

# CASO REAL - RX EN SOLDADURA DE ALUMINIO PARA EL CRUCERO LIVIANO MAGELLAN EXPLORER Y SELECCIÓN DE PROVEEDOR ARGÓN

## Descripción breve

En este informe se recopila parte de la información y estudios no destructivos para seleccionar la secuencia de soldadura en aluminio de la superestructura de un crucero liviano actualmente en operación.

Por Emilio Daroch Salazar  
edaroch@correo.ugr.cl

## Índice

Introducción .....	2
Calificación de Procedimiento .....	4
Fabricación y Calidad de probetas.....	6
1.1    Ensayo de Tintas Penetrantes .....	7
1.2    Inspección Macrográfica.....	8
Radiografías.....	9
Conclusiones.....	11
ANEXO I .....	12

## Introducción

M/V Magellan Explorer es un nuevo y moderno barco de expedición construido a medida con las normas del último código polar, en los astilleros Asenav de la ciudad austral de Valdivia, Chile. Con capacidad para 100 pasajeros en 38 cabinas, aunque en los viajes de aéreo-cruceros el máximo es de 73 personas. Cuenta aproximadamente con 60 tripulantes, el “Magellan Explorer” presenta altos estándares tecnológicos, que lo posicionan como una de las obras de ingeniería más importantes de su tipo en Latinoamérica e incluso mundial. Para una navegación cómoda, el barco cuenta con estabilizadores para la maniobrabilidad, presenta hélices de proa y popa. Por seguridad hay un radar de detección de hielo. Para reducir la huella ambiental, el buque está equipado con un sistema de recuperación de energía que recicla el calor producido por los motores para calentar el barco y su suministro de agua. La obra naval ha llamado la atención de revistas internacionales en el ámbito naviero dado su alto estándar de diseño, fabricación y medioambiental.



## EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA Y CALIDAD EN ESTRUCTURAS: 2122

Cantidad de pasajeros	100
Para cruceros aéreos	Máximo 73
Personal y tripulación	60
Longitud	90.7 metros
Amplitud	16.2 metros
Calado	4.3 metros (14 ft.)
Propulsión	2 motores principales, total 3.440 kw
Clase de Hielo	LR Polar Class 6
Velocidad	14 nudos
Peso	4900 toneladas
Bandera	Bahamas

Este crucero en particular fue clasificado por la casa clasificadora Lloyd's Register por lo que el reglamento "*Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials*" (RMTCM), define los parámetros de propiedades químicas y mecánicas de los materiales permitidos para su fabricación. Este reglamento también define los parámetros de aprobación de la soldadura.

En la industria naval, específicamente en estructuras con gran superestructura como son los cruceros, se suele utilizar aluminio de uso naval para desplazar el centro de gravedad de la embarcación con el fin de mejorar la estabilidad del buque. Sin embargo, la soldadura en aluminio siempre es un gran desafío ya que es muy susceptible a tener defectos por razones medioambientales como humedad y temperatura e incluso la calidad del gas utilizado para la soldadura. En el astillero se mantienen protocolos de soldadura cubriendo con una carpa los bloques de aluminio y calefaccionar a 23°C para comenzar la soldadura además de higrómetros que dan luz verde a la soldadura.

En este informe se muestran RX que se realizaron probando distintos argones de distintos proveedores donde el grado de pureza fue esencial para la selección del proveedor.

