



INFORME FINAL
N° 060618

EMPRESA		FECHA INSPECCIÓN	
PLANTA		EQUIPO/TAG	
ATENCIÓN		PREPARÓ	Alejandro Soto Espinoza

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe resume los resultados de la inspección y ensayos metalúrgicos a un trozo de plancha de acero perteneciente a la zona de popa rasel de un buque de pesca XXX de acuerdo a las instrucciones recibidas por el mandante

El trozo de plancha analizada fue provista por el mismo cliente.



VISTA GENERAL DEL SECTOR DE POPA DE DONDE SE EXTRAJO EL TROZO DE PLANCHA ANALIZADO.

2. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS Y ENSAYOS.

2.1 Inspección visual.

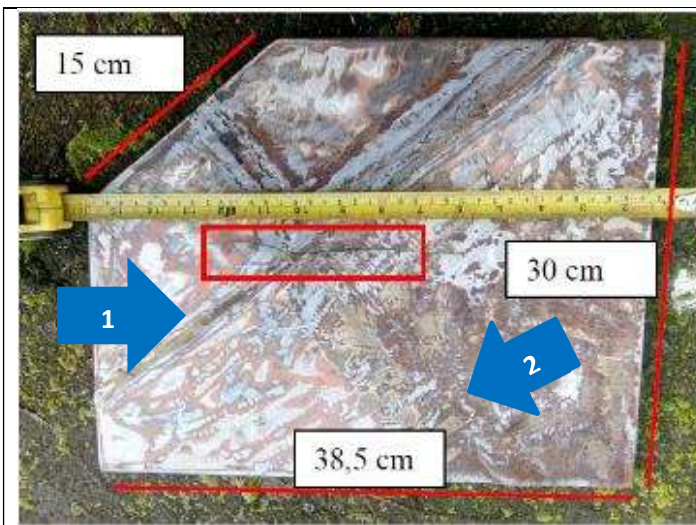


Foto N°1: En la fotografía se observa las dimensiones de la plancha analizada, con presencia de una grieta de aproximadamente 220 mm de longitud en el centro de ésta (recuadro rojo). Se observan además tres cordones de soldadura: uno con gran sobre-monta (cordón de flecha azul 1) con aporte por ambos lados (bisel en X) y dos cordones paralelos (cordones de flecha azul 2) muy a ras de la plancha y aporte por un solo lado (bisel en v).



Foto N°2: En la imagen se puede observar la cara posterior de la plancha analizada, con la grieta presente también en este lado de la plancha ("grieta pasante").



- Se observó que la grieta se extendía desde los cordones de soldadura hacia la plancha en longitudes muy similares tal como lo indican las flechas amarillas de la figura superior.
- Llama la atención que existan dos cordones de soldadura paralelos y más cercanos de lo que permitirían las casas clasificadoras (200 mm aproximadamente como mínimo entre cordones).
- Se observó que uno de los cordones presentaba una sobre-monta excesiva e irregular con restos de lo que parece correspondía a una antigua reparación (micro cavidades de torchado) además de falta de fusión parcial de los bordes del cordón de terminación.
- De acuerdo a lo que indicó el cliente, todos los cordones de soldadura existentes en la plancha en estudio corresponderían a soldaduras de fabricación.

2.2. Análisis químico.

	INFORME FINAL N° 060618	
---	--	--

Se efectuó análisis químico al metal base y a los cordones de soldadura mediante espectrómetro de emisión óptica marca Spectromexx. El resultado fue el siguiente:

Medición	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
Metal Base	0.129	0.204	0.91	0.022	0.019	0.045	0.050	0.0020	0.041
Soldadura reparada	0.097	0.472	1.13	0.025	0.015	0.030	0.033	0.0020	0.014

Tabla 2. Resultados de análisis químico en puntos de la plancha

De acuerdo a los resultados obtenidos por espectroscopia de emisión óptica, el **material base** corresponde a un acero ASTM A36 el cual debe cumplir con la siguiente composición según indica el estándar:

%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni	%Nb
0.26	0.80-	0.040	0.050	0.40	-	-	-
max.	1.20	max.	max.	max			

Tabla 3. Composición química de un acero ASTM A36 (% en peso).

En el caso de la soldadura reparación, el electrodo utilizado corresponde a la clasificación AWS E7018, con la siguiente composición estándar:

Electrodo	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni
E7018	0.09	1.05	0.015.	0.010.	0.55	-	-

2.3 Ensayos metalográficos.



INFORME FINAL
N° 060618

Las muestras fueron preparadas de acuerdo a las directrices establecidas en la norma ASTM E3, "Standard guide for preparation of metallographic specimens". Para el desbaste primario y fino se utilizaron sucesivas lijas de CSi hasta alcanzar un grano N° 1.200 y el pulido posterior se realizó con alúmina de granulometría 0.05 µm. El reactivo químico utilizado para revelar la microestructura fue NITAL. El microscopio utilizado para la captura de imágenes fue un Microscopio invertido de banco, con aumentos de 100X, 200X, 500X y 1000X, implementado con una cámara digital especialmente añadida al microscopio.



