

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA
RECONSTRUCCIÓN POR SOLDADURA DEL EJE DE
TRANSMISIÓN DE BOMBA DENVER 4” X 3”.
FÁBRICA PERUANA ETERNIT S.A.”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENÍERO MECÁNICO**

AUTOR:

ROCA SABOYA, CRISTHIAN ALEXIS

ASESOR : MG.MARTIN TORIBIO SIHUAY FERNANDEZ

Callao - 2023

PERÚ

**ACTA N° 002-2023 DE EXPOSICION DEL INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA
LA OBTENCION DE TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**LIBRO N° 001, FOLIO N° 308, ACTA N° 002-2023 DE EXPOSICION DEL INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA LA OBTENCION DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

A los 16 días del mes de octubre del año 2023, siendo las 14:23 h, se reunieron, en el Pabellón de Fluidos, 4to. Piso, Unidad de Posgrado, FIME – UNAC, el **JURADO DE EXPOSICION DEL INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL** para la obtención del **TÍTULO** profesional de **Ingeniero Mecánico** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

- | | | |
|---|---|------------|
| ▪ Dr. Pablo Mamani Calla | : | Presidente |
| ▪ Ing. Pedro Baltazar de la Cruz Castillo | : | Secretario |
| ▪ Mg. Esteban Antonio Gutiérrez Hervias | : | Miembro |
| ▪ Mg. Martin Toribio Sihuay Fernandez | : | Asesor |

Se dio inicio al acto de exposición del Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional del Bachiller **ROCA SABOYA, CRISTHIAN ALEXIS**, quien habiendo cumplido con los requisitos exigidos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico sustenta el Informe titulado **"ELABORACION DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA RECONSTRUCCION POR SOLDADURA DEL EJE DE TRANSMISION DE BOMBA DENVER 4" x 3" FÁBRICA PERUANA DE ETERNIT S.A."**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera presencial.

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **(15)**, la presente exposición, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023- CU del 15 de Junio del 2023.

Se dio por cerrada la Sesión a las 15:20 h del día 16 de octubre del 2023.




Dr. Pablo Mamani Calla
Presidente de Jurado



Ing. Pedro Baltazar de la Cruz Castillo
Secretario de Jurado



Mg. Esteban Antonio Gutiérrez Hervias
Vocal de Jurado



Mg. Martin Toribio Sihuay Fernández
Asesor



cristhian alexis roca saboya

FIME Trabajo de Suficiencia Profesional - Roca 2021 (último)

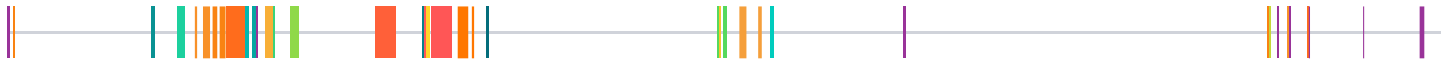
12% Textos sospechosos

12% Similitudes
3% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas

0% Idioma no reconocido

<p>Nombre del documento: FIME Trabajo de Suficiencia Profesional - Roca 2021 (último).docx</p> <p>ID del documento: 71549acea417d647aadde8aa26e54eb965609abb</p> <p>Tamaño del documento original: 9,2 MB</p>	<p>Depositante: FIME PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION</p> <p>Fecha de depósito: 10/1/2024</p> <p>Tipo de carga: interface</p> <p>fecha de fin de análisis: 10/1/2024</p>	<p>Número de palabras: 11.205</p> <p>Número de caracteres: 73.041</p>
---	--	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	idoc.pub | Manual De Soldadura Soldexa [d49o6oxg6249] https://idoc.pub/documents/manual-de-soldadura-soldexa-d49o6oxg6249 1 fuente similar	1%		Palabras idénticas: 1% (172 palabras)
2	tesis.pucp.edu.pe https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/20.500.12404/9258/5/DIAZ_JORGE_ANALISIS_FALLA...	1%		Palabras idénticas: 1% (151 palabras)
3	tesis.pucp.edu.pe https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/16145/MERINO_PONCE_DANIE...	1%		Palabras idénticas: 1% (135 palabras)
4	tesis.pucp.edu.pe https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/20.500.12404/18615/1/ARROYO_PAEZ_GERSON_EL...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (114 palabras)
5	www.solter.com | MMA Soldadura por arco con electrodos revestidos | Solter Sold... https://www.solter.com/mma-soldadura-por-arco-con-electrodos-revestidos 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (123 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	hdl.handle.net | Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval http://hdl.handle.net/2099.1/13730	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	repositorio.umsa.bo | Soldadura de reparación y mantenimiento en equipo pesad... https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/13714	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/57104/1/Terrones_DR-SD.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
4	Documento de otro usuario #a66a5b El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
5	tesis.pucp.edu.pe | Análisis de falla de un árbol de levas de bomba de inyección d... https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16145	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://www.ingmecafenix.com/otros/pirometro/
2	http://www.canfortlab.com/6-nn6.html
3	https://fr.slideshare.net/leonardodesimone31/diagrama-de-schaeffler
4	https://es.scribd.com/document/415464976/1-Charla-Ing-Abelardo
5	https://es.scribd.com/document/260337969/Recuperacion-de-Un-Eje-AIS

DEDICATORIA

Dedico este informe a mis padres por
brindarme todo el apoyo de manera
incondicional en cada uno de
mis objetivos personales
y profesionales

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día, agradecer a todos y cada uno de mi familia por darme el soporte emocional para continuar, y la confianza en poder lograr mis metas trazadas.

Agradezco a mi asesor Mg. Martín Toribio Sihuay Fernández, por los consejos y pautas para el desarrollo de este informe.

Agradezco a todas las personas involucradas que me apoyaron con su conocimiento para hacer realidad este trabajo.

ÍNDICE

I. ASPECTOS GENERALES	8
1.1. Objetivos	8
1.1.1. Objetivo General	8
1.1.2. Objetivos Específicos.....	8
1.2. Organización de la empresa	8
1.2.1. Organigrama.....	8
1.2.2. Misión	10
1.2.3. Visión	10
1.2.4. Responsabilidad en la empresa	10
II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	11
2.1 Marco Teórico.....	11
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	11
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	12
2.1.3. Bases teóricas.....	13
2.2. Descripción de las actividades desarrolladas	27
2.2.1. Etapas de actividades	27
2.2.2. Diagrama de flujo	28
2.2.3. Cronograma de actividades.....	29
III. APORTES REALIZADOS	30
3.1. Etapas del procedimiento de recuperación.....	30
3.1.1. Evaluación del estado inicial y análisis de reacondicionamiento	30
a. Inspección de equipo (Check List).....	30
b. Verificación de medidas, inspección visual.....	31
c. Preparación del material base	33
d. Identificación de material base.....	34
e. Determinación del grado de soldabilidad del material base	35
f. Temperatura de precalentamiento, entrapases y postcalentamiento. Velocidad de Enfriamiento	37
g. Material de aporte y proceso de soldadura	43

h.	Variables / parámetros de soldeo.....	46
i.	Posición y secuencia de soldeo.....	47
3.1.2.	Mecanizado según tolerancias.....	50
3.1.3.	Ensayos de medición e inspección a zona recuperada.....	51
3.2.	Evaluación técnico – económica	56
3.3.	Análisis de resultados.....	57
IV.	DISCUSION Y CONCLUSIONES	58
4.1.	Discusiones	58
4.2.	Conclusiones.....	59
V.	RECOMENDACIONES	61
VI.	BIBLIOGRAFIA	62
VII.	ANEXOS Y PLANOS	64
	ANEXO 1	64
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE INSPECCION DE EQUIPOS.....	64
	ANEXO 2.....	65
	TAMAÑOS DE BOMBAS SEGÚN FABRICANTE	65
	ANEXO 3.....	66
	FICHA TÉCNICA DE BOMBA DENVER 4” X 3”	66
	ANEXO 4.....	67
	CHECK LIST DE EQUIPOS	67
	ANEXO 5.....	68
	PLANO DE FABRICACIÓN DE EJE BOMBA DENVER 4” X 3”	68
	ANEXO 6.....	69
	FICHA TÉCNICA TÉCNICA DEL ACERO AISI 4340	69
	ANEXO 7	70
	CARACTERISTICAS DE ELECTRODO INOX 29/9.....	70
	ANEXO 8.....	71
	DIAGRAMA DE SCHAEFFLER	71
	ANEXO 9.....	72
	RENDIMIENTO TÉRMICO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA.....	72
	ANEXO 10.....	73
	DEPOSICIÓN DEL ELECTRODO SEGÚN AWS A5.4	73

ANEXO 11.....	74
REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA	74
ANEXO 12.....	75
ASTM E140 – TABLA DE CONVERSIÓN DE DUREZA PARA METALES	75
ANEXO 13.....	76
CERTIFICADO DE NIVEL II EN PRUEBAS DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	76
ANEXO 14.....	77
CERTIFICADO DE NIVEL II EN PRUEBAS DE ULTRASONIDO.....	77
ANEXO 15.....	78
REPORTE DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	78
ANEXO 16.....	79
REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO	79
ANEXO 17.....	80
ESPECIFICACIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	80
ANEXO 18.....	81
ESPECIFICACIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS - CONTINUACIÓN	81
ANEXO 19.....	82
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE ULTRASONIDO	82
ANEXO 20.....	83
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE ULTRASONIDO - CONTINUACIÓN	83

TABLA DE FIGURAS

Figura N°1.....	9
Organigrama estructural de la empresa, Fábrica Peruana Eternit SA.....	9
Figura N°2.....	13
Disposición según la dirección del flujo.....	13
Figura N°3.....	14
Elementos constituyentes de una bomba Centrífuga	14
Figura N°4.....	16
Despiece de bomba de lodos Denver	16
Figura N°5.....	18
Pirómetro	18
Figura N°6.....	18
Calibrador Vernier	18
Figura N°7.....	21
Procesos de Soldadura	21
Figura N°8.....	23
Descripción del proceso.....	23
Figura N°9.....	24
Posiciones de ensayo para soldaduras en ranura y filete	24
Figura N°10.....	25
Fisuramiento en la ZAC a) Filete b) Ranura	25
Figura N°11.....	27
Dureza de la microestructura, depende de la tasa de enfriamiento vs el %Carbono equivalente	27
Figura N°12.....	28
Diagrama de flujo de actividades.....	28
Figura N°13.....	30
Eje de transmisión desmontado	30
Figura N°14.....	32
Zona afectada por el desgaste	32
Figura N°15.....	32
Medición de zona del asiento de retén	32

Figura N°16.....	33
Maquinado de zona afectada	33
Figura N° 17.....	35
Características mecánicas del acero AISI 4340.....	35
Figura N°18.....	37
Diagrama de B.A. Graville.....	37
Figura N°19.....	39
Curva Temperatura – Tiempo – Transformación del Acero AISI 4340	39
Figura N°20.....	40
Precalentamiento de la Pieza	40
Figura N°21.....	40
Lectura de temperatura de Precalentamiento	40
Figura N°22.....	41
Temperaturas recomendadas para el Tratamiento Térmico	41
Figura N°23.....	42
Curvas de enfriamiento continuo del acero AISI 4340.....	42
Figura N°24.....	42
Enfriamiento en Cal	42
Figura N°25.....	44
Diagrama de Schaeffler – Zonas de peligro	44
Figura N°26.....	45
Electrodo revestido AWS E312-16.....	45
Figura N°27.....	46
Máquina de Soldar ESAB LHN 220i Plus.....	46
Figura N°28.....	48
Secuencia de Soldeo.....	48
Figura N°29.....	48
Durante el proceso de recuperación	48
Figura N°30.....	49
Después del proceso de recuperación.....	49
Figura N°31.....	50
Maquinado de sección recuperada, diámetro 45mm	50

Figura N°32.....	50
Maquinado de sección recuperada, diámetro 45mm	50
Figura N°33.....	51
Zona del eje recuperado por soldadura.....	51
Figura N°34.....	52
Detalle de medidas de eje escalonado	52
Figura N°35.....	53
Puntos de zona recuperada para toma de datos	53
Figura N°36.....	54
Ensayo por partículas magnéticas a zona recuperada	54
Figura N°37.....	54
Uso de yugo magnético para detección de fallas en zona recuperada	54
Figura N°38.....	55
Ensayo por ultrasonido a zona recuperada.....	55
Figura N°39.....	55
Uso de equipo de ultrasonido para detección de fallas	55

TABLA DE CONTENIDO

Tabla N°1	16
Componentes principales de la bomba Denver.....	16
Tabla N°2	29
Desarrollo de actividades realizadas	29
Tabla N°3	31
Datos tomados del diámetro del eje escalonado	31
Tabla N°4	34
Composición química del acero AISI 4340.....	34
Tabla N°5	43
Contenidos de humedad de los electrodos según AWS	43
Tabla N°6	47
Cálculo del aporte térmico	47
Tabla N°7	53
Medición de dureza de zona recuperada	53
Tabla N°8.....	56
Evaluación económica del procedimiento de reparación	56

I. ASPECTOS GENERALES

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Elaborar un procedimiento para la reconstrucción de soldadura del eje de transmisión de bomba Denver 4" x 3" en la Fábrica Peruana Eternit SA, que permitirá el ahorro de costos de mantenimiento.

1.1.2. Objetivos Específicos

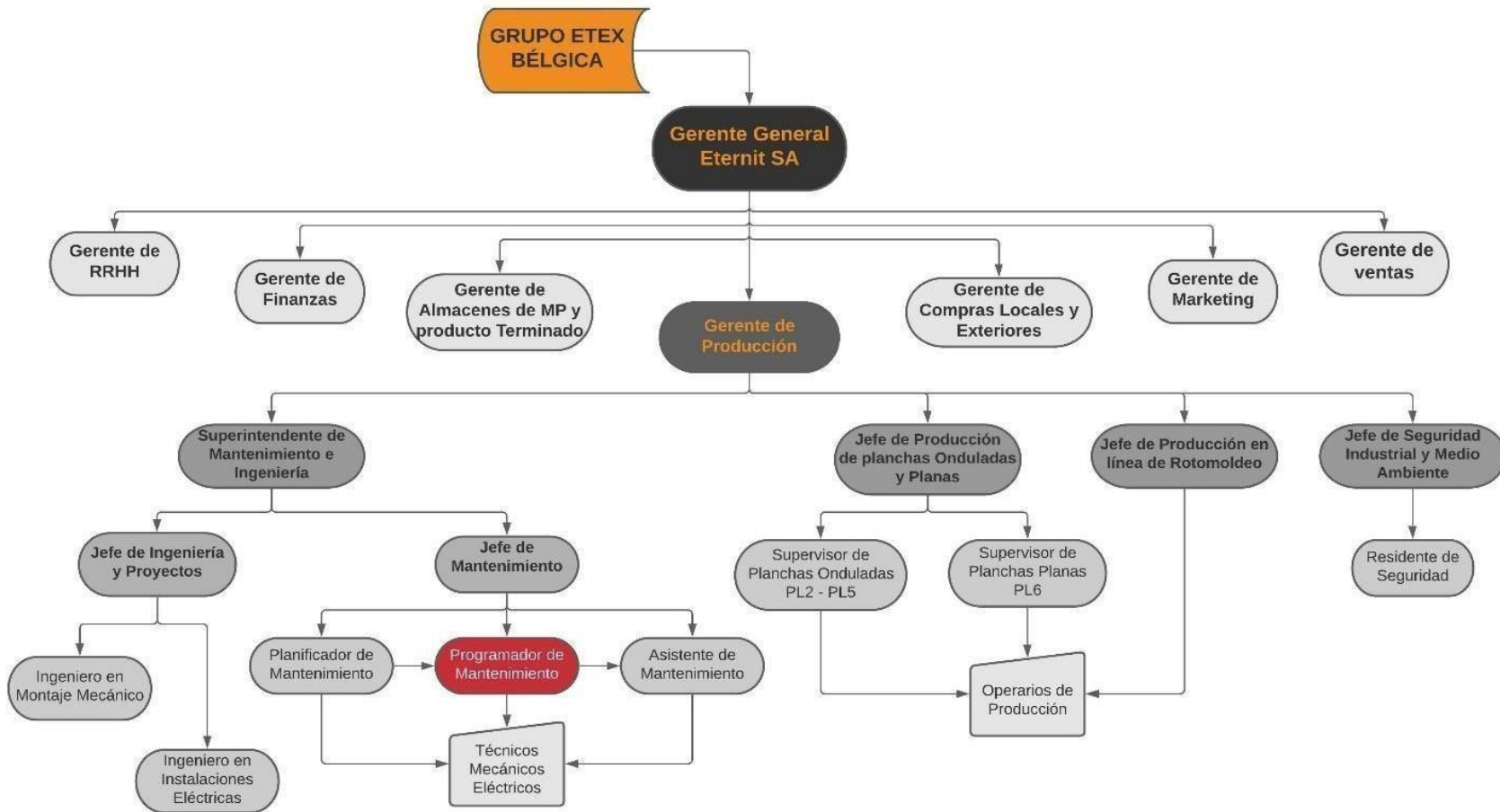
- Realizar la inspección mecánica de bombas centrífugas.
- Realizar el despiece del equipo, inspección visual y verificación de medidas de secciones del eje según plano de fabricación.
- Elaborar el procedimiento de soldadura de recargue.
- Realizar el proceso de mecanizado reestableciendo medidas de fábrica.
- Realizar los ensayos no destructivos a zona de soldadura.

1.2. Organización de la empresa

1.2.1. Organigrama:

La Jerarquía de responsabilidades en la empresa se detalla según la figura N°1.

Figura N°1
Organigrama estructural de la empresa, Fábrica Peruana Eternit SA



Fuente: Elaboración Propia

1.2.2. Misión

Brindar productos y soluciones en la actividad de la construcción, que mejoren la calidad de vida de los usuarios, manteniendo un espíritu de mejoramiento continuo en nuestra organización.

1.2.3. Visión

La empresa tiene como visión ser el proveedor preferido de la industria de la construcción en el medio nacional e internacional.

1.2.4. Responsabilidad en la empresa

Según el organigrama estructural de la compañía, desempeño las funciones de **Programador de Mantenimiento**; las cuales tiene responsabilidad directa en la asignación de recursos humanos, materiales y económicos para el asegurar el performance de equipos rotatorios en planta; cumpliendo con el plan de mantenimiento establecido según condiciones de operación y disponibilidad.

Una de las actividades fundamentales como parte de la producción en la empresa, es la del desplazamiento de grandes volúmenes de pulpa (Mezcla de Sílice, Caolín, Cemento, Carbonatos, etc.) a los distintos sectores de producción en la planta. Esto hace indispensable tener indicadores y controles sobre los equipos de bombeo, asociados a la mantenibilidad de las bombas hidráulicas.