## Calificación de Procedimiento

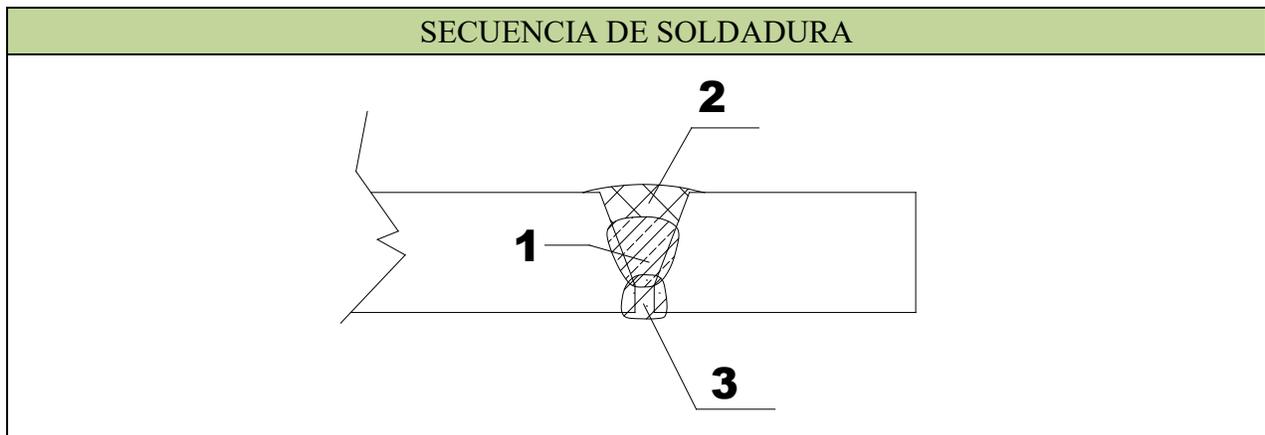
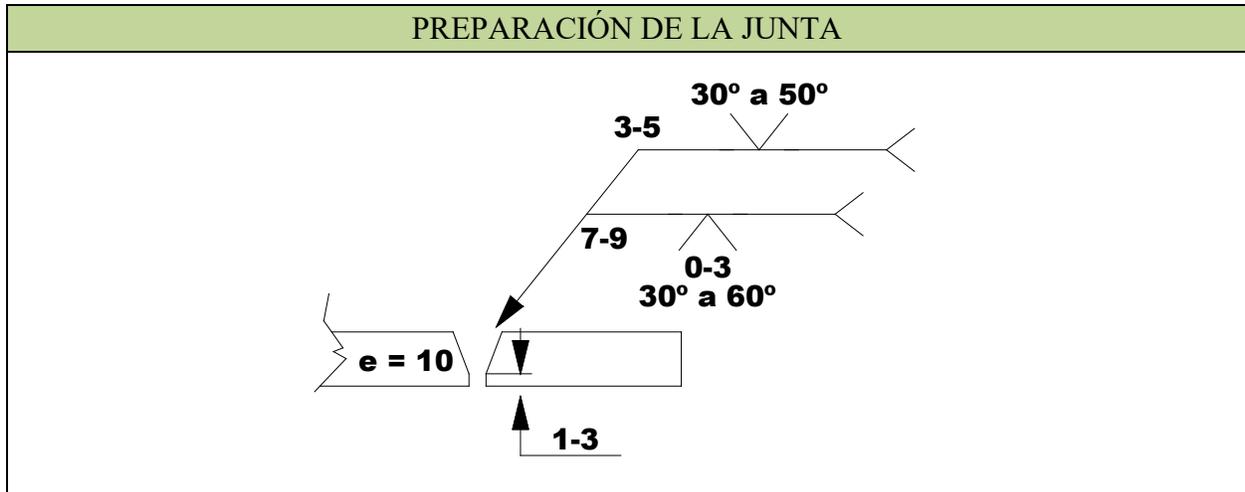
DISEÑO DE LA JUNTA	
Tipo	Bisel en V.
Apertura de Raíz	0 a 3 mm.
Talón	0 a 3 mm.
Angulo de ranura	30° a 50°
Respaldo	NO
Tipo de Respaldo	
Espesor de Plancha	10 mm.

RANGO DE APROBACIÓN	
Proceso Soldadura	GMAW (MIG / MAG)
Tipo de Unión.	A tope
Posición de soldadura	3G
Pase Simple o Multipase	Multipase
Progresión Proceso	3G ascendente
Gas de Protección	Argon 100%
Polaridad	CC +

MATERIAL BASE	
Especificación M.B.	Aluminio 5083 H321M
Tipo o Grado	Grado M
Rango Espesor PL	4 mm. a 20 mm.

MATERIAL DE APORTE	
Clasificación	AWS 5.10
Especificación	AWS ER5183
Nombre	Superglaze 5183
Fabricante	Lincoln Electric
Diámetro	1.2 mm.

