



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“INFLUENCIA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS  
ONDAS GUIADAS MAGNETOESTRUCTIVAS EN LA  
PREVENCIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES, EN  
TUBERÍAS DE PULPA ADEMINSAC CAJAMARCA 2017”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Bach. Jhesica Milagros Cerna Torres.

Bach. Robert Elson Pompa Ramos

**Asesor:**

Mg. Ing. Brian Keith Huby Silva.

Cajamarca – Perú

2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Jhesica Milagros Cerna Torres** y el Bachiller **Robert Elson Pompa Ramos**, denominada:

**“INFLUENCIA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ONDAS GUIADAS  
MAGNETOESTRUCTIVAS EN LA PREVENCIÓN DE ASPECTOS  
AMBIENTALES, EN TUBERÍAS DE PULPA ADEMINSAC CAJAMARCA  
2017”**

---

Ing. Brian Keith Huby Silva

**ASESOR**

---

Ing. Vladimir Héctor Yataco Dueñas

**JURADO**

**PRESIDENTE**

---

Ing. Danyer Stewart Girón Palomino

**JURADO**

---

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

**JURADO**

## DEDICATORIA

A Dios, por darnos salud, sabiduría y la oportunidad de concluir una etapa más en nuestra vida profesional.

A Nuestros Padres, por habernos apoyado en todo momento y por darnos una carrera profesional para nuestro futuro. Depositando su entera confianza en cada meta trazada sin dudar ni un solo momento de nuestra capacidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestras familias quienes a lo largo de nuestra vida han apoyado nuestra formación académica, los mismos que creyeron en todo momento y no dudaron de nuestra capacidad y a los Ingenieros Jesús Alejandro Rehkoff Díaz y Brian Keith Huby Silva, a quienes le debemos gran parte de los conocimientos, gracias a su paciencia, enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad por abrirnos las puertas y prepararnos para un futuro competitivo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1. Realidad problemática .....	11
2. Formulación del problema.....	11
3. Justificación.....	11
4. Limitaciones .....	12
5. Objetivos .....	12
5.1. Objetivo general.....	12
5.2. Objetivos específicos .....	12
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
1. Antecedentes .....	13
2. Bases teóricas.....	19
2.1. Ensayos no destructivos (NDT).....	19
2.1.1. Clasificación de ensayos no destructivos.....	19
2.1.2. Ultrasonido convencional.....	19
a. Descripción.....	19
b. Equipamiento.....	20
c. Procedimiento de ensayo.....	21
d. Espesor mínimo requerido.....	21
e. Rate de corrosión.....	22
f. Vida remanente.....	22
2.2. Método no destructivo – Ondas Guiadas Magnetoestructivas .....	23
2.2.1. Definición.....	23

2.2.2. Equipamiento.....	25
2.2.3. Procedimiento de ensayo.....	26
2.2.4. Identificación de áreas de bajos espesores.....	26
2.2.5. Identificación de fisuras.....	26
2.2.6. Identificación de laminaciones.....	26
2.2.7. Identificación de inclusiones metálicas.....	27
2.3. Prevención de aspectos ambientales .....	27
c. Prevención de aspectos ambientales - técnica ondas guiadas magnetoestructivas.....	27
2.3.1. Estudio de prevención de daños medioambientales.....	28
b. Identificación de aspectos ambientales.....	29
3. Definición de Términos Básicos.....	30
4. Hipótesis .....	30
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>31</b>
3.1. Operacionalización de variables .....	31
3.2. Diseño de investigación .....	32
3.3. Unidad de estudio .....	32
3.4. Población .....	32
3.5. Muestra (muestreo o selección).....	32
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....	33
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	35
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO 8. REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO 9. ANEXOS.....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Condiciones de onda magnetoestructiva .....	23
<b>Tabla 2.</b> Comparación entre el ultrasonido y ondas guiadas .....	24
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de variables .....	31
<b>Tabla 4.</b> Formato de ultrasonido convencional . .....	34
<b>Tabla 5-9.</b> Inspección UT en base a API 570, en tuberías que transportan pulpa, Tramo I – V, 2017. ....	37
<b>Tabla 10.</b> Comparación de rate de corrosión en el año 2017 .....	38
<b>Tabla 11.</b> Vida remanente 2017 – ondas guiadas magnetoestructivas . .....	39
<b>Tabla 12.</b> Análisis de los resultados de la vida remanente de la imagen 25 . .....	40
<b>Tabla 13.</b> Aspectos ambientales entre los años 2014 – 2017 .....	41

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Equipo Dakota, patrón escalera y acoplante. ....	20
<b>Imagen 2.</b> Comparación entre ultrasonido convencional y ondas guiadas magnetoestructivas. ....	24
<b>Imagen 3.</b> Pantalla principal del software MssPipe. ....	33
<b>Imagen 4.</b> Representación de la gráfica del software Mss, antes del primer disparo .....	34
<b>Imagen 5-23.</b> Análisis de ondas guiadas magnetoestructivas, Tramo I – V, 2017 .....	36
<b>Imagen 24.</b> Rate de corrosión con la aplicación de ondas guiadas magnetoestructivas, 2017. ....	38
<b>Imagen 25.</b> % de la vida remanente de la línea de pulpa 2017 .....	40
<b>Imagen 26.</b> Comparación en % de aspectos ambientales entre los años 2014 – 2017 .....	42

## RESUMEN

En la actualidad existen muchas empresas (mineras, petroleras, gasíferas, refinerías) que utilizan una gran cantidad de tuberías de transporte de soluciones peligrosas. Dentro de la industria minera estas tuberías transportan soluciones cianuradas, las cuales deben ser inspeccionadas con cierta regularidad para garantizar su buen estado. Las inspecciones ofrecen resultados favorables, indicando que las tuberías se encuentran en buen estado; sin embargo, con la finalidad de evitar fugas y a la vez evitar derrames de solución cianurada hacia el medio ambiente se plantea emplear una técnica alternativa de inspección por ondas guiadas magnetoestructivas, la cual permite obtener una inspección al 100% de estas tuberías sin afectar física ni químicamente a las tuberías; esta técnica permite determinar la localización de zonas de bajos espesores, contactos con soportes de tubería, cordones, bridas además de su extensión de las mismas; y con el ultrasonido convencional se tomarán medidas de espesores en los puntos indicados; con los datos proporcionados calcularemos la vida remanente, rate corrosión de las tuberías de transporte de pulpa.

Es por ello que la presente tesis está enfocada en identificar la influencia de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas en la prevención de aspectos ambientales, la que será realizada en tuberías de transporte de pulpa.

Esta investigación demostró que la técnica ondas guiadas magnetoestructivas es una alternativa viable para la inspección de tuberías, ya que gracias a sus ventajas permite calcular el tiempo de vida útil, fallas y/o discontinuidades presentes en las misma; de esta manera demostramos que esta inspección nos brinda resultados reales de las condiciones en las que se encuentra las tuberías y por ende evitar aspectos al medio ambiente.

## ABSTRACT

Currently there are many companies (mining, oil, gas, refineries) that use a large number of transport pipes for hazardous solutions. Within the mining industry these pipelines transport cyanide solutions, which must be inspected with certain regularity to ensure their good condition. The inspections offer favorable results, indicating that the pipes are in good condition; nevertheless, in order to avoid leaks and at the same time avoid spills of cyanide solution towards the environment, it is proposed to use an alternative technique of magnetostructure guided waveguide inspection, which allows to obtain a 100% inspection of these pipes without affecting either physically or chemically to the pipes; this technique allows to determine the location of low thickness areas, contacts with pipe supports, cords, flanges in addition to their extension thereof; and with conventional ultrasound thickness measurements will be taken at the indicated points; With the data provided we will calculate the remaining life, corrosion rate of the transport pipes of pulp.

That is why this thesis is focused on identifying the influence of the guided magnetostructure waves technique in the prevention of environmental aspects, which will be carried out in pulp transport pipes. This investigation showed that the magnetostructure guided wave technique is a viable alternative for the inspection of pipes, since thanks to its advantages it allows calculating the useful life time, faults and or discontinuities present in them; in this way we demonstrate that this inspection gives us real results of the conditions of the pipes and therefore avoid aspects to the environment.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1. Realidad problemática

En la actualidad diferentes compañías de países como Chile, Colombia, Bolivia, Venezuela vienen apostando por la aplicación de los ensayos no destructivos (ondas guiadas magnetoestructivas). Ya que las industrias en estos países vienen enfrentando problemas sociales a causa de los aspectos ambientales sucedidos por derrames de sustancias peligrosas.

En nuestro país diversas industrias de distintos rubros como la petrolera, viene enfrentando una serie de problemas sociales, ambientales y económicos, debido a las reiteradas fugas de petróleo crudo en el oleoducto que cruza nuestra selva peruana. La principal causa de estos derrames ha sido por el incumplimiento de medidas preventivas como el mantenimiento y reemplazo del ducto. (Torres Sánchez, 2016).

La compañía petrolera AGUAYTIA ENERGY; compañía encargada de la extracción de gas natural en la región de la selva peruana; en la cual se detectó diversos mecanismos de daño como impactos ambientales (contaminación suelo, agua) esto se produjo por la ruptura de la tubería del pozo N°06. (Escajadillo Agapito & Reyna Barandiarán, 2016).

Minera Yanacocha S.R.L utiliza dentro de los procesos de recuperación del mineral, compuestos químicos altamente nocivos para la salud y medio ambiente. presentando un caso de fuga en una línea de 4" la cual transportaba solución cianurada dentro de planta, esta fuga se generó por corrosión externa en una zona de acceso limitado mediante las técnicas de inspección con elementos convencionales, dificultando su detección y por lo tanto su mitigación. (Rehkoff Díaz & Céspedes Corrales, 2017).

La técnica de ondas guiadas permite dar una solución preventiva ante estos problemas, detectando con eficiencia situaciones similares, previniendo y mitigando cualquier tipo de aspecto ambiental generado por minería. (Reyna Barandiarán, Ondas Guiadas ( LRUT), Ademinsac., 2014).

### 2. Formulación del problema

¿De qué manera influyen los ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas en la prevención de aspectos ambientales, en tuberías de pulpa Ademinsac Cajamarca 2017?

### 3. Justificación

En los últimos años en el Perú, la industria minera viene enfrentando diferentes conflictos sociales, los cuales tienen como causa principal los aspectos ambientales.

Debido a estos conflictos la minería viene haciendo una importante inversión en la mitigación, prevención y control de aspectos ambientales en la actividad; por ésta razón en la presente investigación se está optando por una de las tecnologías más avanzadas de los ensayos no destructivos (NDT), como la técnica de ondas guiadas.

Además, para la demostración de la eficiencia de la técnica se dispone del equipo ondas guiadas magnetoestructiva; el cual será utilizado en tuberías de transporte de sustancias peligrosas, teniendo como objetivo identificar zonas de bajos espesores, picaduras, entalladuras, entre otros.