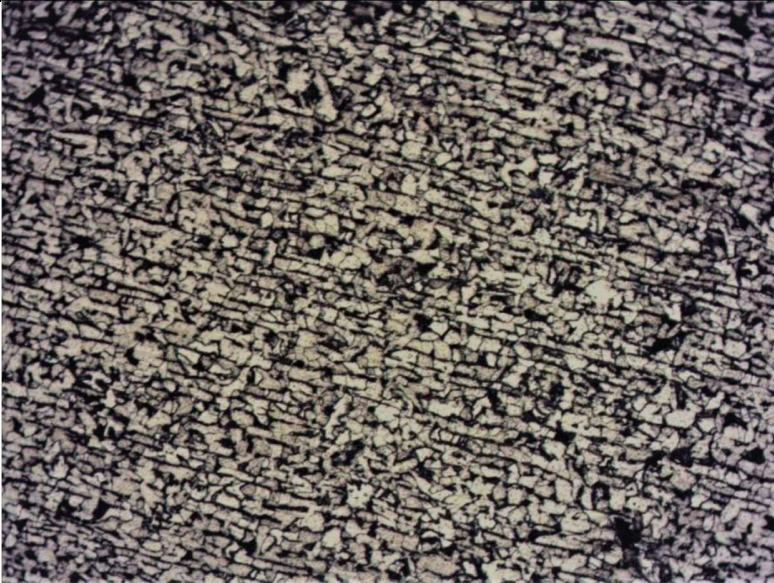
Figura N°5: Zonas analizadas por metalografía

Nota: La soldadura N°1 presenta un cordón de soldadura superior y un cordón de soldadura inferior (bisel en X). La soldaduras N°2 y N°3 presentan aporte de material sólo por la cara exterior (bisel en V).

METAL BASE

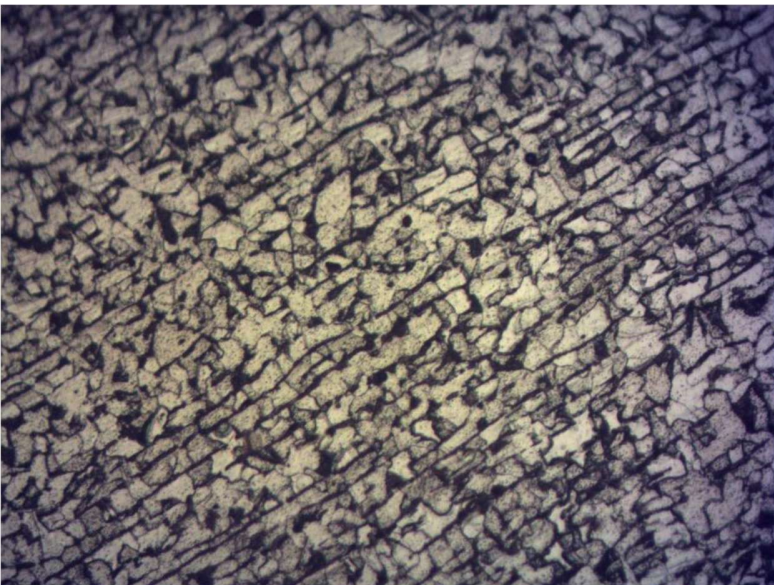


INFORME FINAL
N° 060618



Aumento:100X

Metalografía N°1: En la metalografía se observan granos de ferrita (fase clara) y colonias de perlita bandeada (fase oscura).



Aumento:200X

Metalografía N°2: En la imagen se observan, claramente los granos de ferrita, con perlita bandeada en la dirección de laminación del material.

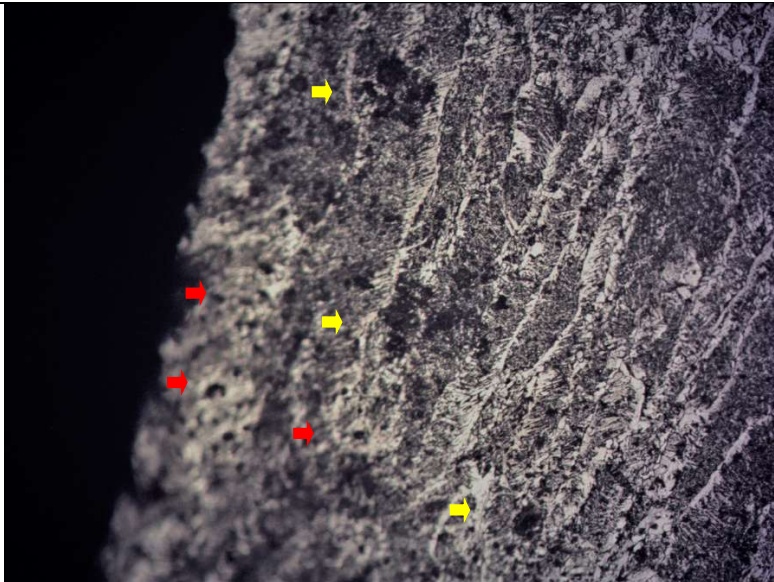
RESULTADOS SOLDADURA 1-SUPERIOR

Metalografía N°1

Comentarios



INFORME FINAL
N° 060618

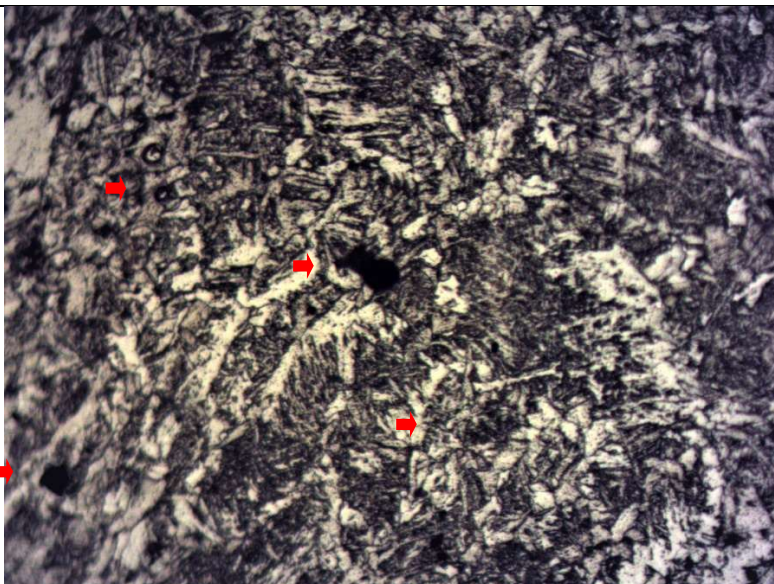


Aumento: 100X

Metalografía N°1: En la microestructura de la soldadura se observa ferrita widmanstatten, como también gran cantidad de escoria atrapada (flechas amarillas) y porosidad (flechas rojas).