OBSERVACIONES	
Deshumificación	Aplicar 30 ° a 60°
Flujo de gas	15 a 30 Lt / min.
Medidas Probeta	300 x 350 x 8 mm.
Medidas	Mt. – mm. – °C



**ESPECIFICACIONES**

Pase	WFS m/min	Amp	Volt.	Process	Polaridad		
1	8.60	140	20.5-21.5	MIG	(+)		
2	8.25	140	21.5-23.0	MIG	(+)		
3	8.25	138	22.04-24.0	MIG	(+)		

**Observaciones:**

- Utilizar Abrasivos Inoxidables o Multipropósito.
- Limpieza mecánica al cordón de raíz entre 3 a 5 mm.
- Utilizar Pletina de respaldo para Alinear caras de la Probeta.
- Temperatura interpase max 60°
- Certificación del aluminio, ver ANEXO I

## Fabricación y Calidad de probetas.

Se fabricaron 4 probetas de aluminio con gas de aporte de Argón de 2 proveedores locales INDURA y LINDE.

Indura ofrece 3 grados de pureza de Argón y Linde solo 1

Para la probeta 1 se soldó con el gas de aporte de INDURA de ULTRA PUREZA con un 99.999% de Ar grado 5.0.

La probeta 2 se soldó con el gas de aporte de INDURA de EXTRA PURO con un 99.998% de Ar, grado 4.8.

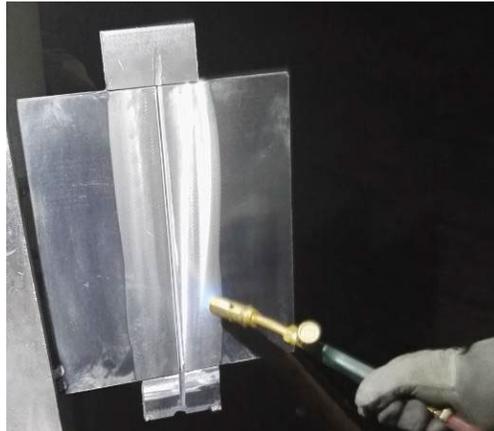
La probeta 3 se soldó con el gas de aporte de LINDE de APORTE INDUSTRIAL con un 99.997% de Ar.

La probeta 4 se soldó con el gas de aporte de INDURA de APORTE INDUSTRIAL con un 99.997% de Ar grado 4.7.

Se debe aclarar que ambos proveedores indican que sus gases son para uso en los siguientes materiales:

- Aceros al níquel (9% Ni)
- Aceros inoxidable
- Cobre
- Latón
- Bronce al silicio

Para la fabricación de las probetas se utiliza el RMTCM que se define en su capítulo 12.



### 1.1 Ensayo de Tintas Penetrantes

Con el objetivo de revelar posibles grietas superficiales, se procedió a realizar ensayo de tintas penetrantes. La inspección superficial, se realizó mediante la técnica de tintas penetrantes, lavables con solventes, según norma (ASTM - 165, 2018), método C, tipo 2.

Para su ejecución, se procedió a realizar una limpieza con escobilla de acero, hasta conseguir visualmente una superficie libre de óxidos, posteriormente se aplicó el solvente, marca SHERWIN DR-60, luego se limpió el sector de inspección con un paño seco, dando 5 minutos para la evaporación del solvente residual entre los posibles defectos. Luego se aplicó el penetrante, marca SHERWIN DP-40, el cual se dejó actuar por 10 minutos. El exceso de penetrante es retirado una

vez cumplido el tiempo de penetración con un paño humedecido con solvente. Finalmente se roció la muestra con revelador, marca SHERWIN D-100, el que se deja actuar por 10 minutos antes de la evaluación final.

La tabla B.1 muestra los resultados del ensayo de tintas penetrantes y sus observaciones.

**Tabla B.1** Resultados del ensayo realizado.

Identificación de la estructura	Observaciones
<i>PS55 (Aluminio)</i>	El material analizado no presenta grietas superficiales en ninguna de las caras analizadas.



## 1.2 Inspección Macrográfica.

Para realizar la realización del ensayo se procedió a realizar un corte de la muestra en un sector especificado de la muestra soldada, a la cual se le realizó un desbaste con lija desde la número 120 hasta la número 400. Posteriormente se ha procedido a sobre atacar químicamente, la superficie de la muestra, con Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>), durante 1 minuto.

En la figura C.1 se observa una imagen fotográfica de la macrografía de la muestra.



Figura C.1 Imagen fotográfica de la macrografía realizada a la muestra.