Finalmente, los resultados nos permiten mitigar la emanación de gases tóxicos y aspectos ambientales, aportando una alternativa de solución para el cuidado de las estructuras metálicas dentro del área de procesos y evitar daños a las poblaciones aledañas a la unidad minera.

#### **4. Limitaciones**

- Esta investigación no cuenta con el equipo propio de ondas guiadas para la ejecución de los ensayos, pero la empresa Ademinsac nos facilitó el equipo para la práctica.
- La limitación de información sobre estudios basados en ondas guiadas magnetoestructivas, para lo cual se tuvo que utilizar informes técnicos de la empresa Ademinsac y estudios basados en ensayos no destructivos convencionales.

#### **5. Objetivos**

##### **5.1 Objetivo general**

Identificar la influencia de los ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas en la prevención de aspectos ambientales, en tuberías de pulpa Ademinsac Cajamarca 2017.

##### **5.2 Objetivos específicos**

- Identificar discontinuidades en tuberías de transporte soluciones peligrosas utilizando ondas guiadas magnetoestructivas.
- Determinar el rate de corrosión de las tuberías que presentan mayores indicaciones por ondas guiadas magnetoestructivas.
- Determinar el espesor mínimo requerido de las tuberías que trasportan pulpa.
- Determinar la vida remanente de las tuberías que presentan mayores indicaciones por ondas guiadas magnetoestructivas.
- Evaluar los resultados obtenidos y determinar la variación de probabilidad de ocurrir un aspecto ambiental.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 1. Antecedentes

Nieto Gómez, V., (2015) Estudio Factibilidad Implementación de la Técnica Ondas Guiadas Para Los Servicios de Livca. Publicado por la Universidad Simón Bolívar, Venezuela.

La empresa Livca tuvo la necesidad de adquirir un equipo que ofreciera un servicio de inspección completa en las líneas de tubería, con la mayor cantidad de herramientas para mejorar la interpretación de la data que este equipo proporciona.

Por ello propone realizar una solicitud de cotizaciones para los equipos de ondas guiadas ultrasónicas, así mismo se realizó un estudio de mercado y clientes potenciales para el servicio de inspección con este equipo.

El autor concluye que la implementación de la técnica de inspección ultrasónica por ondas guiadas fue eficiente tanto para la empresa LIVCA como para el cliente PDVSA por contar con la mayor cantidad de herramienta para la inspección e interpretación de la data.

Esta investigación aporta con la presente, en dar mejoras de proceso para inspecciones de líneas de tuberías y así reducir peligros y riesgos que puede generar una tubería al no contar con una inspección completa.

Escajadillo Agapito, J & Reyna Barandiarán, A., (2016) Informe técnico de inspección de la tubería forzada de la central hidroeléctrica Peuchen. Publicado por Oroazul Energy – Chile. Donde la empresa Oroazul Energy detectó corrosión generalizada en sus tuberías de flujo de gas, por lo que solicitó a la empresa Adechile realizar la inspección al 100 % de sus líneas.

La empresa encargada de la inspección propuso realizar tres técnicas: inspección visual, ultrasonido y ondas guiadas, ya que permitirán realizar la evaluación de la integridad mecánica y las condiciones de las operaciones en los sectores de inspección, y de esta manera cumplir con la solicitud de la empresa cliente.

Este informe técnico de inspección con método cualitativo permitió evaluar los cambios de sección transversal que se producen en las tuberías, producto de la corrosión interna y externa; con la inspección se obtuvo los siguientes resultados:

Inspección visual: se observa desprendimiento de pintura externa, grietas en los soportes de concreto y pernos en man hole con desprendimiento de pintura.

Inspección por ultrasonido: de acuerdo a los cálculos de corrosión y vida remanente las tuberías cuentan con espesores mayores al mínimo requerido.

Ondas guiadas: se determinó que pueden existir celdas corrosivas en algunos de los tramos inspeccionados de la línea. De acuerdo al análisis se determinó que existe una pérdida del 5% de espesores en la tubería.

Este informe de trabajo aporta con el presente estudio, la importancia de las otras técnicas de inspección (visual y ultrasonido) que van asociados a la técnica de ondas guiadas magnetoestructivas.

Ademinbol, (2015) Informe final de Inspección de tubería, Corani. Empresa Eléctrica Corani S.A. Cochabamba, Bolivia.

La empresa Hidroeléctrica Corani fue instalada aproximadamente en el año 1973 y 1981, cuando esta se puso en marcha tuvieron problemas de ruptura en la tubería por lo que tuvo que ser cambiada a una nueva sin alterar los cálculos del diseño.

Esta tubería en los últimos años tuvo problemas por golpes debido a la caída de rocas, picaduras, golpes de ariete; por lo que estas tuberías necesitan ser inspeccionadas.

Para la evaluación de integridad del sistema de tuberías se propuso realizar distintos ensayos no destructivos (inspección visual, ondas guiadas y ultrasonido) con la finalidad de garantizar una adecuada inspección que dé resultados de la condición en la cual se encuentra el sistema.

Como los resultados en la medición de espesores y B-Scan se muestra un esquema uniforme con vida remanente de 11.86 años por lo que el sistema puede seguir operando. Mediante la inspección por ondas guiadas se verificó la integridad del sistema no encontrando discontinuidades que puedan ser consideradas como un defecto, salvo una indicación que se encuentra a 3.5 metros del interior del ancla 1, la cual será verificada con una inspección interna en la próxima parada de planta.

Esta investigación nos muestra que a través de una inspección por ultrasonido se puede calcular la vida remanente de las tuberías en base a las normas internacionales. API 570.

Reyna Barandiarán, A & Mendoza, H., (2015) Reporte de inspección N° AD-RI-NDT-001 línea de isopentano 6"-PL-A01-1B-10420/0 Senda de Esferas. Refinación Gualberto Villarroel S.A. Cochabamba, Bolivia.

La empresa de refinería necesita evaluar la integridad mecánica de la línea de Isopentano porque no cuenta con registro de inspección e historial de espesores de línea base para realizar cálculos de vida remanente con mayor precisión; solo cuenta con valores operacionales como la presión, temperatura y el tiempo de operación de la línea (38 años aproximadamente).

La empresa Ademinbol propone la aplicación de ensayos no destructivos tales como: inspección visual, medición de espesores por ultrasonido y ondas guiadas.

Se identificó los mecanismos de adelgazamiento – corrosión interna, corrosión atmosférica y corrosión por hendiduras (corrosión externa). La interacción de fluido isopentano con el material de la

tubería es muy leve, razón por la cual la tasa de corrosión interna calculada tiende a ser muy baja con los parámetros de operación actuales.

La presente nos muestra que la técnica de ondas guiadas se puede realizar en tuberías que transportan cualquier tipo de solución.

Castello Esquerdo, A., (2012) Estudio de mercado para el programa de inspecciones por ultrasonido de largo alcance de la empresa areva. Alemania, Ansbach.

La empresa areva tuvo problemas con la integridad de circuitos de tuberías en las plantas nucleares, ya que estas presentaban muy a menudo fugas ante roturas por: la antigüedad del circuito de tuberías y tuberías enterradas.

El autor propone a la empresa areva la aplicación de Los ultrasonidos de largo alcance de ondas guiadas (Long range ultrasonic guided wave), por ser una incipiente tecnología que puede ser utilizada para llevar a cabo inspecciones de tuberías desde una remota ubicación, requiriéndose que solo pequeñas partes de la misma tengan que ser expuestas y preparadas.

Con la utilización de esta técnica de inspección, la empresa areva identificó la cantidad exacta de tuberías del circuito que deben ser cambiadas de inmediato por presentar vida remanente por debajo del límite de retiro, además de obtener la vida útil del resto de tuberías.

Este estudio aporta a nuestra investigación, que la vida remanente de las tuberías es un indicador principal para prevenir roturas en las mismas, además de aportar que ésta técnica evita remover suelo si las tuberías están enterradas.

Castilla, J., (2017) Barrick pudo haber evitado derrame de solución de cianuro en mina argentina. San Juan, Argentina.

En el año 2017, en la mina veladero se generó en una de 3 inmensas tuberías hubo derrame reiterativo de solución cianurada.

El gobierno de san Juan exige a la minera que mejore su sistema de monitoreo en sus líneas de transporte, así como la ampliación de su malla de contención.

Los resultados que se obtuvo fue que la solución cianurada no se expandió fuera del valle de la mina porque este cayó dentro de la malla de contención.

Este estudio aporta a la presente, mostrando que al no realizar una inspección constante de las tuberías que transportan soluciones cianuradas, pueden suscitar conflictos sociales ambientales y económicos.

Núñez Ledesma, V & Pérez Baruch, E., (2011) Pruebas con ondas guiadas en un gasoducto sumergido. 5th Pan American Conference for NDT, Cancún, México. La compañía de petróleo y gas tiene tuberías de difícil acceso los cuales no han sido inspeccionadas por un periodo mayor a 20 años, por lo que se requiere de una técnica eficiente que rastree defectos presentes en estas zonas críticas (enterradas y bajo agua).

Por ello propuso una de las tecnologías más avanzadas de los ensayos no destructivos (ondas guiadas), que no se limita a la inspección de tuberías que se encuentran expuestas a la superficie, sino también en zonas críticas ya sean tubería enterradas o bajo el agua; detectando rápidamente corrosión interna y externa, entre otros defectos.

La aplicación de esta técnica obtuvo una inspección al 100% de la línea, logrando así la plena atención uniforme a todos los lugares, entre ellos la región inmersa de más difícil acceso.

Este antecedente contribuye que la técnica de ondas guiadas es eficiente para una inspección total, permitiendo tomar decisiones sobre reparaciones y monitoreo continuos. Sin importar el tipo de solución que estas transportan.

Mendoza Gonzales, E & Quintero Ortiz, L., (2012) Ensayos no destructivos como herramienta para el dimensionamiento de discontinuidades en la superficie externa de tuberías. En la empresa (industria petroquímica) donde se realizó esta investigación la inspección se realiza de forma manual lo cual hace lenta y tediosa la obtención del resultado y del mismo modo se encuentra sujeta a error humano. Por ello propuso una técnica no destructiva (ondas guiadas) la que permite de forma rápida y adecuada la cuantificación de la corrosión presente en la superficie externa de tuberías en servicio en los oleoductos y gasoductos de esta industria petroquímica.

La utilización de este ensayo no destructivo permitió extraer información completa de todas las zonas corroídas, como son: la máxima profundidad del área corroída y la proyección de ésta sobre el eje longitudinal de las tuberías, la que además permitió la determinación de la máxima presión de operación de la misma.

Esta investigación se relaciona con nuestro estudio con la forma rápida y adecuada de inspección que proporciona la técnica ondas guiadas.

