

Curso Ciencia, Tecnología y Desarrollo Industrial:  
SOLDADURA

# Módulo 4: Calidad de Uniones Soldadas

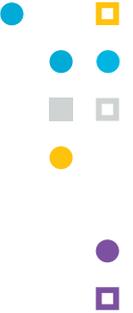


Buenos Aires | Septiembre de 2022



Ministerio de Economía  
**Argentina**

Secretaría de Industria  
y Desarrollo Productivo



# Agenda

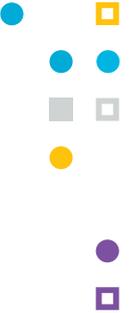
- **Requerimientos a las uniones soldadas.**
- **Soldadura como proceso especial.**
- **Sistema de calificación y certificación IRAM-IAS.**



# Soldadura en la industria argentina

## ¿Qué sucede con malas soldaduras?

# Calidad de soldaduras



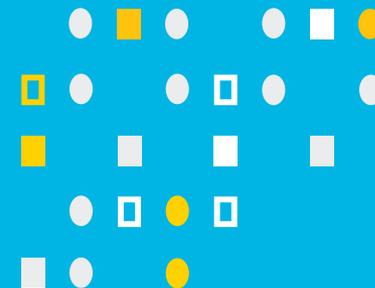
Soldadura por fusión → proceso clave para diferentes industrias y productos: recipientes a presión, equipos agrícolas, grúas, puentes, trenes, automóviles, construcción civil, barcos, silos de almacenamiento, tuberías, etc.

Soldadura → importante en el costo final y calidad final del producto

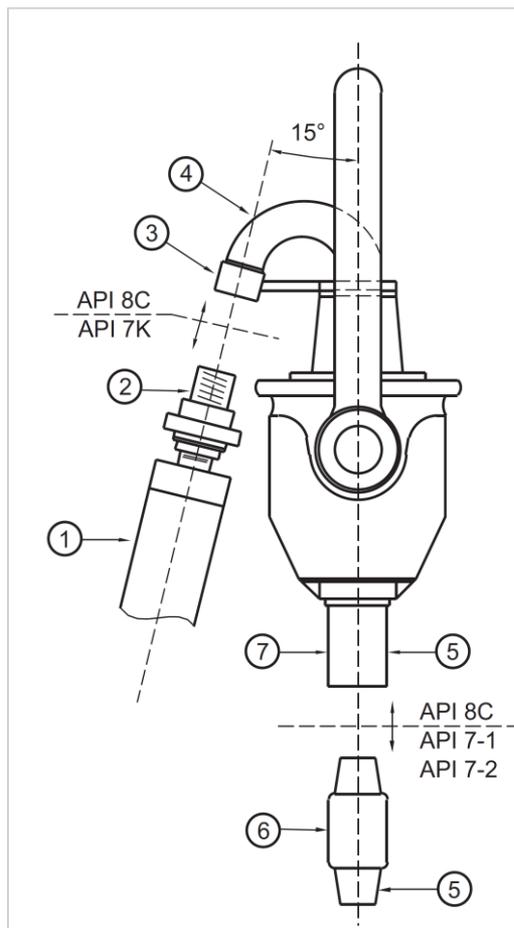
Calidad de soldaduras → no se puede inspeccionar 100% se debe considerar antes, durante y después de cada operación

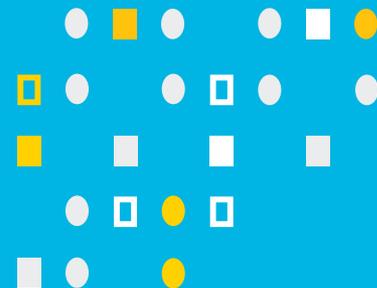
Control en diferentes etapas de la fabricación:

**Diseño → Materiales → Fabricación →  
Inspección**



# Productos soldados en la vida





# Productos soldados en la vida

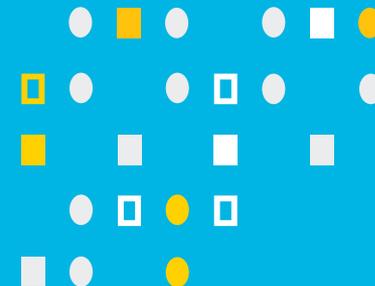


Arenero y remolcador



Pesquero

# Productos soldados en la vida

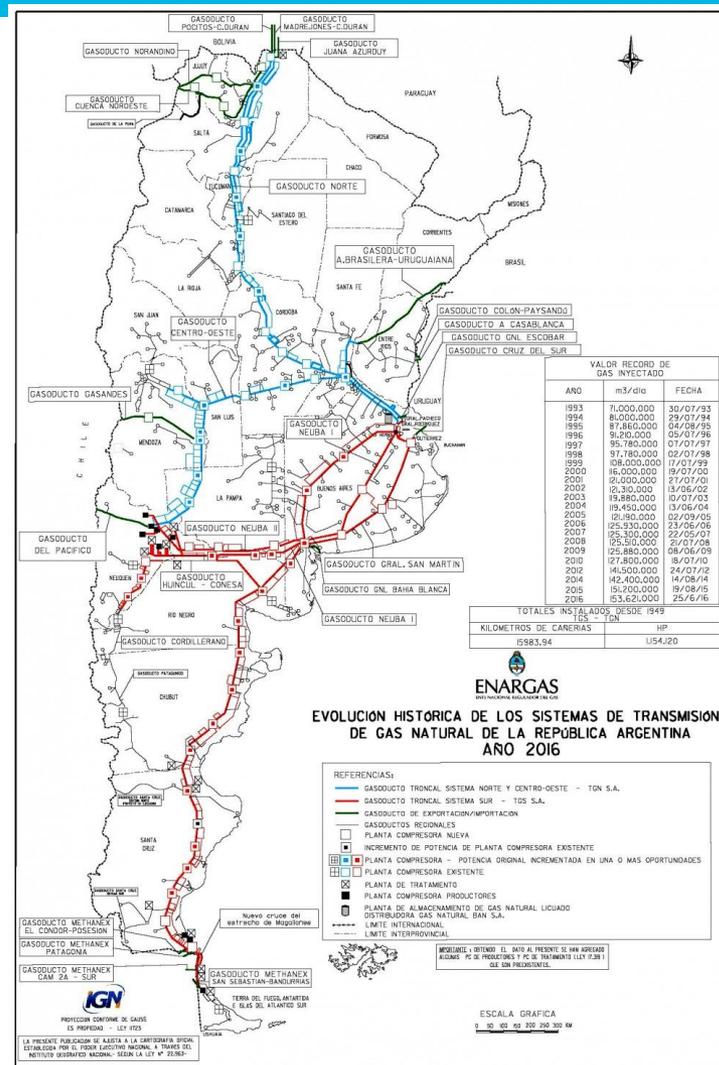


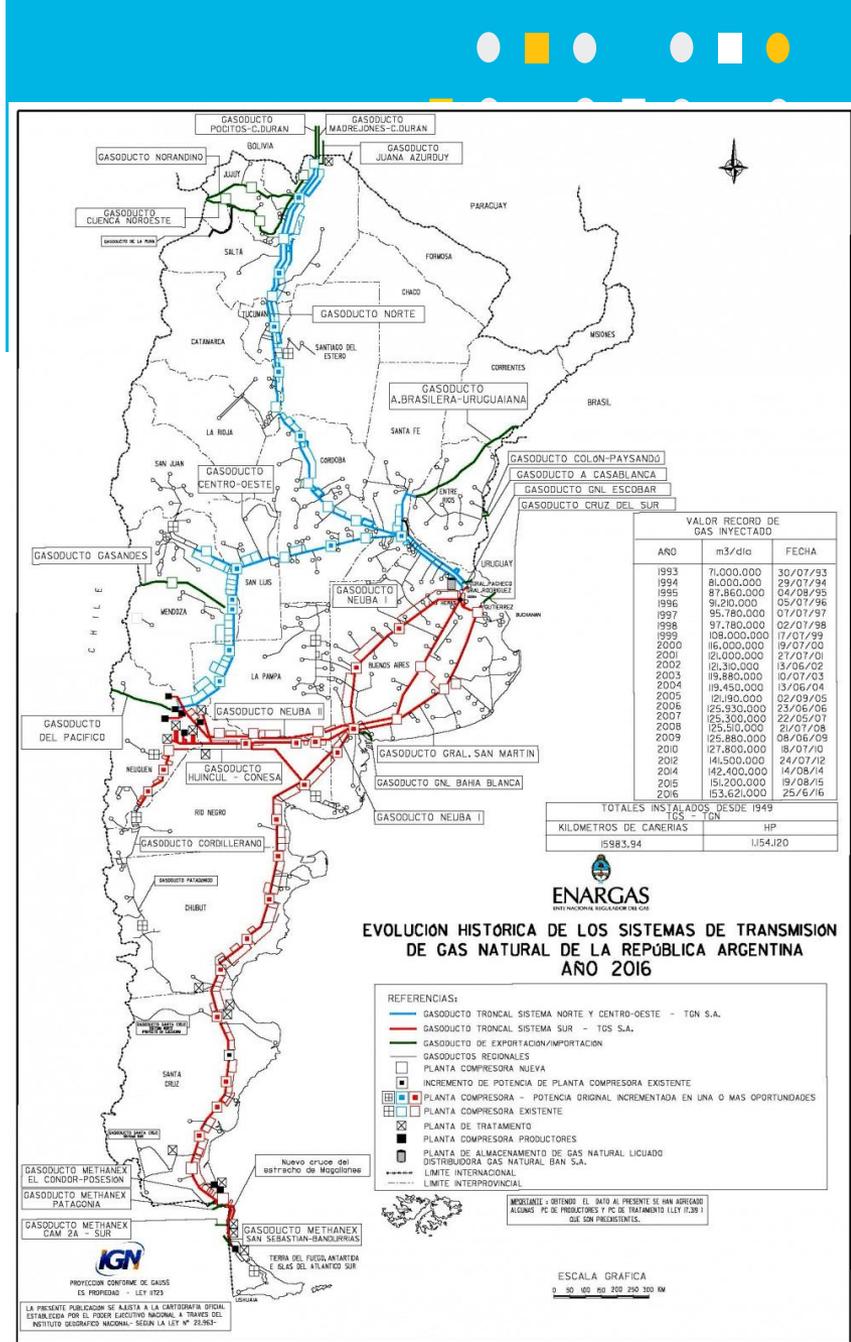
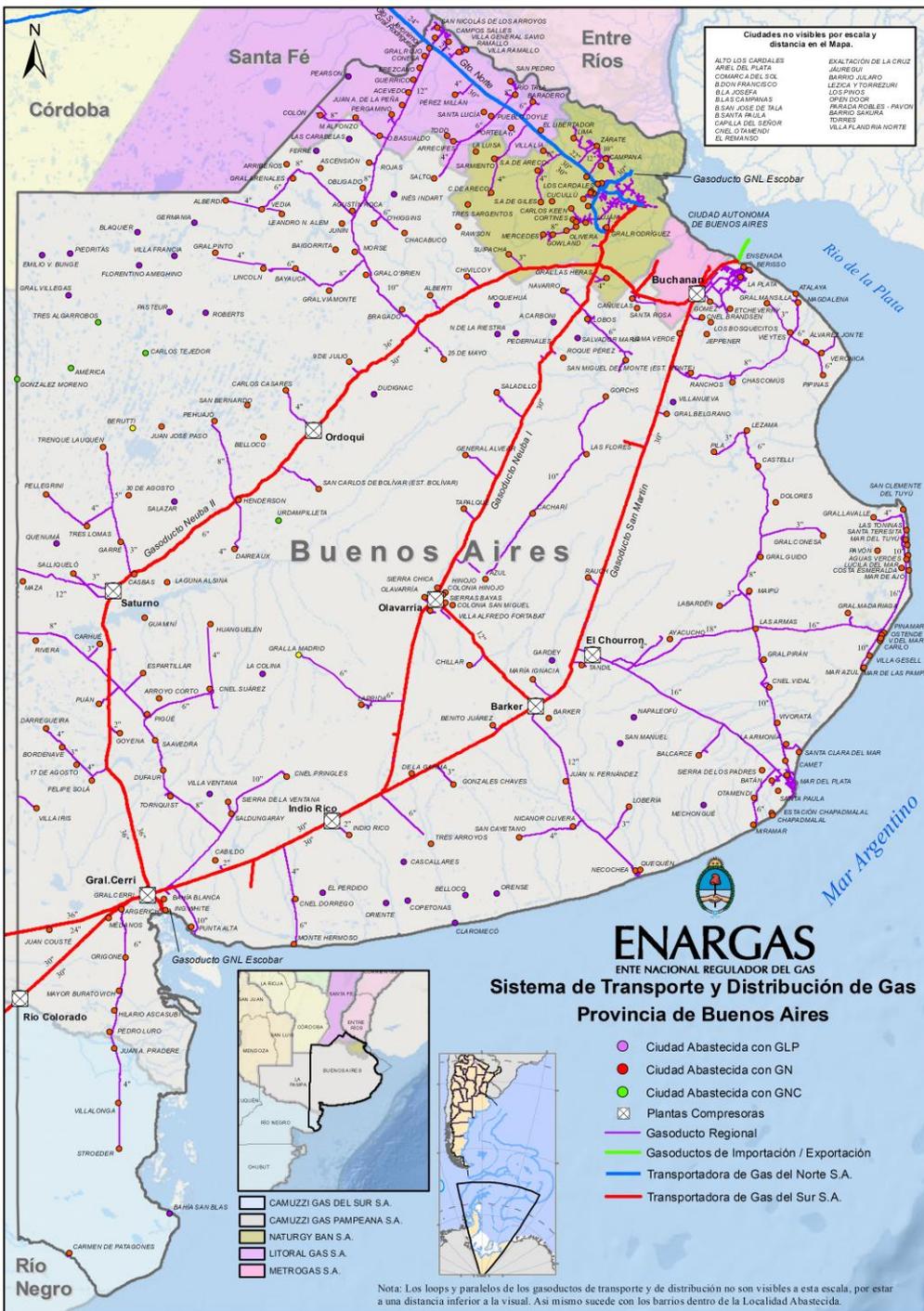
## Gasoductos

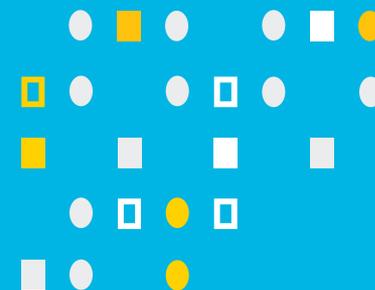
Gasoducto San Martín – primer tramo 1949  
Comodoro Rivadavia – Lavallol  
[MicroStation View](http://MicroStation View)  
[enargas.gov.ar](http://enargas.gov.ar)



Soldaduras en NAG 100.  
Antecedentes 1968.







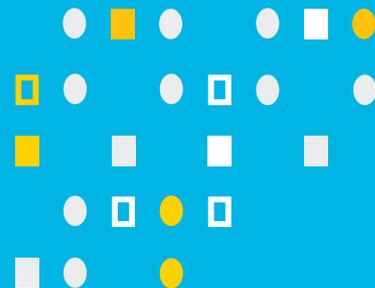
# Productos soldados en la vida

## Calderas y recipientes sometidos a presión

En Argentina existen 54 certificados emitidos por ASME para la fabricación de recipientes sometidos a presión y calderas.