II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Celada (2012), en su estudio titulado “Metodología para el Reacondicionamiento de Ejes de Acero al Carbono, AISI 1045, por medio me Soldadura”, tuvo como objetivo principal “Proponer una metodología específica para la reconstrucción de ejes de acero al carbono AISI 1045 que han sufrido desgaste u otro tipo de falla, empleando procesos de soldadura adecuados según sea el caso”. En esta investigación el autor presentó las siguientes conclusiones. La metodología para el reacondicionamiento de ejes debe hacerse de la siguiente manera: a) identificación del material base; b) inspección visual (identificación del defecto); c) ensayo no destructivo; d) remoción del defecto; e) selección del material de aporte; f) precalentamiento de la pieza; g) levantado de cordones y mantenimiento de la temperatura; h) tratamiento térmico (revenido); i) acabado final; j) inspección de la calidad de la soldadura.
- Fernández (2016), en su estudio titulado “Soldadura de reparación y mantenimiento en equipo pesado con electrodos revestidos en la empresa Imor Tracbol”, tuvo como objetivo principal “Realizar el reacondicionamiento de piezas cómo cucharones, tolvas y trenes de rodado mediante soldadura de recargue y/o cambio por fin de ciclo de vida”. En este informe de pasantía el autor presentó las siguientes conclusiones. “Al utilizar soldaduras especiales se ha permitido contar con elementos de competitividad en la actividad, ya que proporcione soluciones adaptadas específicamente para cada situación de soldadura que se presente con el conocimiento, diferenciación y selección, al obtener mejores resultados comparativos con el menor recurso disponible, específicamente logrando la calidad esperada en cada una de las piezas a soldar

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Arroyo (2021), en su estudio titulado "Elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura preliminar y calificación de soldador para el soldeo de aletas de acero ASTM A 36 a ejes de acero AISI 4340 tuvo como objetivo principal elaborar y calificar un procedimiento de soldadura y de soldador preliminares de un eje AISI y unas aletas ASTM A36 de acuerdo con la Norma AWS D1.1. En esta investigación el autor presentó la siguiente conclusión. Se establecieron los parámetros de soldadura de aletas ASTM A36 y ejes AISI 4340, así como también se definieron los ensayos necesarios para la calificación del procedimiento de soldadura. Esto se logró siguiendo los lineamientos de soldeo y rangos de espesores a soldar teniendo en cuenta el código AWS D1.1 – Ed. 2020.
- Merino (2020), en su estudio titulado "Análisis de falla de un árbol de levas de bomba de inyección de combustible reparado por soldadura", tuvo como objetivo general encontrar la causa más probable de la fractura del eje de levas de bomba de inyección de combustible de motor de 6 cilindros. En esta investigación el autor presentó las siguientes conclusiones. La composición química del material del eje de levas es compatible con un acero de bajo carbono y baja aleación al cromo, con una dureza en el centro del eje de 270 HV. El árbol de levas presenta evidencia de recuperación mediante el proceso de soldadura, fue realizada con material de aporte de acero inoxidable, esto generó zonas frágiles con valores de dureza extremadamente altos (814 HV), lo que hace pensar que no se empleó un precalentamiento para así disminuir la velocidad de enfriamiento y evitar la aparición de estructuras duras.

2.1.3. Bases teóricas

Bombas centrífugas

Según Mataix (2012, pp. 369-370):

Bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y la restituye al líquido que lo atraviesa en energía hidráulica. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites, ácidos, etc.) También se emplean para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión. Las bombas se clasifican en:

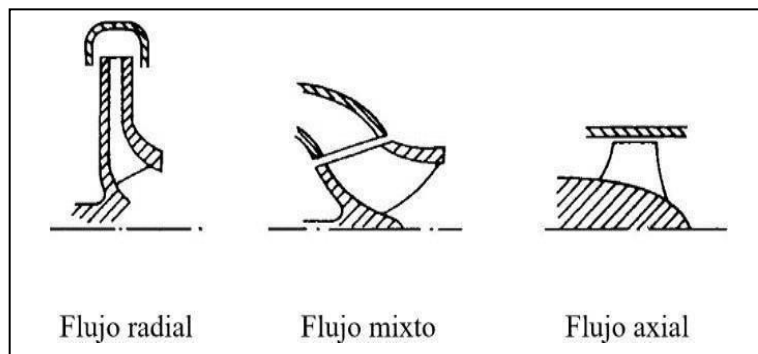
- a. **Rotodinámicas.** La dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía.
- b. **Desplazamiento positivo.** La dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía.

Clasificación de las bombas rotodinámicas, según:

- **La dirección del flujo (centrífugas):** Bombas de flujo radial, axial y mixto (Véase la figura N°2).
- **La posición del eje:** Bombas de eje horizontal, y eje vertical.

Figura N°2

Disposición según la dirección del flujo



Fuente: *INGENIERÍA mecánica y más. Clasificación y Tipos de Bombas.* 2016 [Fecha de Consulta: 03 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>

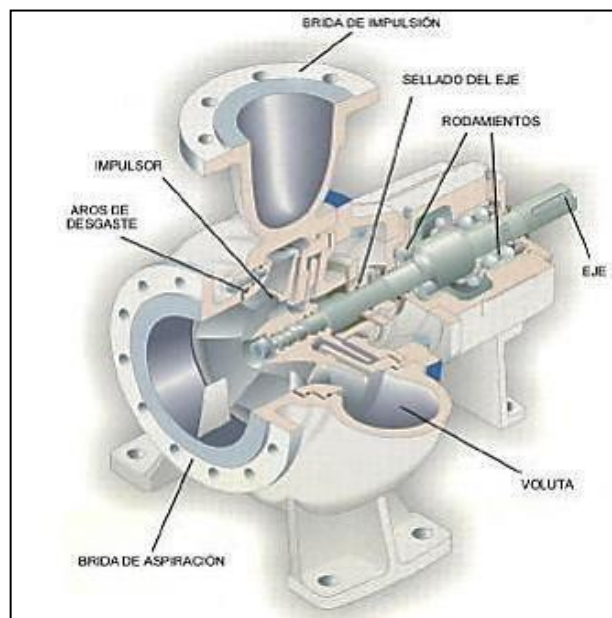
Elementos constitutivos de las bombas centrífugas

Una bomba centrífuga se compone principalmente de los siguientes elementos principales (Véase la figura N°3):

- **Un rodete o impulsor**, constituido por álabes que producen un cambio en el momento cinético del fluido, de modo que su velocidad y presión a la salida son superiores a las de la entrada.
- **Voluta**, encargada de conducir al fluido desde la salida del rodete hasta la brida de descarga.
- **Caja de rodajes**, es la parte donde habita el eje y rodamientos soportando la carga transmitida hacia el impulsor.
- **Eje de Transmisión**, componente que recibe la energía generada. Su función es transmitir el par generado. Por ende, el eje está sometido a diversas cargas. (MATAIX, 2015).

Figura N°3

Elementos constituyentes de una bomba centrífuga



Fuente: INGENIERÍA mecánica y más. Clasificación y Tipos de Bombas. 2016 [Fecha de Consulta: 03 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>

Bomba Denver SRL ®

Según *MEXICO mine supply. Bombas de lodo. 2021*

Son bombas centrífugas de flujo radial horizontales para lodos Denver SRL ®. Tiene diseño robusto y súper confiable se originado por Allis Chalmers ®, que fabricó algunas de las mejores bombas de lodo introducidas en la industria minera y la bomba se comercializó también como Denver SRL. Se usa para el transporte de lodos abrasivos y/o corrosivos. Tiene las siguientes características:

- Bombas para servicio pesado con forros de desgaste metálicos o de hule reemplazables.
- Construcción resistente, para uso rudo y continuo.
- Impulsores y forros de desgaste disponibles en una muy amplia gama de materiales.

En la Fábrica Peruana Eternit SA, se cuenta con (07) equipos de bombeo de la marca Denver ®, distribuidas según las distintas disposiciones de envío de pulpa en planta. Para este trabajo de mantenimiento se está ensayando al eje de transmisión (Véase ítem #10 de la figura N°4) de la bomba Denver tamaño 4" x 3", Según Fabricante (Véase el anexo N°2). Como dato adicional se anexa los datos de placa de motor y datos operación óptima de trabajo (Véase el anexo N°3).

Para una ilustración detallada se presenta a continuación, el despiece completo de la bomba Denver, dónde se menciona los componentes principales y al eje de transmisión, como objetivo principal del elemento a ensayar en este trabajo. (Véase la fig. N°4)

Figura N°4

Despiece de bomba de lodos Denver

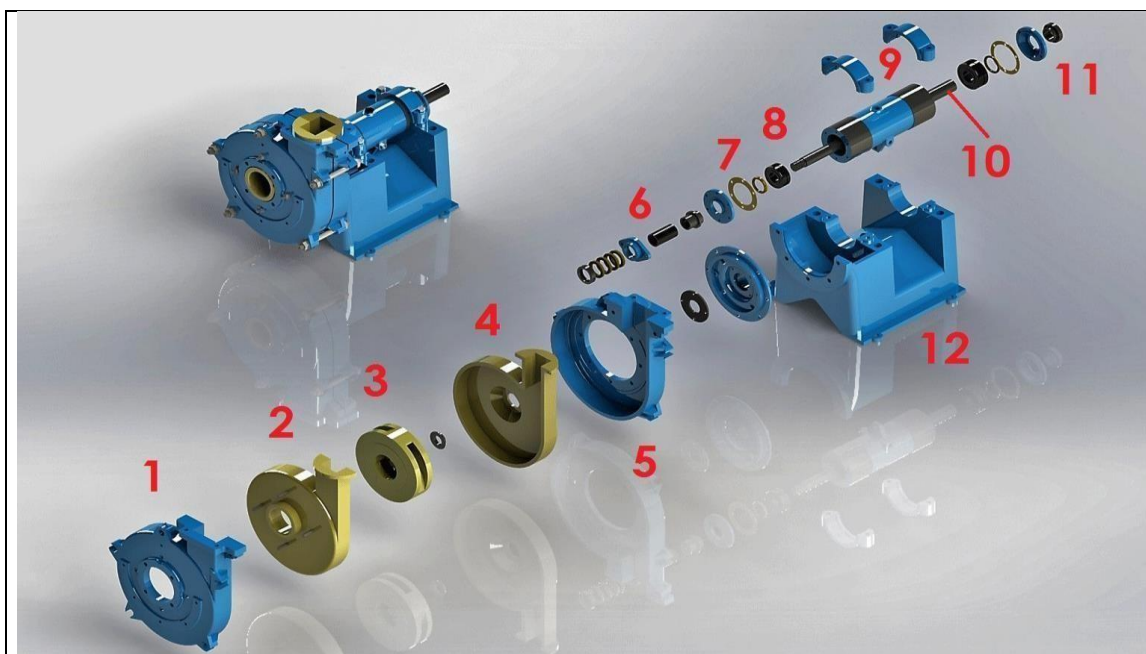


Tabla N°1

Componentes principales de la bomba Denver

Item	Descripción	Item	Descripción
1	Tapa de Voluta o carcasa	7	Retén de aceite
2	Forro de desgaste lado Impulsor	8	Rodamiento
3	Rodete o Impulsor	9	Caja de Rodajes
4	Forro de desgaste lado Eje	10	Eje de Transmisión
5	Voluta o carcasa	11	Tapa de caja de rodajes
6	Sello mecánico	12	Soporte o Base

Fuente: MEXICO mine supply. Bombas de lodo. 2021 [Fecha de consulta: 03 de agosto de 2021]. Disponible en:
<https://mexicominesupply.mx/b-denver.htm>

Inspección de equipos

Según, TECSUP (2014, pp. 30-33):

Una inspección es una tarea de mantenimiento que hace referencia a la revisión de los componentes de un equipo o máquina para averiguar y evaluar si están en buen estado o funcionando correctamente, mediante alguna técnica establecida dependiendo al tipo de falla, controlando parámetros de operación como temperatura, ruido, vibración y/o amperaje.

“La inspección es una de las medidas preventivas propias del mantenimiento. Su carácter preventivo se manifiesta en el hecho que las inspecciones se realizan a intervalos prefijados. Este intervalo se puede establecer con diversas unidades, como por ejemplo después de una cantidad de días, cantidad de horas de operación o la cantidad de unidades de productos fabricados.”

Tipos de inspección de equipos

Es necesario tener en cuenta 03 criterios relacionados a:

- **La capacidad de funcionamiento:** Se entiende al hecho de que el estado real corresponda al estado teórico.
- **Su seguridad:** Cómo controles de seguridad.
- **El mantenimiento de su valor:** Como medio de mantener el valor de las instalaciones de la empresa

Considerando estos criterios, se puede definir dos tipos básicos de inspección:

- **Sensorial:** mediante el uso de los sentidos (visual, ruido)
- **Instrumental:** Se puede medir mediante el empleo de instrumento y herramientas.

En el área de mantenimiento de la Fábrica Peruana Eternit, se emplea un diagrama de flujo (Véase el anexo N°1) para ejecutar las inspecciones a los equipos, esto jerarquiza la toma de decisión evaluando la criticidad de estos, de esto se podría concluir que la inspección se justifica debido a que la falla funcional del equipo pararía la línea de producción al no tener otro equipo de bombeo de back up, ocasionando mayores problemas en la operación. Cómo objetivo de este trabajo, la inspección que se realiza al equipo en estudio se lleva a cabo según al formato de Check List (Véase el anexo N°5).

Este formato se registra parámetros como temperatura en zona de cojinetes, presión de succión y descarga, Consumo de corriente y/o fugas de material. Para esto se emplea instrumentos como el pirómetro (Véase la fig. N°5), para medir la temperatura en operación y calibrador Vernier (Véase la figura N°6), para verificar medidas de fábrica de la pieza desmontada. Los demás datos se obtienen visualmente.

*Figura N°5
Pirómetro*



Fuente: <https://www.ingmecafenix.com/otros/pirometro/>

*Figura N°6
Calibrador Vernier*



Fuente: <http://www.canfortlab.com/6-nn6.html>

Fallas en ejes de transmisión

Según Díaz (2017, pp. 3-4)

Los ejes de transmisión son componentes mecánicos sometidos a cargas de tracción, compresión, flexión, torsión y combinación de estas. Así mismo, puede estar sometido a vibraciones, estar expuestos a ambientes agresivos y a movimientos relativos con otros componentes mecánicos. Por lo tanto, son susceptibles a fallar por los siguientes mecanismos de falla:

1. Desgaste
2. Deformación Plástica
3. Corrosión
4. Fatiga por contacto
5. Fractura

Desgaste

Se dice que hay desgaste cuando existe pérdida de material sin que se involucren reacciones químicas. Esta indeseable pérdida del material puede afectar las dimensiones, la forma o alterar la superficie de los ejes. Existen dos tipos de desgaste que afectan a los ejes y ejes de transmisión, desgaste abrasivo y desgaste adhesivo. El desgaste abrasivo se produce por presencia de partículas extrañas como arena, partículas endurecidas, etc. El desgaste adhesivo se produce por el movimiento relativo que existe entre el eje y los cojinetes, bocinas, etc.

El desarrollo de este informe como consideración dentro de las condiciones de reparación de un eje, por la viabilidad en la ejecución es solamente evaluar el desgaste en las secciones de apoyo y/o contacto con otros componentes

- Rodamientos: Sufrir los esfuerzos producto del desalineamiento y/o pérdida de ajuste, produciéndose un desgaste adhesivo
- Sellos: Elemento que mantiene contacto con el eje. Es probable desgaste abrasivo por partículas ajenas, Rayando la superficie se puede evidenciar con la presencia de fugas de aceite.

- Chaveta: Recibe la potencia, desgaste adhesivo en zona de contacto Eje-Chaveta.

Reconstrucción de ejes

Hace referencia a la recuperación de medidas de un árbol de acero, según desgaste en la zona de trabajo, ya sea en la sección del sello mecánico, cojinetes o retenes. En el mercado existen varios métodos para hacerlo.

De acuerdo con Celada (2012), plantea la siguiente secuencia para el procedimiento y tratamiento por soldadura de ejes:

“Metodología para reacondicionar ejes de transmisión:

- a) identificación del material base
- b) inspección visual (identificación del defecto);
- c) remoción del defecto;
- d) selección del material de aporte;
- e) precalentamiento de la pieza;
- f) levantado de cordones y mantenimiento de la temperatura;
- g) tratamiento térmico (revenido);
- h) acabado final;
- i) inspección de la calidad de la soldadura”

Soldadura

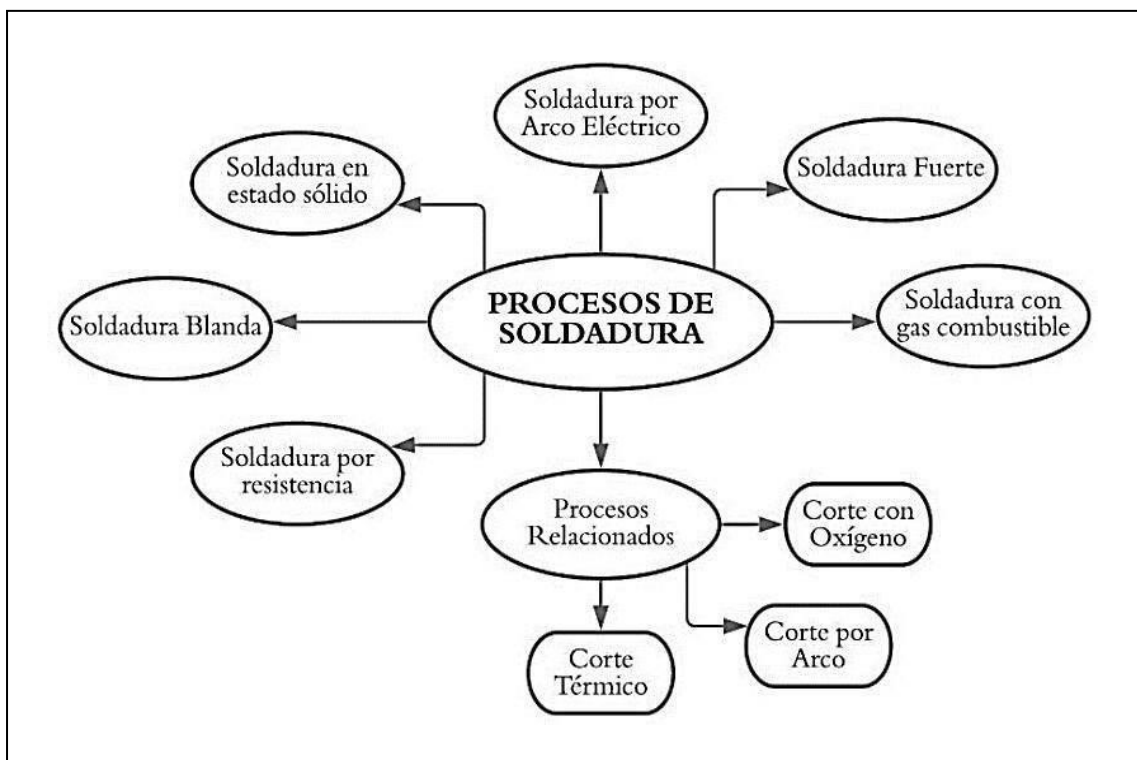
“El soldeo es el proceso de unión por el que se establece la continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material. Se denominará metal base al material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo y metal de aportación al material de que se aporta en cualquier operación o proceso de soldeo.” (HERNÁNDEZ, 2015, p. 8)

En lo que menciona Oerlikon (2015, p.22) sobre la soldadura como unión metálica es que; Los metales están constituidos por granos. Cada uno de estos es a su vez un arreglo periódico especial de átomos. El tamaño medio de estos granos es variable y cada grano está separado de sus vecinos por una zona de transición, que se conoce como límite de grano. Este límite desempeña un papel importante en la determinación de las propiedades mecánicas de un metal.

Procesos de soldadura

“Son múltiples las posibilidades de aplicación de estos procesos de soldadura. Su campo de aplicación depende, entre otras cosas, del material a soldar, de su espesor, de los requisitos que debe satisfacer la costura, y de la construcción.

*Figura N°7
Procesos de soldadura*



Fuente: ANSI/AWS A3.0. (2010, p 94)

La multiplicidad de la ejecución de la costura, tanto en la forma como en el método y las aplicaciones, ha conducido al desarrollo de muchos procesos en esta técnica. La selección del proceso más favorable, adecuado y económico de soldadura presupone el conocimiento de la manera de ejecutarla y sus peculiaridades.”

