



“Soldadura disímil entre Aceros Inoxidables Dúplex”

Dr. Ing. Hernán Svoboda – INTECIN (FI-UBA / CONICET)
Dr. Ing. Sebastian Zappa – FI-UNLZ / CONICET

Mayo de 2020



Contenido

1) Revisión de la tecnología y sus aplicaciones/antecedentes

- Conformación del equipo de trabajo
- Aceros inoxidables
- Antecedentes en cuanto a líneas de investigación
 - Técnicas experimentales empleadas

2) Utilización de la tecnología propuesta en Oil & Gas

- Empleo y aplicaciones de los aceros inoxidables
- Optimización en la selección de materiales
- Soldadura disímil
- Procesos de soldadura modernos: GMAW-P / GMAW-PP / GTAW-Alimentación automática

3) Capacidades instaladas de su grupo de trabajo

- FI-UBA/CONICET
- FI-UNLZ/CONIET
- FaIn-UNCo
- INTI



Contenido

4) Tiempo y recursos económicos para la etapa de escala laboratorio

- Tiempo total estimado del proyecto en escala de laboratorio
- Recursos económicos y humanos

5) Plan de trabajo

Proyecto dividido en etapas:

- Etapa 1: Caracterización de los materiales base
- Etapa 2: Soldadura simples sobre chapas (Bea don Plate: BOP) GTAW variando el calor aportado
- Etapa 3: Soldadura disímil mediante el proceso GMAW-PP (doble pulsado)
- Etapa 4: Soldadura GMAW variando el gas de protección con diferentes contenidos de nitrógeno

6) Tiempo y recursos económicos para la escala de campo

- Etapa 5: Escalado a soldadura de cañería de materiales disímiles
- Tiempo total estimado del proyecto en escala de campo
- Recursos económicos y humanos
- Otras condiciones



1) Revisión de la tecnología y sus aplicaciones/antecedentes

Equipo de trabajo

- **FI-UBA/CONICET:**
 - Hernán Svoboda (investigador independiente CONICET)
- **FI-UNLZ/CONICET:**
 - Sebastian Zappa (investigador asistente CONICET)
- **Faln-UNCo:**
 - Mónica Zalazar
- **INTI:**
 - Liliana Berardo
 - Hector Perez
 - Juan Martínez



1) Revisión de la tecnología y sus aplicaciones/antecedentes

Aceros inoxidables:

Clasificación

Austeníticos

Ferríticos

Martensíticos

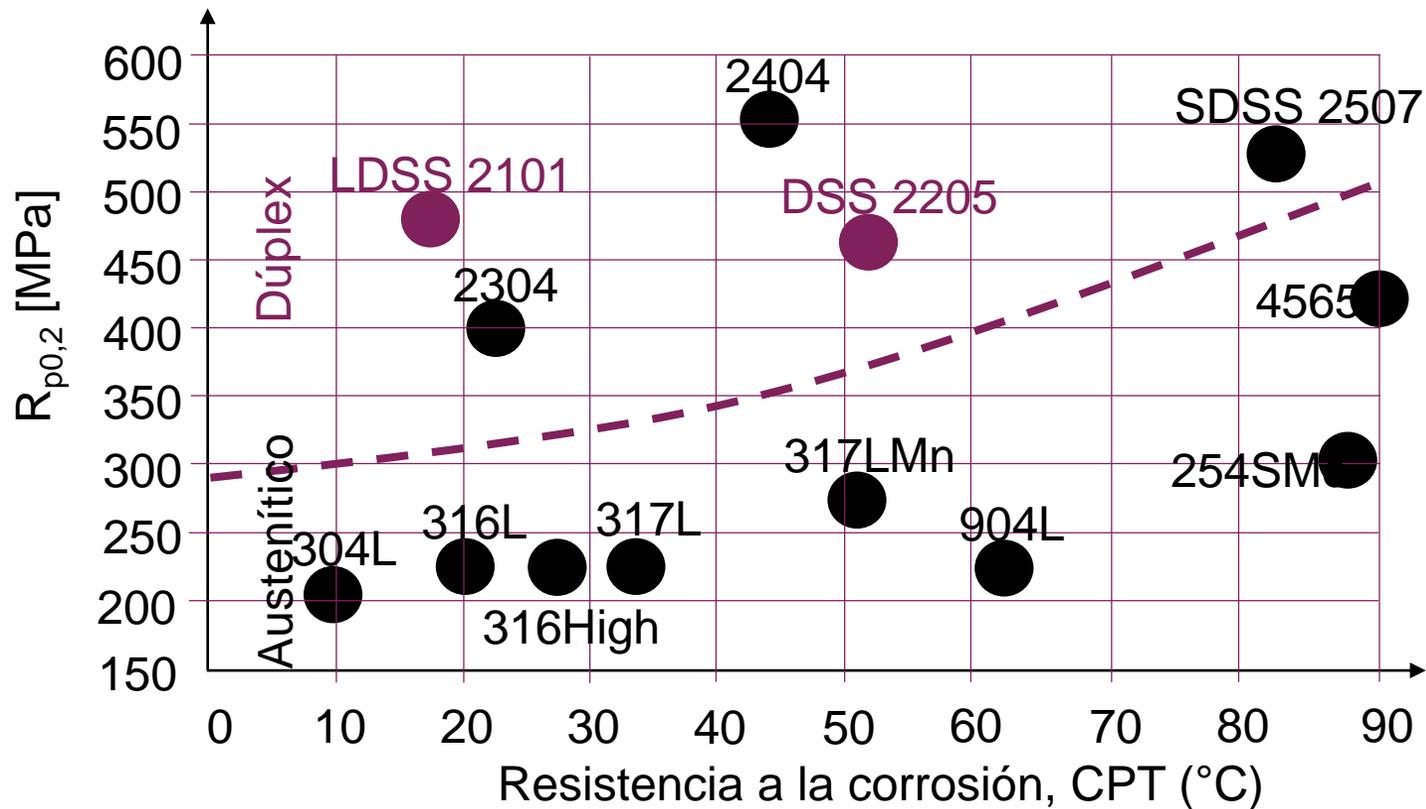
Dúplex (ferrita y austenita)

