Interpretación. -El 75% se mostró completamente de acuerdo en que la aplicación del método de emisión acústica cumplió con sus expectativas en cuanto a tiempos, efectividad y calidad, en el tema de mantenimiento e inspección a tanques a presión. Mientras que el 25 % se mostró de acuerdo con esta afirmación.

7. ¿Cree usted que la aplicación del método de Emisión Acústica (EA) ha contribuido a optimizar la productividad de los equipos inspeccionados de la empresa en la que labora?



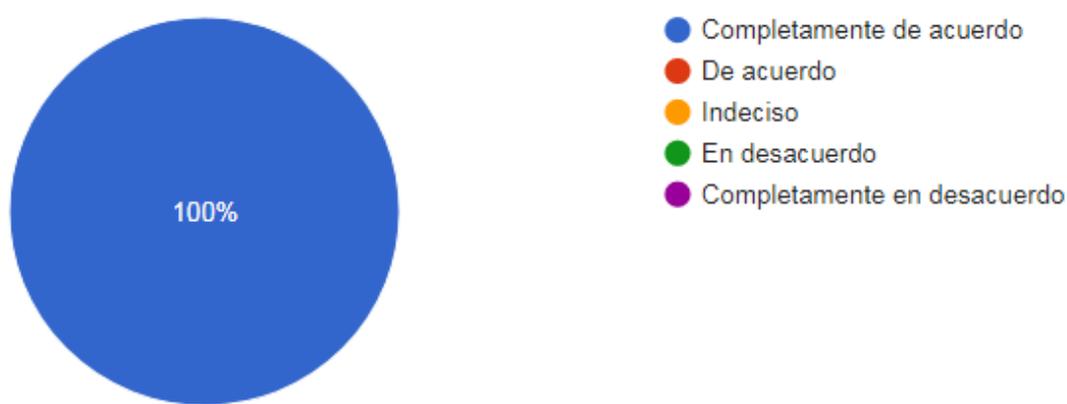
Interpretación. -Los encuestados (75%) se mostraron de acuerdo al afirmar que este método ha contribuido a optimizar la productividad de los equipos inspeccionados (tanques a presión) de la empresa a la que pertenecen. Mientras que una persona (25%) se mostró completamente de acuerdo.

8. En un rango del 1 al 5. ¿Qué calificación le pondría a otros métodos de inspección que se han utilizado para el mantenimiento de recipientes a presión en la empresa en la que labora? (Sabido que 1 es "baja calificación" y 5 "alta calificación")



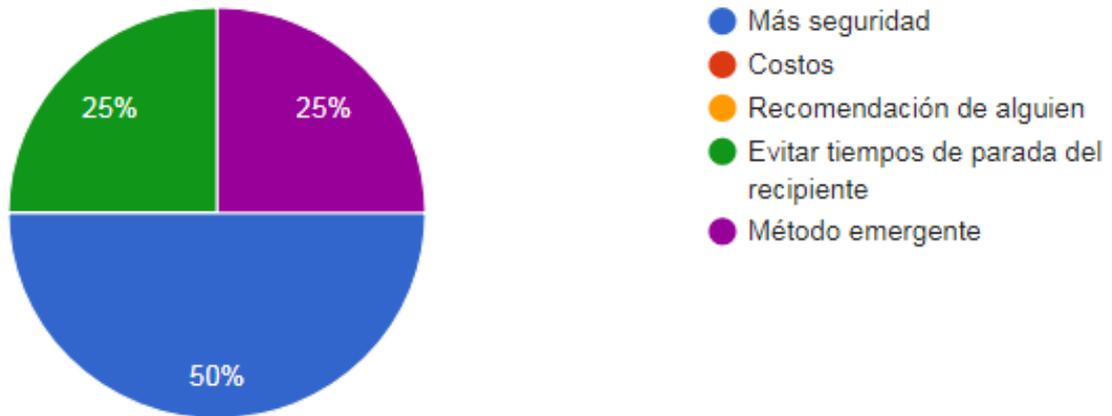
Interpretación. -La mayoría de los encuestados (75%) que han tenido experiencias con otros métodos de inspección convencionales, les han dado una calificación media-alta; es decir han aprobado relativamente a otros métodos que habían utilizado antes de la inspección de Emisión Acústica.