(OERLIKON, p.22)

Dentro del proceso de soldadura por arco eléctrico, encontramos:

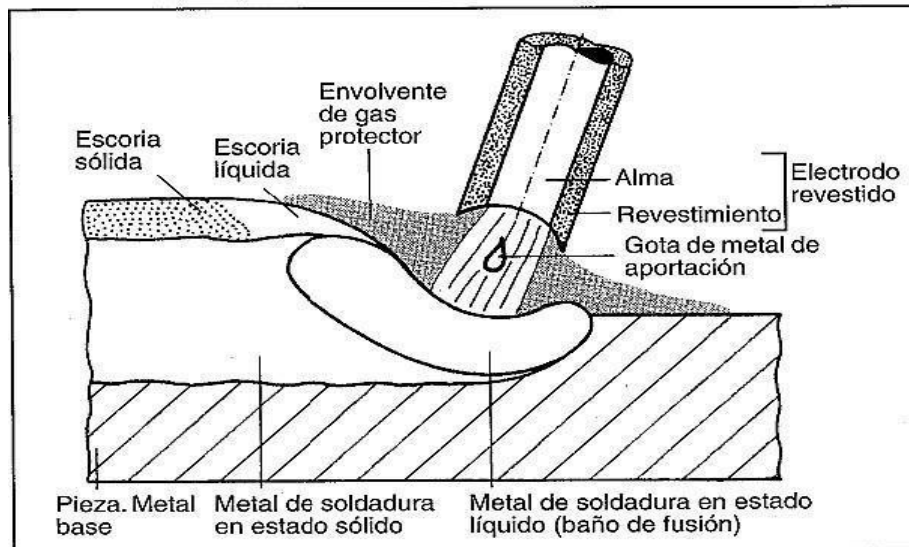
- Soldadura con Electrodo Revestido (SMAW)
- Soldadura por Arco Sumergido (SAW)
- Soldadura TIG (GTAW)
- Soldadura MIG-MAG (GMAW; FCAW)

SMAW (Shielded metal arc welding), según ANSI/AWS 3.0.

El soldeo por arco con electrodo revestido es un proceso manual en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal de una unión a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas (Véase la figura N°8). La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente, solidifica. (HERNÁNDEZ, 2015, p. 193)

Figura N°8
Descripción del proceso



Fuente: Hernández (2015, p. 193)

Electrodo revestido

Es el elemento fundamental de este proceso, establece el arco, protege el baño de fusión, y que, al consumirse, produce la aportación de material que, unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura. (HERNÁNDEZ, 2015, pp. 199-200).

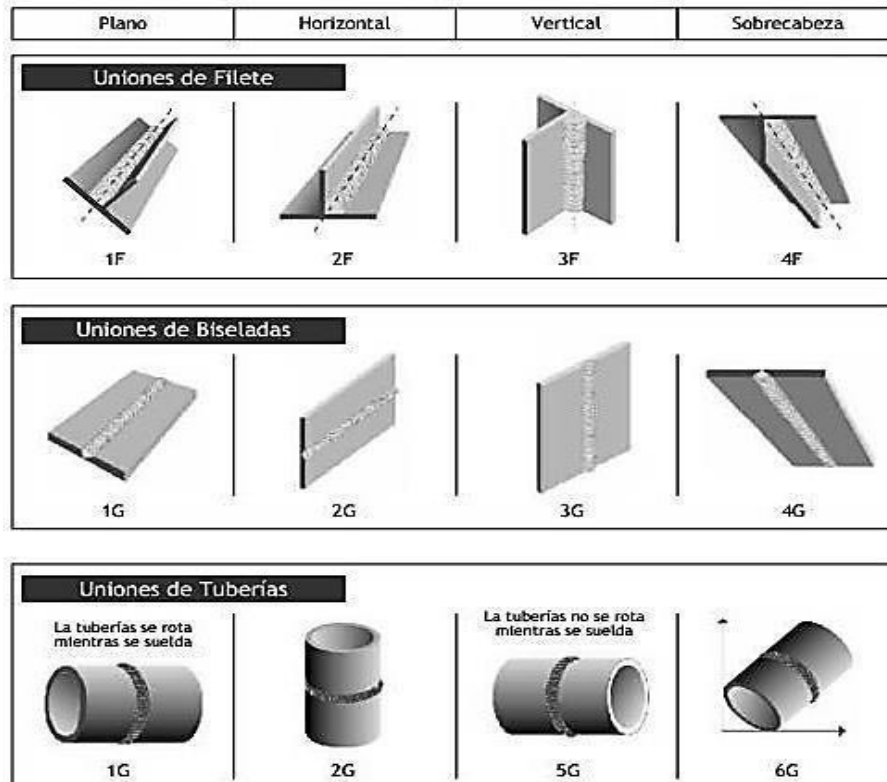
Según la especificación AWS A5.4/A5.M, Clasifica a los electrodos para soldar aceros inoxidable por el proceso SMAW. Esta clasificación permite identificar las características de un electrodo revestido con las posiciones de soldeo (Véase el anexo N°9)

Posiciones de soldeo

Una de las ventajas del proceso SMAW es que existen electrodos para aplicación de cordones en toda posición. Como referencia se detalla que, F: Fillet (Filete), G: Groove (Ranura). Véase la fig. N°9. La clasificación de las posiciones tiene como aplicación principalmente a la hora de juzgar la habilidad de los soldadores u operadores de las máquinas de soldeo y también cuando se trata de responsabilidad. (INDURA, 2016, p.6)

Figura N°9

Posiciones de ensayo para soldaduras en ranura y filete



Fuente: AWS D1.1M/D1.1 (2015, p. 142,143,379)

Fallas de fisuración por hidrógeno en soldadura

Según: Bailey at el (1997, pp 3-5)

“La fisuración provocada por la presencia de hidrógeno, también conocida como fisuración en frío, Ocurre en los aceros durante su producción, procesamiento y puesta en servicio. Así que no solo está presente en la soldadura, pero cuando esto ocurre del resultado de la soldadura la fragilización está situada dentro de la ZAC (zona afectada por el calor)”.

Fisuración en la ZAC (Véase la figura N°10)

1. Presencia de hidrógeno. Esto es inevitable, debido a la humedad del fundente en la soldadura y otras fuentes. El hidrógeno es absorbido al baño de fusión.

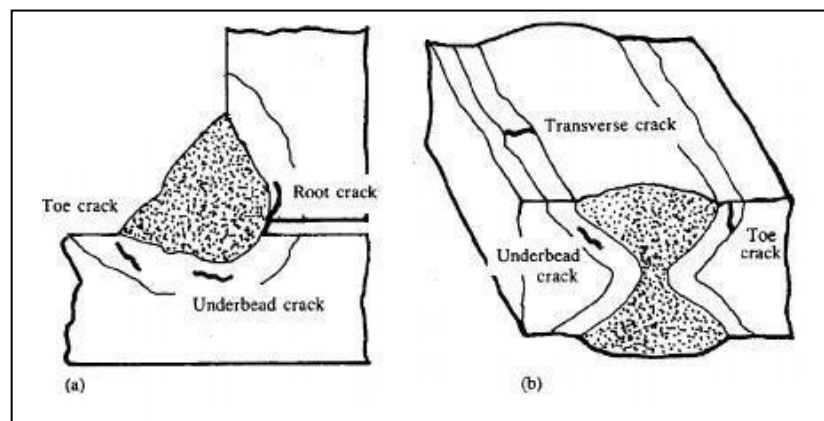
2. **Esfuerzos post soldadura.** Esto aumenta inevitablemente las contracciones térmicas durante el enfriamiento, resultando la rigidez en la junta soldada.

3. **Microestructura presente en la ZAC.** Esta parte experimenta una elevación de temperatura en el metal base, transformándolo rápidamente de ferrita a austenita y regresar a una fase usualmente más dura y susceptible a la fisuración.

4. **Baja temperatura alcanzada.** El mayor riesgo de la fisuración ocurre cuando es alcanzada la temperatura ambiente y aun así la fisuración puede ocurrir horas después de que la soldadura haya sido completada. El fisuramiento es improbable que ocurra en aceros estructurales llevando la temperatura sobre los 150°C y en algunos aceros sobre los 250° C

La fisuración puede ocurrir en el cordón de soldadura como en la ZAC. Puede ser orientado longitudinal o transversalmente a lo largo de la soldadura, los microscopios son usados para reconocer la morfología intergranular. (véase la figura N°10).

*Figura N°10
Fisuramiento en la ZAC a) Filete b) Ranura*



Fuente: Welding Steels without Hydrogen Cracking (1973, p.4)

Controles para evitar el fisuramiento

Nivel de Hidrógeno. Durante la soldadura, el hidrógeno es absorbido por el baño de fusión del arco atmosférico. Durante el enfriamiento mucho de este hidrógeno escapa del talón, pero también algo se difusa en la ZAC y metal base. La cantidad de hidrógeno aumenta el riesgo de fractura, así que su control es imprescindible cuando el proceso lo requiere.

Las principales fuentes son:

1. Humedad del recubrimiento de electrodos
2. Aceite, suciedad y grasas contaminados en el aporte y en la junta a soldar
3. Desengrasantes usados para limpiar el metal base antes de la soldadura

Nivel de esfuerzos. El estrés es desarrollado por contracciones térmicas del enfriamiento de la soldadura y estos esfuerzos son acumulados por deformación en el cordón. En estructuras rígidas los esfuerzos naturales de contracción son intensificados debido a la restricción impuesta por la soldadura de las partes de la junta.

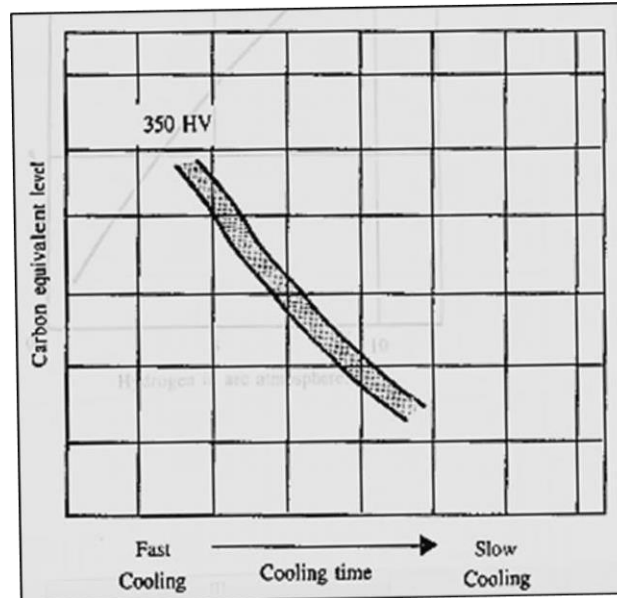
La tasa de deformación es baja durante la etapa final del enfriamiento, la susceptibilidad a la fractura es alta durante en este lapso (Uso de ensayos de impacto como el ensayo Charpy).

Tipo de microestructura. El metal adyacente a la soldadura es conocido como la ZAC, esta zona es alcanzada con las altas temperaturas durante la soldadura y subsecuente enfriado rápidamente, esto provoca la formación de granos de gran tamaño, que no solo son más duros sino también más frágiles que otras regiones más lejanas al baño de fusión. La microestructura formada en algunos aceros es esencialmente depende de lo siguiente:

1. La tasa de enfriamiento a través de las transformaciones en el rango de temperatura
2. La composición y la dureza del acero
3. El tamaño del grano antes de la transformación.

Figura N°11

Dureza de la microestructura, depende de la tasa de enfriamiento vs el %Carbono equivalente



Fuente: *Welding steels without hydrogen cracking* (1973, p.7)

Temperatura. Es posible evitar el agrietamiento en una microestructura susceptible manteniéndola a una temperatura suficientemente alta mediante el postcalentamiento hasta que se haya difundido suficiente hidrógeno. La microestructura también se puede ablandar mediante el revenido para hacerla menos susceptible, y este principio se emplea en la soldadura de múltiples pasadas y cuando se utiliza PWHT (Tratamiento Térmico Post Soldadura).

2.2. Descripción de las actividades desarrolladas

2.2.1. Etapas de actividades

Estas etapas nos permitirán tener mejor un control y seguimiento sobre el reacondicionamiento de cualquier eje de transmisión que tenga la condición de falla por desgaste, para esto se considera conveniente la elaboración de 05 etapas en la cual se sustenta cada paso a seguir según datos técnicos de los metales.

Se considera también diagramas de comportamiento de los materiales, experiencia propia, recomendaciones de fabricantes y especialistas en metalurgia, información de manuales y fuentes de otros trabajos realizados de soldadura, todo esto se concluye para el desarrollo del siguiente informe:

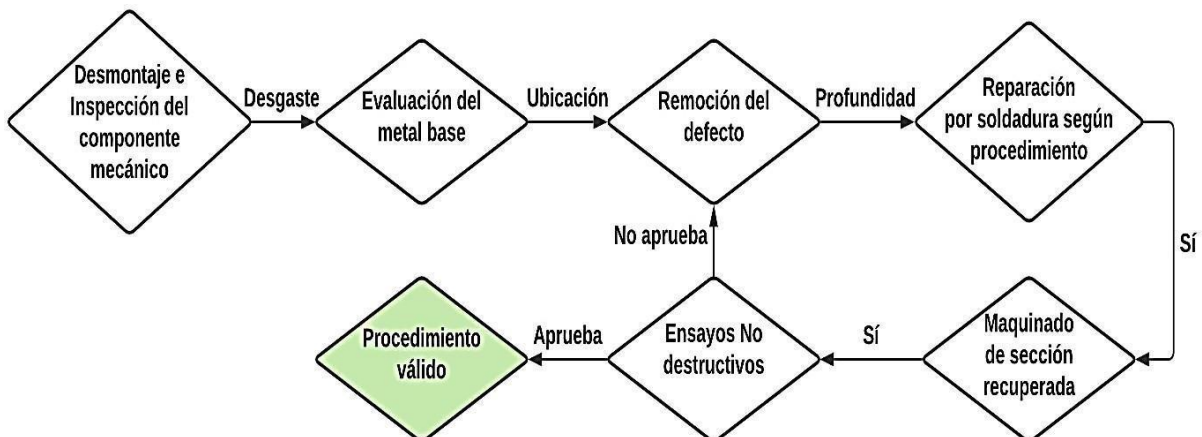
1. Inspección del estado del material base. Se evalúa las características de falla por desgaste del componente mecánico.
2. Remoción del defecto encontrado, según evaluación de profundidad
3. Elaboración del procedimiento de soldadura por recargue
4. Mecanizado de la sección reparada a medidas finales
5. Medición de dureza y ensayo no destructivo a zona de soldadura.

2.2.2. Diagrama de flujo

En la figura N°12 se presenta el diagrama de flujo para las actividades a ejecutarse en el presente informe, para esta toma de decisiones será importante definir condiciones necesarias que serán desarrolladas mas adelante, esto para respetar y cumplir con el óptimo desempeño del reacondicionamiento de ejes de transmisión.

Figura N°12

Diagrama de flujo de actividades



Fuente: Elaboración Propia

2.2.3. Cronograma de actividades

Para desarrollar y ejecutar este procedimiento según las etapas establecidas en la anterior actividad (véase la tabla N°2), se debe monitorear y encontrar una condición que evidencie un desperfecto o falla funcional en el equipo. Para esto se considera cómo primer paso el Check List, para luego evaluar la zona de asientos y proceder con la recuperación de medidas según el procedimiento establecido capítulos más adelante.

Tabla N°2
Desarrollo de actividades realizadas

Cronograma de actividades					
Procedimiento de reacondicionamiento	1	2	3	4	5
Check List de equipos rotativos, Bomba Denver 4" x 3"	X				
Desmontaje de eje, y limpieza superficial	X				
Inspección visual de zona dañada, y evaluación para reparación	X				
Realización de reparación según procedimiento de soldadura		X			
Maquinado de pieza, considerando medidas según tolerancias requeridas			X		
Ensayos no destructivos de zona recuperada				X	X

Fuente: Elaboración propia

III. APORTES REALIZADOS

3.1. Etapas del procedimiento de recuperación

3.1.1. Evaluación del estado inicial y análisis de reacondicionamiento

a. Inspección de equipo (Check List)

Según el diagrama de flujo del anexo N°1, la decisión de realizar una evaluación como medida preventiva al equipo por medio de inspección visual y la toma de lectura de algunos de sus parámetros de trabajo con ayuda un formato de Check List (véase el anexo N°4). Dónde se puede encontrar en un estado de falla potencial del equipo, dando las siguientes condiciones:

- Presencia de fugas de aceite proveniente del retén (lado voluta), Deduciendo la pérdida de ajuste entre el elemento sellante y el material base (Eje de transmisión). El consumo de aceite llevaría a un alto costo de operación y el posible sobrecalentamiento de los cojinetes por falta de lubricación, dejaría al equipo con una mayor probabilidad de riesgo de falla. Dónde se realiza el desmontaje del eje de transmisión (véase la figura N°13) dando lugar a la evaluación preliminar para el desarrollo del procedimiento para reacondicionar ejes fallados por desgaste.

Figura N°13

Eje de transmisión desmontado



Fuente: Elaboración Propia

b. Verificación de medidas, inspección visual

En esta etapa del procedimiento se evalúa las tolerancias permitidas según los ajustes requeridos en el plano de fabricación (véase el anexo N°5), con la ayuda de un Calibrador Vernier (véase figura N°6) se inicia la toma de datos. Es necesario tener conocimiento de la ubicación de los asientos de cojinetes y retenes de lubricante para la verificación de la zona de desgaste, siendo este el punto de partida para la toma de decisión en el procedimiento de reparación de ejes de transmisión. En la tabla N°3 se muestra la toma de datos:

Tabla N°3

Datos tomados del diámetro del eje escalonado

Descripción	Medida Real	Medida Nominal	¿Reparar?
Paralelismo del eje	0.05 mm	Máx. 0.02	Si
Asiento para Rodamiento 6307-2RS	∅35	∅35 $\begin{matrix} +0.00 \\ -0.02 \end{matrix}$	No
Asiento para Rodamiento 2210 K	∅45	∅45 $\begin{matrix} +0.00 \\ -0.01 \end{matrix}$	No
Asiento para Retén 40 x 55 x 7	∅40.010	∅40 $\begin{matrix} +0.02 \\ -0.01 \end{matrix}$	No
Asiento para Retén 45 x 62 x 10	∅43.500	∅45 $\begin{matrix} +0.02 \\ -0.01 \end{matrix}$	Si

Fuente: Elaboración Propia

Con esta información se tiene el panorama claro para determinar que secciones del árbol escalonado se deberá reacondicionar medidas para la puesta en marcha. En nuestro caso se verifica que existe dos condiciones insatisfactorias:

1. En la tolerancia de paralelismo del eje, excedida en 0.03 mm que se tendrá que corregir, mediante una prensa hidráulica y posteriormente verificar en el torno con apoyo del reloj comparador hasta tener llegar a la medida nominal.
2. En la sección del asiento de retén 45x62x10 (véase la figura N°14 y N°15), se verifica que la medida real supera la tolerancia permitida, esta se recuperará con aplicación de cordones de soldadura.

Figura N°14

Zona afectada por el desgaste



Fuente: Elaboración propia

Figura N°15

Medición de zona del asiento de retén



Fuente: Elaboración propia

c. Preparación del material base

En la etapa anterior se evaluó las secciones del eje de transmisión escalonado, con la ayuda de la tabla N°3 se prepara la zona que evidencia una reducción de medidas producidas por el desgaste abrasivo. Para la remoción del defecto (véase la figura N°16) se emplea un torno horizontal, posteriormente es importante la limpieza de la superficie dejando libre de elementos como residuos de viruta, aceites, etc.

Figura N°16

Maquinado de zona afectada



Fuente: Elaboración Propia

Se prepara la superficie de soldeo, realizando un rebaje de 2mm con respecto al diámetro de 45mm, dejándolo en 43mm asegurando una medida uniforme en toda su longitud. De esta manera se ejecuta la remoción de cualquier defecto, rayadura y/o presencia de óxido en la superficie del material base. Es necesario identificar que la zona a recuperar no tenga otros tipos de falla que no sea por desgaste.

d. Identificación de material base

En esta etapa se deberá conocer el material base a trabajar, con esto el porcentaje de carbono, la cantidad de aleantes, y las características mecánicas como dureza y resistencia a la tracción. Para nuestro caso el eje de transmisión ha sido fabricado con un acero AISI 4340 (véase el anexo N°5), que tiene como aplicación en una bomba centrífuga horizontal. A continuación, en la tabla N°4 se muestra el porcentaje de elementos químicos que, según el fabricante de aceros, Voestalpine High Performance Metals del Perú S.A., ofrece excelentes propiedades mecánicas en la aplicación de componentes sometidos a altos esfuerzos.