Endurecidos por precipitación



1) Revisión de la Tecnología y sus aplicaciones

Aceros inoxidables:



Se busca una buena combinación de alta resistencia mecánica y a la corrosión



Acero Inoxidable Dúplex

Evolución histórica

DSS (clásicos)

Primera generación

SDSS (Súper dúplex)

Segunda generación

HDSS (Híper dúplex)

LDSS (Lean Dúplex)

Tercera generación

LDSS: Contenido reducido en níquel y mayor contenido de manganeso y nitrógeno (más económicos). Este grupo de aceros tiene una resistencia a la corrosión similar a los grados austeníticos 304L/316L/317 L pero con la resistencia mecánica característica del acero inoxidable dúplex.



1) Antecedentes

Soldadura de aceros inoxidables supermartensíticos

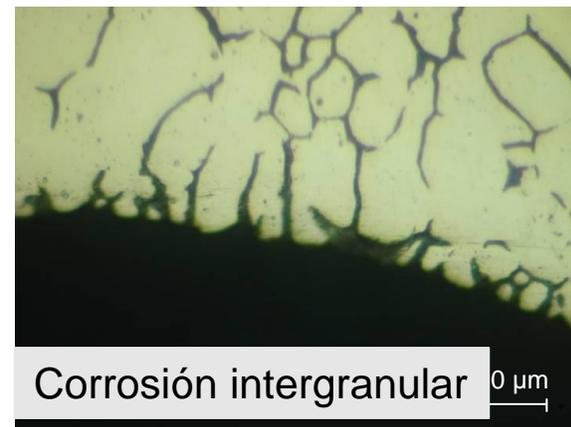
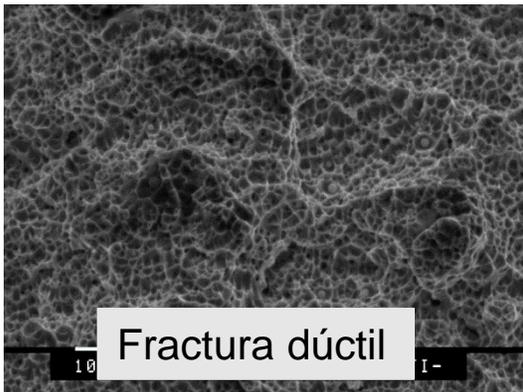
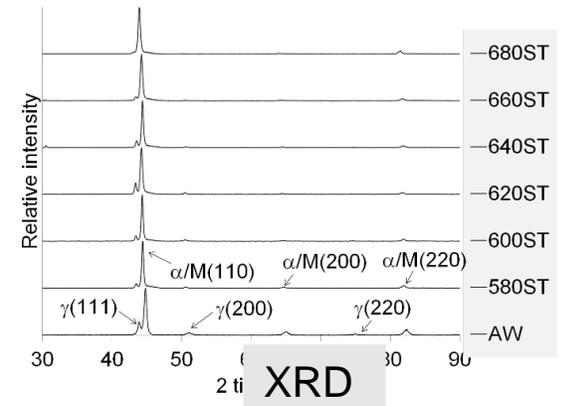
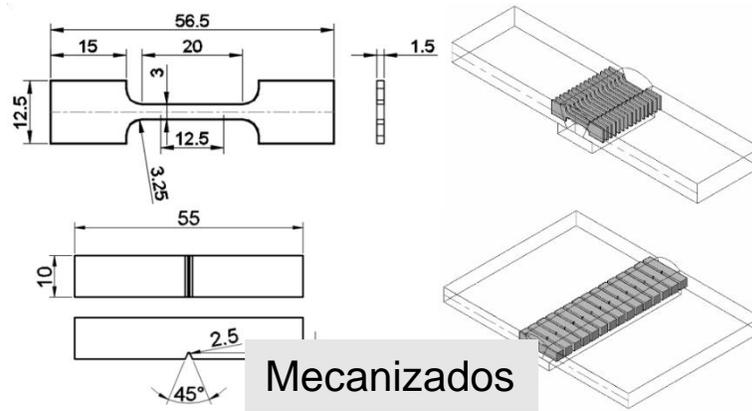
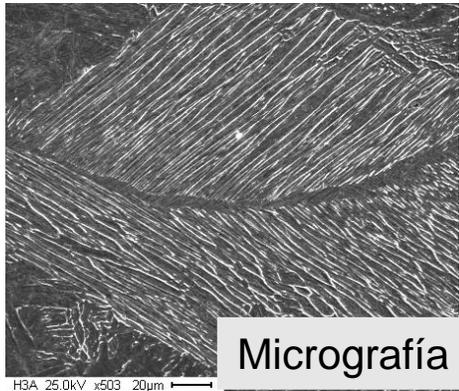
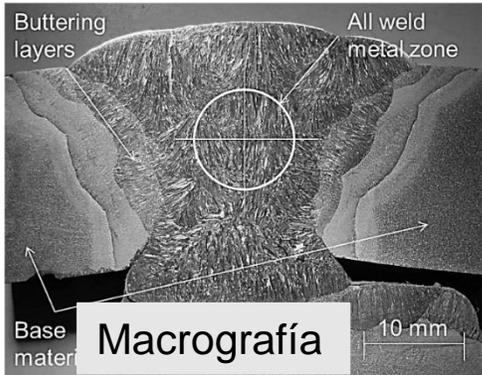
Soldadura de metal de aporte puro: buscando maximizar la resistencia a la corrosión, la resistencia mecánica, la tenacidad, etc.