9. ¿Recomendaría usted el método de Emisión Acústica, desde su perspectiva como profesional en el rubro?



Interpretación. -El 100% de los ingenieros encuestados recomendarían el método de Emisión Acústica, basados en su experiencia en el rubro. Cabe resaltar que, en el ámbito de mantenimiento, esto ayudaría a hacer que cada vez este método se haga más conocido y se expanda su aplicación en las empresas mineras en el Perú.

10. ¿Cuál fue la primera razón por la que se consideró realizar mantenimiento a los recipientes, bajo el método de Emisión Acústica, en la empresa en la que labora?



Interpretación. -Los resultados arrojan que la mitad de los encuestados (50%) eligieron por primera vez el método de Emisión Acústica por el tema de *seguridad* y el 25% por ser un *método emergente*. El resto (25%) decidió hacerlo para evitar *tiempos de parada del recipiente*.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación sobre el impacto del método de Emisión Acústica al desarrollo del plan de mantenimiento predictivo en las empresas mineras: Milpo y Minsur.

La mayoría de los encuestados (75%) concordó que: Al implementar las normas técnicas, al programa de mantenimiento predictivo, se logra un estándar de confiabilidad. Y según los informes analizados de ambas mineras, se manejan los códigos ASTM (E650 – E976), ASME (sección V Art. 12) API 510 y procedimientos de inspección y evaluación de seguridad AD – AET para realizar la aplicación de este método AE.

La mayoría de los encuestados (75%) coincidió en que: Una correcta logística permite un mejor desarrollo del programa de mantenimiento predictivo. Además, que los equipos certificados y el personal calificado, según la encuesta, es un factor muy importante al momento de elegir la empresa para la prestación de servicio.

En los informes de Milpo y Minsur se puede observar las ventajas que tiene la aplicación de este método para optimizar el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo, ya que al aplicar este método respecto a otra técnica (prueba hidrostática) afecta positivamente en aspectos como: productividad, rentabilidad y tiempos.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Según el análisis del informe de resultados de ensayo de Emisión Acústica de CARLOS ORTEGA Y RICARDO JUAREZ en su investigación ANÁLISIS DEL INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE EMISIÓN ACÚSTICA, EN BASE A LO ESTABLECIDO EN EL CÓDIGO ASME Boilers and Pressure Vessels Code (BPVC) SECCIÓN V ART. 12 . Se concluye que es importante la aplicación de las normas técnicas para cumplir los criterios de evaluación de

tanques o recipientes, lo mismo que se reafirma en la presente investigación sobre el estándar de confiabilidad.

Según el trabajo de investigación de LA UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL RAFAEL MARIA BARALT en su investigación sobre ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, se concluye que los ensayos no destructivos requieren personal calificado y con experiencia, pues no es posible realizar las pruebas únicamente teniendo disponibilidad de los equipos.

Según el estudio de PAU CLOSA GONZALES en su artículo científico LAS EMISIONES ACÚSTICAS Y SU APLICACIÓN AL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, se concluye que ya sea como método de control único o complementario a otros ensayos no destructivos, el método AE permite ahorrar tiempo, dinero y mejorar la rendibilidad del mantenimiento.

CONCLUSIONES

La aplicación del método de Emisión Acústica en recipientes a presión, en el desarrollo del programa de mantenimiento de las Empresas Milpo y Minsur sí tiene un impacto positivo en aspectos como: tiempos, rentabilidad y productividad. Ayudando a la organización a optimizar sus recursos.

En ambas inspecciones realizadas en las mineras Milpo (2013) y Minsur (2016), se aplican los principios y procedimientos para el método de Emisión Acústica, mediante las normas ASME Secc. V – Art. 12 y código API 510, las mismas que les dan a los recipientes estándares de confiabilidad, cuestión que ha sido corroborada por los mismos ingenieros supervisores de las mineras (mediante la encuesta).