Torres Sánchez, T., (2016) Derrames en Loreto y Amazonas, Petroperú-Oleoducto Norperuano. Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Loreto - Amazonas, Perú. En estos departamentos durante los años 2014 al 2016 se ha generado grandes impactos ambientales por derrames de petróleo crudo, posible causa corrosión interna y externa en el oleoducto.

La OEFA le ordeno a Petroperú como medidas preventivas, incrementar el número de barreras de contención que impida la expansión de petróleo crudo, colocar cerco perimétrico que evite el acceso

de las personas y la fauna silvestre, así como realizar muestras de suelo en el punto de falla y muestras de agua en la zona de influencia del derrame.

Los resultados después de las acciones preventivas fue el control de la expansión del petróleo crudo derramado, y el conocimiento del grado de contaminación hacia el suelo y agua.

Este antecedente aporta a nuestra investigación, mostrándonos los impactos sociales y ambientales que se generan por fallas en tuberías que transportan soluciones peligrosas, como es el caso de Petroperú.

Mora Paniagua, C., (2016) Balance de la fiscalización ambiental en el caso de los derrames de hidrocarburos en oleoducto norperuano. Petroperú, Amazonas, Cajamarca, Lambayeque y Piura, Perú.

Se presenta derrame de hidrocarburos afectando la vida y salud de las personas, dañando la flora y fauna en las zonas de influencia directa.

La OEFA ordenó una medida cautelar contra Petroperú consistente en ejecutar de manera inmediata las acciones de limpieza y rehabilitación ambiental en las zonas afectadas por los derrames de petróleo crudo.

Ante tal exigencia Petroperú S.A. no cumplió con remediar las zonas impactadas con petróleo por el derrame ocurrido en estas comunidades, por lo que dicha empresa fue sancionada con una multa muy significativa.

Ademinsac, (2014) Informe técnico de inspección END: UT Haz normal (medición de espesores), ultrasonido avanzado phased array, inspección visual (VT) y ondas guiadas (GW) a las líneas de oxígeno de la planta N°1 y N°2 hacia el horno ISASMELT. Compañía Minera Southern Copper Southern Perú (SPCC), Moquegua –Perú.

La empresa Southern Copper Southern Perú tuvo la necesidad de determinar la integridad mecánica, el grado y volumen de corrosión interna y externa de las líneas de oxígeno de la planta N° 1 y N°2 hacia el horno ISASMELT, que son líneas de 10" y 18" de diámetro; y líneas de 2", 3", 4" de diámetro que ingresan a los quemadores. Por lo que requirió el servicio de la empresa Ademinsac.

Ademinsac propuso realizar la inspección mediante técnicas de ensayos no destructivos: UT Haz normal (medición de espesores), ultrasonido avanzado phased array, inspección visual (VT) y ondas guiadas (GW).

La empresa logró determinar la evaluación de integridad y las condiciones de operación de tuberías de proceso; realizando mantenimiento, reparación e inspección de líneas en servicio. Obteniendo los siguientes resultados:

Inspección visual: se determinó daños o evidencias de desgaste en la parte externa, desprendimiento de pintura y corrosión galvánica.

Ultrasonido Haz Normal: Se determinó el rate de corrosión y la vida útil de cada uno de los diámetros inspeccionados.

Ultrasonido avanzado Phased Array: Determinó que no existe discontinuidades ni defectos en las uniones soldadas inspeccionadas.

Este estudio nos sirve en gran medida ya que demostró una vez más que la técnica de ondas guiadas es eficaz para determinar el grado y volumen de corrosión interna y externa de líneas de tuberías.

Rehkoff Díaz, J & Céspedes Corrales, N., (2017) Derrame de solución cianurada (Mill Sand). Minera Yanacocha, Cajamarca, Perú.

Se evidencio la fuga de solución cianurada (mill sand) en una línea de 12" de diámetro, que iba de planta gold mill a posa de almacenamiento de lodos.

Ademinsac propone realizar una inspección por ultrasonido convencional ya que esta tubería se encuentra entre reflectores (bridas, cordones, codos) en los cuales no se podría realizar la inspección por la técnica de ondas guiadas.

Los resultados de la inspección por ultrasonido nos muestran que una inspección completa por esta técnica pudo evitar fugas de este tipo.

Este estudio nos muestra que para este tipo de casos no es conveniente el uso de la técnica de ondas guiadas sino el ultrasonido convencional por las condiciones en las que esta se encuentra, presencia de reflectores cercanos.

Este antecedente aporta a la presente investigación en que el derrame de soluciones peligrosas representa grandes costos a la empresa involucrada, además de presentar un peligro a la vida y al medio ambiente.

## 2. Bases teóricas

### 2.1. Ensayos no destructivos (NDT).

Los ensayos no destructivos son herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio y mantenimiento de sistemas, cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa.

La falla en componentes industriales generalmente resulta de la combinación de diversas condiciones, siendo las principales: diseño inadecuado, uso incorrecto o la presencia de defectos en el material. (Chirinos Martínez & Reyna Otayza, 2014)

Así como la mayoría de procedimientos complejos, no pueden ser definida en pocas palabras, por lo cual define como: el empleo de propiedades físicas o químicas de materiales, para la evaluación indirecta de materiales sin dañar su utilidad futura.

Son métodos de inspección que se emplean para la detección y evaluación de discontinuidades superficiales y sub superficiales de los materiales sin destruirlos, sin alterar o afectar su utilidad. (Reyna Barandiarán, A., 2014).

#### 2.1.1. Clasificación de los ensayos no destructivos.

##### a. Ensayos no destructivos sub-superficiales.

Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y sub-superficiales, así como bajo ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.

- UT\_ Ultrasonido convencional. (Chirinos Martínez & Reyna Otayza, 2014)

Los factores básicos para la selección de los ensayos no destructivos es el tamaño, ubicación y la orientación de las discontinuidades que se necesitan detectar, las características de las tuberías que van a ser inspeccionadas. (Nieto Gómez, 2015)

#### 2.1.2. Ultrasonido convencional.

##### a. Descripción.

Esta técnica que consiste en determinar el espesor o algunas propiedades físicas en particular. La energía se origina en lo que se conoce como transductor, es un dispositivo capaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica (Ly Medina, 2015).

Las ventajas de 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; puede determinar la ubicación, dimensiones, y orientación de las discontinuidades. (Ly Medina, 2015).

Las limitaciones del ultrasonido convencional es que se requiere de técnicos experimentados, así como de mucha atención a la hora de realizar el ensayo; se necesita de patrones de referencia para la calibración del equipo, así como de acoplante para mejorar la transferencia de señales entre el transductor y la tubería a inspeccionar. (Ly Medina, 2015).

La generación y detección de ondas ultrasónicas (medición de espesores) se logra a través de elementos transductores que actúa a través de un acoplante (gel), el mismo que se utiliza por la existencia de factores que influyen en la transmisión del ultrasonido asociado a la tubería a inspeccionar. La finalidad de este acoplante consiste en promover una trayectoria con la más baja resistencia acústica posible para la transmisión del sonido desde el palpador hasta la pieza del ensayo (tubería). (Reyna Otayza, 2014)

#### **b. Equipamiento.**

El método de inspección por ultrasonido convencional tiene como herramienta principal el equipo Dakota, el cual nos permitirá inspeccionar espesores de la tubería.

#### **DAKOTA**



**Imagen 1.** Equipo Dakota, patrón escalera y acoplante.

- Equipo Dakota (1).
- Patrón Escalera (2).
- Acoplante - gel (3).
- Transductor. Ver Anexo 6.

**c. Procedimiento de ensayo.**

Análisis de la línea de tubería a inspeccionar: Es importante realizar una inspección previa, para conocer las características del componente a inspeccionar: tipo de material, espesor a ensayar procesos de soldeo y diseño de junta (dimensiones).

Limpieza mecánica: Es uno de los pasos más importantes que se deben aplicar para realizar una adecuada inspección.

Selección del equipamiento y accesorios adecuados: Una vez que se conozca las características de las estructuras a ensayar se procede a la selección adecuada de accesorios que no permitan desarrollar una adecuada inspección. Por ejemplo, una tubería a ensayar tiene un espesor de 10 mm, por ende, nos convendría utilizar un transductor de alta frecuencia (siguiendo los principios básicos de ultrasonido).

Calibración del equipo: Este punto es fundamental antes de realizar una inspección ya que al realizar una calibración adecuada podremos obtener con exactitud las dimensiones de las discontinuidades y nos permitirá poder caracterizar y determinar de manera correcta la posición de las discontinuidades encontradas.

Medición de espesores: En este paso se procede a realizar la toma de datos haciendo usos del equipo ultrasonido con su respectivo acoplante (gel); los cuales posteriormente pasaran a ser analizados por personal calificado. (Reyna Barandiarán, 2015)

**d. Espesor mínimo requerido.**

Los resultados de las mediciones realizadas en la presente inspección serán comparados con el valor de espesor mínimo requerido.

Debido a que la tubería inspeccionada está compuesta por accesorios, se realizaran dos cálculos de espesor mínimo requerido debido a la diferente manera que influye la presión interna en estos y la condición estructural de las mismas. La siguiente es la metodología aplicada para determinar el mínimo espesor requerido para tuberías en servicio de acuerdo con ASME B31.3; API 570 y API RP 574.

1ro: Calcular el espesor mínimo requerido por presión interna.

2do: Calcular el espesor mínimo requerido por condición estructural.

3ro: Comparar los dos valores y escoger el mayor valor de los dos como el espesor mínimo de retiro, este valor permite garantizar que la tubería tiene suficiencia para soportar los requisitos por presión y estructurales.

**Por Presión Interna.**

$$\text{minimo requerido} = \frac{P_i \cdot D}{2(S \cdot E + P_i \cdot Y)} + T \text{ Corr}$$

Pi: Presión (psi)

D: Diámetro externo (in)

S: Esfuerzo de fluencia (psi)

A: Corrosión permisible (in).

Y: Factor de temperatura del material (0.4)

E: Eficiencia de la unión soldada.

**e. Rate de Corrosión:**

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

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

Donde:

Espesor Nominal: Se tomara de tabla API 574. Ver Anexo 2.

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

**f. Vida remanente:**

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

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

Parámetros de Retiro según Vida Remanente: Los resultados han sido identificados teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

Color Rojo: Vida remanente = 0 años.

Color Naranja: 0 años = Vida remanente = 1.0 años.

Color Amarillo: 1.0 años = Vida remanente = 2.0 años.  
Color Gris: 2.0 años = Vida remanente = 3.0 años.  
Color Azul: Vida remanente > 3.0 años.

