

JST | SEGURIDAD EN
EL TRANSPORTE

Informe de Seguridad Operacional

Sucesos Aeronáuticos



Falla de componente no motor

Master's of the Sky S.A.

Petrel 912i, LV-FWM

Aeródromo de Saladillo, Buenos Aires

01 de febrero 2020

7353133/20



Ministerio de Transporte
Argentina



Junta de Seguridad en el Transporte

Florida 361, piso 6

Argentina, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1005AAG

0800-333-0689

www.argentina.gob.ar/jst

info@jst.gob.ar

Informe de Seguridad Operacional 7353133/20

Publicado por la JST. En caso de utilizar este material de forma total o parcial se sugiere citar según el siguiente formato Fuente: Junta de Seguridad en el Transporte.

El presente informe se encuentra disponible en www.argentina.gob.ar/jst



ÍNDICE

ADVERTENCIA	5
NOTA DE INTRODUCCIÓN.....	6
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	7
SINOPSIS	8
1. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS.....	9
1.1 Reseña del vuelo.....	9
1.2 Lesiones al personal	9
1.3 Daños en la aeronave.....	9
1.4 Otros daños.....	10
1.5 Información sobre el personal	11
1.6 Información sobre la aeronave	11
1.7 Información meteorológica.....	13
1.8 Ayudas a la navegación	13
1.9 Comunicaciones	13
1.10 Información sobre el lugar del suceso.....	13
1.11 Registradores de vuelo	14
1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto.....	14
1.13 Información médica y patológica.....	15
1.14 Incendio.....	15
1.15 Supervivencia	15
1.16 Ensayos e investigaciones	15



1.17	Información orgánica y de dirección	19
1.18	Información adicional	19
1.19	Técnicas de investigaciones útiles o eficaces	21
2.	ANÁLISIS	22
2.1	Introducción	22
2.2	Aspectos técnico-operativos.....	22
3.	CONCLUSIONES.....	25
3.1	Conclusiones referidas a factores relacionados con el accidente.....	25
3.2	Conclusiones referidas a otros factores de riesgo de seguridad operacional identificados por la investigación.....	25
4.	RECOMENDACIONES SOBRE SEGURIDAD OPERACIONAL	27
5.	APÉNDICE	28



ADVERTENCIA

La misión de la Junta de Seguridad en el Transporte (JST), creada por Ley 27.514 de fecha 28 de agosto de 2019, es conducir investigaciones independientes de los accidentes e incidentes acaecidos en el ámbito de la aviación civil, cuya investigación técnica corresponde instituir para determinar las causas, y emitir las recomendaciones y/o acciones de Seguridad Operacional eficaces, dirigidas a evitar la ocurrencia de accidentes e incidentes de similar tenor. Este informe refleja las conclusiones de la JST, con relación a las circunstancias y condiciones en que se produjo el suceso. El análisis y las conclusiones del informe resumen la información de relevancia para la gestión de la seguridad operacional, presentada de modo simple y de utilidad para la comunidad aeronáutica.

De conformidad con el Anexo 13 –Investigación de accidentes e incidentes de aviación– al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, ratificado por Ley 13891, el Artículo 185 del Código Aeronáutico (Ley 17.285), y el Artículo 17 de la Ley 27.514 la investigación de accidentes e incidentes tiene carácter estrictamente técnico y las conclusiones no deben generar presunción de culpa ni responsabilidad administrativa, civil o penal.

Esta investigación ha sido efectuada con el único y fundamental objetivo de prevenir accidentes e incidentes, según lo estipula el Anexo 13, el Código Aeronáutico y la Ley 27.514.

Los resultados de esta investigación no condicionan ni prejuzgan investigaciones paralelas de índole administrativa o judicial que pudieran ser iniciadas por otros organismos u organizaciones en relación al accidente.



NOTA DE INTRODUCCIÓN

La Junta de Seguridad en el Transporte (JST) ha adoptado el modelo sistémico para el análisis de los accidentes e incidentes de aviación.

El modelo ha sido validado y difundido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y ampliamente adoptado por organismos líderes en la investigación de accidentes e incidentes a nivel internacional.

Las premisas centrales del modelo sistémico de investigación de accidentes son las siguientes:

- ✓ Las acciones u omisiones del personal operativo de primera línea y/o las fallas técnicas del equipamiento constituyen los factores desencadenantes o inmediatos del evento. Estos son el punto de partida de la investigación y son analizados con referencia a las defensas del sistema aeronáutico, así como a otros factores, en muchos casos alejados en tiempo y espacio del momento preciso de desencadenamiento del evento.
- ✓ Las defensas del sistema aeronáutico detectan, contienen y ayudan a recuperar las consecuencias de las acciones u omisiones del personal operativo de primera línea y/o las fallas técnicas del equipamiento. Las defensas se agrupan bajo tres entidades genéricas: tecnología, normativa (incluyendo procedimientos) y entrenamiento.
- ✓ Finalmente, los factores que permiten comprender el desempeño del personal operativo de primera línea y/o la ocurrencia de fallas técnicas, y explicar las fallas en las defensas están generalmente alejados en el tiempo y el espacio del momento de desencadenamiento del evento. Son denominados factores sistémicos y están vinculados estrechamente a elementos tales como, por ejemplo, el contexto de la operación, las normas y procedimientos, la capacitación del personal, la gestión de la seguridad operacional por parte de la organización a la que reporta el personal operativo y la infraestructura.

La investigación que se detalla en este informe se basa en el modelo sistémico. Tiene el objetivo de identificar los factores relacionados con el accidente, así como a otros factores de riesgo de seguridad operacional que, aunque sin relación de causalidad en el suceso investigado, tienen potencial desencadenante bajo otras circunstancias operativas. Lo antedicho, con la finalidad de formular recomendaciones sobre acciones viables, prácticas y efectivas que contribuyan a la gestión de la seguridad operacional.



LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS¹

AISI: *American Iron and Steel Institute*

ANAC: Administración Nacional de Aviación Civil

JST: Junta de Seguridad en el Transporte

LABTESA: Laboratorios Termoionic SA

OT: Orden de Trabajo

P/N: Parte Número

RAAC: Regulaciones Argentinas de Aviación Civil

SA: Sociedad Anónima

UTC: Tiempo Universal Coordinado

¹ Con el propósito de facilitar la lectura del presente informe se aclaran por única vez las siglas y abreviaturas utilizadas en inglés. En muchos casos las iniciales de los términos que las integran no se corresponden con los de sus denominaciones completas en español.



SINOPSIS

Este informe detalla los hechos y circunstancias en torno al accidente experimentado por la aeronave LV-FWM, un Petrel 912i, en Saladillo (Buenos Aires), el 1 de febrero de 2020 a las 13:46 horas,² durante un vuelo de aviación general de entrenamiento.

El informe presenta cuestiones de seguridad operacional relacionadas con los procesos de soldadura utilizados en la fabricación de los componentes de las aeronaves Petrel 912i.

El informe incluye cuatro recomendaciones de seguridad operacional a Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), dos de ellas reiteradas.



Figura 1. Aeronave en su posición final

² Todas las horas están expresadas en Tiempo Universal Coordinado (UTC), que para el lugar y fecha del accidente corresponde al huso horario -3



1. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS

1.1 Reseña del vuelo

El 01 de febrero de 2020, la aeronave matrícula LV-FWM, un Petrel 912i, despegó del aeródromo de General Rodríguez (Buenos Aires) a las 12:30 horas con destino al aeródromo de Saladillo (Buenos Aires), en un vuelo privado de aviación general. Luego de 01:15 horas de vuelo aproximadamente, durante la carrera de detención posterior al aterrizaje, la aeronave experimentó la fractura de la horquilla del tren de aterrizaje de nariz.

El piloto descendió por sus propios medios sin sufrir lesiones. La aeronave resultó con daños de importancia.

El accidente ocurrió de día y en buenas condiciones meteorológicas.

1.2 Lesiones al personal

Lesiones	Tripulación	Pasajeros	Otros	Total
Mortales	0	0	0	0
Graves	0	0	0	0
Leves	0	0	0	0
Ninguna	1	0	0	1

Tabla 1

Daños en la aeronave

1.3.1 Célula

Daños leves.



Figura 2. Daños en horquilla tren de aterrizaje de nariz

1.3.2 Motor

De importancia.

1.3.3 Hélice

Destruída.



Figura 3. Daños en la hélice

1.4 Otros daños

No hubo.



1.5 Información sobre el personal

La certificación del piloto cumplía con la reglamentación vigente.

Piloto	
Sexo	Masculino
Edad	21
Nacionalidad	Argentina
Licencias	Piloto Privado De Avión
Habilitaciones	Monomotores terrestres
Certificación médica aeronáutica	Clase 2 Válida hasta el 30/06/2020

Tabla 2

Su experiencia era la siguiente:

Horas de vuelo	General	En el tipo
Total general	163,5	158,7
Últimos 90 días	54,2	50,2
Últimos 30 días	28	25,8
Últimas 24 horas	2,1	1,3
En el día del suceso	1,3	1,3

Tabla 3

1.6 Información sobre la aeronave

La aeronave estaba certificada de conformidad con la reglamentación vigente y mantenida de acuerdo con el plan de mantenimiento del fabricante.

