

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

UNIDAD DE POSGRADO



TESIS

**Mantenimiento Predictivo para optimizar la Vida Útil de
los Tanques de Cianuración de la empresa minera
Yanacocha**

**Para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería
con Mención en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento**

Elaborada por:

James Joel Estuardo Sarabia Cueva

Asesor:

Dr. Aurelio Marcelo Padilla Ríos

Lima – Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios, quien inspiró mi espíritu para la conclusión de esta tesis de maestría, a mis Padres, pilares principales de mi vida, quienes siempre me brindaron su cariño y apoyo incondicional, y que cuentan con toda mi admiración y respeto, a mis maestros, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido realizar esta tesis.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica, en especial, al Dr. Aurelio Marcelo Padilla Ríos, asesor de mi tesis, el cual tuvo la paciencia de corregir los archivos para culminar esta tesis.

RESUMEN

Esta tesis propone el mantenimiento predictivo con el objetivo de optimizar la vida útil de los tanques de cianuración en la empresa Minera Yanacocha. La investigación es de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, y se centra en el análisis del estado actual de los tanques, así como en la evaluación de las variables que influyen en su rendimiento y durabilidad. A través de una metodología descriptiva y correlacional, se identificaron las fallas estructurales de los tanques y se concluyó que el mantenimiento predictivo es la mejor estrategia para mejorar su operación. La implementación de estas estrategias ha permitido aumentar la eficiencia del proceso Merrill-Crowe, reducir los costos operativos y extender significativamente la vida útil de los equipos. Además, se desarrolló un plan semestral de mantenimiento y se estableció la necesidad de capacitar al personal en ensayos no destructivos para asegurar una correcta interpretación de los defectos. Los resultados validan la efectividad de la solución propuesta, optimizando la producción y mejorando la confiabilidad del proceso "Merrill Crowe".

Palabras Clave: Mantenimiento Predictivo, Vida útil, ensayos no destructivos, rate de corrosión

ABSTRACT

This thesis proposes predictive maintenance with the objective of optimizing the useful life of the cyanidation tanks at the Minera Yanacocha company. The research is of an applied type, with a quantitative approach, and focuses on the analysis of the current state of the tanks, as well as the evaluation of the variables that influence their performance and durability. Through a descriptive and correlational methodology, the structural failures of the tanks were identified and it was concluded that predictive maintenance is the best strategy to improve their operation. The implementation of these strategies has increased the efficiency of the Merrill-Crowe process, reduced operating costs and significantly extended the useful life of the equipment. In addition, a semi-annual maintenance plan was developed and the need to train personnel in non-destructive testing was established to ensure correct interpretation of defects. The results validate the effectiveness of the proposed solution, optimizing production and improving the reliability of the "Merrill Crowe" process.

Keywords: Predictive maintenance, lifespan, non-destructive testing, corrosion rate, process optimization.

INDICE

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Descripción de la Realidad Problemática	10
1.3. Formulación del Problema	13
1.3.1. Problema General	13
1.3.2. Problemas Específicos	14
1.4. Justificación e importancia.....	14
1.5. Objetivos	15
1.5.1. Objetivo General	15
1.5.2. Objetivos Específicos	15
1.6. Hipótesis.....	15
1.6.1. Hipótesis General	15
1.6.2. Hipótesis Específicas	16
1.7. Variables e Indicadores	17
1.8. Unidad de Análisis.....	18
1.9. Tipo, enfoque, nivel y diseño de la investigación.....	18
1.10. Periodo de Análisis.....	19
1.11. Fuente de la Información e instrumentos utilizados	19
1.12. Técnicas de recolección y procesamiento de datos	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL	21
2.1. Marco Teórico	21
2.1.1. Tanques de Cianuración	21
2.1.2. Tanques de Almacenamiento	22
2.1.3. Integridad de los Tanques de Almacenamiento	26
2.1.4. Mantenimiento preventivo	28
2.1.5. Mantenimiento predictivo	29
2.1.5.1. Establecimiento de un sistema de mantenimiento predictivo	29
2.1.6. Introducción a los Ensayos No Destructivos (END).	30
2.1.6.1. Técnicas de mantenimiento predictivo	34
2.2. Marco Conceptual.....	45

CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	47
3.1. Diagnóstico de fallas de tanques	47
3.2. Aplicación de Ensayos no destructivos a tanque	48
3.3. frecuencia de mantenimiento predictivo para la optimización de sistema Merrill Crowe	70
3.4. Seguimiento y control	72
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1. Resultados de la investigación	73
4.2. Discusión de resultados	79
4.3. Contrastación de las hipótesis	80
4.3.1. Contrastación de la hipótesis general	80
4.3.2. Contrastación de las hipótesis específicas	81
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
ANEXOS	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso Merrill Crowe en Minera Yanacocha.....	11
Figura 2	Pitting y desgaste en estructura interna de tanque de Cianuración de la empresa Minera Yanacocha.....	12
Figura 3	Fuga en estructura del anillo superior en tanque de cianuración de la empresa minera Yanacocha.....	12
Figura 4	Tanques de Almacenamiento	23
Figura 5	Corrosión por picadura	24
Figura 6	Tipos de corrosión por picadura	25
Figura 7	Espectro de radiación Electromagnética	37
Figura 8	Galgas de medición para inspección visual	39
Figura 9	Equipo de ultrasonido Dakota	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	17
--	----

INTRODUCCIÓN

La implementación de aplicaciones de mantenimiento en los procesos de producción demuestra la necesidad de que las empresas garanticen niveles mínimos de pérdidas y, al mismo tiempo, mantengan altos estándares de calidad. Debido a la evolución de los sectores productivos, se han desarrollado nuevos mecanismos para mejorar los procesos, con el fin de optimizar el uso de los recursos. En base a esta realidad, la industria identificó que el mantenimiento influye en la productividad, puesto que los procesos junto con los equipos deben generar seguridad y confiabilidad, y estar disponibles dentro de las jornadas productivas. (González, 2015).

A finales de la década de 1950, en Ohio, Estados Unidos, un grupo de individuos dedicados al mantenimiento preventivo, impulsados por una necesidad económica, desarrolló una herramienta para identificar anomalías en ciertos motores eléctricos que causaban problemas mecánicos recurrentes. Las interrupciones en los procesos de producción resultaban en costos elevados, por lo que evitar estas paradas representaba significativos ahorros. Así comenzaron los primeros avances en lo que hoy conocemos como mantenimiento predictivo. En la actualidad, el mantenimiento predictivo es una de las herramientas más ampliamente adoptadas en la industria global, con estimaciones que indican que entre el 56% y el 64% de las plantas industriales en el mundo que utilizan de alguna forma de esta herramienta predictiva. En países desarrollados cerca del 77% tienen un programa de mantenimiento predictivo establecido y en funcionamiento, generando una gran cantidad de información, que en la mayoría de los casos se utiliza para implantar mejoras en las plantas industriales. (BUREAU VERITAS, 2017).

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes Investigativos

Rivera Y., et al. (2016)¹, propone realizar el análisis de fallas del techo flotante en un tanque de almacenamiento de gasolina, una investigación justificada por los problemas recurrentes en estos techos y las pérdidas de producto debido a la evaporación y la liberación de compuestos ligeros al aire. La investigación propone que se realice un análisis de fallas utilizando ensayos no destructivos. Para esto, se llevó a cabo una inspección visual de la membrana del tanque para identificar las áreas más afectadas y los productos de corrosión. Se recogieron muestras tanto de la aleación defectuosa como de los sólidos depositados para su análisis. La composición química elemental de la aleación se analizó mediante espectrometría de emisión por arco eléctrico, utilizando el espectrómetro multicanal SPECTROLAB No.6536. El estudio estructural de la aleación se efectuó mediante metalografía con un microscopio invertido de luz reflejada, modelo AXIOVERT 25. Las probetas para el análisis metalográfico se prepararon siguiendo los procedimientos de corte, montaje, desbaste y pulido, conforme a la norma ASTM E3-11 (2017). La estructura metalográfica de las muestras se reveló con una solución de ataque químico No. 1, compuesta por 1 ml de fluoruro de hidrógeno en 200 ml de agua destilada, de acuerdo con la norma ASTM E407-07 (2015). La caracterización de los depósitos de corrosión se realizó mediante difracción de rayos X, utilizando un método de medición punto a punto con un paso

¹ Rivera et al. (2016): Análisis de la falla del techo flotante de un tanque de almacenamiento de gasolina. <https://www.redalyc.org/journal/1816/181669387002/181669387002.pdf>

angular de 0.050 y un tiempo de medición de 3 segundos por posición. Para el análisis cualitativo de las fases, se empleó el software Panalytical “X Pert High Score”. Se determinó que la causa principal del deterioro de la membrana fue la corrosión galvánica resultante de diferencias en la concentración de oxígeno entre las áreas cubiertas por un sólido anaranjado y las zonas sin él. Esta corrosión se vio exacerbada por la humedad dentro del tanque. Los productos de corrosión encontrados confirmaron una interacción entre el oxígeno y la humedad con la superficie de las planchas de aluminio, además de una reacción con los vapores sulfurosos de la gasolina. En resumen, la falla se atribuye a la corrosión galvánica causada por las variaciones en la concentración de oxígeno en diferentes áreas del tanque.

Naubnome V., et al. (2016)², sostiene que la corrosión interna y externa son la principal causa de accidentes en recipientes a presión. Para reducir el nivel de riesgo muchas empresas han adoptado las estrategias del análisis de riesgo para optimizar la planificación de inspección de recipientes a presión con corrosión externa han clasificado el riesgo en cuatro niveles (riesgo bajo, riesgo medio, riesgo medio alto y riesgo alto. Todos los recipientes a presión deben inspeccionarse de acuerdo con el código de inspección apropiado para garantizar su integridad mecánica, las organizaciones primero recurrieron a sistemas basados en el tiempo, tasas de deterioro dependiendo de la condición de equipo. A medida que los equipos envejecen pueden verse afectados por una variedad de mecanismos de daño que pueden conducir a una reducción de la integridad mecánica y, eventualmente, al fallo. La unidad en estudio

² Naubnome V., et al. (2016) Risk analysis for pressure vessel with external corrosion using RBI method based on API 581. https://www.researchgate.net/publication/301529355_Risk_analysis_for_pressure_vessel_with_external_corrosion_using_RBI_method_based_on_API_581/link/5d794e1ba6fdcc9961c11e59/download?_tp=eYJb250Zxh0ljp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmXpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmXpY2F0aW9uIn19

almacena, con 16 años de antigüedad, el gas hidrógeno (H_2) que tiene una conductividad térmica y un coeficiente de transferencia de calor mayor que el aire. El propósito del método API 581 Metodología RBI (Inspecciones basadas en el riesgo) centra las actividades de inspección en aquellas piezas del equipo donde los riesgos de falla asociados a los mecanismos de daño son mayores. Se determina la probabilidad de falla (POF), y la consecuencia de falla (COF). El análisis de riesgo cualitativo se puede implementar mediante el uso de un manual de trabajo simple para auditar la probabilidad de falla (POF), y la consecuencia de falla (COF), el análisis de riesgo cuantitativo utiliza un modelo lógico para describir la combinación de eventos que conducen a un accidente grave, un proceso de accidente o un material peligroso propagado al medio ambiente (en cuatro aspectos: inflamable, explosivo, tóxicos e interrupción del negocio), el análisis de riesgo semicuantitativo tiene en cuenta los resultados de la inspección – requiere una descripción completa del equipo, diseño, material, datos de tasa de corrosión, registros históricos e información de mantenimiento, reemplazo, características del fluido, inventario, condiciones de operación, sistemas de seguridad, mecanismos de daño, recubrimientos, revestimiento y aislamiento, etc. En este estudio, los modos de falla de interés son aquellos que se desarrollan durante un periodo de tiempo que debilitan gradualmente el límite de integridad hasta que se predice la falla de los componentes a presión. La frecuencia genérica de falla para recipientes a presión: POF: pequeñas (0.25 in) 4×10^{-4} , media (1 in) 1×10^{-4} , grande (4 in) 1×10^{-5} , ruptura (16 in) 6×10^{-6} . Para calcular la consecuencia de falla (COF) hay que tener en cuenta la naturaleza y la cantidad de líquido liberado, el tamaño del orificio, la viscosidad y la densidad de operación. Los resultados del estudio los conceptos y la aplicación de la inspección basada en el riesgo (RBI), para recipientes

a presión muestran claramente que el mecanismo de falla predominantes es el adelgazamiento general con riesgo medio alto. La inspección basada en el riesgo es un método muy eficaz para evaluar el riesgo en elementos críticos cuando el procedimiento se implementa correctamente.

Albuquerque R., et al. (2019)³, llevaron a cabo una investigación que se enfoca en un modelo de sistemas viables y mantenimiento 4.0 para el mantenimiento industrial predictivo en Portugal. Este modelo propone ilustrar una arquitectura de sistemas de información donde, utilizando el modelo de sistemas viables, es posible realizar ajustes automáticos en los subsistemas relacionados con los sistemas ciber físicos y los sistemas de ejecución de fabricación (MES), dentro del modelo de fabricación digital y además para mitigar los fallos de la máquina a través de análisis predictivos de volúmenes masivos de datos utilizando algoritmos con funciones inteligentes y Data Mining (DM), con el fin de estabilizar automáticamente toda la cadena del sistema de forma rápida y eficiente. La justificación de esta investigación se basa en el continuo proceso de crecimiento. El objetivo principal de este trabajo es proponer, sin implementarlo, una arquitectura basada en las tecnologías de mapa de flujo de valor (VSM), y Mantenimiento 4.0 que permita evitar fallas de máquinas en las industrias antes de que ocurran, haciendo así la producción industrial más eficiente y eficaz reduciendo las interrupciones. Además de eso, la implementación de esta arquitectura permite a los gerentes de fabricación tomar mejores decisiones con el análisis predictivo. La hipótesis propuesta sugiere buscar continuamente nuevas tecnologías disruptivas para lograr una

³ Albuquerque R., et al. (2019) Predictive Industrial Maintenance with a Viable Systems Model and Maintenance 4.0. https://www.researchgate.net/publication/341077940_Predictive_Industrial_Maintenance_with_a_Viable_Systems_Model_and_Maintenance_40

mayor rentabilidad y calidad a un coste aceptable, implementando una fabricación digital con componentes de Mantenimiento 4.0. La metodología analiza la topología de la arquitectura IT actual de la empresa (integraciones, tipos de protocolo, sistemas, infraestructura), y comprobar qué tan adaptable es para las nuevas tecnologías que ofrecen los procesos de Mantenimiento 4.0. Este estudio se inscribe en el marco de una investigación descriptiva y aplicada a nivel exploratorio. El resultado obtenido fue mitigar los fallos de la máquina a través de los análisis predictivos de volúmenes masivos de datos utilizando algoritmos con funciones inteligentes y Data Mining (DM), con el fin de estabilizar automáticamente toda la cadena del sistema de forma rápida y eficiente.

Tejaxún (2019)⁴, evaluó un modelo de gestión de mantenimiento, a través del monitoreo de condición utilizando ensayos no destructivos, bajo la norma ISO 17359:2011 para la conservación de los equipos críticos en la industria avícola. Presenta como objetivos específicos: establecer los lineamientos de un programa de monitoreo de vibraciones en las partes críticas del sistema de montaje de un motor eléctrico, además de desarrollar un programa de control de temperaturas de los componentes críticos mediante termografía. Se busca aplicar técnicas de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para identificar los equipos que deben ser sometidos a monitoreo de condición y determinar la metodología adecuada, utilizando tanto el análisis de vibraciones como la termografía, siguiendo la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y complementando con la norma ISO. Los resultados muestran que la gestión del mantenimiento predictivo a través del monitoreo de condición es una

⁴ Tejaxún (2019) Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la Norma ISO 17359:2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0871_MI.pdf

herramienta clave para extender el tiempo disponible para planificar mantenimientos correctivos programados. La termografía se destaca como una técnica fundamental en las estrategias de mantenimiento basadas en la condición (CBM), permitiendo evaluar el estado actual de un conjunto de equipos. El análisis de vibraciones aplicado a motores eléctricos fue esencial para el mantenimiento predictivo, ya que permitió detectar fallas específicas y evaluar su gravedad. El monitoreo de condición se considera una etapa avanzada en el mantenimiento, requiriendo el uso de técnicas predictivas, tecnologías avanzadas y capacitación en RCM. No obstante, su alto costo a menudo desalinea el seguimiento de los hallazgos reportados en las primeras rutas de monitoreo de condición.

Crisostomo y Palacios (2019)⁵, proponen la aplicación del método de emisión acústica en recipientes a presión y su impacto en el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo en las empresas mineras: Milpo y Minsur. Presentan objetivos específicos incluyen verificar los principios y procedimientos del método de Emisión Acústica, según las normas ASME y API 510, determinar cómo una logística adecuada influye en la aplicación de este método dentro de un programa de mantenimiento predictivo, y analizar de qué manera su implementación. mejora la ejecución del plan de mantenimiento predictivo. Como resultados, se observa que, al incorporar normas técnicas en el programa de mantenimiento predictivo, se logra un nivel de confiabilidad estándar. Los informes revisados de ambas mineras utilizan los códigos ASTM (E650 – E976), ASME (sección V Art. 12), API 510, y los procedimientos de inspección y

⁵ Crisóstomo y Palacios (2019), 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 de Maestría, Universidad Nacional del Callao]. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4587/INFORME%20-%20TESIS%20Palacios%20y%20Barrios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

evaluación de seguridad AD – AET para aplicar el método de Emisión Acústica (AE). El 75% de los encuestados coincidió en que una logística eficiente favorece el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo. Asimismo, los equipos certificados y el personal calificado son factores clave al seleccionar una empresa para prestar el servicio, según los resultados de la encuesta. Los informes de Milpo y Minsur destacan que la aplicación del método de Emisión Acústica, en comparación con otras técnicas como la prueba hidrostática, ofrece ventajas en términos de productividad, rentabilidad y tiempos, lo que contribuye a la optimización del programa de mantenimiento predictivo.

