

---

# TRABAJO FINAL DE GRADO

# TFG

## Grado en Ingeniería Mecánica

EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN POR  
PÉRDIDA DE MASA Y CORROSIÓN POR  
PICADURAS EN LA SOLDADURA TIG DE  
ACERO AISI 316 CON APORTE AISI 308L  
SOMETIDA A CARGAS DE TRACCIÓN

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Alumno** | Alejandro Calixto Morcilo Moll

**Tutor** | Manuel Pascual Guillamón

**Cotutor** | Fidel Salas Vicente



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

## ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	2
1  OBJETIVO .....	3
2  INTRODUCCIÓN .....	4
3  MATERIALES .....	5
3.1  Material de las chapas empleadas .....	5
3.2   Material aportado .....	5
4  UNIÓN DE PIEZAS MEDIANTE SOLDADURA .....	6
4.1  Soldadura .....	6
4.1   Tipos de soldadura .....	6
4.5  Resultado final de las piezas .....	13
5  CORTE DE PIEZAS .....	14
5.1  Equipo y método empleado .....	14
5.2  Dimensiones de las probetas .....	15
5.3  Sistema de actuación .....	15
6.1  Equipo y método empleado .....	18
6.2  Sistema de actuación .....	19
6.3  Resultados .....	19
7  MICROGRAFÍA .....	19
7.1  Metalografía .....	19
7.3  Observación microscópica .....	25
7.4  Resultados .....	25
8  ENSAYO DE DUREZA .....	27
8.1  Dureza .....	27
8.3  Resultados .....	29
9  ENSAYO DE CORROSIÓN .....	30
9.1  Corrosión en los metales y tipos .....	30
9.2  Método empleado .....	33
9.3  Sistema de actuación .....	33

9.4  Resultados.....	35
10  CONCLUSIÓN.....	41
11  PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS .....	42
11.1  Proceso de soldadura .....	42
11.2  Cortes de piezas.....	43
11.4  Micrografía.....	44
11.6  Ensayo de corrosión.....	45
12  PRESUPUESTO .....	45
12.1  Mano de obra .....	46
12.2  Maquinaria empleada.....	47
12.3  Materiales empleados .....	48
12.4  Resumen .....	50
13. BIBLIOGRAFÍA.....	51

---



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Dimensiones de las chapas AISI316 empleadas .....	5
Ilustración 2. Material de aporte acero inoxidable 308L y composición.....	5
Ilustración 3. Soldadura por gas .....	6
Ilustración 4. Soldadura por resistencia.....	7
Ilustración 5. Equipo de soldadura por arco eléctrico y soldadura por arco eléctrico....	7
Ilustración 6. Equipo de soldadura TIG y soldadura TIG .....	8
Ilustración 7. Soldadura MIG .....	8
Ilustración 8. Amarrado de piezas previo a la soldadura .....	10
Ilustración 9. Cordón de soldadura.....	10
Ilustración 10. Mordedura .....	11
Ilustración 11. Falta de penetración .....	12
Ilustración 12. Cráter en la soldadura .....	12
Ilustración 13. Resultado final de las chapas soldadas .....	13
Ilustración 14. Cizalla acoplada en tornillo de banco .....	14
Ilustración 15. Dimensiones de las probetas a cortar .....	15
Ilustración 16. Máquina universal de tracción MOHR & FEDERHAFF .....	18
Ilustración 17. Ejemplo de la muestra tomada para micrografía .....	21
Ilustración 18. Sierra de disco con accionamiento manual .....	21
Ilustración 19. Máquina de embutición y compuesto termoendurecible .....	22
Ilustración 20. Cubilete resultante de la embutición .....	22
Ilustración 21. Desbastadora LaboPol-21 .....	23
Ilustración 22. Ataque electrolítico en disolución de ácido oxálico y tensión de 12V y 1,2 Amp .....	25
Ilustración 23. Micrografía de la probeta sometida a 10500 N (x100).....	26
Ilustración 24. Micrografía de la probeta sometida a 10700 N (x100).....	26
Ilustración 25. Funcionamiento del ensayo de dureza .....	27
Ilustración 26. Marca que deja el indentador en la muestra.....	28
Ilustración 27. Máquina para ensayo de dureza INNOVATEST .....	28
Ilustración 28. Probetas sumergidas en Cloruro Férrico .....	35