Metalografía N°2

Comentarios



Aumento:200X

Metalografía N°2: En la imagen, se observan claramente la presencia de ferrita widmanstatten y gran cantidad de poros (flechas rojas).

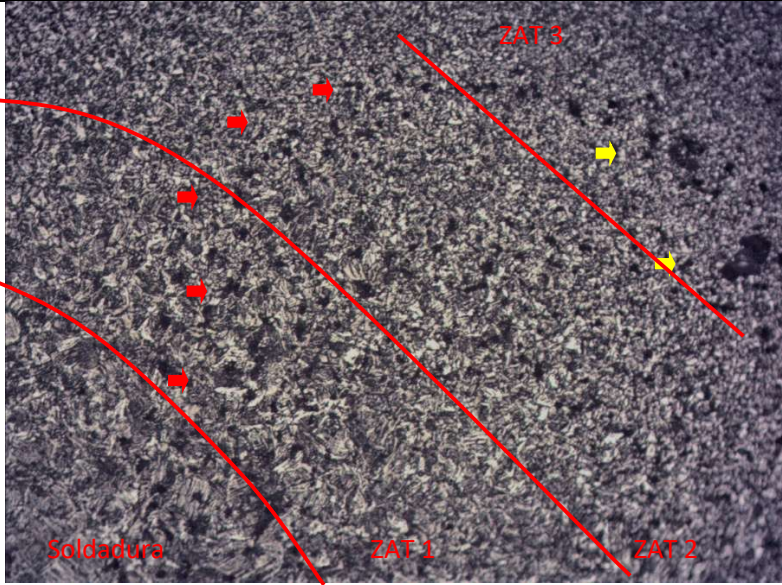
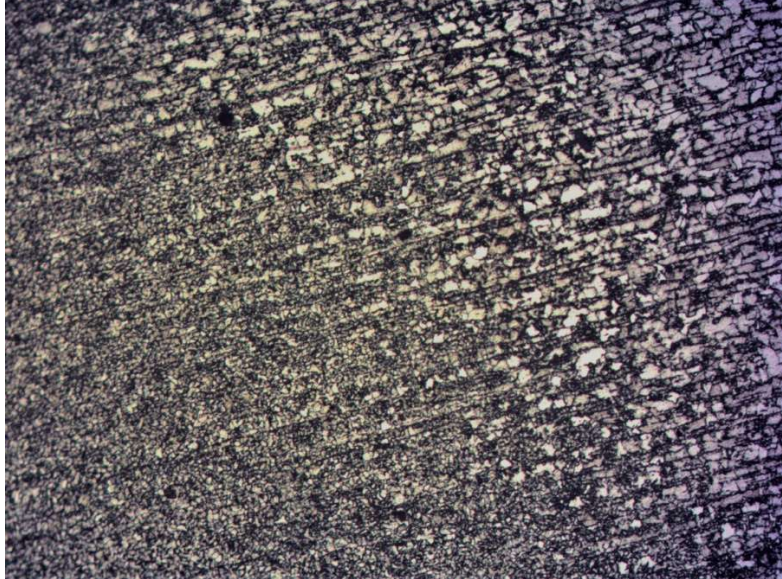
1.1 RESULTADOS SOLDADURA 1-SUPERIOR

Metalografía N°3

Comentarios

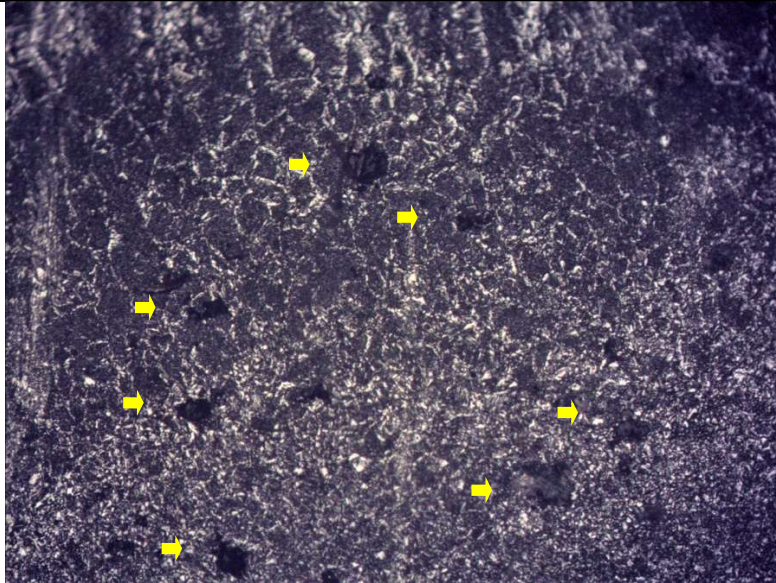


INFORME FINAL
N° 060618

 <p>Aumento: 100X</p>	<p>Metalografía N°3: En la imagen se observan diferentes zonas afectadas térmicamente (ZAT), la ZAT 1, todavía queda evidencia de ferrita widmanstatten, la ZAT 2 está compuesta de ferrita al igual que la ZAT 3, pero con diferente tamaño de grano de ferrita. Además, de gran cantidad de poros (flechas rojas) y escoria (flechas amarillas).</p>
<p>Metalografía N°4</p>	<p>Comentarios</p>
 <p>Aumento: 100X</p>	<p>Metalografía N°4: En la microestructura, se observa la interfase ZAT-Metal base, con la ZAT compuesta de granos de ferrita y el metal base con granos de ferrita y bandeado de perlita.</p>
<p>RESULTADOS SOLDADURA 1-INFERIOR</p>	
<p>Metalografía N°1</p>	<p>Comentarios</p>