Mora (2020)⁶, analizó el riesgo e integridad mecánica de acuerdo con metodología API 580, API RP 581y API STD 653 para tanque almacenamiento de crudo con capacidad de 420.000 BLS, estableció su condición actual y su aptitud para continuar en operación, mediante metodologías de análisis de riesgos y análisis de integridad mecánica basados en normatividad vigente o practicas recomendadas tales como API RP 580, API RP 581y API STD 653. Los objetivos específicos incluyen la recopilación y análisis de información relacionada con inspecciones visuales externas e internas, medición de espesores, y ensayos no destructivos (NDT), entre otros, realizados en el activo a evaluar. También se contempla el análisis de la integridad mecánica del activo basado en la información obtenida y su estado actual. Se llevará a cabo un modelado de análisis de riesgo considerando mecanismos de daño como la corrosión interna y externa, así como la evaluación de las consecuencias de posibles fallas en tanques de almacenamiento. Los resultados serán analizados en función de la evaluación de la integridad y del análisis de

⁶ Mora (2020), Análisis de riesgos e Integridad mecánica de acuerdo con metodología API RP 580, API RP 581y API STD 653 para tanque almacenamiento de crudo capacidad 420.000 BLS. [Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia]. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3229/Analisis_de_riesgos.pdf?sequence=1

riesgos, lo que permitirá determinar la viabilidad del activo para continuar en operación. Finalmente, se desarrollará un plan de inspección o acciones a seguir según los resultados o las categorías de riesgo asociados al activo. Como resultados, obtiene: según la evaluación realizada conforme a la norma API STD 653, los cálculos de la tasa de corrosión y la vida útil remanente para las próximas inspecciones programadas estarían determinados por las inspecciones de rutina, con el fin de gestionar y mantener adecuadamente el tanque de almacenamiento, se deben seguir las siguientes recomendaciones basadas en la evaluación de riesgos: inspecciones mensuales realizadas por el operador para monitorear y detectar posibles fallos o irregularidades de manera oportuna, además de inspecciones internas llevadas a cabo por un inspector autorizado API 653 y se deben medir los espesores del techo y los anillos del tanque. La categorización de riesgo utilizando la metodología de Inspección Basada en Riesgos (RBI) y la matriz de riesgos recomendada por API RP 581, se concluyó que los componentes del tanque con mayor riesgo son el fondo del tanque, anillos 1,2,3,4,5 de nivel de riesgo alto y el anillo 6 y el techo de nivel de riesgo medio. La probabilidad de falla es $1.36e^{-03}$ de acuerdo con los resultados de la valoración de riesgos. La frecuencia de ejecución del plan de inspección del fondo del tanque y anillos 1,2,3,4,5 se deben realizar en un periodo máximo de 2 años las actividades e inspecciones de mantenimiento; el anillo 6 y el techo del tanque se debe realizar la inspección y actividades de mantenimiento en un periodo máximo de 4 años, estas recomendaciones son cruciales para garantizar la seguridad e integridad del tanque.

Carrillo (2021)⁷, implementó estudios de integridad mecánica a tanques de almacenamiento en la industria de sistemas de poliuretano, en la Universidad Autónoma de México. Presenta como objetivos específicos: analizar los resultados obtenidos a partir de los ensayos no destructivos (END) en tanques de almacenamiento tiene como fin crear un plan de acción que permita identificar y llevar a cabo acciones correctivas y preventivas. También es necesario alinear las bases técnicas y documentales de los recipientes sujetos a presión (RSP) con la normativa NOM-020-STPS vigente, y elaborar un expediente general para cada tanque inspeccionado. Los resultados demuestran que la implementación de estudios de integridad mecánica, acompañada de su verificación y actualización constantes a través de los END, es una herramienta crucial para las organizaciones. En el área de Ingeniería, permite reducir costos de mantenimiento correctivo y a la vez optimizar el uso de instrumentos y dispositivos. En cuanto a la seguridad, asegura el funcionamiento seguro del sistema, y desde el punto de vista productivo, garantiza que cada equipo esté certificado para soportar las condiciones operativas, previniendo anomalías o interrupciones que podrían afectar la cadena de suministro. La correcta y sistemática ejecución de estudios de integridad mecánica facilita conocer el estado actual de los recipientes sujetos a presión (RSP) y revela con precisión cualquier desviación, daño o falla en los equipos, dispositivos de seguridad o incluso en el sistema productivo completo. Esto proporciona la oportunidad de analizar e interpretar la información obtenida, permitiendo tomar decisiones para corregir problemas críticos. Finalmente, la implementación de este proyecto permitió destacar la relevancia de mantener un programa de inspección sistemático en los equipos. Este

⁷ Carrillo (2021), Implementación y análisis de estudio de integridad mecánica en tanques de almacenamiento en la Industria de sistemas de poliuretano. [Tesis de Maestría, Universidad de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/111533/Tesis%20.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

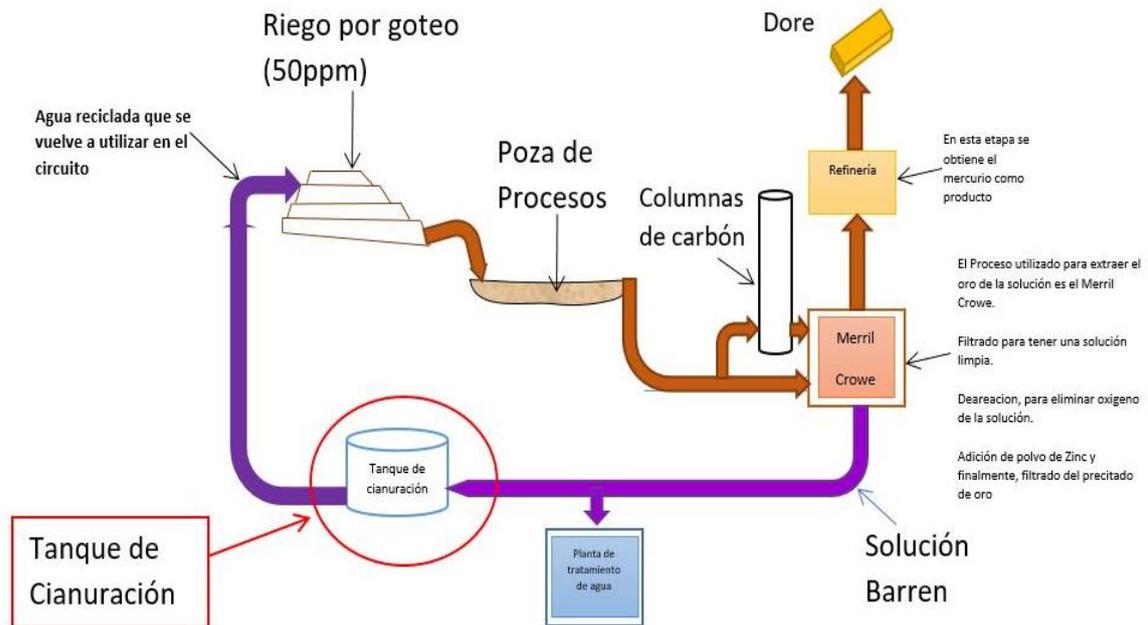
programa se considera un pilar fundamental para asegurar tanto la continuidad de la operación como la producción en los centros de trabajo, salvaguardando la integridad de los trabajadores y la calidad del producto.

1.2. Descripción de la Realidad Problemática

La principal actividad de la Empresa Minera Yanacocha es la extracción, procesamiento y exportación de oro. Este estudio se enfocará específicamente en los tanques de cianuración de las plantas de procesos de la empresa. Desde agosto de 1993, la empresa minera Yanacocha ha estado en operación, pero la planta Yanacocha norte viene trabajando 18 años hasta 2024. Sin embargo, este periodo no ha cumplido con las expectativas debido a la recurrencia de fallas en los tanques de cianuración en el área de procesos. Estas fallas han afectado la producción en múltiples ocasiones, provocando la indisponibilidad de los equipos de la planta durante períodos prolongados y repetitivos. Esta indisponibilidad se ha traducido en pérdidas económicas significativas para la empresa.

Figura 1

Proceso Merrill Crowe en Minera Yanacocha



Se presentan diversos problemas de desgaste en la estructura de los tanques, que incluyen la base, el shell y el techo. Uno de estos problemas es la corrosión por picadura (pitting), que a menudo se manifiesta en el interior de los tanques. Este tipo de corrosión se ilustra en la Figura 2, donde se puede observar claramente su presencia y efectos.

Figura 2

Pitting y desgaste en estructura interna de tanque de Cianuración de la empresa

Minera Yanacocha



Figura 3

Fuga en estructura del anillo superior en tanque de cianuración de la empresa

minera Yanacocha



En la Figura 3 se muestra una fuga en un tanque que contiene solución cianurada. Aunque esta fuga fue considerada solo como una falla operativa y no se reportó como un evento peligroso, la recurrencia de estos incidentes ha llevado a frecuentes paradas no planificadas de la planta. Estas paradas causan pérdidas de producción y, en casos

extremos, pueden resultar en accidentes que afectan al personal o al medio ambiente. La falta de un control efectivo ante estas fallas inesperadas agrava la situación, subrayando la necesidad de medidas más rigurosas para prevenir y gestionar estos eventos.

Una fuga de solución cianurada en Perú viola varias regulaciones ambientales y de seguridad, con consecuencias graves que incluyen sanciones, suspensión de operaciones y acciones legales. Para prevenir tales incidentes y asegurar el cumplimiento normativo, es esencial implementar monitoreo continuo, mantenimiento regular y planes de contingencia.

La falla más significativa en el caso de una fuga en la estructura del anillo superior de un tanque de solución cianurada es la falla física. La integridad estructural del tanque es crucial para evitar fugas, y una falla en esta área sugiere problemas con los materiales o el diseño del tanque. No obstante, las fallas humanas y latentes también pueden ser factores contribuyentes importantes y deben ser consideradas en un análisis de causa raíz completo. Factores como inspección inadecuada, mantenimiento incorrecto, procedimientos operativos deficientes, y la falta de protocolos adecuados para la inspección y el mantenimiento, así como una cultura organizacional que no prioriza la seguridad, son elementos críticos que deben ser abordados para evitar estos incidentes.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿De qué manera se optimiza la vida útil de los tanques de cianuración de la empresa Minera Yanacocha?

1.3.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cómo se identifican las fallas que provocan paradas no programadas en la empresa Minera Yanacocha?
- b. ¿De qué manera se determina el desgaste estructural de los tanques de cianuración de la empresa Minera Yanacocha?
- c. ¿De qué manera se optimiza el sistema Merrill Crowe de la empresa Minera Yanacocha?
- d. ¿De qué manera se obtienen los nuevos datos, luego de la implementación del desarrollo para contrastar la hipótesis?

1.4. Justificación e importancia

La investigación se justifica por la necesidad de implementar el mantenimiento predictivo en las plantas de procesos de la empresa minera Yanacocha. Estas estrategias son esenciales para prevenir paradas imprevistas en el proceso debido al daño y deterioro anticipado de los equipos. Aunque algunas empresas ya cuentan con inspecciones programadas para detectar posibles fallos a tiempo y evitar detenciones del proceso, la implementación de un mantenimiento predictivo más riguroso permitirá una gestión más efectiva.

La importancia de esta investigación radica en que proporcionará seguridad y confianza tanto al personal de operación y mantenimiento de la planta como a los habitantes de las zonas cercanas a Minera Yanacocha. La reducción de actividades de mantenimiento correctivo de emergencia minimizará las interrupciones en la operación de la planta. Además, los residentes cercanos, quienes están en contacto directo con la explotación a tajo abierto y los procesos de refinación, se beneficiarán al conocer la

fiabilidad y seguridad de las operaciones, lo que les permitirá desarrollar sus actividades con mayor tranquilidad.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Proponer el mantenimiento predictivo para optimizar la vida útil de los tanques de cianuración en la empresa Minera Yanacocha.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a. Realizar un diagnóstico estructural de los tanques de solución cianurada para identificar las causas y efectos de fallas que provocan paradas no programadas en la minera Yanacocha.
- b. Realizar los ensayos no destructivos para evaluar el desgaste estructural de los tanques de cianuración en la empresa Minera Yanacocha.
- c. Establecer la frecuencia óptima de mantenimiento predictivo para mejorar el rendimiento del sistema Merrill-Crowe.
- d. Implementar un sistema de seguimiento y control para validar la efectividad del mantenimiento predictivo propuesta.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

La propuesta del mantenimiento predictivo permite identificar y mitigar los problemas de corrosión y fallas operativas, extendiendo así la vida útil de los tanques de cianuración de la Empresa Minera Yanacocha.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- a. La realización de un diagnóstico estructural detallado de los tanques de solución cianurada permitirá identificar con precisión las causas y efectos de las fallas, lo que mejorará la planificación de intervenciones correctivas y reducirá las paradas no programadas en la empresa Minera Yanacocha.
- b. La aplicación de ensayos no destructivos para evaluar el desgaste estructural de los tanques de cianuración proporcionará datos precisos sobre su estado, permitiendo la detección temprana de problemas y reduciendo la probabilidad de fallas críticas.
- c. Establecer una frecuencia adecuada de mantenimiento predictivo basada en datos de monitoreo y análisis reducirá significativamente las fallas operativas y optimizará el rendimiento del sistema Merrill-Crowe en la empresa Minera Yanacocha.
- d. La implementación de un sistema de seguimiento y control para verificar la efectividad del mantenimiento predictivo permitirá ajustar y mejorar continuamente las intervenciones, lo que asegurará la sostenibilidad a largo plazo de los tanques de cianuración en la Minera Yanacocha.

1.7. Variables e Indicadores

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Operacionalización		Escala de medición
			Dimensiones	Indicadores	
Variable Independiente: Mantenimiento Predictivo	Se refiere al conjunto de prácticas y procedimientos diseñados para anticipar y prevenir fallas en equipos e instalaciones industriales mediante el monitoreo continuo y el análisis de datos operativos.	Son acciones específicas implementadas para monitorear y analizar el estado de los tanques de cianuración en la Minera Yanacocha. Esto incluye la recolección de datos, el uso de software de análisis predictivo, la determinación de la frecuencia de mantenimiento basada en esos datos, y la validación de estrategias a través de un sistema de seguimiento y control.	Diagnostico situacional y AMEF	Número de Componentes críticos.	Numérica (finita)
			Ensayos no destructivos	Determinar espesores remanentes	mm.
			Optimización de operaciones	Número de paradas no programadas	Numérica (finita).
Variable Dependiente: optimización de la Vida útil de los tanques de cianuración	El tiempo que se estima permanecerán los bienes en uso, dentro de los límites de eficiencia de producción y economía	Periodo de funcionamiento efectivo de los equipos manteniendo su integridad mecánica.	Confiabilidad	Porcentaje	%
			Tiempo en servicio	Tiempo de operación	h
			Tiempo de vida útil	Horas de trabajo	h

1.8. Unidad de Análisis

01 tanque de almacenamiento de capacidad nominal 127.7 m³ de solución cianurada. Las dimensiones del tanque son: de 6 250 mm de diámetro por 5 250 mm de alto, con código SAP: 3000-50-20-03-TAN-3005, instalado en la Planta de Procesos de Yanacocha Norte

1.9. Tipo, enfoque, nivel y diseño de la investigación

De acuerdo con la clasificación, la presente investigación es de tipo aplicada pues va a resolver un problema de la realidad aplicando los conocimientos científicos y tecnológicos disponibles; el enfoque es cuantitativo, dado que se utilizarán cantidades numéricas de información histórica de los equipos estacionarios tanques de cianuro; asimismo, se identificarán las variables y su relación entre ellos que permitan formular y contrastar las hipótesis.

El nivel de investigación es descriptivo y correlacional, lo cual se detalla a continuación.

- a) Nivel Descriptivo:** se enfocará en describir y analizar el estado actual de los tanques de cianuración, así como los resultados de la implementación del mantenimiento predictivo.
- b) Nivel Correlacional:** la investigación determinará las variables como vida útil, el período de uso en servicio del activo, sus modificaciones y de acuerdo con el modo de cambio van a alterar otras variables como la criticidad del equipo, la criticidad del riesgo, la disponibilidad y confiabilidad del equipo, costos y tiempos de las actividades de Inspección y del mantenimiento predictivo.

El diseño de la investigación es no experimental debido a que no se manipulan variables en forma deliberada, simplemente se procedió a realizar observaciones de situaciones antes y luego de la investigación.

1.10. Periodo de Análisis

El periodo de análisis de la tesis es de 2023 hasta el 2024

1.11. Fuente de la Información e instrumentos utilizados

- Hoja de vida del activo de los periodos 2020 – 2023, obtenidos de la Célula de Mantenimiento de Planta.
- Reportes del historial de fallas de los periodos 2020 – 2024, obtenidos de la Célula de Mantenimiento de Planta.
- Encuesta al personal técnico directamente involucrado a la mantenibilidad del equipo de Planta.
- Hojas de datos de la construcción del tanque, brindados por el fabricante las cuales contienen las especificaciones técnicas de fabricación.

1.12. Técnicas de recolección y procesamiento de datos

La investigación se realizará fundamentalmente con datos primarios, provenientes de la información proporcionada en forma directa por las personas que trabajan en el área de mantenimiento de la planta de procesos de la Minera Yanacocha. Dicha información consiste en el historial de fallas y reparaciones de los equipos críticos del área de procesos en la planta de la mina Yanacocha, obtenidos hasta el año 2024.

También se utilizará la encuesta como instrumento para la recolección de datos referente al grado de conocimiento del personal de mantenimiento de la planta sobre la

temática de “mantenimiento predictivo”, así como de técnicas cualitativas y cuantitativas del mantenimiento.