- **Material de aporte:**
 - SMSS (13Cr)
- **Variables:**
 - Gas de protección (3)
 - Calor aportado (2)
- **As welded:** Martensita fresca + Ferrita delta + Austenita retenida
- **Post weld heat treatment:**
 - Solubilizados (1000 °C)
 - Revenidos (sub-críticos / inter-críticos)
 - Dobles Revenidos (sub-críticos)
 - Eliminación del contenido de Ferrita
 - Control del contenido de Austenita retenida
 - Control de los precipitados
- **Caracterización macro y microestructural:**
 - Lupa / LM / SEM / XRD
- **Caracterización mecánica:**
 - Dureza / Tracción / Tenacidad (temp < 0 °C)
- **Caracterización en cuanto a corrosión:**
 - Corrosión bajo tensiones por flexión
 - Contenidos de Cl / CO₂ / temperatura
 - Corrosión localizada electroquímica
 - Contenidos de Cl
- **Fragilización por hidrógeno:**
 - Carga de H₂ durante ensayos mecánicos
 - Soluciones con ácido sulfúrico y corriente
- **XRD “In Situ” en sincrotrón:**
 - Tratamientos térmicos / ensayos mecánicos



1) Antecedentes

Soldadura de aceros inoxidables supermartensíticos

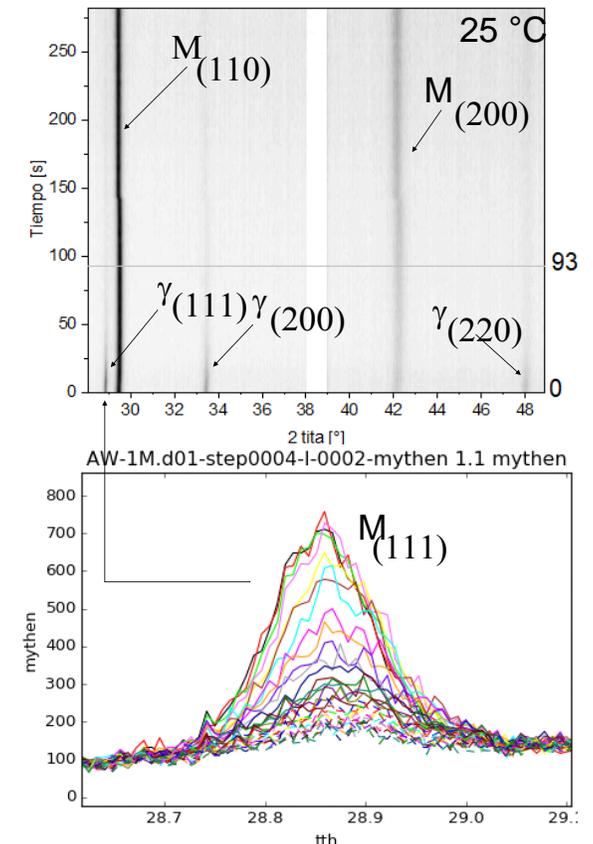
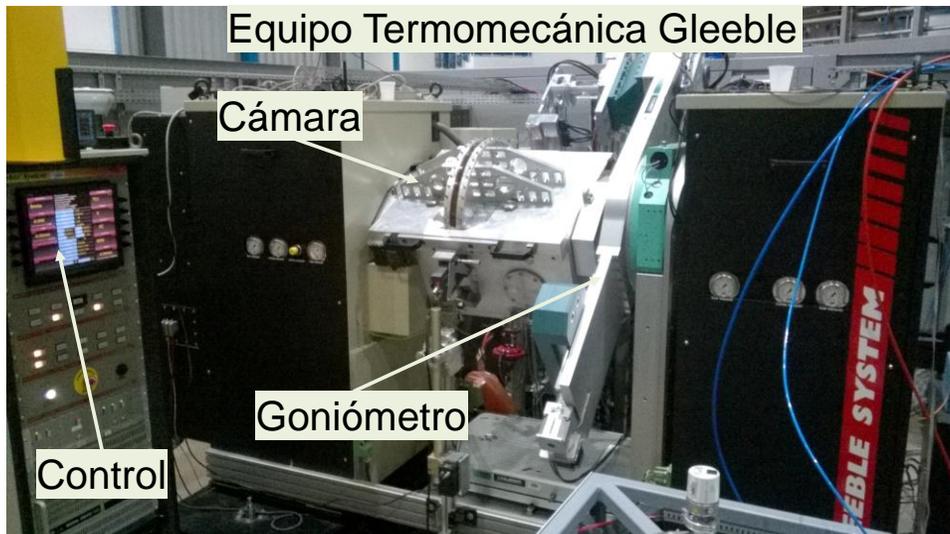




1) Antecedentes

Soldadura de aceros inoxidable supermartensíticos (Tesis de Doctorado de UBA)

- XRD "In Situ" en sincrotrón (evolución de la austenita)
 - Diferentes PWHT
 - Diferentes ensayos mecánicos
 - Diferentes temperaturas (sub-cero)