## 2.2. Método no destructivo – Ondas Guiadas Magnetoestructivas

### 2.2.1. Definición.

Las ondas guiadas (GW), son ondas ultrasónicas que se propagan a lo largo de la longitud de la estructura (tubería), guiado y confinado por los bordes geométricos de la estructura. Esta fue introducida para uso de campo a finales de 1990. Esta técnica ha estado en desarrollo durante mucho tiempo y también en la actualidad la actividad de desarrollo está todavía en proceso. Debido a que las ondas guiadas es un método cualitativo. Por lo que se tiene que utilizar una segunda técnica no destructiva complementaria con la finalidad de caracterizar problemas encontrados en campo. (Reyna Barandiarán, 2014).

**Descripción:** La técnica de ondas guiadas es un rápido ensayo no destructivo con capacidades demostradas para detectar defectos en tuberías enterradas con o sin recubrimientos.

Estos equipos captan y analiza cualquier eco de las ondas para detectar de la gravedad de la discontinuidad que afecta a la línea.

Las frecuencias altas se comparten mejor en tubería con alto grado de corrosión ya que hay menor atenuación (a pesar de que las reglas de UT nos indican que el bajar frecuencias nos ayudan a tener mayor penetración - solo aplicable en tuberías en buen estado). (Reyna Barandiarán, 2014).

**Tabla 1.** *Condiciones de onda magnetoestructiva.*

---

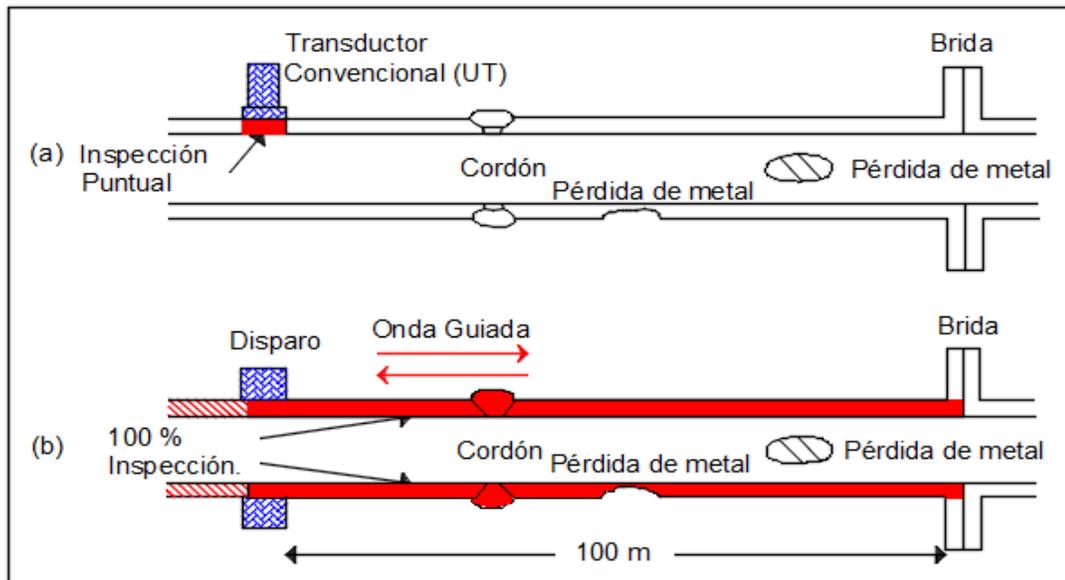
<b>MAGNETOESTRUCTIVO</b>
Trabaja con temperatura máxima: 500 °C.
Mide cualquier diámetro de tubería.
Puede sumergirse en agua.
Monitoreo permanente.
Usa distintos tipos de acople.

---

**Tabla 2.** Comparación entre el ultrasonido y ondas guiadas.

	UT CONVENCIONAL	ONDAS GUIADAS
<b>Aplicación</b>	Inspección localizada	Inspecciones en grandes longitudes.
<b>Ondas usadas.</b>	Longitudinal y transversal.	Ondas guiadas (torsional).
<b>Rango de frecuencia.</b>	0.5 - 10 MHz.	Debajo de 250 KHz.
<b>Detección de defectos.</b>	Defectos muy pequeños.	Relativamente grandes defectos.

En la imagen 2 se presenta una comparación entre ultrasonido y ondas guiadas, donde ultrasonido al momento de inspeccionar la tubería solo abarca un punto específico de la tubería, mientras que ondas guiadas inspecciona toda la tubería en ambas direcciones localizando las discontinuidades presentes en la misma.



**Imagen 2.** Comparación entre ultrasonido convencional y ondas guiadas magnetoestructivas.

Las ventajas de las ondas guiadas magnetoestructivas son: provee rápida comprensión de la condición de la estructura en toda su longitud; requiere preparación mínima (remoción de aislamiento, excavaciones, remoción de recubrimientos, andamios, entre otros.); inspección inaccesible de remotas áreas; bueno para detectar y localizar defectos como corrosión, fisuras circunferenciales y fisuras transversales muy profundas (sobre 70% del espesor de pared); puede inspeccionar sobre los 160 m en cada dirección; puede estimar el tamaño del defecto; puede distinguir entre soldaduras y defectos; utiliza un rango de frecuencia de 32 a 128 khz, enviadas en la dirección axial de la tubería; inspecciona tubería de acero al carbono con diámetro 12 in. (Reyna Barandiarán, 2014).

### **2.2.2. Equipamiento.**

#### **Equipo de Ondas Guiadas Magnetoestructivas.**

Marca: SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE

Modelo: MSSR3030R

*Ver Anexo 7.*

#### **Laptop.**

Marca: PANASONIC

Modelo: CF-SX2

N° Serie: 4AKSA63162

*Ver Anexo 8.*

#### **Transductores.**

Marca: SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE.

Modelo: MSS-3032GW, MSS-3045 GW, MSS3064 GW, MSS-3090 GW, MSS-3128 GW, MSS3180 GW.

*Ver Anexo 9.*

#### **Bobina longitudinal y sectorial**

Marca: SOUTHWEST RESARCH INSTITUTE

Modelo: MSSR3030R

*Ver Anexo 10 Y 11.*

**Cable de señal coaxial.**

Marca: SOUTHWEST RESARCH INSTITUTE

Modelo: MSSR3030R-05312-005-30.4M

*Ver Anexo 12.*

**Lámina fierro cobalto (FeCo).**

Marca: SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE

*Ver Anexo 13.*

**Cable “Y”**

Marca: GWA

*Ver Anexo 14.*

**Imán.** *Ver Anexo 15.*

**a. Tipos de acoplamiento.**

**Cera.** *Ver Anexo 16.*

**Epóxido.** *Ver Anexo 17.*

**2.2.3. Procedimiento de Ensayo.** *Ver Anexo 01.*

**2.2.4. Identificación de áreas de bajos espesores.**

Son zonas donde han sufrido un desgarramiento del material interna o externa por diferentes factores: corrosión, contacto con suelo o soportes de tubería y por el tipo de solución que transporta.

**2.2.5. Identificación de fisuras.**

Esta parte de las fisuras mayormente son provocadas por cambios en las secciones de las piezas fundidas.

**2.2.6. Identificación de laminaciones.**

Presentan formas irregulares y consiste en impurezas incluidas accidentalmente en el metal fundido.

### **2.1.7. Identificación de inclusiones metálicas.**

Son inclusiones no metálicas, poros o cavidades aplanadas durante el proceso de laminado o emparedado en el acero. Se orienta en la dirección del rolado.

## **2.3. Prevención de aspectos ambientales**

### **a. Impactos ambientales.**

Es la alteración, modificación o cambio en el ambiente, o en algunos de sus componentes de cierta magnitud y complejidad o producido por los efectos de la acción o actividad humana. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, o una disposición administrativo-jurídica con implicaciones ambientales. (Cruz Minguez, Gallego Martín, & Gonzales de Paula, 2011)

### **b. Aspecto ambiental:**

Elemento de las actividades, producto o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente causándole un impacto negativo que puede ser reversible, tal es el caso de un derrame de solución cianurada cuya remediación sería la remoción del área afectada. (SGS Academic, 2012).

### **c. Prevención de aspectos ambientales - técnica ondas guiadas magnetoestructivas.**

En el caso de que se produzca una fuga de las tuberías que transportan pulpa la misma que contiene cianuro, produce un derrame que afectaría el área donde se produjo esta fuga. Este derrame pasa a ser un aspecto ambiental porque este aspecto es reversible.

La corrección de este aspecto es la remoción del área afectada por el derrame previamente haciendo la corrección de la tubería donde se produjo la fuga.

La prevención de este tipo de aspecto ambiental se realizará mediante la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas, la cual nos permite inspeccionar la línea de tubería al 100% localizando con precisión las discontinuidades presentes en la misma. Teniendo la ubicación de estas discontinuidades se procederá a tomar medidas de espesores con el ultrasonido convencional y de acuerdo a los resultados del mismo se evaluará según los parámetros de retiro según su vida remanente, que consiste desde categoría crítica hasta categoría baja. (SGS Academic, 2012).

A la hora de realizar un estudio de prevención de los aspectos ambientales identificados, se tendrá que definir los criterios de acuerdo al tipo de aspecto ambiental que puede producir en caso de fugas en tuberías. Estos criterios de prevención deben ser:

**Criterios de prevención:**

- **Situaciones de emergencia:** Este tipo de situaciones son para casos que son reversibles sobre el medio ambiente, para nuestro caso se relaciona con el derrame de pulpa con solución cianurada; en caso de darse una falla que transporta a la misma, si estas no cuentan con una inspección capaz de identificar los defectos presentes en lo largo de la línea de tubería tendremos un aspecto ambiental por derrame de esta solución, por lo tanto tendremos que realizar medidas correctivas, una de ellas puede ser la remoción del área afecta por este derrame. (Taldea, 2011).

**Extensión:** Este criterio hace referencia al espacio de influencia del impacto en relación con el entorno, para nuestro caso la extensión será el área a lo largo de la línea de tubería, aclarando que si se produce una fuga no impacta toda el área de la línea de la tubería sino, solamente el área donde se produjo la fuga.

**Peligrosidad:** Este criterio marcaría el grado en que la sustancia podría provocar un efecto sobre el entorno, para el caso de una fuga en la tubería que transporta solución cianurada puede afectar al suelo, aire y agua si no se toma medidas correctivas inmediatas, como el caso de remoción del suelo afectado por esta solución. (Taldea, 2011).

**2.3.1. Estudio de prevención de daños medioambientales.**

El aumento por la concientización y la preocupación por la contaminación de plantas, o fuentes de agua y la atmosfera han dado lugar a estrictos controles para la fabricación e instalación de tanques de almacenamiento, tuberías, oleoductos y planta químicas. En cualquiera de estos casos la falla de una soldadura podría liberar grandes cantidades de materiales dañinos sobre el suelo, en el aire o en el agua. La dispersión es a menudo tan rápida que la contención es imposible y los resultados, aunque no sean inmediatamente tóxicos pueden ser irreversibles. Los métodos (NDT) tienen un papel importante que desempeñar para asegurar que este tipo de fallas se eliminen antes de generar impactos graves sobre el medio ambiente. (Mohammed, 2012).