Foto de la 4ta caldera fabricada por Lito Gonella en la década del 50 - <https://images.app.goo.gl/SotbuQYFxpRPeMLb7> (revisada el 01/05/22)



# Productos soldados en la vida

## Maquinaria agrícola

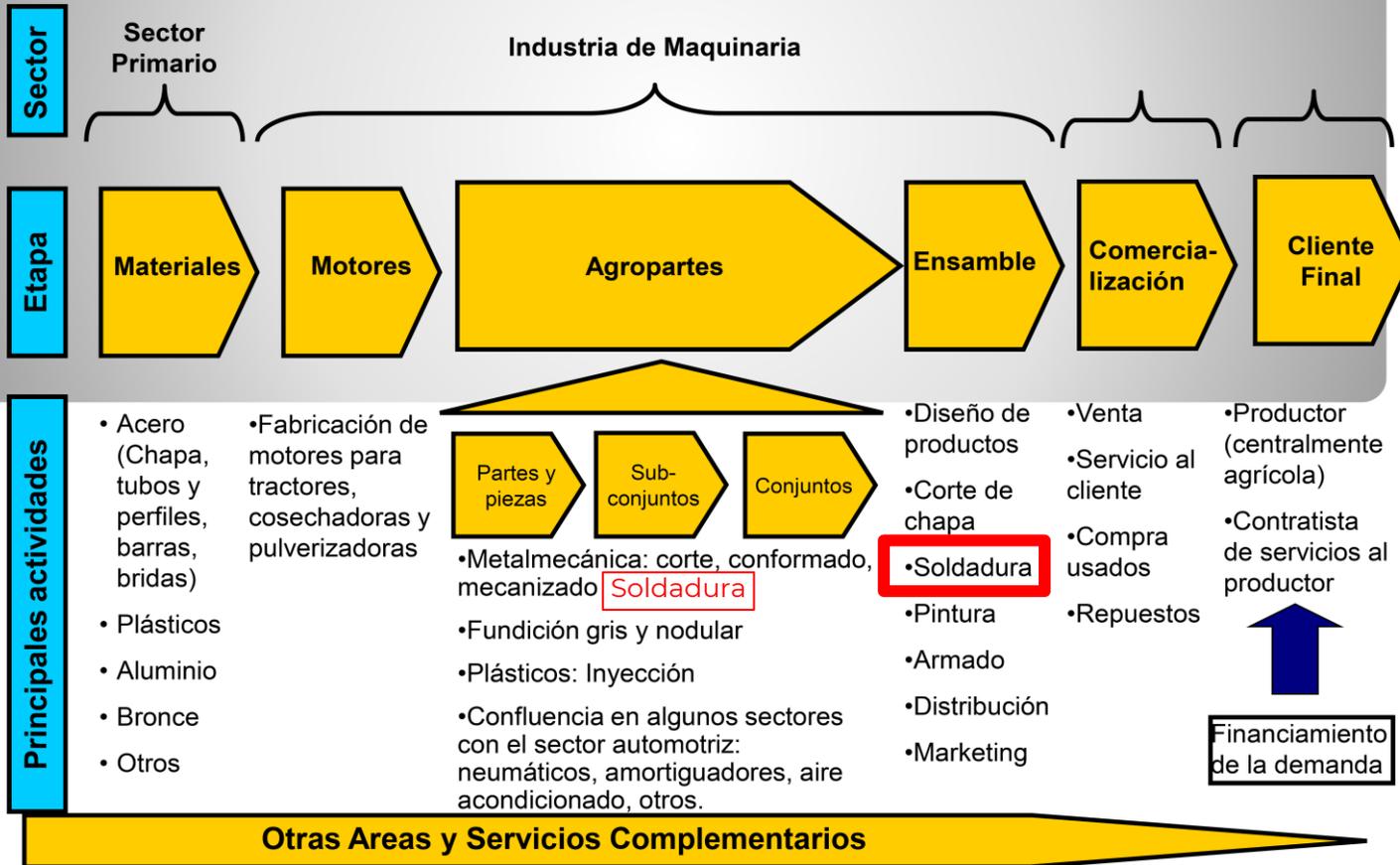
- Sector muy dinámico.
- Principal segmento de la industria argentina de bienes de capital.

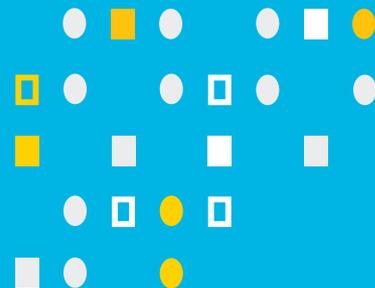
Incluye:

Tractores, cosechadoras, pulverizadoras, sembradoras, acoplados, silos, desmalezadoras, equipos forrajeros, tolvas autodescargables...



# Cadena Productiva





# Productos soldados en la vida

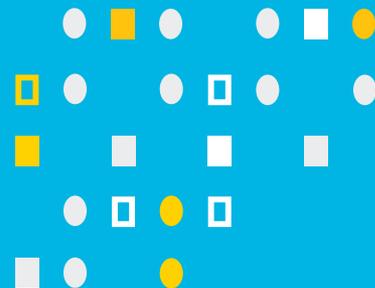
## Maquinaria agrícola

Ya no es soldar dos “fierros”  
Cada vez mayor sofisticación...  
Por ejemplo, materiales de alta  
resistencia: IRAM/IAS U 500-42  
F-42 →  $R_m = 480 - 630 \text{ MPa}$   
F-50 →  $R_m = 560 - 710 \text{ Mpa}$

Electrodos SMAW... E9015-X,  
E9016-X, E9018-X



[24/02 – TERNIUM SIDERAR PRODUCE ACEROS MÁS EFICIENTES PARA EL TRANSPORTE Y LA MAQUINARIA AGRÍCOLA – Expoagro 2022 – Edición YPF Agro](#) (revisado el 01/05/22)



# Productos soldados en la vida

## Maquinaria para procesar alimentos

Un sector con requisitos crecientes:

<https://www.ehedg.org/>

<https://www.3-a.org/>

Comité D18 de AWS para soldadura de aplicaciones sanitarias:

- AWS D18.1/D18.1M:2020, Specification for Welding of Austenitic Stainless Steel Tube and Pipe Systems in Sanitary (Hygienic) Applications;
- AWS D18.2:2020, Guide to Weld Discoloration Levels on Inside of Austenitic Stainless Steel Tube;
- AWS D18.3/D18.3M:2015, Specification for Welding of Tanks, Vessels, and Other Equipment in Sanitary (Hygienic) Applications.



# ¿Qué sucede si el producto soldado no es de calidad?

Buque de carga Liberty SS Schenectady  
16/01/1943@Swan Island ([http://en.wikipedia.org/wiki/SS\\_Schenectady](http://en.wikipedia.org/wiki/SS_Schenectady) revisado  
el 24/10/2015)



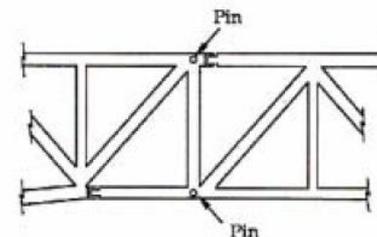
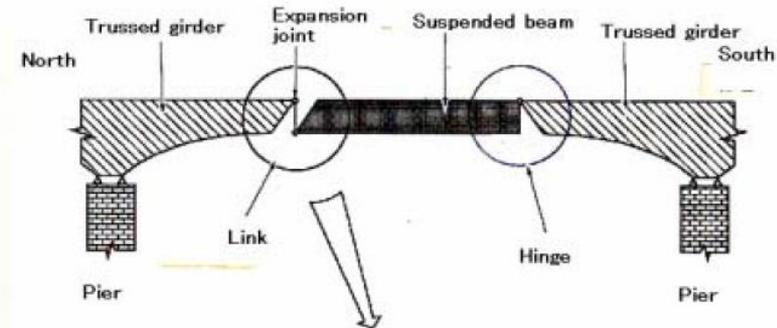
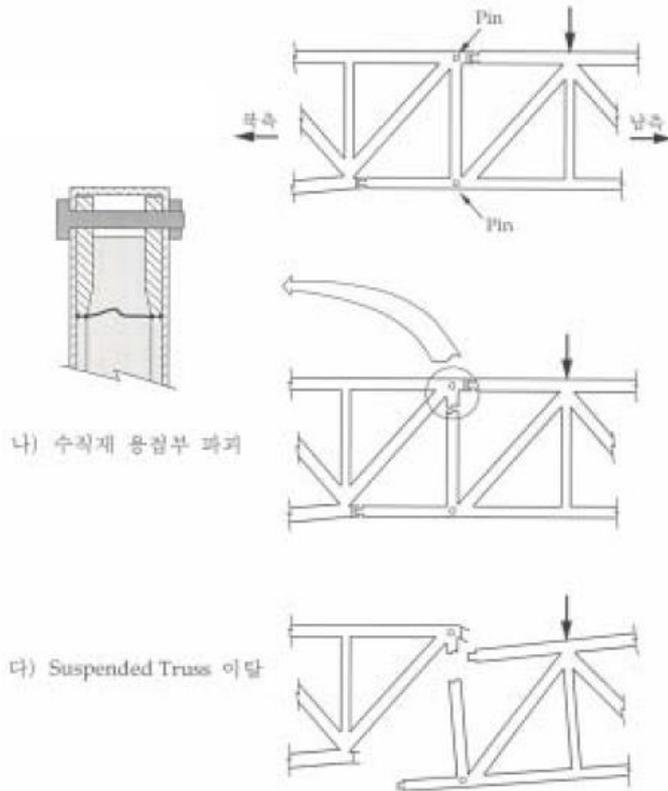


Imagen aérea del buque clase Liberty *SS Schenectady*. Fracturado mientras permanecía atracado en el puerto de Swan Island (Oregon) durante un día de invierno, 15 enero de 1943. Las bajas temperaturas fueron demasiado para la tenacidad del producto soldado. Los aceros en aquella época no eran como los de hoy en día.