1) Antecedentes

Soldadura de cañerías de aceros inoxidables dúplex

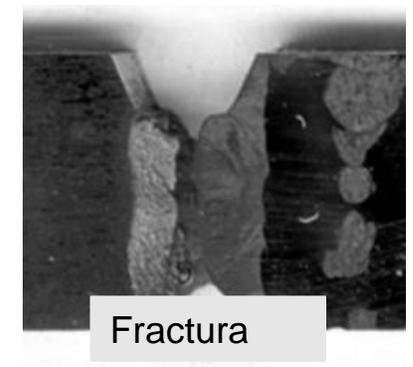
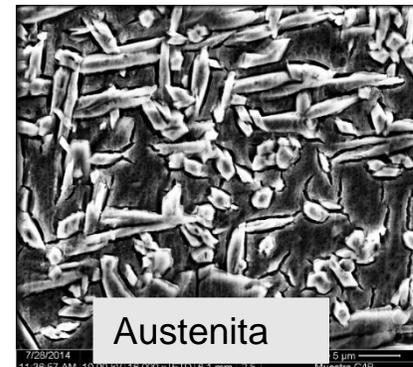
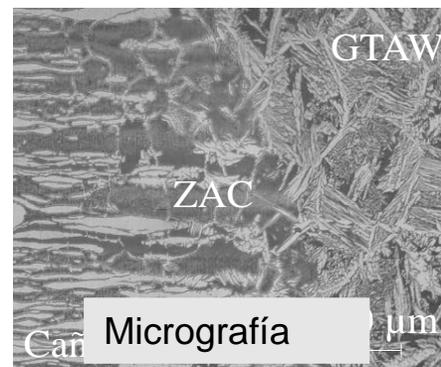
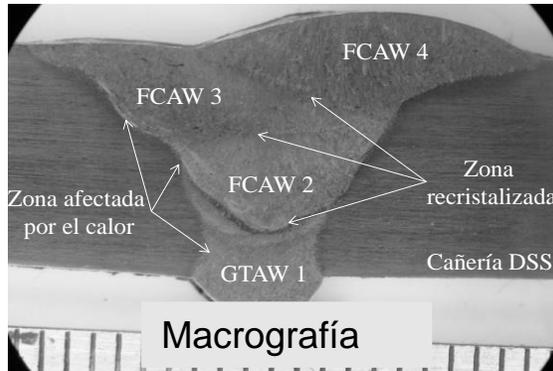
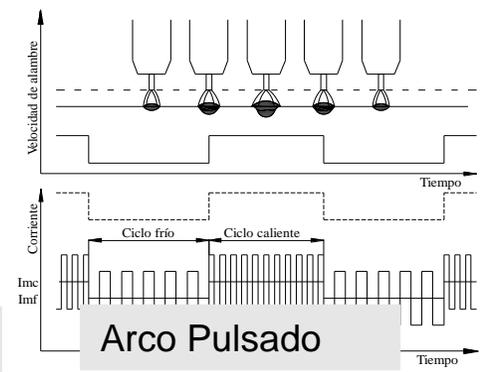
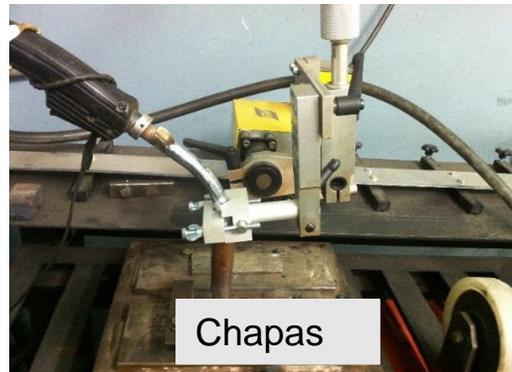
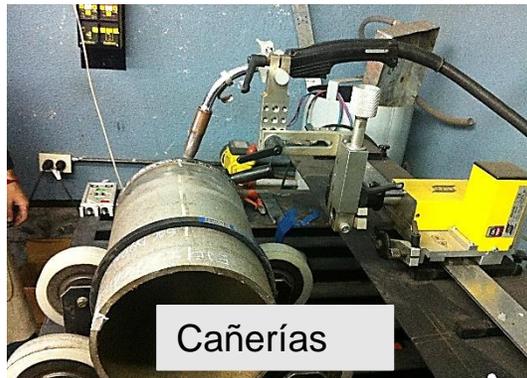
Soldaduras de unión: buscando calidad y productividad [reemplazo del proceso GTAW (11 cordones) por GMAW-P / GMAW-PP(3 cordones)]

- **Material base:**
 - Cañerías 2205 de 200 mm de diámetro y 9 mm de espesor
- **Material de aporte:**
 - DSS (2209)
 - SDSS (2509)
- **Variables:**
 - Arco pulsado
 - Doble arco pulsado (ciclo frío y ciclo caliente)



1) Antecedentes

Soldadura de cañerías de aceros inoxidables dúplex





1) Antecedentes

Soldadura de chapas de aceros inoxidables austeníticos

- **Soldaduras de unión:** buscando calidad y productividad [reemplazo del proceso GTAW con aporte manual por GTAW con aporte automático]
- **Material base:**
 - Chapas 304L de 1,5 y 3 mm de espesor
- **Material de aporte:**
 - ER316L
- **Variables:**
 - Regulación de la velocidad de soldadura y de alimentación del alambre



