

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**“GESTIÓN DEL PROCESO DE ENSAYOS NO
DESTRUCTIVOS EN EL AREA DE
MANTENIMIENTO MINA - YANACOCCHA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

EDWIN JOSE QUIROZ RODRIGUEZ

ASESOR:

ING.FELIX MAURICIO PEREZ

Lima – Perú

2015

A Dios.

Por su infinita bondad y amor.

Porque sin Él, no hubiera llegado a alcanzar mis objetivos de vida con salud y rodeado de los seres a los que más quiero. Gracias por darle a mi esfuerzo su éxito y por estar conmigo en cada paso.

A mis padres José y Violeta.

Por haberme apoyado en todo momento y como hasta ahora lo hacen, por ser un ejemplo de vida con valores y en perseverancia. Gracias por ser los pilares fundamentales de lo que soy.

A mi amada esposa Flor Elizabet.

Por su inacabable paciencia e incalculable apoyo en la difícil tarea de sostener una familia. Gracias por creer en mí en todo momento y por recordarme a diario lo mucho que me amas.

A mis hijos Rodrigo, Andrea y Benjamín

Por ser mi mayor inspiración, y esa fuerza motriz necesaria para nunca detenerme y siempre seguir adelante. Gracias por darle un mayor sentido a mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento por medio de la presente:

A la empresa Minera Yanacocha S.R.L. por darme las facilidades técnicas y buenas condiciones laborales en el área de Mantenimiento Predictivo que permitieron desempeñarme y desarrollarme óptimamente.

A la Escuela de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, a todos los catedráticos que en gran medida me impartieron sus conocimientos y experiencias que han sido y seguirán siendo el soporte en toda mi vida profesional.

A todas aquellas amistades que influenciaron en mi desarrollo como profesional y como persona de bien, a todos ellos agradezco sus consejos, su ánimo y su amistad. Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes.

INDICE

CAPITULO I	GENERALIDADES	15
1.1	UBICACIÓN	15
1.2	ANTECEDENTES	16
1.3	OBJETIVOS GENERALES	28
1.4	OBJETIVOS ESPECIFICOS	28
CAPITULO II	TECNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS APROBADOS PARA SU APLICACIÓN DENTRO DE LOS TALLERES DE MANTENIMIENTO MINA – YANACOCHA	
2.1	INTRODUCCION	30
2.1.1	Concepto general	30
2.2	APLICACIÓN	31
2.3	CARACTERISTICAS D ELOS MATERIALES	32
2.4	CLASIFICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (UTILIZADOS EN TALLERES DE MANTENIMIENTO)	34
2.5	CALIFICACION DE NIVELES	36
2.6	INSPECCION VISUAL	38
2.7	ENSAYOS POR LIQUIDOS PENETRANTES	39
2.8	ENSAYOS POR PARTICULAS MAGNETICAS	44

2.9	ENSAYOS POR ULTRASONIDO	56
-----	-------------------------	----

CAPITULO III MANTENIMIENTO PREDICTIVO

3.1	INTRODUCCIÓN	64
-----	--------------	----

CAPITULO IV GERENCIA DE MANTENIMIENTO MINA MINERA YANACOCKA

4.1	INTRODUCCIÓN.	69
4.1.1	Mantenimiento Mina	69
4.1.2	Equipment Health	71

CAPITULO V MAQUINARIA PESADA INSPECCIONADA MEDIANTE

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN MINERA YANACOCKA.

5.1	INTRODUCCIÓN.	73
5.1.1	Flota camiones	74
5.1.2	Flota cargadores	75
5.1.3	Flota auxiliar	76
5.1.4	Flota perforadoras	78

CAPITULO VI METODO TRADICIONAL DEL PROCESO DE ENSAYOS NO

DESTRUCTIVOS EN MINERA YANACOCKA

6.1	INTRODUCCIÓN.	80
-----	---------------	----

CAPITULO VII ESTRATEGIA ACTUAL APLICADA AL PROCESO DE

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN MINERA YANACOCKA

7.1	INTRODUCCIÓN.	84
-----	---------------	----

7.2	PRINCIPALES VARIABLES	85
7.3	ESTANDARIZACIÓN DE ZONAS DEL CHASIS	88
7.4	CRITERIOS DE CRITICIDAD	88
7.5	PROCESO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	91

CAPITULO VIII ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

8.1	ANÁLISIS	94
8.2	INTERPRETACIÓN	95

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	En plena exploración	20
Figura N°2	Suelo orgánico (Top soil)	21
Figura N°3	Perforación	22
Figura N°4	Carguio y acarreo	22
Figura N°5	Pad de Lixiviación	23
Figura N°6	Proceso de Lixiviación en pilas	24
Figura N° 7	Planta de procesamiento	24
Figura N° 8	Proceso Gold Mill	25
Figura N° 9	Columnas de carbón	26
Figura N°10	Proceso Merrill Crowe	26
Figura N° 11	Fundición del oro	27
Figura N° 12	Limpieza inicial y secado	40
Figura N° 13	Aplicación del líquido penetrante	40
Figura N° 14	Limpieza intermedia	41
Figura N° 15	Aplicación del revelador	42
Figura N° 16	Inspección y evaluación	42
Figura N° 17	Materiales magnéticos	47
Figura N° 18	Ejemplo de curvas B-H	48
Figura N° 19	Campo magnético uniforme	49
Figura N° 20	Distribución de las líneas de inducción magnética	49
Figura N° 21	Electroimán (yugo)	53
Figura N° 22:	Inspección por partículas magnéticas	54
Figura N° 23:	END por partículas magnéticas	56
Figura N° 24:	END por ultrasonido	57

Figura N° 25:	Ondas y palpadores	58
Figura N° 26:	Forma y característica del haz	59
Figura N° 27:	Técnica de Trasmisión	61
Figura N° 28:	Técnica pulso-eco	62
Figura N° 29.	Organigrama del área de mantenimiento predictivo en el departamento de mantenimiento mina – Yanacocha.	70
Figura N° 30	Camión fuera de carretera 793D y detalle de fisura detectada	74
Figura N° 31	Cargador frontal y detalle de fisura detectada en componente	75
Figura N° 32	Tractor de ruedas 844 K y detalle de fisura detectada	76
Figura N° 33	Tractor de orugas D11R y detalle de fisura detectada	77
Figura N° 34	Cargador 966H y detalle de reporte de inspección	77
Figura N° 35	Motoniveladora 24H y detalle de inspección de eje de rueda derecho	78
Figura N° 36	Perforadora Pitviper 271 y detalle de fisuras detectadas	80
Figura N° 37	Proceso tradicional de ensayos no destructivos	82
Figura N° 38	Zonas críticas de chasis de camión fuera de carretera, elaborado por Ferreyros - CAT	83
Figura N° 39	Texto extendido de orden de trabajo reportando fisuras en el equipo.	84
Figura N° 40	Ubicación y detalle de pendientes en zonas de operación	88
Figura N° 41	Eventos RAC (control de análisis de caminos). Sistema de suspensión.	89
Figura N° 42	Reconstrucción en riel central de chasis de camión 793C por efecto de múltiples reparaciones en la zona.	89
Figura N° 43	Distribución de zonas del chasis de camión fuera de carretera	90
Figura N° 44	Rangos de criticidad por longitud de fisuras	91

Figura N° 45	Criticidad de fisuras por ubicación	92
Figura N° 46	Criticidad de fisuras por fatiga térmica	92
Figura N° 47	Proceso de END – Estrategia actual	94
Figura N° 48	Tendencia de aparición de fisuras en la flota camiones	96
Figura N° 49	Pareto que identifica zonas críticas por cantidad de reparaciones en flota 793C	98
Figura N° 50	Fisuras en riel central de flota 793B. Efecto de estrategia de cambio de componente con elevada fatiga térmica.	99

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	Promedio de precipitaciones en propiedad de Yanacocha SRL	19
Tabla N° 2	Características de yugos magnéticos	51
Tabla N°3	Flota de camión fuera de carretera y END aplicados	74
Tabla N° 4	Flota de cargadores frontales y END aplicados	76
Tabla N° 5	Flota auxiliar y END aplicados	79
Tabla N° 6	Flota perforadoras y END aplicados	80
Tabla N° 7	Niveles de criticidad y recomendaciones a ejecutar	93

RESUMEN

Para la elaboración de esta Tesis, se ha usado la experiencia obtenida en la empresa Minera Yanacocha S.R.L. empresa minera a tajo abierto, dedicada a la extracción de oro. Las funciones desempeñadas fueron las de realizar inspección mediante ensayos no destructivos: Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas y Ultrasonido convencional en el chasis y determinados componentes de todas las flotas de equipos de carga pesada, utilizados para el acarreo de material y a la flota de equipos auxiliares para movimiento de material.

La empresa Minera Yanacocha busca optimizar procesos buscando obtener la mejor producción respetando la seguridad, el medio ambiente y la responsabilidad social, teniendo estos pilares se ha implementado una estrategia de aplicación de Ensayos No Destructivos a toda la maquinaria pesada, para que de esta manera se logren los objetivos presupuestados en la producción. Esta estrategia ha tenido éxito gracias al compromiso y participación de toda la línea de mando, desde el gerente general de Operaciones Mina, pasando por toda la línea de supervisión y terminando en el inspector de Ensayos No Destructivos que fue quien aplicó las diversas técnicas en el chasis y componentes analizados.

La gestión aplicada por el área de Mantenimiento Predictivo ha servido para que esta área se establezca como aquella que determina todas las acciones que se van a realizar a los equipos de maquinaria pesada, no sólo con los ensayos no destructivos sino también con el monitoreo de condiciones y el análisis de falla que determinaron acciones correctivas inmediatas ofreciendo niveles elevados de confiabilidad a los componentes y equipos analizados.

ABSTRACT

In preparing this thesis, we have used the experience gained in Minera Yanacocha SRL, open pit mining company for the extraction of gold. The functions that we were performing were to inspect by NDT: visual Inspection, fluids penetrant inspection for cracks, magnetic particle and conventional ultrasound in the chassis and certain components of all fleets of giant equipment, used for hauling of material and auxiliary fleet equipment for movement of material.

Minera Yanacocha company seeks to optimize processes that allow obtain the best production respecting the safety, the environment and social responsibility, taking these pillars has implemented a strategy of application of NDT to all heavy machinery, so that in this way achieve the objectives budgeted for production. This strategy has been successful thanks to the commitment and participation of the entire chain of command, from the General Manager of Mine Operations, through the entire line of supervision and ending in Non-Destructive Testing inspector who applied the different techniques in the chassis and components analyzed.

Applied management has helped establish this area as one that determines all actions that are to be made to the equipment of heavy machinery, not only nondestructive testing but also with the condition monitoring and fault analysis correcticas immediate determined action providing high levels of reliability components and equipment inspected.

INTRODUCCION

El área de producción directa en Minera Yanacocha es el área de Operaciones Mina, la cual es la encargada de realizar el carguío y acarreo del mineral y del desmonte en toda la mina motivo por el cual es necesario darle una confiabilidad adecuada a dicha maquinaria. El área que da el soporte adecuado a Operaciones Mina es el área de Mantenimiento Mina la cual es la responsable de realizar todas las tareas necesarias para ofrecer una confiabilidad mecánica necesaria para no afectar a la producción dentro de la operación.

Para poder establecer lineamientos claros en el área de Mantenimiento Mina se creó la sub área de mantenimiento predictivo (Equipment Health) aquí se establecen parámetros de desgaste y límites permisibles en todas las variables o componentes que están ligadas al correcto funcionamiento de los equipos de maquinaria pesada en Minera Yanacocha; una de estos componentes es el chasis de los equipos, de manera en especial es el chasis de los camiones fuera de carretera o camiones gigantes, que en Yanacocha se utilizan los camiones de marca Caterpillar modelos 777D, 785C y 793B-C-F.

El presente estudio ha sido ejecutado utilizando a la flota de camiones gigantes buscando el objetivo principal de confiabilidad en dicha flota y replicando la estrategia hacia las otras flotas, se utilizaron herramientas de calidad como el diagrama de Pareto, formatos de inspección, gráficos de control y herramientas básicas

estadísticas para poder identificar y clasificar las discontinuidades encontradas durante una inspección por ensayos no destructivos.

En la parte final del estudio se realiza la evaluación de los resultados obtenidos y las variables que se encuentran directamente relacionadas al análisis estructural del chasis.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN.

El Distrito Minero Yanacocha se ubica a 45 km. al NE de la Ciudad de Cajamarca, en el Norte del Perú, entre las cotas 3,750 y 4,200 msnm., opera un complejo minero metalúrgico, siendo su función principal la extracción de Oro. Convirtiéndose en la Operación más exitosa de las últimas décadas en el Perú. Desde 1,993 con las minas de Carachugo y San José, luego en 1,994 Maqui Maqui y en 1,998 con la mina Yanacocha los Procesos Metalúrgicos principales han sido la Lixiviación en Pilas, Merrill Crowe y la Fundición de barras Doré, con extracción de Oro entre 75 a 85 % gracias a las características del mineral (poroso) y oxidado.

Minera Yanacocha S.R.L. – en la gerencia de Operaciones Mina existe la superintendencia de Soporte y Estrategia, a la cual pertenece la sub área de Equipment Health (Salud del equipo - Mantenimiento Predictivo) el cual por la técnica de Ensayos No Destructivos hace la inspección estructural de toda la flota de maquinaria pesada, incluyendo camiones gigantes, cargadores frontales, motoniveladoras, etc., empleando los siguientes métodos: a). Inspección visual, b) Líquidos penetrantes, c) Partículas magnéticas, d) Ultrasonido con el fin de detectar y evaluar discontinuidades superficiales y defectos que pueden constituir un peligro para la integridad de las personas del equipo mencionado y de las instalaciones. La detección y análisis de las discontinuidades en la estructura, permitirá en función de su severidad tomar las acciones recomendadas por el fabricante.

La detección oportuna de discontinuidades originadas por mecanismos de daño, tales como sobrecarga, fatiga, corrosión, etc., nos evitara costos por falla en operación, la inspección y detección nos permite darle un mayor grado de confiabilidad a los equipos permitiendo tener una elevada disponibilidad operativa a la flota pesada.

1.2 ANTECEDENTES.

Yanacocha, se encuentra ubicada en la provincia y departamento de Cajamarca a 800 kilómetros al noreste de la ciudad de Lima, Perú. Su zona de operaciones está a 45 kilómetros al norte del distrito de Cajamarca, entre los 3500 y 4100 metros sobre el nivel del mar. Su actividad se desarrolla en cuatro cuencas: Quebrada Honda, Río Chonta, Río Porcón y Río Rejo.

En 1990 se llevaron a cabo los primeros estudios de factibilidad para iniciar los trabajos en una planta piloto para lixiviación en pilas. Con el inicio de las operaciones en una zona llamada Carachugo, Yanacocha produjo su primera barra de doré, el 7 de agosto de 1993. Yanacocha fue constituida legalmente en 1992 y está conformada por los siguientes accionistas:

1. Newmont Mining Corporation (51.35%) con sede en Denver, EEUU.
2. Cía. de Minas Buenaventura (43.65%), compañía peruana.
3. International Financial Corporation (IFC) (5%).

MISIÓN

Aprovecharemos nuestra capacidad organizativa y operativa para continuar entregando una producción rentable, sostenible y responsable. Invertiremos para obtener el valor total de Yanacocha mientras desarrollamos o adquirimos nuevas zonas de trabajo en la región.

VISIÓN

Seremos reconocidos por nuestros inversionistas, empleados y grupos de interés externos como la compañía minera más valorada y respetada de Sudamérica.

NUESTROS VALORES

Actuar con integridad, confianza y respeto.

Premiar la creatividad, el espíritu emprendedor y el compromiso para la acción.

Demostrar liderazgo en seguridad, cuidado del medio ambiente y responsabilidad social.

Desarrollar a nuestros empleados en nuestra búsqueda de la excelencia.

Insistir en el trabajo en equipo, así como una comunicación honesta y transparente.

Promover un cambio positivo fomentando la innovación y aplicando las buenas prácticas.

Clima y Meteorología

Se caracteriza la zona por tener un clima frío y húmedo con marcadas temporadas de lluvia y estiaje.

Precipitación

Los datos que se muestran en La Tabla 1 son datos obtenidos de las estaciones Meteorológicas ubicadas en el área de Carachugo, Maqui y Yanacocha. Alrededor del 86% de las precipitaciones se producen en el transcurso de los siete meses que dura la temporada de lluvias, entre los meses de octubre y abril. Según la información histórica febrero y marzo son los meses más húmedos mientras que julio y agosto son los meses más secos.

Tabla N° 01 Promedio de precipitaciones en propiedad de Yanacochoa

MES	MAQUI 1995 - 2000	CARACHUGO 1993 - 2000	YANACOCHA 1998 - 2000
ENERO	83.33	13.87	106.05
FEBRERO	188.33	229.64	286.33
MARZO	151.47	183.45	175.60
ABRIL	88.72	128.81	88.53
MAYO	69.28	74.07	70.93
JUNIO	28.65	38.28	51.13
JULIO	5.87	15.04	8.63
AGOSTO	10.14	10.99	13.30
SEPTIEMBRE	43.76	68.04	127.00
OCTUBRE	103.95	133.87	122.80
NOVIEMBRE	123.80	143.68	161.05
DICIEMBRE	131.24	156.33	97.65

Evaporación

Cuando se examina el promedio de evaporación medida mensualmente, es posible observar que se producen variaciones por temporada. La

evaporación es mayor durante los meses que presentan un mínimo de precipitaciones y gran viento. Los meses picos para la evaporación se observan entre mayo y octubre, momento en el cual se produce aproximadamente el 53 % de la evaporación anual.

Exploración

Inicialmente se utilizan reportes satelitales para determinar zonas mineralizadas en los lugares a explorar. Después, los geólogos recogen muestras (rocas) del suelo para conocer los elementos y minerales que las conforman. Si los análisis dan resultados positivos se procede con la perforación: se sacan muestras de diferentes profundidades (testigos) para determinar tipo, cantidad, profundidad y otras características del mineral. Finalmente se investiga y determina cuánto mineral existe en la zona.