Procesamiento de datos

El análisis documental durante la recolección de datos de las variables estudiadas por medio de fichas de registro y se utilizará Microsoft Excel. Microsoft Excel permitirá realizar análisis exploratorios y preparación de datos de los equipos de planta de la Minera Yanacocha.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Tanques de Cianuración

Según Moats (2023), los tanques de cianuración son estructuras diseñadas para contener soluciones de cianuro utilizadas en la extracción de metales preciosos, como el oro y la plata. Estos tanques desempeñan un papel fundamental en el proceso hidrometalúrgico conocido como cianuración, donde el cianuro disuelve el metal valioso, que luego se recupera mediante procesos posteriores. Existen varios tipos de tanques de cianuración, incluyendo tanques de agitación mecánica, tanques de lixiviación y tanques de sedimentación. Cada tipo tiene un diseño específico adaptado a la fase del proceso en la que se utiliza.

Los tanques de cianuración están contruidos generalmente de acero, revestido con materiales resistentes a la corrosión, como caucho o polímeros especiales, para protegerlos del desgaste causado por la solución cianurada. El diseño de los tanques debe considerar factores como la capacidad, la resistencia a la presión y las condiciones ambientales. La ingeniería estructural es crucial para garantizar que los tanques puedan soportar las condiciones operativas y los agentes químicos a los que están expuestos.

Según Pizzorni (2019), los tanques de cianuración son recipientes diseñados para almacenar soluciones de cianuro de sodio, una sustancia potencialmente letal que puede encontrarse en forma sólida, en soluciones, o como cianuro de hidrógeno en estado gaseoso. El cianuro se utiliza en soluciones diluidas para el tratamiento de

minerales de oro en un proceso conocido como cianuración. En concentraciones más bajas, el cianuro también se emplea como reactivo en la concentración de minerales mediante el proceso de flotación. Estos tanques están contruidos de acero y se diseñan conforme a la norma API 653 para garantizar la confiabilidad de los procesos.

2.1.2. Tanques de Almacenamiento

Según Mora (2020), los tanques de almacenamientos son utilizados para almacenar fluidos como crudos, productos intermedios y refinados, gas, químicos, agua, productos mixtos, entre otros. Los tanques, dependiendo de factores como temperatura, presión y volatilidad se construyen de diversos tipos, tamaños y materiales de construcción. No hay forma clara de clasificar los tanques basados en un único criterio, sin embargo, la presión de vapor de la sustancia almacenada o presión de diseño interior es la más amplia y el método más utilizado por los códigos, normas y reglamentos.

En gran medida, la presión de vapor determina la forma y, en consecuencia, el tipo de tanque utilizado. El cilindro es una forma económica y fácil de fabricar para la contención de presiones, de hecho, casi todos los tanques son cilíndricos en la parte del casco. El problema con los cilindros es que en los extremos deben estar cerrados. Las esferas son las formas más económicas para contener la presión interna en términos requeridos de espesor, pero son más difíciles de construir. En la Figura 4, se relaciona un ejemplo de tanques de almacenamiento.

Figura 4

Tanques de Almacenamiento



Nota: Fuente: Mora, A. (2020). *Diseño de un tanque de almacenamiento*.

Los tipos de corrosión que pueden presentarse en los tanques son:

- a. **Corrosión atmosférica.** Puede afectar externamente a los tanques y sus componentes auxiliares si no se protegen con un recubrimiento. Un ejemplo son los tanques cerca al ambiente marino, estos deberán estar protegidos por recubrimientos que lo protejan de lo contrario su tasa de corrosión será demasiado alta. (Mora, 2020)
- b. **Corrosión externa.** En los fondos de los tanques, esta puede ser significativa. La fundición de la losa del tanque deberá estar construida con materiales que no creen focos de corrosión ya que el tanque estará soportado sobre ésta. Por ejemplo, la presencia de madera, grava o arcilla pueden causar corrosión por picadura (“pitting”) en donde esté presente alguno de estos contaminantes. Un mal drenaje puede causar que el agua se acumule y genere corrosión generalizada. Los tanques soportados en anillos de concreto que no tengan sello flexible entre la lámina del tanque y el anillo de concreto pueden generar filtración de agua y generar corrosión. (Mora, 2020)

- c. **Corrosión por picadura.** La corrosión por picaduras es un tipo de deterioro localizado que afecta al metal, manifestándose como pequeñas perforaciones o agujeros en la superficie del acero, lo que resulta en la reducción del espesor del metal. Con el tiempo, este tipo de corrosión puede causar fisuras en el tanque, lo que llevaría a fugas del producto al entorno circundante. (Glistler, 2017)

Figura 5

Corrosión por picadura



Fuente: Glistler (2017)

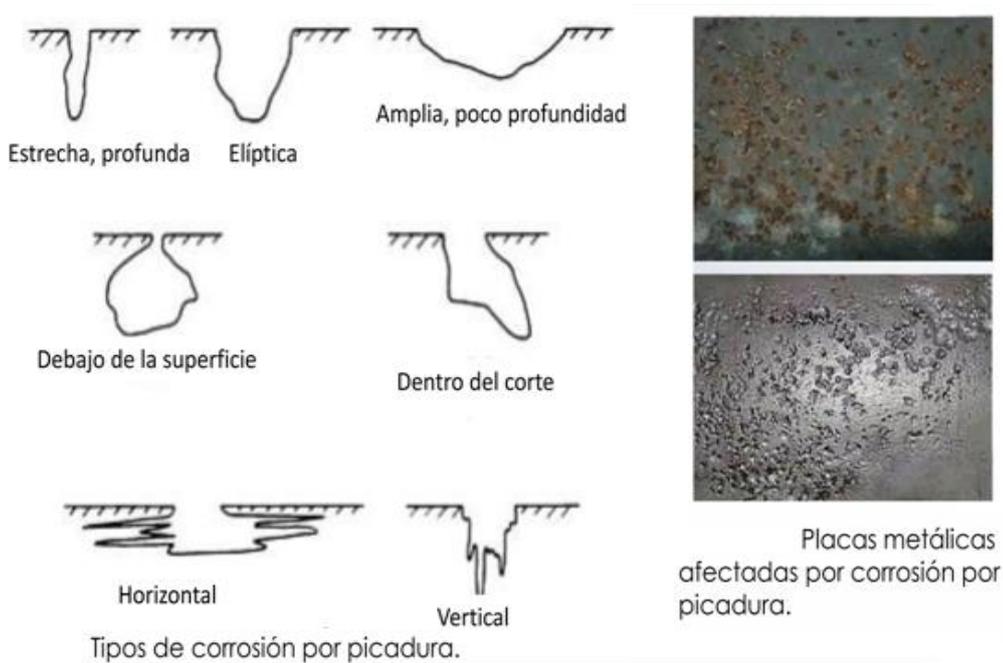
Según Glistler (2017), las picaduras generadas por esta corrosión pueden variar en forma y tamaño, siendo algunas estrechas y profundas, mientras que otras pueden ser más superficiales y anchas. También pueden expandirse lateralmente bajo la superficie, un fenómeno conocido como socavación. Además, estas picaduras pueden estar expuestas con la abertura visible o cubiertas por una membrana semipermeable, lo que complica su detección adecuada antes de realizar una limpieza con chorro de arena. corrosión por

picadura es un tipo de corrosión localizada que provoca la formación de pequeñas cavidades o "pits" en la superficie metálica.

A continuación, en la fig. 6, se muestra los tipos de corrosión por picadura, las cuales se presentan generalmente en metales que forman películas protectoras de oxido

Figura 6

Tipos de corrosión por picadura



Fuente: Muñoz (2021)

- d. **Corrosión interna.** Depende del material con el que fue construido y del tipo de producto que maneja. Los tanques principalmente presentan corrosión en sus paredes internas del cuerpo en el espacio que existe entre el producto y el techo, este es causado por vapores de agua, sulfuro de hidrógeno, oxígeno o la combinación de estos. (Mora, 2020)
- e. **Fallas de las válvulas de presión y vacío.** Estas pueden fallar por presencia de material o residuos, corrosión en las partes móviles, depósito de material fecal

de insectos o pájaros, presencia de hielo, acumulación de material abrasivo, presencia de pintura en la ventilación, manipulación por personal no autorizado. Sin embargo, son muchos los mecanismos de daños que se pueden presentar en los tanques de almacenamientos en toda su vida útil de trabajo. Por eso es recomendable realizar las inspecciones en los tiempos establecidos y así minimizar los riesgos de falla. (Mora, 2020)

- f. **Mangueras SPARK.** Sirven para el ingreso y salida de cianuro desde bombonas externas que trasladan las soluciones diluidas a puntos específicos de la planta de procesos para realizar la concentración de minerales. Estas al ser sometidas a trabajos constantes y a presión es necesario realizar inspecciones periódicas en tiempos establecidos de acuerdo con un plan de mantenimiento preventivo. (Loya,2020)

2.1.3. Integridad de los Tanques de Almacenamiento

Según Mora (2020), “la evaluación de integridad de tanques de almacenamiento, esta soportada bajo el estándar API STD 653”, el cual describe los requisitos reglamentarios y limitaciones aplicables para realizar esta.

El API STD 653 proporciona criterios para la inspección y la programación basadas en condiciones de los tanques utilizando resultados de inspección visual interna y externa y datos de varias técnicas de ensayos no destructivos. También reconoce el uso de metodologías alternativas de inspección. Por ejemplo, la inspección robótica es una aproximación posible para realizar una evaluación del fondo del tanque y otros componentes internos sin entrada del personal. Las inspecciones visuales en servicio

deben realizarse con mayor frecuencia para la detección temprana de cambios o deficiencias, y deben realizarse en tanques cubiertos por el API STD 653.

Las inspecciones en servicio deben incluir la comprobación de la corrosión, fugas, asentamiento, distorsión y estado de la cimentación, sistemas de aislamiento y sistemas de pintura. Las observaciones, especialmente de un cambio en la condición, deben ser documentadas e informadas a personal cualificado, tal como un especialista en tanques, para una evaluación adicional. El intervalo de una inspección en servicio debe basarse en la experiencia, y el riesgo debe ser determinado por alguien conocedor del tanque y su funcionamiento.

En ningún caso el intervalo de inspecciones visuales en servicio debe ser inferior al prescrito por API STD 653.

El API STD 650 fomenta la protección contra fugas en el fondo de tanques nuevos, incluyendo el uso de sistemas de barrera contra la liberación, protección catódica, pruebas de fugas, etc. Existen varias tecnologías o enfoques de detección de fugas diferentes, tales como:

Métodos de detección de fugas: volumétricas / masivas, emisiones acústicas, monitoreo de suelo y control de inventario.

Cuando sea aplicable, los inspectores deben intentar coordinar inspecciones mientras los tanques están fuera de servicio para asuntos operacionales. Esta programación a menudo requiere el conocimiento de los intervalos de inspección internos, los horarios de operación y la experiencia de operación para el tanque o tanques involucrados. Los intervalos de inspección internos también pueden basarse en la experiencia y el riesgo, según lo determinado por alguien que conozca el (los) tanque

(s) y su funcionamiento. En ningún caso la frecuencia de estas inspecciones será inferior a la prescrita en el API STD 653. Esta coordinación requiere el conocimiento de los intervalos de inspección internos y la experiencia operativa de los tanques involucrados. Para minimizar el costo y reducir la generación de desechos, se debe hacer todo lo posible por considerar completar todo el mantenimiento necesario cuando los tanques están fuera de servicio para su inspección. (Mora, 2020)

2.1.4. Mantenimiento preventivo

Las necesidades de mejora de los costes derivados de las bajas disponibilidades de la máquina y de las consiguientes paradas de producción llevaron a los técnicos de mantenimiento a programar revisiones periódicas con el objeto de mantener las máquinas en el mejor estado posible y reducir la probabilidad de fallo. Presenta la incertidumbre del coste que genera. ¿Hasta qué punto los períodos establecidos para las intervenciones de mantenimiento están sobredimensionados? ¿Se pueden reducir los períodos de intervención sin consecuencias nefastas para las máquinas, abaratando de esta manera el coste del mantenimiento? Todas estas preguntas carecen de respuestas precisas y limitan la eficacia del mantenimiento. Este mantenimiento, también conocido bajo el nombre de planificado, se realiza previo a que ocurra algún tipo de falla en el sistema. Como se hace de forma planificada, no como el anterior, se aprovechan las horas “ociosas”, para llevarlo a cabo. Este mantenimiento sí es predecible con respecto a los costos que implicará, así como también el tiempo que demandará. (Gamboa y Luna,2015).

2.1.5. Mantenimiento predictivo

Se fundamenta en realizar una serie de valoraciones o experimentos no invasivos a través de tecnología a todas las partes de la maquinaria que puedan dañarse, descomponerse o deteriorarse, pudiendo con esto pronosticar un fallo severo. La mayor parte de estas mediciones se realizan con las máquinas en marcha y sin obstaculizar la producción. (Galván, 2015)

2.1.5.1. Establecimiento de un sistema de mantenimiento predictivo

Según Loya (2020), para establecer el mantenimiento predictivo se debe medir y valorar una serie de parámetros de control periódicamente y para esto se requieren medios físicos (hardware), de gestión (software) y humanos. Los medios físicos son instrumentos que miden y registran datos, los programas de gestión manejan los datos captados con el fin de generar informes gráficos donde se puede distinguir si hay algún cambio. Los medios humanos deben ser personas con conocimiento en los equipos de medición ya que hacen las medidas rutinarias e interpretan los resultados.

La implantación del mantenimiento predictivo requiere ciertos pasos:

1. Preparación inicial.
2. Implantación.
3. Revisión de resultados.

1.- Preparación inicial. Aquí se recopila información importante para todo el proceso mediante los siguientes pasos: la definición de las máquinas, la identificación, estudio de características y calificación de importancia, la determinación de parámetros y técnicas de medidas.

Para cada máquina crítica se determinan parámetros y técnicas adecuadas para su control como son: la frecuencia de chequeo, el alcance de medidas de cada parámetro, la definición de rutas, la definición de alarmas para cada parámetro y la formación del personal.

2.- Implantación. Una vez preparada la implementación del sistema de mantenimiento predictivo, se sigue periódicamente las medidas con rutas y frecuencias: los chequeos y medidas periódicas, el registro y volcado de datos en el sistema, la valoración de niveles que indican un comportamiento anómalo y el análisis y diagnóstico de anomalías.

3.- Revisión de resultados. Una vez implantado el sistema de mantenimiento predictivo se debe llevar anualmente un análisis de resultados: El historial de medidas rutinarias y averías, el análisis de resultados y dispersión de datos y el cambio de parámetros o alarma, así como frecuencias de chequeo.

2.1.6. Introducción a los Ensayos No Destructivos (END).

Los ensayos no destructivos (END) son métodos de inspección y análisis que permiten evaluar las propiedades, condiciones y posibles defectos de un material o estructura sin alterar su funcionalidad o integridad física. Estos ensayos son fundamentales en la industria para garantizar la seguridad y confiabilidad de componentes críticos, permitiendo la detección temprana de fallas y la planificación de mantenimientos adecuados sin causar daños al objeto inspeccionado. Los END abarcan una variedad de técnicas, cada una basada en principios físicos específicos, como el ultrasonido, la radiografía y la termografía infrarroja, entre otros, que se utilizan para inspeccionar materiales de forma no invasiva (Shull, 2002).

Según Shull (2002), los ensayos no destructivos (END), se comenzaron a aplicar en la industria en la primera mitad del siglo XX, particularmente en la inspección de materiales en sectores como la aviación, la fabricación de armas, y la construcción, donde era crucial verificar la integridad de componentes sin dañarlos. La idea de aplicar estas técnicas en componentes mecánicos fue desarrollándose de manera independiente y en paralelo a su uso en medicina.

La American Society for Non-Destructive Testing (ASNT) se estableció en 1941, principalmente para abordar la necesidad de estandarizar y mejorar las técnicas de Ensayo no destructivos (END), en la industria, especialmente en el contexto de la creciente demanda de seguridad durante la Segunda Guerra Mundial. (Cartz,1995)

Según Reyna (2015), en la actualidad existen una variedad de ensayos que nos permiten analizar la integridad de un sistema o parte de esta sin dañarla. “Los ensayos no destructivos han sido definidos como las pruebas usadas para examinar o inspeccionar una parte, material o sistema sin perjudicar la utilidad de este en un futuro” (Non destructive testing handbook, 1996). La finalidad de utilizar estos ensayos es asegurar la integridad del producto o sistema, evadir fallas, dar ahorros al detectar a tiempo ciertas fallas que pueden ser solucionadas sin mucho esfuerzo.

La aplicación de los ensayos no destructivos tiene varios propósitos, los cuales son:

1. Asegurar la integridad/confiabilidad de un producto

Actualmente, las empresas que compran cualquier producto que le genere beneficios esperan que este cumpla con su función y sobre todo que tenga un tiempo de vida largo pues de esta manera fundamentan mejor su inversión. Si uno de los

productos falla, dependiendo el tipo de función que cumpla, puede generar gastos muy altos y sobre todo tiempos muertos que podrían generar molestias en clientes al no cumplir con los tiempos de entrega establecidos. (American Society for Nondestructive Testing, 2020; ISO 9712:2012).

2. Prevención de accidentes

Según Reyna (2015), “La confiabilidad simplemente para obtener conveniencia y beneficios no es suficiente, también debe ser para la protección de vidas humanas. Las pérdidas materiales son reemplazables pero las pérdidas humanas no, por tal razón es que un producto debe garantizar la protección del hombre. Los frenos de los automóviles no deben fallar al dar las curvas, los sistemas de izaje en las mineras no deben fallar, las turbinas de un avión no deben detenerse en pleno vuelo, cualquier evento que se produzca descrito en líneas anteriores puede provocar consecuencias irreversibles. El uso de los ensayos no destructivos, siempre y cuando sean ejecutados de la manera adecuada, nos permite prevenir accidentes fatales” (American Society for Nondestructive Testing, 2020; ISO 9712:2012).

3. Asegurar la satisfacción del cliente

Reyna (2015) afirma que “El entregar un producto de alta calidad, que tenga una larga duración, que cumpla con su función y que de seguridad al usuario permite que exista una buena reputación. Al cumplir con todas las exigencias del cliente, se logra tener su satisfacción”.