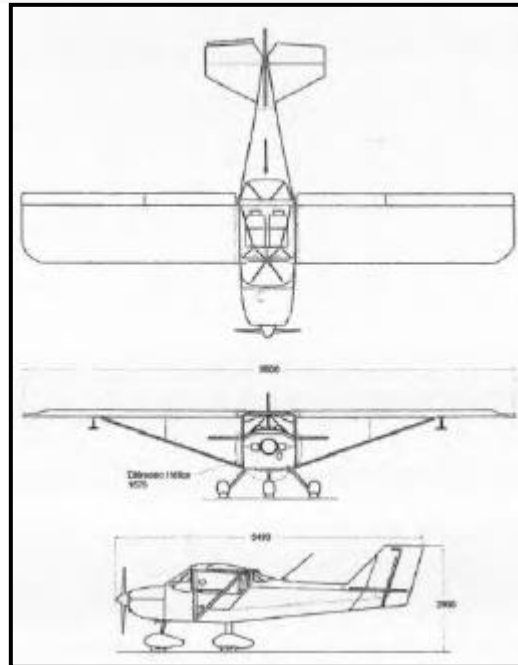


Figura 4. Perfil de la aeronave

Aeronave		
Marca	Petrel	
Modelo	912i	
Categoría	Ala fija	
Fabricante	Proyecto Petrel S.A.	
Año de fabricación	01/01/2017	
Número de serie	012	
Peso máximo de despegue	565 kg	
Peso máximo de aterrizaje	565 kg	
Peso vacío	347 kg	
Fecha del último peso y balanceo	01/01/2017	
Horas totales	2124,7	
Horas desde la última recorrida general	No aplica	
Horas desde la última inspección	21,5	
Ciclos totales	No aplica	
Ciclos desde la última recorrida general	No aplica	
Certificado de matrícula	Propietario	<i>Master's of The Sky S. A.</i>
	Fecha de expedición	27/11/2017
Certificado de aeronavegabilidad	Clasificación	Estándar
	Categoría	CS-VLA3
	Fecha de emisión	14/06/2017
	Fecha de vencimiento	Sin fecha

Tabla 4



Motor	
Marca	Rotax
Modelo	912-F2
Fabricante	Rotax
Número de serie	4413057
Horas totales	1851,5
Horas desde la última recorrida general	No aplica
Horas desde la última intervención	17,9
Ciclos totales	No aplica
Ciclos desde la última recorrida	No aplica
Habilitación	Hasta el 06/2023

Tabla 5

Hélice	
Marca	Clerici
Modelo	HCF-28NB-3
Fabricante	Clerici
Número de serie	1991
Horas totales	121,6
Horas desde la última recorrida general	No aplica
Horas desde la última intervención	17,9
Habilitación	Hasta el 06/2022

Tabla 6

1.7 Información meteorológica

No relevante.

1.8 Ayudas a la navegación

No relevante.

1.9 Comunicaciones

No relevante.

1.10 Información sobre el lugar del suceso

Lugar del suceso	
Ubicación	Aeropuerto de Saladillo
Coordenadas	35°36'17" S – 59°49'0" W
Superficie	Asfalto/Concreto

Dimensiones	1199 x23 m, 1000x30 m.
Orientación magnética	18/36, 13/31
Elevación	47 m
Normas generales	Aeropuerto de Saladillo

Tabla 7

1.11 Registradores de vuelo

No aplica.

1.12 Información sobre los restos de la aeronave y el impacto

La aeronave inició la aproximación para la cabecera 36. Durante la carrera de detención posterior al aterrizaje, la aeronave comenzó a vibrar hasta que se produjo la rotura de la horquilla del tren de aterrizaje de nariz. Debido a esto el amortiguador del tren de nariz y la hélice tomaron contacto con la pista. La aeronave recorrió 15 metros y se detuvo a 535 metros de la cabecera 36.



Figura 5. Descripción del suceso

1.13 Información médica y patológica

No se detectaron evidencias médico-patológicas del piloto relacionadas con el accidente.

1.14 Incendio

No hubo.

1.15 Supervivencia

El piloto abandonó la aeronave por sus propios medios y resultó sin lesiones. La cabina no sufrió deformaciones. El cinturón de seguridad del asiento del tripulante soportó los esfuerzos a los que fue sometido.

1.16 Ensayos e investigaciones

Se observó que el tren de aterrizaje de nariz se encontraba fracturado en la horquilla a la altura del amortiguador.



Figura 6. Imagen del amortiguador del tren de aterrizaje de nariz

El piloto manifestó que, durante la carrera de aterrizaje posterior al contacto con la pista, la pedalera de la aeronave comenzó a vibrar excesivamente y luego se produjo el contacto de la hélice con el asfalto ocasionando la detención brusca del motor.

Se verificó que la horquilla de la aeronave P/N = TA-01-01-00 se encontraba fracturada en la zona del amortiguador, dicha parte fue trasladada al laboratorio técnico de la JST con el fin de realizar un análisis exhaustivo de la superficie de fractura para intentar determinar el origen del fallo.



Figura 7. Imagen de la horquilla

Asimismo, se retuvo el cuerno de comando direccional del tren de aterrizaje de nariz, el cual se encontraba fracturado.



Figura 8. Imagen del cuerno de comando de dirección de la rueda de nariz

Ambas partes fueron evaluadas con el objetivo de determinar el mecanismo de fractura que produjo el colapso de los componentes.

El estudio de las partes fue realizado por Laboratorios Termoionics S.A. (LABTESA), se emitió un “Certificado de análisis de causa de falla” bajo la O.T. N481554”, el que se encuentra adjunto al presente informe como un apéndice.

Durante una ampliación de investigación, se pudo observar en otras dos aeronaves de iguales características, que el cuerno de comando direccional del tren de aterrizaje de nariz se encontraba doblado.



Figura 9. Cuerno de comando direccional de la rueda de tren de aterrizaje de nariz de otras aeronaves

Con el objetivo de identificar la calidad de los procesos productivos, se solicitó a la ANAC el proceso de soldadura aprobado de la horquilla de tren de aterrizaje de nariz y del cuerno de comando direccional. Al momento de emitir este Informe de Seguridad Operacional no se recibió respuesta.

Otros hallazgos

Los bulones de sujeción de los brazos pivotantes de los pedales se encontraban flojos. Dos de sus tuercas ancladas se encontraban rotas y habían sido reemplazadas por tuercas autofrenantes. Para lograr acceso a dichas tuercas había sido agujereado el revestimiento inferior del fuselaje.

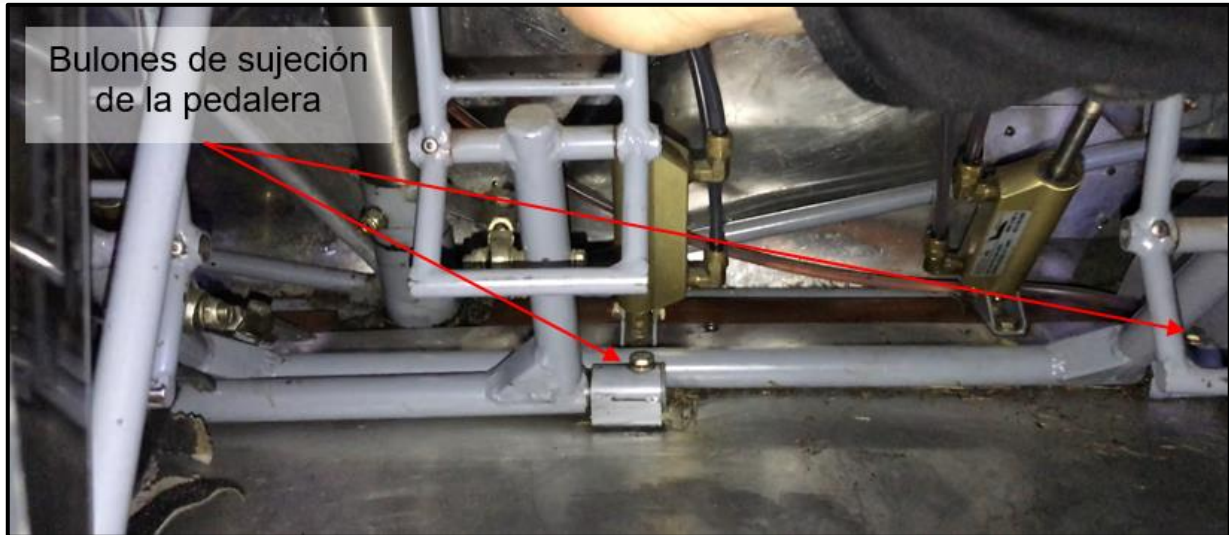


Figura 10. Imagen de la pedalera de la aeronave

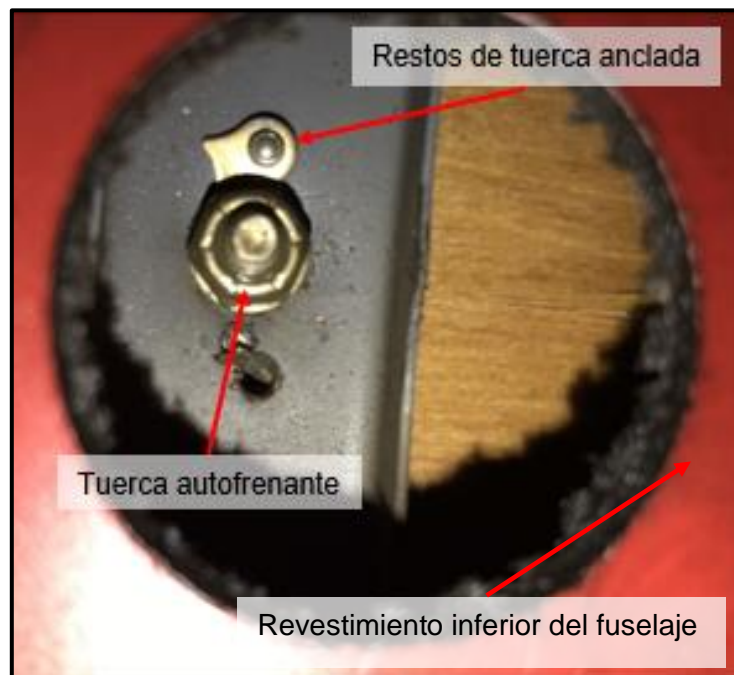


Figura 11. Imagen de la tuerca autofrenante colocada por el operador en los bulones de sujeción de la pedalera

El propietario de la aeronave comentó que los bulones de sujeción de la pedalera se aflojaban de forma recurrente y que se rompían las tuercas ancladas en las que se encontraban fijados. Asimismo, comentó que se encontraban a la espera de la próxima inspección para realizar el reemplazo de dichos bulones por unos de mayor espesor.