Todas estas investigaciones se realizan siempre previa autorización de la autoridad competente y de los pobladores de las zonas a explorar.

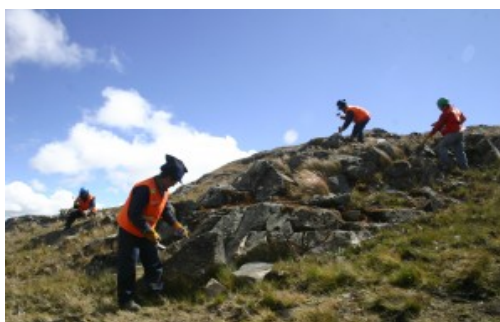


Figura N°1 En plena exploración

Pre minado

Antes de iniciar el trabajo de explotación en sí, es necesario retirar del terreno la capa superficial de tierra orgánica (top soil) que permite el crecimiento de vegetación en la superficie. Esto se hace con equipo pequeño, y deja las condiciones para que en la etapa de minado se pueda explotar con equipo gigante. Esta capa se almacena en áreas especiales para ser utilizada posteriormente en los trabajos de restauración del terreno o cierre de mina, el que ya se viene ejecutando en aquellas zonas donde ya se dejó de explotar. El trabajo es realizado con equipo y mando de obra local.

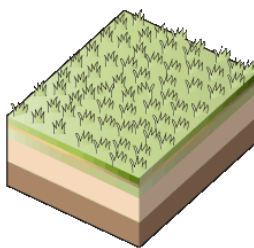


Figura N°2: Suelo orgánico (Top soil)

Minado

Consiste en la extracción del material que contiene oro y plata. Se inicia con la perforación del terreno, para hacer unos agujeros que luego son llenados con material explosivo. Estos, al detonar, fragmentan la roca y remueven subterráneamente el material exponiéndolo a la superficie. En esta etapa se aplican los más altos estándares de cuidado en seguridad.



Figura N° 3: Perforación

Carguío y acarreo

Las explosiones que se realizan y la posterior remoción de tierra empiezan a formar grandes huecos en la tierra llamados tajos. Camiones gigantes (que pueden cargar hasta 250 toneladas de tierra) llevan el mineral extraído del tajo a la pila de lixiviación (o PAD), que es la estructura donde se acumula el mineral extraído del cerro para ser lixiviado y así recuperar el oro existente.



Figura N° 4: Carguío y Acarreo

Todos los camiones y las palas están controlados a través de un sistema computarizado que permite conocer por satélite su ubicación exacta en todo momento.

Proceso de lixiviación en pilas

La pila o PAD de lixiviación es una estructura a manera de pirámide escalonada donde se acumula el mineral extraído. A este material se le aplica, a través de un sistema de goteo, una solución cianurada de 50 miligramos por litro de agua, la cual disuelve el oro. Mediante un sistema de tuberías colocadas en la base del PAD, la solución disuelta de oro y cianuro – llamada solución rica – pasa a una poza de lixiviación o procesos, desde donde se bombea hacia la planta de procesos.



Figura N°5: Pad de Lixiviación

La base del PAD está recubierta por una geomembrana, que es un material plástico de alta resistencia que impide el contacto de los químicos con el suelo, cuidando la calidad del agua.

Proceso de Lixiviación en Pilas

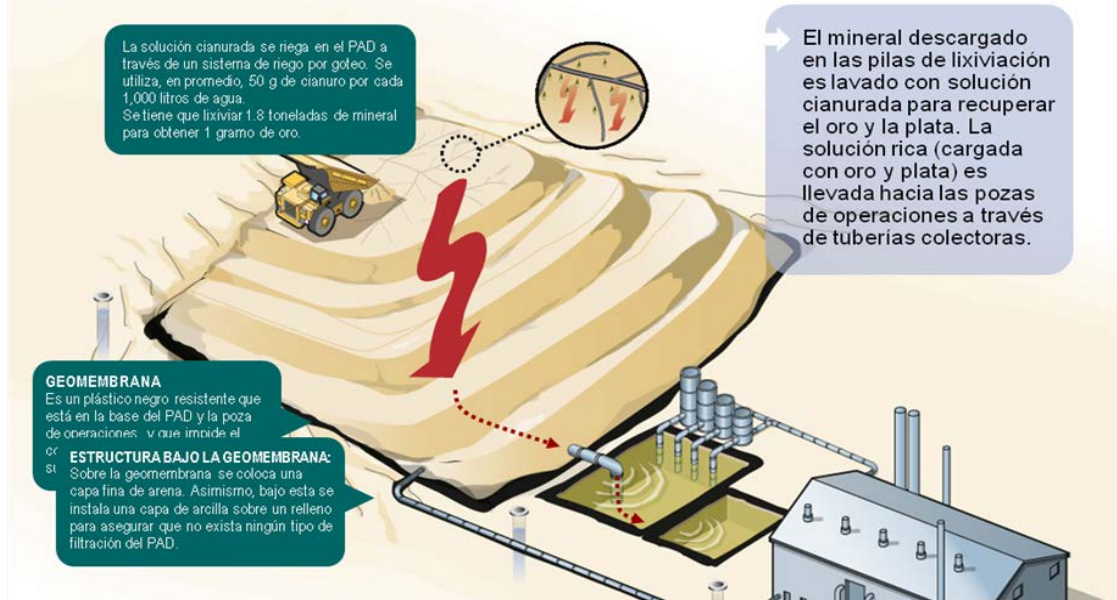


Figura N°6: Proceso de Lixiviación en pilas

Proceso Gold Mill

Mediante la planta de procesamiento de minerales Gold Mill (Molino de Oro) se busca procesar el metal que no puede ser obtenido mediante el lixiviado en pilas. El oro se recupera en 24 horas, a diferencia del proceso de lixiviación en pilas que dura casi 60 días.



Figura N°7: Planta de procesamiento



Figura N°8: Proceso Gold Mill

Procesos de planta

Columnas de Carbón

Proceso que permite concentrar la cantidad de oro que hay en la solución rica, para luego recuperarlo en el proceso Merrill Crowe, el cual se da en dos etapas. La primera es la etapa de desorción, en la que haciendo circular una solución cianurada, se saca el oro atrapado en la superficie del carbón activado. La segunda etapa es la de adsorción; en ella se pasa la solución rica (con el oro en estado líquido) a través de columnas cargadas con carbón activado, para que el oro sea atrapado en los poros del carbón.



Figura N°09: Columnas de carbón

Merrill Crowe

La solución rica en oro y plata es filtrada y limpiada. Luego se le elimina el oxígeno y se añade polvo de zinc para precipitar el metal y hacerlo sólido. El producto del Merrill Crowe es el que luego pasa al proceso de Refinería. La solución pobre, sin oro, es llamada también Barren. Esta es enviada de nuevo al PAD, pasando antes por un tanque para agregarle el cianuro que se consumió durante el proceso. De esta manera se completa un circuito cerrado donde la solución utilizada no sale al medio ambiente, sino que se reutiliza constantemente.



Figura N°10: Proceso Merrill Crowe

Refinería

El oro obtenido en el proceso Merrill Crowe es sometido a operaciones de secado en hornos de retortas a 650° C. Finalmente, el producto obtenido pasa por un proceso de fundición en horno de arco eléctrico a 1,200° C para obtener el Doré, que es una barra hecha de una mezcla de oro y plata.

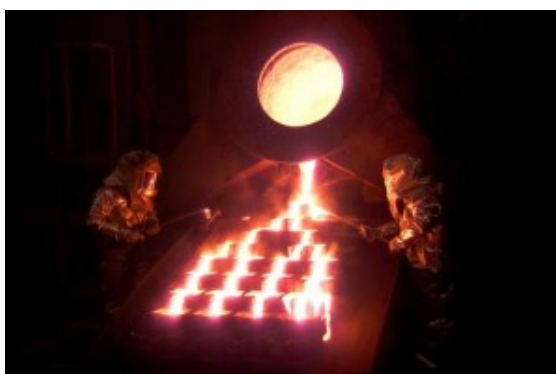


Figura N°11: Fundición del oro

Seguridad

La responsabilidad social, el respeto al medio ambiente y la seguridad de los trabajadores es prioridad en Yanacocha. Tanto el personal de la empresa como los contratistas que forman parte de las operaciones poseen altos y rigurosos estándares de seguridad. El enfoque en materia de seguridad es de carácter integral: no solo se contempla las reacciones rápidas ante cualquier incidente, sino principalmente la prevención a todo nivel. Asimismo, todos los años se alcanzan metas cada vez más exigentes y que garantizan que muchas de las contingencias sean evitadas, siempre a favor de los colaboradores y las comunidades vecinas a la operación. Gracias al permanente cumplimiento de los más altos estándares en salud ocupacional

y en seguridad de los trabajadores, en el año 2008 Yanacocha recibió la certificación OSHAS 18001:1999.

1.3 OBJETIVOS GENERALES.

Los principales objetivos de la presente tesis de investigación son los siguientes:

- Establecer una estrategia adecuada para la gestión oportuna del proceso de ensayos no destructivos aplicados a las partes críticas del chasis de las diversas flotas de equipo pesado que pertenecen al área de Operaciones Mina.
- La aplicación de la estrategia recomendada ha sido posible reducir costos operativos e incluso se establecieron frecuencias de inspección para poder realizar labores de investigación por parte de los inspectores.
- Fortalecer el área de mantenimiento predictivo ya que es el área que establece acciones correctivas y permite planificar tareas adecuadas y oportunas para cada equipo.
- Identificar oportunidades de mejora dentro del equipo de inspecciones para adecuarla de acuerdo a la nueva carga de trabajo.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se tiene los siguientes objetivos específicos:

- Identificar de manera asertiva las principales variables y componentes mecánicos críticos que van a afectar a la estructura del chasis de los equipos pesados.
- Identificar zonas críticas del chasis para poder establecer rutas de inspección disminuyendo la probabilidad de aparición de discontinuidades relevantes y críticas en operación.
- Establecer frecuencias de inspección a componentes y a equipos utilizando la estadística para asegurar el tiempo adecuado sin riesgo a la aparición de discontinuidades relevantes.

CAPITULO II

TECNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS APROBADOS PARA SU APLICACIÓN DENTRO DE LOS TALLERES DE MANTENIMIENTO MINA - YANACOCHA

2.1 INTRODUCCIÓN.

2.1.1 Concepto general

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.

Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas,

emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada. Se identifican comúnmente con las siglas: END; y se consideran sinónimos a, inspecciones no destructivas y exámenes no destructivos.

En este capítulo solo trataremos aquellas técnicas no destructivas aprobadas por el área de seguridad de Minera Yanacocha, por ejemplo está prohibido el uso de radiografía o gammagrafía industrial durante el mantenimiento programado de un equipo ya que existen varias áreas trabajando en forma paralela en el mismo tiempo y no es posible detener el trabajo de los demás involucrados para aplicar dicha técnica no destructiva.

2.2 APLICACIÓN

La aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se encuentran resumidas en los tres grupos siguientes:

a.- Defectología: Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales; determinación de tensiones; detección de fugas.

b.- Caracterización: Evaluación de las características químicas, estructurales, de los materiales; propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas); transferencias de calor y trazado de isotermas.

c.- Metrología: Control de espesores; medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores de recubrimiento; niveles de llenado.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

El conocimiento de los materiales y sus propiedades es muy importante para cualquier persona involucrada con las pruebas no destructivas. El propósito del diseño y aplicación de las pruebas debe ser el control efectivo de los materiales y productos, con el fin de satisfacer un servicio sin que se presente la falla prematura o un daño. La fuente de la falla puede ser:

- Una discontinuidad
- Un material químicamente incorrecto, o
- Un material tratado de tal forma que sus propiedades no son adecuadas.

La detección de discontinuidades es considerada, normalmente, como el objetivo más importante para la aplicación de las pruebas no destructivas. A continuación se proporciona la definición (del documento E 1316 de ASTM) de algunos términos utilizados para efectuar la interpretación y evaluación de los resultados obtenidos al aplicar Pruebas no Destructivas.

Discontinuidad

Una falta de continuidad o cohesión; una interrupción o variación en la estructura o configuración física normal de un material o componente. Se considera como discontinuidad a cualquier cambio en la geometría, huecos, grietas, composición, estructura o propiedades. En general, existen dos clasificaciones de discontinuidades:

1. Por su forma:

- Volumétricas – Descritas porque tienen tres dimensiones o volumen
- Planas – Descritas porque son delgadas en una dimensión y grandes en las otras dos dimensiones

2. Por su ubicación:

- Superficiales – Descritas porque se encuentran abiertas a la superficie
- Internas – Descritas porque no interceptan la superficie

Otras clasificaciones de discontinuidades:

- Relevantes – Son aquellas que por alguna de sus características (longitud, diámetro, ubicación, forma, etc.) deben ser interpretadas, evaluadas y reportadas.
- No relevantes – Son aquellas que por sus características se interpretan pero no se evalúan, y que deberían ser registradas.
- Lineales – Son aquellas con una longitud mayor que tres veces su ancho.
- Redondas – Son aquellas de forma elíptica o circular que tienen una longitud igual o menor que tres veces su ancho.

Defecto

Es una o más discontinuidades cuyo tamaño agregado, forma, orientación, localización o propiedades no cumple con un criterio de aceptación especificado y que es rechazada.

Indicación

Es la respuesta o evidencia de una respuesta, que se obtiene al aplicar alguna Prueba no Destructiva. Se clasifican en tres tipos:

- Indicaciones falsas – Una indicación que se interpreta como que ha sido producida por otra causa que no sea una discontinuidad. Se presentan normalmente por la aplicación incorrecta de la prueba.
- Indicaciones no relevantes – Una indicación que se produce por una condición o tipo de discontinuidad que no es rechazada. Son creadas normalmente por el acabado superficial o la configuración del material.
- Indicaciones verdaderas – Una indicación que se produce por una condición o tipo de discontinuidad que requiere evaluación. Son aquellas producidas por discontinuidades.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (UTILIZADOS EN TALLERES DE MANTENIMIENTO)

La clasificación de las pruebas no destructivas autorizadas por el área de seguridad de minera Yanacocha a usarse en el proceso en estudio, se pueden clasificar en:

1. Ensayos no destructivos superficiales.
2. Ensayos no destructivos volumétricos.
3. Ensayos no destructivos de hermeticidad.

1. Ensayos no destructivos superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de END superficiales son:

VT – Inspección Visual

PT – Líquidos Penetrantes

MT – Partículas Magnéticas

En el caso de utilizar inspección visual y líquidos penetrantes se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y con Partículas Magnéticas se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales.

2. Ensayos no destructivos volumétricos

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Los métodos de END volumétricos son:

UT – Ultrasonido Industrial

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

3. Ensayos no destructivos de hermeticidad

Estas pruebas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control. Los métodos de END de hermeticidad son:

- Pruebas de Fuga
- Pruebas por Cambio de Presión (Neumática o hidrostática).
- Pruebas de Burbuja

2.5 CALIFICACIÓN Y NIVELES

Es el cumplimiento documentado de requisitos de: escolaridad, entrenamiento, experiencia y exámenes (teóricos, prácticos y físicos); establecidos en un programa escrito (procedimiento interno de la empresa, de acuerdo con SNT-TC-1A).

El documento SNT-TC-1A considera que la empresa debe establecer un procedimiento o práctica escrita, para el control y administración del entrenamiento, exámenes y certificación del personal de END.

La práctica o procedimiento escrito de la empresa debe describir la responsabilidad de cada nivel de certificación para determinar la aceptación de materiales o componentes de acuerdo con códigos, estándares, especificaciones y procedimientos aplicables. Además, debe describir los requisitos de entrenamiento, experiencia y exámenes para cada método y nivel de certificación.

La práctica escrita debe ser revisada y aprobada por el Nivel III en END de la empresa, la cual debe mantenerse archivada. Existen tres niveles básicos de calificación, los cuales pueden ser subdivididos por la empresa o el país para

situaciones en las que se necesiten niveles adicionales para trabajos y responsabilidades específicas.

Niveles de Calificación

Nivel I

Es el individuo calificado para efectuar calibraciones específicas, para efectuar END específicas, para realizar evaluaciones específicas para la aceptación o rechazo de materiales de acuerdo con instrucciones escritas, y para realizar el registro de resultados. El personal Nivel I debe recibir la instrucción o supervisión necesaria de un individuo certificado como nivel III o su designado.

Nivel II

Es el individuo calificado para ajustar y calibrar el equipo y para interpretar y evaluar los resultados de prueba con respecto a códigos, normas y especificaciones. Está familiarizado con los alcances y limitaciones del método y puede tener la responsabilidad asignada del entrenamiento en el lugar de trabajo de los niveles I y aprendices. Es capaz de preparar instrucciones escritas, organizar y reportar los resultados de prueba.

Nivel III

Es el individuo calificado para ser el responsable de establecer técnicas y procedimientos; interpretar códigos, normas y especificaciones para establecer el método de prueba y técnica a utilizarse para satisfacer los

requisitos; debe tener respaldo práctico en tecnología de materiales y procesos de manufactura y estar familiarizado con métodos de END comúnmente empleados; es responsable del entrenamiento y exámenes de niveles I y II para su calificación.

2.6 INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual es aquella que utiliza la energía de la porción visible del espectro electromagnético. Los cambios en las propiedades de la luz, después de entrar en contacto con el objeto inspeccionado, pueden ser detectados por el ojo humano o por un sistema de inspección visual. La detección puede realizarse o puede ser resaltada mediante el uso de espejos, amplificadores o magnificadores, boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.