4. Soporte en diseño de productos

Los ensayos no destructivos permiten determinar ciertas características de productos terminados, lo cual ayuda a evaluar el diseño e indicar si son apropiados o si deben ser mejorados. Esto juega un papel muy importante, ya que se pueden obtener productos más resistentes, menos costosos y más confiables (Reyna, 2015).

5. Controlando los procesos de manufactura

En muchas ocasiones, para obtener un producto acabado, este debe pasar por muchos procesos. Si la calidad es evaluada al final y se detecta algún problema, es difícil saber con exactitud en qué parte del proceso se ha dado. Sin embargo, si se realizan controles de calidad después de cada proceso, se puede identificar en qué proceso se provocó el problema y, por lo tanto, corregirlo, ya sea cambiando de proceso o alterando los parámetros de este (American Society for Nondestructive Testing, 2020; ISO 9712:2012).

6. Reducción de costos de manufactura

El uso de ensayos no destructivos puede reducir los costos de manufactura cuando detecta características indeseadas en el material o componente en una fase temprana, eliminando así costos de reparación. (Reyna, 2015).

7. Manteniendo uniforme la calidad

Una vez que el nivel de calidad ha sido establecido, se obtiene un criterio de aceptación y ciertas tolerancias. Mediante ensayos no destructivos, pueden evaluarse los productos finales y definir si estos deben ser aceptados o rechazados, manteniendo de esta manera una uniformidad en la calidad de los productos finales. Este enfoque

asegura que los productos cumplan consistentemente con los estándares requeridos, lo que es crucial para la confiabilidad y seguridad operativa (American Society for Nondestructive Testing, 2020; ISO 9712:2012).

2.1.6.1. Técnicas de mantenimiento predictivo

Se pueden encontrar distintas técnicas que permiten la evaluación de los sistemas, cada una con características particulares, ventajas y limitaciones. A continuación, se detallarán las técnicas existentes y se discutirá su aplicación en la inspección de tanques de almacenamiento: PT (tintes penetrantes), MT (partículas magnéticas), RT (radiografía), UT (ultrasonido), AET (emisión acústica), ET (electromagnetismo), LT (fugas), IRT (térmico/infrarrojo para mantenimiento predictivo), VA (análisis de vibración para mantenimiento predictivo), MFL (magnetic flux leakage), y VT (visual) (Reyna, 2015).

a) Técnica de tintes penetrantes

Son inspecciones no destructivas que permiten identificar fisuras superficiales, esto se consigue al aplicar una tinta especial sobre una superficie limpia, después de un tiempo se quita la tinta y se coloca un líquido absorbente que extrae toda la tinta atrapada en las grietas superficiales, mostrando su presencia y forma. (Reyna, 2015).

b) Técnica de partículas magnéticas

Es otro ensayo no destructivo que se basa en la magnetización de un material ferromagnético al ser sometido a un campo magnético, se esparcen partículas magnéticas de pequeña dimensión que por efecto del campo magnético se orientan

siguiendo las líneas de flujo magnético existentes. Las fisuras se ponen de manifiesto por las discontinuidades que crean en la distribución de partículas. (Reyna, 2015).

c) Técnica de inspección radiográfica

Se usa para detectar defectos internos como grietas, burbujas o impurezas, se usan especialmente en uniones soldadas. Consiste en intercalar el elemento a radiografiar entre una fuente radioactiva y una pantalla fotosensible a la radiación. (Reyna, 2015).

d) Técnica de ultrasonido

Son ondas de frecuencia altas superiores a las que detecta el oído humano, en torno a los 20 kHz, este método se ha vuelto el más común para detectar grietas, fisuras por fatiga, corrosión o defectos de fabricación. Las ondas de sonido viajan a través del material disminuyéndose lentamente y son reflejadas a la interface, el HAZ reflejado es mostrado y analizado para definir la presencia y localización de fallas y discontinuidades, también permite estimar el tamaño lo que facilita llevar un seguimiento del estado y evolución. Esta técnica también se usa para identificar fugas localizadas en sistemas de vapor, aire o gas. (Reyna, 2015).

e) Técnica análisis de aceite

El análisis de aceite es una técnica predictiva que ofrece valiosa información, nos indica cuándo se debe intervenir o no en una máquina detectando fallas como:

Degradación del lubricante. - Adelanta o aplaza la sustitución de aceites evitando averías prematuras.

Desgaste de componentes. - Permite localizar con antelación el desgaste de cojinetes, rodamientos, engranajes, obturaciones, etc.

Entrada de contaminantes sólidos y líquidos. - Permite detectar el ingreso de contaminantes sólidos al sistema, por otra parte, detecta la humedad en el aceite o si hay una fuga entre el sistema de refrigeración y de aceite. (Reyna, 2015).

f) Técnica de termografía

“El mantenimiento predictivo cuenta con un método muy eficaz que se sustenta en el hecho de que cuando la temperatura de un equipo se incrementa es porque algo anormal está sucediendo en su operación” (Olarte C, Botero A, & Cañon Zabaleta, 2011). Este método más conocido como termografía ayuda a detectar fácilmente en cualquier componente fallos de una manera segura sin interrumpir el funcionamiento del equipo.

La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo que usa una herramienta que detecta variaciones de temperatura emitidas por objetos, usualmente los problemas se reflejan en una elevación de temperatura en la parte afectada.

g) Inspección Visual.

El método de inspección visual (VT) es uno de los ensayos no destructivos más antiguos y comunes empleados. Se ha utilizado en la inspección de una amplia variedad de componentes, que van desde piezas simples, como una bujía, hasta estructuras más complejas, como partes de aeronaves y recipientes a presión. Este método debe ser siempre la opción inicial como alternativa de inspección. (Reyna, 2015).

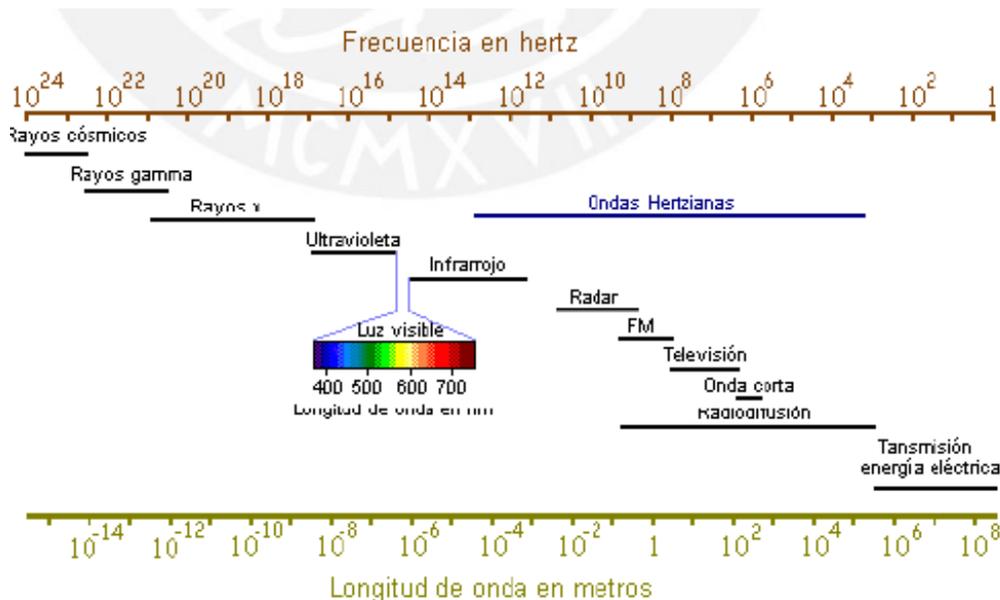
Fundamentos.

Según Reyna (2015), el método de inspección visual se basa en 2 aspectos importantes: las leyes fundamentales de la óptica y las propiedades de la radiación luminosa.

- i. **Agudeza Visual.** La agudeza visual es la mínima distancia a la que deben estar separados dos puntos para que puedan ser distinguidos en forma individual, observados a una distancia óptima (300 mm para el ojo humano). Para el ojo humano la agudeza visual es de 0.1 mm. (Reyna, 2015).
- ii. **Luz Visible.** Dentro del espectro de radiación electromagnética (Figura 7) solo existe una franja en la cual el ojo humano es sensible, esta zona es la denominada luz visible y está comprendida entre 390 nm y 720 nm. La máxima sensibilidad del ojo humano se da para longitudes de onda cercanas a los 555 nm. (Reyna, 2015).

Figura 7

Espectro de radiación Electromagnética



Fuente: Reyna (2015)

- iii. **Nivel de Iluminación.** Viene a ser la cantidad de luz que incide por encima de la zona de trabajo. El nivel de iluminación varía en función de la distancia de la fuente a la superficie iluminada y el ángulo de incidencia. La percepción del color, forma, contraste, profundidad y distancia pueden realizarse de buena manera a partir de los 100 lux. Es recomendable que el nivel de iluminación en zonas de inspección esté sobre los 1000 lux. (Reyna, 2015).

Mediciones y equipamiento.

Según Reyna (2015), el método de inspección visual tiene como herramienta principal el ojo humano. Si la inspección es realizada utilizando directamente el ojo se denomina inspección visual directa mientras que, si se utiliza alguna herramienta de apoyo debido a que no se tiene acceso directo, se denomina inspección remota.

En las inspecciones directas es apropiado utilizar galgas de medición (Figura 8) que nos permitan dimensionar tanto los elementos a inspeccionar como las discontinuidades y de esta forma determinar si estas están dentro del rango aceptable o si se tratan de un defecto el cual necesite reparación.

Dentro de las galgas de medición tenemos las siguientes (más comunes): BrigdeCam, V-WAC Gage, medidor de pierna, pie de rey, micrómetro, Hi-Lo, medidor de refuerzo, etc.

Figura 8

Galgas de medición para inspección visual



Fuente: Reyna (2015)

Estas galgas de medición nos permiten tomar distintas medidas que nos ayudan a evaluar la condición de un elemento.

h) Ultrasonido convencional

Según Reyna (2015), la aplicación de ultrasonido es una de las mejores opciones para detectar discontinuidades de los materiales en tiempo real. Las ventajas del ultrasonido convencional es que posee gran velocidad de inspección debido a que el sistema es electrónico, entrega resultados de forma inmediata, los cuales pueden ser analizados en tiempo real; no es perjudicial para el inspector, ni para el medio ambiente debido a que no utiliza fuentes de radiación que afecten la salud del personal; permite detectar desde pequeñas discontinuidades a grandes discontinuidades y evaluar espesores altos, de acuerdo al espesor original; también puede determinar la ubicación, dimensiones, y orientación de las discontinuidades.

Según Reyna (2015), los límites del ultrasonido es que se requiere personal calificado y experimentado, así como una correcta aplicación del ensayo; es necesario

de patrones para la referencia de la calibración del equipo, así como de acoplante para mejorar la transferencia de señales entre el transductor y el tanque a inspeccionar.

- i. **Descripción.** Es una técnica que se emplea para medir el espesor o ciertas propiedades físicas. La energía se origina en lo que se conoce como transductor, es un dispositivo capaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. (Reyna, 2015)
- ii. **Equipamiento.** Para inspección por ultrasonido convencional tiene como herramienta principal el equipo de marca Dakota el que permite inspeccionar espesores, En la figura 9, se muestra un equipo de ultrasonido convencional, con los accesorios necesarios para realizar una inspección por UT (ultrasonido). Con este equipo se identifica áreas de pérdida de espesor localizada. (Reyna, 2015)

Figura 9

Equipo de ultrasonido Dakota



- ✓ Equipo Dakota (1).
- ✓ Patrón Escalera (2).
- ✓ Acoplante - gel (3).
- ✓ Transductor. (4).

Fuente: Reyna (2015)

- iii. **Procedimiento de ensayo.** Para llevar a cabo una inspección no destructiva mediante este ensayo, es fundamental realizar primero una evaluación preliminar para entender las características del componente a examinar, como el tipo de material, el espesor a medir, los procesos de soldadura y el diseño de las juntas (dimensiones). Asegurarse de que el equipo esté libre de residuos, como

lodo, es crucial; por lo tanto, se recomienda realizar una limpieza mecánica antes de la inspección para garantizar una evaluación precisa. Además, es importante seleccionar el equipo y los accesorios adecuados.

Una vez que se han determinado las características de las estructuras a inspeccionar, se procede a elegir los accesorios necesarios. Por ejemplo, si se trata de un anillo de tanque con un espesor de 10 mm, es recomendable usar un transductor de alta frecuencia basado en los principios del ultrasonido. La calibración del equipo es esencial antes de realizar la inspección, ya que una calibración adecuada permitirá obtener medidas precisas de las discontinuidades y facilitará su correcta caracterización y localización.

Posteriormente, se deben tomar los datos de los espesores utilizando el equipo de ultrasonido y el acoplante correspondiente (gel), y estos datos serán analizados por personal especializado. (Reyna, 2015).

- iv. **Espesor mínimo requerido.** Los resultados de las mediciones realizadas en la presente inspección serán comparados con el valor del espesor mínimo requerido, debido a que la columna inspeccionada está compuesta por accesorios, se realizarán dos cálculos del espesor mínimo requerido debido a la diferente manera que influye la presión interna en estos y la condición estructural de las mismas. La metodología aplicada para determinar el mínimo espesor requerido para tanques en servicio se realizó de acuerdo con las normas API 653, API 570 y API 650.

Para determinar las fórmulas del espesor mínimo, rate de corrosión y vida remanente se realiza lo siguiente:

1ro: se calcula el espesor mínimo requerido por presión interna.

2do: se calcula el espesor mínimo requerido por condición estructural.

3ro: se compara los dos valores y se escoge el mayor valor de los dos como el espesor mínimo de retiro, este valor permite garantizar que la tubería tenga la suficiente resistencia para soportar los requisitos por presión y estructurales. Según Reyna (2015), para encontrar el valor mínimo requerido del espesor se debe aplicar la siguiente fórmula:

Por Presión Interna.

$$\text{Espesor M\u00ednimo Requerido} = \frac{P_i \cdot D + T \cdot \text{Corr}}{2(S \cdot E + P_i \cdot Y)}$$

Pi: Presi\u00f3n interna del componente(psi)

D: Di\u00e1metro externo del componente (in)

T. corr: Espesor de corrosi\u00f3n o perdida de material debido a la corrosi\u00f3n

S: Esfuerzo de fluencia (psi)

E: Eficiencia de la uni\u00f3n soldada.

Y: Factor de temperatura del material (0.4)

- v. **Rate de Corrosión.** Con los resultados obtenidos de las mediciones de espesores, se procede al cálculo del rate de corrosión según la norma API 570 Art. 7.1.1. Puesto que no se trata de la degradación de una zona localizada se tomará como espesor inicial los valores medidos en las zonas adyacentes que se encontraron en buen estado. (Reyna, 2015)

$$\text{Rate de Corrosión} = \frac{\text{Espesor Nominal} - \text{Espesor Mínimo}}{\text{años}}$$

Donde:

Espesor Nominal: Se tomará de la tabla API 574.

Espesor Mínimo: Se toma el menor valor medido en la presente inspección.

vi. **Vida remanente:**

Una vez calculada la velocidad de la corrosión y conociendo el espesor mínimo requerido podemos estimar la vida remanente en años según la norma API 570 para esta zona.

$$\text{Vida Remanente} = \frac{\text{Espesor Mínimo} - \text{Espesor de Retiro}}{\text{Rate de Corrosión}}$$

Parámetros de Retiro según la Vida Remanente: Los resultados han sido identificados teniendo en cuenta los siguientes parámetros. (Reyna, 2015)

Color Rojo: Vida remanente = 0 años.

- ✓ Indica que el componente ha alcanzado el final de su vida útil y requiere reemplazo inmediato.

Color Naranja : $0 \text{ años} \leq \text{Vida remanente} \leq 1.0 \text{ años}$.

- ✓ Indica que el componente está muy cerca del final de su vida útil y necesita una acción correctiva urgente.

Color Amarillo: $1.0 \text{ años} \leq \text{Vida remanente} \leq 2.0 \text{ años}$.

- ✓ Indica que el componente tiene una vida útil limitada y debe ser monitoreado de cerca y planeado para su reemplazo pronto.

Color Gris: $2.0 \text{ años} \leq \text{Vida remanente} \leq 3.0 \text{ años}$.

- ✓ Indica que el componente tiene una vida útil moderada restante, y aunque no es inmediato, se debe planificar su revisión y posible reemplazo.

Color Azul: Vida remanente $> 3.0 \text{ años}$.

- ✓ Indica que el componente tiene una vida útil considerable restante y no requiere acciones inmediatas.

Según Reyna (2015), este sistema proporciona una manera rápida y visualmente intuitiva para evaluar y priorizar las acciones de mantenimiento y reemplazo de los componentes de un sistema.