# Puente Seongsu (construido entre 1977 y 1979)

21/10/1994@Seul (<http://www.shippai.org/fkd/en/hfen/HD1000144.pdf> revisado el 5/12/2021)

32 muertos – 17 heridos



Submarino ruso Kurks

12/08/2000@Mar de Barents ([https://en.wikipedia.org/wiki/Kursk\\_submarine\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Kursk_submarine_disaster)  
revisado el 25/6/2017)

Falla de soldadura en los tanques de combustible ( $H_2O_2$ ) de los torpedos.

119 muertos





El lunes 3 de mayo de 2021 a las 22:22 hrs, una sección del puente elevado ubicado entre las estaciones Olivos y San Lorenzo Tezonco en la L12, colapsó entre las columnas 12 y 13. La sección colapsada se ubicaba a aproximadamente 200 m de la plataforma de la Estación Olivos. El incidente ocurrió mientras un tren viajaba desde la estación San Lorenzo Tezonco hasta la estación Olivos (de oeste a este) con los vagones 6 y 7 del tren coincidiendo en la sección derrumbada del puente de concreto. Como resultado del incidente se reportaron al momento de emitir este reporte un total de 26 fatalidades y 106 lesionados.

<https://elpais.com/mexico/2021-05-05/que-salio-mal-las-dudas-e-hipotesis-detras-de-la-tragedia-en-el-metro-de-ciudad-de-mexico.html> (revisado el 6/12/21)

Balde de maquina minera en mina a cielo abierto.

Soldadura de recargue

Desde la mina hasta el taller de reparación se demoran entre 8-10 días



# Conclusiones

- Los procesos de soldadura son de uso frecuente en varias industrias argentinas.
- En varios de estos productos determinan su calidad.
- El desarrollo sobre los materiales, los procesos y las necesidades de las sociedades hace que las soldaduras sean cada vez más sofisticadas.
- En el mismo sentido... la calidad de las soldaduras debe ser controlada y satisfecha... de modo de mejorar la seguridad de las personas y el medio ambiente.



# Requerimientos a las uniones soldadas.

## ¿Qué es una buena soldadura?

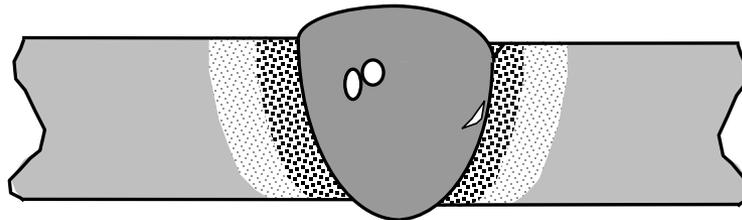
# Características de una soldaduras

## integridad estructural

- propiedades mecánicas
- sollicitaciones mecánicas
  - tensiones residuales
  - imperfecciones (defectos)

## propiedades mecánicas

- resistencia a la tracción
- ductilidad
- tenacidad al impacto



resistencia al desgaste

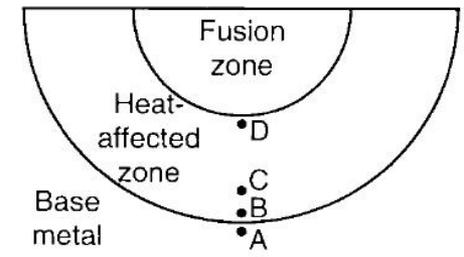
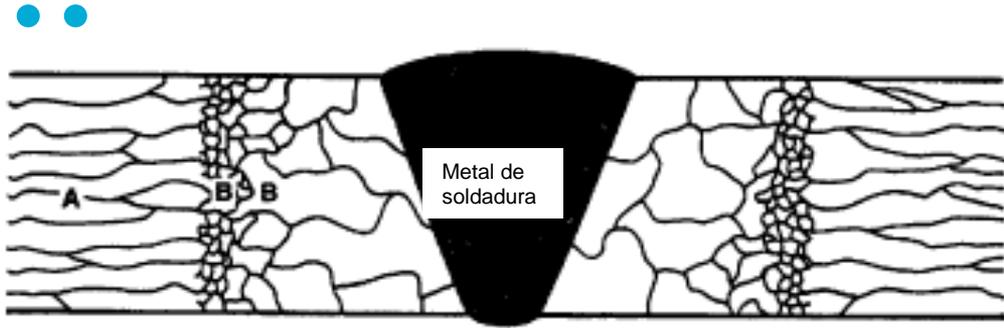
## apariencia

- inspección visual

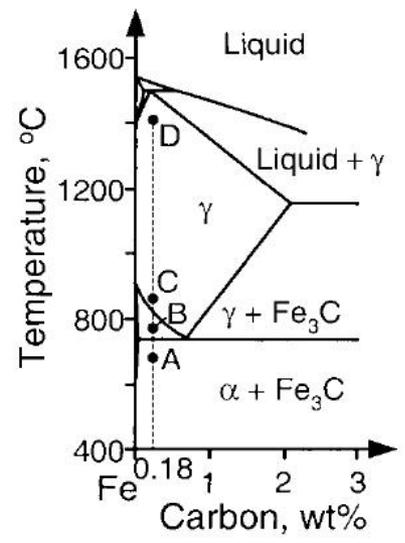
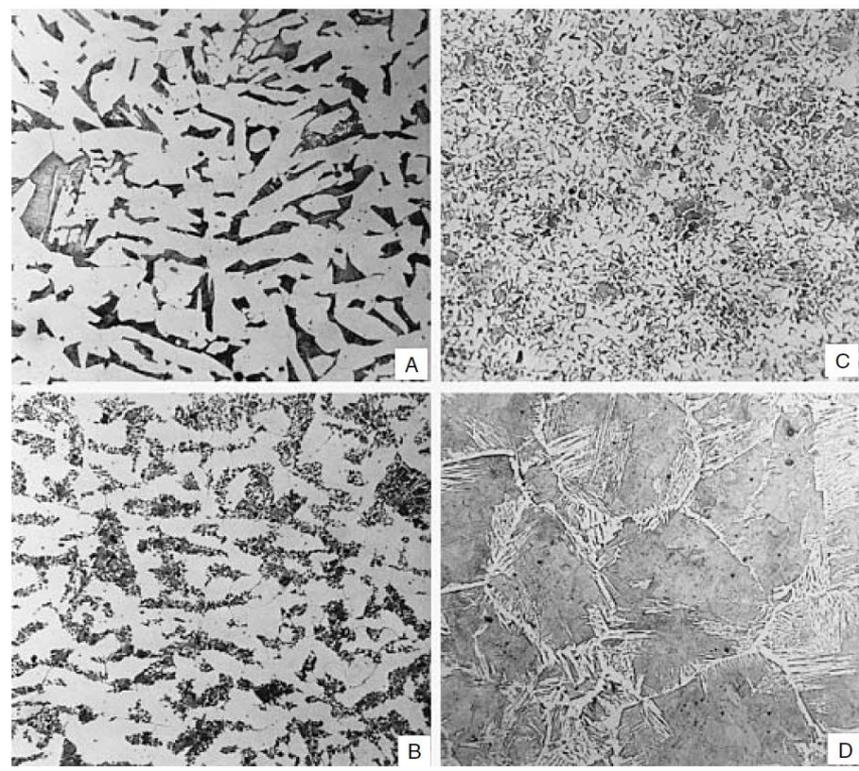
## estanqueidad