La inspección visual directa sin ayuda y visual directa con ayuda está delineada en el Código ASME BPV Sección V. Pruebas no destructivas, Artículo 9:

- a. Inspección Visual Directa. El examen visual directo puede efectuarse usualmente cuando el acceso es suficiente para colocar el ojo dentro de 24 pulgadas de la superficie que está siendo examinada y a un ángulo de no menor a 30 grados de la superficie que está siendo examinada., Pueden ser usados espejos para mejorar el ángulo de visión.
- b. Inspección Visual Remota. En algunos casos, la inspección visual remota puede ser sustituto de la inspección directa, la inspección visual remota puede usar auxiliares visuales tales como espejos, telescopios, boroscopios, cámaras u otros instrumentos adecuados. Tales sistemas deben

tener una capacidad de resolución al menos equivalente a la que sea obtenida por la observación visual directa

Como parte de la inspección visual son considerados los dispositivos de medición ya que se usan para registrar resultados de la inspección, uno de los propósitos de la inspección visual es verificar si se cumplen con las especificaciones en dimensiones. Para el caso de la inspección visual realizada en los talleres de mantenimiento de yanacocha, se utilizan galgas AWS, cinta métrica, reglas de aluminio, espejos, lupas, linternas de luz blanca y un videoscopio.

2.7 ENSAYOS POR LÍQUIDOS PENETRANTES

Los Líquidos Penetrantes se emplea generalmente para evidenciar discontinuidades superficiales sobre casi todos los materiales **no porosos** (o con excesiva rugosidad o escamado) como metales, cerámicos, vidrios, plásticos, etc., característica que lo hace utilizable en innumerables campos de aplicación.

Esta técnica, basada en el fenómeno de capilaridad, el que permite evidenciar de una manera rápida y confiable, discontinuidades abiertas a la superficie (fisuras, porosidad, pliegues, etc.) sobre casi cualquier componente (ferrosos y no ferrosos) independientemente de la geometría y del material de la pieza.

Actualmente, el E.N.D. de PT posee una alta sofisticación en cuanto a las características de los productos empleados pudiéndose detectar, en condiciones especiales, fisuras de espesores de décimos de micrón.

Descripción general del Método.

Actualmente la técnica se puede resumir en los siguientes pasos:

Limpieza inicial y secado:

Limpiar perfectamente la zona de interés a ser ensayada de tal forma de dejar, las posibles discontinuidades, libres de suciedad o materiales extraños y su posterior secado.

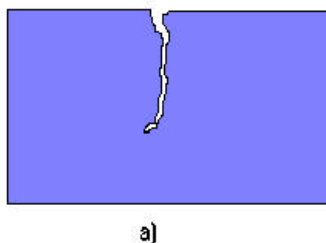


Figura 12: Limpieza inicial y secado

Aplicación del Líquido Penetrante y Tiempo de penetración:

Cubrir la superficie de interés con el LP y dejar transcurrir el tiempo necesario para permitir que el LP se introduzca por capilaridad en las discontinuidades.

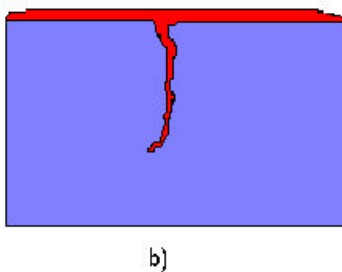


Figura N° 13: Aplicación del líquido penetrante

Limpieza intermedia:

Se removerá el exceso de Líquido Penetrante de la superficie, evitando extraer aquel que se encuentra dentro de las fallas. Esta remoción, podrá hacerse, según la técnica empleada, mediante:

- a) lavado con agua ,
- b) aplicando un emulsionante y posterior lavado con agua, o
- c) mediante solventes.

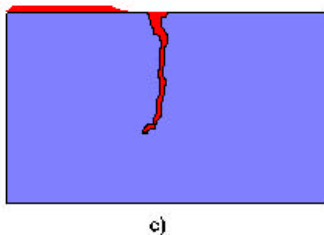


Figura N° 14 Limpieza intermedia

Secado (según la técnica)

Se secará la pieza del agente limpiador. Este paso puede ser obviado según la técnica utilizada.

Aplicación del revelador:

Sobre la superficie ya preparada se colocará el revelador en forma seca o finamente pulverizada en una suspensión acuosa o alcohólica, que una vez evaporada, deja una fina capa de polvo.



Figura N° 15: Aplicación del revelador

Inspección y evaluación:

Esta fina capa de revelador absorberá el Líquido Penetrante retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlo visible, ya sea por contraste o por fluorescencia (según la técnica empleada) las indicaciones podrán registrarse y evaluarse.

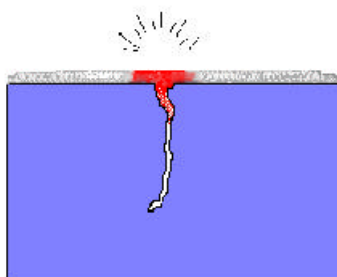


Figura N° 16: Inspección y evaluación

Limpieza final:

Aunque los agentes químicos utilizados no deberían ser corrosivos de los materiales ensayados, se eliminarán sus restos para prevenir posteriores ataques.

Este método es aplicado en los talleres de mantenimiento mina, cuando se realiza una inspección sobre una superficie pulida y de fácil accesibilidad,

generalmente se realiza en la parte inferior e interior de los rieles centrales, la parte interna de los rieles posteriores del camión y en componentes del motor.

Ventajas y limitaciones generales del método:

- Relativamente simple de aplicar y controlar.
- Aplicable a materiales metálicos y no metálicos.
- No requiere costosos equipos.
- Sólo detecta discontinuidades abiertas a la superficie.
- No para materiales porosos.
- Difícil en superficies muy rugosas o porosas.

Clasificación de los líquidos penetrantes según norma ASTM.

Norma ASTM: E165-09.

Tipo I Fluorescente

Método

- A Lavable con agua (ASTM E-1209)
- B Postemulsificable lipofílico (ASTM E-1208)
- C Removible con solvente (ASTM E-1219)
- D Post emulsificable hidrofílico (ASTM E-1210)

TIPO II Coloreados

Método A Lavables con agua (ASTM E-1418)

- C Removibles con solvente (ASTM E-1220)

2.8 ENSAYOS POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La inspección por Partículas Magnéticas es un método para localizar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. En principio, el método involucra la magnetización del área a ser examinada, la aplicación de partículas ferromagnéticas a la superficie. Las partículas formarán indicaciones sobre la superficie donde fisuras y otras discontinuidades causen distorsión en el campo magnético normal. Estas indicaciones son usualmente características del tipo de discontinuidad que es detectado y pueden ser fisuras, solapes, costuras, cerramientos en frío, y laminaciones.

Este método se basa en el hecho de que cuando una pieza es magnetizada, las discontinuidades que son aproximadamente perpendiculares a la dirección del campo magnético producirán un escape del campo de fuga de la superficie de la pieza. La presencia del campo de fuga y por ende la presencia de la discontinuidad se detecta aplicando partículas ferromagnéticas finamente divididas sobre la superficie de la pieza en ensayo, las que son atraídas y retenidas en los campos de fuga.

Esta aglomeración de partículas “dibuja” la discontinuidad e indican su localización, tamaño, forma y extensión. Las partículas magnetizables pueden ser aplicadas sobre la superficie como partículas secas o como una suspensión en un líquido como agua o un hidrocarburo.

Ventajas

Este método es un medio sensible para localizar fisuras superficiales pequeñas y angostas en materiales ferromagnéticos. Se pueden producir indicaciones de fisuras con tamaños suficientes para ser vistas a ojo desnudo, pero si la apertura de las fisuras es demasiado grandes puede no formarse la indicación.

En general la mayor sensibilidad es para discontinuidades superficiales y disminuye rápidamente con el incremento de la profundidad de las discontinuidades (sub- superficial) por debajo de la superficie. Hay pocas o ninguna limitación en el tamaño o forma de las piezas a ser inspeccionadas. Normalmente no es necesario una complicada limpieza inicial ya que las fisuras rellenas de materiales extraños pueden ser detectadas.

Limitaciones

Hay ciertas limitaciones que el operador debe considerar, por ejemplo el espesor de capas de pintura u otros recubrimientos no magnéticos que pueden afectar adversamente a la inspección.

Otras limitaciones son:

- El método sólo puede ser usado sobre materiales ferromagnéticos.
- Los mejores resultados se obtienen cuando el campo intercepta perpendicularmente al plano principal de la discontinuidad, por lo que muchas veces hay que magnetizar secuencialmente en diferentes direcciones.

- Frecuentemente es necesaria la desmagnetización de la pieza después del ensayo.
- Algunas veces se requiere una limpieza final para eliminar las partículas.
- Para piezas grandes se necesita una excesiva intensidad de corriente.
- Se debe tener cuidado de no producir recalentamiento o quemados localizados en los puntos de contactos sobre pieza terminadas.
- Aunque las indicaciones de partículas son vistas fácilmente, el operador debe tener conocimiento y experiencia para poder juzgar su significado.

Tipos de Materiales Magnéticos

Una sustancia que puede ser magnetizada en un campo magnético es llamada material magnético. Todas las sustancias son más o menos materiales magnéticos. Muchas sustancias son magnetizadas de acuerdo a la intensidad de la fuerza magnética solamente cuando ellas están en un campo magnético.

Los materiales magnéticos están divididos en las dos clases siguientes:

Materiales paramagnéticos: los cuales son magnetizados en la misma dirección que la fuerza magnética externa y tienen permeabilidades un poco mayor que en el vacío.

Los otros son **materiales diamagnéticos**, los cuales son magnetizados en la dirección contraria a la fuerza magnética externa y tienen permeabilidades un poco menores que en el vacío.

Estos se esquematizan en:

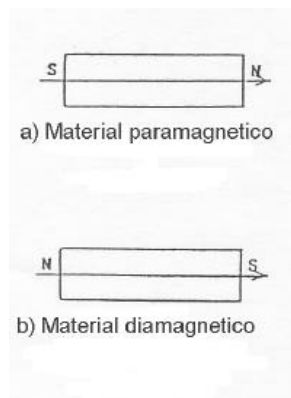


Figura N° 17: Materiales magnéticos

Las sustancias las cuales son fácilmente magnetizadas son llamados **materiales ferromagnéticos** (están dentro de los paramagnéticos). Los materiales ferromagnéticos son el hierro, aceros, níquel y cobalto, son también paramagnéticos pero tienen una propiedad adicional. Un trozo común de un material ferromagnético contiene pequeñas unidades magnéticas señalando en todas direcciones. Si el material ferromagnético es magnetizado, todas las pequeñas unidades señalarán en la dirección del campo aplicado.

El Gráfico de las curvas de densidad de flujo (B) versus la intensidad del campo magnético (H) son llamadas curvas de magnetización (comúnmente llamadas B - H). Las curvas B - H se muestran en la figura 18.

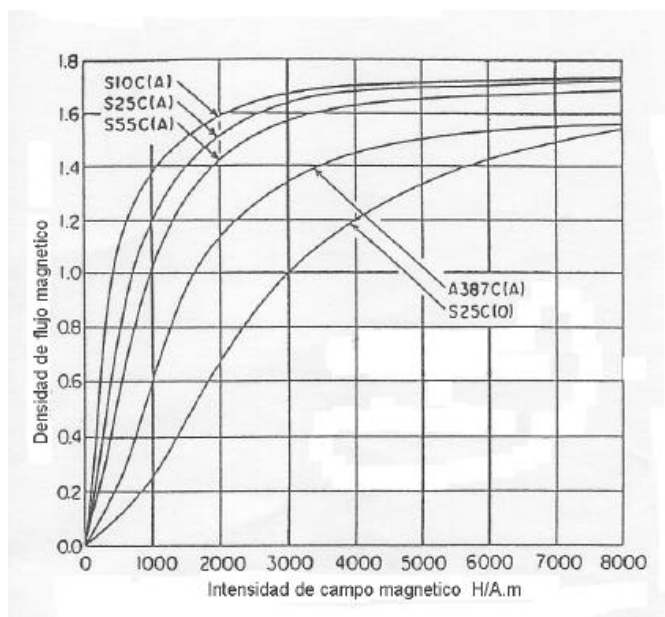


Figura N°: 18 Ejemplo de curvas B-H

En las curvas de la figura 18. , la densidad de flujo crece casi linealmente con el incremento en la intensidad del campo magnético hasta un hombro en las curvas. Más allá del hombro, un incremento en la intensidad del campo magnético da un pequeño incremento relativo en la densidad de flujo.

Cuando un material magnético experimenta solamente un pequeño incremento en la densidad de flujo para un incremento relativamente grande en la intensidad del campo magnético, se dice que el material se ha saturado. Un valor típico de densidad de flujo está alrededor de 1,7 T con una intensidad de campo magnético alrededor de 4000 Amper/m.

Distribución de las líneas de inducción magnética.

Cuando un material ferromagnético es puesto en un campo magnético de intensidad uniforme H_0 , generalmente la densidad de flujo no es uniforme en el material aún en el caso de utilizar corriente continua para la magnetización.

Por ejemplo, cuando se coloca una barra como la de la Fig. 19 en un campo uniforme, la distribución de líneas de inducción magnéticas se distribuyen como se muestra en la Fig. 20.a, no uniformemente. La Fig. 20 b muestra la distribución en el caso de que la pieza sea cilíndrica.

Como se observa, la mayoría de las líneas pasan a través del material ferromagnético siendo la intensidad de campo en su interior (hueco interior) considerablemente más pequeño que H_0 . A este fenómeno se lo conoce como “escudo magnético” En el caso de la Fig. 20 c, tenemos una geometría elipsoidal en donde las líneas de inducción magnética se distribuyen de forma uniforme dentro del material

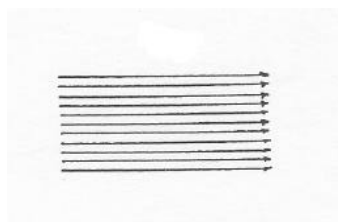
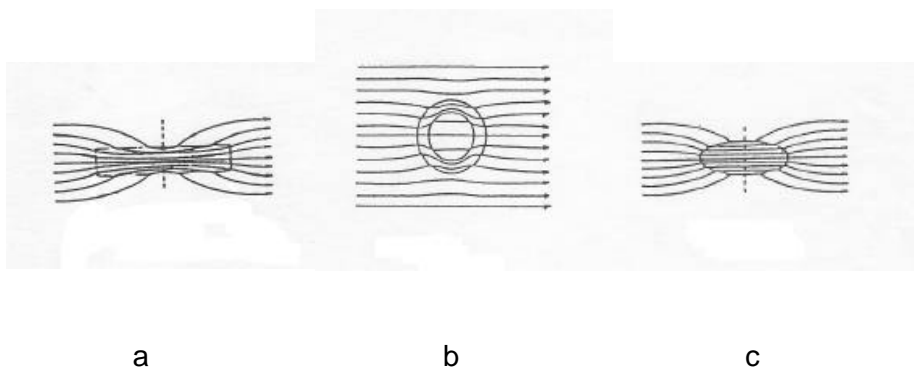


Figura N° 19: Campo magnético uniforme



a

b

c

Figura N° 20: Distribución de las líneas de inducción magnética

La diferencia en las distribuciones anteriores se debe a los diferentes ángulos de refracción que producen las distintas geometrías.

Métodos para producir campos magnéticos

Uno de los requerimientos básicos para la inspección por Partículas Magnéticas es que la pieza debe ser adecuadamente magnetizada de tal forma que el escape del campo creado por la discontinuidad, atrape las Partículas Magnéticas. Los imanes permanentes son útiles para estos propósitos pero generalmente la magnetización se produce por electroimanes o con el flujo magnético asociado al flujo de una corriente eléctrica. Básicamente, la magnetización deriva del campo magnético circular generado cuando una corriente fluye por un conductor. La dirección del campo depende de la dirección con la que la corriente fluye, y puede ser determinada por la regla de la mano derecha. En la tabla N° 2 se dan las aplicaciones generales, ventajas y limitaciones de varias técnicas de magnetización de piezas.

Tabla N° 2. Características de yugos magnéticos

Método	Aplicaciones	Ventajas	Limitaciones
YUGOS	Inspección de grandes áreas para encontrar discontinuidades superficiales	No hay contacto eléctrico; Muy portátil. Localiza discontinuidad en cualquier dirección con el posicionamiento del yugo adecuado	Consume mucho tiempo. El yugo debe ser sistemáticamente reposicionado para detectar discontinuidad al azar.
	Piezas que requieren inspección localizada	No hay contacto eléctrico. Buena sensibilidad para discontinuidades superficiales.	El yugo debe ser posicionado adecuadamente en relación a la orientación de la discontinuidad. Debe haber buen contacto entre la pieza y los polos de yugo; puede ser difícil en piezas de geometría complicada. Baja sensibilidad para discontinuidades subsuperficiales, excepto en áreas aisladas.

Yugos de imanes permanentes:

Se utilizan en aplicaciones donde no hay disponibles fuentes eléctricas o donde no está permitido arcos eléctricos (por ejemplo en atmósferas explosivas). Las limitaciones son:

-Grandes áreas o piezas no pueden ser magnetizadas con la intensidad suficiente para que las fisuras produzcan indicaciones.

-La densidad de flujo no puede ser variada.

-Si el imán es muy fuerte, es difícil despegarlo de la pieza.

-Las partículas se pueden adherir al imán con posibilidad de enmascarar indicaciones.

Consisten en un arrollamiento sobre un cuerpo en forma de U hecho de hierro blando. Sus patas pueden ser fijas o articuladas. Estas últimas sirven para variar la distancia de contacto y para adaptarse a diferentes geometrías de la pieza. Una diferencia con los yugos permanentes es que los electroimanes pueden ser fácilmente encendidos o apagados lo que facilita separarlos de la pieza de ensayo.