Ilustración 29. Probetas AISI316 sometidas a una carga de 10500 N .....	36
Ilustración 30. Probetas AISI316 sometidas a una carga de 10700 N .....	36
Ilustración 31. Probetas AISI316 sometidas a una carga de 11000 N .....	36
Ilustración 32. Báscula de precisión KERN 770.....	37
Ilustración 33. Microscopio estereoscópico NIKON SMZ800.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados ensayo de dureza .....	29
Tabla 2. Marcado de probetas.....	34
Tabla 3. Pérdida de masa con fuerza aplicada de 10500 N .....	37
Tabla 4. Pérdida de masa con fuerza aplicada de 10700 N .....	38
Tabla 5. Pérdida de masa con fuerza aplicada de 11000 N .....	38
Tabla 6. Picaduras en probetas sometidas a una carga de 10500 N .....	39
Tabla 7. Picaduras en probetas sometidas a una carga de 10700 N .....	39
Tabla 8. Picaduras en probetas sometidas a una carga de 11000 N .....	39

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de tensión de rotura.....	17
Ecuación 2. Cálculo del módulo de young.....	18
Ecuación 3. Cálculo de coeficiente de elongación.....	19

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Pérdida de peso unitaria frente a tensión.....	4
---	---

## 1| OBJETIVO

El presente trabajo de final de grado tiene como objetivo observar y estudiar los cambios producidos en las propiedades mecánicas debido a la corrosión por picaduras en el acero inoxidable AISI 316 soldado con varilla de aporte AISI 308L al someterlo a tracción. Este estudio se basa en como el acero inoxidable es corroído en ambientes salinos en función de las tensiones a las cuales ha sido sometido.

Para el siguiente estudio, soldaremos dos chapas del acero nombrado anteriormente mediante soldadura de tipo TIG (Tungsten Inert Gas), este método de soldadura también es conocido como GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) y posteriormente sumergiremos las distintas chapas en cloruro férrico para estudiar la corrosión por picaduras simulando dichos ambientes salinos.

Los estudios a realizar en este proyecto se llevaran a cabo en la zona de la soldadura donde se definen las características mecánicas y a corrosión del acero mediante un estudio a tracción, corrosión y micrografía. Posteriormente podremos ver la evolución de la corrosión a distintas tensiones mediante el conteo de picaduras en las distintas chapas.

## 2 | INTRODUCCIÓN

El acero inoxidable es un grupo de aleaciones que comparten el hierro como componente principal y el cual tiene una gran resistencia a la oxidación y a la corrosión. Aquellos denominados como aceros inoxidables deben tener cantidades superiores a un 10% de cromo (Cr) y bajo contenido de carbono. La resistencia frente a la corrosión entre un acero al carbono y un acero inoxidable es notable ya que cuando un acero se corroe cuando queda expuesto al aire y a la humedad, cuando la capa de óxido de hierro se activa, se acelera la corrosión al formar más óxido de hierro. Por otro lado el acero inoxidable, debido a su cantidad de cromo (Cr) crea una capa pasiva de óxido de cromo y evita que la corrosión avance. Dichos aceros inoxidables también se pueden alea con elementos como el Níquel (Ni) o el Molibdeno (Mo). A nivel comercial podemos encontrar más de 100 clases diferentes de aceros inoxidables, utilizados tanto a nivel industrial como a nivel domestico.

Para este estudio utilizaremos un acero inoxidable de cromo níquel austenítico el cual contiene molibdeno que pertenece a la serie 300 de la norma AISI (American Iron Steel Institute) en concreto el AISI316.

En este acero inoxidable la adición del molibdeno nombrado anteriormente mejora la corrosión, resistencia a picaduras y mayor resistencia a temperaturas elevadas. Pese a tener una mejor resistencia frente a la corrosión estudiaremos como son afectados por ambientes salinos cuando se someten a tensión. Simularemos dicho ambiente salino sumergiendo las distintas chapas en cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) y observaremos la pérdida de masa que han experimentado las chapas después de la corrosión.



### 3 | MATERIALES

#### 3.1 | Material de las chapas empleadas

Para este estudio vamos a emplear chapas de acero inoxidable AISI316 de unas dimensiones de 80 X 160 X 1.5 mm.