1.17 Información orgánica y de dirección

La aeronave era propiedad de Master’s of the sky S.A. y era utilizada para vuelos de entrenamiento. La empresa poseía otras cinco aeronaves, dos Petrel 921i, un Piper PA-38 y dos Cessna 182. Esta operaba sus aeronaves bajo las exigencias de las Regulaciones Argentinas de Aviación Civil (RAAC), Parte 91, “Reglas de vuelo y operación general”.

1.18 Información adicional

La aeronave tiene una rueda de nariz comandable, conectada a los pedales a fin de obtener comando direccional en tierra. Este sistema está integrado por el parante de nariz, un cuerno de conexión con los pedales, una horquilla para la rueda, un eje de rueda, una maza y una cubierta 500x5.

El componente colapsado está desarrollado constructivamente a partir de un tubo de sección circular conformado, sin costura, al que se le colocan en sus extremos dos tubos para contención del eje de rueda de nariz y uno en el centro de la curvatura que se constituye en el cuerpo principal del tren de nariz.

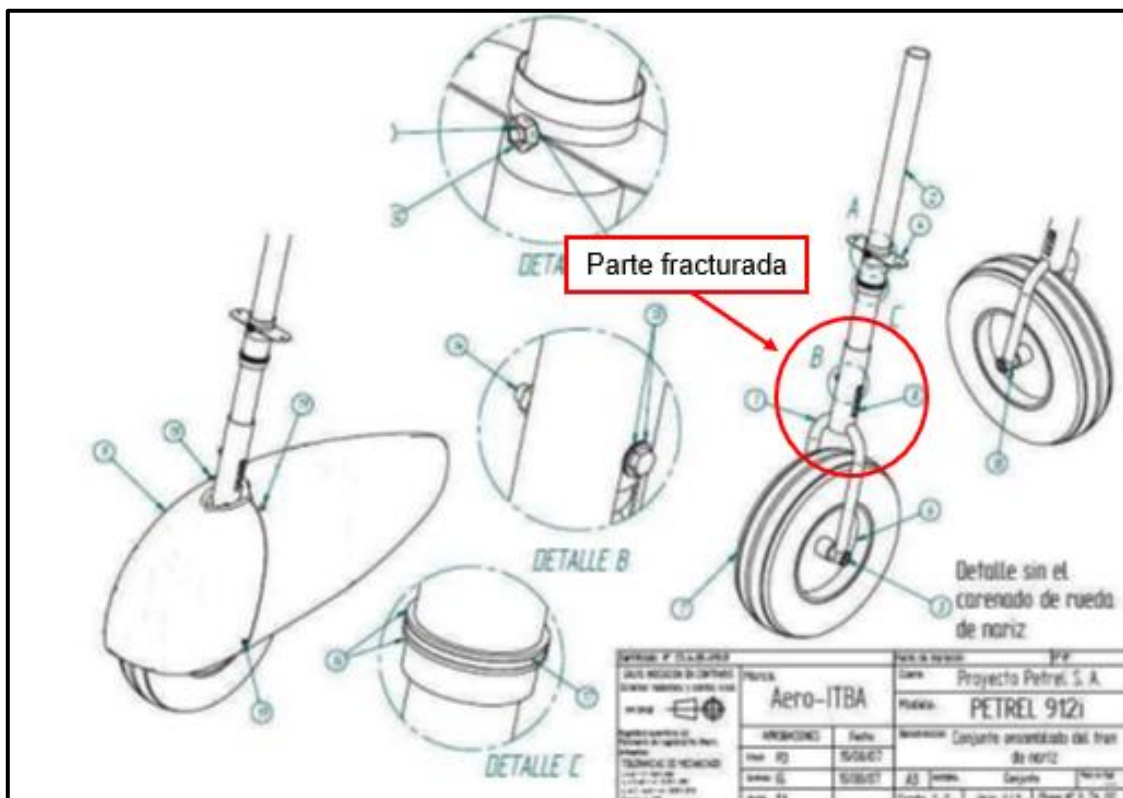


Figura 12. Manual de mantenimiento de la aeronave – Capítulo 32, descripción del tren de aterrizaje de nariz

El manual de mantenimiento de la aeronave Petrel 912i en el capítulo 51 establece detalles de los materiales de construcción de las partes del tren de aterrizaje principal y de nariz.

D. Tren de Aterrizaje (Principal y de Nariz) (ver Fig. 51-00-00-4).

- (1) Tren Principal – Está construido en barra cilíndrica de acero SAE 4130 con una disminución de sección en un extremo, para que oficie de fusible.
- (2) Tren de Nariz – Construido en tubos de acero SAE 4130, que incluye una horquilla para montaje de la rueda de nariz y una charnela para conexión con la pedalera.

Figura 13. Extracto del manual de mantenimiento de la aeronave, capítulo 51

En el manual de mantenimiento de la aeronave se establecen las inspecciones a ser realizadas en la estructura de la aeronave y sus intervalos correspondientes.

FUSELAJE – Descripción, Inspección y Mantenimiento

1. Descripción

- A. La estructura del fuselaje ha sido tratada en el Capítulo 51 precedente, por lo que en esta Sección se limitará a brindar instrucciones sobre prácticas de mantenimiento para su inspección y reparación.

2. Inspección

- A. Anualmente se inspeccionarán todos los puntos de soldadura a los cuales se pueda acceder sin dañar el entelado del fuselaje, con el propósito de determinar el estado general de ellas y la no evidencia de corrosión, deformaciones, etc.
- B. Cuando fuere necesario se deberán remover los asientos, portaequipajes y recubrimientos interiores (ver Cap. 25), para cumplir con las inspecciones expresadas en el acápite anterior.
- C. La remoción del carenado superior de cola, facilitará la inspección de prácticamente todo el fuselaje de cola.

3. Mantenimiento y Reparación

- A. Serán de aplicación todas las normas de la publicación AC43.13-1B "Inspección y Reparación de Aeronaves – Métodos, Técnicas y Prácticas Aceptables"

Figura 14. Extracto del manual de mantenimiento de la aeronave, capítulo 53

Antecedentes en otras aeronaves

Se halló un antecedente de un suceso experimentado por la aeronave LV-FVC el 4 de julio de 2019 (Expediente N 52059721/21, Resolución N 556/21) en cual se produjo la fractura de la horquilla del tren de aterrizaje de nariz. En la evaluación de laboratorio de dicho suceso, se pudo observar que las fisuras generadas se produjeron por el debilitamiento y fragilización del material como consecuencia de la aplicación del proceso de soldadura de la parte durante su fabricación.



El informe de ensayo del componente afectado en el suceso del LV-FVC fue realizado por la Dirección de Asistencia Técnica dependiente del Ministerio de la Producción de la provincia de Santa Fe bajo la O.T. N 348/2019.

1.19 Técnicas de investigaciones útiles o eficaces

No aplica.



2. ANÁLISIS

2.1 Introducción

El análisis de la información de vuelo y desempeño operativo se vio condicionado por la falta de equipos de captura automática de información, los cuales no son obligatorios para este tipo de aeronave. El estudio de laboratorio realizado en los componentes de la aeronave afectados durante el suceso, permitió conocer condiciones preexistentes que intervinieron como factores desencadenantes en la rotura y colapso del tren de aterrizaje de nariz. El alcance de la investigación se vio limitado debido a la falta de información referida a los procesos de soldadura aprobado de las partes afectadas.

Los daños experimentados por la aeronave, la información recabada en el campo, la información meteorológica analizada y la entrevista realizada al piloto, sugieren que el contacto con la pista se llevó a cabo de forma normal.

2.2 Aspectos técnico-operativos

No se detectaron aspectos referentes a la operación de la aeronave que pudieran influir en el desencadenamiento del suceso.

Si bien se hallaron flojos los bulones que sujetan los brazos pivotantes de la pedalera de la aeronave, el análisis de la información recabada por esta investigación no halló evidencias que vincularan dicha condición con el tipo de fractura experimentado por la horquilla.

El análisis de laboratorio realizado a la horquilla de la aeronave informa la presencia de un mecanismo de avance progresivo que actuó reduciendo la sección de la estructura resistente del componente. Asimismo, identificó daños ocultos en la estructura interna del material, que probablemente se originaron en el proceso de soldadura durante su fabricación.

Consideraciones relevantes del informe de laboratorio:

4. En el análisis macroscópico de las superficies de fractura se evidenció el avance de un fenómeno progresivo de debilitamiento por mecanismo de fatiga. Luego la rotura de las secciones remanentes es en su mayoría de características frágiles. Sin embargo, hay pequeños sectores de la sección de rotura inferior de la horquilla que presentan leve deformación plástica en los extremos.



5. En el análisis microscópico se detectaron fisuras secundarias sobre la superficie de fractura superior de la horquilla que podrían corresponder a la actuación del mismo mecanismo de fatiga.
6. Al evaluar la microestructura y su correlación con la determinación de dureza Vickers en los distintos sectores se confirma la existencia de una martensita frágil en la zona afectada por el calor entre el material de la horquilla y el aporte de soldadura.
7. El tipo de unión soldada por puntos de material de aporte deja distintas zonas como concentradores de tensión. Asimismo, este tipo de soldadura presenta rápidos enfriamientos que favorecen la nucleación de microestructuras frágiles.
8. Finalmente, el componente falla por:
 - Accionar de cargas cíclicas que producen un mecanismo de fatiga. Este debilitamiento progresivo trabaja especialmente sobre el material AISI 4130.
 - Luego debido a un sobreesfuerzo final, falla la sección remanente de este material, y las uniones soldadas que presentan comportamiento frágil (microestructura martensítica sin revenido), ayudado por la existencia de concentradores de tensión.” (Informe LABTESA “Certificado de análisis de causa de falla” O.T. N481554)

La fatiga de material es un cambio estructural permanente, progresivo y localizado que no puede ser observado a simple vista. Las inspecciones preventivas establecidas por el fabricante de la aeronave consisten en verificar el estado general de las soldaduras pero, no permiten revelar condiciones como la presentada.