**a. Estudio de prevención en el año 2017.**

Este estudio se realizó en el año 2017, con la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas y el cálculo de rate de corrosión y la vida remanente de la línea de tuberías

que transporta pulpa, se logró disminuir los aspectos ambientales anteriormente presentados a partir del año 2014.

**b. Identificación de aspectos ambientales:**

La identificación de los aspectos ambientales es un proceso continuo, que determina impactos potenciales pasados, presentes o futuros, positivos o negativos, de las actividades de la organización sobre el medio ambiente.

Para nuestro caso, solo determinamos aspectos sucedidos anteriormente a la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas, gracias a esta técnica sabemos la vida remanente de las tuberías con lo que se logrará prevenir aspectos ambientales como derrame de solución cianurada que transporta estas líneas. (Taldea, 2011).

Según los estudios realizados en los 3 últimos años en la empresa cliente de ADEMINSAC, se identificaron 8 aspectos ambientales:

- En el año 2014 se evidenció 4 perforaciones: en el mes de febrero en la tubería 6 del tramo 3, en el mes de julio en la tubería 7 del tramo 5, en el mes de noviembre en la tubería 3 del tramo 1 y en el mes de diciembre en la tubería 4 del tramo 5. Según estudio realizado por la empresa estas perforaciones fueron generadas por presentar bajos espesores en diferentes áreas y ángulos de la tubería.  
La inspección a estas tuberías fue puntual, aplicando la técnica de ultrasonido convencional (Rehkoff Díaz & Céspedes Corrales, 2017).
- En el año 2015 se evidenció 2 perforaciones: en el mes de junio en la tubería 4 del tramo 4 y en el mes de agosto en la tubería 12 del tramo 3. Según estudio realizado en este año por la empresa, estas perforaciones se presentaron por desgaste de material interno y externo, ya que estas tuberías se encuentran en áreas de lodos.  
La inspección a estas tuberías fue puntual, aplicando la técnica de ultrasonido convencional (Rehkoff Díaz & Céspedes Corrales, 2017).
- En el año 2016 se evidenció 2 perforaciones: en el mes de octubre en la tubería 1 del tramo 5 y en el mes de noviembre en la tubería 5 del tramo 4. Estas perforaciones se generaron debido al desgaste acelerado del material por la acidez de la solución (PH=3), lo que generó una variación con el tiempo programado para la inspección de estas líneas.  
La inspección a estas tuberías fue puntual, aplicando la técnica de ultrasonido convencional (Rehkoff Díaz & Céspedes Corrales, 2017).

### 3. Definición de Términos Básicos

- a. **Ensayos no destructivos:** Los ensayos no destructivos son herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio y mantenimiento de sistemas, cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa.
- b. **Vida remanente de tuberías:** Es el periodo probable expresado en años, que se estima que funcionara 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.
- c. **Rate de corrosión de tuberías:** Es la cantidad de corrosión por año de espesor, este deterioro depende de las condiciones ambientales y del tipo y condición en las cuales se encuentra el material de estudio.
- d. **Medición de espesor de tuberías:** Es el proceso de tomar medidas de espesor en las paredes de las tuberías, a través de la técnica ultrasonido convencional.
- e. **Aspecto ambiental:** Elemento de las actividades, producto o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente causándole un impacto negativo que puede ser reversible, tal es el caso de un derrame de solución cianurada cuya remediación sería la remoción del área afectada.

### 4. Hipótesis

Los ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas influyen reduciendo los aspectos ambientales en líneas que transportan pulpa en la empresa cliente de Ademinsac en el año 2017.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMISIONES	INDICADORES
<b>Ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas</b>	<p>Los ensayos no destructivos son herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio y mantenimiento de sistemas, cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa.</p> <p>Las ondas guiadas (GW), son ondas ultrasónicas que se propagan a lo largo de la longitud de la estructura, sirve para determinar la posible existencia y ubicación de puntos o zonas críticas. (Reyna Barandiarán, 2014).</p>	<p>Inspección por ondas guiadas magnetoestructivas.</p> <p>Inspección por ultrasonido convencional.</p>	<p>Identificación de áreas de bajos espesores.</p> <p>Identificación de fisuras.</p> <p>Identificación de laminaciones.</p> <p>Identificación de inclusiones metálicas.</p> <p>Espesor mínimo requerido.</p> <p>Rate de corrosión (mm/año).</p> <p>Vida remanente (años).</p>
<b>Prevención de aspectos ambientales</b>	<p>Elemento de las actividades, producto o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente. (Academic SGS, 2012).</p>	<p>Estudio de prevención de daños medioambientales.</p>	<p>Estudio de prevención en el 2017.</p> <p>Identificación de aspectos ambientales.</p>

### **3.2. Diseño de investigación**

No experimental transversal correlacional.

Hernández S., define no experimental como la investigación que se realiza sin manipular las variables de investigación solo se observan los fenómenos para analizarlos.

Transversal, método que permite recolectar datos en un solo momento para analizar la incidencia en un momento dado.

Correlacional, Diseño que describe las relaciones entre dos variables.

Este diseño nos permite recopilar datos para evaluar la influencia de la aplicación de ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas sobre los aspectos ambientales.

### **3.3. Unidad de estudio**

Hernandez, S., (2014), define como la unidad de estudio se refiere al contexto, característica o variable que se desea investigar.

La presente investigación tiene como unidad de estudio, una tubería (12 m) que transporta pulpa instalada en el año 2006, dentro de planta procesos de la unidad cliente de Ademinsac en el año 2017.

### **3.4. Población**

Hernandez, S., (2014), lo define como un conjunto de elementos del que se busca conocer sus características para variarlas o no.

Esta investigación tiene como población, las líneas que transporta pulpa instaladas en los años 2006, dentro de planta procesos de la unidad cliente de Ademinsac en el año 2017.

### **3.5. Muestra (muestreo o selección)**

Hernandez, S., (2014), lo define como un sub grupo del cual se recolectan datos y debe ser representativo de la población.

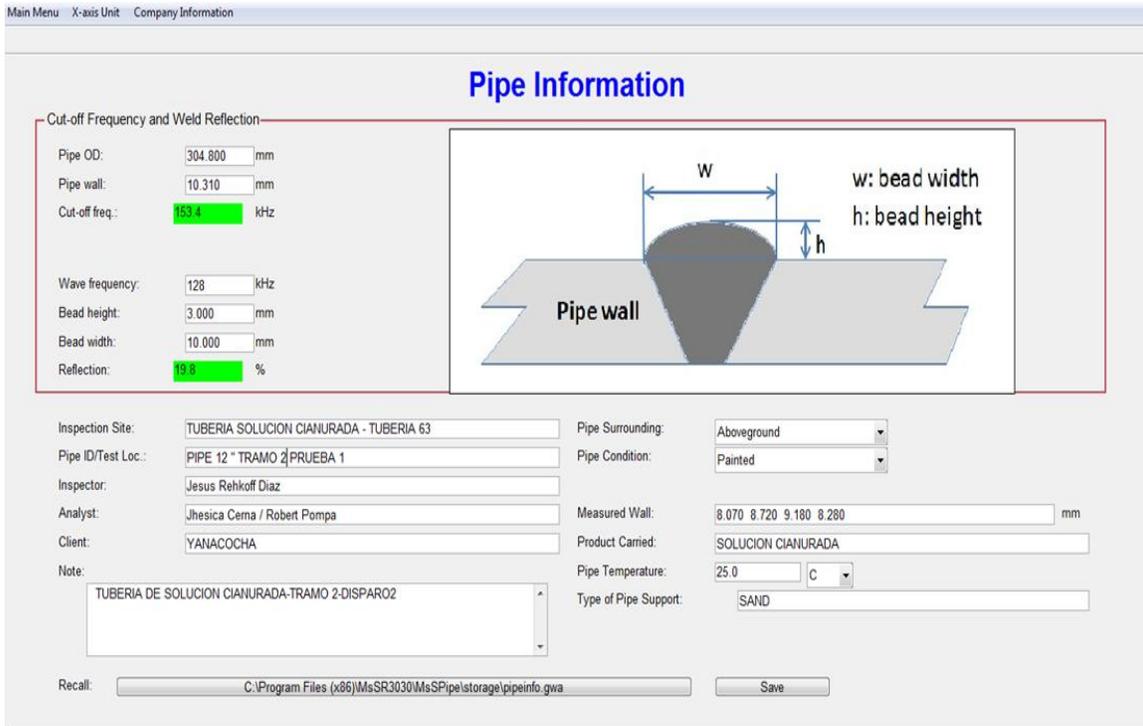
La presente tomó como muestra, una de las líneas de 566 metros que transporta pulpa en el año 2006 en la cual se aplicó la técnica ondas guiadas magnetoestructivas dentro de planta procesos de la unidad cliente de Ademinsac en el año 2017.

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

- a. **Observación.** Técnica que consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables.

Se ha utilizado esta técnica para conocer la localización de discontinuidades presentes en la línea de tubería que transporta pulpa, a su vez reconocer la orientación y extensión de las mismas.

- **Software MssPipe.** Instrumento basado en toma de identificación de discontinuidad, reflectores. Este diseño se basó en las variables e indicadores a investigar, nos ayuda a identificar la localización exacta de las discontinuidades en una determinada longitud y consta de diferentes frecuencias de onda. Cada disparo se realizó entre 15 y 25 metros lineales en la tubería, donde se procedió a la evaluación de la data tomada en el software.



The screenshot shows the 'Pipe Information' window of the MssPipe software. It features a central diagram of a pipe wall with a weld bead, labeled with 'w' for bead width and 'h' for bead height. To the left of the diagram are input fields for 'Cut-off Frequency and Weld Reflection', including Pipe OD (304.800 mm), Pipe wall (10.310 mm), Cut-off freq. (153.4 kHz), Wave frequency (128 kHz), Bead height (3.000 mm), Bead width (10.000 mm), and Reflection (19.6 %). Below the diagram are fields for 'Inspection Site', 'Pipe ID/Test Loc.', 'Inspector', 'Analyst', 'Client', 'Note', 'Pipe Surrounding', 'Pipe Condition', 'Measured Wall', 'Product Carried', 'Pipe Temperature', and 'Type of Pipe Support'. A 'Recall' field at the bottom shows the file path 'C:\Program Files (x86)\MsSR3030\MsSPipe\storage\pipeinfo.gwa' and a 'Save' button.

Imagen 3. Pantalla principal del software MssPipe.

- b. **Observación.** Se optó por esta técnica para reconocer el tipo de discontinuidades que está en toda la trayectoria de la línea de tubería, saber que espesor tiene cada discontinuidad indicada.