INFORME FINAL
N° 060618



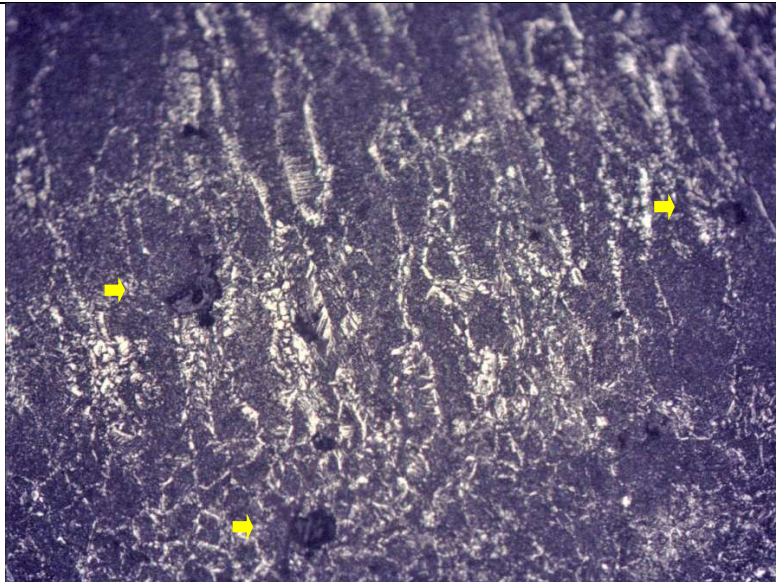
Aumento:100X

Metalografía N°1: Las flechas amarillas indican gran cantidad de escoria atrapada en la soldadura y zona afectada térmicamente

(Flechas amarillas), la soldadura está compuesta de ferrita widmanstatten y la ZAT de granos de ferrita.

Metalografía N°2

Comentarios



Aumento:100X

Metalografía N°2: Las flechas amarillas indican la presencia de escoria atrapada proveniente del proceso de soldadura, la soldadura está compuesta de ferrita widmanstatten.

RESULTADOS SOLDADURA 2

Metalografía N°1

Comentarios

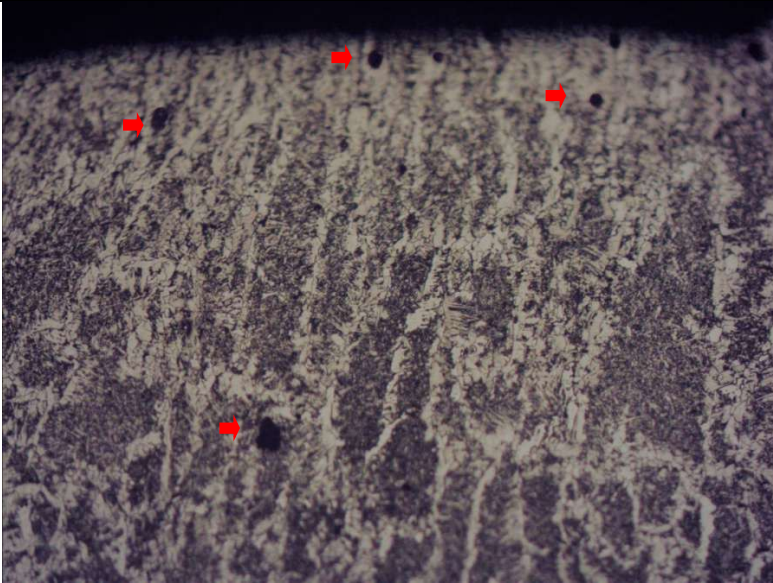


INFORME FINAL
N° 060618

<p>Aumento:200X</p>	<p>Metalografía N°1:La soldadura 2, está compuesta en su microestructura por ferrita widmanstatten y gran cantidad de porosidad, ver flechas rojas.</p>
<p>Metalografía N°2</p>	<p>Comentarios</p>
<p>Aumento:100X</p>	<p>Metalografía N°2: Interfase entre la zona afectada térmicamente (ZAT) y el material base. La ZAT está compuesta por granos de ferrita, mientras que el material base está formada de ferrita y perlita bandeada.</p>
<p>RESULTADOS SOLDADURA 3</p>	
<p>Metalografía N°1</p>	<p>Comentarios</p>