Al igual que en los antecedentes mencionados en el informe del LV-FVC (Expediente N 52059721/21, Resolución N 556/21), se verificó la existencia de microestructura cristalina martensítica alterada en el material contiguo a las uniones soldadas. Esta condición disminuye la resistencia de base del material elegido para la fabricación del componente (AISI 4130) generando puntos de concentración de tensiones. Esto puede afectar al componente de forma tal que no pueda soportar los efectos de la operación normal de la aeronave para la cual fue diseñado.

En línea con el análisis realizado a la horquilla de la aeronave, la evaluación del cuerno de comando direccional evidenció defectos adquiridos durante el proceso de soldadura de sus partes.

Consideraciones relevantes del informe de laboratorio:

3. La unión soldada presenta diversos defectos (falta de fusión, porosidad y fisuras), que favorecieron el tipo de fractura del componente.



4. Macroscópicamente la fractura presenta un aspecto frágil y propaga sobre la zona afectada por el calor hacia el lado del Ala.
5. Los valores de dureza obtenidos en la unión muestran también la existencia de martensita frágil, aunque de menores valores que los del conjunto "A" (Informe LABTESA "Certificado de análisis de causa de falla" O.T. N481554).

Si bien la rotura del cuerno de comando direccional probablemente se debió a la vibración de la pedalera experimentada por la avería de la horquilla, también deben considerarse los defectos originados en su proceso de fabricación. Estos defectos, sumados a los observados en la horquilla de la aeronave y al análisis efectuado en el accidente de la aeronave LV-FVC, incrementan las probabilidades de que los daños generados por la técnica de soldadura aplicada, pudieran extenderse a otros componentes de la aeronave o incluso a la estructura principal de la misma. Cabe aclarar que el estudio de laboratorio de las partes afectadas en el presente suceso y el estudio de la parte afectada en el suceso del LV-FVC, fueron realizados por diferentes laboratorios.

El informe de laboratorio emitido por LABTESA (ver apéndice del informe) brinda recomendaciones a fin de mejorar la técnica de soldadura utilizada para los materiales en cuestión. Esto podría servir como información complementaria para rever los procesos empleados por el fabricante de la aeronave y los métodos de fiscalización de la ANAC para la aprobación de los mismos.

Es oportuno recordar que se solicitó a la ANAC el proceso de soldadura aprobado de las partes afectadas en el presente suceso, al momento de publicar este informe no se recibió respuesta.



3. CONCLUSIONES

3.1 Conclusiones referidas a factores relacionados con el accidente

- ✓ La horquilla del tren de aterrizaje de nariz se fracturó a la altura del amortiguador ocasionando el contacto de la hélice con la pista y la detención brusca del motor.
- ✓ Debido a la rotura de la horquilla y las vibraciones experimentadas se produjo la fractura del cuerno de comando direccional de la rueda del tren de aterrizaje de nariz.
- ✓ El análisis de laboratorio efectuado a la horquilla de la aeronave evidenció un proceso de debilitamiento por un mecanismo de avance progresivo por fatiga que redujo la sección resistente del componente favoreciendo la fractura del mismo.
- ✓ El análisis de laboratorio efectuado a la horquilla de la aeronave demostró daño oculto por micro fisuras y estructura martensítica frágil que probablemente se originaron durante el proceso de soldadura utilizado por el fabricante de la aeronave.
- ✓ El análisis de laboratorio efectuado al cuerno de comando direccional detectó falta de fusión, porosidad y fisuras en las uniones soldadas que favorecieron el tipo de fractura del componente.
- ✓ Al igual que la horquilla, el cuerno de comando direccional mostró la existencia de martensita frágil en la zona contigua a las uniones soldadas.
- ✓ El tipo de inspección establecido en el manual de mantenimiento de la aeronave no permite la detección temprana de las condiciones que favorecieron la falla de la horquilla del tren de aterrizaje de nariz de la aeronave.

3.2 Conclusiones referidas a otros factores de riesgo de seguridad operacional identificados por la investigación

- ✓ Los bulones que sujetan los ejes pivotantes de los pedales se encontraban flojos, la investigación no halló evidencias que vincularan esta condición con el tipo de fallo presentado.



- ✓ Las tuercas ancladas donde van fijados los bulones de la pedalera se encontraban rotas y habían sido reemplazadas por tuercas autofrenantes, para lo cual había sido agujereado el revestimiento inferior del fuselaje.
-



4. RECOMENDACIONES SOBRE SEGURIDAD OPERACIONAL

4.1 A la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC)

RSO AE-1897-22

Se reitera RSO AE-1876-21

Determinar si la estructura de las aeronaves fabricadas por la empresa Proyecto Petrel S.A. mantienen en su vida de utilización las características técnicas de diseño, en particular si cumplen con las especificaciones aprobadas que aseguran que tengan la resistencia y otras propiedades asumidas en los datos de diseño.

RSO AE-1898-22

Se reitera RSO AE-1877-21

Determinar si el proceso de soldadura aplicado sobre las partes ya fabricadas y las que actualmente están en producción respetan en un todo las especificaciones del proceso aprobado.

RSO AE-1899-22

Evaluar, junto al fabricante de la aeronave, la necesidad de emitir una Directiva de Aeronavegabilidad que busque solucionar los inconvenientes de sujeción ocasionados en la pedalera de la aeronave.

RSO AE-1900-22

Arbitrar los medios necesarios a fin de establecer, con la mayor premura posible, una Advertencia de Aeronavegabilidad que permita a los operadores de las aeronaves Petrel detectar de forma temprana la existencia de condiciones similares a las presentadas en este suceso.



5. APÉNDICE

LABTESA	LABTESA	<small>Laboratorios Termoionic S.A. Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia</small>
	  	O.T. N°481554 Fecha: 05/07/2021 Hoja: 1/30
	Sres. JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE	
	CERTIFICADO DE ANALISIS ANALISIS DE CAUSA DE FALLA	
	REFERENCIAS:	
	Las muestras se identifican de la siguiente manera: Horquilla de tren de aterrizaje de la aeronave marca PETREL modelo 912L, matrícula LV-FWM Fecha de Recepción de las muestras: 09/06/21 Fecha de Finalización del informe: 01/07/21	
	INDICE DEL ESTUDIO	
	I – INTRODUCCION	
	II – RECEPCION DE MUESTRAS	
	III – INSPECCION VISUAL Y EVALUACION MACROGRAFICA	
IV – ANALISIS QUIMICO ESPECTROMETRICO		
V – ANALISIS METALOGRAFICO		
VI – ENSAYOS DE DUREZA VICKERS		
VII – CONCLUSIONES		
VIII – RECOMENDACIONES		
División Metalmecánica División Plásticos y Gomas División Análisis Ambientales División Calibraciones	Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702. Prov. de Buenos Aires - Argentina. Línea Rotativa: 4712-5484 ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar	Este certificado no puede ser reproducido salvo autorización expresa de LABTESA S.A. Los resultados se refieren exclusivamente a la muestra enajada. FORMULARIO N° 62 REV.1
DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.		

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

I.- INTRODUCCION

Se solicita a través del pliego "PLIEG-2020-89704392-APN-DA#JST", la evaluación de un componente denominado "Horquilla de tren de aterrizaje de la aeronave marca PETREL modelo 912L, matrícula LV-FWM". (Cátalogo 3.4.2-2909.1).

Se desea evaluar el mecanismo de fractura, realizando especial énfasis en determinar posibles defectos en la soldadura que puedan haber afectado la integridad estructural del componente.

A continuación se adjuntan las imágenes compartidas de la horquilla, previo al envío de las piezas al laboratorio:



Foto de la zona de la fractura



Preparación de la muestra a analizar

Imagen N°1 – Horquilla de tren de aterrizaje

El Ing. Ezequiel Ayala por parte de la empresa "Junta de Seguridad en el Transporte", menciona que no es la primera vez que ocurre este tipo de fallas en este componente, y que por este motivo se desea conocer detalladamente el estado de las soldaduras. Por otra parte, si se encontraran defectos, se solicita recomendar las posibles mejoras a realizar en el tipo de unión para evitar el nuevo colapso del sistema.

Se menciona que la unión se realiza mediante deposición de material de aporte en determinados puntos.

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV.1

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

II.- RECEPCION DE MUESTRAS

Se reciben en el laboratorio los componentes según se observa en las siguientes imágenes:



Imagen N°2 – Conjunto Tren de nariz

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela, C.P 1702,
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Linea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Según se detalla en la imagen N°2, las piezas posteriormente analizadas serán las identificadas como "A" y "B". A partir de las imágenes compartidas por el cliente, se nota que la pieza "A" ha sido extraída de la horquilla. Por este motivo, la horquilla no será utilizada en el presente análisis.



Imagen N°3 – Conjunto Tren de nariz - Horquilla

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-02 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

III.- INSPECCION VISUAL Y EVALUACION MACROGRAFICA

En la imagen N°4 se muestra la pieza "A", donde se detectan algunas marcas realizadas por el cliente en color blanco, aparentemente de las zonas de especial interés.



Imagen N°4 – Pieza "A" del conjunto Tren de nariz

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

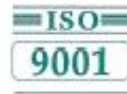
Este certificado no puede ser reproducido
sin la autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 6/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Selección de sectores para estudio metalográfico en pieza "A":

En las imágenes N°5 y 6 se marcan las secciones seleccionadas para el posterior estudio metalográfico.
Cada sección es identificada con una letra griega para facilitar la posterior evaluación.