El yugo puede estar diseñado para trabajar con corriente continua (CC), corriente alterna (CA) o ambas. La densidad de flujo producida por CC puede ser cambiado variando la intensidad de la corriente que fluye en la bobina. Cuando se trabaja con CC, hay gran penetración del campo mientras que con CA el campo magnético se concentra en la superficie de la pieza, dando muy buena sensibilidad para discontinuidades superficiales sobre una amplia zona. En general, las discontinuidades a ser reveladas deberían estar entre

los dos polos del yugo y orientadas perpendicularmente a la línea imaginaria que los conecta

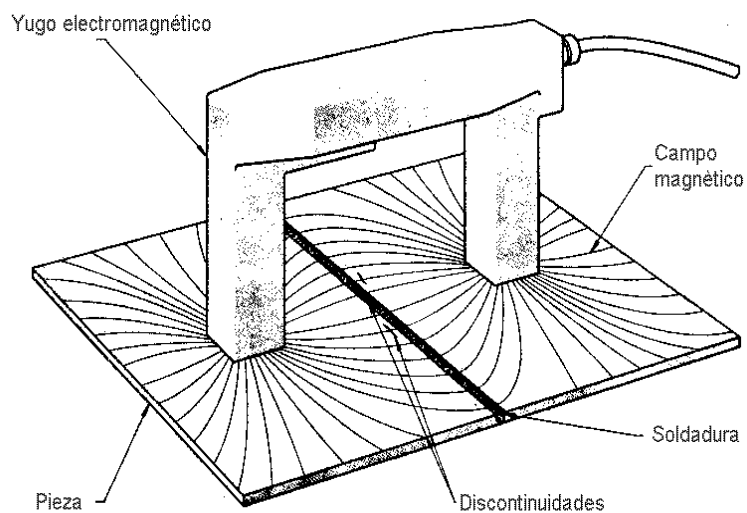


Figura N° 21: Electroimán (yugo)

Se debe tener en cuenta que en la vecindad de los polos se producen escapes de campos que producen una aglomeración excesiva de partículas.

Cuando se opera, la pieza cierra el circuito del flujo magnético entre los polos producidos por el yugo (fuente del campo). Los yugos que utilizan CA para la magnetización tienen numerosas aplicaciones y pueden también utilizarse para desmagnetizar



Figura N° 22: Inspección por partículas magnéticas

La inspección por partículas magnéticas es un método para localizar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos.

Campo de fuga

El método de partículas magnéticas consiste en la detección de campos de fuga, o sea los flujos dispersos, provocados por la formación de polos magnéticos a ambos lados de aquellas discontinuidades que interrumpen el camino de las líneas de fuerza

Métodos de imantación

En la inspección de piezas metálicas (ferromagnéticas) se toma ventaja del campo magnético generado por corrientes eléctricas. Aunque se puede usar imanes permanentes, esto se utiliza poco porque normalmente se requieren campos fuertes. Las técnicas de ensayo se pueden clasificar según si se mantienen o no las fuerzas magnéticas durante la aplicación del medio de inspección, así se tiene el método residual y el método continuo.

De acuerdo con el carácter del campo utilizado los métodos pueden ser:

- método circular o circunferencial

- método longitudinal

- método paralelo

- método de espiral o campo de distorsión

- combinación de los anteriores

El ensayo por partículas magnetizables es utilizado en la localización de discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. Puede aplicarse tanto en piezas acabadas como en semi acabadas y durante las etapas de fabricación. El proceso consiste en someter la pieza, o parte de esta, a un campo magnético.

En la región magnetizada de la pieza, las discontinuidades existentes, o sea, falta de continuidad de las propiedades magnéticas del material, acusarán un campo de flujo magnético. Con la aplicación de partículas ferromagnéticas, ocurrirá una aglomeración de estas en los campos de fuga, una vez que son atraídas debido al surgimiento de polos magnéticos. La aglomeración indicará un contorno del campo de fuga, forneciendo la visualización del formato y de la extensión de la discontinuidad.



Figura N° 23: END por partículas magnéticas

2.9 ENSAYOS POR ULTRASONIDO

El aprovechamiento del ultrasonido ha ganado espacio importante entre las técnicas de Ensayos No destructivos. Se considera ultrasonido aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por encima de la gama audible (esto es, superior a 20 000 Hz).

El equipamiento utilizado para la aplicación de estas técnicas es capaz de generar, emitir y captar haces de ondas muy bien definidas sujetas a las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. Al ser captadas, son analizadas según el objetivo del equipamiento y con la determinación del tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede conocerse la distancia recorrida, al ser la velocidad previamente establecida.

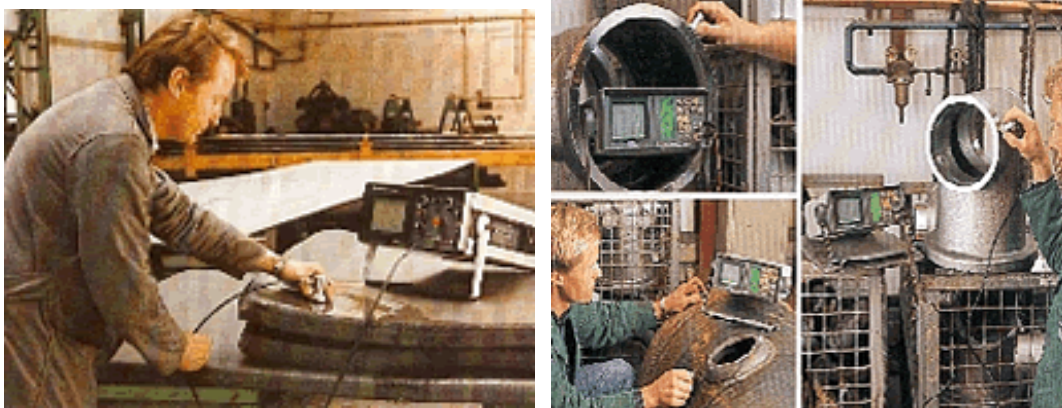


Figura N° 24: END por ultrasonido

El ensayo por ultrasonido es un método no destructivo, en el cual un haz sónico de alta frecuencia (125 KHz a 20 MHz) es introducido en el material al ser inspeccionado con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

Definición y naturaleza de las ondas ultrasónicas

Son ondas mecánicas vibratorias o sea para que sea propague el ultrasonido, se requiere que las partículas del medio ya sea líquido, aire o sólido oscilan alrededor de sus posiciones de equilibrio.

Diferencia entre sonido y ultrasonido

Son de la misma naturaleza, la diferencia es su frecuencia así:

- Ondas sónicas: frecuencia entre 16 y 20000 ciclos por segundos.
- Ondas ultrasónicas: frecuencias mucho mayores de 20000 ciclos por segundos.

Para materiales metálicos: se opera entre 1 y 5 MHz pero se pueden trabajar con frecuencias mucho mayores. Para materiales no metálicos; por ejemplo los cerámicos, trabajan con frecuencias menores de 1 mhz ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ MHz).

Tipos de ondas ultrasónicas

Se clasifican en:

OI. Onda longitudinal: se propaga en tres medios.

OT. Onda transversal: se propaga en sólidos únicamente.

OR. Onda Rayleigh: se propaga en sólidos únicamente.

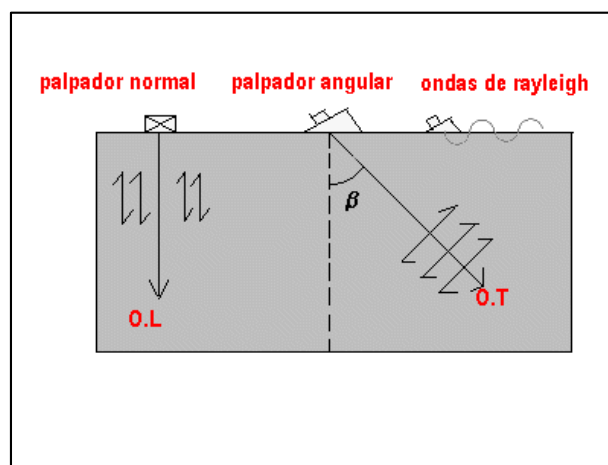


Figura N° 25: Ondas y palpadores

Impedancia acústica

Resistencia del medio a la vibración acústica de las partículas.

Generación de ondas ultrasónicas

Para generar existen varios métodos. Para el ultrasonido se hace uso de cristales piezoeléctricos o de materiales cerámicos ferro eléctrico.

La Piezoelectricidad es la propiedad de algunos cristales como el cuarzo de convertir energía eléctrica en energía mecánica vibratoria y viceversa.

La Ferro electricidad es la propiedad de algunos materiales cerámicos previamente polarizados de comportarse como los cristales piezoeléctricos.

Ejemplo; titanato de bario, sulfato de litio.

Forma y característica del haz

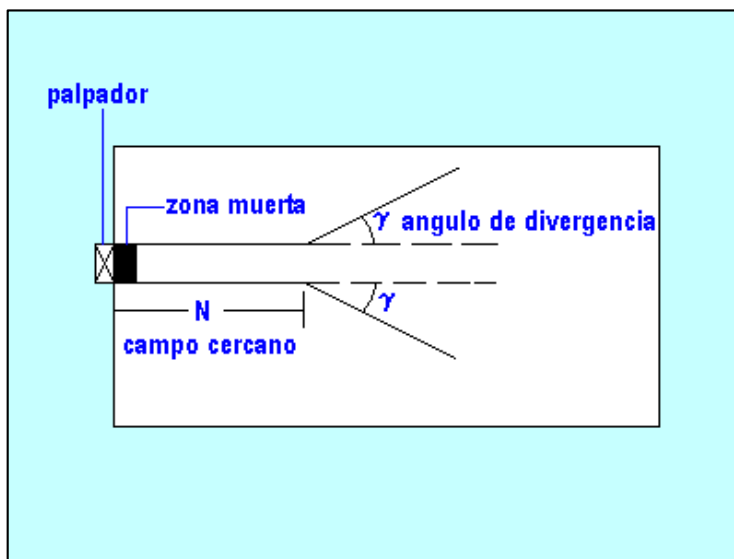


Figura N° 26: Forma y característica del haz

$$n = d^2/4l = d^2f/4v$$

$$\text{Sen } g = 1.22 v/f d$$

d: diámetro del cristal.

v: velocidad.

f: frecuencia.

l: longitud de onda.

Palpadores o transductores

Tipos:

a. incidencia normal.

b. incidencia angular.

Palpadores con:

1. un solo cristal emisor y receptor.

2. doble cristal, uno emisor y otro receptor.

3. múltiples cristales para aplicaciones especiales.

Agentes acoplantes

Es un medio fluido que permite que el ultrasonido pase del palpador al material de ensayo. Los medios de acople pueden ser: grasa, aceite, vaselina, agua. A mayor rugosidad mayor viscosidad del acoplante.

Técnicas de ensayo

- transmisión.

- resonancia.

- pulso - eco.

Transmisión

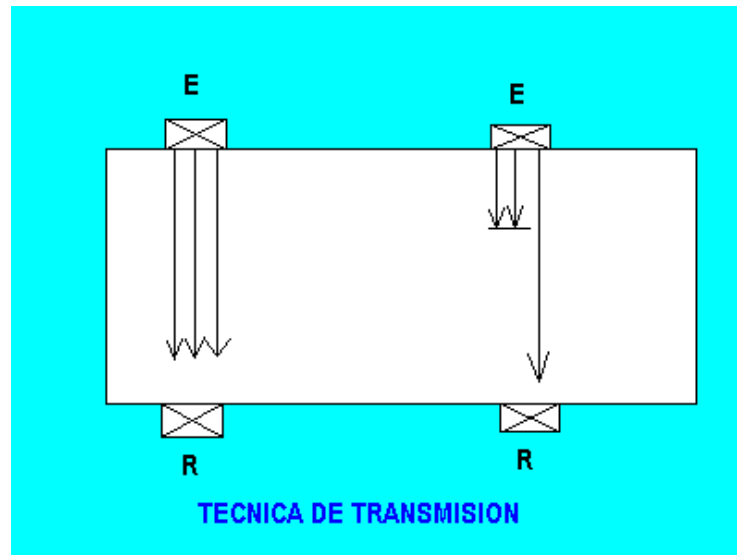


Figura N° 27: Técnica de Trasmisión

Ventaja:

Puede detectar discontinuidades muy cercanas a la superficie.

Desventajas:

No ubica la discontinuidad. Requiere acceso a las dos superficies.

Resonancia:

Se consigue que haya resonancia entre un material y el palpador. El palpador es de frecuencia variable, la cual se varía hasta hallar la de resonancia. Es utilizado para la detección de discontinuidades externas del material, también para la medición de espesores.

Pulso - eco

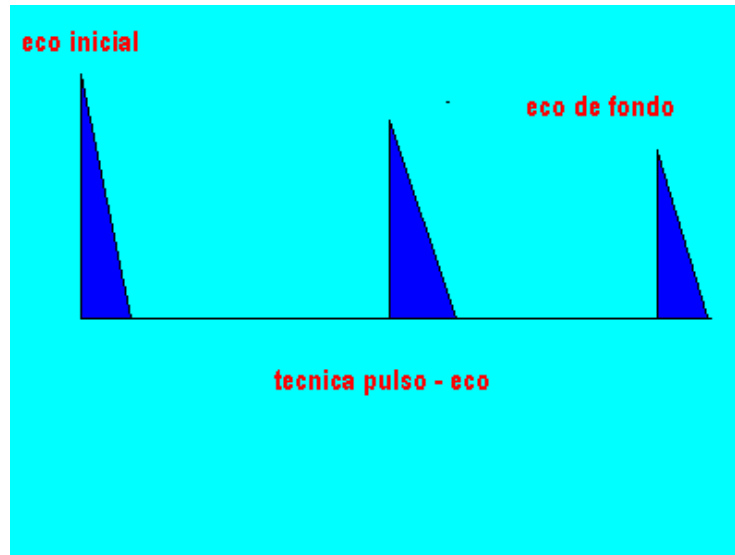


Figura N° 28: Técnica pulso-eco

Se emiten pulsos de ultrasonido y se esperan reflexiones las cuales pueden proceder de superficies posteriores (palpadores normales) o de discontinuidades, por lo tanto en un osciloscopio mediante el principio piezoeléctrico aparecen ecos de fondo para cada reflexión.

Ventajas:

Requiere acceso a una superficie únicamente

Ubica la discontinuidad.

Desventaja:

No detecta discontinuidades muy cercanas a la superficie.

Aplicaciones

Medición de espesores.

Detección de fallas:

1. examen de piezas fundidas.

2. examen de piezas forjadas.

3. examen de soldaduras.

4. caracterización de materiales.

Ventajas del ensayo ultrasónico

1. mayor poder de penetración.

2. acceso a una superficie.

3. ausencia del peligro para el operario.

4. portátil.

Desventajas

Tiene problemas con piezas de geometría complicada.

CAPITULO III

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

3.1 INTRODUCCIÓN

En el mantenimiento predictivo o bajo condición, evaluamos el estado de los componentes mecánicos o eléctricos mediante técnicas de seguimiento y análisis, permitiéndonos programar las operaciones de mantenimiento “solamente cuando son necesarias”. Consiste esencialmente en el estudio de ciertas variables o parámetros relacionados con el estado o condición del medio que mantenemos, como por ejemplo la vibración, temperatura, aceites, aislamientos, etc. El estudio de estos parámetros nos suministra información del estado de sus componentes y, algo también muy importante, del modo en que está funcionando dicho equipo, permitiéndonos no solo detectar problemas de componentes sino también de diseño y de instalación. El

objetivo del mantenimiento predictivo es la reducción de los costos de operación y de mantenimiento incrementando la fiabilidad del equipo.

La base del mantenimiento predictivo radica en la monitorización de los equipos, ya que debemos evaluar los parámetros antes comentados con la instalación en funcionamiento normal. No es por tanto necesario hacer una parada para poder evaluar la condición de los mismos, conocemos el estado de nuestras máquinas mientras están trabajando.

Con las diferentes técnicas disponibles podemos evaluar los fallos en los componentes y seguir su evolución durante largos periodos de tiempo (a veces meses) antes de decidir nuestra intervención, de esta manera podemos coordinar con producción el momento más adecuado para la intervención de mantenimiento.

Para conseguir el éxito en la implantación de un sistema de mantenimiento predictivo es necesario seguir una estrategia. El fracaso lo tendremos asegurado si pretendemos hacer una implantación del mismo en todos nuestros equipos y más aún cuando queramos implantar varias tecnologías simultáneamente. Si además no tenemos un sistema de gestión de la información adecuado, que nos permita tratar los datos correctamente, conseguiremos tirar a la basura una importante inversión económica y lo que es peor perderemos los beneficios de una buena implantación con una alta rentabilidad económica.

Será necesario en primer lugar hacer una selección de los equipos que vamos a monitorizar, ésta vendrá condicionada por una serie de factores entre los que se encuentran la criticidad o responsabilidad del equipo, la accesibilidad

al mismo y la información técnica que podamos disponer de él. Una vez hayamos obtenidos una valoración positiva de nuestra experiencia piloto, pasaremos a realizar una extensión de la aplicación a un mayor número de equipos y así sucesivamente hasta conseguir una implantación total con la integración de distintas tecnologías y una gestión adecuada de los datos obtenidos.

La justificación técnica del mantenimiento predictivo es evidente, basta para ello comparar las actuaciones que realizamos cuando efectuamos un mantenimiento preventivo o correctivo en nuestras instalaciones con las que tendríamos que realizar cuando tuviésemos monitorizadas nuestras máquinas, realizando un seguimiento de los parámetros a medir.

Cuando únicamente realizamos un mantenimiento correctivo, el término "mantenimiento" es sinónimo de "reparación". No quiere ello decir que no pueda existir este tipo de intervenciones, de hecho el fin último de todo tipo de mantenimiento es reparar o sustituir componentes dañados, con la finalidad de alargar la vida útil de la máquina, y para ello son inevitables las intervenciones correctivas. Pero sí es un error centrar todas las actuaciones de mantenimiento con esta única finalidad.

Ello solo presenta una ventaja:

- Coste de la inversión inicial prácticamente nulo;

No obstante tiene serios inconvenientes:

- Paradas inesperadas, normalmente suelen ocurrir cuando la producción debe ser mayor, es decir en el peor momento.