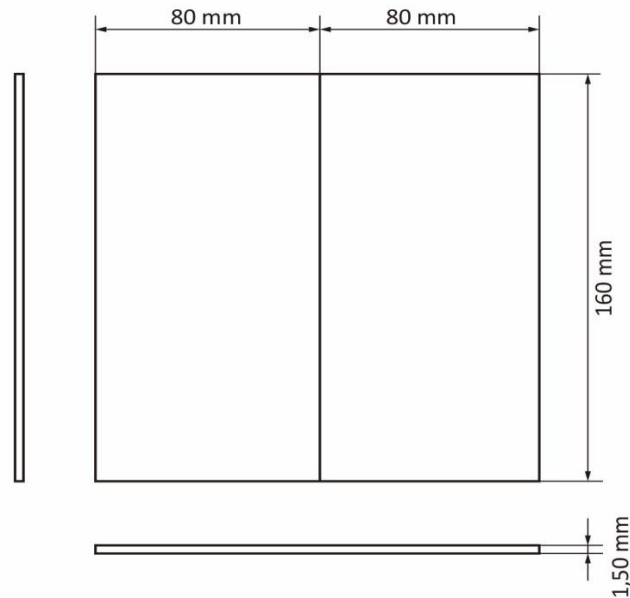


Ilustración 1. Dimensiones de las chapas AISI316 empleadas

#### 3.2 | Material aportado

El material de aporte que utilizaremos serán varillas de acero inoxidable 308L con un diámetro de 1/16 X 36" y dimensiones (1.6 X 1000 mm). Se utiliza este material ya que es adecuado para unir o reconstruir aceros inoxidables y debido a su bajo contenido en carbón tiene alta resistencia a la corrosión.

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
Máx. 0,015	1,80	0,02	0,02	0,80	20,5	10,0



Ilustración 2. Material de aporte acero inoxidable 308L y composición

## 4 | UNIÓN DE PIEZAS MEDIANTE SOLDADURA

### 4.1 | Soldadura

La soldadura es un proceso de unión entre metales por acción del calor, puede ser con o sin material de aporte. En este proyecto como se nombra anteriormente es con aporte de material, por tanto, para que el material de aporte funda y una ambas superficies es necesario suministrar calor y quedaran fijas al enfriarse dicho material.

### 4.1 | Tipos de soldadura

Los tipos de soldadura más frecuentes son los nombrados a continuación:

#### - Soldadura por gas

Este tipo de soldadura es bastante popular además de simple y barata. La mas conocida de este tipo de soldadura es aquella en la cual se emplea la combustión de acetileno en oxígeno (soldadura autógena). Como ventaja tiene que es de bajo coste y como inconveniente que los materiales necesitan tiempo para enfriarse.