INFORME FINAL
N° 060618

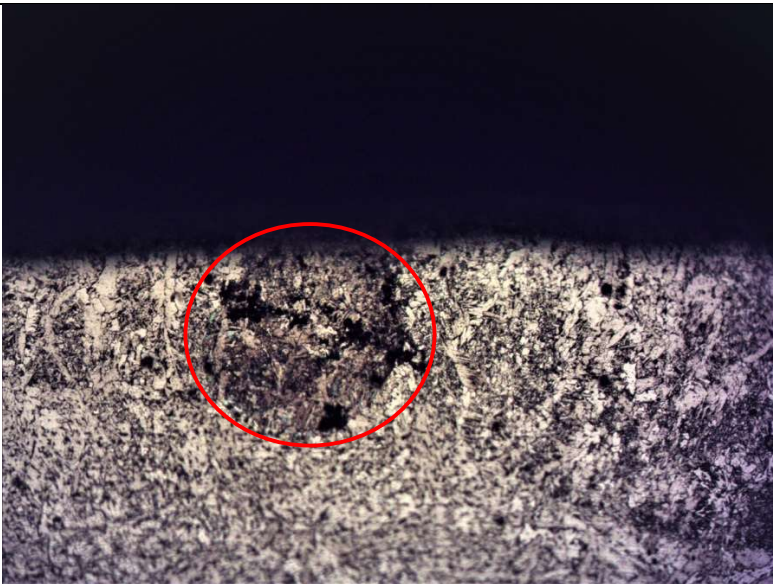


Aumento:200X

Metalografía N°1: En la imagen se observa la soldadura 3, compuesta por ferrita widmanstatten y gran cantidad de poros.

Metalografía N°2

Comentarios



Aumento:100X

Metalografía N°2: Se observa en la soldadura gran cantidad de escoria (ver círculo rojo en la metalografía)

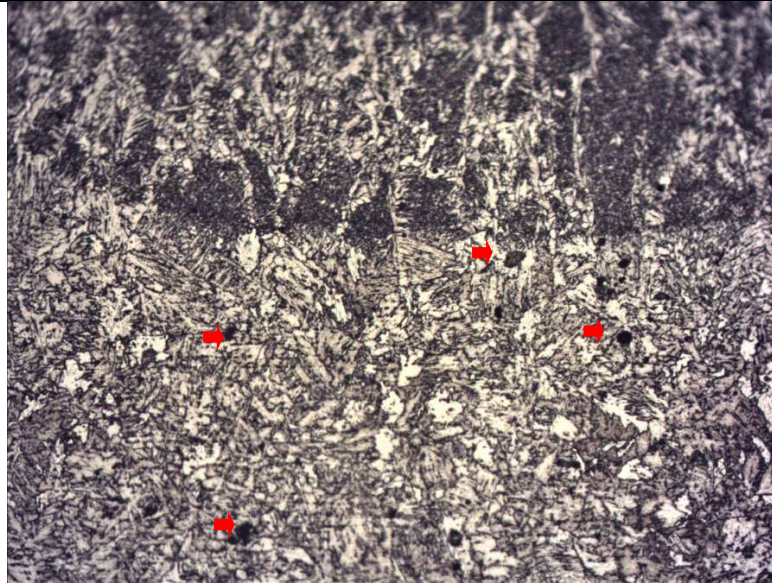
RESULTADOS SOLDADURA 3

Metalografía N°3

Comentarios



INFORME FINAL
N° 060618

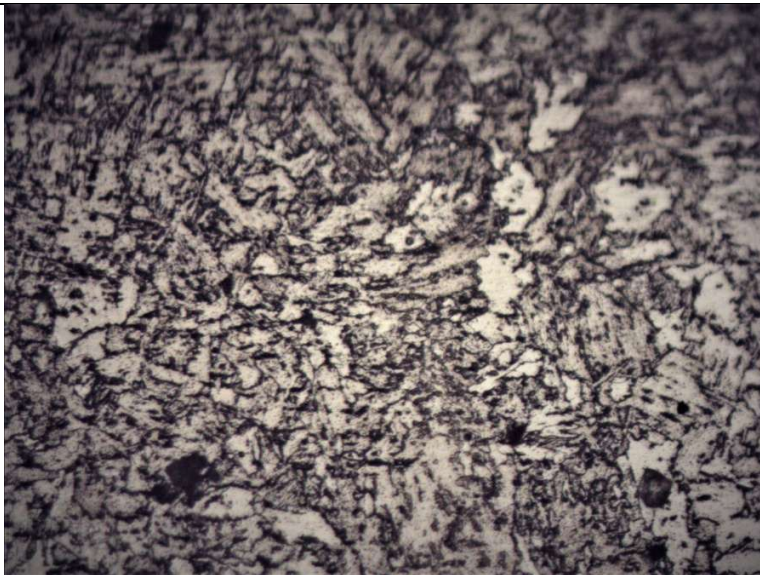


Aumento:100X

Metalografía N°3: En la imagen se observa la interfase soldadura, zona afectada térmicamente (ZAT). En la ZAT, todavía quedan vestigios de ferrita widmanstatten, pero está formada principalmente de granos de ferrita y un gran número de poros (flechas rojas).

Metalografía N°4

Comentarios



Aumento:100X

Metalografía N°4: En la imagen se observa la zona afectada térmicamente (ZAT) compuesta por granos de ferrita

En resumen:



INFORME FINAL
N° 060618

Material base: El material base utilizado en la construcción de la plancha analizada está compuesta por granos de ferrita y perlita bandeada, esta última fase se encuentra bandeada o en la dirección de su deformación, por el laminado en caliente que se realiza en su proceso de conformado.

Material de aporte (soldadura): Todas las soldaduras analizadas se encuentran compuestas por ferrita widmanstatten estructura normal de un electrodo "as weld" AWS 7018, con gran cantidad de escoria atrapada y poros producto de un inadecuado procedimiento de soldadura.

2.4. Ensayos de dureza

Complementario al ensayo metalográfico, se procedió a medir la dureza superficial en el metal base y en los distintos cordones de soldadura. Los datos de dureza fueron obtenidos utilizando un equipo de banco en escala Rockwell B.