- Estas paradas suelen ser catastróficas, ya que suelen producirse roturas importantes. A veces por la pérdida de un rodamiento podemos tener serias roturas en las transmisiones.
- Los costes de reparación de las mismas llegan a ser muy elevados.
- La necesidad de tener piezas de repuesto en almacén se incrementa ante la incertidumbre de que puede fallar.
- Los riesgos de accidentes se incrementan.
- Desconocemos totalmente el estado de nuestras máquinas.
- Tratamos fallos crónicos como habituales sin descubrir el origen del problema, por ejemplo si un rodamiento se deteriora prematuramente y tomamos la rutina de sustituirlo, estamos ocultando un posible problema de desalineación o de desequilibrio que puede ser la causa del daño prematuro de este componente.

Un paso más lo representa el mantenimiento preventivo o programado, que se basa en la sustitución de componentes cuando suponemos que se ha agotado la vida de los mismos. El estudio teórico de sus vidas lo suele suministrar el fabricante del equipo, quien normalmente incluye una gama de mantenimiento preventivo, con indicación de sustitución de componentes y cambios en la lubricación.

Claramente de esta forma conseguimos evitar averías, pero debemos tener cuidado con su aplicación, ya que puede representar una serie de inconvenientes; como puede ser:

- Intervenir un dispositivo que está funcionando correctamente, sólo porque le toca una revisión.
- Al cambiar componentes sin saber exactamente el estado funcional del mismo, solo se realiza de manera preventiva.
- El costo para implementar un mantenimiento predictivo es elevado y la rentabilidad es a mediano y largo plazo.

Las ventajas que presenta la implementación de un mantenimiento predictivo son:

- Conocer el estado de los equipos en cualquier momento
- Eliminar prácticamente todas las fallas
- Intervenir en el equipo cuando solo cuando es necesario
- Identificar fallas potenciales en los equipos y programar el cambio
- Conocer el origen de la falla, reduciendo el tiempo de parada del equipo
- Identificar fallas ocultas y conocer el origen de fallas crónicas
- Reducir componentes en el almacén y solicitarlos en tiempos adecuados
- Incrementar la seguridad en la operación.

CAPITULO IV

GERENCIA DE MANTENIMIENTO MINA MINERA YANACOCHA

4.1 INTRODUCCIÓN.

4.1.1 Mantenimiento Mina

El objetivo principal de la gerencia de Mantenimiento mina es:

“Asegurar de manera sostenible la entregabilidad, confiabilidad y disponibilidad de los equipos a un óptimo costo, atendiendo todos los equipos con los que cuenta la operación como: equipo de carguío, acarreo, perforación, equipo auxiliar, equipo de soporte y equipo liviano”.

La superintendencia de Mantenimiento Mina Producción reporta directamente a la gerencia de Operaciones Mina, teniendo bajo su responsabilidad la mantención de la flota pesada, flota auxiliar, flota soporte, tanques

presurizados, grúas puente, elementos de izaje y herramientas especiales que pertenecen a minera Yanacocha SRL.

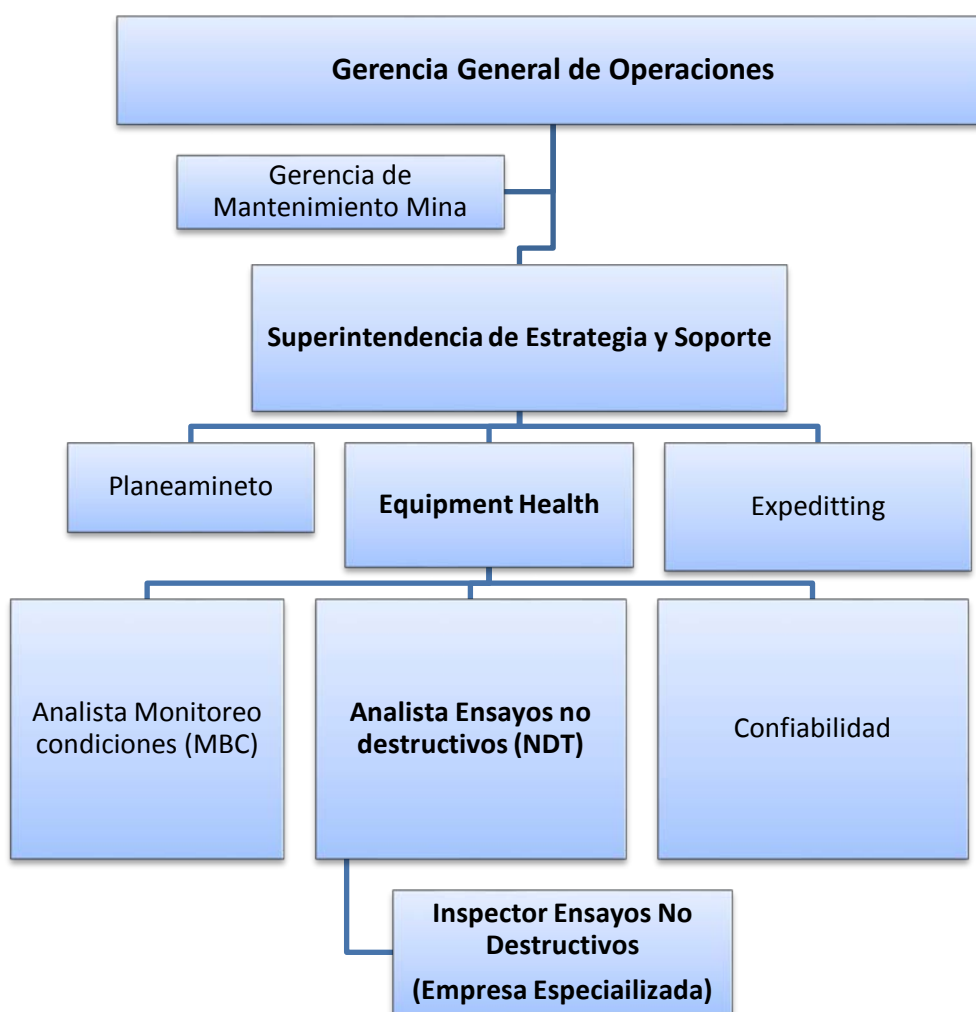


Figura 29. Organigrama del área de mantenimiento predictivo en el departamento de mantenimiento mina – Yanacocha.

4.1.2 Equipment Health

El área de Equipment Health (Salud de Equipo) o Mantenimiento Predictivo pertenece a la superintendencia de Estrategia y soporte, esta área tiene estrecha relación con el área de planeamiento y el área de confiabilidad ya que Equipment Health es donde se manejan todas las variables que determinan la buena confiabilidad de los equipos, aquí se originan las tareas cuando se detectan discontinuidades durante la operación del equipo. En este estudio se realizará el análisis del proceso de Ensayos No Destructivos el cual es una sub área de Equipment Health.

El proceso de END ha pasado por diversas modificaciones, ya que las labores realizadas fueron solicitadas por sub áreas que requirieron asegurar la condición de sus componentes y los ensayos no destructivos es la herramienta fundamental para los requerimientos de los clientes internos.

Las tareas que realiza el proceso END son principalmente las siguientes:

- Inspección de Chasis
- Inspección de Funda de diferencial
- Inspección de Cardán principal
- Inspección de Bulldozer de tractor
- Inspección de Cucharón de cargador frontal
- Inspección de soporte de motor
- Inspección de ejes delanteros de ruedas de motoniveladoras

- Inspección de ejes tándem de motoniveladoras
- Inspección de Head End de suspensión delantera de camión
- Inspección de muñones de gatos hidráulicos de perforadoras
- Inspección de boom de cargador frontal
- Inspección de rótulas de dirección
- Inspección de pines de torres de perforadoras
- Inspección de componentes de motor de combustión
- Inspección de tanques acumuladores de aire
- Inspección de pala y mandíbula de palas Hitachi
- Inspección de componentes mayores de grúas móviles
- Inspección de elementos de izaje críticos
- Análisis de falla y pre afa de componentes

Como se aprecia la solicitud de trabajos es importante y por la magnitud de equipos en la operación es necesaria la implementación de estrategias que permitan cubrir de manera eficiente y confiable todas las tareas solicitadas, cabe resaltar que cada turno cuenta con 2 inspectores y si es necesario se solicita el apoyo de 2 inspectores adicionales para poder cubrir las tareas de inspección.

CAPITULO V

MAQUINARIA PESADA INSPECCIONADA MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN MINERA YANACOCHA.

5.1 INTRODUCCIÓN.

El objetivo de los Ensayos No Destructivos es determinar las condiciones de defectología del material de los activos de YANACOCHA, con una detectabilidad de 100% según el alcance de la técnica aplicada y registradas con en el ERP de YANACOCHA, para su administración y ejecución efectiva.

Las flotas que van a ser inspeccionadas dentro del proceso END son las siguientes:

5.1.1 Flota camiones

Estos equipos constituyen la principal herramienta de acarreo del material, la producción depende mucho de estos equipos, por lo que requieren una elevada confiabilidad y disponibilidad mecánica.

Las flotas, su tonelaje de carga y las técnicas no destructivas aplicadas son:

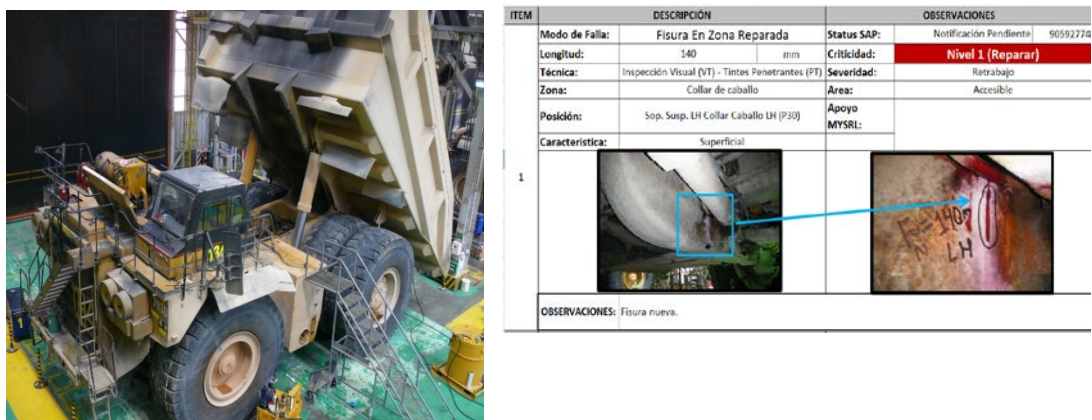


Figura N° 30 Camión fuera de carretera 793D y detalle de fisura detectada

Tabla N° 3 Flota de camión fuera de carretera y END aplicados

Flotas	Tonelaje de carga	Técnicas no destructivas utilizadas
777D – WT - FT	85	VT – PT – MT - UT
785C - WT	140	VT – PT – MT - UT
793B – C – D	230	VT – PT – MT - UT

5.1.2 Flota cargadores

Estos equipos aportan considerablemente a los objetivos buscados por el área de operaciones, ya que estos equipos “alimentan” a los camiones con

material para acarreo. Se utilizan en zonas donde la pala hidráulica tiene dificultades para operar por lo tanto esta flota es de alta criticidad.



Figura N° 31 Cargador frontal y detalle de fisura detectada en componente

Tabla 4 Flota de cargadores frontales y END aplicados

FLOTA CARGADORES	Técnicas no destructivas utilizadas
994D – F	VT-PT-MT
992 G	VT-PT-MT

5.1.3 Flota auxiliar

Esta flota de maquinaria pesada forma parte de los equipos que se requiere para tener una operación sin pérdida de material, asegurando la zona de trabajo y manteniendo las vías en buen estado para que los camiones gigantes puedan realizar el transporte de material de manera adecuada.



FIGURA N° 5:

Equipo : TRACTOR RTU29
Descripción: Fisuras en cordón de soldadura y material base de tope de housing de diferencial posterior (LH).
Ubicación : Tope de housing.
Método : Visual Testing.
Esfuerzos : Zona sometida a esfuerzos de tracción y flexión.

Fecha : 22-09-2013
Fisura : F5= 90mm. Fisura nueva.
Recomendación: **PROGRAMAR REPARACION.**
Inspector : Ademinas.
N° DE NOTIFICACION: 90600730

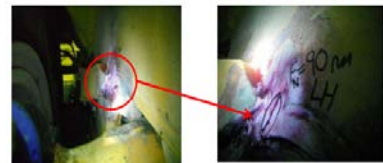


Figura N° 32 Tractor de ruedas 844 K y detalle de fisura detectada



Fisuras N° 5

Equipo: Tractor de oruga D11R.
Descripción: Fisura en soporte de barra equalizadora RH inferior.
Ubicación: Barra equalizadora.
Método: Inspección visual.
Fisura: F5= 200mm. ACCESIBLE
Notificación: 90762055
Recomendación: **REPARAR**

Fisura nueva.

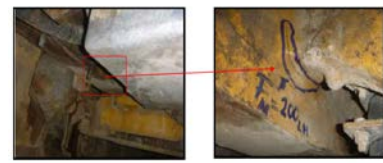


Figura N° 33 Tractor de orugas D11R y detalle de fisura detectada



RESUMEN DE LA INSPECCION



Al término de la inspección al 100% del equipo no se detectó discontinuidades o defectos en la estructura del cargador.

Figura N° 34 Cargador 966H y detalle de reporte de inspección



2. EJE DELANTERO DERECHO:



Los histrogramas muestran la longitud a la que se encuentran el cambio de sección del aljambre del rodamiento, lado derecho. No se observan discontinuidades.

Figura N° 35 Motoniveladora 24H y detalle de inspección de eje de rueda derecho

Tabla N° 5 Flota auxiliar y END aplicados

Flotas	Técnicas no destructivas utilizadas
CAT 844	VT-PT-MT
D10R - T	VT-PT-MT
CAT D11R	VT-PT-MT
CAT 966H	VT-PT-MT
CAT 16H – 24H – 24M	VT-PT-MT-UT

5.1.4 Flota perforadoras

Estos equipos realizan taladros de perforación y están estrechamente ligados al área de voladura, ya que son los que realizan la malla de perforación, la cual posteriormente servirá como frente de ataque de los equipos de carguío.



Equipo: TD024.
 Descripción: Fisura en el cordón de soldadura del cuerpo de torre #06, Lado cabina.
 Ubicación: Cuerpo de torre.
 Método: Inspección visual.
 Fisura: F3-58mm
 Notificación: 90763482
 Recomendación: PROGRAMAR REPARACION.



ENSERIAS N° 5:

Equipo: TD024.
 Descripción: Fisura en zona reparada del larguero, zona interior, Lado colector.
 Ubicación: Cuerpo de torre.
 Método: Inspección visual.
 Fisura: F4-247mm y F5- 83mm. (SR FKA033)
 Notificación: 90763483.
 Recomendación: REPARAR.

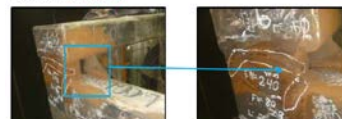


Figura N° 36 Perforadora Pitviper 271 y detalle de fisuras detectadas

Tabla N° 6 Flota perforadoras y END aplicados

Flotas	Técnicas no destructivas utilizadas
Pit Viper	VT-PT-MT-UT
DML	VT-PT-MT-UT
RocDrill	VT-PT-MT
Terra Sonic	VT-PT-MT

CAPITULO VI

METODO TRADICIONAL DEL PROCESO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN MINERA YANACOCHA

6.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presenta el método tradicional que se utilizaba en el proceso de ensayos no destructivos y que fue modificado como parte de la mejora continua en la superintendencia de mantenimiento mina.

Se utilizaba solo información proporcionada por el fabricante, en este caso de Caterpillar, Atlas Copco, Ingersoll Rand, etc., pero que no ofrecía la confiabilidad requerida ya que las fallas se presentaban con alta frecuencia y no permitía alcanzar los objetivos de producción. No existía un análisis de modos de falla, ni acciones a largo plazo; si ocurría una falla estructural la única acción que se tomaba era realizar una campaña de inspección total de

la flota para evitar que ocurra otra falla catastrófica, la información en el sistema ERP (sistema de planificación de recursos empresariales) no era la adecuada ya que era muy tedioso el revisar cada orden de trabajo y verificar la ejecución de todas las fisuras reportadas en esa orden de trabajo, por lo que el tener antecedentes de una falla era casi imposible tener la información a corto plazo para poder establecer una acción correctiva adecuada.

Otra variable importante fue la falta de capacitación de los inspectores de END, ninguno tenía certificación como inspector y sólo poseían conocimientos básicos de ensayos no destructivos.