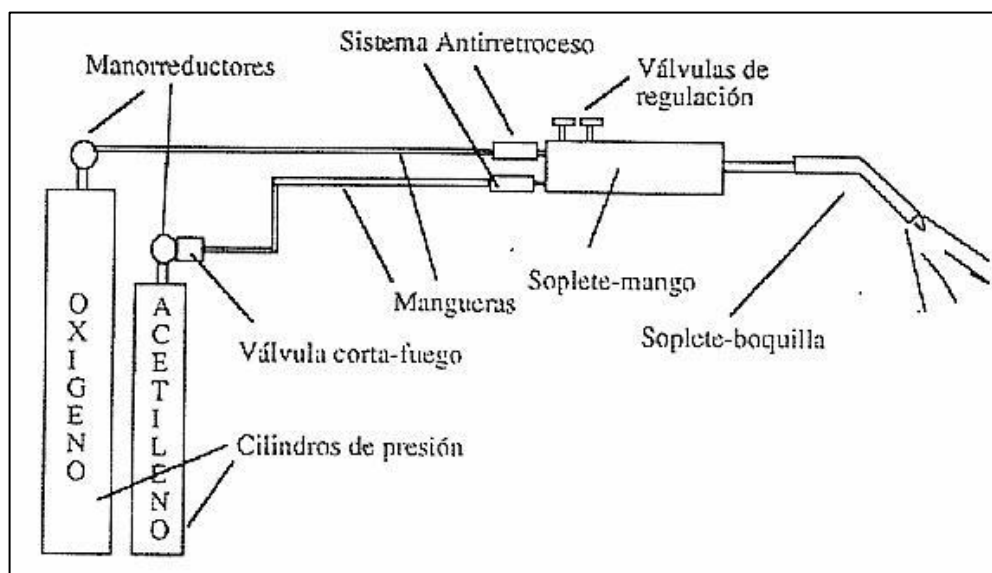


Ilustración 3. Soldadura por gas

### - Soldadura por resistencia

En este tipo de soldadura se produce un proceso termoeléctrico en el cual se genera calor por el paso de una corriente eléctrica a través de las piezas. Este calor es generado en la zona de unión de las piezas que se quieren unir con un tiempo y una presión controlada. Como ventajas tiene que su tiempo de proceso es muy corto y es limpio y ecológico.

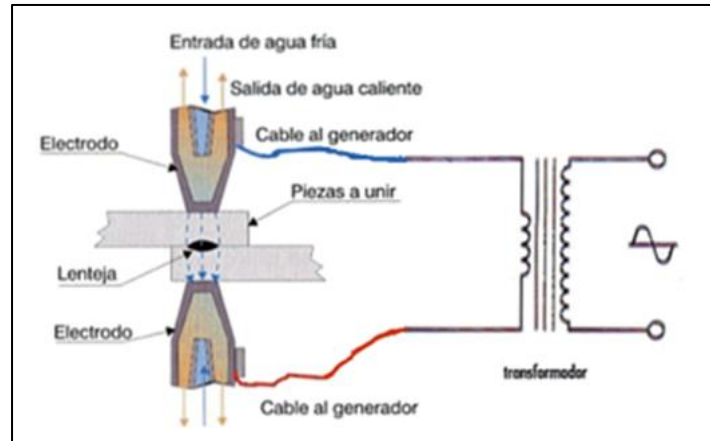


Ilustración 4. Soldadura por resistencia

### - Soldadura por arco eléctrico

En este método de soldadura se sitúan dos conductores en contacto y se les somete a una diferencia de potencial. Cuando se separan los conductores se produce una chispa para ionizar el gas o el aire para que pase la corriente pese a no estar en contacto, así es como creamos el llamado arco eléctrico que se crea entre ambos transformando la energía eléctrica en calórica. Como ventajas tenemos que la soldadura penetra muy bien y como desventajas tenemos que eliminar la conocida como escoria antes y después de la operación.

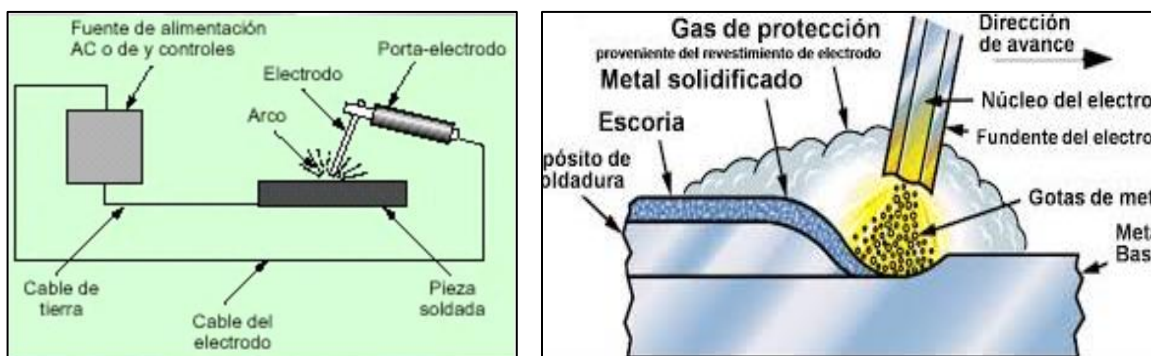


Ilustración 5. Equipo de soldadura por arco eléctrico y soldadura por arco eléctrico

## - Soldadura TIG

Este proceso de soldadura también conocida como AWS (Gas Tungsten Ac Welding) es un proceso por arco eléctrico, dicho arco se establece entre la pieza a soldar y el electrodo de tungsteno con la protección de un gas inerte para evitar el contacto del aire con el baño de fusión. Como ventajas tiene que se puede soldar con una amplia gama de espesores y como inconvenientes que requiere una mayor habilidad.