- prueba hidrostática

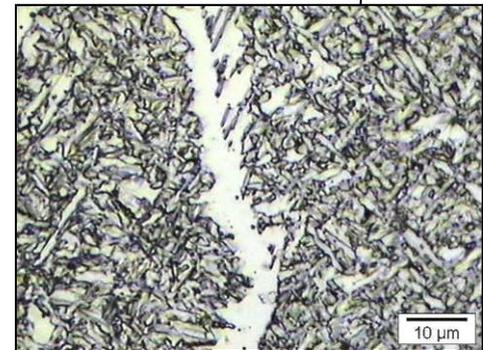
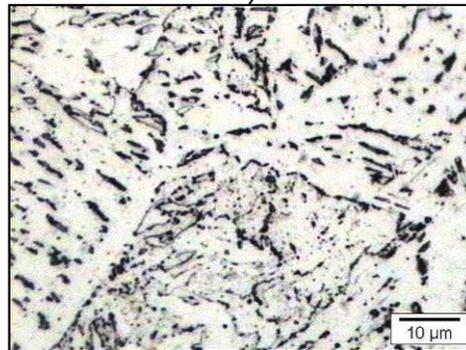
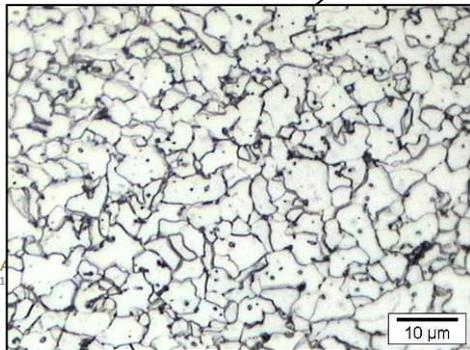
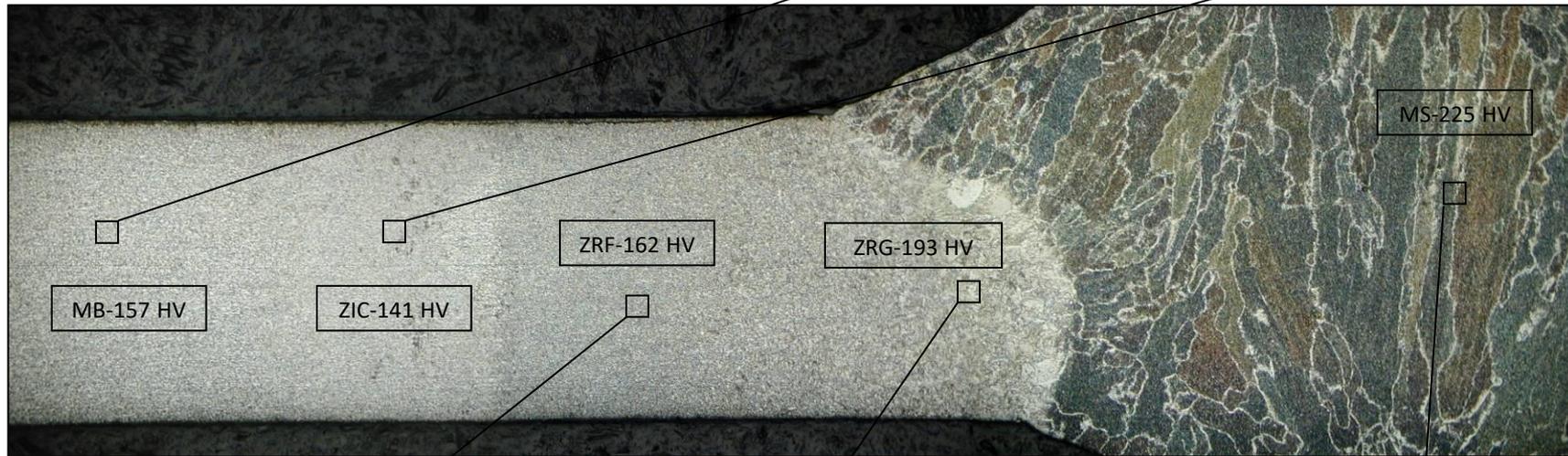
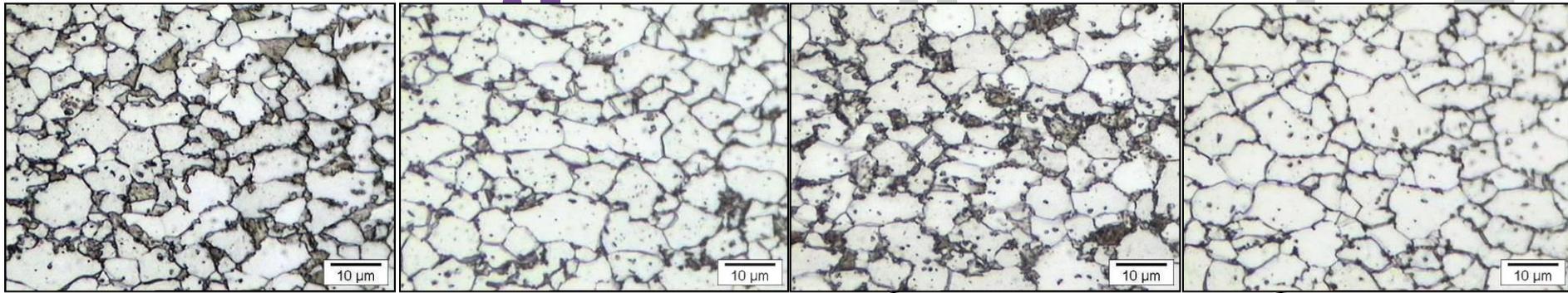
resistencia a la corrosión



- A: base metal
- B: partial grain refining
- C: grain refining
- D: grain coarsening



# Microscopía óptica de la unión soldada de acero al carbono DP



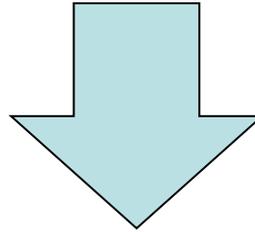
# Pregunta de reflexión



¿Qué se considera proceso especial en el contexto de ISO 9000?