- **Formato de ultrasonido convencional.** Instrumento que consiste en el registro de toma de datos (espesores) válidos y confiables tomados directamente de la tubería. Se ha utilizado este instrumento para conocer los espesores y la situación real en las que se encuentra las tuberías, se realizó ultrasonido convencional mediante medición de espesores para evaluar los criterios de cada indicador (rate de corrosión, vida remanente).

Se diseñó formatos de evaluación en Excel, los cuales se van a utilizar para determinar nuestros indicadores (rate de corrosión, vida remanente y espesor mínimo requerido).

Esta metodología consistió en asignar a cada indicador 8 valores tomados en sentido horario en los ocho cuadrantes principales de las zonas críticas de las tuberías.

Cada valor tiene un rango de criterio de análisis donde los valores de menor o igual a cero significan retiro inmediato de la tubería y los valores mayores a 3 años se encuentran en buenas condiciones.

### **3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos**

- a. **La aplicación de ondas guiadas:** Se aplicó en puntos específicos de la línea (tuberías) que transportan pulpa para identificar áreas críticas (bajos espesores) con respecto a los indicadores. Se utilizó como punto de partida para evaluar cuales son la recomendación y mejoras a implementar de acuerdo al nivel de ingeniería.

Los disparos se realizaron en cada tramo a una distancia de 15 m aproximadamente dependiendo de las condiciones en las que se encuentra toda la línea. Para la obtención de los datos se pone en funcionamiento el software que identifica a que distancia se encuentra las zonas críticas la cual posteriormente pasa a ser interpretada.

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS**

- a. Resultados de la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas en los 5 tramos en el año 2017.**

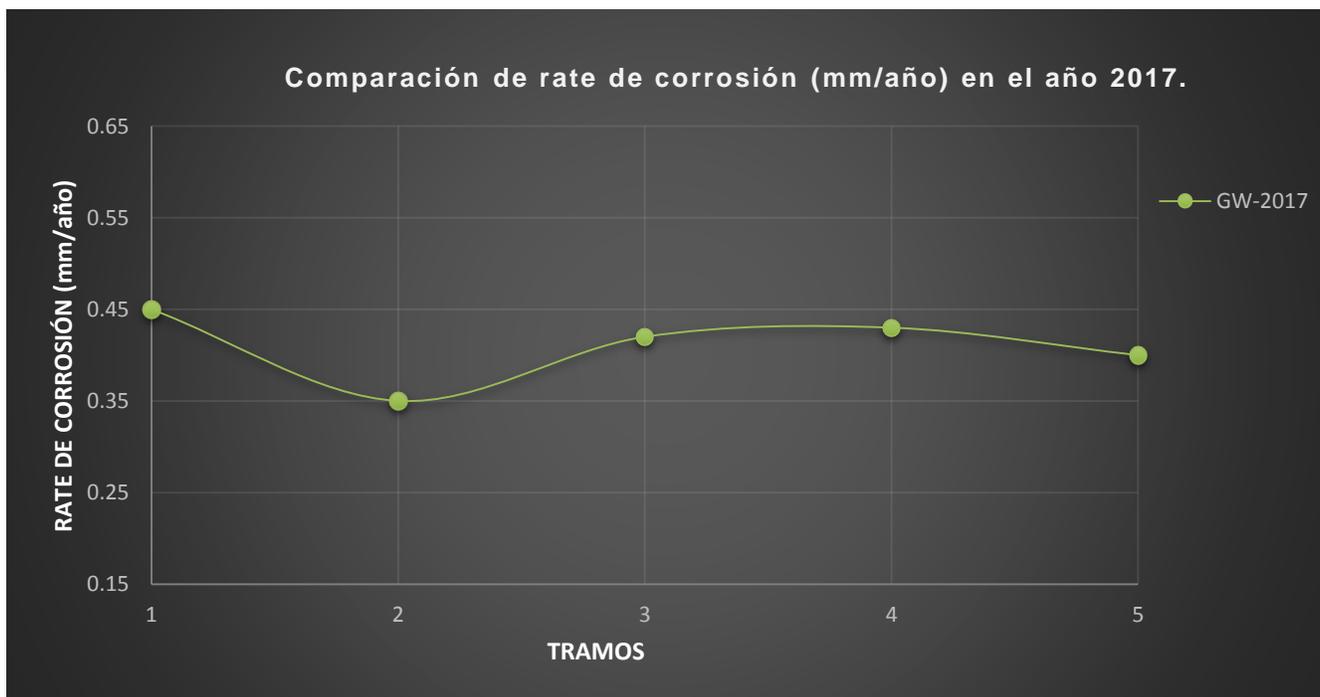
- b. Resultados de la medición de espesores por ultrasonido convencional en los 5 tramos realizados en el año 2017, después de la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas.**

En la tabla 10 se aprecian los resultados promedio de rate de corrosión en los puntos que se tomaron de las zonas críticas identificadas en el año 2017.

Se observa que el rate de corrosión menor se presenta en el tramos 2 y el mayor en el tramos 1; esto quiere decir que en el tramo 1 existe mayor desgaste a diferencia del tramo 2. Debido a las condiciones externas que esta presenta.

**Tabla 10.** Comparación de rate de corrosión en el año 2017.

LÍNEA M.S	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	PROMEDIO
GW-2017	0.450	0.350	0.420	0.430	0.400	0.410



**Imagen 24.** Rate de corrosión con la aplicación de ondas guiadas magnetoestructivas en el año 2017.

Los resultados han sido identificados teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Categoría crítica (color rojo): vida remanente = 0 años

- Espesores que representan riesgo para la operación normal, se encuentra por debajo al espesor límite de retiro. Indicando reemplazo en un periodo no mayor de 3 meses.

Categoría severo (color naranja): 0 años = vida remanente = 1.0 años

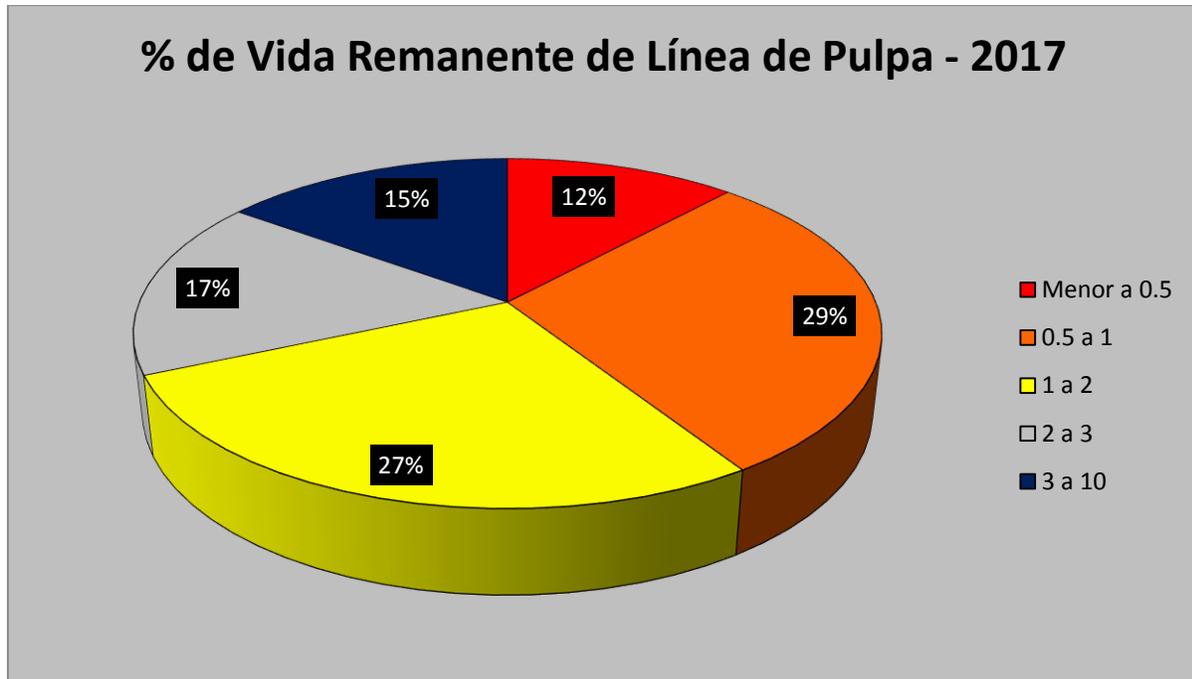
- Espesores que representan riesgo para la operación normal, se encuentra cerca al espesor límite de retiro. Indicando reemplazo en un periodo no mayor de 6 meses.  
Categoría alta (color amarillo): 1.0 años = vida remanente = 2.0 años
- Espesores que representan riesgo para la operación normal, se encuentra cerca al espesor límite de retiro. Indicando reemplazo en un periodo no mayor de 12 meses. Categoría medio (color gris): 2.0 años = vida remanente = 3=3.0 años.
- Espesores que representan riesgo para la operación normal, se encuentra cerca al espesor límite de retiro. Indicando reemplazo en un periodo no mayor de 15 meses.  
Categoría bajo (color azul): vida remanente > 3.0 años.
- Determina los espesores que se encuentra dentro del rango permisible de aceptación, pero al mismo tiempo cuenta con una probabilidad de falla a mediano plazo (conforme API 570 6.3.3) quedando en la potestad del cliente las acciones correctivos.

En la tabla 11 se aprecian las longitudes de cada una de las condiciones en años de la vida remanente de las tuberías en el año 2017.

Identificamos que en este año las condiciones de las tuberías han mejorado radicalmente en comparación a años anteriores que no se realizaba la inspección con ondas guiadas magnetoestructivas.

**Tabla 11.** Vida remanente 2017 – ondas guiadas magnetoestructivas.

AÑOS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TOTAL(m)	%
Menor a 0.5	39	–	–	–	28.17	67.17	12%
0.5 a 1	–	–	97.5	44	23	164.5	29.03%
1 a 2	10.7	11.55	109.8	–	24	156.05	27.54%
2 a 3	10.7	45.47	13.9	–	24	94.07	16.60%
3 a 10	21.2	50.97	–	12.7	–	84.87	14.98%
<b>TOTAL</b>	<b>81.6</b>	<b>107.99</b>	<b>221.2</b>	<b>56.7</b>	<b>99.17</b>	<b>566.66</b>	<b>100%</b>



**Imagen 25.** % de Vida Remanente de Línea de Pulpa-2017.

**Tabla 12.** Análisis de los resultados de vida remanente de la imagen 25.

AÑOS	GWT 2017	NOTAS
<b>MENOR A 0.5</b>	12%	Estas tuberías presentan bajos espesores con riesgo de ser perforadas, se recomienda ser cambiadas.
<b>0.5 A 1</b>	29.03%	Se registra una disminución, debido a los cambios realizados por la empresa cliente de Ademinsac, sin embargo, por el rate de corrosión, algunas tuberías con condición entre 1 a 2 años, han pasado a una condición con vida remanente entre 0.5 a 1 año.
<b>1 a 2</b>	27.54%	Se registra una disminución por varios motivos: - Debido al rate de corrosión, algunas tuberías con condición entre 1 a 2 años, han pasado a una condición con vida remanente entre 0.5 a 1 año.
<b>2 a 3</b>	16.60%	Se observa una disminución severa debido al rate de corrosión, algunas condiciones entre 2 a 3, han pasado a una vida remanente entre 1 a 2
<b>Mayor a 3</b>	14.98%	Se registra un aumento severo de los tramos con vida remanente mayor a 3 años, debido a los cambios realizados en la tubería.