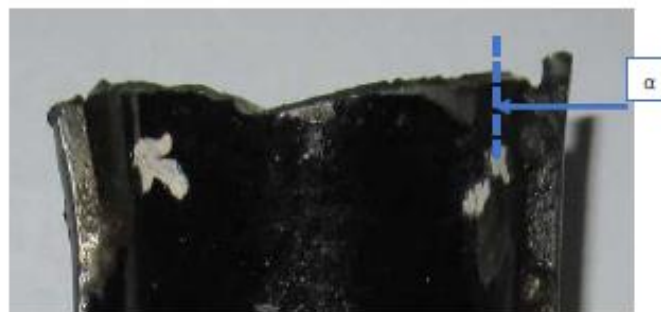


Imagen N°5 – Zonas seleccionadas para estudio metalográfico
Secciones α y β

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela, C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

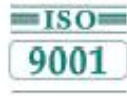
Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-02 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 7/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

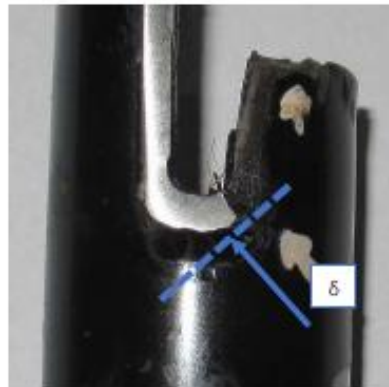
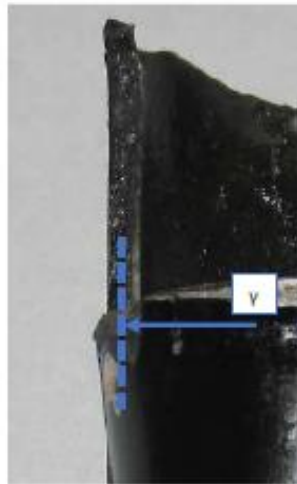


Imagen N°6 – Zonas seleccionadas para estudio metalográfico
Secciones γ y δ

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela, C.P 1702,
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
sin la autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 8/30

Sres.

JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Análisis macroscópico de la superficie de fractura en pieza "A":

A continuación se realiza la inspección visual y macroscópica de las superficies de rotura.

En cada análisis se muestra en primera instancia una imagen de la pieza y de la zona que luego se magnifica a mayor aumento (entre 12 y 20X mediante utilización de lupa estereoscópica).

En la imagen N°7 se muestra la morfología de fractura de la superficie superior de la pieza.

Se detectan marcas de playa paralelas entre sí, definiendo que la pieza ha sido sometido a cargas cíclicas que produjeron el avance de un mecanismo de fatiga. (ver imagen N°8)

Por otra parte, en la imagen superior N°8 se detecta que la zona de unión con el refuerzo lateral presenta una unión que forma un concentrador de tensiones que no es recomendable para ningún tipo de esfuerzo en servicio.

Las regiones donde no se nota la presencia de marcas de playa presentan un aspecto brillante y con ausencia de deformación plástica característico de un comportamiento frágil.

En al menos un 80% de esta superficie de fractura superior se detectan marcas de playa.

La imagen N°9 muestra los distintos sectores de la superficie de fractura inferior.

Esta región presenta en la zona central gran cantidad de marcas de playa, zona afectada por el mecanismo de fatiga.

Los extremos de esta superficie de fractura presentan deformación plástica macroscópica.

La sección restante de esta superficie analizada es de difícil caracterización, si bien no presenta deformación plástica, no es posible descartar que esté afectada por el proceso de fatiga.

En al menos un 50% de esta superficie de fractura inferior se detectan marcas de playa. Luego alrededor de un 10% de la superficie presenta deformación plástica.

En la imagen N°10 se muestran las fracturas de los refuerzos y los puntos de aporte de soldadura. No se evidencia deformación plástica macroscópica. Las superficies se encuentran con oxidación superficial. El aspecto predominante también es del tipo frágil.

Finalmente, de la presente sección se determina que algunos sectores de las superficies de fractura sufrieron la actuación de cargas cíclicas que generan marcas de playa características de una fatiga de alto número de ciclos.

Se analizará en las siguientes secciones si existen debilitamientos en la calidad de los materiales, o de la unión soldada que hayan podido favorecer la nucleación y propagación de la fractura.

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 62 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

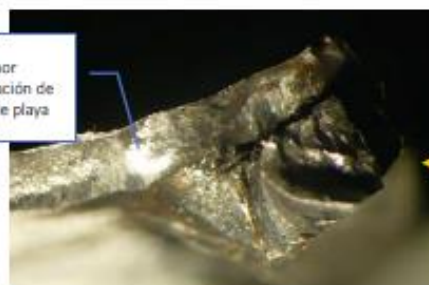


Imagen N°7 – Superficie de fractura

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

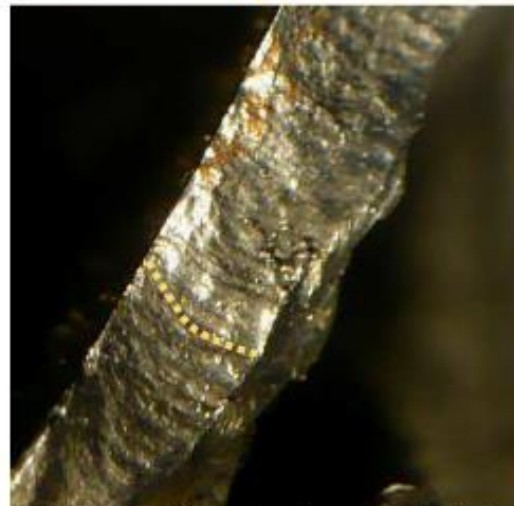
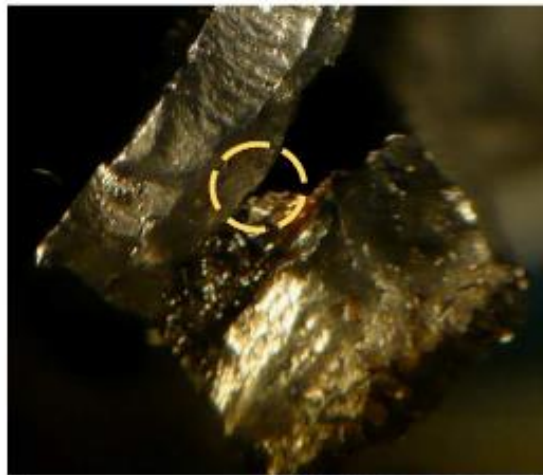
Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 02 REV.1

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA



*Imagen N°8 – Fotografía superior sector concentrador de tensiones
Fotografía inferior marcas de playa en superficie de fractura*

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

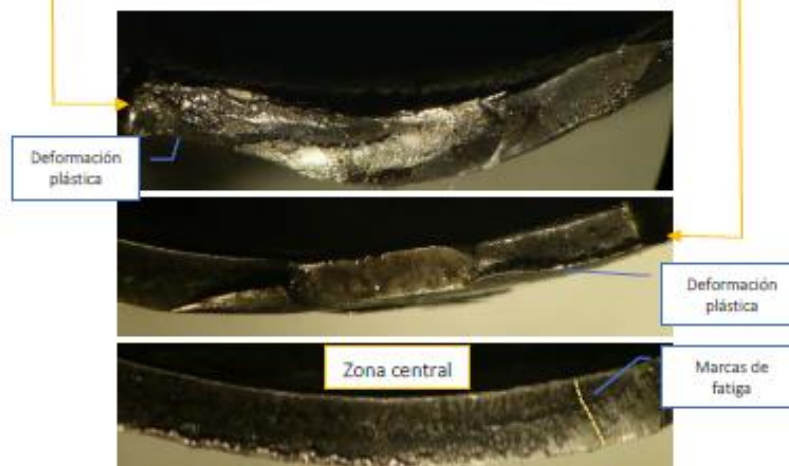
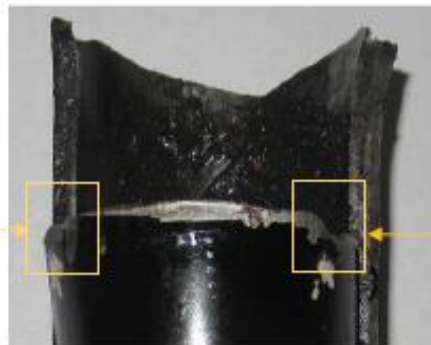


Imagen N°9 – Superficie de fractura

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

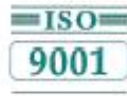
Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-02 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 12/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

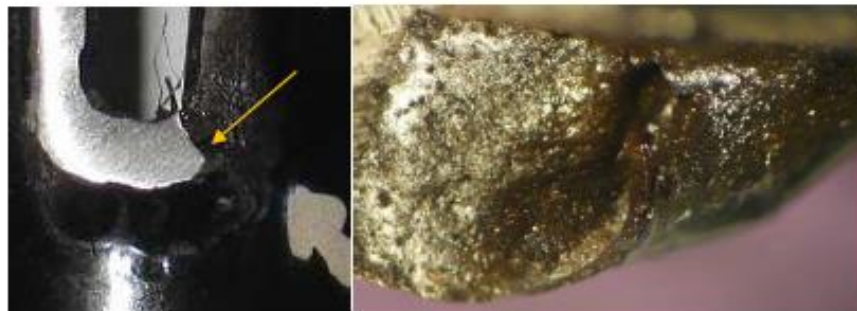
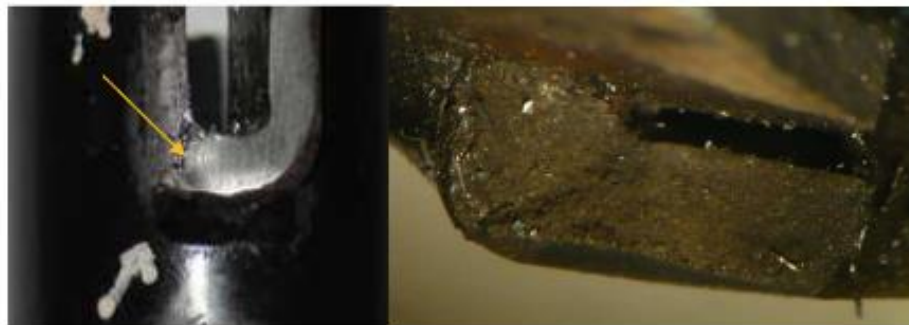


Imagen N°10 – Superficies de fractura sobre unión de cuerpo principal con refuerzo

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-02 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Análisis macroscópico y selección de sectores para estudio metalográfico en pieza "B"

Esta pieza presenta una fractura aparentemente ubicada en la zona afectada por el calor del cordón hacia el lado del ala lateral.