2.2. Marco Conceptual

a) Defectos

Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. (Gonzales y Vacca, 2020)

b) Discontinuidad

Es la falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto. (Gonzales y Vacca, 2020)

c) Espesor mínimo de retiro

Se determina considerando los espesores límite de retiro y seguridad, siendo el intervalo de espesores el que se encuentra entre el espesor límite de retiro y el espesor límite de seguridad. (Sarabia, 2017)

d) Mecanismo de daño

Procesos que inducen cambios perjudiciales en el tiempo y que afectan las condiciones o propiedades mecánicas de los materiales. (Sarabia, 2017)

e) Rate de corrosión

Es la variación del espesor (por año) por efecto de la corrosión, este deterioro depende de las condiciones ambientales y del tipo y condición en las cuales se encuentra el material de estudio. (Sarabia, 2017)

f) Vida remanente

Es el periodo probable, expresado en años, que se estima funcionará bien en el futuro, a partir de una determinada fecha, o sea dentro de los límites de eficiencia productiva, útil y económica para el propietario o poseedor.

g) AMEF

El análisis de modos de falla, sus efectos y criticidad (AMEF) es una metodología utilizada para la identificación y análisis sistemático de potenciales fallas en un proceso o sistema.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Diagnóstico de fallas de tanques

<i>Tanque de Cianuración</i>			REALIZADO POR:		<i>James Sarabia Cueva</i>			HOJA	1
<i>Tanque de solución Cianurada</i>			FECHA DE ANÁLISIS:		12/10/2024			DE	1
FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Posibles motivos)	N°	EFECTO DE FALLA (Que ocurre)	MODO DE CONTROL (Tarea propuesta)	PERIODICIDAD G5/G4 (mes)	REALIZADA POR
<i>Almacenamiento de solución cianurada.</i>	1	<i>No ser capaz de almacenar 100% su capacidad de trabajo</i>	1	<i>Perforación del fondo del tanque por corrosión, ocurrida 8 veces en dos años</i>	1	<i>La falla del tanque requiere la parada no planificada del Proceso Merrill Crowe y produce una parada de 16 horas en toda la línea principal de producción, además de los costos en reparación y limitar a las tareas ya planificadas</i>	<i>Aplicar ensayos no destructivos</i>	<i>3/6</i>	<i>Personal de Confiabilidad</i>
	2	<i>No ser capaz de almacenar 100% su capacidad de trabajo</i>	1	<i>Perforación del cuerpo (shell drilling), del tanque primer y segundo anillo por corrosión, ocurrida 13 veces en dos años</i>	1	<i>La falla del tanque requiere la parada no planificada del Proceso Merrill Crowe y produce una parada de 24 horas en toda la línea principal de producción, además de los costos en reparación y limitar a las tareas ya planificadas</i>	<i>Aplicar ensayos no destructivos</i>	<i>3/6</i>	<i>Personal de Confiabilidad</i>
	3	<i>Pérdida de fluido aleatorio</i>	1	<i>Perforación del accesorio del tanque por corrosión interna, ocurrida 7 veces en dos años</i>	1	<i>La falla del tanque requiere la parada no planificada del Proceso Merrill Crowe y produce una parada de 8 horas en líneas aleatorias de la producción, además de los costos en reparación y limitar a las tareas ya planificadas</i>	<i>Aplicar ensayos no destructivos</i>	<i>6</i>	<i>Personal de Confiabilidad</i>

3.2. Aplicación de Ensayos no destructivos a tanque

Inspección Visual

Ciente:	YANACOCHA	Fecha:	07/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



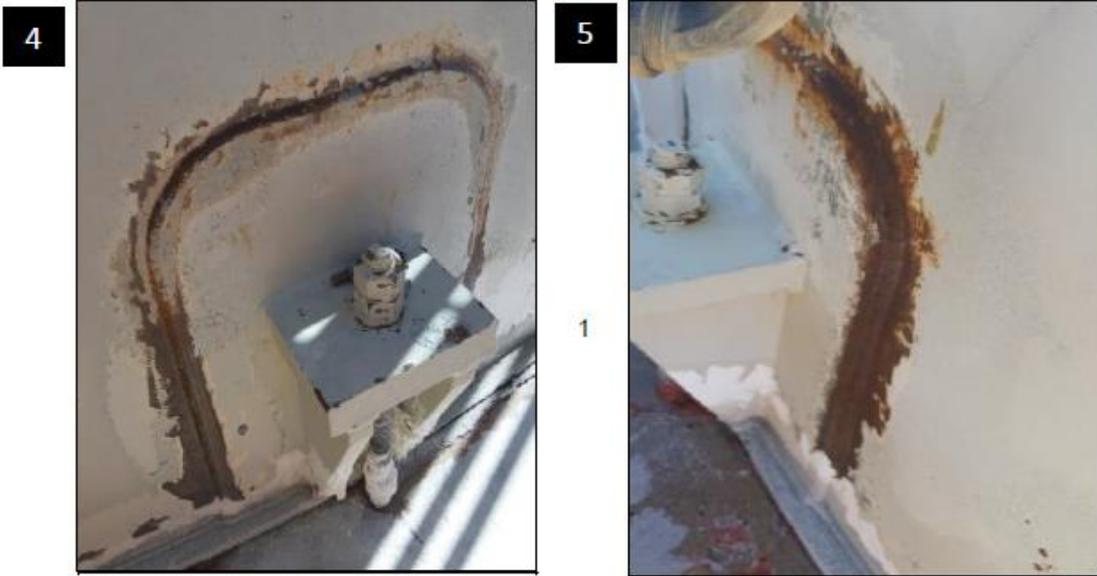
ESQUEMA DEL EQUIPO



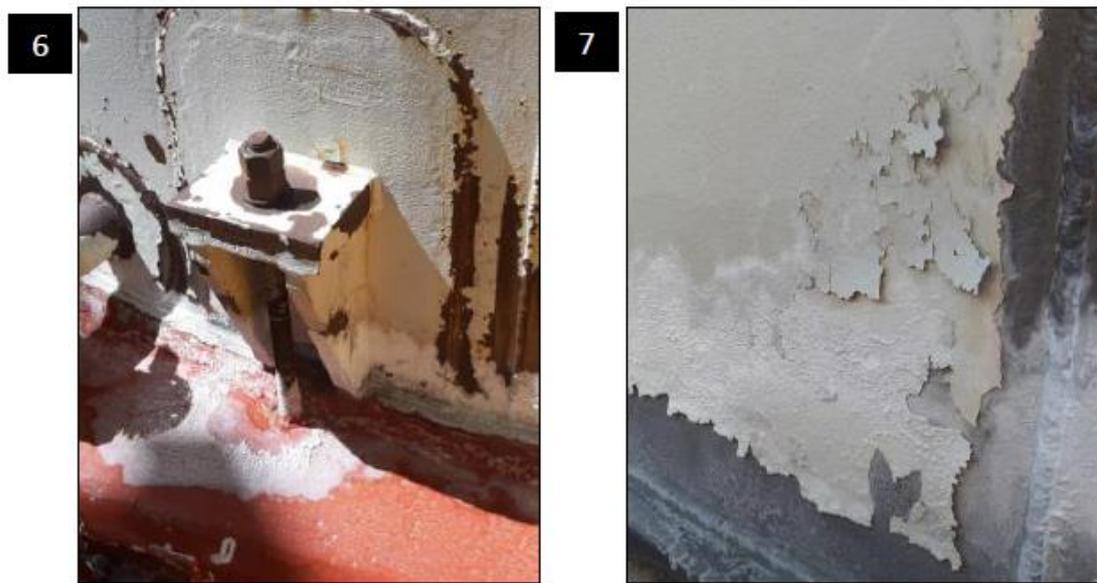
Equipo cuenta con su respectiva placa de identificación y su puesta a tierra.

Ciente:	YANACOCHA	Fecha:	07/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



Se evidencia desprendimiento de pintura y corrosión atmosférica en borde de sobreplanchas.



Se evidencia desprendimiento de pintura y corrosión atmosférica en pernos de anclaje y Shell parte externa del equipo.

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	07/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



En la inspección visual(VT) no se evidencia daños en el shell parte interna del tanque como corrosión y pitting.



En la inspección visual(VT) del fondo del tanque se evidencia parche de 30x23cm, además en el fondo no se observa daños de corrosión y pitting en planchas.

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	07/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA

12



13



Se observa mal procedimiento de soldadura en el cordón central del fondo del tanque parte interna reportándose para su inmediata reparación.

14



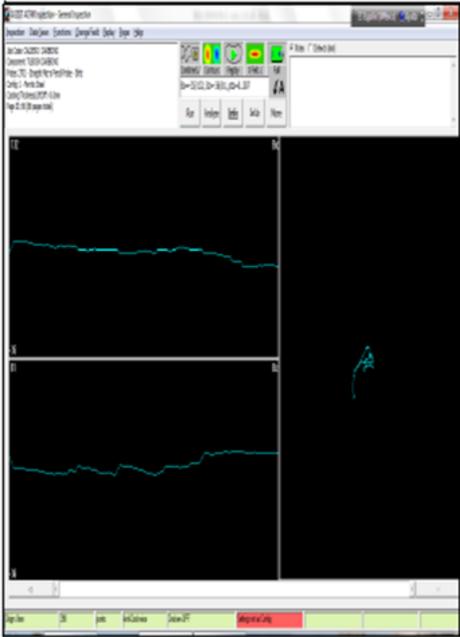
15



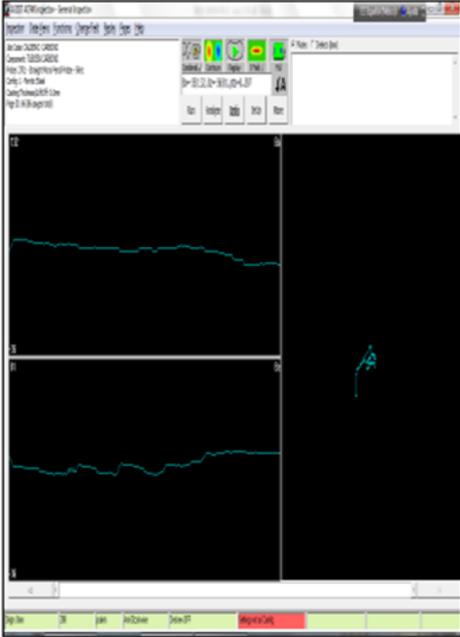
Se observa mal procedimiento de soldadura en el cordón central del fondo del tanque parte interna reportándose al personal de mantenimiento de MYSR para su inmediata reparación.

ACFM - Medición de campos de corriente alternativa.

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	08/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		
TANQUE DE SOLUCION CIANURADA					
Datos Generales					
Equipo N°	TANQUE DE SOLUCION CIANURADA	Código SAP	3000-50-20-03-TAN3005		
Fecha de Inspección	08/12/2023	Criterio de Aceptación	No Presenta		
Ultima Inspección	----	Año de Fabricación	1/01/2006		
Área	YANACOCHA NORTE	N° de Serie	-		
Observaciones					
Estado de la Superficie	Limpio - Desengrasado				
Equipo	TCS				
Procedimiento	NDT-SGS-P-ACFM-05				
Bobina	255-3110				
Zona Inspeccionada	Área Examinada		Localización de Discontinuidad	Longitud de Discontinuidad (mm)	Condicion
	Entera	Especifica			
Proyeccion chapa anular zonas puntuales		X	---	---	ACEPTADO
Cruces entre primer y segundo anillo puntual		X	---	---	ACEPTADO
Cordones soldadura transversal puntuales		X	---	---	ACEPTADO
Cordones soldadura horizontales puntuales		X	---	---	ACEPTADO



Muestra la imagen de calibración con el bloque patrón

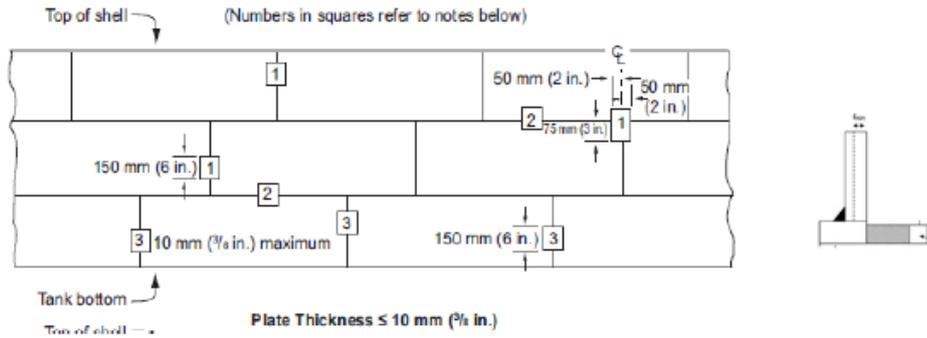


Muestra inspección libre de indicaciones

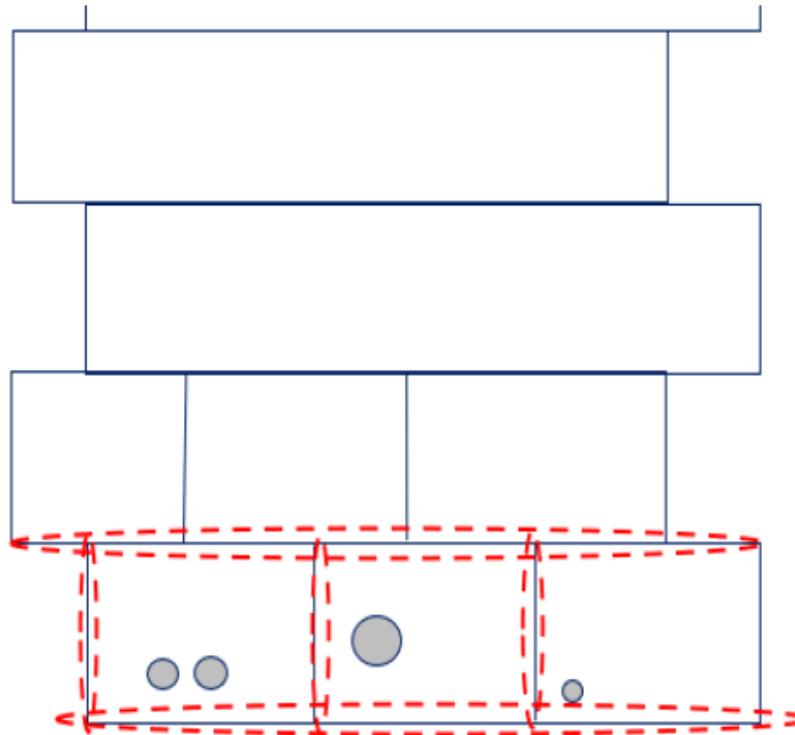
Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	08/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
Nº informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA

API STANDARD 650



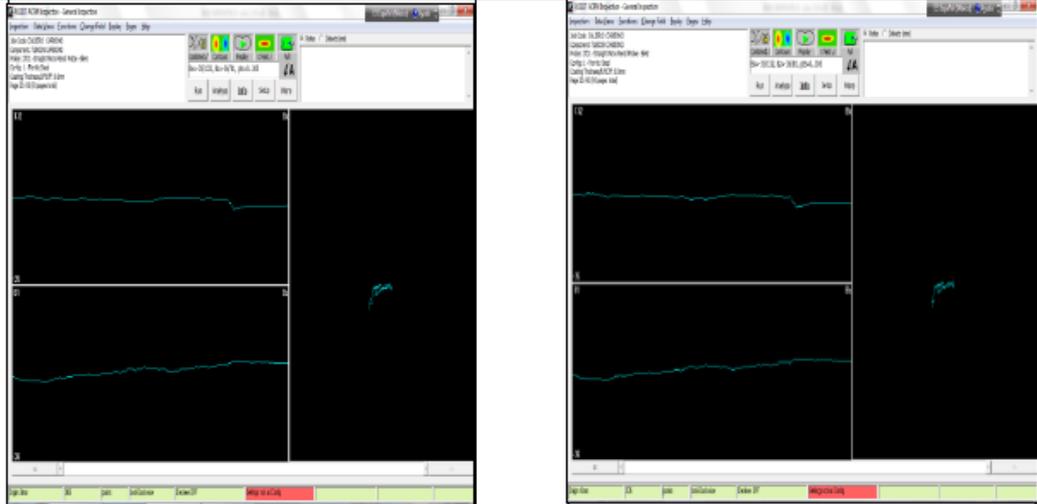
ESQUEMA DONDE SE REALIZA LA INSPECCION EN ZONAS CRITICAS PARA INSPECCION ACFM



ESQUEMA DEL TANQUE DONDE SE REALIZA LA INSPECCION

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	08/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



No se evidencia daños en cordones

API Recomendación de Práctica 577

9.5 Medición de campo de corriente alterna (ACFM)

La técnica ACFM es una técnica electromagnética sin contacto que es capaz de detectar y dimensionar defectos de rotura de superficies en una variedad de materiales diferentes y a través de recubrimientos de diferentes espesores. Esta técnica se puede utilizar para inspeccionar geometrías complejas como boquillas, ranuras anulares y áreas de rectificado. Requiere una preparación mínima de la superficie y se puede utilizar a temperaturas elevadas de hasta 900 °F (482 °C). Sin embargo, es menos sensible y más propenso a errores del operador que WFMT. ACFM se utiliza para la evaluación y seguimiento de grietas existentes.

ACFM utiliza una sonda similar a una sonda de corrientes parásitas e introduce una corriente alterna en una piel delgada cerca de la superficie de cualquier conductor. Cuando se introduce una corriente uniforme en el área bajo prueba, si está libre de defectos, la corriente no se altera. Si el área tiene una grieta, la corriente fluye alrededor de los extremos y las caras de la grieta. Sobre la superficie existe un campo magnético asociado con esta corriente alterna uniforme y se altera si hay una grieta en la superficie.

La sonda se escanea longitudinalmente a lo largo de la soldadura con la parte frontal de la sonda paralela y adyacente al borde de la soldadura. Se miden dos componentes del campo magnético: B_x a lo largo del defecto, que responde a cambios en la densidad de corriente superficial y da una indicación de la profundidad cuando la reducción es mayor; y B_z , que da una respuesta negativa y positiva en cada extremo del defecto causado por los polos generados por corriente que proporcionan una indicación de la longitud. Luego se utiliza una medición física de la longitud del defecto indicada por la posición de la sonda junto con un programa de software para determinar la longitud y profundidad exactas del defecto.

Durante la aplicación de la técnica ACFM se miden en tiempo real los valores reales del campo magnético. Se utilizan con tablas de búsqueda de modelos matemáticos para eliminar la necesidad de calibrar el instrumento ACFM utilizando una pieza de calibración con defectos artificiales como ranuras.