En la Tabla C.1 se aprecian los resultados de la muestra analizada, observaciones y condición de la muestra.

Tabla C.1 Resultados ensayo de macrográfico.

Identificación	Observaciones	Condición
10293-MG01	No se aprecian discontinuidades entre los distintos pasos de la soldadura. No se aprecia discontinuidades entre material de aporte y metal base.	Cumple

## Radiografías.

A las 4 probetas se tomaron radiografías con las siguientes características en base a la norma ASME V, Artículo 2 para ensayos no destructivos.

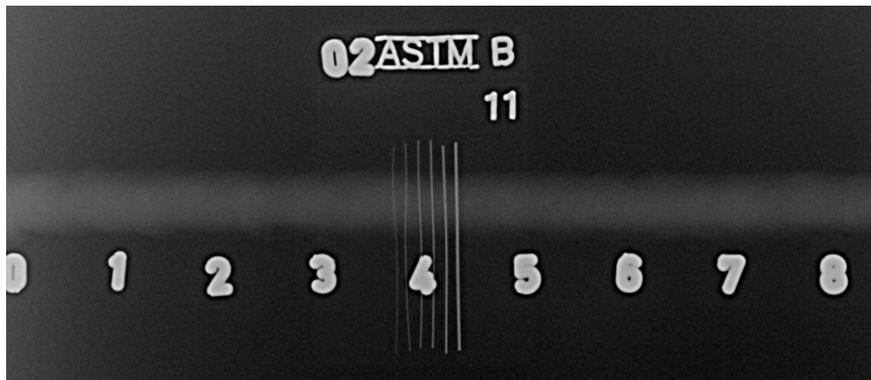
ANTECEDENTES TECNICOS / TECHNICAL BACKGROUND					
Tecnología de fabricación: Fabrication Technology:	Welding	Tratamiento Térmico: Heat Treatment:	<input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> X	Antes / Before	Después / After
Material: Material:	ALUMINIO	Proceso soldadura: Wlding Process:	MIG	Diámetro: Diameter:	N/A
Norma aplicada: Standat applied:	ASME V, Artículo 2	Norma de evaluación: Standart evaluation:	AWS D1.1	Espesor: Tickness:	10 mm
Fuente de Radiación: Source of Radiation:	RX - Pulse	Tipo de placa: Film type:	Flat Panel	Distancia foco película: Focus Film distance:	180 mm
Actividad de la fuente: Source activity:	275 Kev	IQI Requerido: IQI Required:	7 (0,32mm)	Densidad promedio: Mean density:	N/A

CODIGO DE DISCONTINUIDADES / DISCONTINUITES CODE															
Exceso Penetracion	EP	Defecto Empalme	DE	Inclusion Tungsteno	IT	Socavacion	S								
Penetración Incompleta	PI	Indicación Lineal	IL	Porosidad	P	Concavidad Interna	CI								
Penetración Incompleta Desal.	PID	Indicaciones Redondeada	IR	Porosidad Agrupada	PA	Grieta	G								
Fusión Incompleta	FI	Inclusión Escoria	IE	Porosidades Alineadas	PAL	Socavación Exterior	SE								
Fusión Incompleta Interna	FII	Inclusión Escoria alineadas	EP	Porosidades Dispersas	PD	Socavación Interior	SI								
Excess Penetration	EP	Splicing Defect	SD	Tungsten Inclusion	TI	Undercut	UN								
Lack Penetration	LP	Linear Indication	LI	Porosity	P	Root Concavity	RC								
Penetración Incompleta Desal.	LI	Rounded Indication	RI	Cluster	CL	Crack	C								
Lack Fusion	LF	Slag Inclusions	SI	Linear Porosity	LP	Undercut ofside	UO								
Lack Fusion Internal	LFIS	Slag Inclusion Aligned	SIA	Porosity Multilayer	PM	Undercut inside	UI								