*Tabla N°4
Composición química del acero AISI 4340*

Grado	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P	S
34CrNiMo6 1.6582	0.34	1.5	1.5	0.2	0.3	0.5	≤ 0.025	≤ 0.035

Fuente: Elaboración propia

Según Böhler (2019): “Acero especial de bonificación al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, a la torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a fragilidad de revenido. Por su estado de suministro permite en la mayoría de los casos su aplicación, sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

Aplicaciones: Partes de maquinaria y repuestos de mayores dimensiones sometidas a muy altos esfuerzos dinámicos y otras altas exigencias mecánicas. Cigüeñales, ejes de leva, árboles de transmisión, ejes de bombas, ejes para hélices, brazos de dirección, etc.”

Este acero está dentro de la clasificación de aceros al carbono y baja aleación que posee gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga; estas características que ofrece son ideales para la aplicación en ejes de transmisión.

Se tiene cómo referencia de la figura N°17, que se suministra con una dureza máxima de 248 HB, en el estado de Bonificación (Temple y Revenido).

Figura N° 17

Características mecánicas del acero AISI 4340

Resistencia en estado Recocido		CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO BONIFICADO						
máx. N/mm ²	Dureza Brinell máx.	Diámetro mm.		Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación (Lo = 5d) % mín.	Estricción % mín.	Resiliencia según DVM Joule
		desde	hasta					
800	248	16	16	980	1180 - 1380	9	40	41
		40	40	885	1080 - 1280	10	45	48
		40	100	785	980 - 1180	11	50	48
		100	160	685	880 - 1080	12	55	48
		160	250	590	780 - 930	13	55	48

Fuente: Böhler Perú

e. Determinación del grado de soldabilidad del material base

Soldabilidad

“Cuándo se habla de soldabilidad se relaciona a la facilidad con la que un material puede ser unido, alcanzando las propiedades mecánicas para su operación en servicio. Un acero se considera se soldable por un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante una técnica adecuada se pueda conseguir la continuidad metálica de la unión de tal manera que esta cumpla con las exigencias requeridas”. Hernández (2015)

En el caso práctico, para determinar el grado de soldabilidad de un acero se relaciona el porcentaje de carbono, como elemento involucrado en la templabilidad, y el carbono equivalente (véase la figura N°18) que nos permitirá predecir la tendencia del acero a presentar estructuras frágiles, cuando esté sometido a un gradiente de temperatura.

Para nuestro caso emplearemos la fórmula del carbono equivalente deducida por el IIW (Institute International Welding), que fue propuesta por Dearden y O'Neill en 1940.

Puede utilizarse para aceros con contenido de carbono superiores al 0.18% o en unas condiciones de soldeo que requieran un enfriamiento lento: $t_{8/5} > 12$ segundos. Todos los elementos de aleación están expresados en % peso. (SOLDEXA, 2010).

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \%$$

Con lo valores de la tabla N°1 y reemplazando en la fórmula anterior, se obtiene:

$$CE = 0.34 + \frac{0.5 + 0.3}{6} + \frac{1.5 + 0.2}{5} + \frac{1.5}{15} \%$$

$$CE = 0.913$$

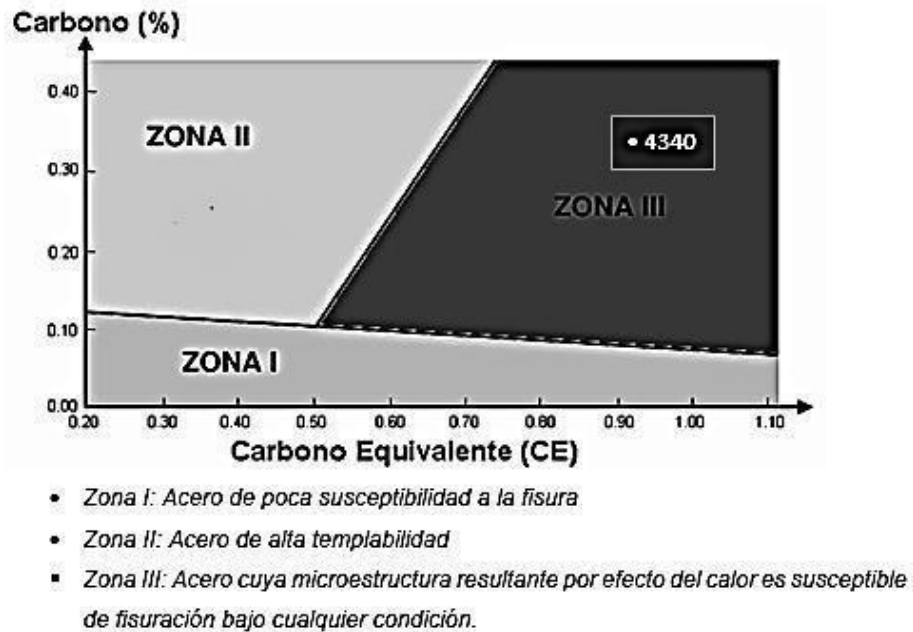
$$\%C = 0.34$$

Reemplazando los valores de la composición química del acero AISI 4340, resulta que el carbono equivalente es de 0.913.

Diagrama de B.A.Graville, muestra la susceptibilidad de los aceros a la fisuración, relacionando el CE% / C% (véase la figura N°18), que nos dará pautas para diseñar el procedimiento de soldadura, de manera que puedan evitar microestructuras susceptibles de fisuración en frío o por hidrógeno, comportamiento frágil en las uniones soldadas, corrosión bajo tensión, etc. (SOLDEXA, 2010).

Con este diagrama de conocimiento general, nos permitirá advertir los cuidados necesarios que se tienen que dar en el proceso de la soldadura, para efectuar cordones sanos y zona vecinas sin presencia de microconstituyentes duros y frágiles.

Figura N°18
Diagrama de B.A. Graville



Fuente: Elaboración propia

Según el diagrama de Graville, el acero AISI 4340 se ubica en la zona III, esto hace que se tenga bastante cuidado por riesgo de fisuración en frío en la ZAC.

**f. Temperatura de precalentamiento, entrapases y postcalentamiento.
Velocidad de Enfriamiento.**

Temperatura de precalentamiento

“Para evitar zonas frágiles y reducir la posibilidad de fisuración en frío, estos tipos de aceros debe precalentarse a cierta temperatura y mantenerla dentro de un rango determinado durante todo el soldeo. Para calcular dicha temperatura existen diversas fórmulas y recomendaciones, en nuestro caso utilizamos el método de Seferian aplicable para aceros al carbono y aceros de baja aleación”. SOLDEXA (2012)

Método de Seferian

$$T_p = 350 \times \sqrt{C - 0.25}$$

Donde:

$$C = C_q + C_e$$
$$C_q = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13}$$
$$C_e = 0.005 * e (mm) * C_q$$

Reemplazando los valores de la composición química del acero, de la tabla N°1

$$C_q = 0.66$$

Reemplazando el valor hallado de C_q y considerando el espesor de 43mm * 0.5 = 23.5 mm

$$C_e = 0.08$$

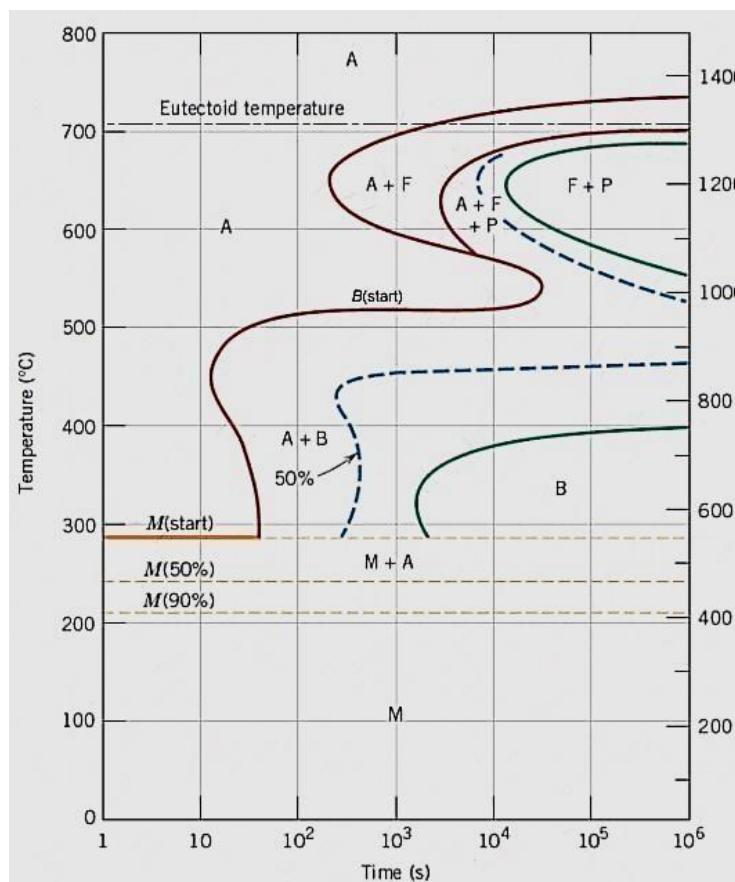
Con lo que resulta una temperatura de precalentamiento de 245 °C, como temperatura de recomendación antes iniciar el proceso de soldeo. Con esta medida podríamos contrarrestar el shock térmico de la zona aledaña, asegurando la disminución de la probabilidad en la formación de estados con tendencia a la fragilización.

Para mayor exactitud respecto al desarrollo del proceso de soldeo se debe consultar también la curva TTT (Temperatura-Tiempo-Transformación) (véase la figura N°19), que nos muestra el comportamiento de la formación de los microconstituyentes del acero resultante en base a la aportación de calor, espesor y la temperatura de Precalentamiento, con esto se determina la velocidad de enfriamiento (constante) de una junta soldada.

Para efectos de evitar la formación de zonas con microestructuras martensita (dura y muy frágil) y propensa a la fisuración, se calienta el material base por encima de la temperatura recomendada 245°C (Véase la figura N°20 y N°21). Aproximadamente a la temperatura de transformación de martensita, que según la curva TTT es de 290°C. Esto ayudará también a disminuir la velocidad de enfriamiento.

Figura N°19

Curva Temperatura – Tiempo – Transformación del Acero AISI 4340



Dónde: A = Austenita, B = Bainita, F = Ferrita, M = Martensita, P = Perlita.

Fuente: Jean Christophe Hell (2011, p.21)

Este diagrama nos presenta la formación de los constituyentes del acero a ciertas temperaturas, y velocidades de enfriamiento que nos daría características distintas según al área que cruza el proceso que se realice al acero, como temple, recocido o alivio de tensiones.

Figura N°20
Pre calentamiento de la Pieza



Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°21 se muestra la lectura de la temperatura de pre calentamiento del material base, y que durante el proceso es necesario mantenerla para evitar el enfriamientos muy rápidos de la zona afectada térmicamente.

Figura N°21
Lectura de temperatura de Pre calentamiento



Fuente: Elaboración Propia

Temperatura entrepases

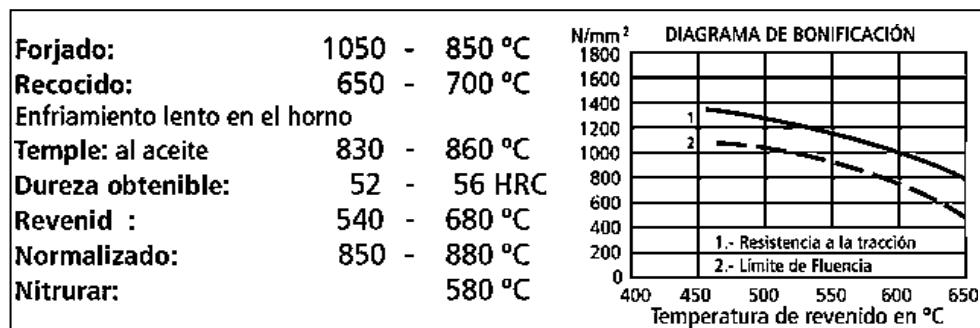
Temperatura que es necesaria mantener entre cada pase de soldadura, es importante el monitoreo con un pirómetro de esta variable para disminuir el diferencial térmico y el riesgo de fragilización por hidrogeno de la ZAC. Para esto se considera igual a la temperatura de precalentamiento por encima de: 245°C, controlando así la sensibilidad a la fisura de la zona afectada térmicamente.

Temperatura postcalentamiento

Es recomendable realizar un tratamiento térmico post soldadura para aliviar tensiones producto de la elevación de la temperatura y asegurar las propiedades mecánicas de la soldadura según cómo se las había diseñado previamente. En la figura N°22 se muestra las temperaturas a las cuales se deben realizar los procesos de tratamiento térmico del acero AISI 4340.

Figura N°22

Temperaturas recomendadas para el Tratamiento Térmico



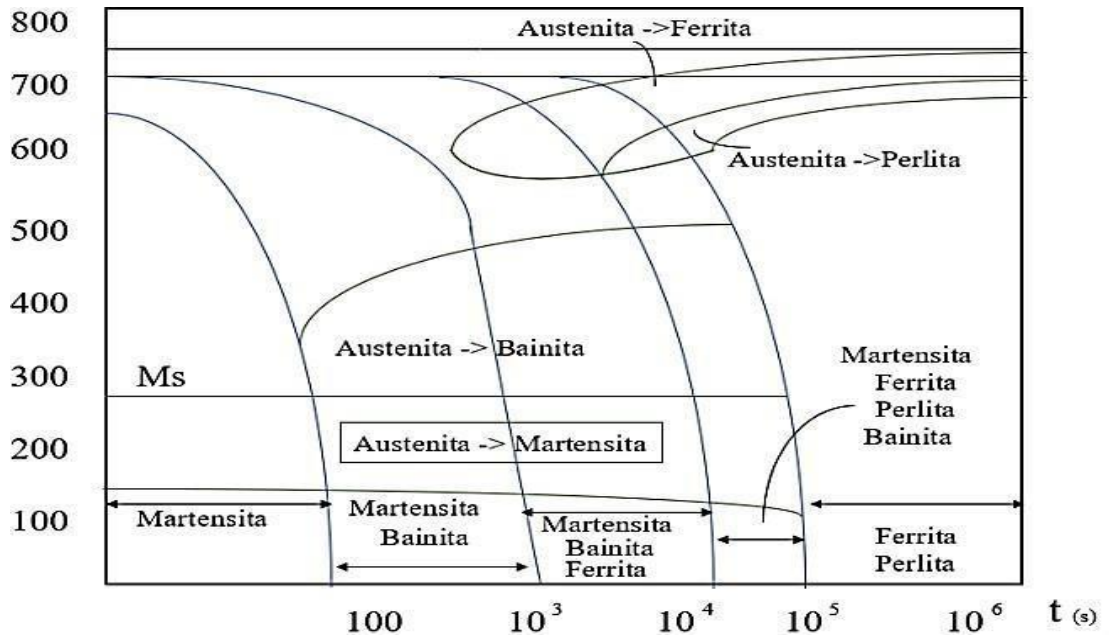
Fuente: Böhler Perú

Velocidad de Enfriamiento

Aunque es complicado realizar un enfriamiento con velocidad constante (Véase la figura N°23), el control de esta etapa es fundamental para asegurar la composición final que debe tener el acero según los requerimientos de su aplicación y esfuerzos sometidos.

Figura N°23

Curvas de enfriamiento continuo del acero AISI 4340



Fuente: Arroyo (2017, p.13)

El enfriamiento deber ser lento y controlado para evitar problemas metalúrgicos, en nuestro caso se realiza el enfriamiento de la pieza con Cal por 6Hrs (> 10⁵ seg aprox),

Figura N°24

Enfriamiento en Cal



Fuente: Elaboración Propia

g. Material de aporte y proceso de soldadura

Para la elección del material de aporte se tiene que considerar una composición similar al material base, características del metal depositado y proceso de soldadura al cuál será ejecutado. Por la versatilidad en las posiciones de soldeo, el bajo amperaje de trabajo y la aplicación para soldar de aceros de difícil soldabilidad y unión de aceros disímiles; Se escoge un electrodo revestido como el E-312-16, conocido como INOX 29/9, (Véase el anexo N°7) para la aplicación de soldadura por recargue de la superficie sometida a fricción. Sumado a que el equipo de soldeo es simple y accesible a cualquier empresa en temas de operación y costos de mantenimiento es que se propone la elección del proceso manual SMAW cómo proceso a ejecutar para la recuperación de medidas del eje de transmisión. Como dato adicional este electrodo tiene cómo +5ml/100g de hidrógeno difusible y 0.4% en porcentaje de humedad en el revestimiento según la norma AWS (véase la tabla N°5) esto disminuirá la probabilidad de fragilización por hidrógeno.

Tabla N°5

Contenidos de humedad de los electrodos según AWS

Electrodo	Contenido de humedad en el revestimiento (%)	Contenido máximo de ml. Hidrógeno difundido por 100 gr de metal depositado
E-6011 / Celulósico	1.5 - 3.5	>20
E-6013 / Rutílico	1% Máx.	>15
E-7018 H/ Básico	0.4 Máx.	5
E-10018 G / Básico	0.2 Máx.	3
E-312-16/ Rutílico	0.4 Máx.	>5

Fuente: soldabilidad de los aceros (2011, p.26)

Se puede evaluar esta elección mediante el Diagrama de Schaeffler (véase el anexo N°8), método utilizado para la predicción la estructura del metal de soldadura obtenido en la unión de aceros disímiles. Para esto se evalúa el níquel y cromo equivalente del material base y material de aporte.

Se hallan mediante las siguientes fórmulas:

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 * (\% C) + 0.5 * (\% Mn)$$

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1.5 * (\% Si) + 0.5 * (\% Nb)$$

Con esto reemplazamos los valores de la composición química del material base AISI 4340, según Tabla N°4

$$Ni_{eq} = 11.95$$

$$Cr_{eq} = 2.15$$

Reemplazando los valores de la composición química del material de aporte E312-16, según Anexo N°7

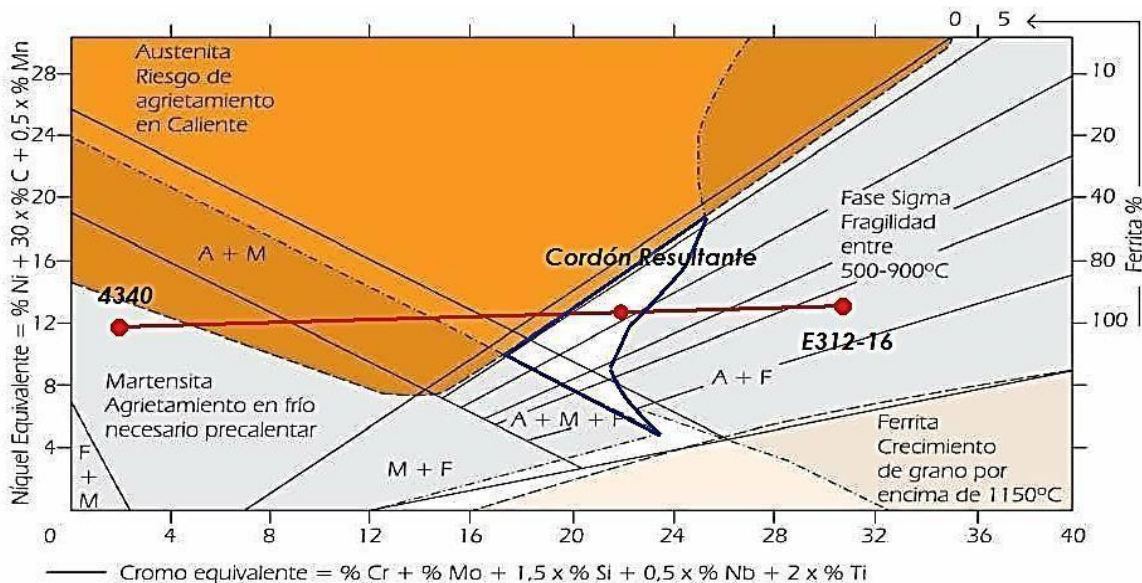
$$Ni_{eq} = 13.5$$

$$Cr_{eq} = 31.3$$

Luego ubicamos estos puntos en el diagrama de Schaeffler (véase la figura N°25), para entonces unirlos mediante una recta y considerar un 30% de dilución del material de aporte en el proceso SMAW (véase el anexo N°8).