Prueba en Vacío

Cliete:	YANACocha	Fecha:	09/12/2023	Revisión:	0	
Ubicación:	YANACocha NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3003			
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT			
TANQUE DE SOLUCION CIANURADA						
Datos Generales						
Equipo N°	CAJA DE VACIO XXXXX	Código SAP	3000-50-20-03-TAN3005			
Fecha de Inspección	09/12/2023	Criterio de Aceptación	API 650			
Ultima Inspección	-	Norma de procedimiento	ASME V			
Área	Procesos	Ubicación	YANACocha NORTE			
Unidad	Procesos	Código de Fabricación				
Servicio		Tratamiento Térmico	-			
Procedimiento	NDT-SGS-P-PT-09	Presión de Prueba	-			
Numero de orden:	FALTA OT	Material	Acero al carbono			
Datos de Ensayo.						
					Observaciones	
Estado de la Superficie	Limpio - Desengrasado					
Sistema de Inspección	Caja de vacío.					
Presión de vacío.	-0.5 psi					
Secado	Trapo Seco					
Tiempo de Evaluación	2 min					
Intensidad de Iluminación	1000 Lux					
Elemento para crear vacío.	Compresora.					
Solución.	Jabonosa					
Ancho de Caja de vacío	xxxx					
Largo de caja de vacío	xxxx					
Punto Inspección	Equipo	N° Indicación	Tipo Indicación	Dimensiones Ind. (mm) Largo Ancho	Long. Insp. (mm)	Descripción
CORDON 1	TANGUE	-		-	-	
CORDON 2	TANGUE	-		-	-	
CORDON 3	TANGUE					
Longitud Total de Inspección.					2	
Conforme Sin Indicación		<input checked="" type="checkbox"/>		ACEPTADO		
Conforme Con Indicación		<input type="checkbox"/>				
Rechazado		<input type="checkbox"/>				
Equipo N°						

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	09/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:		3000-50-20-03-TAN3005	
Nº informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



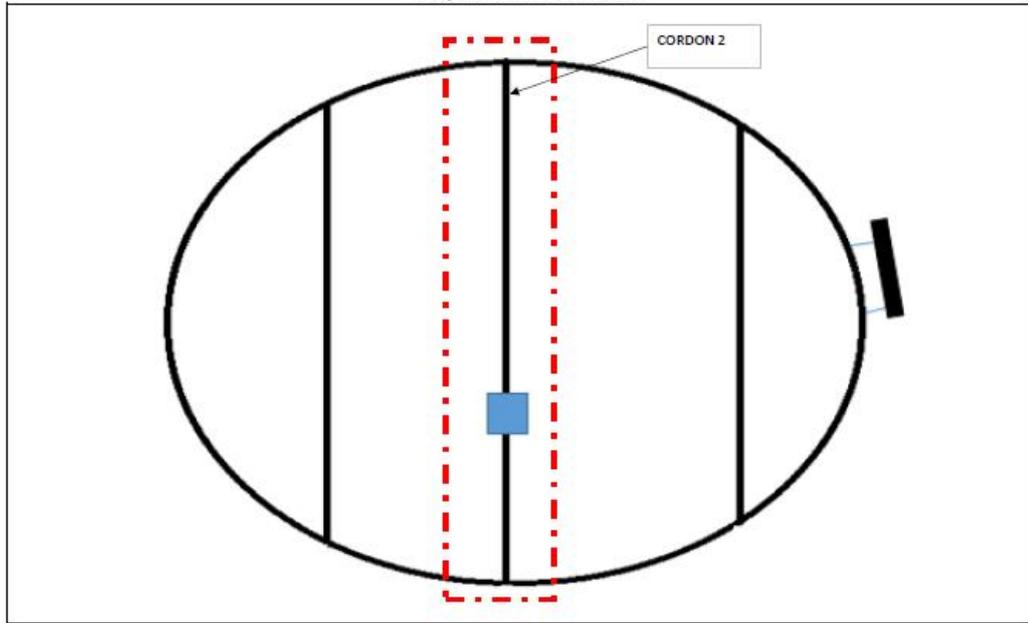
Se realizó la prueba de vacío al cordón #1 en el fondo del tanque



Se realizó la prueba de vacío al cordón #1 en el fondo del tanque, no se evidencia indicaciones relevantes

Ciente:	YANACOCHA	Fecha:	09/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:		3000-50-20-03-TAN3005	
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:		FALTA OT	

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



CORDON #2



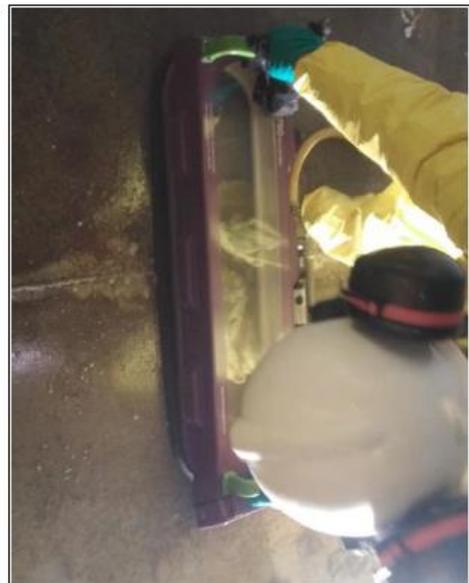
Inspección del cordón de soldadura #2

Cliete:	YANACOCHA	Fecha:	09/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



Se realizó la prueba de vacío al cordón #2 en el fondo del tanque



Se realizó la prueba de vacío al cordón #2 en el fondo del tanque, no se evidencia indicaciones relevantes

Cliete:	YANACOCHA	Fecha:	09/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:		3000-50-20-03-TAN3005	
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:		FALTA OT	

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



Se realizó la prueba de vacío al cordón #3 en el fondo del tanque



Se realizó la prueba de vacío al cordón #3 en el fondo del tanque, no se evidencia indicaciones relevantes

Tintes penetrantes

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	10/12/2023	Revisión:	0	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-10-20-03-TAN3005			
Nº Informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT			
TANQUE DE SOLUCION CIANURADA						
Datos Generales						
Equipo N°	TANQUE DE SOLUCION CIANURADA	Código SAP	3000-50-20-03-TAN005			
Fecha de Inspección	10/12/2023	Criterio de Aceptación	API 650			
Ultima Inspección	-	Norma de procedimiento	ASME V			
Área	Procesos	Ubicación	YANACOCHA NORTE			
Unidad	Procesos	Código de Fabricación				
Servicio		Tratamiento Térmico	-			
Procedimiento	NDT-SGS-P-PT-02	Práctón de Prueba	-			
Numero de orden:	FALTA OT	Materia	Acero al carbono			
Datos de Ensayo.						
					Observaciones	
Estado de la Superficie	Limpio - Desengrasado					
Sistema de Inspección	Tipo II - Método C					
Removedor	Removedor SKC - S					
Penetrante	SKL - SP2					
Revelador	SKD - S2					
Limpieza Previa	Solvente					
Secado	Trapo Seco					
Método de Aplicación del Penetrante	Directa Por Aspersión					
Tiempo del Penetrante	10 min					
Método de Limpieza Intermedia	Limpieza Manual					
Método de Limpieza del Revelador	Directa Por Aspersión					
Tiempo de Evaluación	10 min					
Intensidad de Iluminación	1000 Lux					
Punto Inspección	Equipo	N° Indicación	Tipo Indicación	Dimensiones Ind. (mm) Largo Ancho	Long. Insp. (mm)	Descripción
CORDON ENTRE SHELL Y FONDO	TANQUE	-		-	-	
		-		-	-	
Longitud Total de Inspección:					2	
Conforme Sin Indicación		<input checked="" type="checkbox"/>		ACEPTADO		
Conforme Con Indicación		<input type="checkbox"/>				
Rechazado		<input type="checkbox"/>		Equipo N°		

Cliete:	YANACOCHA	Fecha:	10/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:		3000-50-20-03-TAN3005	
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:		FALTA OT	

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



Se realizó la aplicación de liquido penetrante al cordón de soldadura entre shell y fondo del tanque parte interna.



Se realizó la aplicación de liquido penetrante a cordón de soldadura entre shell y fondo del tanque parte interna.

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	10/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3003		
Nº informe:	NDT-20-437-VN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



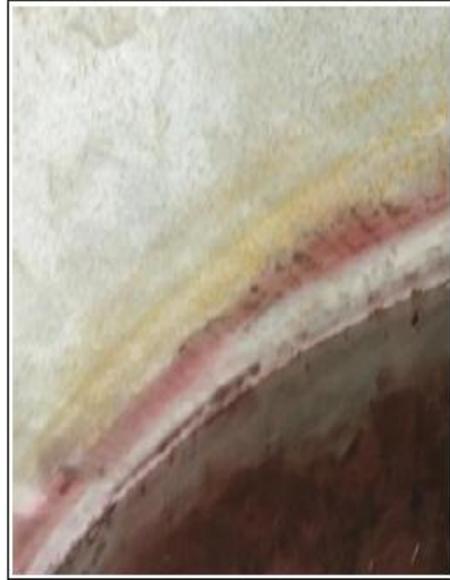
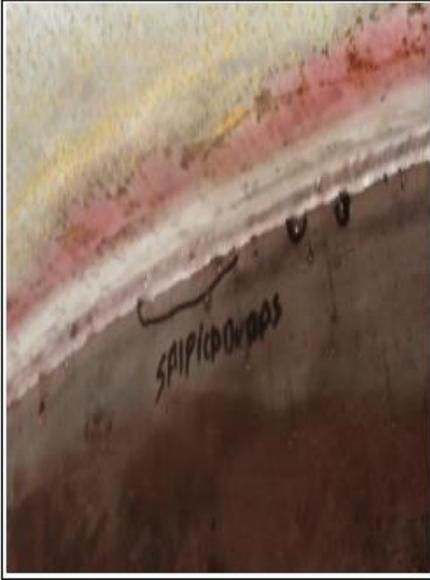
Se evidencia socavaciones en zonas puntuales y salpicaduras de soldadura.



Se evidencia socavaciones en zonas puntuales y salpicaduras de soldadura.

Cliete:	YANACOCHA	Fecha:	10/12/2023	Revision:	
Ubicaci3n:	YANACOCHA NORTE	C3digo SAP:		3000-50-20-03-TAN3005	
Nº informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:		FALTA OT	

TANQUE DE SOLUCI3N CIANURADA



Se evidencia socavaciones en zonas puntuales y salpicaduras de soldadura.

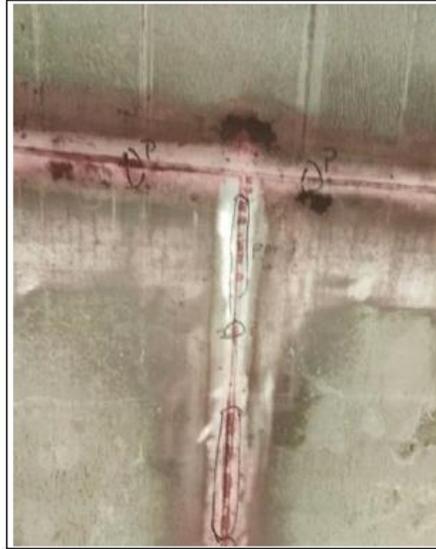


Se evidencia socavaciones en zonas puntuales y salpicaduras de soldadura.

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:		Revisión:	0	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005			
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT			
TANQUE DE SOLUCION CIANURADA						
Datos Generales						
Equipo N°	TANQUE DE SOLUCION CIANURADA	Código SAP	3000-50-20-03-TAN3005			
Fecha de Inspección		Criterio de Aceptación	API 650			
Última Inspección	-	Norma de procedimiento	ASME V			
Área	Procesos	Ubicación	YANACOCHA NORTE			
Unidad	Procesos	Código de Fabricación				
Servicio		Tratamiento Térmico	-			
Procedimiento	NDT-SGS-P-PT-02	Presión de Prueba	-			
Numero de orden:	FALTA OT	Material	Acero al carbono			
Datos de Ensayo.						
					Observaciones	
Estado de la Superficie	Limpio - Desengrasado					
Sistema de Inspección	Tipo II - Método C					
Removedor	Removedor SKC - S					
Penetrante	SKL - SP2					
Revelador	SKD - S2					
Limpieza Previa	Solvente					
Secado	Trapo Seco					
Método de Aplicación del Penetrante	Directa Por Aspersión					
Tiempo del Penetrante	10 min					
Método de Limpieza Intermedia	Limpieza Manual					
Método de Limpieza del Revelador	Directa Por Aspersión					
Tiempo de Evaluación	10 min					
Intensidad de Iluminación	1000 Lux					
Punto Inspección	Equipo	N° Indicación	Tipo Indicación	Dimensiones Ind. (mm) Largo Ancho	long. Insp. (mm)	Descripción
CORDON 1	TANQUE	-		-	-	LIBRE DE INDICACIONES RELEVANTES
CORDON 2	TANQUE	-		-	-	
CORDON 3	TANQUE					
CORDON 4	TANQUE					
CORDON 5	TANQUE					
CORDON 6	TANQUE					
Longitud Total de Inspección.					2	
Conforme Sin Indicación		<input checked="" type="checkbox"/>		ACEPTADO		
Conforme Con Indicación		<input type="checkbox"/>				
Rechazado		<input type="checkbox"/>				
		Equipo N°				

Ciente:	YANACOCHA	Fecha:	10/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



Se evidencia porosidades de fabricación de forma redondeada y no hay rastros de corrosión, las formas están bien definidas, en total se encontraron 5 zonas en el cordón vertical #3



Se evidencia porosidades de fabricación de forma redondeada y no hay rastros de corrosión, las formas están bien definidas en total, se encontraron 5 zonas en el cordón vertical #3

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	10/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:		3000-50-20-03-TAN3005	
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:		FALTA OT	

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



Se realizó la aplicación de liquido penetrante al cordón de soldadura del man hole y tubería de descarga en la parte interna del tanque.



Se realizó la aplicación de liquido penetrante al cordón de soldadura del man hole y tubería de descarga en la parte interna del tanque.

Ciente:	YANACOCHA	Fecha:	10/12/2023	Revisión:	
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA



Se evidencia porosidades de fabricación de forma redondeada y no hay rastros de corrosión, las formas están bien definidas, en total se encontraron 15 en diferentes zonas.



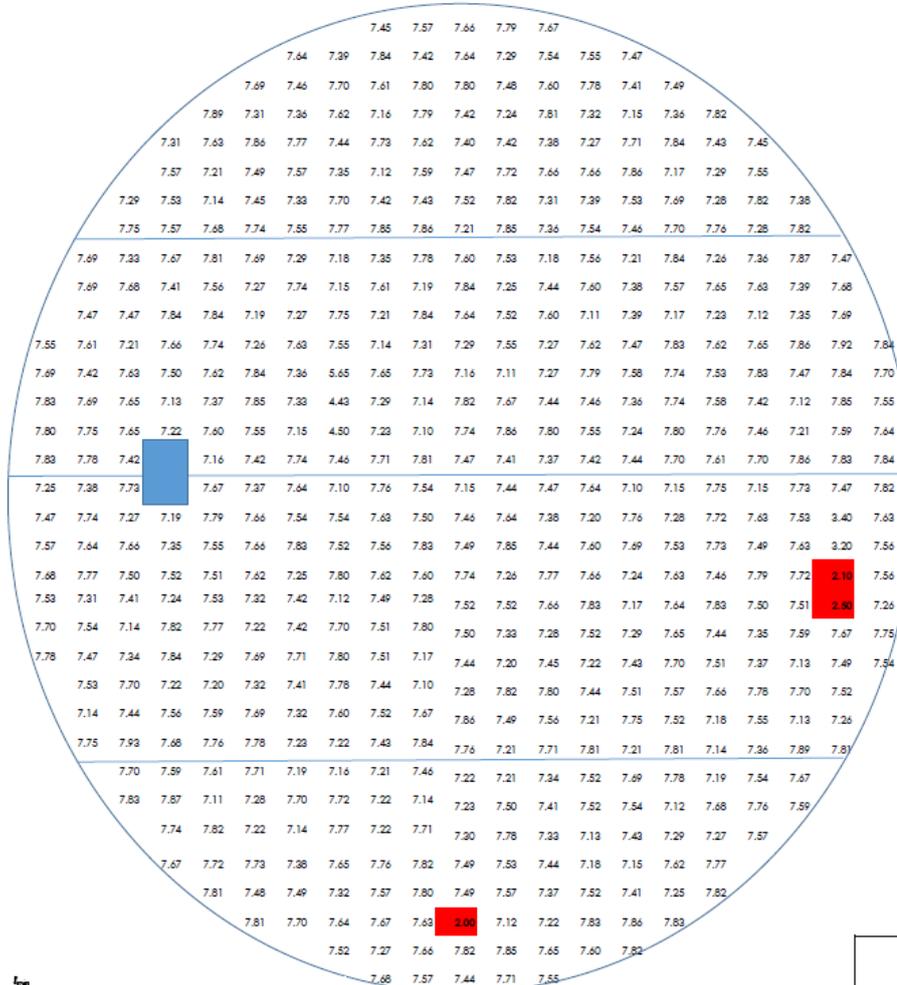
Se evidencia porosidades de fabricación de forma redondeada y no hay rastros de corrosión, las formas están bien definidas, en total se encontraron 15 en diferentes zonas.