El aspecto de la fractura es del tipo frágil. Se detectan algunas marcas denominadas de Chevrón, características de la morfología de fractura frágil.

En la imagen N°11 se determina la sección para posterior análisis metalográfico. Se realiza un corte para evaluación tanto del cordón unido al cuerpo cilíndrico, como así también de una porción del ala lateral.



Imagen N°11 – Pieza "B" del conjunto Tren de nariz



Imagen N°12 – Superficies de fractura de pieza "B"

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 62 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

IV.- ANALISIS QUIMICO

IV.1- EQUIPAMIENTO Y METODO DE ENSAYO

Norma de ensayo: S/ ASTM EE415

Equipo utilizado: Espectrómetro Espectrotest TAG N° MM 463

IV.2- RESULTADOS

Según se detalla en la tabla N°1 el conjunto "A" presenta en el cuerpo principal un material del tipo AISI 4130. Esta aleación presenta alrededor de 1% de Cromo, 0,30% de Carbono, 0,50% de Manganeso, y luego en menor proporción Silicio y Molibdeno.

Contrariamente, el refuerzo lateral está fabricado de un material de acero de bajo carbono y baja aleación del tipo AISI 1006.

Por lo tanto, de este conjunto "A" el material que determina los riesgos principales a la hora de ser soldado es el AISI 4130.

Numerosos riesgos y cuidados se deben tener en cuenta a la hora de realizar una soldadura.

Uno de los más importantes es evitar el riesgo de aparición del mecanismo de fisuración en frío

Para que este mecanismo tenga lugar deben coexistir las variables definidas a continuación:

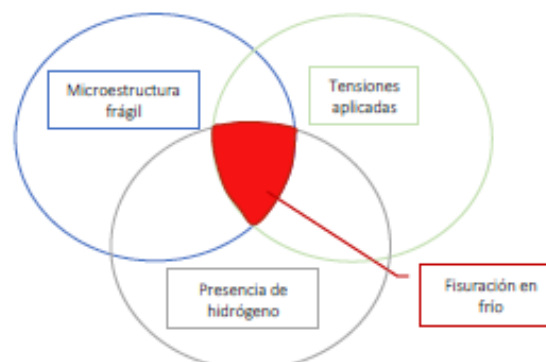


Imagen N°13 – Variables que inciden en el mecanismo de fisuración en frío

Por lo anteriormente mencionado, se desea abordar el impacto de cada una de las variables a la hora de efectuar una unión soldada.

Para disminuir las tensiones aplicadas o residuales debe realizarse una unión que evite concentradores de tensión, una geometría de unión que logre una deposición de material de aporte que evite una distribución heterogénea de tensiones, y una secuencia de soldadura que evite rápidos enfriamientos dejando un nivel de tensiones residuales elevado. Las tensiones a las que estará sometido en servicio no pueden ser modificadas, son las condiciones a las que debe estar sujeto de acuerdo su función.

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 15/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Respecto a la presencia de hidrógeno, se deben utilizar aportes de bajo contenido de hidrógeno, por ejemplo, si se soldara con un proceso de soldadura manual con electrodo revestido, podría ser un aporte básico previamente secado en horno para eliminar el contenido de humedad.

Luego respecto la aparición de una microestructura susceptible del tipo frágil, depende directamente de la composición química de la aleación, y de la velocidad de enfriamiento.

Los elementos de aleación y el contenido de carbono modifican la curva denominada "Temperatura – Tiempo – Transformación" aumentando la templabilidad del material. De esta manera, a una misma velocidad de enfriamiento, al incorporar mayor cantidad de elementos de aleación, la posibilidad de formar martensita es cada vez mayor.

En el presente caso, la aleación AISI 4130 tiene elevada templabilidad, donde una velocidad de enfriamiento no controlada en un proceso de soldadura presenta grandes probabilidades de formar una microestructura martensítica.

Para poder controlar los parámetros que influyen en la aparición del mecanismo de fisuración en frío, se trabaja generalmente con el diagrama de Graville, donde se ingresa con el nivel de carbono y carbono equivalente del material.

Este diagrama define básicamente el comportamiento del material en el proceso de soldadura en tres zonas bien diferenciadas:

ZONA I – Materiales poco susceptibles al proceso de fisuración en frío. No requieren precalentamiento ni post calentamiento de la unión soldada.

ZONA II – Materiales de alto carbono, pero bajo contenido de elementos de aleación. Requieren precalentamiento, pero no obligatoriamente tratamiento térmico post soldadura.

ZONA III – Materiales de alto carbono, y alto contenido de elementos de aleación. Requieren precalentamiento y tratamiento térmico post soldadura.

El precalentamiento tiene doble función, favorece la difusión del hidrógeno, y disminuye la velocidad de enfriamiento, impactando en la probabilidad de generar una microestructura frágil, y a su vez en la disminución de tensiones residuales.

El tratamiento térmico post soldadura, debe realizarse lo más rápido posible luego de realizar la soldadura, disminuye las tensiones residuales, ayuda en la difusión del hidrógeno, y en caso de existir microestructuras susceptibles las "reviene", aumentando su tenacidad.

Por lo anteriormente expuesto, en la imagen N°14 se muestra la ubicación del AISI 4130 en el diagrama de graville. Su clasificación cae dentro de la zona III, por lo que el material debe ser precalentado y sometido a un tratamiento térmico post soldadura.

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 62 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 16/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

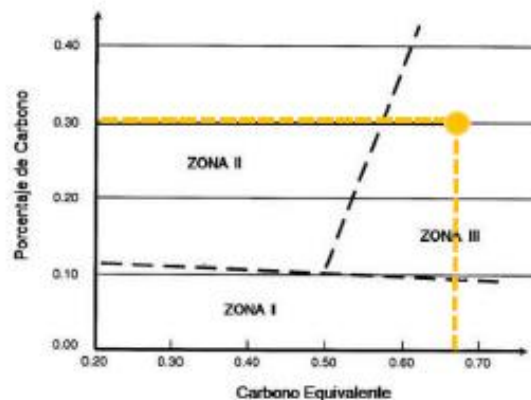


Imagen N°14 – Diagrama de Graville – AISI 4130

En el caso del conjunto "B", el cuerpo principal también está fabricado con un material del tipo AISI 4130. Luego las alas laterales son de AISI 1044, que, si bien presenta bajo contenido de aleantes, tiene un nivel de carbono que coloca al material en la clasificación de la zona II del diagrama de graville.

Para el caso del conjunto "A", otro aspecto importante, es que la soldadura que presenta el conjunto es efectuada por "puntos" con utilización de material de aporte. Esto hace que la velocidad de enfriamiento sea muy elevada.

De esta manera, en la sección de análisis metalográfico y determinación de dureza vickers se evaluará la existencia de:

- Microestructura martensítica (de durezas superiores a los 350HV que puedan evidenciar una elevada fragilidad)
- Defectos internos tipo fisuras
- Puntos concentradores de tensión

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 02 REV 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 17/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Elemento	Símbolo	Cuerpo de horquilla	Refuerzo lateral
		Valor (%)	
Carbono	C	0,29	0,05
Manganeso	Mn	0,54	0,4
Silicio	Si	0,25	0,09
Fósforo	P	0,009	0,006
Azufre	Si	0,003	0,014
Cromo	Cr	0,98	0,07
Níquel	Ni	0,11	0,01
Molibdeno	Mo	0,18	0,01
Clasificación		AISI 4130	AISI 1006



Tabla N°1 – Composición química de pieza "A"

Elemento	Símbolo	Cuerpo de sujeción de horquilla	Ala lateral
		Valor %	
Carbono	C	0,49	0,29
Manganeso	Mn	0,55	0,53
Silicio	Si	0,3	0,23
Fósforo	P	0,012	0,011
Azufre	Si	0,018	0,005
Cromo	Cr	0,13	0,96
Níquel	Ni	0,08	0,11
Molibdeno	Mo	0,01	0,16
Clasificación		1044	4130

Tabla N°2 – Composición química de pieza "B" -

Refuerzo lateral

Cuerpo de horquilla

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

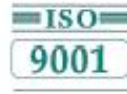
Este certificado no puede ser reproducido salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 62 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 18/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

V.- EXAMEN METALOGRAFICO

V.1- DETERMINACION DE TENOR INCLUSIONARIO, MICROESTRUCTURA Y TAMAÑO DE GRANO

V.1.1- EQUIPAMIENTO Y METODO DE ENSAYO

Normas de ensayo: Determinación de microestructura según ASTM E 3
Determinación de tamaño de grano según ASTM E 112
Determinación de tenor inclusionario según ASTM E45

Equipo utilizado: Microscopio Leica DM 750 M TAG N° MM-378
Reactivo de ataque utilizado: Nitrofluorglicerina
Aumento: 100 - 500 X

VI.1.2- RESULTADOS

Tenor inclusionario en conjunto "A"

Las secciones de análisis "α" y "δ" permiten evaluar el contenido inclusionario del material AISI 4130 y del AISI 1006 respectivamente.