La logística adecuada para la aplicación del método de Emisión Acústica, influye directamente y de manera considerable en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo, previniendo percances. También se puede reafirmar mediante los informes, ya que la logística interviene antes, durante y después del trabajo de campo.

La aplicación del método de emisión acústica en recipientes a presión, posee grandes ventajas para el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo. Se podría comenzar mencionando el ámbito económico para la organización que decide aplicarlo, ya que puede aplicarse sin necesidad de parar la operatividad del recipiente, lo que significa una satisfacción para las compañías mineras que pierden grandes cantidades de dinero por hora de parada de los recipientes en mantenimiento. Cabe resaltar que esto no ocurre con otros métodos convencionales. Y al ser una inspección integral, proporciona datos más detallados reduciendo futuros riesgos y alargando el tiempo de operatividad del recipiente, algo que ha sido muy positivo para las mineras objeto de estudio, ya que los ingenieros supervisores (encuestados) indicaron que respecto a otros métodos convencionales recomiendan realizar el método de Emisión Acústica (AET).

RECOMENDACIONES

Continuar con los procedimientos de inspección para la aplicación de métodos convencionales y emergentes basados en códigos y normas técnicas vigentes.

Los métodos convencionales y emergentes deben realizarse con una adecuada logística, incluyendo equipo y personal certificado.

Aplicar el adecuado programa de mantenimiento predictivo, con la finalidad de optimizar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos

La aplicación del método de emisión acústica puede ser aplicado a otros tipos de equipos como: Tanques atmosféricos, estructuras, grúas, transformadores eléctricos, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

API 510, Pressure Vessel Inspection Code.

ASNT (2008). Nondestructive Testing Handbook. (Second edition). USA: [s.n].

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, UNE-EN 15495 (1998) "Ensayos no destructivos: Emisión Acústica", España: AENOR

CLOSA P. (2014). *Las emisiones acústicas y su aplicación al mantenimiento predictivo*. Diplomatura de Màquines Navals Facultat Nàutica de Barcelona.

D.O. HARRIS AND H.L. DUNEGAN. (1974). Continuous Monitoring of Fatigue Crack Growth by Acoustic Emission Techniques, *Experimental Mechanics*, EXMCA, 14, 2, 71-81.

DROUILLARD, T.F., "A History of Acoustic Emission", *Journal of Acoustic Emission*, vol. 14, N°1, 1996.

HERNÁNDEZ, Roberto. *Metodología de la Investigación*. México D.F.: Mc Graw Hill, 2014. 978-1-4562-2396-0

LARA J. & SÁNCHEZ M. Emisión Acústica: Método de inspección No Destructivo para la Evaluación de Componentes Soldados. Disponible en web de http://www.geocities.ws/pndmx/articulos/AE_soldadura_2001.pdf

LONG, R.S., VINE, K., LOWE, M.J.S. AND CAWLEY, P. (2001). "Monitoring of acoustic wave propagation in buried water pipes", *Review of Progress in Quantitative NDE*, Vol 20, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (eds). American Institute of Physics, pp. 1202-1209.

MILLER, R., HILL, E. AND MOORE, P. (2005). *Acoustic emission testing*. Columbus, OH: American Society for Nondestructive Testing.

NEURTEK INSTRUMENTS (2014). *Medidores de espesor de recubrimientos de capa seca DEFELSKO, LIST y de capas húmedas, tanto en substratos metálicos como en todo tipo de substratos*. [ref. de 20 de junio de 2018] Disponible en web <http://www.neurtek.com/es/recubrimientos/espesor>

REFERENCE.GLOBALSPEC.COM. (2018). ASTM E1419-02b - Standard Test Method for Examination of Seamless, Gas- Filled, Pressure Vessels Using

Acoustic Emission | Engineering360. [online] Recuperado de: <https://reference.globalspec.com/standard/3811024/astm-e1419-02b>

RENOVETEC. *Ingeniería de mantenimiento predictivo*. [ref. de 3 de agosto de 2018]. Disponible en web <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>

REYNA A. (2015). *Inspección de fondo de tanques de almacenamiento API 650 mediante Emisión Acústica*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú.