Figura N°25

Diagrama de Schaeffler – Zonas de peligro



Fuente: Diagrama [Fecha de Consulta: 28 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://fr.slideshare.net/leonardodesimone31/diagrama-de-schaeffler>

Según el diagrama de Schaeffler se concluye entonces que el cordón de soldadura resultante (que se obtiene al aplicar el 30% del segmento conformado por AISI 4340 y E312-16, medido desde el punto E312-16) será un cordón muy apto para la aplicación de recargue al estar dentro de la zona segura del diagrama, tendrá una estructura bastante estable con aproximadamente 9% de ferrita. Esta soldadura no tendrá el riesgo de agrietamiento en frío, riesgo de agrietamiento en caliente ni tendrá crecimiento de grano por encima de los 1150°C bajo ciertos parámetros de operación.

Figura N°26

Electrodo revestido AWS E312-16



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura N°26, estos electrodos son suministrados en envases metálicos de 5Kg, al ser producto recién abierto no se realiza secado bajo horno, pero como recomendación del fabricante es necesario los cuidados necesarios para el almacenamiento y conservación del producto después de abrirlos.

h. Variables / parámetros de soldeo

Para la reparación se selecciona el proceso SMAW y material de aporte E312-16 (INOX 29/9) con esto se escoge el diámetro de 3/32" (2.5 mm), que según recomendación del fabricante (véase el anexo N°7) los parámetros de soldeo para este diámetro son:

Fuente: Corriente Alterna (AC) o (DC)

Polaridad: Electrodo al Polo Positivo (DCEP)

Amperaje Min: 55 A - Max: 85 A

La máquina empleada en este informe es de la marca ESAB modelo LHN 220i Plus inversora (véase la figura N°27), para trabajos con electrodo revestido como también en el proceso GTAW, rango de corriente 5 - 200A. monofásica de 220v 60Hz. Con ciclos de trabajos de 90 A al 100% y 115 A al 60%.

Figura N°27

Máquina de Soldar ESAB LHN 220i Plus



Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de soldeo para el recargue se establecen según la tabla N°6, esto nos daría un aporte térmico de 0.9375 J/mm, según la eficiencia térmica del anexo N°8. Siendo este un parámetro muy importante a controlar debido a que condiciona las microestructuras del metal, por lo tanto, sus propiedades mecánicas. A medida que el aporte de calor aumenta, la zona afectada por el calor aumenta.

Tabla N°6
Cálculo del aporte térmico

Parámetros de soldeo	
Tensión (V)	40
Intensidad (A)	60
Tiempo de fusión de un electrodo (seg.)	70
Longitud del cordón (mm)	135
Velocidad de soldeo (mm/seg)	$(135/70) = 2.16$
Rendimiento térmico	0.75
Aporte térmico (Joules/mm)	$0.75 \cdot (40 \cdot 60) / 2.16 =$ 0.4167

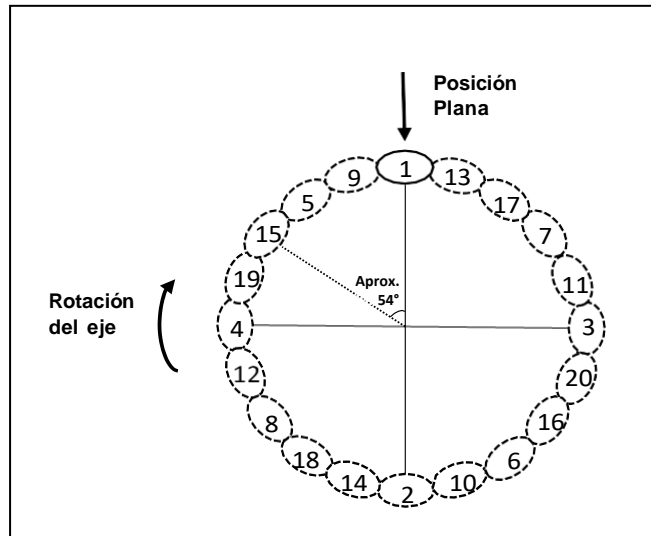
Fuente: Elaboración Propia

Temperaturas altas producto del aporte térmico en el metal base podrían generar distorsiones en el alineamiento del eje, es por eso por lo que se deberá tener bastante cuidado al momento de seleccionar las dimensiones en el diámetro del electrodo, considerar un electrodo con diámetro mayor haría que se eleve el amperaje de trabajo para fusión del material de aporte, y la velocidad de soldeo muy baja el aumento del calor aportado.

i. Posición y secuencia de soldeo

Para realizar la soldadura de recargue o relleno, se hará el montaje del eje en el torno, aplicando cordones rectos en paralelo (180°) al eje de inicio hasta final de la sección maquinada en la posición de soldeo plana, se irá rotando hasta cubrir la zona preparada intercalando cordones para evitar deformaciones por el aporte térmico. En la figura N°28 muestra una sección transversal del eje de transmisión y la secuencia que será referencia para el procedimiento de soldadura.

Figura N°28
Secuencia de Soldeo



Fuente: Elaboración Propia

Esta secuencia multipase se propone en función a la facilidad de ejecución de los cordones de recargue para nuestro caso específico, lo cual se realiza según la enumeración establecida. Durante el proceso de recuperación (véase la figura N°29)

Figura N°29
Durante el proceso de recuperación



Fuente: Elaboración Propia

Se debe considerar el proceso de martilleo recomendable para el alivio de tensiones una vez terminado el cordón. Después de esta actividad (véase la figura N°30) la velocidad de enfriamiento del eje será practicado según el desarrollo mencionado en el punto “d” de este procedimiento de recuperación. .

Figura N°30

Después del proceso de recuperación



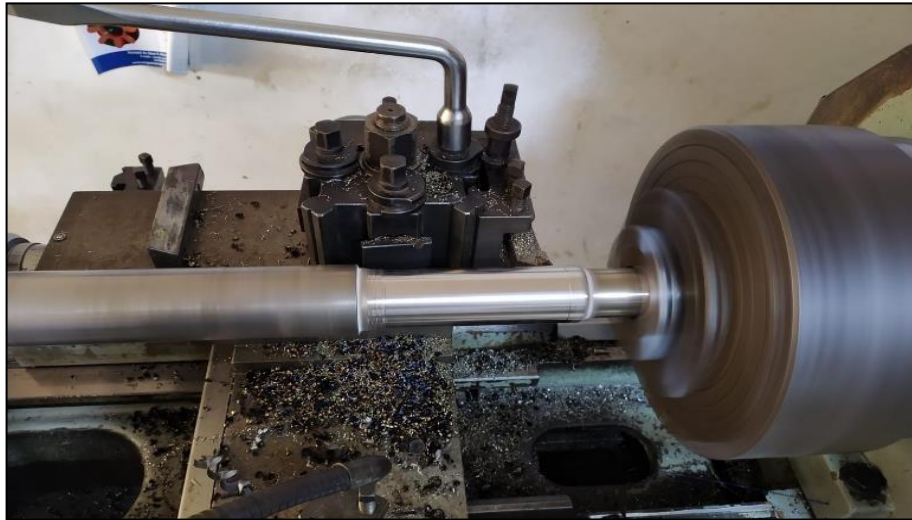
Fuente: Elaboración Propia

3.1.2. Mecanizado según tolerancias

Una vez realizado los cordones, y enfriado muy lentamente en cal. Se procede con el mecanizado para dejarlo con el ajuste requerido según el plano de fabricante de $\varnothing 45 \begin{smallmatrix} +0.02 \\ -0.01 \end{smallmatrix}$ en la sección de 151mm de longitud.

Figura N°31

Maquinado de sección recuperada, diámetro 45mm



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°32

Maquinado de sección recuperada, diámetro 45mm



Fuente: Elaboración Propia

3.1.3. Ensayos de medición e inspección a zona recuperada

a. Ensayo de dureza

Para verificar y respaldar las características físicas y propiedades mecánicas finales de la zona recuperada se realiza el ensayo de dureza, que es la capacidad del material para resistir rayaduras. En la figura N°33 y la figura N°34 se muestra la sección del eje de transmisión que se tomará mediciones. Para este ensayo es contratado a la empresa Voestalpine High Performance Metals del Perú (Böhler), para realice la toma de datos de la zona.

Figura N°33

Zona del eje recuperado por soldadura



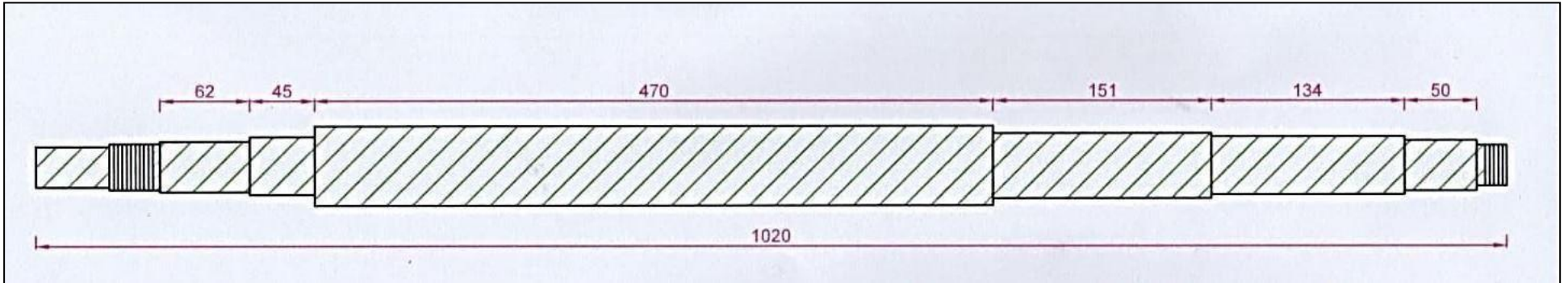
Fuente: Voestalpine High Performance Metals del Perú (2021)

Según el reporte del anexo 11, el ensayo tuvo las siguientes consideraciones en la ejecución de la toma de datos:

- **Instrumento:** Durómetro portátil marca SONODUR (Proc. Alemania)
- **Método de ensayo:** Principio UCI (Ultra Sonic Contac Impedance)
- **Norma de aplicación:** ASTM A1038-10a / E140-12b
- **Temperatura ambiente:** 21°C.

Figura N°34

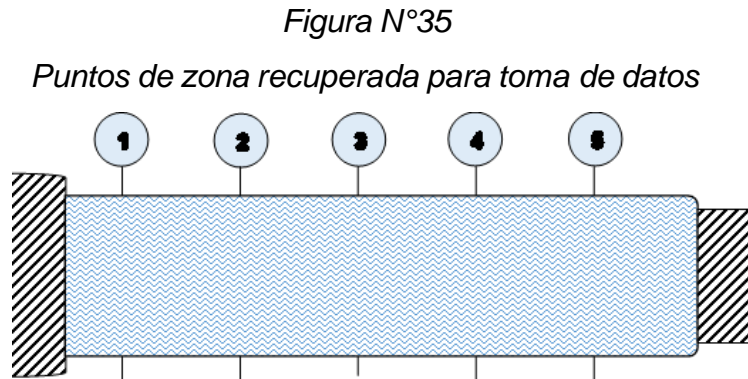
Detalle de medidas de eje escalonado



Fuente: Elaboración Propia

Nota: La zona recuperada por soldadura del eje es la sección con longitud 151 mm y diámetro de 45 mm. Este eje fue reacondicionado debido a que sufrió una reducción de medidas en ese sector, esto producto del desgaste abrasivo por la presencia de material y/o partículas ajenas entre el retén y la superficie del eje de transmisión. El procedimiento desarrollado en este informe solo cumplirá para fallas por desgaste en cualquier zona del eje escalonado, ya que según la evaluación del objeto de estudio en puntos anteriores, considera condiciones insatisfactorias superficiales que serían removidas fácilmente por medio de alguna máquina herramienta. Esta recuperación de medidas por soldadura de recargue deberá ser sometido a ensayos para garantizar el correcto desempeño del cordón de soldadura.

La toma de datos se realiza en 05 puntos a lo largo de la zona recuperada, como se muestra en la figura N°35. Esto para conocer la variación de los valores de dureza a lo largo de su longitud.



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados emitidos por el laboratorio se muestran en la tabla N°7, este nos arroja los distintos valores de dureza HRc que se obtuvieron durante el proceso de recuperación. Ese ensayo se realiza en distintas posiciones o ángulos para la toma de datos, como referencia en sus cuadrantes alrededor de su diámetro. Estos valores nos permitirán la comparación de dureza del material base con el material depositado.

Tabla N°7
Medición de dureza de zona recuperada

Componente	Posición en zona ensayada	Medición de Dureza Portátil equivalente en Rockwell HRc				
		Puntos de aplicación				
		1°	2°	3°	4°	5°
Eje zona recuperada con soldadura	0°	26.5	29.9	22.5	24.0	28.7
	90°	30.9	25.6	23.1	24.7	23.4
	180°	23.5	21.3	26.6	22.8	23.1
	270°	24.7	22.8	21.9	25.9	28.7
	Valor Promedio	26.4	24.3	23.5	24.1	26

Fuente: Voestalpine High Performance Metals del Perú (2021)

b. Ensayo de partículas magnéticas

Para detectar defectos, fallas y/o discontinuidades en la soldadura por recargue se considera realizar la inspección de la zona recuperada por partículas magnéticas (véase la figura N°36 y N°37). Para este ensayo se presta el servicio especializado en realizar la inspección de la zona. Esto se desarrolla con personal calificado para la emisión de una decisión crítica (véase el anexo N°13)

Figura N°36

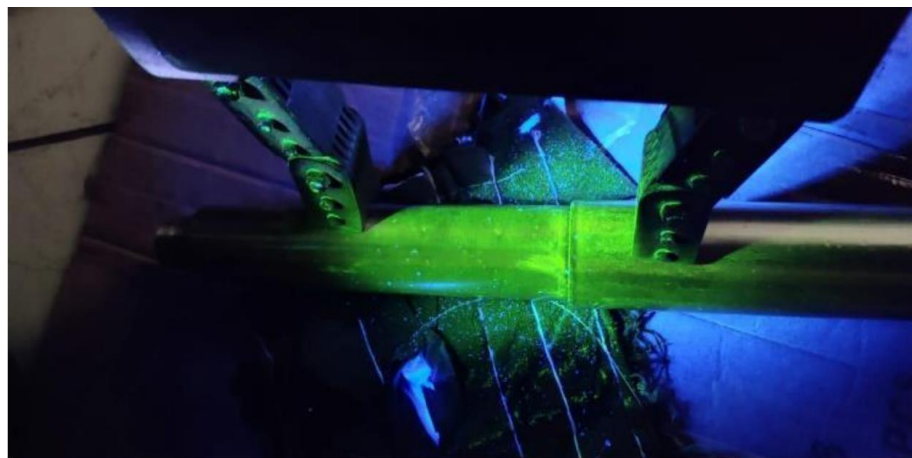
Ensayo por partículas magnéticas a zona recuperada



Fuente: ENDECOT (2021)

Figura N°37

Uso de yugo magnético para detección de fallas en zona recuperada



Fuente: ENDECOT (2021)

c. Ensayo por ultrasonido

Cómo complemento en el hallazgo y descarte de fisuras y/o discontinuidades mas profundas en la soldadura por recargue se considera contratar la inspección de la zona recuperada por ultrasonido (véase la figura N°38 y N°39), para que realice la toma de datos de la zona. Esto se desarrolla con personal calificado para la emisión de una decisión crítica (véase el anexo N°14).

Figura N°38

Ensayo por ultrasonido a zona recuperada



Fuente: ENDECOT (2021)

Figura N°39

Uso de equipo de ultrasonido para detección de fallas



Fuente: ENDECOT (2021)

3.2. Evaluación técnico – económica

Dentro del desarrollo del informe se muestra la siguiente evaluación económica (véase la tabla N°8), que involucra costos de alquiler de equipos como de consumibles. Dentro de los ensayos no destructivos realizados a la soldadura por recargue, se presta servicios especializados como:

- El ensayo de dureza se realiza en la empresa Böhler.
- El ensayo de partículas magnéticas con la empresa Endecot SA.
- El ensayo de Ultrasonido se contrata a la empresa Endecot SA.

Tabla N°8

Evaluación económica del procedimiento de reparación

Ítem	Descripción	Costo
1	Calibrador Vernier	50
2	Pirómetro digital	250
3	Pinza Amperimétrica	200
4	Electrodo Inox29/9 (5kg)	60
5	Máquina de Soldar	50
6	Cal (10 Kg)	20
7	Tornero	80
8	Soldador	100
9	Ensayo de Dureza	80
10	Ensayo de Partículas Magnéticas	100
11	Ensayo de Ultrasonido	150
	COSTO TOTAL	S/. 1140

Fuente: Elaboración Propia

Cómo referencia para este informe, el precio de fabricación de un eje de las mismas características y dimensiones requeridas por el plano de fabricación pueden llegar a costar entre los 1200 a 1500 Nuevos Soles, según la tabla N°8 se podría considerar un ahorro del 30 a 40% del precio de fabricación. Los consumibles y los ensayos no destructivos estarían dentro de los costos directos de la reparación del eje de transmisión.

3.3. Análisis de resultados

- a.** Con los resultados que son obtenidos producto del ensayo de dureza de la tabla N°7, se compara con el rango de valores suministrados por el fabricante de acero (véase el anexo N°6) que está entre 240 - 340 HB, y como equivalencia teniendo en cuenta la tabla de conversiones de dureza de los metales del anexo N°12, según ASTM 140. Se tiene como resultado valores Rockwell entre 21 - 38 HRc. Lo cual se puede verificar que los valores promedios finales de dureza del metal de la zona recuperada están dentro del rango del metal base suministrado por el fabricante. Obteniéndose características similares y que cumpliría los requerimientos para el trabajo.
- b.** Teniendo como referencia el reporte entregado por el laboratorio de ensayo no destructivos del anexo N°15, se evidencia que no existen ninguna condición de falla o discontinuidad en toda la sección recuperada. Esto asegura que el proceso de soldadura se haya hecho correctamente con los criterios mencionados en este informe
- c.** Teniendo como referencia el reporte entregado por el laboratorio de ensayo no destructivos del anexo N°16, se evidencia que no existen ninguna condición de falla o discontinuidad en toda la sección recuperada. Esto asegura que el proceso de soldadura se haya hecho correctamente con los criterios mencionados en este informe

IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

4.1. Discusiones

- Si bien es cierto que el tratamiento post soldadura es necesario realizar para aceros con alta templabilidad como el AISI 4340, el alivio de tensiones va dirigido para depósitos con requerimientos estructurales como menciona Arroyo en su trabajo de investigación (2021).
- Fernández (2016) en su estudio de reparación por soldadura hace hincapié en la secuencia de soldeo de ejes de transmisión, que deberán ser intercalados en dirección opuesta del cordón previamente depositado, esto para evitar deformaciones por las contracciones del enfriamiento del baño de fusión.
- Según Merino (2020) en su trabajo de investigación menciona, que la reparación por soldadura en su árbol de levas tiene una dureza que llega a 814 HV, equivalente 65 HRc, lo que resulta un valor de dureza muy alto, siendo al acero muy duro y con zonas frágiles. Eso le hace suponer que no se empleó un procedimiento de precalentamiento del acero antes de realizar la reparación por soldadura. Este resultado también hubiera sido desfavorable en nuestro caso si no se hubiera tomado consideración el precalentamiento del eje de transmisión, disminuyendo la velocidad de enfriamiento.