Prueba de Ultrasonido

Cliente:	YANACOCHA	Fecha:	5/12/2023	Revisión:	0																																																												
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3003																																																														
Nº de Informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT																																																														
TANQUE DE SOLUCION CIANURADA																																																																	
GRAFICO ENVOLVENTE																																																																	
Equipo	Equipo:	NDT SYSTEMS																																																															
	Modelo:	TG110-DL																																																															
	Nº de serie:	78298																																																															
	DB referencia:	48dB																																																															
	Fecha Calibración:	8/02/2024																																																															
Transductor:	Transductor:	Dual																																																															
	Tipo:	Dual																																																															
	S/N:	-																																																															
	Frecuencia:	5Mhz																																																															
Patrón	Patrón:	Patrón escalera																																																															
	Superficie escaneo:	4 tomas																																																															
	Modo Inspección:	E-E																																																															
Procedimiento:	NDT-808-P-UT-07																																																																
<p>LEYENDA DE ESPESORES</p> <p>Fugas: ■</p> <p>Espesores cercanos a rechazo: ■</p> <p>Ventanas inspección parte interna: </p>																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="12">RESULTADOS DE MEDICIONES (mm)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>MIN</th> <th>MAX</th> <th>PROMEDIO</th> <th></th> <th>MIN</th> <th>MAX</th> <th>PROMEDIO</th> <th></th> <th>MIN</th> <th>MAX</th> <th>PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Anillo 1</td> <td>5.34</td> <td>5.64</td> <td>5.50</td> <td>Anillo 4</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Anillo 7</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Anillo 2</td> <td>1.00</td> <td>5.76</td> <td>5.20</td> <td>Anillo 5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Anillo 8</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Anillo 3</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Anillo 6</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						RESULTADOS DE MEDICIONES (mm)													MIN	MAX	PROMEDIO		MIN	MAX	PROMEDIO		MIN	MAX	PROMEDIO	Anillo 1	5.34	5.64	5.50	Anillo 4	-	-	-	Anillo 7	-	-	-	Anillo 2	1.00	5.76	5.20	Anillo 5	-	-	-	Anillo 8	-	-	-	Anillo 3	-	-	-	Anillo 6	-	-	-				
RESULTADOS DE MEDICIONES (mm)																																																																	
	MIN	MAX	PROMEDIO		MIN	MAX	PROMEDIO		MIN	MAX	PROMEDIO																																																						
Anillo 1	5.34	5.64	5.50	Anillo 4	-	-	-	Anillo 7	-	-	-																																																						
Anillo 2	1.00	5.76	5.20	Anillo 5	-	-	-	Anillo 8	-	-	-																																																						
Anillo 3	-	-	-	Anillo 6	-	-	-																																																										

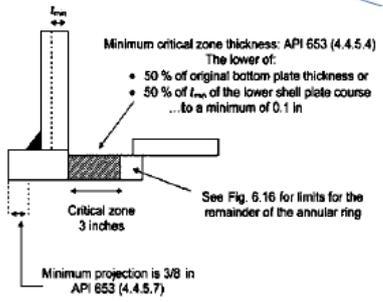
Cliete:	YANACOCHA	Fecha:	5/12/2023	Revisión:	0
Ubicación:	YANACOCHA NORTE	Código SAP:	3000-50-20-03-TAN3005		
N° de Informe:	NDT-20-437-YN	Numero de orden:	FALTA OT		

TANQUE DE SOLUCION CIANURADA
GRAFICO FONDO



LEYENDA DE ESPEORES

Espeor rechazados	
Espeores cercanos a rechazo	
Parche	



RESULTADOS DE MEDICIONES (mm)		
PISO DE TANQUE		
MIN	MAX	PROMEDIO
2.00	7.86	7.48

RESULTADOS DE MEDICIONES (mm)		
CHAPA ANULAR		
MIN	MAX	PROMEDIO
2.10	7.92	7.35

RESULTADOS DE MEDICIONES (mm)		
ZONA CRITICA		
MIN	MAX	PROMEDIO
7.14	7.84	7.65

UNIDAD / AREA		EQUIPO ID (MAIN LINE)	TIPO DE EQUIPO	PWHT (OR OTHER)		MATERIAL	
YANACOCHA NORTE			TANQUE	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> CS <input type="checkbox"/> SS <input type="checkbox"/> OTHER
FECHA DE INSPECCION	DESCRIPCION						
	TANQUE ATMOSFERICO		<input checked="" type="checkbox"/> SERVICIO NORMAL <input type="checkbox"/> RE CLASIFICADO <input type="checkbox"/> ALTERADO <input type="checkbox"/> N/A				
TIPO DE EVENTO:							P & ID REVIEWD
							<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A
CLASE DE SERVICIO		NUMERO DE ORDEN			REVESTIMIENTO		
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4				<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO
CONDICION GENERAL: <input type="checkbox"/> ACEPTADO <input type="checkbox"/> RECHAZADO <input type="checkbox"/> REPARACION <input type="checkbox"/> MODIFICACION /ALTERACION							
INSPECTOR		INSTRUCCIONES ESPECIALES Y NOTAS					
Ing. James Sarabia Cueva							
REASON FOR EVENT:							
<input type="checkbox"/> FALLA	<input type="checkbox"/> REPARACION REQUERIDA	<input type="checkbox"/> REPARACION EMERGENCIA	<input checked="" type="checkbox"/> INSPECCION PROGRAMA				
<input type="checkbox"/> REQUERI. ESPECIAL	<input type="checkbox"/> PARADA SIN PROGRAMAR	<input type="checkbox"/> PARADA DE EMERGENCIA	<input type="checkbox"/> INSPECCION POR ENTES REGULATORIOS				
<input type="checkbox"/> PARADA PROGRAMADA	<input type="checkbox"/> INSPECCION PLANIFICADA	<input type="checkbox"/> OTRAS EMERGENCIA	<input type="checkbox"/> OTRAS RAZONES DE INSPECCION				
CODIGO DE CONDICION	3	2	1	0			
Condición externa de tanques de procesos (todos los componentes asociados)	Daño mayor, falla u otro ítem relacionado con la seguridad: Requiere inmediata atención antes de continuar en servicio o arranque.	Daño o falla: Requiere reparación durante próxima programación.	Menor daño o deteriorización: Reevaluar en concordancia con intervalo de inspección.	Condición actual: Aceptable.	N/A		Modo de condición
NOTAS Y OBSERVACIONES							
FUNDACIONES / SOPORTES ACERO AREA CIRCULAR							
1	Paredes del recinto						
2	Goma sello del recinto						
3	Drenaje del recinto						
4	Drenaje del tanque						
5	Anillo de concreto						
6	Apoyos sobre el terreno						
7	Chapa anular piso						
8	Soportes Metálicos						
9	Fugas del piso						
10	Otros						
ACCESO							
1	Escalera						
2	Pasarelas						
3	Plataforma						
ENVOLVENTE DEL TANQUE							
1	Corrosión o pitting atmosférico						
2	Corrosión asistida por el medio						
3	Fallas en costuras						
4	Hendiduras (crevice)						
5	Deformaciones						
6	Placa de identificación						
7	Fugas						
8	Puesta a tierra						
9	Recubrimiento exterior						
10	Recubrimiento interior						
11	Otros						

3.4. Seguimiento y control

ACCESORIOS / CONEXIONES ENVOLVENTE																											
1	Corrosión o pitting atmosférico																										
2	Corrosión asistida por el medio																										
3	Hendiduras (crevice)																										
4	Fallas en costuras																										
5	Fugas																										
6	Sistema de auto medición																										
7	Indicador de temperatura																										
8	Indicador de nivel																										
9	Drenaje del piso																										
10	Mezclador																										
11	Pasa Hombres (MANHOLE)																										
12	Otro (especificar)																										
PISO DEL TANQUE																											
1	Adelgazamiento																										
2	Pitting																										
3	Deformaciones																										
4	Otros																										
PERDIDA DE ESPESOR UNIFORME Y LOCALIZADO CORROSION																											
1	Evidencia de fisuramiento (SCC)																										
2	Corrosión Pitting.																										
3	Pintura Levantada																										
4	Corrosión bajo insolación CUI																										
5	Corrosión debajo de liner y depósitos																										
6	Corrosión en Pernos																										
7	Galvánica Corrosión																										
8	Atmosférica Corrosión																										
MECANISMOS DE FALLA MECANICA																											
1	Erosión																										
2	Fatiga mecànica																										
3	Fractura fràgil																										
NDT ADICIONAL																											
1	TINTES PENETRANTES																										
2	PARTICULAS MAGNETICAS																										
3	ULTRASONIDO HAZ RECTO																										
4	ULTRASONIDO HAZ ANGULAR																										
5	ULTRASONIDO SEMIAUTOMATICO																										
6	ONDA GUIADAS																										
7	DUREZA																										
8	MFL																										
9	REPLICAS METALOGRAFICAS																										
10	ACFM																										
11	PRUEBAS DE PRESION																										
12	PRUEBAS VALVULA DE VACIO																										
CALCULOS																											
1	Medición de espesor																										
2	Cálculos de vida remanente																										
EVALUACION DE INSPECCION (NARRATIVA)																											
OBSERVACIONES:																											
RECOMENDACIONES:																											
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Ing. James Sarabia Cueva</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">INSPECTOR DE REGISTRO</td> <td style="text-align: center;">FECHA</td> <td style="text-align: center;">FECHA</td> <td style="text-align: center;">FECHA</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; text-align: center;"> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SUPERVISOR DE REGISTRO</td> <td style="text-align: center;">FECHA</td> <td style="text-align: center;">FECHA</td> <td style="text-align: center;">FECHA</td> </tr> </table>												Ing. James Sarabia Cueva				INSPECTOR DE REGISTRO	FECHA	FECHA	FECHA					SUPERVISOR DE REGISTRO	FECHA	FECHA	FECHA
Ing. James Sarabia Cueva																											
INSPECTOR DE REGISTRO	FECHA	FECHA	FECHA																								
SUPERVISOR DE REGISTRO	FECHA	FECHA	FECHA																								

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. La evaluación realizada a los tanques de cianuración del proceso Merrill Crowe en Minera Yanacocha revela que la empresa no ha demostrado una preocupación adecuada por contar con una gerencia o departamento de mantenimiento con personal capacitado en técnicas avanzadas de ensayos no destructivos. Actualmente, solo hay dos personas encargadas de programar el mantenimiento de los equipos de la planta cada treinta días. Esta programación carece de una planificación basada en conocimientos de confiabilidad de equipos o en técnicas modernas de mantenimiento predictivo. Como resultado, la falta de una estrategia de mantenimiento bien fundamentada puede comprometer la confiabilidad y eficiencia operativa de los tanques.

4.1.2. Como resultado de la aplicación de ultrasonido convencional, se obtuvieron indicaciones que pueden ser clasificadas como relevantes o no relevantes. Las indicaciones relevantes se consideran discontinuidades o defectos. En este caso, el ultrasonido ayudó a identificar discontinuidades en la estructura. La aplicación de esta técnica fue realizada por personal capacitado en ensayos no destructivos (END) con certificación en niveles I y II, quienes lograron evidenciar lo siguiente:

- ✓ Se realizó la comparación de los espesores del primer anillo en diferentes zonas aleatorias del tanque. Los resultados obtenidos de esta evaluación son los siguientes:

Espesor nominal original:	6.00 mm		Porcentaje del espesor original:	100%	
Espesor promedio actual:	5.48 mm		Porcentaje del espesor perdido:	-10%	
Espesor mínimo actual:	5.34 mm		Porcentaje del espesor mínimo:	42%	
Cálculo mínimo estructural:	2.50 mm		Porcentaje del espesor remanente:	49%	
Cálculo mínimo API 653:	1.15 mm				

Se llevó a cabo la comparación de los espesores del segundo anillo en diversas zonas aleatorias del tanque. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de esta evaluación:

Espesor nominal original:	6.00 mm		Porcentaje del espesor original:	100%	
Espesor promedio actual:	5.20 mm		Porcentaje del espesor perdido:	-48%	
Espesor mínimo actual:	1.00 mm		Porcentaje del espesor mínimo:	42%	
Cálculo mínimo estructural:	2.50 mm		Porcentaje del espesor remanente:	10%	
Cálculo mínimo API 653:	0.86 mm				

Se llevó a cabo la comparación de los espesores del fondo en diversas zonas aleatorias del tanque. Los resultados obtenidos de esta evaluación son los siguientes:

Espesor nominal original:	8.00 mm		Porcentaje del espesor original:	100%	
Espesor promedio actual:	7.48 mm		Porcentaje del espesor perdido:	-41%	
Espesor mínimo actual:	2.00 mm		Porcentaje del espesor mínimo:	32%	
Cálculo mínimo estructural:	2.54 mm		Porcentaje del espesor remanente:	28%	
Cálculo mínimo API 653:	2.50 mm				

Se realizó la comparación de los espesores en las zonas críticas del tanque, evaluando diversas áreas aleatorias. Los resultados obtenidos de esta evaluación son los siguientes:

Espesor nominal original:	8.00 mm		Porcentaje del espesor original:	100%	
Espesor promedio actual:	7.67 mm		Porcentaje del espesor perdido:	-8%	
Espesor mínimo actual:	7.11 mm		Porcentaje del espesor mínimo:	31%	
Cálculo mínimo estructural:	2.50 mm		Porcentaje del espesor remanente:	61%	
Cálculo mínimo API 653:	2.54 mm				

Se realizó la comparación de los espesores de la chapa anular en diferentes zonas aleatorias del tanque. Los resultados obtenidos de esta evaluación son los siguientes:

Espesor nominal original:	8.00 mm		Porcentaje del espesor original:	100%	
Espesor promedio actual:	7.32 mm		Porcentaje del espesor perdido:	-41%	
Espesor mínimo actual:	2.10 mm		Porcentaje del espesor mínimo:	31%	
Cálculo mínimo estructural:	2.50 mm		Porcentaje del espesor remanente:	28%	
Cálculo mínimo API 653:	2.54 mm				

Se realizó el cálculo para determinar la longitud de evaluación del adelgazamiento por corrosión uniforme:

Longitud promedió mínima para la evaluación:	24.39	pulg	620	mm
--	-------	------	-----	----

Se realizó el cálculo para determinar la velocidad de corrosión, utilizando los siguientes datos:

- Espesor inicial (α inicial): 6 mm
- Espesor actual (α actual): 5.34 mm
- Tiempo trabajo: 18 años
- t inicial : 2006
- t actual : 2024

$$Velocidad\ de\ Corrosi3n = \frac{\alpha\ inicial - \alpha\ actual}{t\ inicial\ y\ t\ actual(a\ 3os)}$$

Sustituyendo los valores:

$$Velocidad\ de\ Corrosi3n = \frac{6\ mm - 5.34\ mm}{18\ (a\ 3os)}$$

$$Velocidad\ de\ Corrosi3n = \frac{0.66\ mm}{18\ (a\ 3os)}$$

$$Velocidad\ de\ Corrosi3n = 0.036\ mm/a\ 3o$$

Velocidad de corrosi3n en shell:	0.036	mm/a\ 3o
Velocidad de corrosi3n en fondo:	0.027	mm/a\ 3o

Cálculo para determinar la vida remanente

Datos:

- Espesor promedio actual (α actual): 5.48 mm
- Espesor crítico o de retiro (α crítico): 2.5 mm
- Velocidad de corrosión a largo plazo (CR-LP): 0.03558 mm/año
- Tiempo de trabajo: 18 años

$$Vida\ remanente = \frac{\alpha\ actual - \alpha\ crítico}{CR - LP}$$

Sustituyendo los valores:

$$Vida\ remanente = \frac{5.48\ mm - 2.5\ mm}{0.03\ mm/año}$$

$$Vida\ remanente = 83.75\ años$$

Por consiguiente, 83.75 años es la mínima vida remanente según el estado de los componentes estructurales.

El intervalo de tiempo entre dos inspecciones programadas de un equipo se denomina frecuencia de inspección del tanque. El cálculo para determinar este intervalo se presenta a continuación:

Intervalos para inspección externa:		18.98	años
Intervalos para inspección por medición de espesores:		18.98	años
Intervalo para inspección después de la primera inspección:		83.75	años

Conocer el intervalo de tiempo de inspección de tanque es crucial para prevenir fallas, identificando problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves lo que evitara paradas inesperadas y costosas.

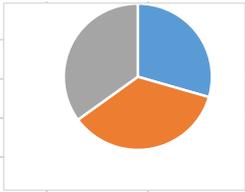
Por consiguiente, **18.98** años es el mínimo tiempo para la siguiente inspección siempre y cuando no varía la manera de operación del tanque tipo de fluido, presión de trabajo, otros.

Se realizaron cálculos para evaluar la corrosión localizada (pitting), identificando pitting debajo del espesor mínimo requerido. Con la colaboración del área de mantenimiento, se llevó a cabo la reparación correspondiente:

Espesor remanente del pitting		RECHAZADO
Longitud medida del pitting:		RECHAZADO

El valor promedio de reducción porcentual del espesor en todo el tanque, en comparación con el espesor original, es el siguiente:

Porcentaje del espesor original:	100%								
Porcentaje del espesor perdido:	29%								
Porcentaje del espesor mínimo según cálculos:	36%								
Porcentaje del espesor remanente:	35%								



La inspección mediante ACFM (Alternating Current Field Measurement) en el exterior de los cordones de soldadura en zonas críticas detectó poros aislados. Sin embargo, según la evaluación, estos poros no son relevantes, aunque se recomienda darles seguimiento:

Proyeccion chapa anular zonas puntuales	ACEPTADO
Cruces entre primer anillo y segundo anillo puntuales	ACEPTADO
Cordones soldadura transversal puntuales	ACEPTADO
Cordones soldadura horizontales puntuales	ACEPTADO

- ✓ Durante la aplicación de líquidos penetrantes, se identificaron porosidades de fabricación con forma redondeada y sin rastros de corrosión. Estas porosidades, bien definidas, fueron encontradas en un total de 20 ubicaciones dispersas en diferentes zonas del tanque, tanto en el cordón horizontal como en el vertical,

entre el primer y segundo anillo del "shell" en su parte interna. Además, se observaron socavaciones en áreas puntuales.

- ✓ Se observó que los poros redondeados, con contornos bien definidos y sin signos de corrosión, así como las socavaciones, cumplen con los requisitos del código API 650. Estos poros, que se formaron durante la fabricación del tanque, tienen un diámetro menor a 0.5 mm, son superficiales y no comprometen la integridad estructural del tanque.
- ✓ Dado que los contornos de los poros no presentan desgaste, no se espera que estos representen un riesgo durante el servicio del tanque. Si hubiera desgaste en los contornos, esto indicaría que los poros podrían provocar daños al tanque, lo cual no se ha observado.
- ✓ El daño estructural en el tanque se debe a la corrosión electroquímica, que es consecuencia de un proceso de soldadura deficiente. Este proceso causa cambios en la microestructura de las zonas afectadas térmicamente y la pérdida de espesor en la corona del cordón de soldadura, debido a un procedimiento de soldadura (WPS) inadecuado.
- ✓ En la prueba de la caja de vacío no hay fisura ni discontinuidades en el fondo lo cual indica que no hay defecto.