SCRIBD. (2011). Acoustic Emission Testing of Pressure Vessel - ASME Section v, ASNT - 24 Feb 2011 | Decibel | Amplifier. [online] Recuperado de: <https://www.scribd.com/presentation/82143130/Acoustic-Emission-Testing-of-Pressure-Vessel-ASME-Section-v-ASNT-24-Feb-2011> [Acceso 2 sep. 2017].

SCRUBY, C. (1987). An introduction to acoustic emission. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, [online] 20(8), pp.946-953. Recuperado de: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3735/20/8/001/pdf>.

TERNOWCHECK S.J., GANDY T.J., CALVA M.V. Y PATTERSON T.S. (1998) American Society for Testing and Materials, ASTM STP1353.

VILLEGAS, Leonardo. *Teoría y Praxis de la Investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos, 2011. ISBN 978-612-302-483-3.

W.D. RUMMEL (1998). Probability of Detection as a Quantitative Measure of Nondestructive Testing End-to-End Process Capabilities, *Materials Evaluation*, 56, 1, 29-35.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EMISIÓN ACÚSTICA EN RECIPIENTES A PRESIÓN Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EMPRESAS MINERAS: MILPO Y MINSUR”

VARIABLES	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p><u>Variable independiente</u></p> <p>Emisión Acústica</p> <p><u>Dimensión-1</u></p> <p>- Aplicación del método de emisión acústica</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Logística ➤ Personal Calificado para el trabajo ➤ Desarrollo del programa de mantenimiento predictivo <p><u>Dimensión-2</u></p> <p>Respaldo del método de Emisión Acústica</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Normas técnicas 	<p><u>Problema General:</u></p> <p>¿Qué impacto tiene la aplicación del método de Emisión Acústica, en recipientes a presión, en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo en Empresas Mineras: Milpo y Minsur?</p> <p><u>Problemas Específicos:</u></p> <p>PE-1 ¿Mediante qué normas se puede implementar el método de Emisión Acústica en el desarrollo del programa de</p>	<p><u>Objetivo General:</u></p> <p>Conocer el impacto que genera la aplicación del método de Emisión Acústica en recipientes a presión, en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo de las Empresas Mineras: Milpo y Minsur</p> <p><u>Objetivos Específicos:</u></p> <p>OE-1 Aplicar los principios y procedimientos para el método de Emisión Acústica, mediante la norma ASME Secc. V – Art. 12 y API 510.</p> <p>OE-2 Determinar la</p>	<p><u>Hipótesis General</u></p> <p>La aplicación del método de Emisión Acústica a los recipientes a presión, tiene un impacto positivo en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo.</p> <p><u>Hipótesis Específicas</u></p> <p>HE-1 Al implementar, en el programa de mantenimiento predictivo, las normas establecidas para la aplicación del método de Emisión Acústica, se</p>	<p>Tipo y nivel de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigación descriptiva-aplicada • Cuantitativa <p>Diseño de la Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptivo simple (no experimental/transversal) <p>Método de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hipotético - Deductivo <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Técnica:</u> Encuesta