El barrido de durezas se realizó en las mismas zonas donde se efectuó el estudio metalográfico (Figura N°5), las mediciones se hicieron de acuerdo a la norma ASTM E-18 "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials".

Los resultados de las mediciones en las diferentes zonas analizadas se señalan en la tabla siguiente:

ZONA	Dureza 6 mediciones (HRB)						Promedio
Material Base	80.1	78.9	80.4	81.0	78.2	78.6	79.5
Soldadura 1-Superior	83.5	85.7	85.2	84.9	84.6	83.9	84.6



INFORME FINAL
N° 060618

Soldadura 1-Inferior	86.3	84.6	85.9	85.4	84.9	86.1	85.5
Soldadura 2	79.2	85.2	85.7	88.6	84.8	83.9	84.5
Soldadura 3	81.5	82.1	80.5	80.6	81.9	82.7	81.6

Tabla N°5: Durezas zonas de plancha soldada en escala Rockwell B (HRB).

En resumen:

Material base: El material base tiene una dureza promedio de 79.5 rockwell B, dur. La dureza normal de un material del tipo ASTM A-36 se encuentra entre los 72 y 90 Rockwell B, dependiendo de la cantidad de carbono en el acero, a mayor cantidad de carbono mayor es la dureza.

Material de aporte (soldaduras): Todas las soldaduras analizadas se encuentran sobre los 81 rockwell B, característica natural de una soldadura compuesta de ferrita widmanstatten.



INFORME FINAL
N° 060618

2.5 Ensayos de tracción

El ensayo fue realizado basado en la norma ASTM E-8 “*Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*”. Se tomaron dos secciones como se muestran en la figura N°6, generando probetas planas, de las cuales se obtuvieron las propiedades del material como: Esfuerzo de Fluencia, Resistencia a la tracción, Esfuerzo de ruptura y porcentaje de elongación. Es importante señalar que **en el centro de las probetas se encuentra la soldadura**. Los resultados promedios de tracción para cada muestra son señalados en la tabla N°6:

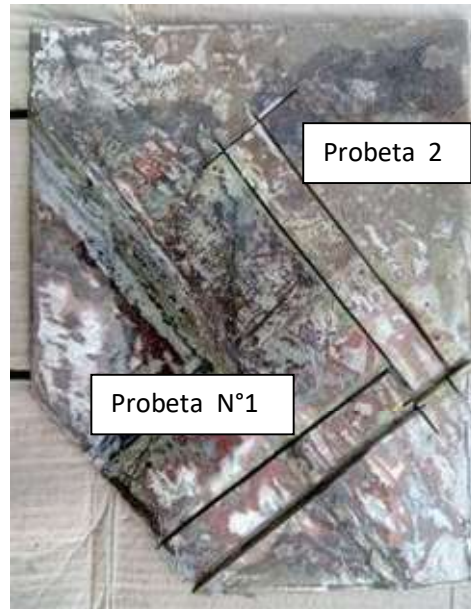


Figura N°6: Ubicación de la extracción de las probetas de tracción.

Probeta 1: Probeta de tracción con soldadura de reparación, bisel en V.

Probeta 2: Probeta de tracción con soldadura en doble V.



INFORME FINAL
N° 060618

Probeta	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	% elongación
N°1	229.4	481.7	22.2
N°2	359.9	502.1	19.6
NORMA E7018-AWS A5.1	400 min	490 min	22 min

Tabla N°6: Resultados ensayo de tracción plancha reparada por soldadura analizada.

En resumen:

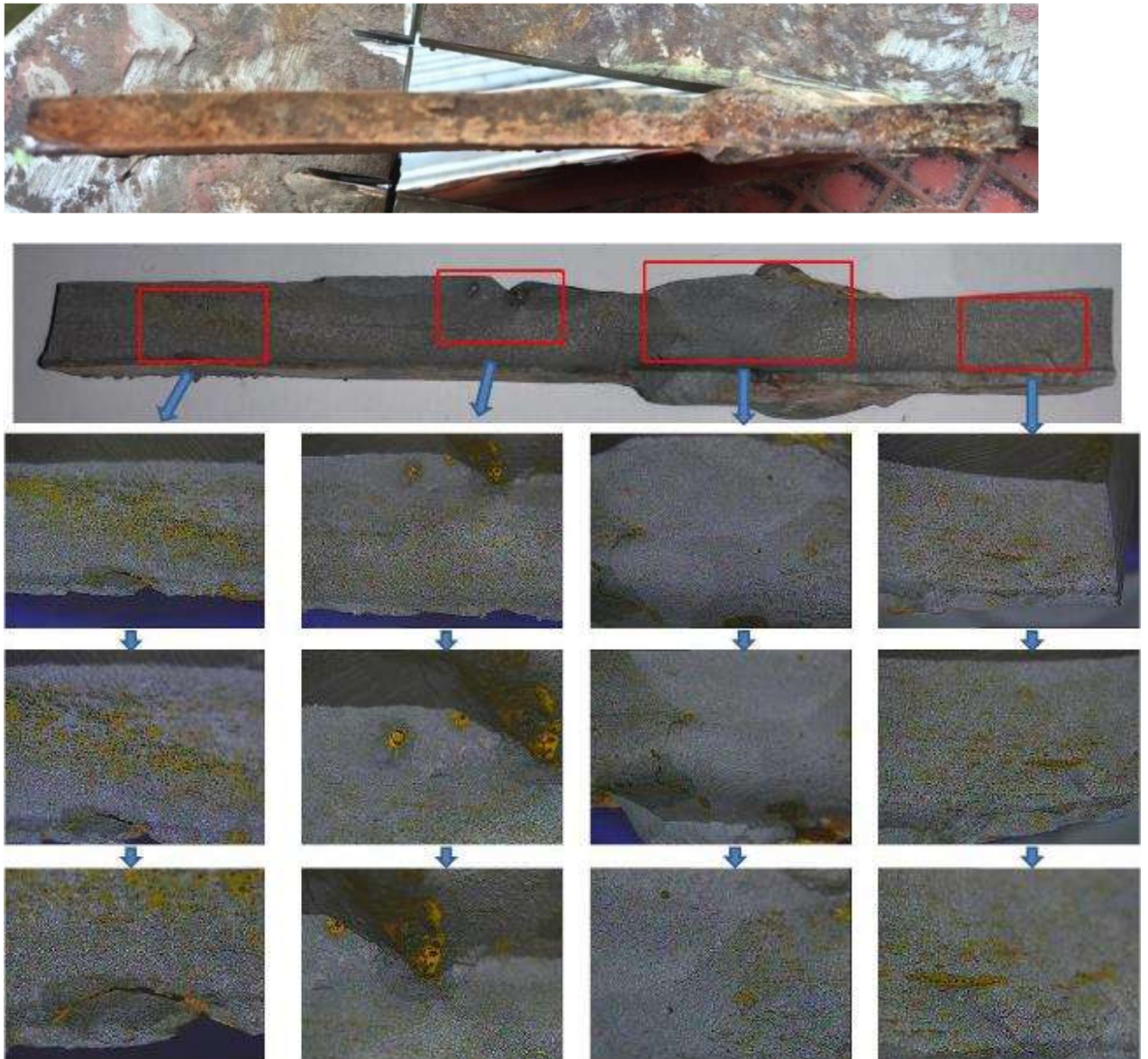
De acuerdo a los requerimientos de soldadura, utilizando un electrodo del tipo E7018, se debe tener un esfuerzo de fluencia mínimo de 400 MPa, una resistencia a la tracción mínima de 490 MPa y una elongación de al menos un 22%. La probeta N°1, donde se encuentra la soldadura de reparación, no cumple con los requerimientos mínimos de fluencia, ni de resistencia a la tracción, solo cumple con el valor de elongación (ver tabla N°6). En el caso de la probeta N°2, donde se encuentra la soldadura original, solo cumple con la resistencia a la tracción con un valor de 502.1 MPa, mientras que el valor de fluencia y elongación, se encuentran bajo los requerimientos mínimos para una soldadura utilizando un electrodo del tipo E-7018.



INFORME FINAL
N° 060618

2.6 Ensayo fractográfico.

Para realizar el estudio de la fractura fue necesario realizar un decapado de la superficie de la fractura, debido a la gran cantidad de oxido adherido a su superficie, los resultados se observan en la siguiente figura:



 <p>FAMET[®]</p>	<p>INFORME FINAL N° 060618</p>	
--	------------------------------------	--

En resumen:

La superficie de fractura muestra diferentes defectos de soldadura de las cuales podemos nombrar:

- a) Alineamiento de poros.
- b) Atrapamiento de escoria.
- c) falta de fusión.
- d) micro-grietas.

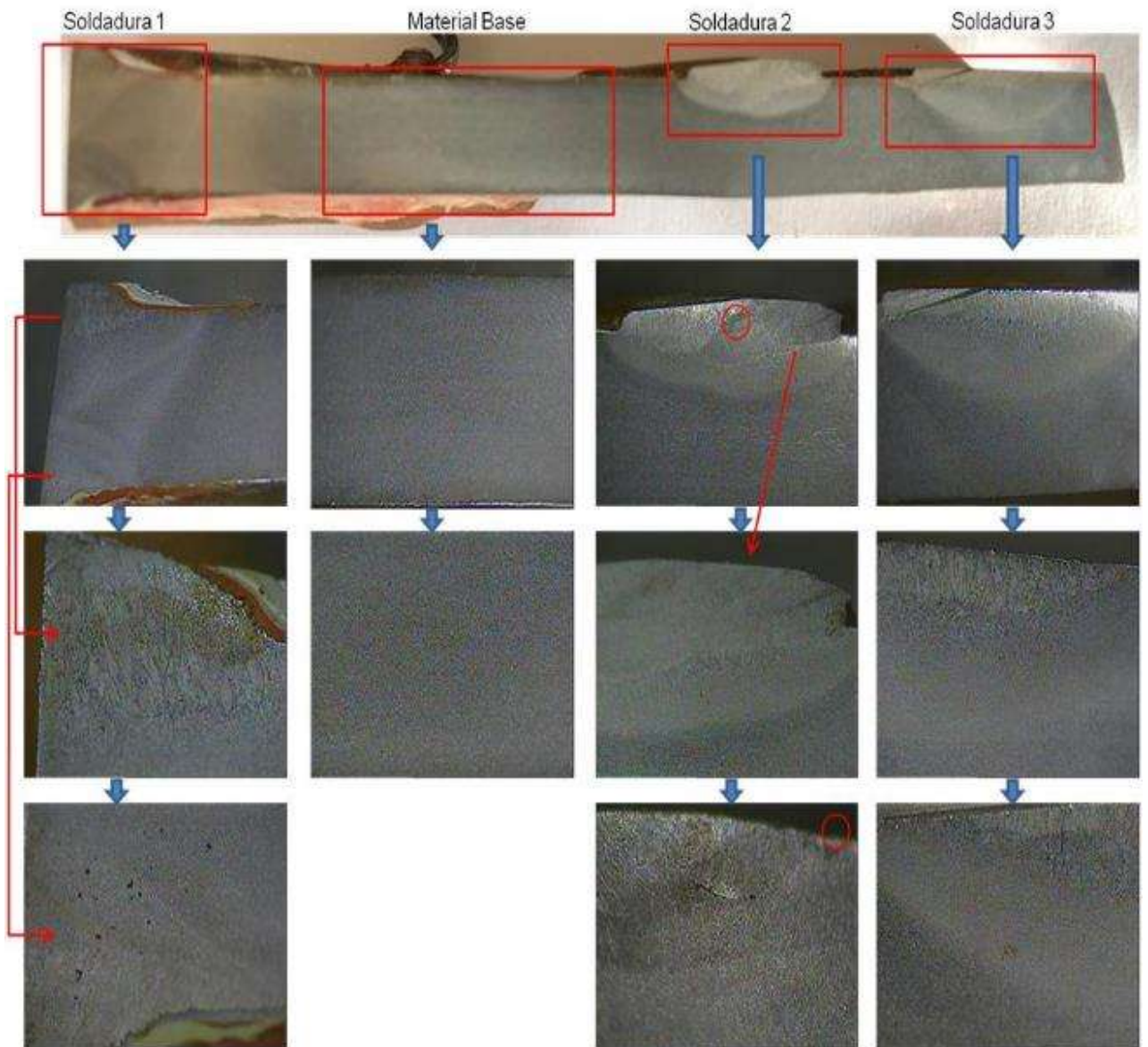
No se observan signos de **fatiga** en la superficie de la grieta.