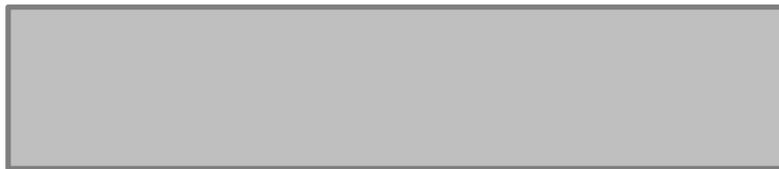


# Necesidad de lograr coalescencia entre dos piezas



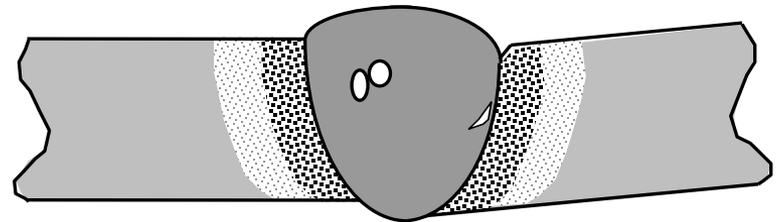
**IDEAL**

**Sin interfase, un continuo perfecto**

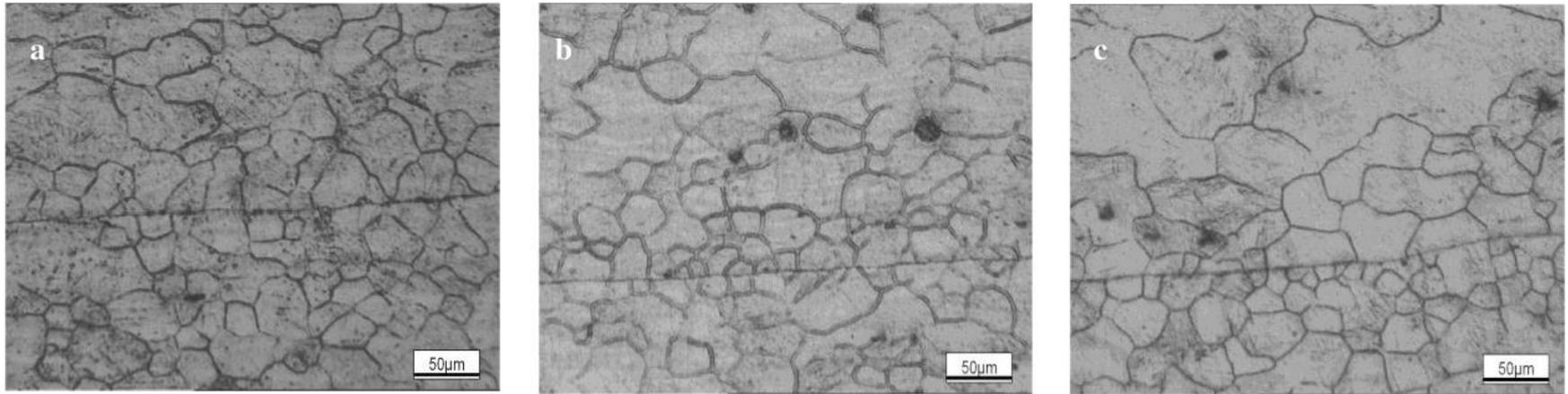


**REAL**

**La unión es evidente**

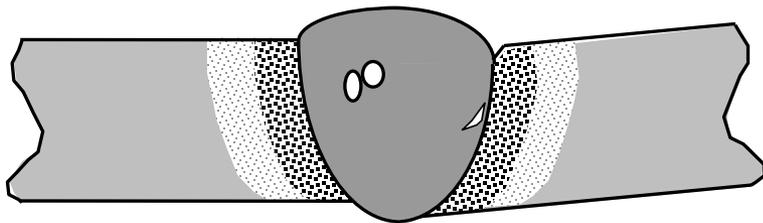
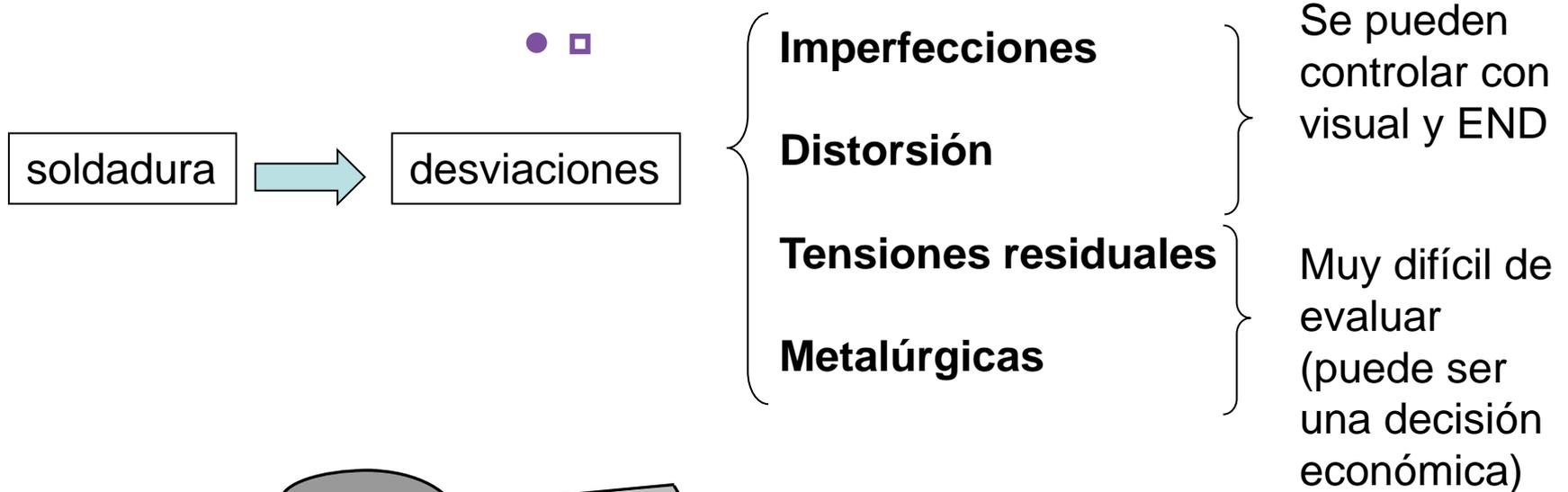


# Ejemplo de soldadura por difusión



**Fig. 2.** Microstructures of diffusion bonding joints: a – 450 °C × 90 min; b – 470 °C × 90 min; c – 490 °C × 90 min

# Soldadura como proceso especial



!!! Necesidad de mantener bajo control el proceso de soldadura!!!!

# Pregunta de reflexión

- ¿Qué tipo de desvíos hacen que los procesos de fabricación con soldadura puedan ser considerados especiales?
  - Imperfecciones
  - Defectos
  - Distorsión
  - Cambios metalúrgicos

# Soldadura como proceso especial

Proceso especial: es aquel en el cual la conformidad del producto no puede ser verificada de manera sencilla o económica (ver ISO 9000:2005 - 3.4.1 NOTA 3 e ISO 9001:2008 - 7.5.2). En los procesos especiales la falta de conformidad se manifiesta cuando el producto está en uso o el servicio se está ejecutando. La organización debe establecer:

- ✓ criterios definidos para la revisión y aprobación de los procesos
- ✓ la aprobación de los equipos y la calificación del personal (inspectores, coordinadores y soldadores)
- ✓ uso de métodos y procedimientos específicos (WPS)
- ✓ la revalidación periódica del proceso (WPQ, inspecciones con END, probetas de producción)
- ✓ requisitos sobre registros (PQR, registro de calificación de soldador, registro de materiales, registro de tratamientos térmicos)



# • Conclusiones

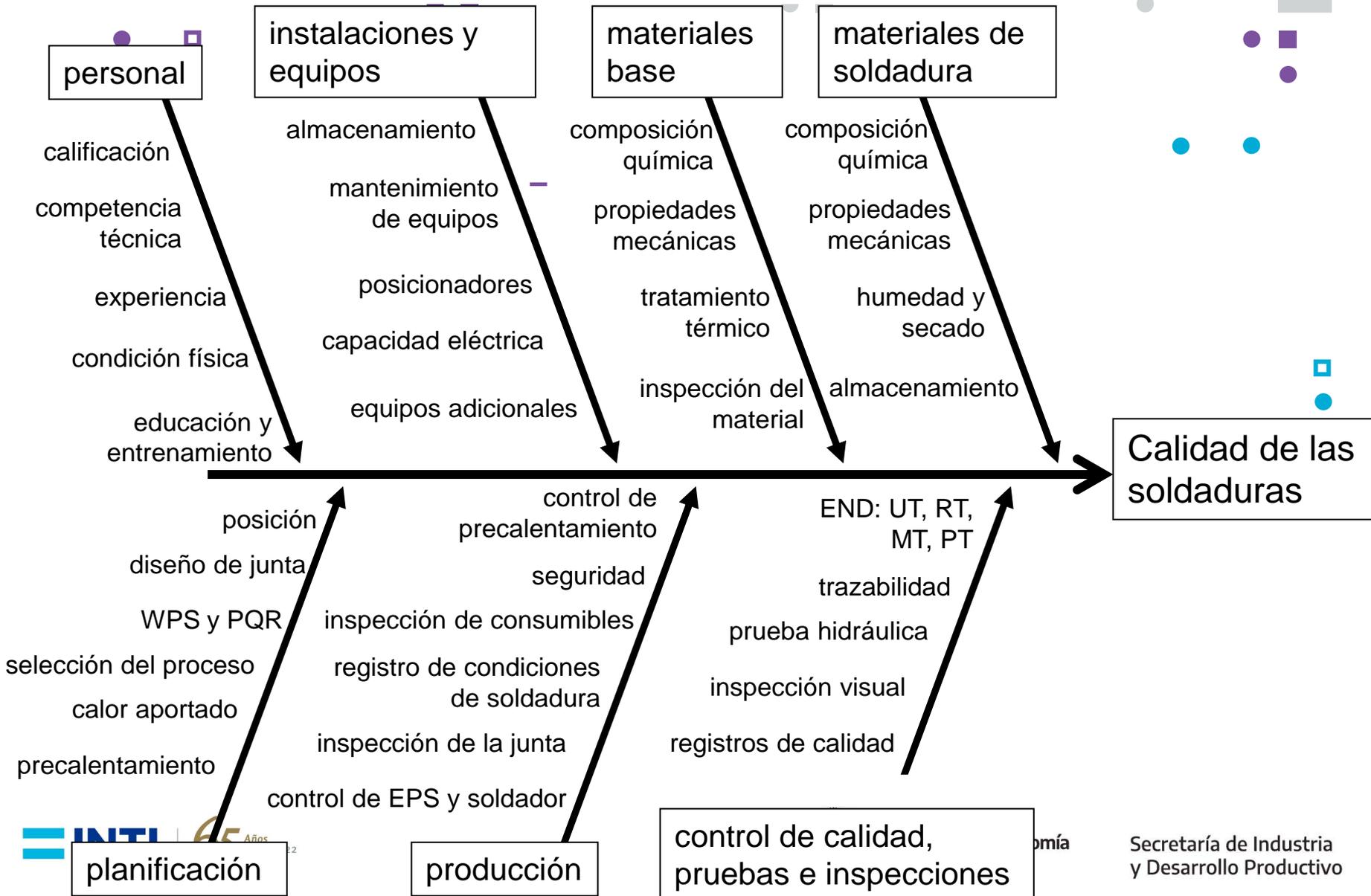
- La calidad de un soldadura industrial esta determinada por su integridad estructural... la cual depende del diseño, las imperfecciones y su microestructura.
- El problema es que la microestructura no puede determinarse sino por medio de ensayos destructivos.
- Este es el motivo principal de los elementos de control de calidad que habitualmente se conocen en la producción de productos soldados: EPS, calificación del personal, registros, etc...