4.1.3. Otro aspecto relevante a tener en cuenta es que, sin estudio alguno, se viene tomando como período o ciclo para efectuar el mantenimiento de los equipos de la planta treinta (30) días. Al respecto, del análisis efectuado en la presente investigación se deduce que, el mantenimiento con una frecuencia de 30 días puede resultar en costos operativos elevados a lo largo del año. En general, los ciclos de mantenimiento recomendables suelen ser más largos que 30 días, adaptándose mejor a las condiciones

reales de desgaste y corrosión de los equipos. Implementar ciclos de mantenimiento más extendidos y basados en estudios más detallados no solo puede reducir los costos, sino también optimizar el rendimiento y la vida útil de los equipos. Del análisis efectuado en el proceso de Merril Crowe, se infiere que la compañía viene perdiendo dinero por la ineficaz gestión del mantenimiento de los equipos de la planta concentradora. Como buena práctica de ingeniería, se estimó que la inspección debe ser cada 6 meses para poder acercarnos de manera confiable al rate de corrosión real, y dar seguimiento al desgaste anual del tanque, además de documentar los correctivos realizados.

4.1.4. Para realizar el seguimiento y control del cumplimiento del mantenimiento predictivo, se realizó una cartilla de check list mensual en la cual se detalla las observaciones o desviaciones posibles del mantenimiento programado y nos ayuda a identificar posibles indicaciones. Para dar seguimiento y validar la periodicidad, frecuencia y acciones es conveniente cumplir los plazos establecidos del plan y en aplicar los ensayos no destructivos propuestos en las fechas establecidas, con ello se logra identificar el desgaste y optimizar la vida útil del tanque de cianuración.

4.2. Discusión de resultados

Según Mora (2020), en los resultados de su “Análisis de riesgos e integridad Mecánica de acuerdo con metodología API RP 580, API RP 581Y API STD 653 para tanque de almacenamiento de crudo capacidad 420.000 BLS”, aplica ensayos no destructivos a sus tanques de almacenamiento para determinar el rate de corrosión y con esto estima la vida remanente de los tanques de almacenamiento. Si bien es cierto que él utiliza un equipo distinto de ultrasonido, la función es la misma que la de nuestro equipo ya que ambos equipos se calibran con un patrón escalera estándar y las medidas deberían ser

las semejantes, además que el ensayo de ultrasonido nos ayuda a determinar el espesor remanente, y con esto, la vida útil de los tanques en servicio. También, en esta tesis, Mora (2020) aplica un plan de mantenimiento predictivo rutinario externo, que es cada 5 años y la medición del techo y cuerpo es cada 15 años, efectuado por un inspector NDT nivel II. Si bien es cierto que hay mucha diferencia con la frecuencia de nuestra estrategia de mantenimiento, el fin es el mismo, que es de optimizar la vida útil de los tanques de cianuración.

Reyna (2015), en sus resultados al realizar la inspección del fondo de tanques de almacenamiento API 650 mediante emisión acústica, realiza la inspección del tanque mediante un ensayo no destructivo avanzado que nosotros aplicamos en los tanques de almacenamiento de cianuración; sin embargó, el fin es el mismo, es decir determinar el desgaste de la estructura de los tanques. Uno de los problemas que se podría tener con este ensayo es que aún no se tiene personal capacitado para realizarlo y, al ser un ensayo no destructivo nuevo, el equipo para realizar el ensayo es poco comercial y demasiado costoso, el equipo que nosotros utilizamos, además de ser portátil y fácil de calibrar, es eficiente para determinar el desgaste puntual de los tanques. Ambos son técnicas novedosas que nos ayudan a evaluar la integridad mecánica de los aceros y que su único fin es mantener en óptimas condiciones de trabajo a los tanques de almacenamiento.

4.3. Contrastación de las hipótesis

4.3.1. Contrastación de la hipótesis general

Ho: La propuesta del mantenimiento predictivo no optimiza la vida útil de los tanques de cianuración de la empresa minera Yanacocha.

Hi: La propuesta del mantenimiento predictivo influye en la optimización de la vida útil de los tanques de cianuración de la empresa minera Yanacocha.

Decisión

En los últimos seis meses, hemos logrado una reducción notable en los mantenimientos correctivos, llevándolos a cero. La implementación de estas prácticas ha permitido no solo reducir los mantenimientos correctivos, sino también optimizar el tiempo y los recursos dedicados al mantenimiento. Este enfoque proactivo asegura la operación continua y segura de los tanques, minimizando el riesgo de fallos inesperados y se logró optimizar la vida útil del tanque de cianuración-

Por los resultados mencionados, se acepta la Hipótesis de Investigación y se rechaza la hipótesis nula.

4.3.2. Contrastación de las hipótesis específicas

Ho: El diagnóstico de fallas estructurales de los tanques de solución cianurada no permitirá identificar las fallas que provocan paradas no programadas en la empresa minera Yanacocha.

Hi: El diagnóstico de fallas estructurales de los tanques de solución cianurada permite identificar las fallas que provocan paradas no programadas en la empresa minera Yanacocha.

Decisión:

Se observa que el diagnóstico de fallas nos ayuda a identificar posibles fallas en la estructura de los tanques de solución cianurada y al tenerlas identificadas se logrará

caracterizar los defectos y a la vez anticiparnos a las fallas aplicando ensayos no destructivos en equipos sin alterar su estructura.

Ho: Los ensayos no destructivos no permitirán en la determinación del desgaste estructural de los tanques de cianuración en la Minera Yanacocha

Hi: Los ensayos no destructivos permiten determinar el desgaste estructural de los tanques de cianuración en la Minera Yanacocha

Decisión:

Se observa que al aplicar los ensayos no destructivos ofrecen numerosas ventajas, como la detección temprana de defectos sin dañar la estructura y la posibilidad de evaluar estructuras en servicio con esto se logra la reparación anticipadamente, además se determina la vida útil y se caracterizan los defectos encontrados en las inspecciones para luego dar seguimiento y un mantenimiento anticipado.

Ho: El cronograma del mantenimiento predictivo no permitirá optimizar el sistema Merrill Crowe

Hi: El cronograma del mantenimiento predictivo permitirá la optimización del sistema Merrill Crowe

Decisión:

Se observa que al aplicar un plan de mantenimiento predictivo enumeramos las tareas a realizar de acuerdo con la criticidad y a la vez definimos actividades de mantenimiento de los equipos para anticiparnos a la falla e incrementar su vida útil.

Ho: El seguimiento y control de la solución propuesta no permitirá recolectar los datos de los tanques de solución cianurada de la empresa minera Yanacocha

Hi: El seguimiento y control de la solución propuesta permite la recolección de nuevos datos y con esto la optimización del proceso Merrill Crowe

Decisión:

Se observa que, si damos seguimiento a un mantenimiento predictivo, aplicamos correctamente los ensayos no destructivos y corregimos anticipadamente los defectos de los tanques se logrará aumentar la eficiencia del equipo, eliminamos errores del proceso, eliminamos paradas no planificadas, y finalmente, logramos reducir costos; con ello optimizaremos el proceso Merrill Crowe determinando la vida útil de los tanques.

CONCLUSIONES

- El diagnóstico estructural realizado permitió identificar las fallas y concluir que el mantenimiento predictivo es la mejor estrategia para mejorar la operación y extender la vida útil de los tanques.
- Como parte de la implementación del mantenimiento predictivo, se elaboró un plan semestral para el mantenimiento de los tanques de almacenamiento de cianuro. Además, se llevará a cabo una capacitación en ensayos no destructivos (END) y en la interpretación de indicaciones para asegurar una correcta interpretación de los defectos encontrados en los tanques
- Antes de la implementación del mantenimiento predictivo se tenía un correctivo cada 2 meses, sin embargo, al aplicar el mantenimiento predictivo, ya han pasado 6 meses de la última inspección mediante ensayos no destructivos, y no se han ocurrido paradas inesperadas del proceso, logrando con esto un aumento significativo en la producción y con esto, la optimización del proceso Merrill Crowe
- El seguimiento y control realizados validaron que la solución propuesta (mantenimiento predictivo) fue efectiva, mejorando la producción y optimizando el proceso Merrill-Crowe.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un Programa Continuo de Mantenimiento Predictivo: se recomienda que la empresa continúe y formalice el mantenimiento predictivo aplicado a los tanques de cianuración, extendiéndolo a otros equipos críticos en la planta. Este programa debe incluir un calendario de inspecciones regulares utilizando ensayos no destructivos (END) para asegurar la detección temprana de defectos y el desgaste estructural.
2. Capacitación Continua del Personal: es esencial mantener la capacitación continua del personal encargado de realizar y analizar los ensayos no destructivos. Esto asegurará que estén al tanto de las últimas técnicas y tecnologías disponibles, y que puedan interpretar correctamente los resultados para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento.
3. Monitoreo y Actualización de Frecuencia de Mantenimiento: se recomienda monitorear continuamente los resultados del mantenimiento predictivo y ajustar la frecuencia de las inspecciones según se requiera, basándose en los datos obtenidos. Esto permitirá optimizar aún más la vida útil de los tanques y reducir al mínimo las paradas no programadas.
4. Adopción de Tecnologías Avanzadas para END: la empresa debe considerar la incorporación de tecnologías avanzadas de ensayos no destructivos (END), como la emisión acústica (EA), que pueden ofrecer una mayor precisión en la detección de defectos y en la evaluación de la integridad estructural de los tanques.
5. Evaluación Periódica de los Resultados: realizar evaluaciones periódicas del impacto del programa de mantenimiento predictivo en la operación y en la reducción de costos. Estas evaluaciones deben incluir análisis comparativos con

periodos anteriores y con otros métodos de mantenimiento, para asegurar que el enfoque predictivo sigue siendo la opción más efectiva.

6. Aplicar el Mantenimiento Predictivo a Otros Sistemas Críticos: considerar la aplicación del mantenimiento predictivo a otros sistemas críticos de la planta, como las tuberías y equipos de transporte de cianuro, para asegurar una operación segura y eficiente en toda la cadena de producción.

Referencias

- Albuquerque, R., et al. (2019). Predictive industrial maintenance with a viable systems model and Maintenance 4.0. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/341077940_Predictive_Industrial_Maintenance_with_a_Viable_Systems_Model_and_Maintenance_40
- Bureau Veritas. (2017). El origen y la actualidad del mantenimiento predictivo a nivel mundial. *Lubrication Management*. <https://lubrication-management.com/2017/07/17/el-origen-y-la-actualidad-del-mantenimiento-predictivo-a-nivel-mundial/>
- Cartz, L. (1995). *Nondestructive Testing: Radiography, Ultrasonics, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current*. ASM International.
- González, A. (2015). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado* (2ª ed.). <https://latam.casadellibro.com/libro-teoria-y-practica-del-mantenimiento-industrial-avanzado-2-ed/9788496169494/1056474>
- Rivera, et al. (2016). Análisis de la falla del techo flotante de un tanque de almacenamiento de gasolina. *Redalyc*.
<https://www.redalyc.org/journal/1816/181669387002/181669387002.pdf>
- Carrillo. (2021). *Implementación y análisis de estudio de integridad mecánica en tanques de almacenamiento en la industria de sistemas de poliuretano* [Tesis de Maestría, Universidad de México].
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/111533/Tesis%20.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Crisóstomo, & Palacios. (2019). *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 de Maestría, Universidad Nacional del Callao].

<https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4587/INFORME%20-%20TESIS%20Palacios%20y%20Barrios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Galvan, J. (2015). *Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales*. México.

Gamboa, & Luna. (2015). *Plan de mantenimiento para asegurar la vida útil de las llantas de los porta contenedores en almacenes IMUPESA*. Perú.
<https://hdl.handle.net/20.500.12952/4450>

Gonzales, & Vacca. (2020). *Ensayos no destructivos*. Lima.

Loya, R. Ñ. (2020). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa*. Universidad Tecnológica, Quito.

Mendoza Carvajal, C. (2016). *Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores eléctricos de inducción*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.

Mora, P. H. (2020). *Análisis de riesgos e integridad mecánica de acuerdo con metodología API RP 581 y API STD 653 tanque almacenamiento de crudo capacidad 420,000 BLS*. Bogotá.
https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3229/Analisis_de_riesgos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Naubnome, V., et al. (2016). Risk analysis for pressure vessel with external corrosion using RBI method based on API 581. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/301529355_Risk_analysis_for_pressure_vessel_with_external_corrosion_using_RBI_method_based_on_API_581/link/5d794e1ba6fdcc9961c11e59/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

Pizzorni, B. (2019). *Uso responsable del cianuro en la*. Perú.
<https://ororesponsable.org/wp-content/uploads/2020/03/Manual-Uso-Responsable-de-Cianuro-en-la-Peque%C3%B1a-Miner%C3%ADa.pdf>

- Reyna. (2015). *Inspección de fondo de tanques de almacenamiento API 650 mediante emisión acústica*. Lima.
- Sarabia. (2017). *Evaluación de integridad mecánica en tuberías y juntas soldadas de acero mediante ensayos no destructivos en tubería cianurada-Gold Mill Yanacocha*.
- Shull, P. J. (2002). *Nondestructive evaluation: Theory, techniques, and applications*. CRC Press.
- Tejaxún. (2019). *Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la norma ISO 17359:2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola* [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0871_MI.pdf

ANEXOS

Anexo A API STD 653	91
---------------------------	----

Anexo A

API STD 653

API STD 653	
CAPITULO/NUMERAL	CONTENIDO
1	Alcance
1.1	Introducción
1.2	Cumplimiento de esta norma
1.3	Jurisdicción
1.4	Prácticas de trabajo seguras
2	Referencias
2.1	Publicaciones de referencia
2.2	Otras referencias
3	Definiciones
4	Idoneidad para el servicio
4.1	General
4.2	Evaluación del techo del tanque
4.3	Evaluación de la carcasa del tanque
4.4	Evaluación del fondo del tanque

API STD 653	
CAPITULO/NUMERAL	CONTENIDO
4.5	Evaluación de la base del tanque
5	Consideraciones sobre fracturas frágiles
5.1	General
5.2	Consideraciones básicas
5.3	Procedimiento de evaluación
6	Inspección
6.1	General
6.2	Consideraciones de frecuencia de inspección
6.3	Inspecciones desde el exterior del tanque
6.4	Inspección interna.
6.5	Alternativa a la inspección interna para determinar espesores del fondo
6.6	Trabajo preparatorio para la inspección interna
6.7	Listas de verificación de inspección
6.8	Registros

6.9	Informes
6.10	Inspecciones no destructivas (NDE)
7	Materiales
7.1	General
7.2	Nuevos materiales
7.3	Materiales originales para tanques reconstruidos
7.4	Consumibles de soldadura
8	Consideraciones de diseño para tanques reconstruidos
8.1	General
8.2	Nuevas juntas de soldadura
8.3	Juntas de soldadura existentes
8.4	Diseño de carcasa
8.5	Penetraciones de carcasa
8.6	Vigas de viento y estabilidad de la carcasa
8.7	Techos
8.8	Diseño sísmico
9	Reparación y alteraciones de tanques
9.1	General
9.2	Remoción y reemplazo del material de la placa de la carcasa

API STD 653	
CAPITULO/NUMERAL	CONTENIDO
9.3	Reparaciones de la carcasa utilizando placas de parche soldadas por solape
9.4	Reparación de defectos en material de placa de carcasa
9.5	Alteración de los depósitos para cambiar la altura del depósito
9.6	Reparación de soldaduras defectuosas
9.7	Reparación de penetraciones en la carcasa
9.8	Adición o reemplazo de penetraciones de la carcasa
9.9	Alteración de las penetraciones de la carcasa existente
9.10	Reparación de fondos de tanques
9.11	Reparación de techos fijos
9.12	Reparación de techos flotantes
9.13	Reparación o reemplazo de sellos de perímetro de techo flotante
9.14	Hot Taps
10	Desmontaje y reconstrucción
10.1	General
10.2	Limpieza y liberación de gas

10.3	Métodos de desmantelamiento
10.4	Reconstrucción
10.5	Tolerancias dimensionales
11	Soldadura
11.1	Calificaciones de soldadura
11.2	Identificación y registros
11.3	Métodos de soldadura de precalentamiento o deposición controlada como alternativas a la soldadura por tratamiento térmico (PWHT)
11.4	Seguridad de soldadura
12	Inspecciones y pruebas
12.1	NDT
12.2	Radiografías
12.3	Pruebas hidrostáticas
12.4	Pruebas de fugas
12.5	Medida de asentamiento durante las pruebas hidrostáticas
13	Marcado y mantenimiento de registros
13.1	Placas de identificación
13.2	Mantenimiento de registros

API STD 653	
CAPITULO/NUMERAL	CONTENIDO
13.3	Certificación
Anexos	
Anexo A	(informativo) Antecedentes sobre ediciones anteriores de estándares de tanques soldados de almacenamiento API
Anexo B	(normativo) Evaluación del asentamiento del fondo del tanque
Anexo C	(informativo) Listas de verificación para la inspección de tanques
Anexo D	(normativo) Certificación de inspector autorizado
Anexo E	En blanco
Anexo F	(normativo) Resumen de requisitos de NDE
Anexo G	(informativo) Calificación de los procedimientos y personal para examen del fondo del tanque
Anexo H	(informativo) Evaluación de servicios similares
Anexo I	(informativo) Consultas y sugerencias de cambio
Anexo S	(normativo) Tanques de almacenamiento de acero inoxidable austenítico
Anexo SC	(normativo) Tanques de almacenamiento de materiales mixtos de acero inoxidable y acero al carbono
Anexo X	(normativo) Tanques de almacenamiento de acero inoxidable dúplex

Nota. Fuente: (API 653)