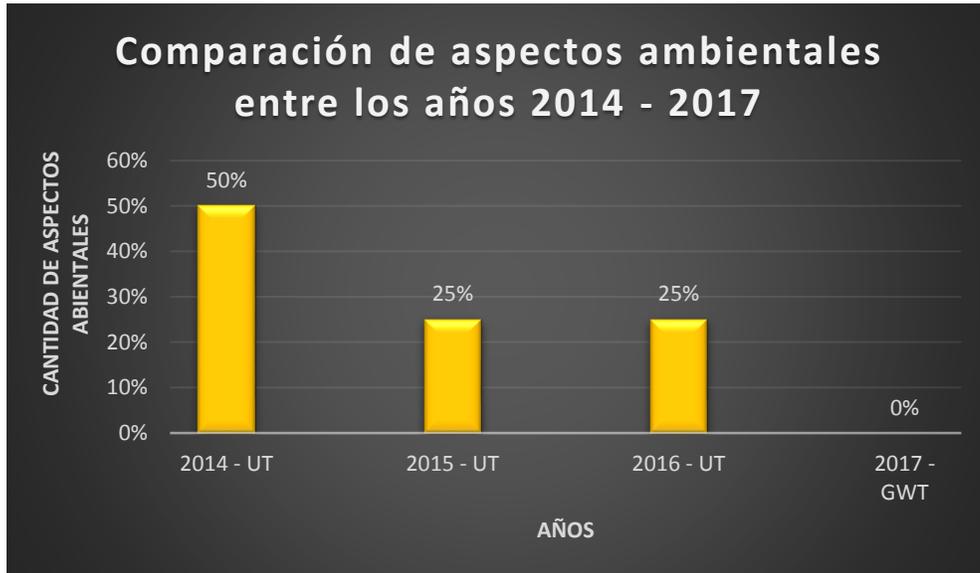
Una vez realizado el estudio, obtenemos como técnica de contraste de hipótesis (los ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas influyen reduciendo los aspectos ambientales en líneas que transportan pulpa en la empresa cliente de Ademinsac en el año 2017). Una tabla comparativa donde se muestra la reducción de aspectos ambientales del año 2017 con respecto a los 3 años anteriores, y planos identificando las fugas en las tuberías y tramos en los que se suscitaron.

**Tabla 13.** Aspectos ambientales entre los años 2014 - 2017.

AÑO	MES	ASPECTO AMBIENTAL	TRAMO	TOTAL
2014	FEBRERO	Derrame de pulpa.	III	4
	JULIO	Derrame de pulpa.	V	
	NOVIEMBRE	Derrame de pulpa.	I	
	DICIEMBRE	Derrame de pulpa.	V	
2015	JUNIO	Derrame de pulpa.	IV	2
	AGOSTO	Derrame de pulpa.	III	
2016	OCTUBRE	Derrame de pulpa.	V	2
	NOVIEMBRE	Derrame de pulpa.	IV	
2017	-	-	-	0

En la tabla 13 presentamos aspectos ambientales por derrame de pulpa de la empresa cliente de ADEMINSAC en los años 2014 – 2017. Como se observa en el último año ha disminuido en su totalidad los aspectos ambientales, debido a la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas.

A continuación se presenta el porcentaje de disminución de aspectos ambientales con la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas.



**Imagen 26.** Comparación en % de aspectos ambientales entre los años 2014 - 2017.

En la imagen 26 se observa que durante el año 2017 no se ha presentado ningún aspecto ambiental ya que la inspección se ha realizado con la técnica ondas guiadas magnetoestructivas, la cual nos permite identificar todo tipo de discontinuidades que presenta a lo largo de las tuberías.

A continuación se presentan 2 planos: En el plano N° 01 observamos la ubicación de las perforaciones en las tuberías de los 5 tramos entre los años 2014 – 2016 y en el plano N° 02 observamos que no existe ninguna perforación durante el año 2017 debido a la aplicación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas, pero si observamos el estado de todas las tuberías de acuerdo a su vida útil.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se logró la disminución de aspectos ambientales por derrame de pulpa a causa de la falla o rotura de tuberías que transportan la misma. Esta disminución depende principalmente de la inspección por la técnica ondas guiadas magnetoestructivas.

Núñez Ledesma & Pérez Baruch, (2011) atribuye que los ensayos no destructivos ondas guiadas inspecciona zonas críticas detectando rápidamente defectos (corrosion, bajos espesores, reflectores entre otros), sin importar el tipo de solución que transporta las tuberías. En esta investigación los indicadores que mas se relacionan a este estudio es la identificación de corrosión y bajos espesores. Por este motivo se buscó evaluar a través de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas logrando identificar un 19% de tubería que necesita ser cambiada.

Al cambiar las tuberías la vida remanente de las mismas pasan a ser mayor de 10 año y de esta manera se evitó un aspecto ambiental.

Nieto Gómez, (2015) implementa la técnica de inspección ultrasónica por ondas guiadas en la Empresa LIVCA, ya que esta técnica cuenta con la mayor cantidad de herramientas para la inspección e interpretación de la data de sus líneas de tubería. Contrastando la información con los resultados de esta investigación se ha logrado disminuir la probabilidad de generar aspectos ambientales, gracias a la implementación de la técnica ondas guiadas magnetoestructivas; esta técnica logró identificar la localización de las discontinuidades presentes en las líneas de tuberías que transportan pulpa, y así medir los espesores en los puntos indicados para determinar el tiempo de vida útil de cada tubería inspeccionada.

Torres Sánchez, (2016) indicó que en el departamento de Loreto se ha sucedido muchos aspectos ambientales por derrame de petróleo crudo, como causa principal es la corrosión interna y externa de las líneas que transporta esta solución; Torres Sanchez solicita una técnica que tenga la capacidad de inspeccionar y determinar la localización de discontinuidades presentes en toda la línea evitando mas derrames al medio ambiente. En relación con nuestra investigación se implementó la técnica ondas guiadas magnetoestructivas en la empresa cliente de Ademinsac, por su capacidad de detectar discontinuidades presentes en la línea que transporta pulpa.

Se concluye que para evitar aspectos ambientales por derrame de soluciones cianuradas, no es suficiente con saber la localización de las discontinuidades (bajos espesores), si no también determinar la vida remanente de las discontinuidades indicadas, y saber ubicación, cantidad exacta de tuberías a ser cambiadas. Es por ello que la empresa Ademinsac apuesta por esta técnica de ondas guiadas magnetoestructivas.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

- A través de los análisis realizados (interpretación de las ondas guiadas, toma de espesores por ultrasonido convencional) logramos identificar la influencia de los ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas de manera positiva en el periodo de un año, reflejando la disminución al 100% de aspectos ambientales en el año 2017.
- Se identificó las discontinuidades en tuberías que transportan pulpa con información obtenida por el equipo de ondas guiadas magnetoestructivas y el ultrasonido convencional, en cuyos resultados se evidenció zonas críticas (bajos espesores) con periodo de tiempo menor a 5 meses.
- Se determinó el espesor mínimo requerido para toda la tubería que transporta pulpa, con la aplicación de una fórmula basada en valores de la tubería. El valor mínimo requerido sirvió para identificar que tuberías se encuentran en estado crítico (tiempo de vida máximo 5 meses).
- Se determinó el rate de corrosión en tuberías que transportan pulpa lo que permitió identificar tuberías que presenten mayor cantidad de indicaciones.
- Se determinó la vida remanente de las tuberías que transportan pulpa, lo que nos permitió determinar la cantidad de tuberías a ser cambiadas.

## CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES

- Se considera de gran importancia profundizar en una futura investigación del tema relacionado con los ensayos no destructivos especialmente en la técnica de ondas guiadas magnetoestructiva, aplicadas a tanques y tubería de un material diferente al acero al carbono.
- Se recomienda realizar un estudio de prevención de aspectos ambientales aplicando la técnica ondas guiadas magnetoestructivas en líneas de gran alcance que transportan otro tipo de solución peligrosa (petróleo, gas, solución barren, cianuro).
- Se recomienda profundizar en los mecanismos de daño de las diferentes discontinuidades presentes en la línea que transporta pulpa.
- Se recomienda que las tuberías a ser remplazadas por espesores bajos, por rate corrosión alto y con una vida remanente baja, sean del mismo Schedule que la anterior, para evitar el avance corrosivo de la tubería.
- Se recomienda realizar una futura investigación realizando una comparativa en los ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas y piezoeléctricas en las líneas que transporta pulpa.
- Recomendamos usar esta técnica de ondas guiadas magnetoestructivas cuando se requiere de una inspección al 100% de una tubería con espesor no mayor a 1.5 in en las mejores condiciones.
- Recomendamos la utilización de esta técnica ondas guiadas magnetoestructivas como una buena práctica para la prevención de aspectos ambientales.

## CAPÍTULO 8. REFERENCIAS

- Ademinbol S.R.L. (2015). *Informe final de inspección de tubería, Corani. Empresa Eléctrica Corani S.A.* Cochabamba - Bolivia.
- Ademinsac. (2014). *Informe técnico de inspección END: UT Haz normal (medición de espesores), ultrasonido avanzado phased array, inspección visual (VT) y ondas guiadas (GW) a las líneas de oxígeno de la planta N°1 y N°2 hacia el horno ISASMELT. Compañía Minera Sauthern Coppe.* Moquegua - Perú.
- Castilla , J. (2017). *Barrick pudo haber evitado derrame de solución de cianuro en mina argentina. Barrick Gold.* San Juan - Argentina.
- Chirinos Martínez, L., & Reyna Otayza, A. (2014). *Inspección mediante líquidos penetrantes nivel I-II.* Ademinsac. Lima- Perú.
- Cruz Minguez, V., Gallego Martín, E., & Gonzales de Paula, L. (2011). *Sistema de evaluación de impacto ambiental.* Moncloa - Madrid.
- Escajadillo Agapito, J., & Reyna Barandiarán, A. (2016). *Informe técnico de inspección de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica Peuchen, Oroazul Energy.* Chile.
- Ly Medina, D. (2015). *Inspeccion de las uniones soldadas de juntas a tope de penetración completa con diseño de junta en simple "V" para un rango de espesores de 8 a 25 mm mediante el método de ensayo de ultrasonido y la técnica de arreglo de facés (PHASED ARRAY).* Lima - Perú.
- Macalupu Preciado, J. (2014). *Inspección visual nivel II.* Lima-Perú.
- Mohammed, O. (2012). *Nondestructive Testing methods and new applications.* Rijeka - Croacia.
- Mora Paniagua, C. (2016). *Balance de la fiscalización ambiental en el caso de los derrames de hidrocarburos en oleoducto norperuano. Petroperú.* Amazonas, Cajamarca, Lambayeque, Piura - Perú.
- Nieto Gómez, V. (2015). *Estudio factibilidad implementación de la técnica de Ondas Guiadas para los servicios de Livca.* Sartenejas - Bolivia.