1) Antecedentes

Soldadura de chapas de aceros inoxidables austeníticos



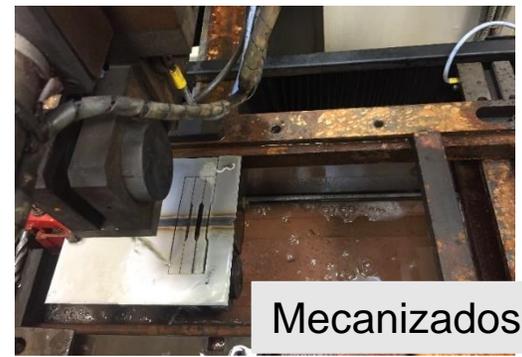
GTAW



Alimentador



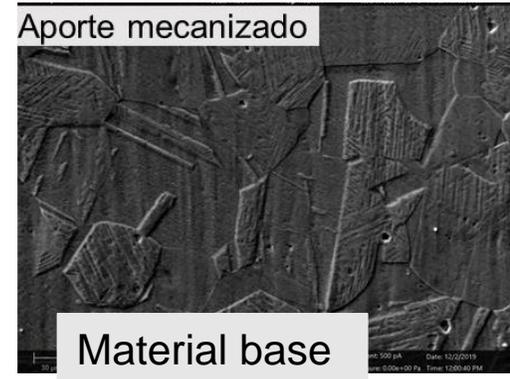
Soldaduras



Mecanizados



Anorte mecanizado
Macrografía



Aporte mecanizado
Material base



Metal de soldadura



Plegados



1) Antecedentes

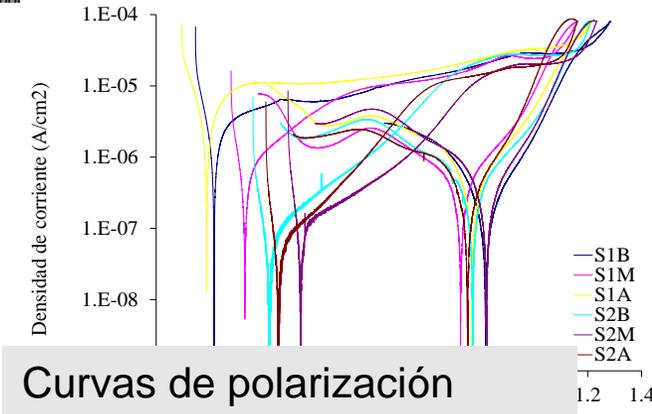
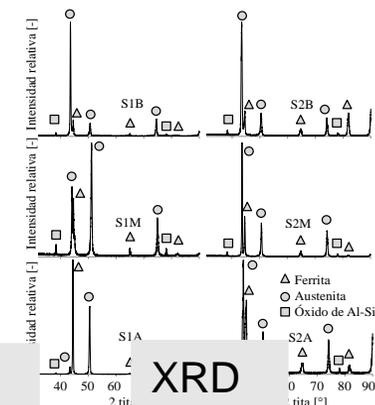
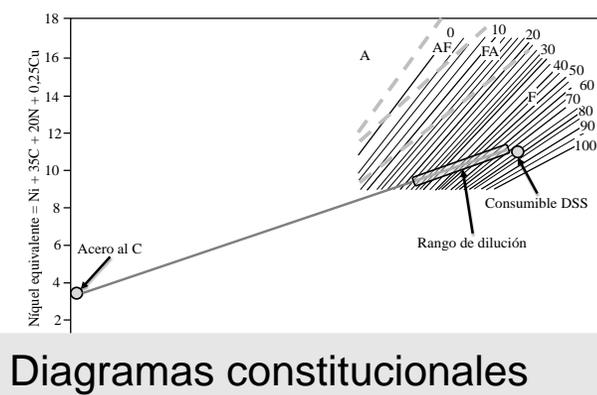
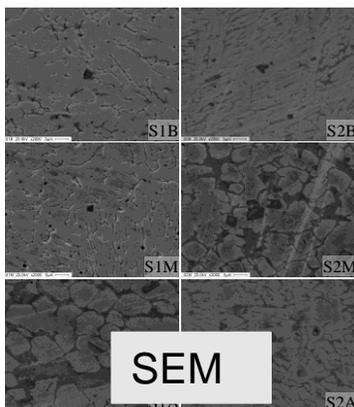
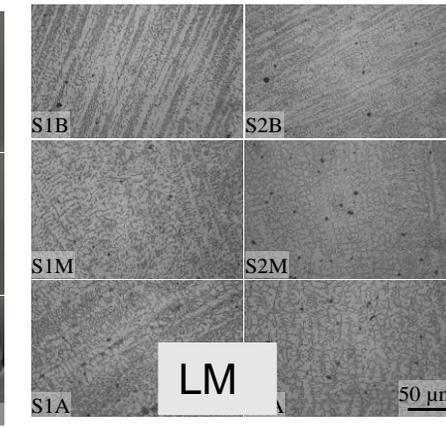
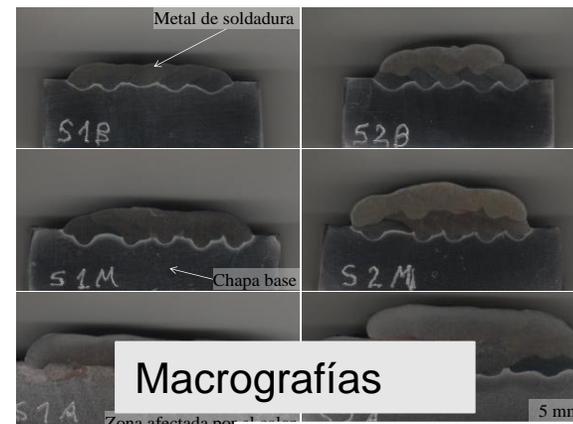
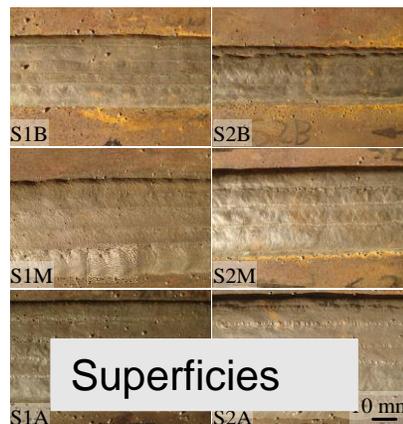
Soldadura de recargue con aportes de aceros inoxidable dúplex

- **Soldaduras de recargue:** buscando menor dilución y productividad en GMAW
- **Material base:**
 - acero al C de 10 mm de espesor
- **Material de aporte:**
 - DSS (ER2209)
 - SDSS (ER2509)
- **Variables:**
 - Cantidad de capas (2)
 - Calor aportado (3)



1) Antecedentes

Soldadura de recargue con aportes de aceros inoxidable dúplex





2) Estado del arte Soldadura Disímil de Aceros Inoxidables Oil & Gas

- Empleo de los aceros inoxidables:
 - Buena resistencia a la corrosión
 - Buena resistencia mecánica
 - Buena tenacidad
 - Buena soldabilidad
- Aplicaciones de los aceros inoxidables:
 - Equipos para la industria del petróleo y gas
 - Extracción (upstream)
 - Refinerías (downstream)
 - Equipos para la industria nuclear
 - Equipos para la industria química
 - Tanques de almacenamiento
 - Recipientes sometidos a presión
 - Intercambiadores de calor