# Diagrama de Ishikawa.

**La calidad de la soldadura basada  
en actividades de calificación.**

# Calidad de productos soldados



# Pregunta de reflexión

- ¿Qué significa calificar?

Un proceso de calificación, es un proceso para demostrar la capacidad para cumplir los requisitos (3.8.6 ISO 9000:2005)

En soldadura calificamos soldadores, inspectores, procedimientos de soldadura o tratamiento térmico, personal de END, etc...

# Calificación de soldadores

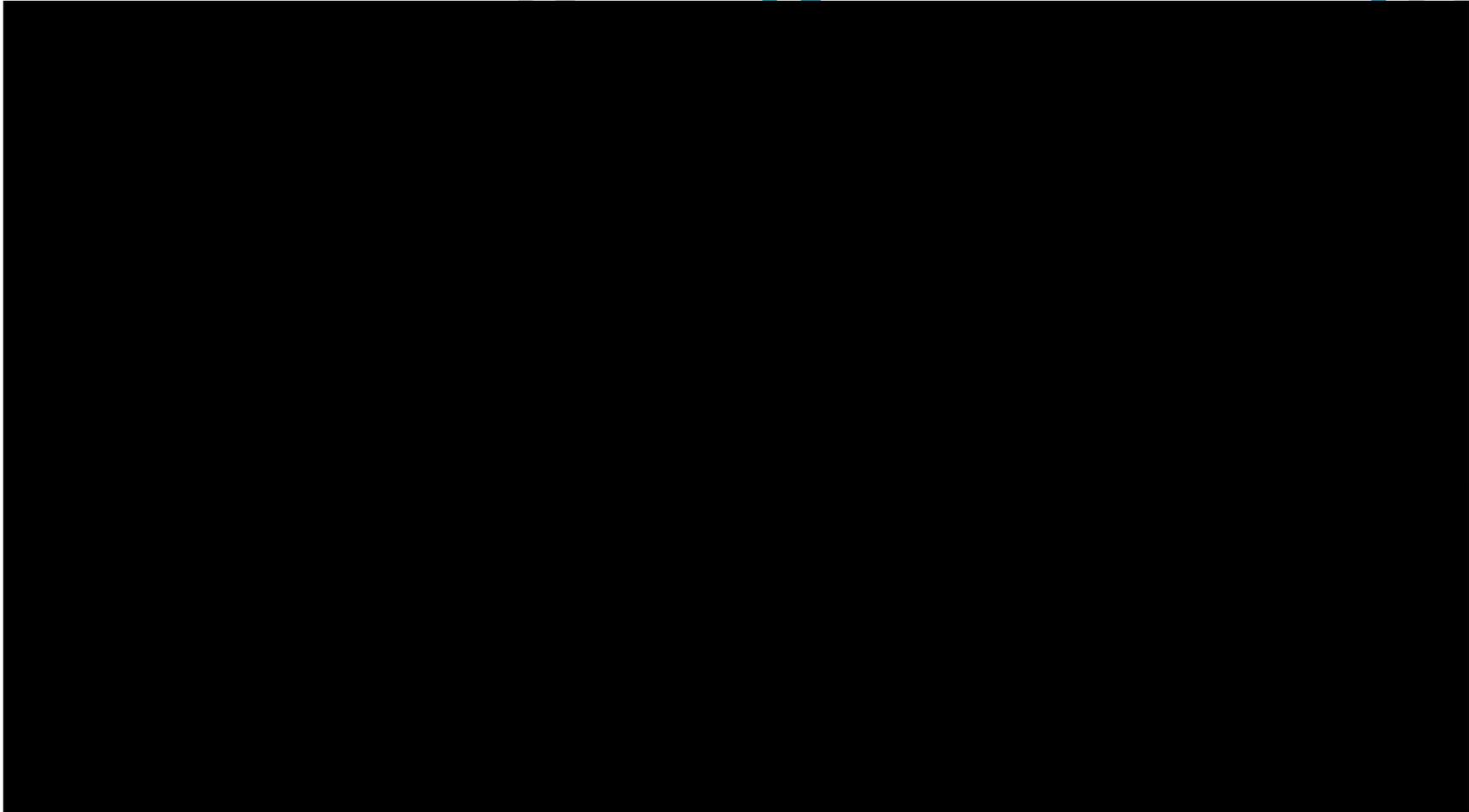
**Demostración de la habilidad de una persona para realizar una soldadura de bajo nivel de imperfecciones.**

- ASME BPV IX → recipientes a presión y calderas
- ISO 9606 → sistema internacional de uso general
- API 1104 → gasoductos, oleoductos, etc.
- AWS D1.1 → soldadura de estructuras de acero
- AWS B2.1 → sistema de EEUU de uso general

Cada uno de estos documentos establece como debe llevarse a cabo tal calificación.

- Soldar algo parecido a lo que debe soldar en producción
- Evaluar → **la sanidad de la soldadura**
- Ensayos: visual, doblados, fractura de metal de soldadura, radiografías, ultrasonidos, macrografía, líquidos penetrantes, etc.





<https://www.youtube.com/watch?v=vsMEoeHk6dc&t=3s>

(revisado el 5/12/21)

# Calificación de Procedimientos de Soldadura

Demostración que el procedimiento propuesto es útil para obtener soldaduras de **adecuada sanidad y propiedades mecánicas** (u otro requerimiento importante).

- ASME Sec IX → recipientes a presión y calderas
- ISO 15609 e ISO 15614 → sistema internacional de uso general
- API 1104 → gasoductos, oleoductos, etc.
- AWS D1.1 → soldadura de estructuras de acero
- AWS B2.1 → sistema de EEUU de uso general

Cada uno de estos documentos establece como debe llevarse a cabo tal calificación.

- Soldar algo parecido a lo que debe soldar en producción
- Evaluar → **la sanidad y propiedades mecánicas de la soldadura**
- Ensayos: visual, tracción, flexión al impacto Charpy, doblados, fractura de metal de soldadura, radiografías, ultrasonidos, líquidos penetrantes, etc.



# Pregunta de reflexión

- Todo proceso tiene variables, algunas más importantes que otras. Mencione 10 variables de un proceso de soldadura (por ejemplo especificación del material base o la temperatura ambiente)

# Pregunta de reflexión

- ¿Qué diferencia hay entre la calificación de un procedimiento de soldadura y un soldador?