El nivel de inclusiones en ambos materiales es muy bajo, por lo que esta variable no tuvo influencia en la fractura de la pieza.

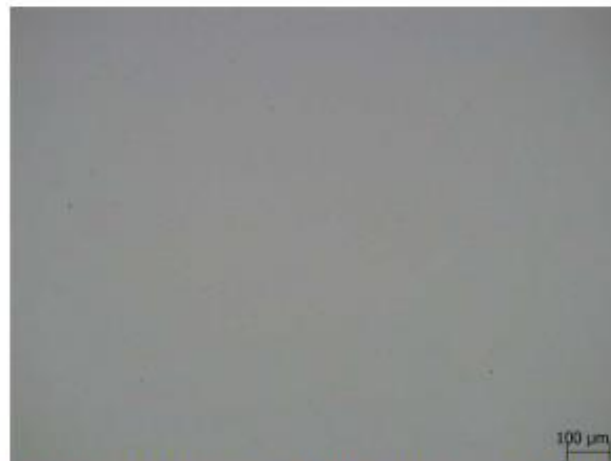


Imagen N°15 – Tenor inclusionario del material de la horquilla AISI 4130 (100X)

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N- 62 REV 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA



Imagen N°16 – Tenor inclusionario del material de la horquilla AISI 1006 (100X)

Tipo de inclusión	Sulfuros (A)		Aluminatos (B)		Silicatos ©		Óxidos globulares (D)	
	Fina	Gruesa	Fina	Gruesa	Fina	Gruesa	Fina	Gruesa
AISI 4130	0	0	0	0	0	0	0,5	0
AISI 1006	0	0	0,5	0	0,5	0	1,5	0,5

Tabla N°3 – Tenor inclusionario del conjunto "A"

Microestructura, tamaño de grano y defectos internos en conjunto "A"

La sección de análisis "β" corresponde al cuerpo de la horquilla que se une al refuerzo en la zona de superficie de fractura superior.

Como se comentó en el análisis macroscópico, esta superficie de fractura presentaba gran cantidad de marcas de playa características del mecanismo de fatiga.

En esta sección se detectan numerosas fisuras que propagan hacia el interior de la pieza tal como se muestra en las siguientes imágenes:

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 20/30

Sres.

JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

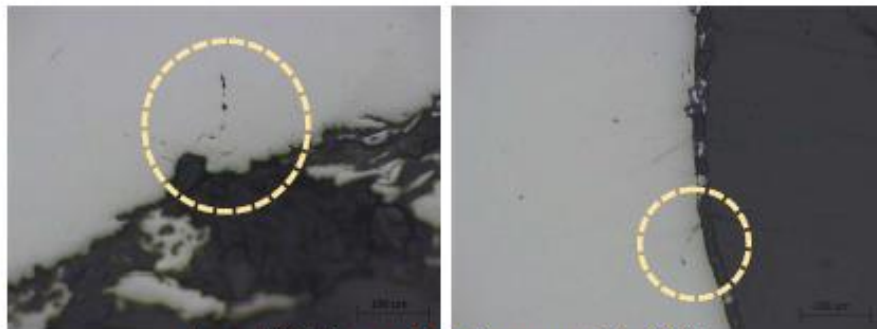


Imagen N°17 – Propagación de fisuras secundarias (200X)
Tamaño de fisuras aproximado de 100 micrones



Imagen N°18 – Propagación de fisura secundaria (100X y 500X)
Tamaño de fisura aproximado de 900 micrones

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 21/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

La sección de análisis "δ" permite evaluar la microestructura del cuerpo de la horquilla, del refuerzo, y evaluar la unión soldada entre ambos.

La microestructura del material AISI 4130 es del tipo martensítica, mientras que la del AISI 1006 es predominantemente ferrítica con muy pequeñas cantidades de perlita.

El tamaño de grano en ambos materiales es fino, en el AISI 4130 es N°8, mientras que en el AISI 1006 es N°7. Cabe destacar que un grano fino favorece el incremento de la resistencia mecánica y de la tenacidad del material.



Imagen N°19 – Microestructura martensítica del material AISI 4130 (200X)



Imagen N°20 – Microestructura ferrítica con pequeñas cantidades de perlita en material AISI 1006 (100X)

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela, C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
sin la autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 62 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

En la unión entre ambos materiales se encuentra el material de aporte con una microestructura predominantemente bainítica. Hacia las zonas afectadas por el calor de cada material base las microestructuras se modifican notablemente. En la ZAC del material AISI 4130 se detecta la microestructura del tipo martensítica (imagen N°21), mientras que en la ZAC del material AISI 1006 se detecta una morfología ferrítica del tipo Widmanstätten (imagen N°22).

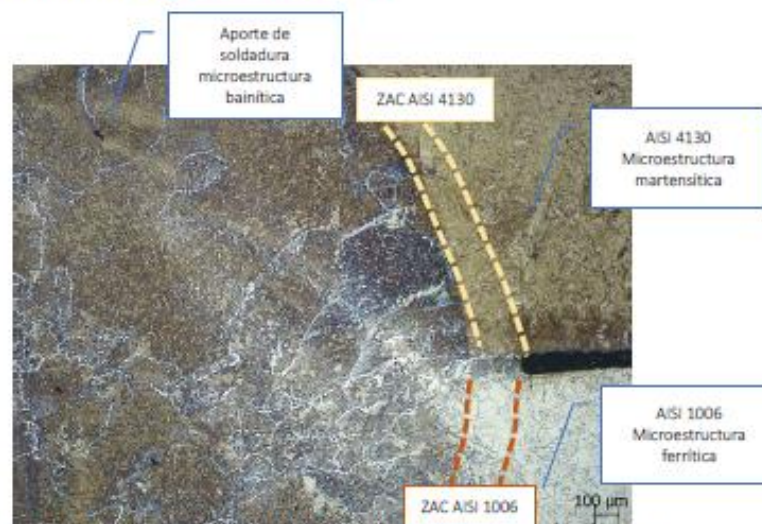


Imagen N°21 – Unión soldada entre material de horquilla y refuerzo (100X)

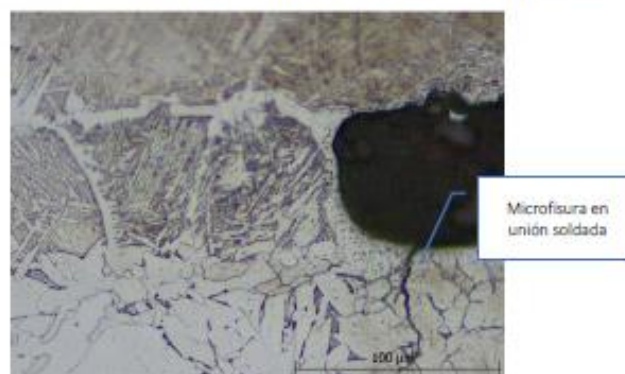


Imagen N°22 – Microestructura Widmanstätten en ZAC AISI 1006 (500X)

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Microestructura, defectos internos y tamaño de grano en conjunto "B"

El tamaño de grano del material de AISI 4130 es fino N°8, mientras que el de AISI 1044 es N°7.

Esta unión presenta dos grandes inconvenientes evidenciados en el análisis metalográfico: defectos en la soldadura (grandes poros, existencia de fisuras, y falta de fusión), y por otra parte el material del ala presenta una microestructura heterogénea con existencia de segregaciones e inclusiones de gran tamaño.



Imagen N°22 – Unión soldada del conjunto "B" (100X y 200X)
Defectos internos en soldadura (porosidad)
Corte metalográfico sobre la soldadura ubicada en la horquilla



Falta de fusión
entre
componentes

Imagen N°23 – Unión soldada del conjunto "B" (100X)
Defectos internos en soldadura (falta de fusión)
Corte metalográfico sobre la soldadura ubicada en la horquilla

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
sin la autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62-REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA



*Imagen N°24 – Unión soldada del conjunto "B" (100X)
Defectos internos en soldadura (fisura)*



*Imagen N°25 – Unión soldada del conjunto "B" (200X)
Defectos internos en soldadura (porosidad y falta de fusión)*

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484.
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

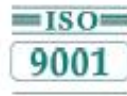
Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 62 REV 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

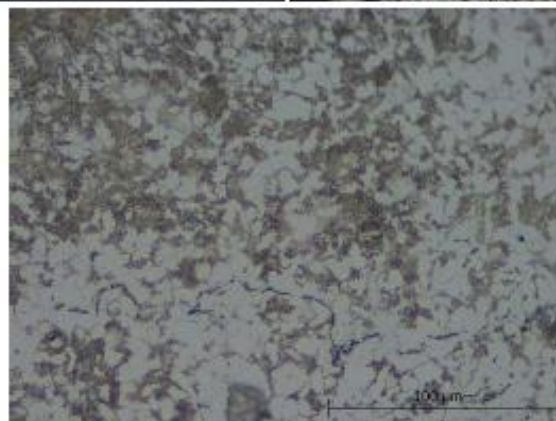
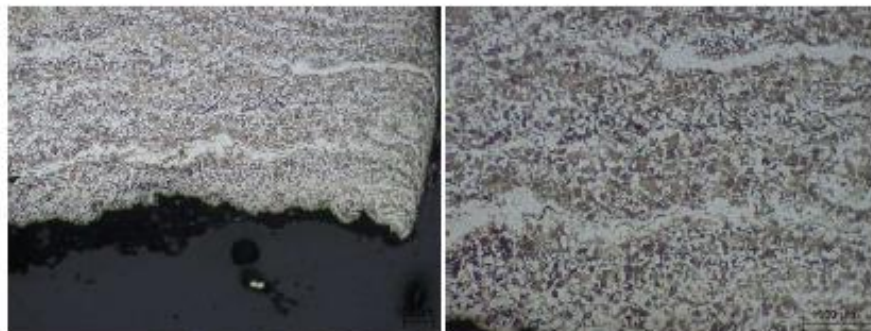
Fecha: 05/07/2021