<p><u>Variable dependiente</u> Programa de Mantenimiento predictivo</p> <p><u>Dimensión-1</u> - Planificación del mantenimiento</p> <p>Indicadores ➤ Tiempo medio entre fallas ➤ Tiempo máximo permisible para inspección</p> <p><u>Dimensión-2</u> - Equipos</p> <p>Indicadores ➤ Cantidad de equipos necesariamente operativos ➤ Calidad de equipos a utilizar</p> <p><u>Dimensión-3</u> - Inversión</p> <p>Indicadores ➤ Mano de obra de inspección. necesariamente operativos</p>	<p>mantenimiento predictivo? PE-2 ¿Qué tanto influye la logística establecida para la aplicación del método de Emisión Acústica, en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo? PE -3 ¿De qué manera la aplicación del método de emisión acústica ayuda a optimizar el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo?</p>	<p>influencia de la logística establecida para la aplicación del método de Emisión Acústica, en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo. OE – 3 Analizar la manera en que la aplicación del método de emisión acústica influye en el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo.</p>	<p>logra un estándar de confiabilidad de los recipientes a presión. HE-2 Una correcta logística para la aplicación del método de Emisión Acústica, permite un mejor desarrollo del programa de mantenimiento predictivo. HE-3 La aplicación del método de emisión acústica ayuda a optimizar el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo.</p>	<p><u>Instrumento:</u> Cuestionario</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Técnica:</u> Análisis documental. <u>Instrumento:</u> Análisis de contenidos. <p><u>Población</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Todos los encargados del área de mantenimiento de las empresas mineras Milpo (Cerro Lindo) y Minsur (Mina San Rafael). <p><u>Muestra</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se realiza un muestreo no probabilístico en donde (cuestionario por correo), en base a los criterios de los investigadores, se ha
--	---	--	--	--

<p>➤ Diferencia de inversión en comparación a otras técnicas (END)</p>				<p>propuesto como muestra a los ingenieros supervisores que tengan conocimiento de la aplicación del método de Emisión Acústica en recipientes a presión inspeccionados en las empresas mineras Milpo (Cerro Lindo) y Minsur (Mina San Rafael).</p>
--	--	--	--	---

Aplicación del método de Emisión Acústica en recipientes a presión y su impacto en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo en empresas mineras

Distinguido ingeniero, el presente formulario, se realiza como parte de una investigación de posgrado y tiene como objetivo conocer su opinión sobre las ventajas y desventajas de la implementación del método de Emisión Acústica al programa de mantenimiento predictivo en compañías mineras. A continuación se les presenta una serie de preguntas, por lo cual se desea su mayor sinceridad en la resolución de las mismas. ¡Gracias!

Apellidos y nombres: *

Texto de respuesta breve

Empresa a la que pertenece: *

Texto de respuesta breve

Cargo laboral: *

Supervisor

Coordinador

Número de contacto *

Texto de respuesta breve

1. En un rango del 1 al 5. ¿Qué tan importante considera un método de inspección que evite los tiempos de parada por mantenimiento?
(considerando que 1 es "nada importante" y 5 es "muy importante") *

1

2

3

4

5

2. ¿Cree usted que una correcta logística, permite un mejor desarrollo del programa de mantenimiento predictivo? *

Completamente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Completamente en desacuerdo

3. ¿Considera usted, que la implementación de las normas técnicas (ASME, API, ISO) al programa de mantenimiento, logra un estándar de confiabilidad de los recipientes a presión? *

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

4. ¿La aplicación del método de Emisión Acústica en los recipientes a presión le ha permitido culminar el desarrollo del plan de mantenimiento, con mayores beneficios económicos? *

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

5. ¿Los operadores calificados y la calidad de los equipos a utilizar, son un factor importante para elegir entre un servicio de inspección u otro? *

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

6. ¿El método de Emisión Acústica (EA) cubrió sus expectativas en cuanto a tiempos, efectividad y calidad? *

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

7. ¿Cree usted que la aplicación del método de Emisión Acústica (EA) ha contribuido a optimizar la productividad de los equipos inspeccionados de la empresa en la que labora? *

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

...

8. En un rango del 1 al 5. ¿Qué calificación le pondría a otros métodos de inspección que se han utilizado para la evaluación de recipientes a presión en la empresa en la que labora? (Sabido que 1 es "baja calificación" y 5 "alta calificación") *

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

9. ¿Recomendaría usted el método de Emisión Acústica, desde su perspectiva como profesional en el rubro? *

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

10. ¿Cuál fue la primera razón por la que se consideró realizar mantenimiento * a los recipientes, bajo el método de Emisión Acústica, en la empresa en la que labora?

- Recomendación de alguien
- Evitar tiempos de parada del recipiente
- Método emergente