# Variables esenciales

*“When an essential variable must be changed beyond the range qualified and the change is not an editorial revision to correct an error, requalification of the procedure specification is required. If a change is made in a nonessential variable, the procedure need only be revised or amended to address the nonessential variable change.”*

*Ver Introduction del ASME BPVC IX – 2021.*

# Variables de soldadura esenciales

Cuando se realiza una calificación, ya sea de soldador o EPS, se genera un registro de esa calificación

## Registro de Calificación: variables de soldadura + resultado de los ensayos

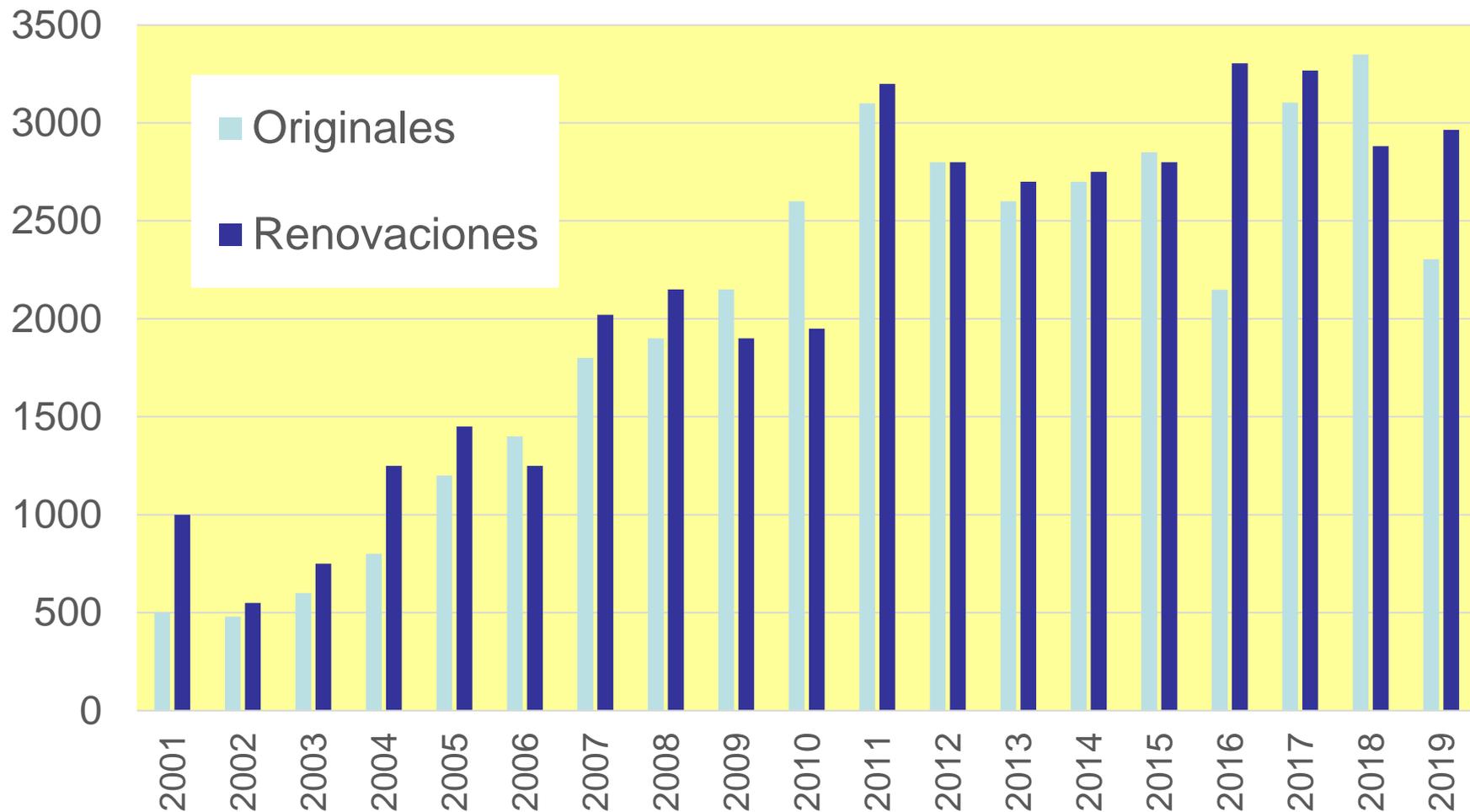
|                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Proceso: SMAW;              | calificado para: SMAW              |
| Electrodo: E6013;           | calificado para: E6013, E6012      |
| Tamaño de electrodo: 2,4 mm | calificado para: todos los tamaños |
| Material: acero;            | calificado para: acero             |
| Producto: chapa;            | calificado para: chapa y tubo      |
| Espesor: 19 mm;             | calificado para: hasta 38 mm       |
| Posición: vertical;         | calificado para: vertical          |

Las normas de calificación definen rangos de calificación de acuerdo a las variables de la prueba. Una variable se denomina **esencial** cuando si en producción se excede el rango calificado es necesario **recalificar**. Cada norma define cuales son variables esenciales para el soldador y cuales para el procedimiento de soldadura.

# Calificación de soldadores

**Sistema de Certificación y calificación de soldadores** → IRAM/IAS U 500-138:2016.

Existen 7 Entes habilitados de calificación (hasta octubre de 2019):



# Pregunta de reflexión

- ¿Qué significa inspección?



# Calificación de inspectores de soldadura

## Sistema de Certificación y calificación de Inspectores de Soldadura →

IRAM/IAS U 500-169:2016 + IRAM/ISO-IEC 17024:2013. Existen tres niveles de competencia:

**Nivel I** (191 al 6/1/22) → ¡siguiendo instrucciones de trabajos!

- ✓ inspección de la junta
- ✓ control del proceso (verificar la operación de soldadura y de reparación)
- ✓ identificar materiales

**Nivel II** (423 al 6/1/22) → además de lo anterior

- ✓ preparar planes de inspección
- ✓ califica soldaduras

**Nivel III** (66 al 6/1/22) → además de lo anterior

- ✓ desarrollar y aprobar procedimientos de soldadura

Existen otros sistemas:

→ AWS B5.1 y AWS QC.1 → Certified Welding Inspector/Engineer

→ IIW → International Welding Inspector/Engineer

# Conclusiones

- Soldadura es un proceso importante en muchas industrias y determina la calidad del producto soldado;
- Una buena soldadura es aquella con buena integridad estructural.
- ISO 9001 → soldadura es un proceso especial → atención a las propiedades mecánicas;
- Desviaciones de soldadura:
  - imperfecciones → evaluadas visualmente y con END
  - **metalúrgicas → difícil de evaluar → mantener el proceso bajo control**
- Calificaciones de soldadura → soldador, inspector, procedimientos de soldadura
- En Argentina funciona un sistema de certificación de calificación de inspectores de soldadura (IRAM/IAS U 500-169 + IRAM/ISO-IEC 17024)

# Documentos de referencia – (al 03/09/22)

- ISO 3834; Quality requirements for fusion welding of metallic materials; 2005
- ISO 14731; Welding coordination – Tasks and responsibilities; 2005
- AWS A3.0; Standard Welding Terms and Definitions; 2020
- IRAM-IAS U 500-138; Ente habilitante y entes de calificación y certificación de soldadores y operadores; 2016
- IRAM/IAS U 500-169; Soldadura - Calificación y certificación de inspectores; 2016
- ASME BPVC IX; Qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazer, and welding and brazers operators; 2021
- Descripción del sistema de calificación de inspectores de soldadura:  
<https://www.siderurgia.org.ar/pdf/P-02Rev21CalificaciondeIS.pdf>
- Listado de inspectores de soldadura certificados:  
<http://www.actualizarmiweb.com/sites/iram-org-ar/index.php?IDM=77&mpal=56&alias=Inspectores-de-soldadura>  
<http://www.siderurgia.org.ar/soldadura-inspectores-de-soldadura-habilitados.php>

# MUCHAS GRACIAS

Si querés saber más del **INTI**  
te esperamos en

[soldadura@inti.gov.ar](mailto:soldadura@inti.gov.ar)

INTIArg

@INTIargentina

INTI

@intiargentina

canalinti

[www.inti.gov.ar](http://www.inti.gov.ar)

[consulta@inti.gov.ar](mailto:consulta@inti.gov.ar)

0800 444 4004