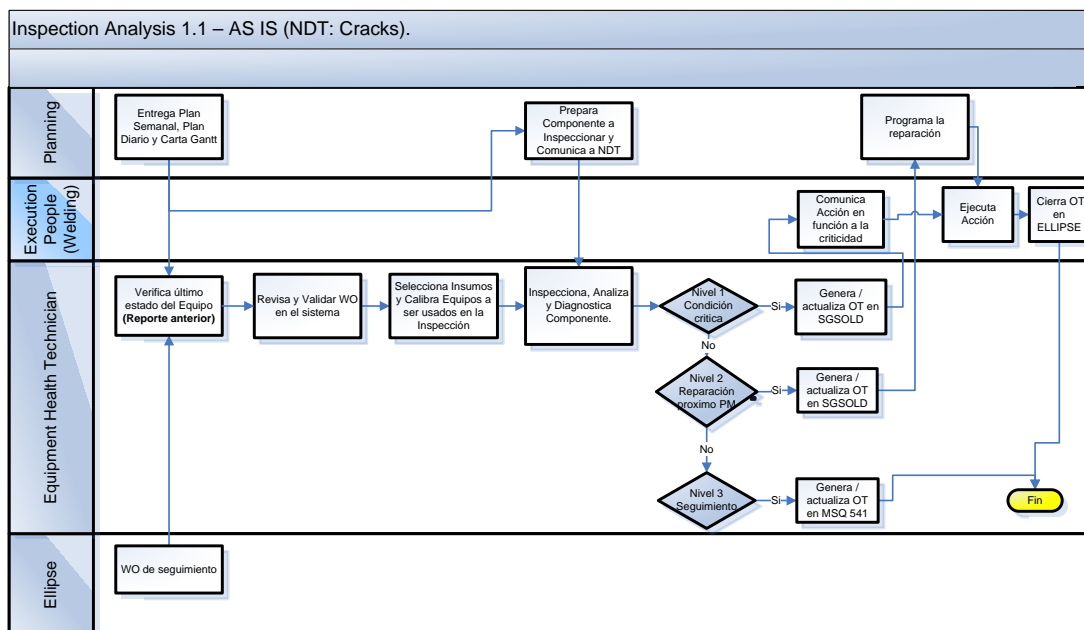


Figura N° 37 Proceso tradicional de ensayos no destructivos

Como herramienta principal se utilizó esta distribución del chasis de un camión según esta figura:

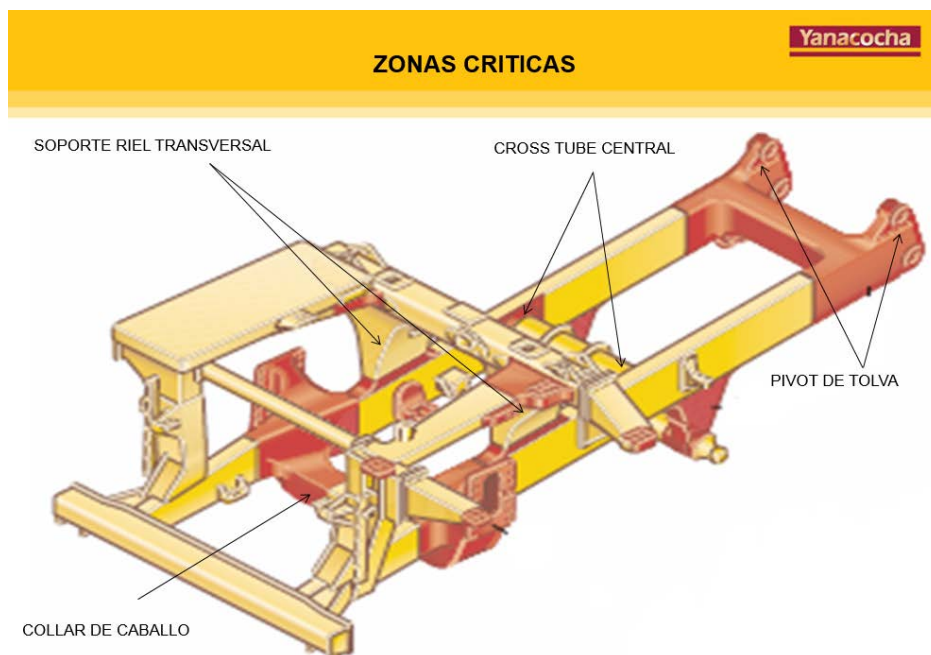


Figura N° 38 Zonas críticas de chasis de camión fuera de carretera, elaborado por Ferreyros - CAT

El diagrama proporcionado por el fabricante del camión fuera de carretera solo proporcionaba 5 zonas críticas del chasis como aquellas que eran propensas a fisurarse, pero la realidad nos indica que son muchas más las zonas afectadas. Esta recomendación tampoco ayudaba con la ubicación exacta de la fisura a reparar y se tenían tiempos perdidos volviendo a buscar la fisura a reparar.

Por la operación del equipo y los esfuerzos externos a los que es sometido el chasis, era necesario realizar un nuevo análisis estructural y adecuarse a la realidad de la operación. También existieron mejoras administrativas como fue el de estandarizar las zonas de inspección para que todas las áreas relacionadas puedan “hablar el mismo idioma”, el cliente principal era el área de soldadura ya que ellos son los que realizan la reparación de las fisuras

detectadas y la ubicación es la principal variable para poder realizar un adecuado planeamiento de recursos y de tiempo para la reparación.

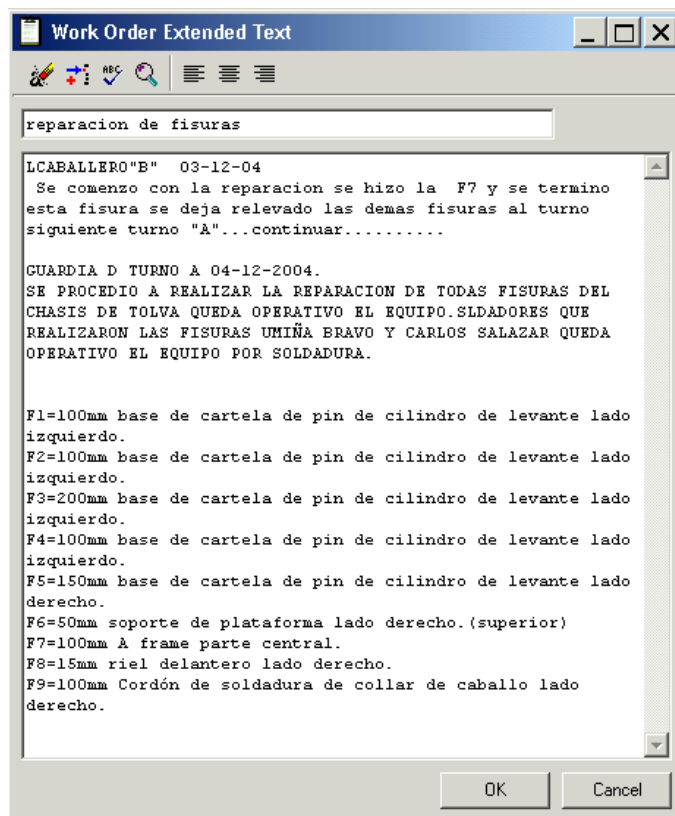


Figura 39 Texto extendido de orden de trabajo reportando fisuras en el equipo.

En la figura se observa que en una sola orden de trabajo se reportan todas las fisuras, desde fisuras de 15mm hasta de 200mm, dichas fisuras tienen distinto tratamiento y no pueden existir en una misma orden ya que es poco probable que la fisura de 15mm llegue a crecer en el corto plazo. Esto dificulta al área de planeamiento pues no pueden estar revisando cada vez que ingresa un equipo todas las ordenes de trabajo y leer el campo extendido para poder tomar una decisión.

CAPITULO VII

ESTRATEGIA ACTUAL APLICADA AL PROCESO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN MINERA YANACOCHA

7.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presenta la estrategia aplicada en el proceso de ensayos no destructivos, producto del análisis estructural utilizando la mayor cantidad de variables que afectan la estructura de los equipos.

A solicitud de la superintendencia de mantenimiento la estrategia fue aplicada directamente hacia la flota con mayor impacto en la operación, es decir, con los camiones fuera de carretera, motivo por el cual se aplicaron herramientas estadísticas que nos permitan analizar de manera adecuada toda la información y aplicar probabilidades que permitan la inspección basada en el riesgo, el análisis incluyó componentes de sistemas críticos como lo son las

rótulas del sistema de dirección, rótulas y pernos de suspensión del camión fuera de carretera.

7.2 PRINCIPALES VARIABLES

El análisis aplicado ha requerido el uso de la mayor cantidad de variables relacionadas con el desgaste estructural del chasis, para poder identificar dichas variables se realizó una reunión donde se comprometió a la gerencia general, superintendencia, dealer, supervisión general, supervisión de talleres y campo, analistas e inspectores, de esta manera se involucraron a todos los niveles del departamento de mantenimiento mina asegurando el éxito de la estrategia en la operación.

Como variables principales tenemos:

1. Horas de operación del componente
 - a. Existen equipos de la flota 793B que han sido comprados con horas acumuladas que no han sido registradas en el sistema y no se cuenta con esta información. La flota 793C - D es nueva si se tiene registro de horas y están con valores superiores a las 100 000 horas de operación y el fabricante solo ofrece garantía en el chasis hasta las 36 000 horas.
2. Tiempo sin inspeccionar el equipo por ensayos no destructivos
 - a. No se tiene una frecuencia de programación de inspección END, solo se realiza cuando el equipo ingresa a talleres para su mantenimiento, se han dado casos que el equipo no ingresa a taller por más de 800 horas, lo cual eleva la probabilidad de existencia de una fisura crítica.

3. Módulo ASA del sistema VIMS – eventos

El programa de software **Application Severity Analysis [Análisis de Severidad de Aplicación] (ASA)** para identificar las áreas de vías de la mina que:

- Pueden causar un gran estrés y la pérdida potencial de la vida del componente en las estructuras principales de los camiones con uso fuera de carretera y los componentes del tren de potencia.
- Reducen la eficiencia de productividad ya que disminuye la velocidad de la máquina debido a una gran resistencia al rodado, cuellos de botella, uso excesivo de las marchas, etc.

4. Pendientes de la vías

Una variable importante en la generación de esfuerzos en el chasis, son las pendientes de las vías a las que el equipo está expuesto

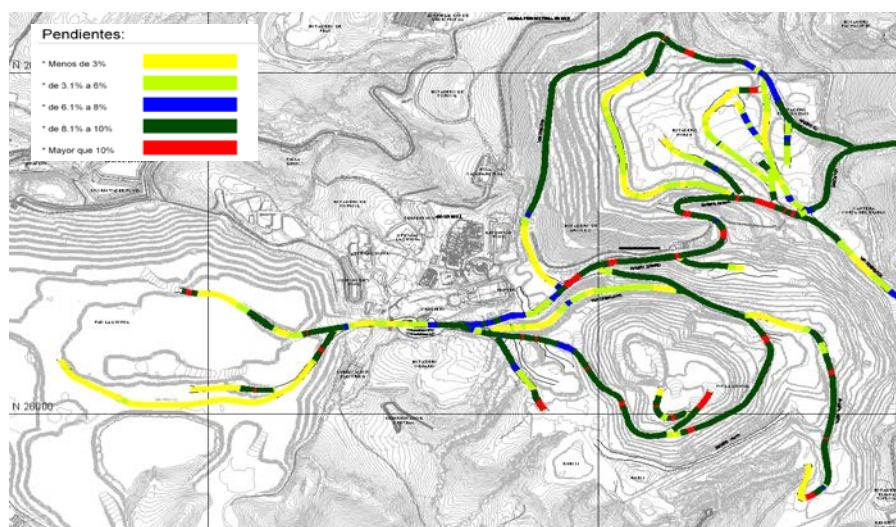


Figura N° 40 Ubicación y detalle de pendientes en zonas de operación

5. Módulo RAC del sistema VIMS – Suspensión

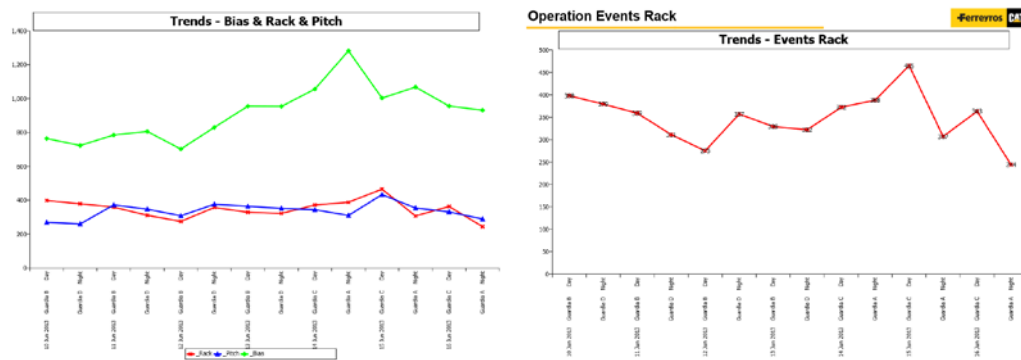


Figura 41 Eventos RAC (control de analisis de caminos). Sistema de suspensión.

6. Módulo Payload del sistema VIMS – Sobrecargas

7. Cantidad de reparaciones en el componente (fatiga térmica)



Figura N° 42 Reconstrucción en riel central de chasis de camion 793C por efecto de multiples reparaciones en la zona.

8. Procedimiento de reparación por soldadura

9. Eventos de temperaturas de frenos, sobre revolución de motor, etc.

7.3 ESTANDARIZACIÓN DE ZONAS DEL CHASIS

Para poder aplicar las variables de forma adecuada se realizó una distribución del chasis en zonas y ubicaciones, de manera tal que también ha servido como nuevo lenguaje para ubicar de manera correcta la discontinuidad reportada, se ha generado 42 ubicaciones específicas en el chasis del camión fuera de carretera, según el diagrama siguiente:

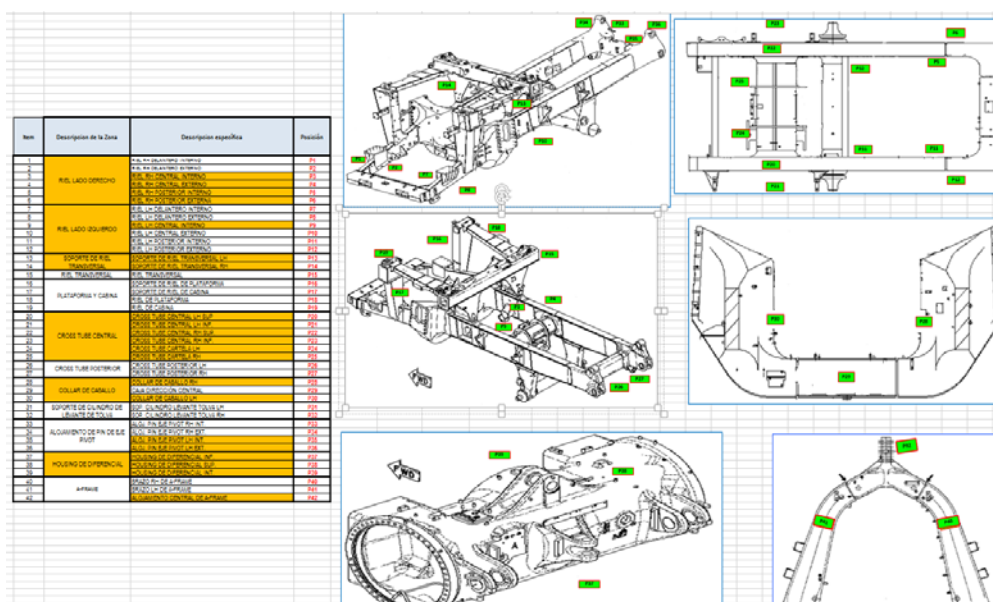


Figura N° 43 Distribución de zonas del chasis de camión fuera de carretera

7.4 CRITERIOS DE CRITICIDAD

Parte importante de la estrategia aplicada es uniformizar los criterios que se tienen para evaluar la criticidad de una discontinuidad, de manera tal que se facilite la toma de decisiones de parte del área de ejecución.

Los principales criterios a tomar en cuenta al evaluar una discontinuidad detectada son los siguientes:

1. Longitud

Se evaluaron las longitudes totales de cada zona y el histórico de fisuras encontradas en dichas zonas. Por ejemplo, en el riel central de un camión las fisuras con una longitud menor a 100mm son de Nivel 3 y están en monitoreo; fisuras con longitudes entre 101mm y 170mm deben ser programadas para su reparación en el siguiente ingreso del equipo pertenecen al Nivel 2 y si tenemos una fisura con longitudes mayores a 170mm deben ser reparadas de manera inmediata como un no programado.

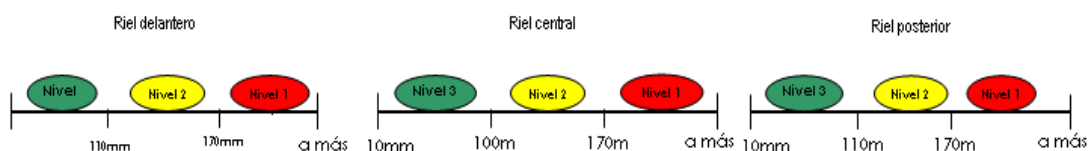


Figura N° 44 Rangos de criticidad por longitud de fisuras

2. Ubicación

Otro de los criterios fundamentales a tomar en cuenta para evaluar una fisura es la ubicación donde ha sido detectado el defecto. Por ejemplo si tenemos una fisura en una arista y se encuentra en el riel central parte inferior, pues si no cumple el criterio de longitud si cumple el criterio de ubicación por lo que debe repararse de manera no programada ya que la velocidad de propagación de esta fisura es muy elevada por encontrarse en un acumulador de tensiones.



ARISTA		CONCENTRADOR + ALTA VELOCIDAD DE PROPAGACION + FISURA PASANTE
CAMBIO DE SECCION		CONCENTRADOR DE ESFUERZOS

Figura N° 45 Criticidad de fisuras por ubicación

3. Fatiga térmica del material base

Otro criterio a tener en cuenta es verificar si la fisura detectada esta ubicada en una zona reparada anteriormente ya que puede indicarnos que no se realizo una correcta reparación o que se esté presentando otro agente externo en esa zona, como puede ser una mala calibración de suspensiones. Al tener una zona con fatiga térmica el proceso de reparación debe ser el adecuado para evitar acelerar el deterioro del componente, se debe de controlar el calor de aporte.