2) Estado del arte Soldadura Disímil de Aceros Inoxidables Oil & Gas

Optimización en el diseño

- A fin de optimizar el diseño de equipos e instalaciones, de acuerdo a los requerimientos de las distintas partes/zonas de los mismos, en este último tiempo, se tiene a menudo soldaduras entre materiales disímiles.
- **Problemática de la soldadura de materiales disímiles**
 - Diferencias en las composiciones químicas
 - Diferencias en las microestructuras
 - Diferentes coeficientes de expansión térmica
- Con una inadecuada selección de los parámetros que controlan el proceso de soldadura (calor aportado, material de aporte, gas de protección, etc.) es posible la pérdida del equilibrio microestructural y la precipitación de diferentes compuestos que perjudican las propiedades de la junta soldada.
- **Hace falta desarrollar procedimientos de soldadura en busca del equilibrio entre calidad y productividad en soldaduras disímiles entre aceros inoxidable (ASS, DSS y LDSS).**



2) Estado del arte Soldadura Disímil de Aceros Inoxidables Oil & Gas

Procesos de soldadura modernos: GMAW-P / GMAW-PP / GTAW-Alimentación automática

- **GTAW:** alta calidad. Variante: Alambre frío (mejora productividad)
- **GMAW:** alta productividad. Variante: Arco pulsado (mejora de calidad)
- La tecnología propuesta está asociado a la búsqueda de procedimientos de soldadura que maximicen del equilibrio entre calidad y productividad de juntas soldadas disímiles entre aceros DSS y LDSS.
- Se pretende estudiar las relaciones entre proceso-microestructura/defectos-propiedades (mecánicas y frente a la corrosión) de uniones disímiles de aceros inoxidables dúplex, a fin de desarrollar procedimientos de soldadura aptos para aplicaciones en diferentes industrias.



3) Capacidades instaladas del grupo de trabajo

- **FI-UBA/CONICET:**
 - Soldadura: GMAW-P / GMAW-PP GTAW (con aporte automático)
 - Caracterización mecánica
 - XRD
- **FI-UNLZ/CONICET:**
 - Soldaduras: GMAW, GTAW
 - Corte de precisión por hilo
 - Caracterización macro y micro
 - LM, SEM
- **FaIn-UNCo:**
 - Soldaduras: GMAW-P / GMAW-PP, GTAW (con aporte automático)
 - Caracterización macro y micro: Lupa, LM
- **INTI:**
 - Corrosión localizada
 - Curvas de polarización
 - Doble Loop
 - Técnicas de microscopía electroquímica



4) Tiempo y recursos económicos para pruebas a escala laboratorio

- **Duración: 18 meses**
- **Presupuesto: U\$20.000**

- **Recursos económicos:**

-Materiales: Chapa de ASS, DSS, LDSS (e= 6,5 mm),
Materiales de aporte (ER2209 y ER2509),
Gases de protección: Ar, Ar+N₂

- Insumos: soldadura, mecanizado, caracterización
microestructural, mecánica y frente a la corrosión.

-Servicios: Medición de C, O y N

-Equipamiento: Potenciostato

- **Recursos humanos:**

- **FI-UBA/CONICET:**

- 1 profesional
- 1 alumno de grado

- **FI-UNLZ/CONICET:**

- 1 profesional
- 2 alumno de grado

- **FaIn-UNCO:**

- 1 profesional
- 1 alumno de grado

- **INTI:**

- 2 profesionales
- 1 técnico



5) Plan de trabajo

Etapa 1: Caracterización de los materiales base (3 meses)

Objetivo:

Caracterizar las chapas: química, microestructural, mecánicamente y frente a la corrosión

Materiales base:

Aceros inoxidables austeníticos (ASS) (304L)

Aceros inoxidables lean dúplex (LDSS) (2101)

Aceros inoxidables dúplex (DSS) (2205)



5) Plan de trabajo

Etapa 2: Soldadura GTAW bead on plate (BOP) sobre metales base variando el calor aportado (3 meses)

Objetivos:

Estudiar el efecto de la velocidad de enfriamiento sobre el balance microestructural y la precipitación de fases.

Encontrar la geometría adecuada para lograr soldar chapas de 3 milímetros por GTAW sin aporte con fusión completa, en una pasada.

Materiales base:

Acero inoxidable lean dúplex (2101)

Acero inoxidable dúplex (2205)

Materiales de aporte: No

Gas de protección: Ar (18 L/min)

Soldaduras: Cordón simple sobre chapa (Bead on Plate - BOP)



5) Plan de trabajo

Etapa 2: Soldadura GTAW bead on plate (BOP) sobre metales base variando el calor aportado (3 meses)

Cronograma de actividades: Año 1												
Etapa 2: Soldadura GTAW												
Actividad	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Búsqueda de literatura				X								
Soldaduras				X								
Microscopía óptica					X	X						
Microscopía electrónica					X	X						
Perfiles de microdureza					X	X						
Cuantificación de fases					X	X						
Resistencia a la corrosión				X	X	X						
Análisis de los resultados				X	X	X						



5) Plan de trabajo

Etapa 3: Soldadura disímil mediante el proceso GMAW-PP (doble pulsado) (6 meses)

Objetivo:

Estudiar el comportamiento metalúrgico, mecánico y frente a la corrosión de soldaduras disímil

Materiales base:

Acero inoxidable austenítico (304L)
Acero inoxidable lean dúplex (2101)
Acero inoxidable dúplex (2205)

Soldaduras: Junta a tope

Materiales de aporte:

Acero inoxidable dúplex (ER2209)
Acero inoxidable súper dúplex (ER2509)

Gas de protección: Ar (18 L/min)



5) Plan de trabajo

Etapa 3: Soldadura disímil mediante el proceso GMAW-PP (doble pulsado) (6 meses)

Cronograma de actividades: Año 1												
Etapa 3: Soldaduras GMAW-PP												
Actividad	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Búsqueda de literatura							X	X				
Soldaduras							X	X				
Microscopía óptica								X	X			
Microscopía electrónica								X	X			
Difracción de Rayos X								X	X			
Ensayo de tracción									X	X		
Dureza									X	X		
Cuantificación de fases									X	X		
Resistencia a la corrosión										X	X	X
Análisis de los resultados										X	X	X



5) Plan de trabajo

Etapa 4: Soldadura mediante el proceso GTAW (con y sin material de aporte mecanizado) variando el gas de protección con diferentes contenidos de nitrógeno (6 meses)

Objetivo:

Estudiar el comportamiento metalúrgico, mecánico y frente a la corrosión de soldaduras al variar el contenido de nitrógeno en el gas de protección.