4.2. Conclusiones

- Se elabora el procedimiento para la reconstrucción de soldadura del eje de transmisión de Bomba Denver 4" x 3" en la Fábrica Peruana Eternit SA, con un presupuesto de S/.1140. Considerando costos directos del reacondicionamiento se podría llegar a ahorrar hasta el 40% del precio de fabricación.
- Se realizó la inspección mecánica, dando como resultado condiciones que son desfavorables para la operación de la bomba centrífuga como los es la pérdida de aceite por la caja de rodajes, aumentando el riesgo de falla por sobrecalentamiento por falta de lubricación.
- Se realiza el despiece del equipo, llegando a detectar por medio de la inspección visual y verificación de medidas de secciones del eje una reducción de medidas en la zona del retén 45 x 62 x 10, y una desviación en el paralelismo del eje en 0.03mm.
- Se desarrolla el procedimiento de soldadura por recargue, detallando las variables que intervienen en el proceso de recuperación. Se define los valores como temperatura de precalentamiento llegando a 245°C, empleo del proceso de soldeo SMAW, parámetros de soldeo de 60A-40v, aplicación de cordones en posición plana y la secuencia de soldeo.
- Se realiza el proceso de mecanizado de la superficie recuperada por mediante de un torno horizontal y corrección de la desviación en el paralelismo, se deja con las tolerancias requeridas por el usuario según ajuste de componentes. Se corrigió el valor del paralelismo del eje a 0.02 mm como valor nominal y diámetro de 45mm con tolerancias de +0.02mm y -0.01mm.
- Se llega a obtener una dureza superficial del metal depositado en HRc, para el punto #1= 26.4, punto #2= 24.3, punto #3= 23,5, punto #4= 24.1 y el punto #5= 26, que se dentro del valor de la dureza suministrada por el fabricante como intervalo entre 21 - 38 HRc.

- Se sometió a ensayos no destructivos, como partículas magnéticas y ensayo de ultrasonido a la zona recuperada por soldadura, resultando que no existe discontinuidad ni falla a lo largo de su sección basándose en los reportes de la empresa ENDECOT-END, dando por concluido el procedimiento de reacondicionamiento y su calidad para puesta en operación

V. RECOMENDACIONES

- La inspección y determinación de la falla por desgaste del eje transmisión deberá ser realizado por personal con conocimientos previos de operación del equipo en mención, ya que será el punto de partida para la ejecución del procedimiento de reparación en este caso particular.
- Es imprescindible conocer la composición del metal base, para determinar el grado de soldabilidad. En nuestro caso el acero a trabajar se detalla en el plano de fabricación lo que facilita el desarrollo de este informe. Esto dará las pautas para el desarrollo del procedimiento de recuperación por soldadura.
- En caso de desconocer la procedencia y composición del metal base, será necesario realizar un análisis químico al eje y determinar el porcentaje de aleantes. Empíricamente en los talleres de mantenimiento se aproxima el % de carbono por medio del arranque de viruta, eso ayuda a plantear los pasos a seguir.
- El procedimiento de soldadura por recargue deberá ser realizado por personal con experiencia, a pesar de que se ejecute en posición plana debería ser suficiente que tenga la técnica para soldeo en posición horizontal.
- Es necesario cumplir a detalle las variables que intervienen se mencionan en este informe, como por ejemplo la velocidad de enfriamiento
- El aporte térmico se podrá controlar con los parámetros de soldeo, ya que depende de la eficiencia del proceso como valores de velocidad de soldeo que deberá ser lo más rápido posible para no tener una elevada temperatura por mm de longitud de cordón.
- Se considera la medición de dureza obtenida en la zona recuperada para predecir su comportamiento, sería recomendable realizarlos también en las zonas vecinas siempre y cuando sirva como asiento a algún componente.
- Los ensayos no destructivos deberán ser realizados por personal calificado y habilitado con Nivel II SNT TC-1A para asegurar la calidad del cordón.

VI. BIBLIOGRAFIA

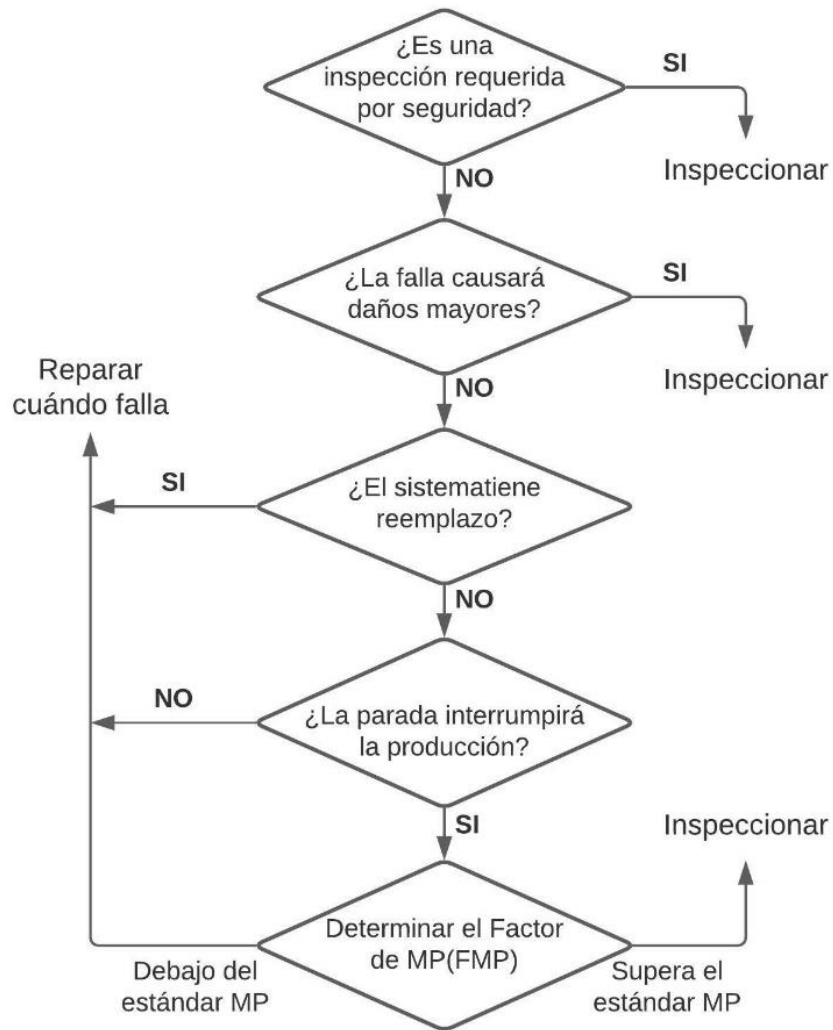
- ACOSTA, A. *Soldabilidad de los aceros*. Informe técnico [En línea] [Julio 2015?] [Fecha de consulta: 08 de agosto de 2021]. Disponible en : <https://es.scribd.com/document/415464976/1-Charla-Ing-Abelardo-Acosta-Soldabilidad-de-Aceros-Disimiles>.
- AGUIRRE, Ego. *Recuperación de Un Eje AISI 4140*. Informe técnico [En línea] [Julio 2015] [Fecha de consulta: 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/260337969/Recuperacion-de-Un-Eje-AISI-4140-Presentacion-Bolivia-Expositor-Ego-Aguirre-Palacios>.
- ARROYO, Gerson. *Elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura preliminar y calificación del soldador para el soldeo de aletas de acero ASTM A36 a eje acero AISI 4340*. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Lima: Pontificia Universidad católica del Perú, 2021. 41 pp.
- CELADA, Roberto. *Metodología para el reacondicionamiento de ejes al carbono, AISI 1045 por medio de soldadura*. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 111 pp.
- DIAZ, Jorge Luis. *Determinación mediante la realización análisis de falla de las causas más comunes en ejes de equipos industriales*. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Lima: Pontificia Universidad católica del Perú, 2017. 109 pp. [Fecha de consulta: 08 de julio de 2021]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9258>.
- EXSA. *Manual de Soldadura & catálogo de productos*. [s.l.] [Fecha de consulta: 12 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/Manual-de-Soldadura-OERLIKON.pdf>.

- FERNANDEZ, E. *Soldadura de reparación y mantenimiento en equipo pesado con electrodos revestidos en la empresa Imor Tracbol*. La paz: Universidad Mayor de San Andrés, 2016. 117 pp. [fecha de consulta: 27 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/77219072-Universidad-mayor-de-san-andres-facultad-de-tecnologia-carrera-de-mecanica-industrial.html>.
- HELL, Christophe. *Aciers bainitiques sans carbure: caractérisations microstructurales multi-échelles et in situ de la transformation austénite – bainite et relations entre microstructure et comportement mécanique*. Tesis (Doctor en mecánica de materiales). Metz: L'Universite Paul Verlaine de Metz, 2011. 19 – 26 pp.
- HERNANDEZ, German. *Manual del soldador*. CESOL. 26° Ed. [España] 2016. ISBN 9788494498015
- INDURA. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. [Chile] [2011?] [Fecha de consulta: 11 de julio de 2021]. Disponible en: https://issuu.com/pedroyanezramirez/docs/manual_de_soldadura_indura
- MERINO, Daniel. *Análisis de falla de un árbol de levas de bomba de inyección de combustible reparado por soldadura*. Tesis (Magíster en ingeniería de soldadura). Lima: Pontificia Universidad católica del Perú, 2020. 67 pp. [Fecha de consulta: 09 de julio de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16145>.
- NEYRA, R. *Soldabilidad de los aceros*. Informe técnico [En línea] [Julio 2015?] [Fecha de consulta: 08 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/62849887/Aceros-de-Dificil-ad>
- OSPINA, R., AGUIRE, H. y PARRA, H., *Soldabilidad en aceros inoxidables y aceros disimiles*. Pereira: Scientia Et Technica, Vol XIII, núm. 34. 2007. 273-278 pp. ISSN: 0122-1701.

VII. ANEXOS Y PLANOS

ANEXO 1

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE INSPECCION DE EQUIPOS



ANEXO 2
TAMAÑOS DE BOMBAS SEGÚN FABRICANTE

Medidas

2.5/2"	frame 1	2-1/2"x2"-10" DSRL
3/3"	frame 2	3"x3"-10-1/4" DSRL
4/3"		3"x3"-10-1/4" DSRL-C
5/4"		4"x3"-10-1/2" DSRL-C
5/5"	frame 3	5"x4"-14" DSRL-C
6/6"		5"x5"-14" DSRL
8/6"		6"x6"-15" DSRL
10/8"	frame 4	8"x6"-18" DSRL-C
12/10"		10"x8"-21" DSRL-C
14/12"	frame 5	12"x10"-25" DSRL-C
16/14"		14"x12"-26" DSRL-C
		16"x14"-28" DSRL-C

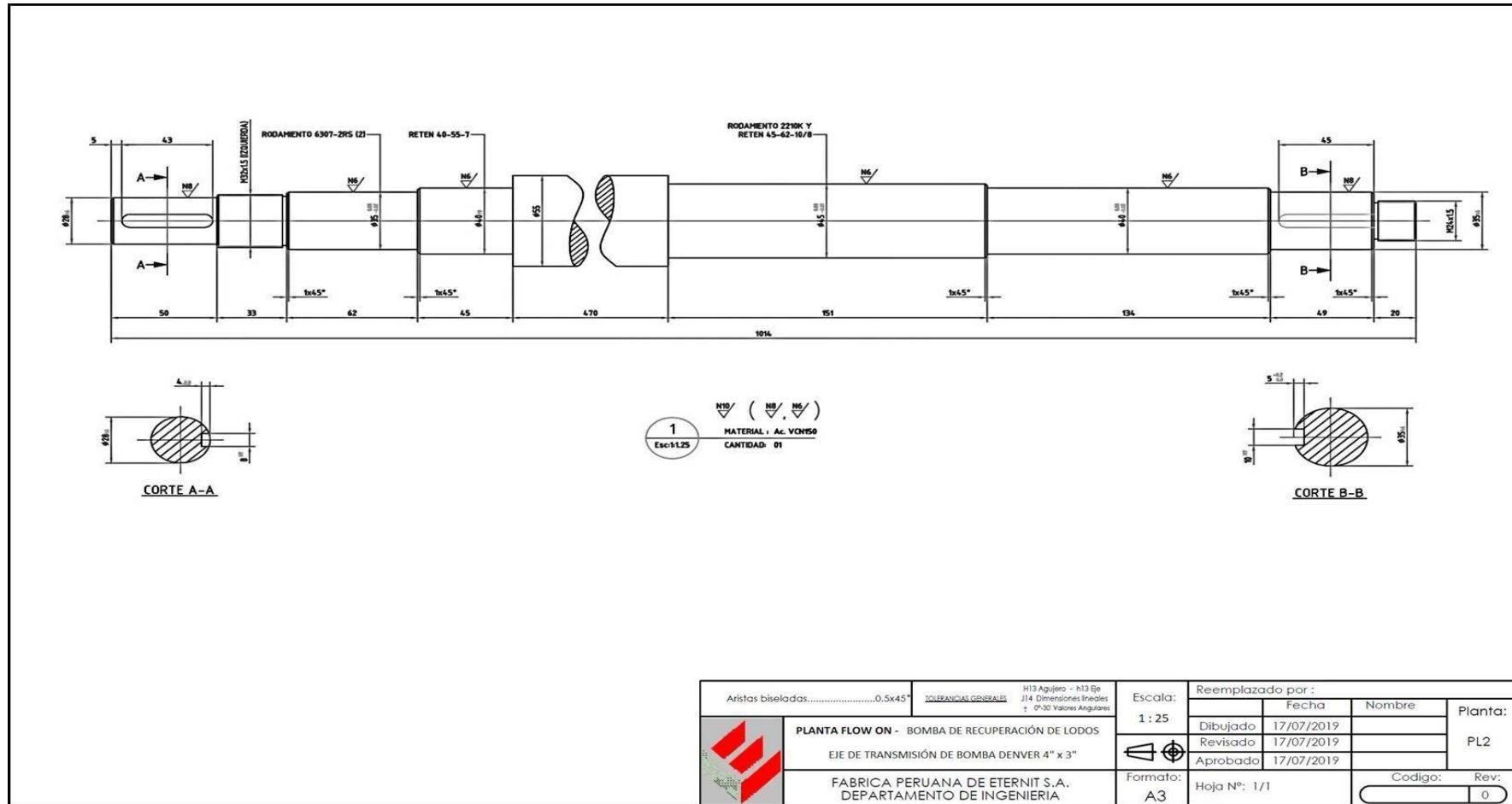
ANEXO 3
FICHA TÉCNICA DE BOMBA DENVER 4" X 3"

MOTOR DELCROSA			
	TIPO	:	NV 180 M4
	FRECUENCIA	:	60 Hz
	POTENCIA	:	30 Hp
	AMPERAJE	:	19 A
	VOLTAJE	:	440 v
	ARRANQUE	:	Trifásico
	VELOCIDAD	:	1800 RPM
BOMBA DENVER			
	TIPO	:	SRL 4 X 3
	SIZE	:	4" de succión x 3" de descarga
	FRAME	:	2
	SOLIDO MAX	:	Ø 9/16"
	CAUDAL	:	230 gpm, 61% de eficiencia / dif pres = 3 Bar = 100 pies H2O
	FLUSHING	:	4GPM MAX
			1GPM MIN

ANEXO 4 CHECK LIST DE EQUIPOS

<i>Código del equipo :</i> <i>Marca :</i> <i>Modelo :</i> <i>Ubicación Técnica :</i> <i>Fecha :</i>	Responsable de Inspección _____																																																																								
INSPECCIÓN RUTINARIA DE BOMBAS																																																																									
Condición del equipo	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Estado</th> <th style="width: 15%;">Presión</th> <th style="width: 15%;">Ruido Vibración</th> <th style="width: 15%;">Fuga de Aceite</th> <th style="width: 15%;">Existe Fuga de material</th> <th style="width: 15%;">Temp. C°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="6" style="background-color: #cccccc;">1. Motor Eléctrico</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">a. L. Carga</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">b. L. Ventilador</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="background-color: #cccccc;">2. Transmisión</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">a. Poleas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">b. Fajas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="background-color: #cccccc;">3. Bomba</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">a. Caja de rodajes</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">b. Sello mecánico</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">c. Línea envío</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">d. Línea descarga</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Estado	Presión	Ruido Vibración	Fuga de Aceite	Existe Fuga de material	Temp. C°	1. Motor Eléctrico						a. L. Carga						b. L. Ventilador						2. Transmisión						a. Poleas						b. Fajas						3. Bomba						a. Caja de rodajes						b. Sello mecánico						c. Línea envío						d. Línea descarga					
Estado	Presión	Ruido Vibración	Fuga de Aceite	Existe Fuga de material	Temp. C°																																																																				
1. Motor Eléctrico																																																																									
a. L. Carga																																																																									
b. L. Ventilador																																																																									
2. Transmisión																																																																									
a. Poleas																																																																									
b. Fajas																																																																									
3. Bomba																																																																									
a. Caja de rodajes																																																																									
b. Sello mecánico																																																																									
c. Línea envío																																																																									
d. Línea descarga																																																																									
Responsable	Supervisor																																																																								

ANEXO 5 PLANO DE FABRICACIÓN DE EJE BOMBA DENVER 4" X 3"



Aristas biseladas.....0.5x45°		TOLERANCIAS GENERALES		h13 Agujero - h13 Eje j14 Dimensiones lineales ± 0.30 Valores Angulares		Escala:		Reemplazado por:			
		PLANTA FLOW ON - BOMBA DE RECUPERACIÓN DE LODOS				1 : 25		Fecha		Nombre	Planta:
		EJE DE TRANSMISIÓN DE BOMBA DENVER 4" x 3"						17/07/2019			PL2
		FABRICA PERUANA DE ETERNIT S.A. DEPARTAMENTO DE INGENIERIA						Formato:			Aprobado		Codigo:	Rev:
				A3		Hoja N°: 1/1				0	

ANEXO 6

FICHA TÉCNICA TÉCNICA DEL ACERO AISI 4340

VCN



AISI : ~ 4340 H
 DIN : 34 Cr Ni Mo 6
 W N°: 1.6582

Tipo de aleación promedio : C 0,34 Cr 1,5 Ni 1,5 Mo 0,2 Si 0,30 Mn 0,50 %
 Color de identificación : Verde
 Estado de suministro : Bonificado 240-380 HB Típico. Ver tabla inf.
 Largo estándar : 3,5 - 6 metros.

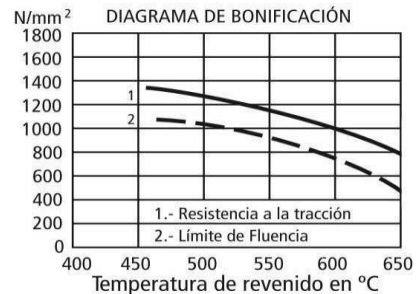
Acero especial de bonificación al cromo níquel molibdeno, altamente resistente a la tracción, a la torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a fragilidad de revenido. Por su estado de suministro permite en la mayoría de los casos su aplicación, sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

APLICACIONES: Partes de maquinaria y repuestos de mayores dimensiones, sometidas a muy altos esfuerzos dinámicos y otras altas exigencias mecánicas. Cigüeñales, ejes de leva, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes cardán, ejes para bombas, ejes para hélice de aviones, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos de transportadora, vástagos y pines, muñones; brazos de dirección, ciertos engranajes, discos de embrague, etc.