ZONA REPARADA		MATERIAL FATIGADO
---------------	---	-------------------

Figura N° 46 Criticidad de fisuras por fatiga térmica

Tomando en consideración estos criterios se establecieron los niveles de criticidad para evaluar la condicion de la estructura, se manejan 3 niveles:

Tabla N° 7 Niveles de criticidad y recomendaciones a ejecutar

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Condición de alta criticidad. Se recomienda ejecutar inmediatamente	Condición de moderada criticidad. Se genera Orden de Trabajo en SAP. Fisura para su programación.	Condición de baja criticidad. Se genera Notificación en SAP. Fisura en monitoreo

7.5 PROCESO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Teniendo establecidos criterios y variables se implementó el proceso mediante el cual se implementaría la estrategia, fue realizada tanto en talleres como en campo, de esta manera se redujo la propabilidad de tener la presencia de una discontinuidad relevante durante la operación. El proceso se estableció de la siguiente manera:

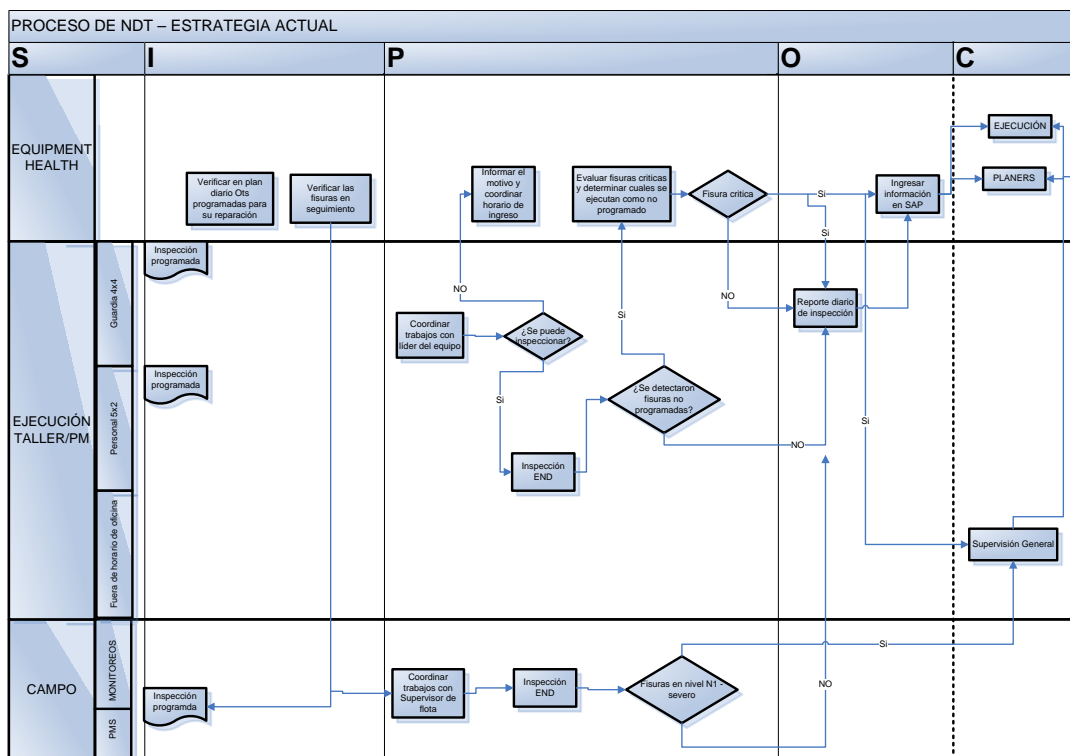


Figura N° 47 Proceso de END – Estrategia actual

Se puede observar que todo el proceso empieza con una inspección planificada, lo que permite tener todas las facilidades al momento de realizar la tarea; luego se coordina la realización de la tarea y se informa el motivo si no fue realizada la inspección aquí está la participación del área de ejecución que permite dar las facilidades a los inspectores para realizar la tarea; concluida la inspección se realiza la evaluación de las discontinuidades detectadas y se reporta a la supervisión general, de esta manera se genera el entregable más importante ya que es el supervisor general el que tome la decisión de realizar alguna tarea no programada que sea crítica según las recomendaciones realizadas por los inspectores.

CAPITULO VIII

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

INTRODUCCIÓN.

La implementación de la estrategia propuesta en el capítulo anterior fue realizada con previa autorización de la superintendencia de mantenimiento mina y recibió el apoyo de todas las áreas involucradas. Era necesario realizar un barrido total de toda la flota de camiones para poder establecer la línea base de la estrategia de confiabilidad, el compromiso de la jefatura era que se justifique dichas inspecciones frente a la disponibilidad de equipos solicitado por el cliente interno que es el área de operaciones mina, es decir, se tenían que detener equipos durante la operación para poder realizar una inspección en campo y los equipos que están en talleres deberían quedarse más tiempo de lo programado si se detectaban defectos de nivel 1. Dicho impacto debio ser necesario para poder ejecutar de manera adecuada la estrategia que eleve la confiabilidad y por ende la futura disponibilidad de la flota.

8.1 ANÁLISIS

Los resultados que se obtuvieron permitieron evaluar diversos indicadores que permitieron establecer acciones que permitan ser sostenible en el tiempo a la estrategia propuesta, por ejemplo se identificaron cuales eran las zonas con mayor incidencia de fisuras críticas, que zonas son las que no son críticas, las flotas de camiones que están más propensas a tener varios equipos detenidos por problemas de chasis, etc.

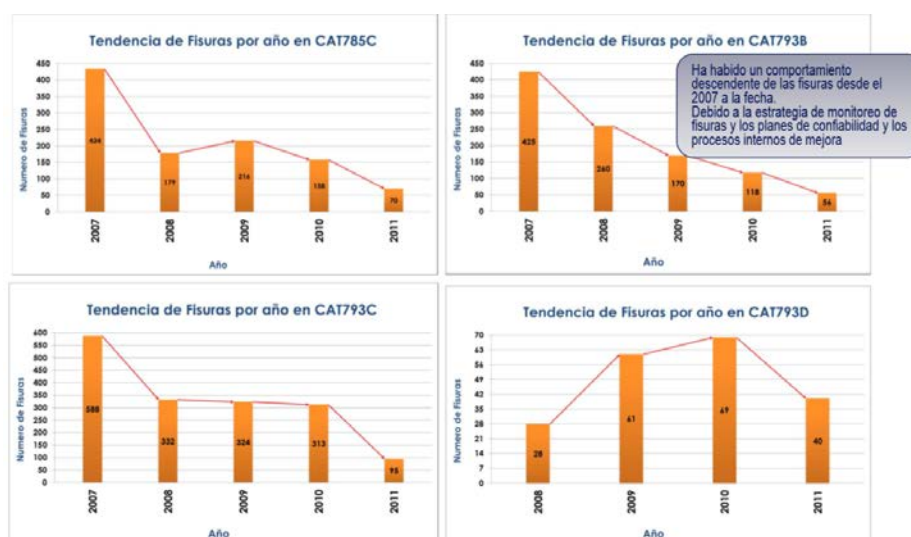


Figura N° 48 Tendencia de aparición de fisuras en la flota camiones

Como se observa en la figura 48 la tendencia de la aparición de fisuras en chasis de camión ha disminuida notablemente desde la implementación de la estrategia actual de ensayos no destructivos. Solamente la flota 793D no tuvo la tendencia de disminución de fisuras, lo que sucedió es que al ser una flota nueva tenía sistemas de suspensión y dirección diferentes a las otras flotas y los años iniciales son siempre los años donde los operadores conocen el equipo hasta que luego ya la tendencia es similar a las demás.

La tendencia de aparición de fisuras es señal del éxito que fue implementar dicha estrategia de ensayos no destructivos.

8.2 INTERPRETACIÓN

La estrategia implementada también ha permitido plantear tareas que permitan la confiabilidad del equipo durante el tiempo o a largo plazo, por ejemplo ha permitido identificar las zonas más críticas en el chasis utilizando el gráfico de Pareto, en el caso de camiones de la flota 793C tienen como zonas críticas los soporte de riel transversal, soporte de plataforma y cross tube central; también es posible determinar cual es el equipo con mayor cantidad de fisuras que para este caso es el HT107, esto nos puede servir para el momento en que se decida que equipo debe entrar a una reparación mayor u overhaul, en este caso se tomaría el HT107 como equipo prioritario para su reparación mayor.

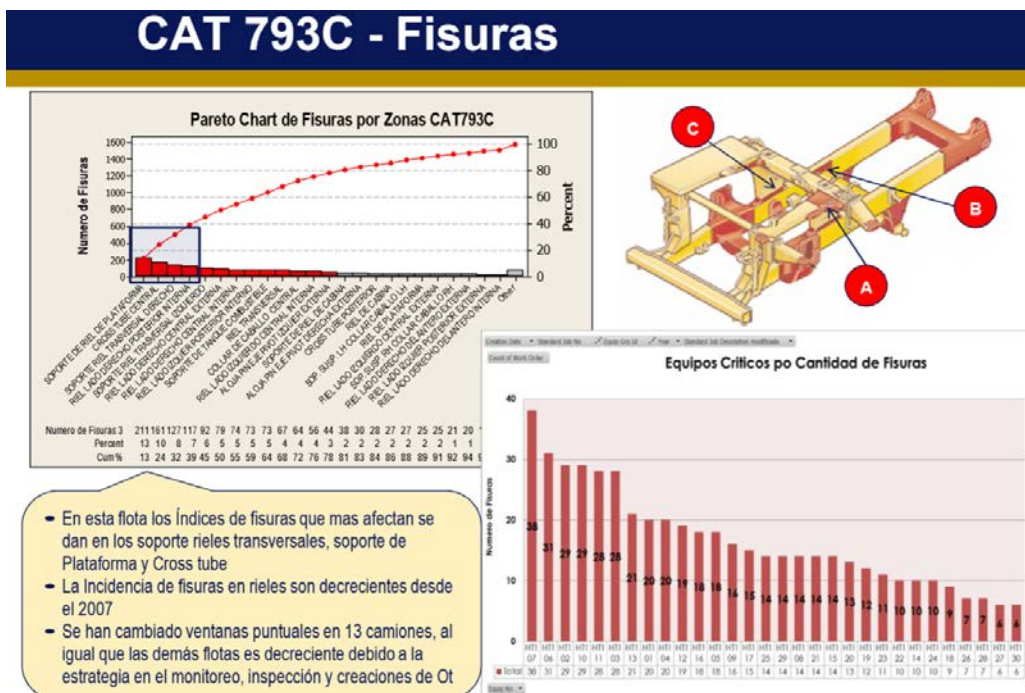


Figura N°49 Pareto que identifica zonas críticas por cantidad de reparaciones en flota 793C

Los datos estadísticos han identificado zonas con fatiga térmica elevada al tener varias reparaciones, lo cual conlleva a determinar tareas de gran impacto en el equipo como son el reemplazo de dicha zona identificada. La tarea de reemplazo de partes del chasis ha estado en evaluación por la superintendencia por algunos meses, ya que dicho reemplazo de parte estructural está ligado a elevados costos por tiempo de equipo inoperativo además del riesgo que conlleva hacer reemplazos importantes en el chasis. Luego de una evaluación costo beneficio, se recomendó realizar el cambio de zonas fatigas en la flota 793B que era la que tenía mayor cantidad de horas trabajadas y dentro del plan a mediano plazo estarían siendo reemplazados por lo que el riesgo de perder un equipo era de menor impacto.

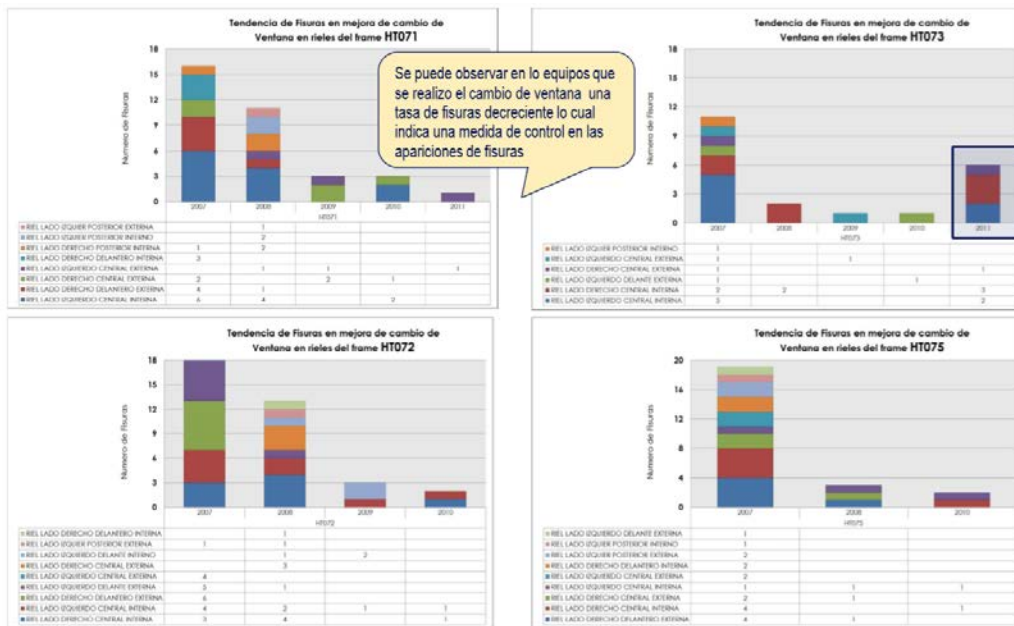


Figura N° 50 Fisuras en riel central de flota 793B. Efecto de estrategia de cambio de componente con elevada fatiga térmica.

El reemplazo de zonas con elevada fatiga térmica presentó resultados favorables, lo cual elevó la confiabilidad estructural del equipo.

CONCLUSIONES.

Después de realizar el presente trabajo, se han arribado a las conclusiones siguientes:

1. Se logró el éxito en estrategias de alto impacto debe involucrarse activamente a toda la línea de supervisión empezando desde el gerente hasta el personal de mando operativo.
2. Se utilizó herramientas estadísticas para poder identificar la causa raíz de una falla potencial, en este estudio se identificó las zonas críticas del chasis y se implementó una estrategia que permita elevar la confiabilidad.
3. Se estableció sinergias entre todas las áreas involucradas en el proceso de ensayos no destructivos, estandarizando nomenclaturas y criterios de criticidad para una adecuada toma de decisiones.

4. Se demostró que las recomendaciones del fabricante para cualquier componente deben adecuarse a la realidad operativa del componente, motivo por el cual solo deben ser tomadas como una guía o punto de inicio para la aplicación de una estrategia particular según sea el caso.
5. Se demostró que la estrategia de monitoreo es la más adecuada para el caso de una industria de producción, ya que permite manejar tiempos y recursos en los equipos.
6. Se determinó que la aplicación de ensayos no destructivos permite identificar oportunamente discontinuidades evitando fallas catastróficas tanto para el equipo como para los objetivos en la producción.

RECOMENDACIONES.

Al concluir el presente trabajo de investigación se pueden determinar las siguientes conclusiones:

1. Realizar una evaluación periódica para identificar de manera oportuna algún modo de falla estructural en los equipos inspeccionados. Relacionar la evaluación con los cambios de estación, es preferible realizar una evaluación antes y después de la época de lluvias para poder identificar el impacto que se tiene durante esta estación que es la más crítica para los equipos.
2. Certificar a los inspectores en las diferentes técnicas de ensayos no destructivos, asegurando de esta manera la calidad de la información obtenida en cada inspección.
3. Implementar un proceso de control de calidad en las reparaciones de las fisuras críticas.

4. Utilizar técnicas de última generación en ensayos no destructivos, elevando de esta manera la detectabilidad de discontinuidades.

BIBLIOGRAFIA

- 1 MINERA YANACOCHA.

Disponible en: <http://www.yanacocha.com.pe/la-compania/quienes-somos/>

- 2 FOSCA P.(2008). *Fundamento de Análisis de falla en componentes mecánicos* (2°Ed.) PUCP. Lima Peru: Grambs
- 3 ASTM E1316 *“Terminología para ensayos no destructivos”* ASTM International. West Conshohocken, United States.
- 4 ASME IX, Sección V. Article 24, SE-165 “Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry”. ASME International. New York, United States.
ASME
- 5 ASME IX, Sección V artículo 9. *“Inspección Visual”* ASME International. New York, United States. ASME

6 SPAULDING W, WHEELER G. (1999). *ASNT, Level II Study Guide: Ultrasonic Testing Method*. (1° Ed.).Ohio, United States: ASNT.

7 CAMIONES CAT PARA MINERÍA.

Disponible en: <http://www.ferreyros.com.pe/productos/equipos-uevos/maquinas/camiones/camiones-para-mineria/793d-793d-haa?pf=222>

8 MANUAL DE INSPECCION VISUAL NIVEL I Y II.

Disponible en:

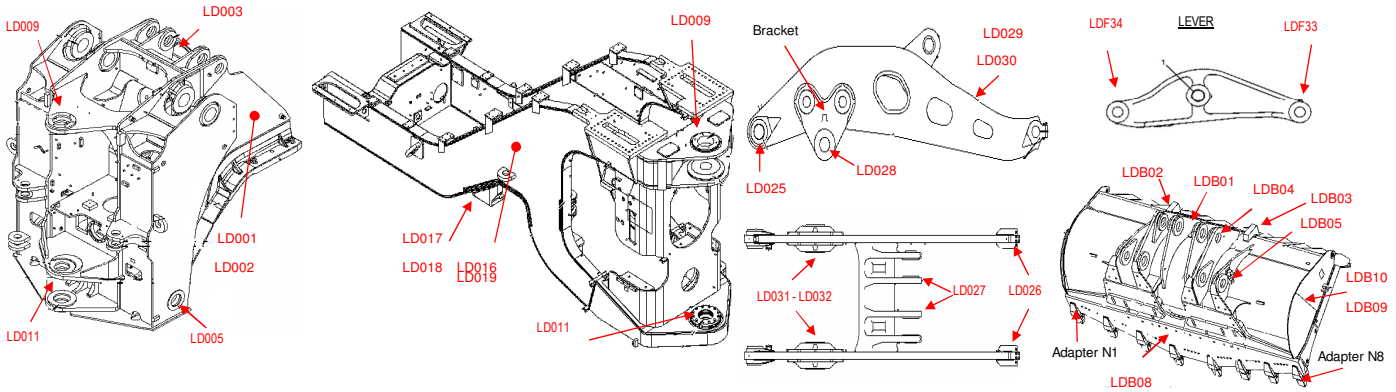
<http://sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>

9 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO

Disponible en: http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/intro/mantenimiento_predictivo.html

10. CARRILLO, F., LÓPEZ, E. (1998). *Soldadura, corte e inspección de obra soldada* (3° Ed.). Servicio de publicaciones de universidad de Cádiz. Cádiz. España.