Soldaduras: Junta a tope

Materiales base:

- Acero inoxidable austenítico (304L)
- Acero inoxidable lean dúplex (2101)
- Acero inoxidable dúplex (2205)

Consumibles:

- Sin material de aporte
- Acero inoxidable dúplex (ER2209)
- Acero inoxidable súper dúplex (ER2509)



5) Plan de trabajo

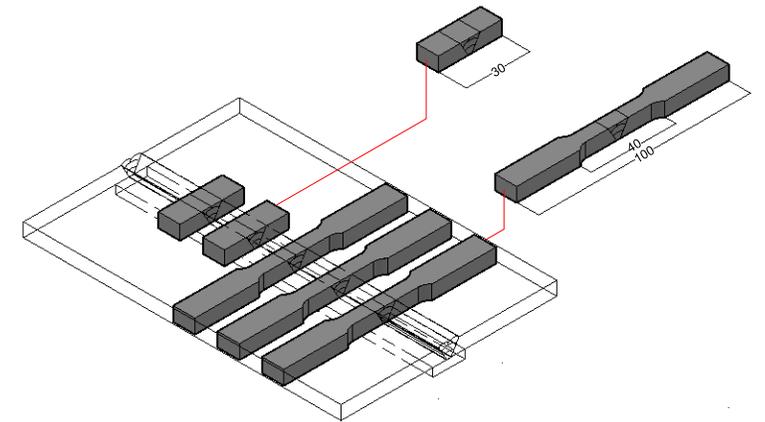
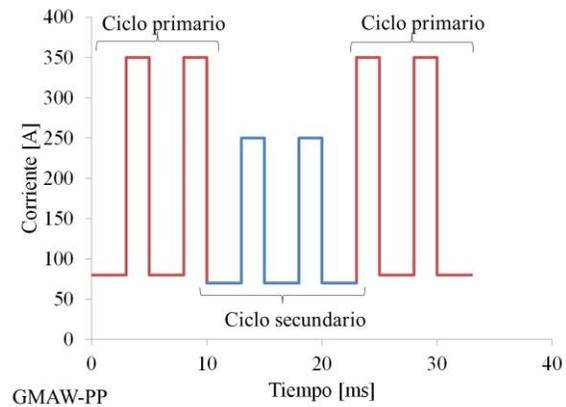
Etapa 4: Soldadura GMAW variando el gas de protección con diferentes contenidos de nitrógeno (6 meses)

Cronograma de actividades: Año 2												
Etapa 4: Soldaduras GTAW y diferentes gases de protección												
Actividad	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Búsqueda de literatura	X	X										
Soldaduras	X	X										
Microscopía óptica		X	X									
Microscopía electrónica		X	X									
Perfiles de microdureza			X	X								
Cuantificación de fases			X	X								
Resistencia a la corrosión				X	X	X						
Análisis de los resultados					X	X						



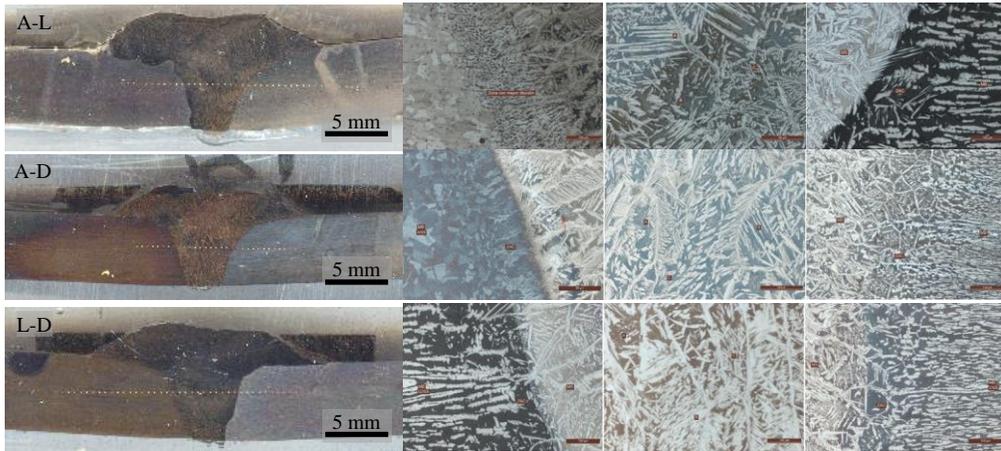
5) Plan de trabajo

Algunos avances:

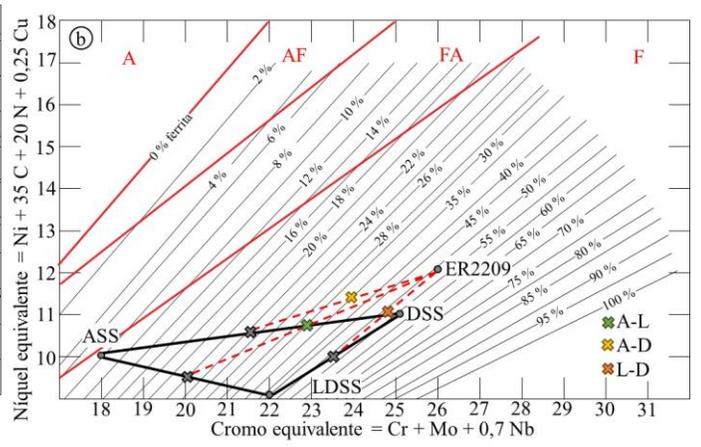
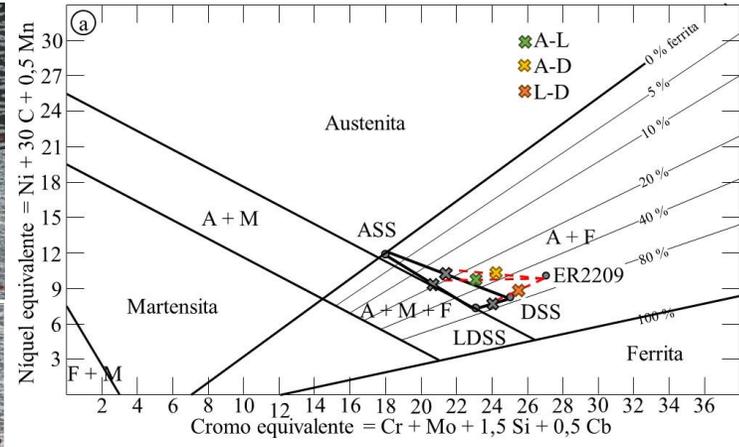




5) Plan de trabajo
Algunos avances:

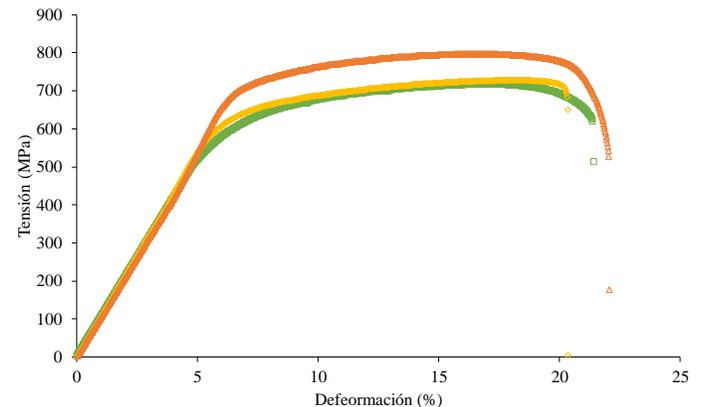
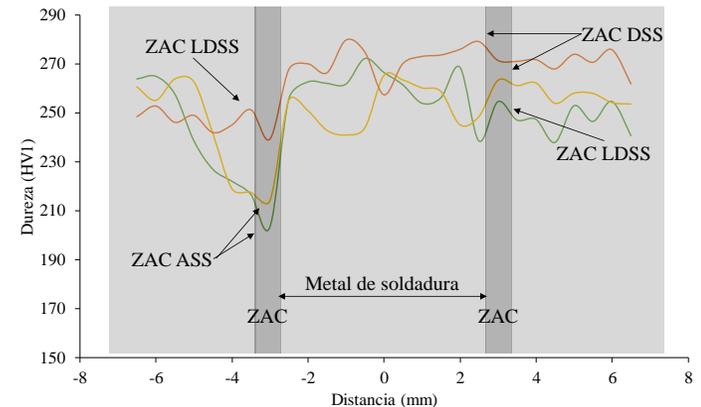
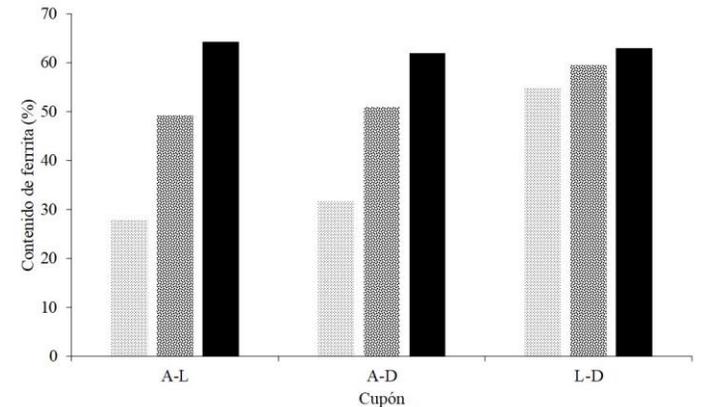


■ ZAC izquierda ■ Metal de soldadura ■ ZAC derecha



— A-L — A-D — L-D

□ A-L ◇ A-D △ L-D





6) Tiempo y recursos económicos para escala de campo

Etapa 5: Escalado a soldadura de cañería de materiales disímiles

Objetivo:

Validar en campo los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio.

- **Duración: 6 meses**

- **Presupuesto: U\$ 10.000**

-Materiales: Caños (D= e= 6,5 mm),
Materiales de aporte (ER2209 y ER2509), Gases de
protección: Ar, Ar+N₂

-Insumos: soldadura, mecanizado, caracterización
microestructural, mecánica y frente a la corrosión.

-Servicios: Medición de C, O y N

- **Recursos humanos:**

- **FI-UBA/CONICET:**
 - 1 profesional
- **FI-UNLZ/CONICET:**
 - 1 profesional
 - 2 alumno de grado
- **Faln-UNCO:**
 - 1 profesional
 - 1 alumno de grado
- **INTI:**
 - 2 profesionales
 - 1 técnico



5) Plan de trabajo

Etapa 5: Escalado a soldadura de cañería de materiales disímiles

Cronograma de actividades: Año 2												
Etapa 3: Soldaduras GMAW-PP												
Actividad	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Búsqueda de literatura							X	X				
Soldaduras							X	X				
Microscopía óptica								X	X			
Microscopía electrónica								X	X			
Difracción de Rayos X								X	X			
Ensayo de tracción									X	X		
Dureza									X	X		
Cuantificación de fases									X	X		
Resistencia a la corrosión										X	X	X
Análisis de los resultados										X	X	X



Adaptación del proyecto a otras necesidades/intereses de Y-Tec:

- Otros materiales
- Otros procesos de soldadura
- Otros espesores
- Otros ensayos: Daño por hidrógeno, Corrosión bajo tensiones, Tenacidad a la fractura KIC