26

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjado: 1050 - 850 °C
Recocido: 650 - 700 °C
 Enfriamiento lento en el horno
Temple: al aceite 830 - 860 °C
Dureza obtenible: 52 - 56 HRC
Revenid : 540 - 680 °C
Normalizado: 850 - 880 °C
Nitrurar: 580 °C



Resistencia en estado Recocido		CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO BONIFICADO						
máx. N/mm ²	Dureza Brinell máx.	Diámetro mm.		Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación (Lo = 5d) % mín.	Estricción % mín.	Resiliencia según DVM Joule
		desde	hasta					
800	248	16	16	980	1180 - 1380	9	40	41
		40	40	885	1080 - 1280	10	45	48
		100	100	785	980 - 1180	11	50	48
		160	160	685	880 - 1080	12	55	48
		160	250	590	780 - 930	13	55	48

Soldadura: Consultar con nuestro Departamento Técnico

02

www.voestalpine.com/highperformancemetals/peru
www.bohlerperu.com

voestalpine
 ONE STEP AHEAD.

ANEXO 7 CARACTERISTICAS DE ELECTRODO INOX 29/9

SMAW

Acero Inoxidable



INOX 29/9

Electrodo cuyo depósito tiene una estructura austeno-ferrítica con Ferrita > 20%, insensible a la fisuración en caliente. El material depositado presenta una alta resistencia a la rotura y es muy empleado para soldar aceros de difícil soldabilidad y unir aceros disímiles. El revestimiento rutilico le permite obtener depósitos libres de poros y con buen acabado. El INOX 29/9 es resistente al impacto, calor, corrosión y a la fricción metal - metal. Los depósitos son maquinables.

Clasificación	
AWS A5.4 / ASME SFA-5.4	~E312-16

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,10	1,00	1,20	máx. 0,025	máx. 0,020	0,5	10,00	29,00	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	740 - 840 (107 300 - 121 800)	> 600 (87 000)	> 22	-

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Una vez abierto el empaque, colocar en horno. Almacenamiento bajo horno: 120°C. Resecado de 400°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura
P, H, Va, Sc.

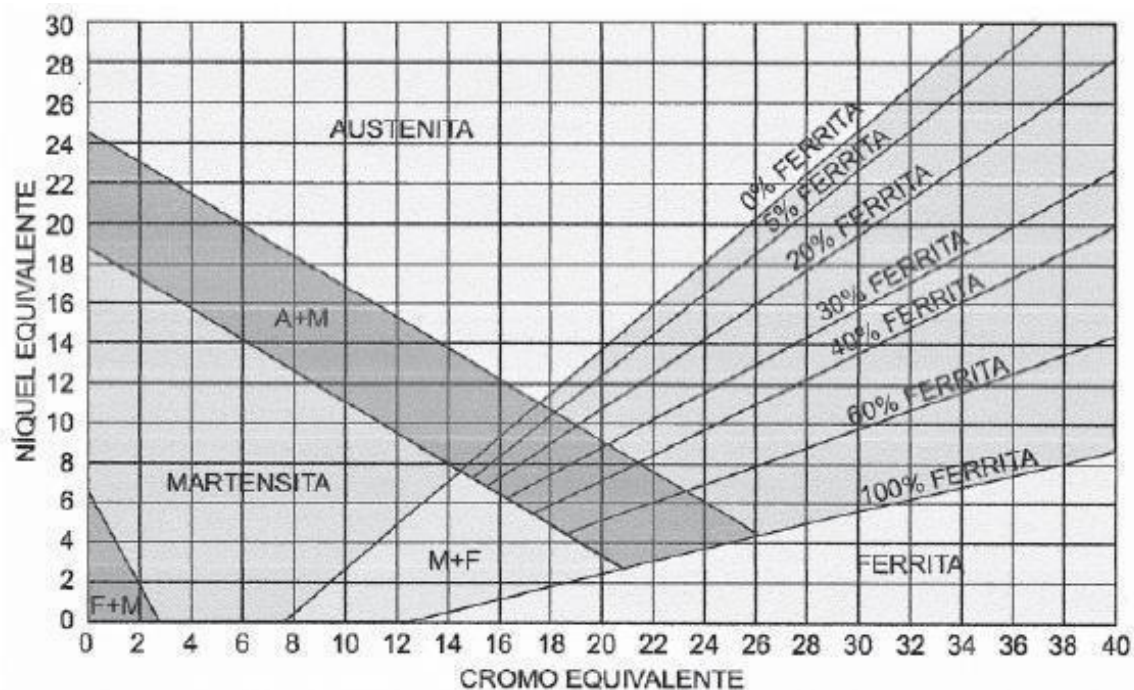
Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP								
Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	-	55	80	110	160	-	-
Amperaje máximo	-	-	85	120	150	220	-	-

Aplicaciones

- Electrodo especial ideal para labores de mantenimiento y reparación, en todos los sectores industriales.
- Para soldar aceros al carbono y aceros aleados con problemas de soldabilidad (aceros de difícil soldabilidad).
- Para soldar una gran variedad de aceros: herramientas, tratados térmicamente, inoxidable y rápidos.
- Ideal para soldar aceros disímiles, unir acero al carbono con acero inoxidable y planchas de acero galvanizado.
- Para recuperar ejes, matrices, moldes, herramientas, cadenas, engranajes, paletas de agitadores, cremalleras, tornillos extrusores y en general, piezas de alta resistencia.
- Como base para recubrimientos protectores especiales.
- Muy usado en la industria siderúrgica (resistente al descascaramiento hasta 110°C) para relleno de ejes, mandriles, rodillos, cama cojin para cuchilas de corte en caliente, etc.

**ANEXO 8
DIAGRAMA DE SCHAEFFLER**



PORCENTAJES DE DILUCION POR PROCESO		
Proceso	Gas de protección (%)	Dilución %
SMAW	Ninguno	30
GMAW	Ar:81+He:18+CO2:1	36.5
GMAW	Ar:98+O2 :2	42.8
GMAW	Ar:43+He:55+CO2:2	43.7
GMAW	Ar:98+CO2:2	39.7
GMAW	Ar:100	39.7
GMAW	Ar:98+O2 :2	44.1
GTAW	Ar:95+He:5	43.6

Metals Handbook vol.6, p. 854.

ANEXO 9
RENDIMIENTO TÉRMICO EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

$$H_n(\text{Julios/mm}) = f \times \frac{\text{Tension (V) x Intensidad (A)}}{\text{Velocidad de soldeo (mm/seg)}}$$

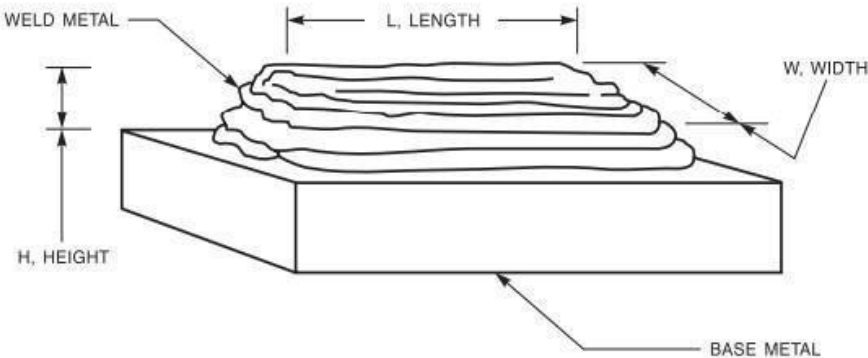
Siendo f, el rendimiento térmico

Proceso de soldeo	Rendimiento
SAW	0,9 - 1
SMAW	0,75 - 0,8
FCAW	0,70 - 0,8
GMAW	MIG 0,7 - 0,8 MAG
GTAW	0,65

Nota: Para efectos de cálculo, se emplea valores mínimos a excepción del proceso GTAW (0.6)

ANEXO 10
DEPOSICIÓN DEL ELECTRODO SEGÚN AWS A5.4

AWS A5.4/A5.4M:2006



Electrode Size		Weld Pad Size, minimum						Minimum Distance of Sample from Surface of Base Plate	
		L		W		H			
in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
1/16	1.6								
5/64	2.0	1-1/2	38	1/2	13	1/2	13	3/8	10
3/32	2.4								
—	2.5								

ANEXO 11

REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA

voestalpine High Performance Metals del Perú S.A.



INFORME DE ENSAYO DE DUREZA ED 052-21

SOLICITADO POR : ALEXIS ROCA
DIRIGIDO A : SR. CRISTHIAN ALEXIS ROCA SABOYA.
COMPONENTE : EJE.
ZONA ANALIZADA : ZONA RECUPERADA CON SOLDADURA.
REALIZADO POR : ANALISTA 1.
FECHA DE EMISIÓN : 03 DE SETIEMBRE DE 2021.

Es grato dirigirme a usted a fin de informarle que, habiendo realizado el ensayo de dureza portátil en un **EJE (ZONA RECUPERADA CON SOLDADURA)** se registró los siguientes resultados:

CUADRO DE RESULTADOS

COMPONENTE	ZONA	MEDICIÓN DE DUREZA PORTÁTIL EQUIVALENTE EN ROCKWELL HRC (UCI)				
EJE ZONA RECUPERADA CON SOLDADURA	0°	26,5	29,9	22,5	24,0	28,7
	90°	30,9	25,6	23,1	24,7	23,4
	180°	23,5	21,3	26,6	22,8	23,1
	270°	24,7	22,8	21,9	25,9	28,7

OBSERVACIONES:

- ❖ Se utilizó un durómetro de portátil marca SONODUR (Procedencia: Alemán), previamente el durómetro fue verificado con bloques patrones certificados.
- ❖ Método de ensayo: Principio UCI (Ultra Sonic Contac Impedance).
- ❖ Norma de aplicación: **ASTM A1038-10a / E140-12b.**
- ❖ El cliente proporcionó el componente e indicó la zona a evaluar.
- ❖ La evaluación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Control de Materiales.
- ❖ Fecha de ensayo: 01 de setiembre de 2021.
- ❖ Temperatura Ambiente: 21° C.
- ❖ Ver en la página siguiente el registro fotográfico para la identificación de la zona evaluada.

voestalpine High Performance Metals del Perú S.A.

Tec. Pedro S. Guevara Solís
Jefe de Control de Materiales

Of. Principal: Calle Luis Castro Roncero 777 Lima 01 - Perú
Ventas: 619-3252 / Administración: 619-3250 / Tratamientos Térmicos: 619-3240
Asesoría: 619-3251 / Soldaduras: 619-3248 / Control de Materiales: 619-3252
Sucursal ATE: Av. Nicolás Ayllón 2158 Zona Industrial Santa Lucía - Ate / 619-3247
Sucursal LOS OLIVOS: Av. Carlos Izaguirre 1347 - Los Olivos / 619-3231
Sucursal AREQUIPA: Calle Angamos 204 Urb. María Isabel - Arequipa / (051)28-2884
www.bohlerperu.com / E-mail: ventas@bohlerperu.com
Representantes en: HUANCAYO - PIURA

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

ANEXO 12

ASTM E140 – TABLA DE CONVERSIÓN DE DUREZA PARA METALES

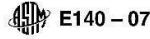


TABLE 1 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell C Hardness Range)^{A, B}

Rockwell C Hardness Number 150 kgf (HRC)	Vickers Hardness Number (HV)	Brinell Hardness Number ^C		Knoop Hardness, Number 500-gf and Over (HK)	Rockwell Hardness Number		Rockwell Superficial Hardness Number			Scleroscope Hardness Number ^D	Rockwell C Hardness Number 150 kgf (HRC)
		10-mm Standard Ball, 3000-kgf (HBS)	10-mm Carbide Ball, 3000-kgf (HBW)		A Scale, 60-kgf (HRA)	D Scale, 100-kgf (HRD)	15-N Scale, 15-kgf (HR 15-N)	30-N Scale, 30-kgf (HR 30-N)	45-N Scale, 45-kgf (HR 45-N)		
68	940	...	...	920	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	97.3	68
67	900	...	...	895	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	95.0	67
66	865	...	...	870	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	92.7	66
65	832	...	(739)	846	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	90.6	65
64	800	...	(722)	822	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	88.5	64
63	772	...	(705)	799	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	86.5	63
62	746	...	(688)	776	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	84.5	62
61	720	...	(670)	754	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	82.6	61
60	697	...	(654)	732	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	80.8	60
59	674	...	634	710	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	79.0	59
58	653	...	615	690	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	77.3	58
57	633	...	595	670	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	75.6	57
56	613	...	577	650	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	74.0	56
55	595	...	560	630	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	72.4	55
54	577	...	543	612	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	70.9	54
53	560	...	525	594	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	69.4	53
52	544	(500)	512	576	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	67.9	52
51	528	(487)	496	558	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	66.5	51
50	513	(475)	481	542	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	65.1	50
49	498	(464)	469	526	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	63.7	49
48	484	451	455	510	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	62.4	48
47	471	442	443	495	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	61.1	47
46	458	432	432	480	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	59.8	46
45	446	421	421	466	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	58.5	45
44	434	409	409	452	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	57.3	44
43	423	400	400	438	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	56.1	43
42	412	390	390	426	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	54.9	42
41	402	381	381	414	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	53.7	41
40	392	371	371	402	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	52.6	40
39	382	362	362	391	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	51.5	39
38	372	353	353	380	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	50.4	38
37	363	344	344	370	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6	49.3	37
36	354	336	336	360	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4	48.2	36
35	345	327	327	351	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2	47.1	35
34	336	319	319	342	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1	46.1	34
33	327	311	311	334	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9	45.1	33
32	318	301	301	326	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7	44.1	32
31	310	294	294	318	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5	43.1	31
30	302	286	286	311	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3	42.2	30
29	294	279	279	304	64.8	47.0	74.5	49.5	30.1	41.3	29
28	286	271	271	297	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9	40.4	28
27	279	264	264	290	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8	39.5	27
26	272	258	258	284	63.3	44.6	72.8	46.8	26.7	38.7	26
25	266	253	253	278	62.8	43.8	72.2	45.9	25.5	37.8	25
24	260	247	247	272	62.4	43.1	71.6	45.0	24.3	37.0	24
23	254	243	243	266	62.0	42.1	71.0	44.0	23.1	36.3	23
22	248	237	237	261	61.5	41.6	70.5	43.2	22.0	35.5	22
21	243	231	231	256	61.0	40.9	69.9	42.3	20.7	34.8	21
20	238	226	226	251	60.5	40.1	69.4	41.5	19.6	34.2	20

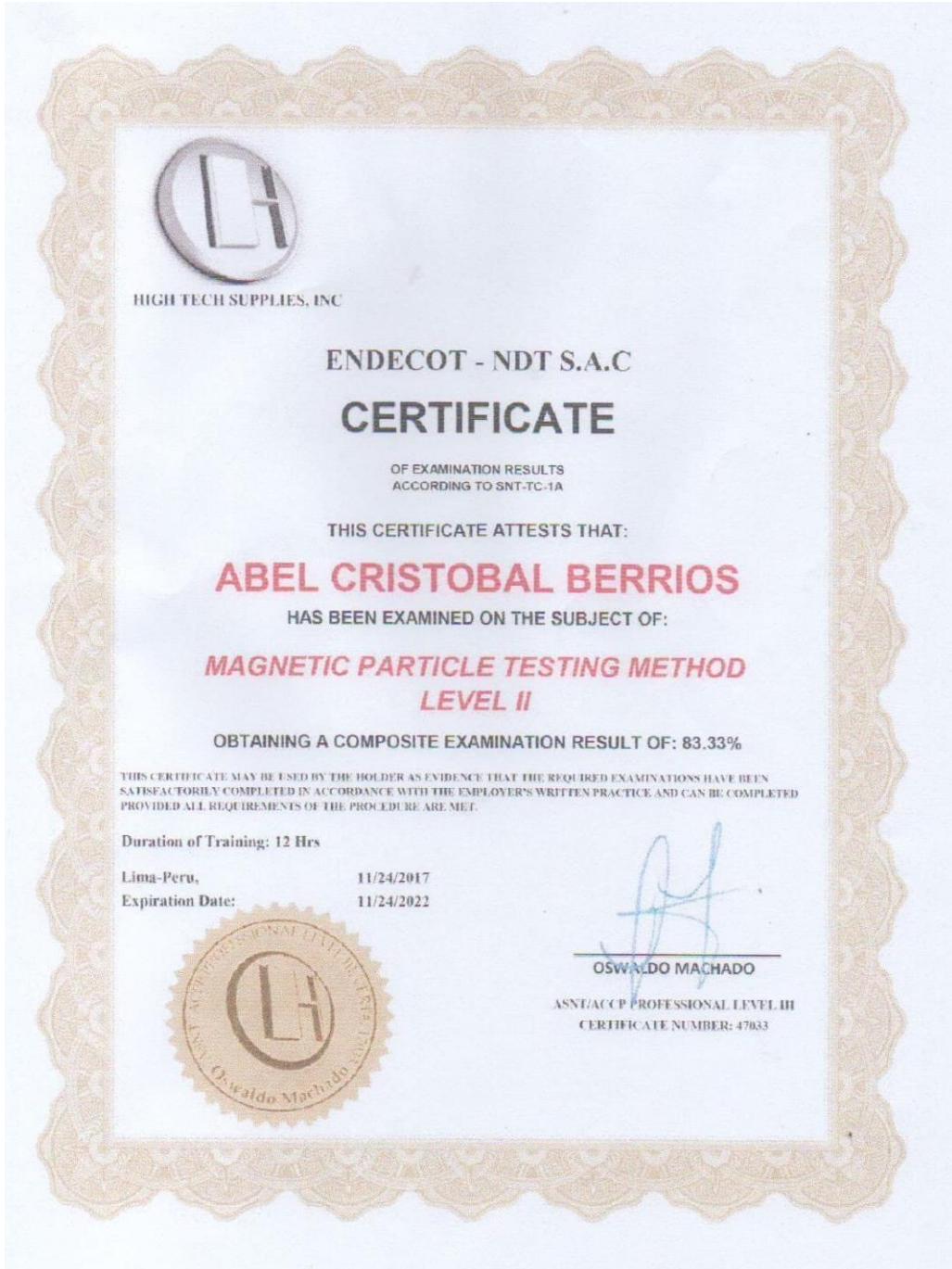
^A In the table headings, force refers to total test forces.

^B Appendix X1 contains equations converting determined hardness scale numbers to Rockwell C hardness numbers for non-austenitic steels. Refer to 1.11 before using conversion equations.

^C The Brinell hardness numbers in parentheses are outside the range recommended for Brinell hardness testing in 8.1 of Test Method E10.

^D These Scleroscope hardness conversions are based on Vickers—Scleroscope hardness relationships developed from Vickers hardness data provided by the National Bureau of Standards for 13 steel reference blocks, Scleroscope hardness values obtained on these blocks by the Shore Instrument and Mfg. Co., Inc., the Roll Manufacturers Institute, and members of this institute, and also on hardness conversions previously published by the American Society for Metals and the Roll Manufacturers Institute.