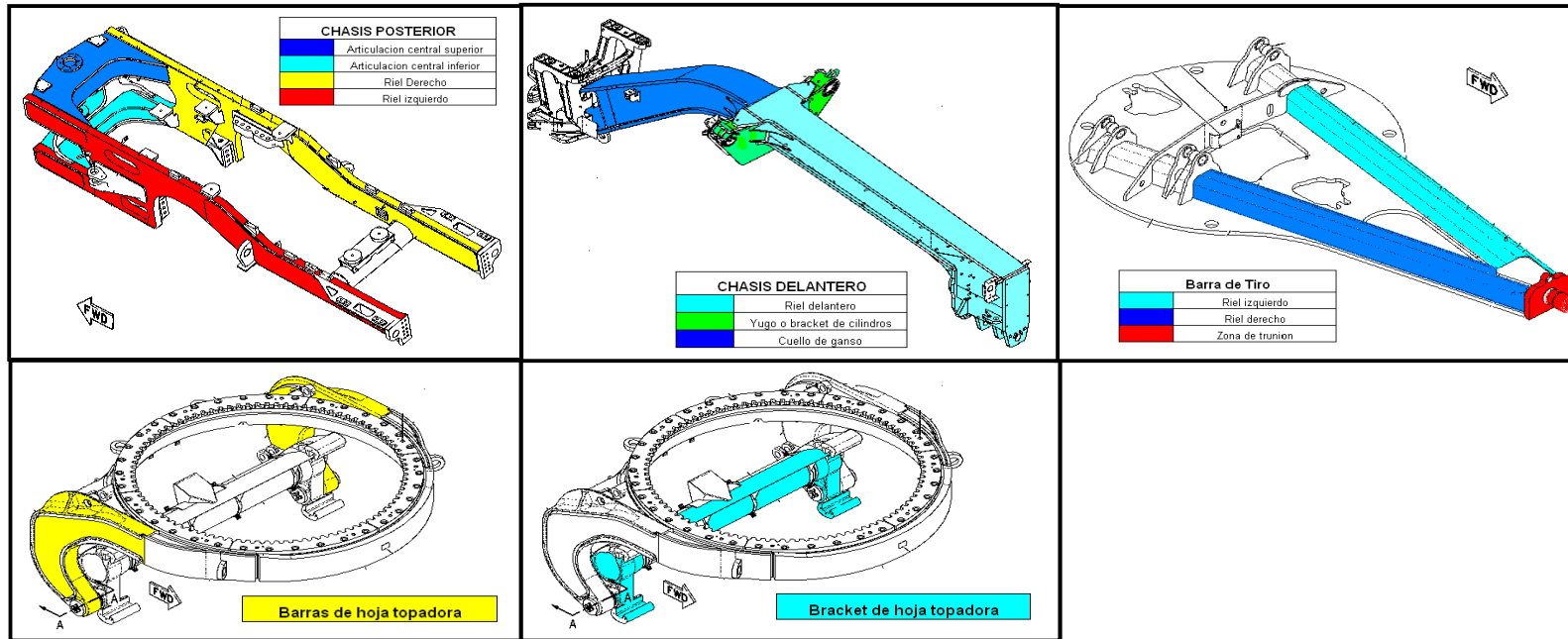
RANGO DE SEVERIDADES DE FISURAS EN FLOTA 994



Item	Descripción de la Zona	Descripción Standar Jobs	Standar Jobs	LEVE	CRITICO	SEVERO
1	CHASIS DELANTERO	Chasis- riel derecho (Exterior, Interior)	LD001	10mm a 120mm	120mm a 180mm	181mm a más
2		Chasis- riel izquierdo (Exterior, Interior)	LD002			
3		Chasis delantero cara frontal	LD003			
4		Chasis delant. Alojamiento cilindro Levante PIN "Y"	LD004			
5	CHASIS CENTRAL	Chasis central alojamiento de Pin H	LD005	10mm a 60mm	61mm a 120mm	121mm a más
6	ARTICULACIÓN CENTRAL	Refuerzo Articulacion Central	LD006			
7		Chasis central alojamiento de Pin J	LD011			
8	oreja de traba de articulacion central					
9	CHASIS POSTERIOR	Chasis posterior derecho	LD017	10mm a 120mm	120mm a 180mm	181mm a más
10	DERECHO	Chasis post soportes balancin delantero	LD017			
11		Chasis post soportes balancin Posterior	LD018			
12	CHASIS POSTERIOR	Chasis posterior izquierdo	LD016	10mm a 120mm	120mm a 180mm	181mm a más
13	IZQUIERDO	Chasis post soportes balancin delantero	LD019			
14		Chasis post soportes balancin Posterior	LD019			
15	BOOM	Alojamiento Pin A	LD023	10mm a 50mm	51mm a 120mm	121mm a más
16		Alojamiento Pin B	LD024			
17		Alojamiento Pin F	LD025			
18		Alojamiento Pin K	LD026			
19	BOOM TOPES	Topes de Boom derecho	LD029	Evaluar con supervisión		
20		Topes de Boom izquierdo	LD030	Evaluar con supervisión		
21	BOOM BRACKETS	Bracket derecho	LD027	10mm a 90mm	91mm a 150mm	150mm a más
22		Bracket izquierdo	LD028			
23	LEVER	Alojamiento Pin D	LDF33	10mm a 50mm	51m a 120mm	121mm a más
24	ALOJAMIENTOS	Alojamiento Pin E	LDF34			

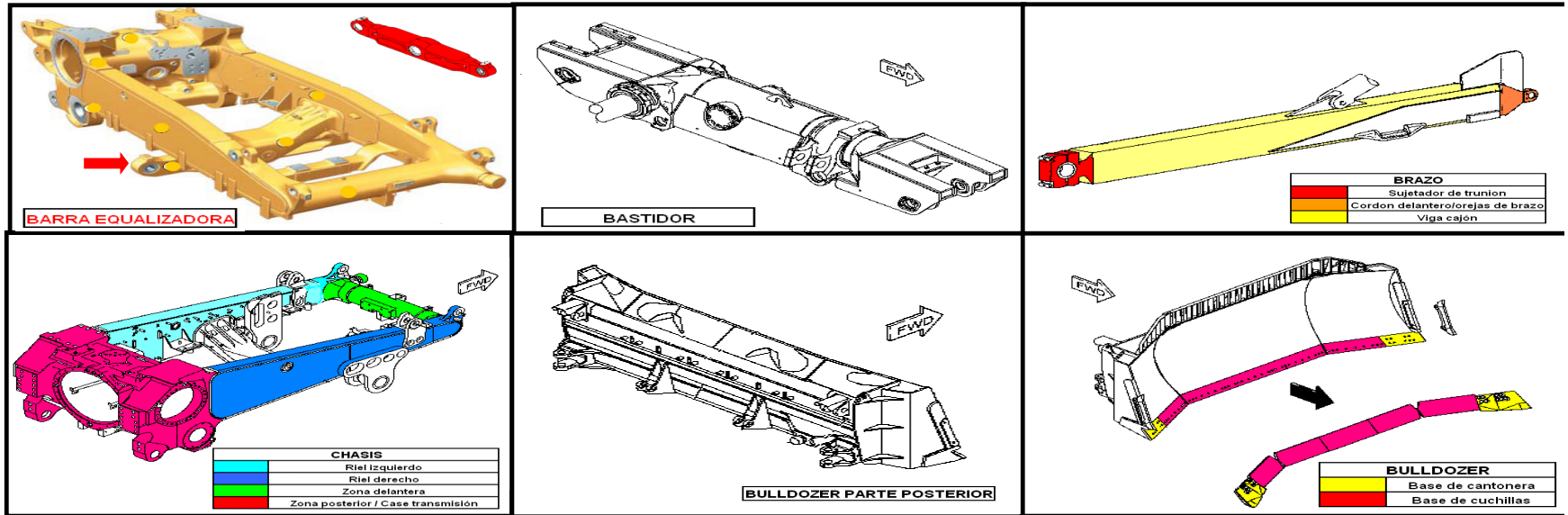
1	BUCKETS PARTE ROLADA EXTERIOR	Bucket rolada ext. cajon posterior	LDB001	10mm a 100mm	101mm a160mm	161mm a más
2		topes de cucharon Derecho (Exterior, interior)	LDB002			
3		topes de cucharon izquierdo (Exterior, interior)	LDB003			
4		Bucket rolada ext. alojamiento y/o cartela Pin "C"	LDB004			
5		Bucket rolada ext. alojamiento y/o cartela Pin "B"	LDB005			
6	PARTE ROLADA INTERIOR	Bucket rolada int. cordn sold. horizontal	LDB006	10mm a 100mm	101mm a160mm	161mm a más
7		Bucket rolada int. cordn sold. Vertical	LDB007			
8	BUCKETS LABIO	Adapter N1	LDB008	10mm a 80mm	81mm a 140mm	141mm a más
9		Adapter N2				
10		Adapter N3				
11		Adapter N4				
12		Adapter N5				
13		Adapter N6				
14		Adapter N7				
15		Adapter N8				
16	Fondo del Bucket y/o Unión del Labio	LDB11	10mm a 80mm	81mm a 140mm	141mm a más	
17	BUCKETS Caras laterales	Bucket Cara lateral izquierda				LDB09
18	Bucket Cara lateral derecha	LDB10				

RANGOS DE SEVERIDAD DE MOTONIVELADORAS



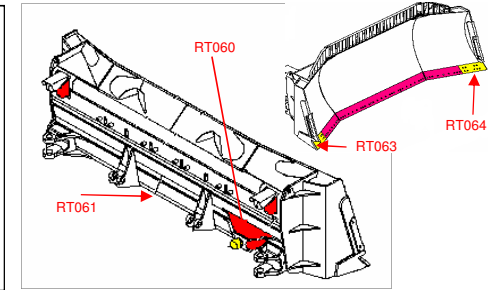
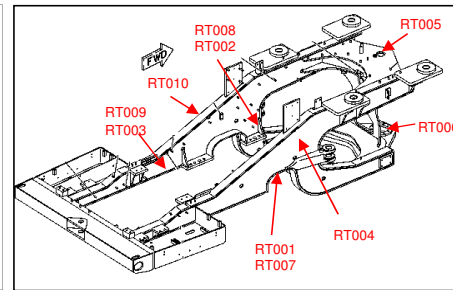
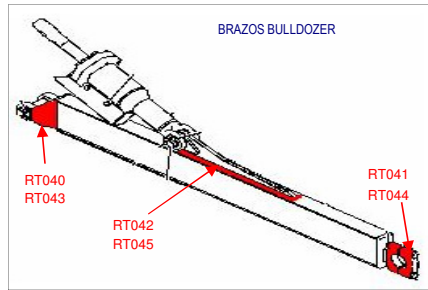
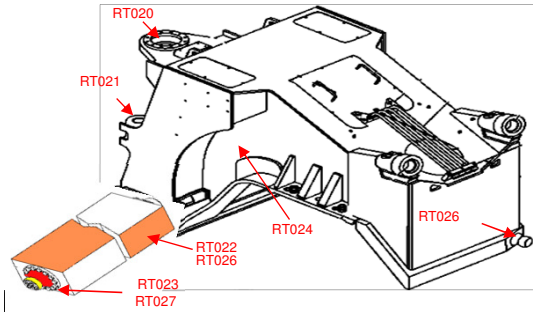
Item	Descripcion de la Zona	Descripcion Standar Jobs	Standar Jobs	Leve	Critico	Severo
1	CHASIS DELANTERO	Front Axle	042F01	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
2		Riel principal delantero.	042F02			
3		Bracket de cilindros	042F03			
4		Zona de Cuello de Ganso	042F04			
5		Soportes de Cabina	042F05			
6		Articulacion Central Superior	042F06			
7		Articulacion Central Inferior	042F07			
8	BARRA DE TIRO- HOJA TOPADORA	Riel derecho de barra de tiro	042F08	10mm a 70mm	71mm a 120mm	121mm a más
9		Riel izquierdo de barra de tiro	042F09			
10		Bracket de hoja topadora	042F10			
11	TORNAMESA	Cartelas de alojamientos pernos de zapatas	042F11	10mm a 80mm	81mm a 110mm	111mm a más
12		Circulo de giro parte interior (zona dentada)	042F12			
13		Circulo de giro parte exterior	042F13			
14		Barras de hoja topadora	042F14			
15	CHASIS POSTERIOR	Articulación central Superior	042F15	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
16		Articulación central Inferior	042F16			
17		Riel lado derecho	042F17			
18		Riel lado izquierdo	042F18			
19	RIPPER	Soportes de Ripper	042F19	10mm a 110mm	111mm a 160mm	161mm a más
20	EJES	Cambió eje delantero izquierdo	042F20	X	Si se tiene un área de fatiga menor a 25% se debe programar el cambio	Si se tiene un área de fatiga mayor a 25% se debe realizar el cambio inmediato
21		Cambió eje delantero derecho	042F21	X		
22		Cambió eje tandem delantero izquierdo	042F22	X		
23		Cambió eje tandem delantero derecho	042F23	X		
24		Cambió eje tandem posterior izquierdo	042F24	X		
25		Cambió eje tandem posterior derecho	042F25	X		

RANGOS DE SEVERIDAD DE TRACTORES DE ORUGA



Item	Descripcion de la Zona	Descripcion Standar Jobs	Standar Jobs	LEVE	CRITICO	SEVERO
1	BASTIDOR IZQUIERDO	Bastidor	037F01	10mm a 80mm	81mm a 150mm	151mm a más
2		Soporte de Rodillos Superiores	037F02			
3		Trunion de Soporte de Brazo	037F03			
4	BASTIDOR DERECHO	Bastidor	037F04	10mm a 80mm	81mm a 150mm	151mm a más
5		Soporte de Rodillos Superiores	037F05			
6		Trunion de Soporte de Brazo	037F06			
7	CHASIS	Riel izquierdo	037F07	10mm a 100mm	101mm a 150mm	151mm a más
8		Riel Derecho	037F08			
9		Zona Delantera de Chasis	037F09			
10		Zona Posterior de Chasis	037F10			
11	BRAZO IZQUIERDO	Sujetador de trunion	037F11	10mm a 80mm	81mm a 150mm	151mm a más
12		Cordon delantero / oreja de brazo	037F12	10mm a 30mm	31mm a 80mm	81mm a más
13		Viga cajon	037F13	10mm a 80mm	81mm a 150mm	151mm a más
14	BRAZO DERECHO	Sujetador de trunion	037F14	10mm a 80mm	81mm a 150mm	151mm a más
15		Cordon delantero / oreja de brazo	037F15	10mm a 30mm	31mm a 80mm	81mm a más
16		Viga cajon	037F16	10mm a 80mm	81mm a 150mm	151mm a más
17	BULLDOZER	Zona Posterior	037F17	10mm a 80mm	81mm a 120mm	121 a más
18		Base Cantonera	037F18			
19		Base de cuchillas	037F19			
20		cordones de soldadura laterales	037F20			
21	RIPPER	cordones de soldadura	037F21	10mm a 100mm	101mm a 150mm	151mm a más
22	BARRA ECUALIZADORA	Barra ecualizadora	037F22	10mm a 50mm	51mm a 80mm	81mm a más

RANGOS DE SEVERIDAD DE TRACTORES DE RUEDA



Item	Descripcion de la Zona	Descripcion Standar Jobs	Standar Jobs	LEVE	CRITICO	SEVERO
1	CHASIS POSTERIOR LADO DERECHO	Riel post RH tope diferencial	RT001	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
2		Riel post RH soporte balancin delantero	RT002			
3		Riel post RH soporte balancin posterior	RT003			
4		Riel posterior derecho	RT004			
5	CHASIS POSTERIOR ARTICULACION	Riel post central superior	RT005	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
6		Riel post central inferior	RT006			
7	CHASIS POSTERIOR LADO IZQUIERDO	Riel post LH tope diferencial	RT007	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
8		Riel post LH soporte balancin delantero	RT008			
9		Riel post LH soporte balancin posterior	RT009			
10		Riel posterior izquierdo	RT010			
11	CHASIS DELANTERO ARTICULACION	Riel delantero -central superior	RT020	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
12		Riel delantero -central inferior	RT021			
13	CHASIS DELANTERO LADO DERECHO	Riel delantero- RH contrapeso central	RT022	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
14		Riel delan- Trunion c/contrapeso central	RT023			
15	CHASIS DELANTERO LADO IZQUIERDO	Riel Derecho delantero	RT024	10mm a 90mm	91mm a 140mm	141mm a más
16	CHASIS DELANTERO LADO FRONTAL	Riel delant. frontal trunion barra estab	RT025			
17	CHASIS DELANTERO LADO IZQUIERDO	Riel delantero izquier contrapeso centra	RT026			
18		Riel delant. LH trunion c/ contrapes cen	RT027			
19		Riel delantero izquierdo	RT028	10mm a 70mm	71mm a 120mm	120mm a más
20	BRAZO BULLDOZER LADO DERECHO	Brazo buldozr RH cordon sold. Delantero	RT040			
21		Brazo buldozr RH cord.sold. Sujetador de trunion	RT041			
22		Brazo buldozr RH cord.sold.cilin inclina	RT042			
23	BRAZO BULLDOZER LADO IZQUIERDO	Brazo buldozr LH cordon sold. Delantero	RT043	10mm a 70mm	71mm a 120mm	120mm a más
24		Brazo buldozr LH cord.sold. Sujetador de trunion	RT044			
25		Brazo buldozr LH cord.sold.cilin inclina	RT045			
26	BULLDOZER LADO POSTERIOR	Buldozr lado pos trunion barra estabiliz	RT060	10mm a 100mm	101mm a 170mm	171mm a más
27		Buldozer lado posterior cartelas	RT061			
28		Buldozer lado post. trunion cilindr levn	RT062			
29	BULLDOZER CANTONERAS	Buldozer cantonera. lad derecho inferior	RT063	10mm a 100mm	101mm a 170mm	171mm a más
30		Buldozer cantonera. lad izquier inferior	RT064			
31	BOX GRADER SOPORTES LAMPON BARBA	LADO DERECHO IZQUIERDO Y CENTRAL	RT065	10mm a 100mm	101mm a 170mm	171mm a más