Hoja: 25/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA



*Imagen N°26 – Heterogeneidad microestructural en material del ala
Microestructura predominantemente perlítica con bandas de ferrita
Inclusiones en regiones ferríticas (100X, 200X y 500X)*

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

VI.- ANALISIS DE MICRODUREZA VICKERS

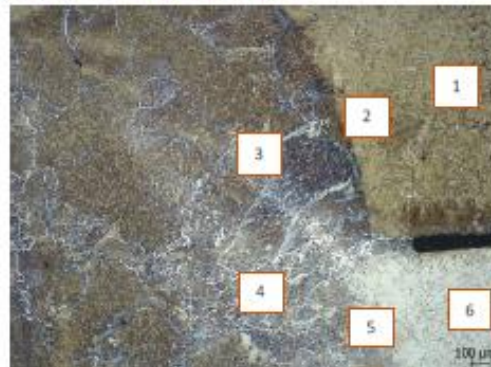
VI.1- EQUIPAMIENTO Y METODO DE ENSAYO

Norma de ensayo: ASTM E384
Microdurómetro Buehler Wilson VH 1150 TAG N° MM 405
Carga utilizada: 1kg.
Tiempo de aplicación de carga: 15 seg.
Zona de análisis: Según imagen N°10

VI.1.2- RESULTADOS

Valores de dureza de unión soldada conjunto "A"

Sobre distintos sectores de la unión soldada se toman valores de dureza Vickers para evaluar la existencia de microestructura frágil. Para la determinación de cada valor se tomaron un promedio de 5 valores. Puede notarse que en la zona afectada por el calor del lado de la horquilla la microestructura alcanza un valor de dureza de 600HV, característico de una martensita frágil.



N° zona	Denominación del sector	HV1
1	MB horquilla	250
2	ZAC horquilla	605
3	Soldadura lado horquilla	325
4	MB lado refuerzo	140
5	ZAC lado refuerzo	147
6	Soldadura lado refuerzo	262

Tabla N°4 – Determinación de dureza Vickers en unión soldada del conjunto "A"

División Metalmecánica

División Plásticos y Gomas

División Análisis Ambientales

División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. CP 1702.

Prov. de Buenos Aires - Argentina.

Línea Rotativa: 4712-5484

ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido salvo autorización expresa de LABTESA S.A. Los resultados se refieren exclusivamente a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.

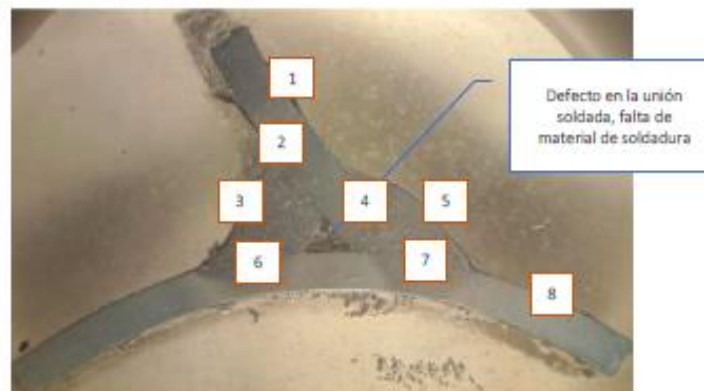
Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Valores de dureza de unión soldada conjunto "B"

Al igual que para el conjunto "A", en este caso también se busca la existencia de microestructuras frágiles. En la siguiente imagen y tabla se determinan las zonas de análisis y los correspondientes valores obtenidos. Se observa que en la zona afectada entre el material de aporte y el cilindro los valores son elevados, denotando la existencia de una martensita frágil.



N° zona	Denominación del sector	HV1
1	MB ala	205
2	ZAC ala	273
3	Aporte de soldadura	178
4	ZAC ala (2)	255
5	Aporte de soldadura (2)	180
6	ZAC cilindro	380
7	ZAC cilindro (2)	368
8	MB cilindro	280

Tabla N°5 – Determinación de dureza Vickers en unión soldada del conjunto "B"

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
sin la autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 28/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

VII.- CONCLUSIONES

Los análisis y ensayos realizados ponen de manifiesto:

Pieza "A"

1. La horquilla ha sido fabricada con un material del tipo AISI 4130, con una dureza de núcleo del orden de los 320 HV. Su microestructura es del tipo martensítica, presenta un tamaño de grano fino N°8 y un tenor inclusionario muy bajo.
2. El refuerzo lateral ha sido fabricado con un material del tipo AISI 1006, con una dureza de núcleo del orden de los 140HV. Su microestructura es predominantemente ferrítica con pequeñas cantidades de perlita, presenta un tamaño de grano fino N°7 y un tenor inclusionario muy bajo.
3. Por lo expresado en las conclusiones N°1 y 2, los materiales base no presentan un estado de base de deterioro o debilitamiento que haya podido favorecer la rotura del componente.
4. En el análisis macroscópico de las superficies de fractura se evidenció el avance de un fenómeno progresivo de debilitamiento por mecanismo de fatiga. Luego la rotura de las secciones remanentes es en su mayoría de características frágiles. Sin embargo, hay pequeños sectores de la sección de rotura inferior de la horquilla que presentan leve deformación plástica en los extremos.
5. En el análisis microscópico se detectaron fisuras secundarias sobre la superficie de fractura superior de la horquilla que podrían corresponder a la actuación del mismo mecanismo de fatiga.
6. Al evaluar la microestructura y su correlación con la determinación de dureza Vickers en los distintos sectores se confirma la existencia de una martensita frágil en la zona afectada por el calor entre el material de la horquilla y el aporte de soldadura.
7. El tipo de unión soldada por puntos de material de aporte deja distintas zonas como concentradores de tensión. Así mismo, este tipo de soldadura presenta rápidos enfriamientos que favorecen la nucleación de microestructuras frágiles.
8. Finalmente, el componente falla por:
 - Accionar de cargas cíclicas que producen un mecanismo de fatiga. Este debilitamiento progresivo trabaja especialmente sobre el material AISI 4130.
 - Luego debido a un sobreesfuerzo final, falla la sección remanente de este material, y las uniones soldadas que presentan comportamiento frágil (microestructura martensítica sin revenido), ayudado por la existencia de concentradores de tensión.

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N-62 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 29/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Pieza "B"

1. El cuerpo de la pieza "B" ha sido fabricada con un material del tipo AISI 4130, con una dureza de núcleo del orden de los 280 HV. Su microestructura es del tipo martensítica, presenta un tamaño de grano fino N°8 y un tenor inclusionario muy bajo.
2. El ala de la pieza "B" ha sido fabricada con un material del tipo AISI 1044, con una dureza de núcleo del orden de los 205HV. Su microestructura es heterogénea; predominantemente perlítica, con existencia de bandas de ferrita. Presenta inclusiones de gran tamaño sobre la región ferrítica.
3. La unión soldada presenta diversos defectos (falta de fusión, porosidad y fisuras), que favorecieron el tipo de fractura del componente.
4. Macroscópicamente la fractura presenta un aspecto frágil y propaga sobre la zona afectada por el calor hacia el lado del Ala.
5. Los valores de dureza obtenidos en la unión muestran también la existencia de martensita frágil, aunque de menores valores que los del conjunto "A".

VIII.- RECOMENDACIONES

Pieza "A"

1. La unión soldada debe ser precalentada y posteriormente tratada térmicamente para disminuir el nivel de tensiones residuales, favorecer la difusión del hidrógeno, y evitar la aparición de una microestructura martensítica frágil.
2. La soldadura no debe ser efectuada en puntos específicos. Se recomienda realizar una unión completa en toda la zona de contacto entre el cuerpo de la horquilla y el refuerzo lateral.
3. Elegir un material de aporte y un proceso que introduzca bajo contenido de hidrógeno en la soldadura.
4. Evaluar detalladamente el nivel de tensiones al que está sometido el refuerzo lateral, para analizar la necesidad de colocar materiales aleados como el del cuerpo principal.
5. Luego de las modificaciones correspondientes, se puede analizar la vida útil del conjunto que claramente se rige por esfuerzos de cargas cíclicas. De esta manera, en futuras ocasiones podrán reemplazar la pieza de forma previa a la rotura del componente.

División Metalmecánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N° 62 REV. 1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.



Laboratorios Termoionic S.A.

Desde 1980, trabajando para la Industria con compromiso y excelencia



O.T. N°481554

Fecha: 05/07/2021

Hoja: 30/30

Sres.
JUNTA DE SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE

CERTIFICADO DE ANALISIS

ANALISIS DE CAUSA DE FALLA

Pieza "B"

1. Al igual que en la conclusión N°1 del conjunto A, se recomienda aplicar precalentamiento y postcalentamiento al proceso de soldadura.
2. Realizar un análisis destructivo de un Ala del lote a utilizar para detectar problemas metalúrgicos como los hallados en el presente estudio.
3. Realizar el proceso de unión de soldadura con la documentación que asegure una unión de calidad, evitando defectos (porosidad, falta de fusión, etc).



Mrs. Colli Marín
División Técnica
Metalmeccánica y Ensayos Mecánicos

División Metalmeccánica
División Plásticos y Gomas
División Análisis Ambientales
División Calibraciones

Brandsen 2933 - Ciudadela. C.P 1702.
Prov. de Buenos Aires - Argentina.
Línea Rotativa: 4712-5484
ventas@labtesa.com.ar www.labtesa.com.ar

Este certificado no puede ser reproducido
salvo autorización expresa de LABTESA S.A.
Los resultados se refieren exclusivamente
a la muestra ensayada. FORMULARIO N°-02 REV.1

DOCUMENTO FIRMADO ELECTRONICAMENTE POR LABTESA LABORATORIOS TERMOIONIC S.A.