ANEXO 13
CERTIFICADO DE NIVEL II EN PRUEBAS DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS



ANEXO 14
CERTIFICADO DE NIVEL II EN PRUEBAS DE ULTRASONIDO



ANEXO 15 REPORTE DE ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS



**LABORATORIO DE ENSAYOS NO
 DESTRUCTIVOS**

Av. Areñales 2025, Lima 14 - PERÚ / Telf. (511) 471-1066
 Email: comercial@endcot-ndt.pe / Web: www.endcot-ndt.pe



REPORTE DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS					
ORDEN DE SERVICIO END: 0869			REPORTE N°: 1003-MT		
1. DATOS GENERALES					
Cliente : Cristhian Alexis Roca Saboya / DNI: 48429756					
Lugar de Ensayo : Av. Areñales N° 2025 - Lince					
Fecha de Ensayo : 01 de Setiembre del 2021					
2. CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO					
Denominación : Eje		Aplicación / Uso : -----			
Serie/Código : -----		Material: : Acero al carbono			
Dimensiones: : 1020.0 mm x Ø55.0 mm		Espesor : -----			
3. CONDICIÓN DEL ENSAYO					
TIPO DE PARTÍCULAS	TÉCNICA EMPLEADA	CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN	MAGNETIZACIÓN	ILUMINACIÓN	
<input checked="" type="checkbox"/> Via Húmeda / <input type="checkbox"/> Via Seca Marca / Código: MR CHEMIE / 76 F MÉTODO <input type="checkbox"/> Continuo / <input checked="" type="checkbox"/> Residual	<input type="checkbox"/> Puntas <input type="checkbox"/> Bobina <input type="checkbox"/> Conductor Central <input checked="" type="checkbox"/> Yugo Marca / modelo / serie: Parker / DA-400s / 21474	<input type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> AC ½ Onda Rect. <input type="checkbox"/> AC Onda Completa Rectificada <input checked="" type="checkbox"/> DC	<input checked="" type="checkbox"/> Longitudinal <input type="checkbox"/> Circular	<input checked="" type="checkbox"/> Luz negra (*) <input type="checkbox"/> Artificial (foco/reflector) (*) <input type="checkbox"/> Luz del día. <input type="checkbox"/> Marca / modelo / serie: Spectroline / BIB-150 P/F 1251176	
4. NORMA Y/O CODIGO APLICABLE					
Norma y/o Código Ensayo: ASTM E 709		Norma y/o Código de Calificación: ASME SECCIÓN VIII, Mandatorio Apéndice 6 (Ref.)			
5. RESULTADOS DEL ENSAYO					
IDENTIFICACIÓN	DISCONTINUIDAD Y/O DEFECTO		CALIFICACIÓN	OBSERVACIONES	N°
	Tipo	Dimensión (mm)			
Eje	0° - 90°	----	Aceptado	-----	01
	90° - 180°	----	Aceptado	-----	02
	180° - 270°	----	Aceptado	-----	03
	270° - 0°	----	Aceptado	-----	04
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; transform: rotate(45deg);"></div>					
DEFECTOS Y/O DISCONTINUIDADES					
C Falta de Fusión D Falta de Penetración		Ea Fisura Longitudinal Eb Fisura Transversal		Ac Porosidad H Ralladura / Hendidura I Cordón Irregular F Socavado G Cráter	
FECHA DE EMISIÓN: Lima, 02 de Setiembre del 2021.					
 Abel Cristóbal Berrios NIVEL II SNY - TC -1A		 SUPERVISOR DEL CLIENTE		
RESPONSABLE			SUPERVISOR DEL CLIENTE		

ANEXO 16

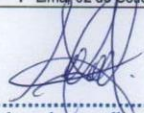
REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO



LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
 Av. Arenales 2025, Lima 14 – PERÚ. / Telf.: (511) 471-1066
 Email: comercial@endecot-ndt.pe / Web: www.endecot-ndt.pe




REPORTE DE ULTRASONIDO								
ORDEN DE SERVICIO-NDT : 0869				REPORTE : 01003-UT				
1. DATOS GENERALES								
Cliente : Cristhian Alexis Roca Saboya / DNI: 48429756								
Lugar de Ejecución : Av. Arenales N°2025 – Lince.								
Fecha de Ejecución : 01 de Setiembre del 2021								
2. CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO								
Elemento : Eje		Condición de Superficie : Sin recubrimiento						
Serie / Código : ---/---		Material : Acero al Carbono						
Dimensiones : 1020.0 mm x Ø55.0 mm.		Espesor Nominal : N/A						
3. CONDICIÓN DEL ENSAYO								
Técnica : Contacto Directo		Método : Pulso Eco						
4. NORMA Y/O CÓDIGO APLICABLE								
Norma de Ensayo : ASTM A 609		Norma de Calificación : ASTM A 609						
Nivel Evaluación : 20 % DAC		Ganacia (dB) : 42dB + 6dB						
5. EQUIPOS E INSUMOS UTILIZADOS								
Marca / Modelo / Serie : SIUI / CTS-9009 / 538320121024								
Transductor / Frecuencia : SIUI / 2.25MHZ / Haz recto								
Acoplante : Gel		Patrones Calibración : ASTM						
6. RESULTADOS DEL ENSAYO								
IDENTIFICACIÓN			DISCONTINUIDADES				EVALUACIÓN	
ZONAS	MEDIDAS (mm)	DISTANCIA (mm)	Area (Cm²)	PROFUNDIDAD (mm)	CARACTERÍSTICA	ACEPTADO	RECHAZADO	
EJE	0° - 90°	1020	---	---	---	X	---	
	90° - 180°	1020	---	---	---	X	---	
	180° - 270°	1020	---	---	---	X	---	
	270° - 0°	1020	---	---	---	X	---	

7. DISCONTINUIDADES Y/O DEFECTOS								
A : Porosidad	D : Penetración Inadecuada	F : Socavado	B : Escoria	I : Indicación Alargada				
E : Fisura	C : Falta de Fusión	G : Crater	E : Fisura					
FECHA DE EMISIÓN : Lima, 02 de Setiembre del 2021.								
 Alexander Castillo León NIVEL II SNT - TC -1A				RESPONSABLE				
				SUPERVISOR DEL CLIENTE				

ANEXO 17

ESPECIFICACIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS



MR
NDT-materials

*Abnahmeprüfzeugnis gemäß
Inspection certificate according to
Rapport d'essais de laboratoire selon
EN 10204 - 3.1*

Konformitätserklärung / Statement of conformity / Declaration de conformité

Zugriffs-Nr. / Certificate no. / Rapport n° MT 511
Datum / Date / Date 07.12.2017
Seite / Page / Page 2 / 2

Produktname / Product name / Désignation
MR© 76 F Magnetpulver-Fluid, fluoreszierend, gebrauchsfertig
MR© 76 F Magnetic powder suspension, fluorescent, ready for use
MR© 76 F Liqueur Magnétique, fluorescent, prêt à l'emploi

Lagerungsbeständigkeit / Storage stability / Stabilité de stockage	Herstellerangaben vorhanden.	Manufacturer's data verified.	Les données de fabricant ont vérifié.
Gehalt an / Content of / Teneur de	CL+F (EN) S (EN)	CL 0,012 Gew.%, F 0,010 Gew.% < 0,001 Gew.%	CL 0,012 Gew.%, F 0,010 Gew.% < 0,001 Gew.%
	CL+F (Asme) S (Asme)	CL 0,012 Gew.%, F 0,010 Gew.% < 0,001 Gew.%	CL 0,012 Gew.%, F 0,010 Gew.% < 0,001 Gew.%
Sonstiges / Additional / Divers:	--	--	--

Konformitätserklärung

Das gelieferte Produkt entstammt der genannten Charge. Die angegebenen Werte entsprechen den Forderungen der internen Spezifikation. Das Prüfzeugnis stellt keine Zusicherung von Eigenschaften dar und entbindet den Kunden nicht von der Verpflichtung zur Wareneingangskontrolle. Das Produkt ist konform mit den folgenden Normen / Spezifikationen:

(DIN) EN ISO 9934-2
ASME Code V, Art.7, T-765.2
ASME Code V, Art.7, T-731
PMUC
Framatome ANP
RCC-M, Sediment: das Produkt erfüllt die Anforderungen des RCC-M Code 2000, MC 5135.2 Magnetic Inks.

Statement of conformity

The delivered product was taken from the mentioned batch. The mentioned values correspond with the requirements of the internal specifications. The certificate does not guarantee any particular product properties and does not free the customer of the obligation to carry out an incoming goods inspection. The product is conform with the following standards / specifications:

(DIN) EN ISO 9934-2
ASME Code V, Art.7, T-765.2
ASME Code V, Art.7, T-731
PMUC
Framatome ANP
RCC-M, settlement: the product fulfills the requirements of RCC-M Code 2000, MC 5135.2 Magnetic Inks.

Declaration de conformité

Le produit livré descend à la charge citée. Les valeurs indiquées correspondent aux exigences de la spécification interne. Le rapport ne représente pas d'assurance des qualités et ne soulage pas le client de l'obligation du contrôle de l'entrée des marchandises. Le produit est conform avec les normes / spécifications suivants:


(DIN) EN ISO 9934-2
ASME Code V, Art.7, T-765.2
ASME Code V, Art.7, T-731
PMUC
Framatome ANP
RCC-M: Valeurs de sédimentation conformes aux recommandations RCC-M code 2000, MC 5135.2

n.b. = nicht bestimmt / not determined / ne déterminé pas
n.a. = nicht anwendbar / not applicable / pas applicable
n.m. = nicht messbar / not measurable / pas mesurable
Dieses Dokument ist ohne Unterschrift gültig. This document is valid without signature. Ce document type est valable sans signature.

Unna, 07.12.2017 D. Kirschberger
Abnahmebeauftragter / der / Authorised employee for and on behalf of /
Employé autorisé pour et au nom de
MR® Chromis GmbH, Nordstr. 61-63, D-59427 Unna, Germany

ANEXO 18

ESPECIFICACIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS - CONTINUACIÓN

 Abnahmeprüfzeugnis gemäß Inspection certificate according to Rapport d'essais de laboratoire selon EN 10204 - 3.1 Konformitätserklärung / Statement of conformity / Declaration of conformity		Zeugnis-Nr. / Certificate no. / Rapport n° MT 511 Datum / Date / Date 07.12.2017 Seite / Page / Page 1 / 2	
Produktname / Product name / Désignation MR® 76 F Magnetpulver-Fluid, fluoreszierend, gebrauchsfertig MR® 76 F Magnetic powder suspension, fluorescent, ready for use MR® 76 F Liqueur Magnétique, fluorescent, prêt à l'emploi			
Angewandte Normen / Applied standards / Normes appliquées	(DIN) EN ISO 9934-2:2003 ASME Code V, Art.7, T-731 Musterprüfung nach/Type testing according to/Essais d'après (DIN) EN ISO 9934-2 verfügbar/available/disponible	ASME Code V, Art.7, T-765.2 --	
Verwendungszweck / Intended use / Usage destiné Typ / Type / Type	Magnetpulverprüfung Aerosol	Magnetic particle testing Aerosol	Magnétoscopie Aérosol
Chargen-Nr. / Batch-No. / Lot-n°	76F/1137A	76F/1137A	76F/1137A
Herstellung / Production / Production	11/2015	11/2015	11/2015
Mindesthaltbarkeit / Best before / Expiration	11/2019	11/2019	11/2019
Eignung / Performance / Performance	Anforderung erfüllt.	Requirements met.	Conditions réalisés.
Anzeigenlänge Kurzzeit / Indication length short term / Longueur de l'indication court terme	6 cm	6 cm	6 cm
Farbe / Colour / Couleur	Identisch mit Herstellerangaben.	Identical to manufacturer's data.	Identique aux données de fabricants.
Korngröße / Particle size / Taille des particules	$d(10\%) = 3,99 \mu\text{m} \Rightarrow 1,5 \mu\text{m}$ $d_a = 9,02 \mu\text{m}$ $d_u(90\%) = 18,62 \mu\text{m} \Rightarrow < 40 \mu\text{m}$	$d(10\%) = 3,99 \mu\text{m} \Rightarrow 1,5 \mu\text{m}$ $d_a = 9,02 \mu\text{m}$ $d_u(90\%) = 18,62 \mu\text{m} \Rightarrow < 40 \mu\text{m}$	$d(10\%) = 3,99 \mu\text{m} \Rightarrow 1,5 \mu\text{m}$ $d_a = 9,02 \mu\text{m}$ $d_u(90\%) = 18,62 \mu\text{m} \Rightarrow < 40 \mu\text{m}$
Absetzvolumen / Sediment / Sediment	0,23 ml / 100 ml	0,23 ml / 100 ml	0,23 ml / 100 ml
Temperaturbereich / Tempe- rature range / Plage de température	+ 10 °C - + 50 °C	+ 10 °C - + 50 °C	+ 10 °C - + 50 °C
Dichte / Density / Densité	0,806 g/cm³	0,806 g/cm³	0,806 g/cm³
Viskosität / Viscosity / Viscosité	2,4363 mPa s	2,4363 mPa s	2,4363 mPa s
Flammpunkt / Flash point / Point d'inflammation	62 °C	62 °C	62 °C
Fluoreszenzoeffizient / Fluorescence coefficient / Coefficient de fluorescence	$\beta = 1,8 \text{ cd/W}$	$\beta = 1,8 \text{ cd/W}$	$\beta = 1,8 \text{ cd/W}$
Fluoreszenz Trägerflüssig- keit / Fluorescence carrier liquid / Fluorescence liquide porteur	Anforderung erfüllt.	Requirements met.	Conditions réalisés.
Mech. Stabilität, Kurzzeit / Mech. Stability, short term test / Stabilité mécanique, essai à court terme.	Anforderung erfüllt.	Requirements met.	Conditions réalisés.
Anzeigenlänge Langzeit / Indication length long term / Longueur de l'indication long terme	5,8 cm	5,8 cm	5,8 cm
Schäumverhalten / Foaming / Mousse	Keine signifikante Schaumbildung.	No significant foaming.	Aucun écumer significatif.

ANEXO 19

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE ULTRASONIDO

**METROLOGÍA E INGENIERÍA LINO S.A.C.**
Av. Venezuela N° 2040 Lima 01- Lima - Perú **Central Telefónica:** (511) 713-9080 / (511) 713-5656 / 909 048 181
Consulta Técnica: (511) 713-5610 / 975 432 445 / 965 403 256
Atención al Cliente: 975 193 739
E-mail: ventas@metroil.com.pe / **Web:** www.metroil.com.pe


Exp.: 96930
2020-11-12
Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CL-0200-2020

Fecha de emisión:


1. **SOLICITANTE** : ENDECOT - NDT S.A.C.
2. **DIRECCIÓN** : Av. Arenales N° 2025 2do Piso - Lince - Lima
3. **INSTRUMENTO** : MEDIDOR DE ESPESORES POR ULTRASONIDO
Marca : SIUI Alcance de indicación : 0 mm a 13 000 mm
Modelo : CTS-9009 División de escala : 0,1 mm
N° de serie : 538320121024 Procedencia : China
Código de Identif. : UT-01 (*) Tipo de indicación : Digital
4. **FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACIÓN**
Calibrado el 2020-11-12 en el Laboratorio de Longitud y Ángulo de METROIL S.A.C.
5. **METODO DE CALIBRACIÓN**
La calibración se efectuó por comparación con patrones certificados.
6. **TRAZABILIDAD**
Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM. Se utilizaron los siguientes instrumentos patrones :
Bloques patrón de longitud de código IL-068 con Certificado de Calibración N°LLA-C-054-2019 del INACAL-DM.
Bloques patrón de longitud de código IL-135 con Certificado de Calibración N°LLA-291-2018 del INACAL-DM.
7. **CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**
Temperatura ambiental : Inicial : 20,2 °C Final : 19,8 °C
Humedad relativa : Inicial : 53,2 %H.R. Final : 51,3 %H.R.
8. **OBSERVACIONES**
 - Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y con identificación N° MA-03526-20.
 - Los resultados corresponden a un promedio 5 mediciones para cada punto de calibración.
 - La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.
 - El instrumento permite un intervalo de medida de 10 mm a 175 mm.(*) Indicado en una etiqueta adherido al instrumento.


YANINA RIOS CHAVEZ
Laboratorio de Calibración

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROIL S.A.C.

ANEXO 20

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE ULTRASONIDO - CONTINUACIÓN



METROLOGÍA E INGENIERÍA LINO S.A.C.
Av. Venezuela N° 2040 Lima 01- Lima - Perú Central Telefónica: (511) 713-9080 / (511) 713-5656 / 999 048 181
Consulta Técnica: (511) 713-5810 / 975 432 445 / 905 403 258
Atención al Cliente: 975 133 739
E-mail: ventas@metroil.com.pe / Web: www.metroil.com.pe

Certificado de Calibración N° CL-0200-2020
Página 2 de 2

9. RESULTADOS

Indicación del Equipo		
Valor patrón (mm)	Indicación del instrumento (mm)	Error de indicación (mm)
10,0	9,00	-1,00
20,0	19,32	-0,68
40,0	39,70	-0,30
50,0	57,10	7,10
80,0	87,00	7,00
100,0	107,23	7,23
150,0	157,44	7,44
175,0	182,73	7,73

Error de indicación = Indicación del instrumento - Valor patrón

Incertidumbre del error de indicación	:	0,04 mm
---------------------------------------	---	---------

FIN DEL DOCUMENTO

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROIL S.A.C.



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)
(WPS) AWS D1 1/D1.1M- 2022

Modulo VI – Grupo III

Nombre de la compañía _____

FIME - UNAC

Autorizado por _____

30/09/2021

Fecha

WPS – FIME – V01

N.º de WPS

PQR(s) de respaldo

1

N.º de Rev. Fecha

No

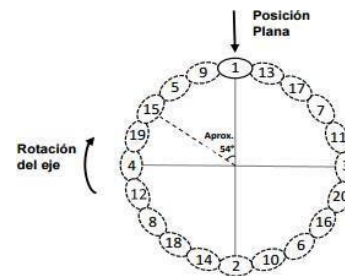
Informe CVN

METALES BASE	Especificación	Tipo o grado	Grupo AWS N.º
Material base	AISI 4340	----	I
Soldado a	-	----	I
Material de respaldo	No	-----	-----
Otro: <i>Cupón y/o probetas con plancha de 3/8"</i>			
DETALLES DE LA JUNTA / DESIGNACION			
Tipo de ranura		-	
Angulo de la ranura		-	
Abertura de la raíz		-	
Cara de la raíz (Talón)		-	
Respaldo en el lado opuesto		No	
Método		Esmerilado y escobillado	

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA	
Temperatura	Ninguna
Tiempo de la temperatura	-----
Otro	-----

ESPESOR DEL METAL BASE	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldaduras en ranura con CJP	----	----
Ranura CJP c/CVN	----	----
Soldaduras en ranura con PJP	----	----
Soldaduras en filete	----	----
DIÁMETRO		

DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)



PROCEDIMIENTO				
Capa(s) de soldadura	1	2-n		
Pasada(s) de soldadura	Todas	Todas		
Proceso	SMAW	SMAW		
Tipo (manual, mecanizado, etc.)	Manual	Manual		
Posición	1G	1G		
Progresión vertical	N/A	N/A		
Metal de aporte (espec. de AWS)	E312-16	E312-16		
Clasificación de AWS	A5.4	A5.4		
Diámetro	3/32"	3/32"		
Fabricante/nombre comercial	INOX 29/9	INOX 29/9		
Composición del gas de protección (GTAW)	-----	-----		
Caudal (GTAW)	-----	-----		
Tamaño de la boquilla (GTAW)	-----	-----		
Temperatura de precalentamiento	0°C	0°C		
Temperatura entre pasadas	0°C	0°C		
Características eléctricas	-----	-----		
Diámetro del electrodo (GTAW)	-----	-----		
Polaridad y tipo de corriente	DCEP	DCEP		
Amperios	55 – 85	55 – 85		
Voltios	40	40		
Alimentador de alambre frío o caliente GTAW)	-----	-----		
Velocidad de desplazamiento	-----	-----		
Entrada de calor máxima	-----	-----		
Técnica	Recto	Recto		
Rectilíneo u oscilante	Único	Único		
Pase múltiple o única (por lado)	-----	-----		
Oscilación (GTAW mec. /auto.)	-----	-----		
Longitud transversal	-----	-----		
Velocidad transversal	-----	-----		
Tiempo de permanencia	-----	-----		
Martillado	No	No		
Limpieza entre pasadas	Esmerilado	Escobillado y/o esmerilado		
Otro	Antes de pase de raíz secar la humedad de la plancha con oxicorte			