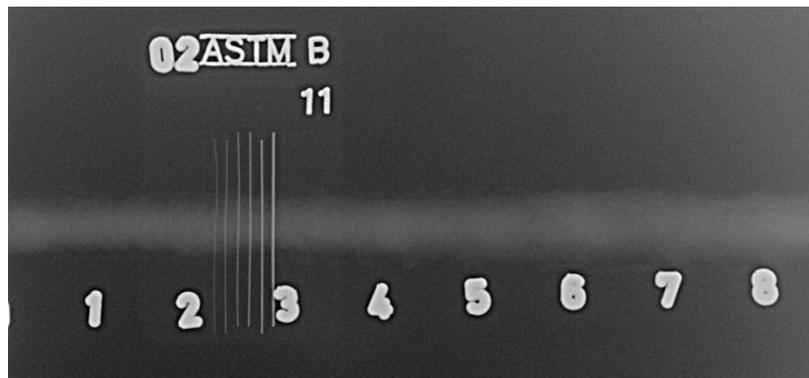
  

RESULTADOS DEL ENSAYO / TEST RESULT															
Identificación de la Soldadura / Identification welding						Discontinuidades / Discontinuites						Aceptabilidad / Acceptability		Observaciones / Remarks	
Ítem	Identificación / Identification	Est.	U	Cob.	Espesor	Φ"	R1	α	δ	δ	δ	δ	δ		SI
1	PS55 MAMH AEP		1	0" - 13"	10 mm									X	
2	PS55 MAMH		2	0" - 13"	10 mm									X	
3	P3 AR LINDE		3	0" - 13"	10 mm				CL						X
4	P4 AR INDURA		4	0" - 13"	10 mm				CL						X

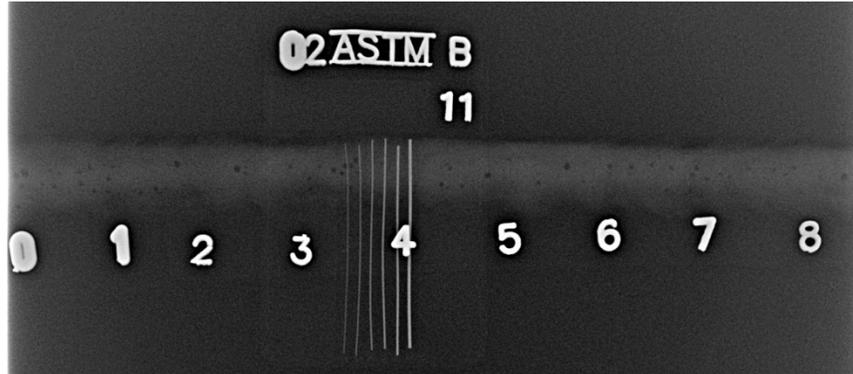
Probeta 1



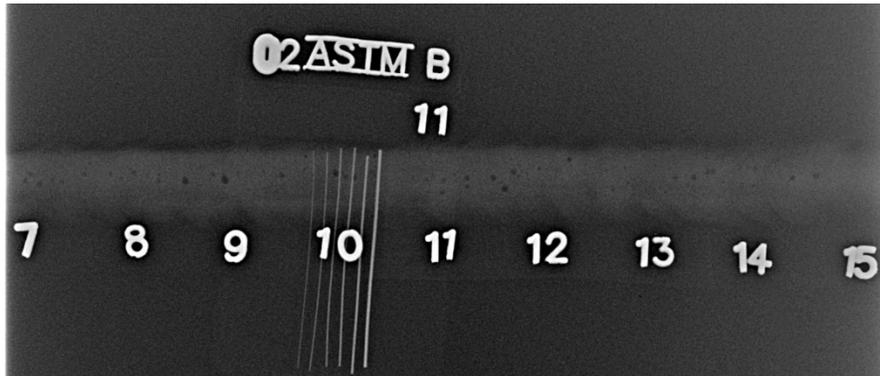
Probeta 2



Probeta 3



Probeta 4



Como se puede ver los gases de aporte no tienen problema de clusternig en la soldadura de aluminio, siendo aprobados para su uso por la clase.

## Conclusiones

De las radiografías se puede concluir que la unión de planchas de aluminio de 10mm con la secuencia de soldadura 2-1-3, ambiente controlado y una preparación de juntas como indicado más arriba, se requiere de un gas de aporte de alta pureza para no tener problemas de clustering en la soldadura y ser aprobadas de acuerdo al RMTCM de Lloyd's Register.

## Bibliografía

ASTM. (2018). E 165 *Standard Practice for Liquid Penetrant Testing for General Industry*.

Lloyd's Register. (2017). *Rules for the Manufacture, Testing and Certification of Materials*. LRS.

## ANEXO I