- Núñez Ledesma, V., & Pérez Baruch, E. (2011). *Pruebas con Ondas Guiadas en un gasoducto sumergido*. Cancún - México.
- Rehkoff Díaz, J., & Céspedes Corrales, N. (2017). *Derrame de solución cianurada (Mill Sand), Ademinsac*. Cajamarca - Perú.
- Reyna Barandiarán, A. (2015). *Inspección de fondo de tanques de almacenamiento API 650 mediante emisión acústica*. Lima - Perú.
- Reyna Barandiarán, A. (2014). *Ondas Guiadas (LRUT), Ademinsac*. Lima - Perú.
- Reyna Barandiarán, A., & Mendoza, H. (2015). *Reporte de Inspección N°AD-RI-NDT-001 Línea de Isopentano 6-PL-A01-1B-10420/0 senda de esferas. Refinación Gualberto Villarroel S.A.* Cochabamba - Bolivia.
- Reyna Otayza, A. (2014). *Ultrasonido Nivel III*. Lima - Perú.
- SGS Academic. (2012). *Aspectos e impactos ambientales*. Lima - Perú.
- Ademinbol. (2015). *Informe final de inspección de tubería, Corani. Empresa Eléctrica Corani S.A.* Cochabamba - Bolivia.
- Sánchez Angulo, J. (2011). *Medio ambiente y desarrollo sostenible*. Chimbote - Perú.
- Taldea, E. (2011). *Identificación y evaluación de aspectos ambientales*. Vasco.
- Torres Sánchez, T. (2016). *Derrame en Loreto y Amazonas, Petroperú, oleoducto norperuano*. Loreto, Amazonas - Perú.

## CAPÍTULO 9. ANEXOS

### Anexo 1. Procedimiento de ensayo, ondas guiadas magnetoestructivas.

#### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

#### TAREA TOMA DE DATA EN LA TUBERÍA CON EQUIPO ONDAS GUIADAS MAGNETOESTRUCTIVAS. PROCEDIMIENTO

N°	PASO (QUÉ)	EXPLICACIÓN (CÓMO)
1	<b>PLANIFICACIÓN</b>	1.1. Coordinar con los supervisores e inspectores de NDT para la inspección del día.
2	<b>INSPECCIÓN DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS, MATERIALES Y ZONA DE TRABAJO</b>	2.1. Verificar que todo el equipo ondas guiadas magnetoestructivas cuenten con la inspección trimestral y la cinta de color respectiva. 2.2. Realizar la inspección de la zona donde se va a ejecutar la actividad correspondiente, con una visión a 360°, manteniendo el orden y limpieza.
3	<b>EJECUCIÓN DE TAREA</b>	3.1. Una vez verificado que todos los equipos estén con perfectas condiciones, se procede a encontrar la localización y preparar la superficie de la tubería. 3.2. La instalación del sensor Mss se recomienda al menos un metro alejado de un reflector grande (cordones, bridas y codos), No instalar en el medio de dos reflectores, ni en secciones cónicas, ni en líneas que presentan dos codos de 90°. 3.3. Colocar el WRAP (espacio máximo de abertura de la cinta FeCo) alrededor de la tubería y alinear apropiadamente. 3.4. Limpiar restos de suciedad con papel toalla, cepillo o lija dependiendo de las condiciones superficiales de la tubería. 3.5. Preparar la cinta fierro cobalto (FeCo), cortar la cinta a una longitud ligeramente más corta que el de la tubería (aproximadamente 0.1”). 3.6. Aplicar el acoplante (gel) que tenga mayor duración de secado y que no sea viscoso a temperaturas frías para luego instalar la cinta alrededor de la tubería, ajustando con cinta masking para mantener estable la cinta FeCo. 3.7. Magnetizar la cinta mediante un magnetizador (imán), se inicia posicionando éste sobre la cinta moviendo alrededor de la cinta 02 a 03 veces a una velocidad constante de 0.3-0.6 m/s. No producir vibración o golpe al momento de la magnetización de la cinta FeCo. 3.8. Conectar el sensor Mss en instrumentos, se inicia conectando el cable USB entre MSSR3030R y la PC adecuadamente para luego conectar el cable del sistema en la entrada PE del MSSR3030R luego conectar el sistema al cable verificando los colores de entradas (Ch1: cable verde en conector “lemo” y Ch2: cable rojo con conector “lemo”), conector el cable Y al sensor Mss. 3.9. Se procede a la instalación de la bobina (ribbon cable),

posicionando la bobina con el sensor Mss en la parte de arriba de la cinta FeCo usando cinta para mantener la bobina en su posición mientras se hace cambios de transductores con múltiples frecuencias (32, 45, 64, 90, 128 KHz).

3.10. Se procede a la práctica de análisis e interpretación de información, en la misma que se genera la revisión de indicaciones y la reducción de ellas, para ello se entiende espectrograma en el ploteo, la verificación de las indicaciones de los reflectores geométricos (accesorios y fittings), la verificación de imperfecciones en señales de control de dirección, encontrar reflexiones múltiples.

**Anexo 2. Dimensiones, espesores nominales, clasificación por peso de tuberías de acero al carbono, con base a la práctica recomendada API 574.**

Diámetro Nominal De Tubería	Diámetro Nominal De Tubería En Mm	Diámetro Externo En In	Diámetro Externo En Mm	Cédula	Clasificación Por Peso	Diámetro Interno Aproximado	Diámetro Interno Aproximado En Mm	Espesor Nominal En In	Espesor Nominal En Mm
				20		12.25	311.1	0.25	6.35
				30		12.09	307.04	0.33	8.38
				–	STD	12	304.74	0.375	9.53
				40		11.938	303.18	0.406	10.31
				–	XS	11.75	298.4	0.5	12.7
12	300	12.75	323.8	60		11.626	295.26	0.562	14.27
				80		11.374	288.84	0.688	17.48
				100		11.062	280.92	0.844	21.44
				120		10.75	273	1	25.4
				140		10.5	266.64	1.125	28.58
				160		10.126	257.16	1.312	33.32

**Anexo 3. Contrastación de Hipótesis.**

El diseño de investigación de este estudio es no experimental correlacional, dado esto nuestra contrastación de hipótesis se basa en un análisis paramétrico de tipo coeficiente correlación de Pearson.

Pearson se define como la prueba para analizar la relación entre dos variables, y el nivel de medición de las variables es:

+1.00 = lo que significa ser un análisis correlacional positiva perfecta (al aumentar una variable la otra también aumenta o al disminuir una variable la otra también disminuye), directamente proporcional.

En esta investigación se presentan dos variables:

- Influencia de los ensayos no destructivos ondas guiadas magnetoestructivas.
- Prevención de aspectos ambientales.

Como una similitud expuesta anteriormente, nuestras variables se relacionan de la siguiente manera:

Al aumentar las indicaciones en los resultados de la aplicación de ondas guiadas magnetoestructivas la probabilidad de suceder un aspecto ambiental aumenta.

**Anexo 4.** *Inspección de tuberías por ondas guiadas magnetoestructivas y ultrasonido convencional.*



**Anexo 5.** *Medición de espesores con ultrasonido convencional.*



**Anexo 6.** *Transductor del equipo ultrasonido.*



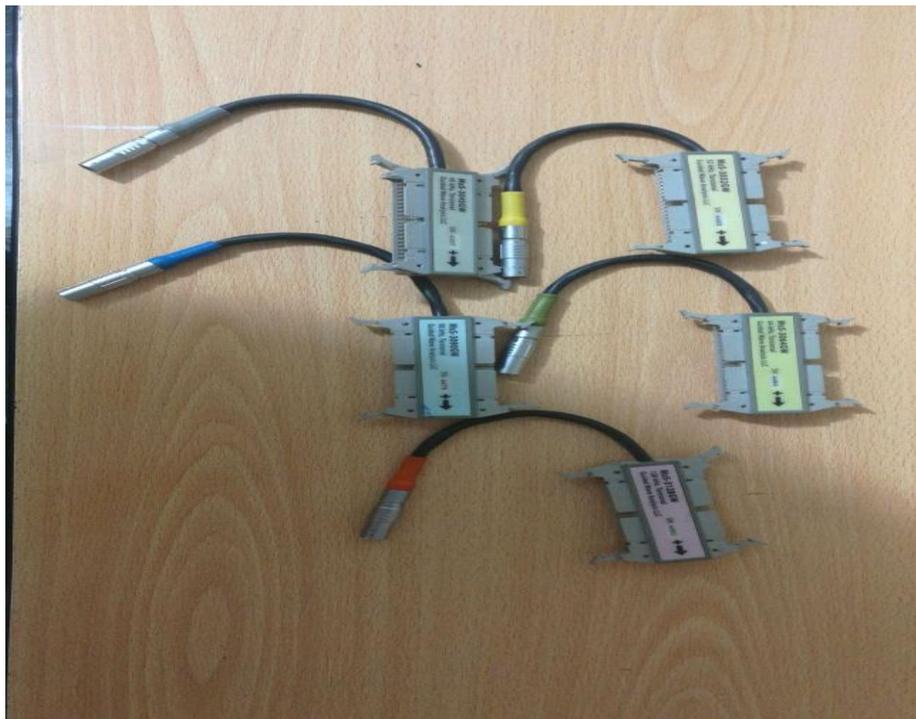
**Anexo 7.** *Equipo de Ondas Guiadas Magnetoestructivas.*



**Anexo 8. Laptop PANASONIC**



**Anexo 9. Transductores (32, 45, 64, 90, 128, 180)KHz**



**Anexo 10. Bobina longitudinal.**



**Anexo 11. Bobinas longitudinales y sectoriales.**



**Anexo 12.** *Cable de señal coaxial.*



**Anexo 13.** *Lámina fierro cobalto (FeCo).*



**Anexo 14.** *Cable "Y"*



**Anexo 15.** *Imán (Magnetizador).*



**Anexo 16. Acoplante (Cera).**



**Anexo 17. Acoplante (epóxico).**