INFORME FINAL
N° 060618

2.7. Ensayo macrográfico

En la siguiente imagen se observa la macrografía de la misma muestra analizado por metalografía:



	INFORME FINAL N° 060618	
---	--	--

En resumen:

Al igual que los resultados de metalografía, el material base se encuentra en buenas condiciones sin la presencia de defectos en su microestructura, en cambio las soldaduras presentan atrapamiento de escoria, porosidad y falta de fusión, lo anterior por un mal procedimiento de soldadura.



INFORME FINAL
N° 060618

3. DISCUSIONES DEL MECANISMO DE FALLA

De acuerdo con los resultados anteriores se aprecia que el **metal base** corresponde efectivamente a un acero estructural AH36 en cuyas metalografías no se apreciaron microestructuras o morfologías cristalinas distintas a las que debe poseer un acero de esta clasificación, en definitiva, es un acero sano metalúrgicamente.

En el **metal de aporte** (soldadura) a pesar de que su composición química se encontró dentro del rango que indica el estándar respectivo, se detectaron importantes micro-defectos, a saber: poros; escoria, falta de fusión y microgrietas los cuales son inaceptables en cualquier código de soldadura (AWS; Lloyd's; ABS; etc.). Lo anterior debido a falencias en la ejecución y/o el procedimiento de soldadura utilizado.

La superficie de fractura presentaba una apariencia frágil y no se detectaron huellas de fatiga mecánica por lo que se deduce que la relación **área resistente/esfuerzos actuantes** es baja, o en otras palabras el espesor de las planchas es bajo en comparación a los esfuerzos que deba soportar. Lo anterior es consistente con los altos valores de vibración detectados por el cliente.

CASCO Y PLANCHAJE PEAK DE POPA	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3			SEVERIDAD
	1V	1H	1A	2V	2H	2A	3V	3H	3A	
MEDICION A 1000 RPM	9,1	3,65	7,05	13,8	3,75	6,15	10	3,85	6,75	ACEPTABLE
MEDICION A 1100 RPM				106						NO ACEPTABLE
MEDICION A 1200 RPM	8,9	3,5	9,4	69,5	4,45	9,9	39	5	13,3	NO ACEPTABLE

Ante la presencia de cargas superiores a las que puede resistir la sección de la plancha de acero, las grietas se iniciarán en puntos de alta energía existente sobre la plancha como: poros; zonas de falta de fusión; zona ZAT, etc., en una dinámica que dará finalmente la apariencia frágil como la observada en las fractografías de este informe.



Importante señalar que un control de calidad adecuado hubiese detectado muchos de los defectos acá informados.

	INFORME FINAL N° 060618	
---	--	--

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con el resultado de los ensayos e inspecciones efectuadas a la plancha de acero perteneciente a la nave XXX y que presenta una grieta, podemos concluir lo siguiente:

1. El metal base presenta **características completamente normales** para un acero AH36, en términos de su microestructura metalúrgica y dureza. Sin defectos.
2. El metal de aporte (soldadura) presenta características normales desde el punto de vista metalúrgico, pero presentaba **múltiples y graves defectos** (poros; escoria y falta de fusión) los cuales afectan sus propiedades de resistencia a la tracción.
3. El espesor medido en la plancha fue de 8 mm el cual difiere de lo indicado en plano de diseño/fabricación.
4. Existirían esfuerzos originados por vibraciones que eventualmente superarían la resistencia local del casco del pesquero en la zona de popa rasel (informe del cliente).
5. Finalmente se concluye que la grieta observada en la plancha se habría originado por una o más de las siguientes **causas raíces (físicas)**:
 - Bajo espesor de la plancha respecto a lo que indican los planos de diseño/construcción.
 - Altos esfuerzos “relativos” originados por vibraciones del sistema propulsor.
 - Importantes defectos en soldadura que facilitarían la formación de grietas.



ALEJANDRO SOTO ESPINOZA

INGENIERO CIVIL METALÚRGICO
- Director Técnico FAMET -

Consultor Senior en Análisis de Fallas & Integridad de Activos