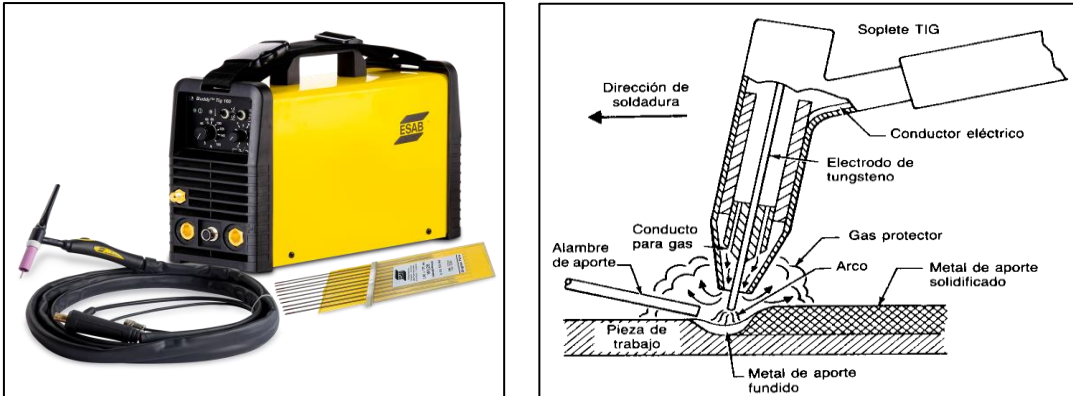


Ilustración 6. Equipo de soldadura TIG y soldadura TIG

## - Soldadura MIG

La soldadura MIG (Metal Inert Gas), consiste en mantener un arco de electrodo consumible de hilo sólido y la pieza a soldar. El baño de soldadura está protegido del aire exterior por un gas inerte. El electrodo que se usa para soldar en este caso se alimenta continuamente por una pistola de soldadura. Como ventajas tenemos la sencillez de este proceso y como desventajas que este proceso es inaplicable para soldadura de acero grueso.

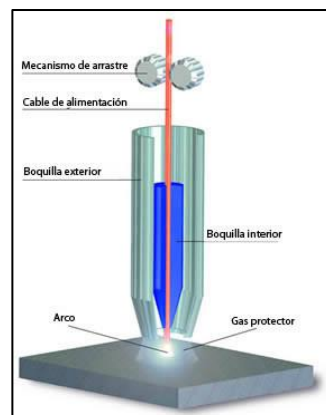


Ilustración 7. Soldadura MIG

## 4.2 | Método y equipo empleado

El proceso que hemos empleado para realizar este proyecto es en este caso la soldadura tipo TIG (Tungsten Inert Gas). Se ha escogido este tipo de soldadura ya que presenta alta calidad de soldadura en prácticamente todos los metales, los cordones de soldadura son más fuertes y resistentes a la corrosión y más homogéneos que con electrodos convencionales.

El equipo que se ha empleado es un soldador TIGMIG 170 acompañado de un electrodo de tungsteno y recubrimiento de gas Argón.

Para los procesos de soldadura es necesario utilizar cierto material de seguridad, en este caso una máscara de protección para evitar las radiaciones emitidas durante el proceso de soldadura.

## 4.3 | Sistema de actuación

### **Preparación de piezas**

A pesar de que las chapas a utilizar están situadas en un lugar adecuado y están en muy buen estado, como medida preventiva realizaremos una limpieza de dichas piezas para evitar presencia de grasas o otros elementos similares que puedan influir o perjudicar el baño de fusión durante la soldadura. Con disolvente eliminaremos los posibles restos de grasa o aceite presentes en las chapas utilizadas.

### **Amarrado y punteado de piezas**

Con el propósito de conseguir una buena soldadura será necesario previamente a comenzar la soldadura amarrar ambas chapas que se van a soldar a el banco de trabajo en el que estemos situados con varios sargentos para que se muevan y se deformen lo mínimo posible debido al calor aplicado. Para evitar que se deformen debido a la fuerza que aplican los sargentos situaremos un bloque de metal entre la chapa y el sargento para que la fuerza aplicada se distribuya de manera similar.

Las chapas se deben colocar con un espacio entre ellas en forma de V ya que cuando coloquemos los puntos de soldadura en el punto más cercano entre las chapas el opuesto y más alejado se irá cerrando y así evitaremos la superposición entre ambas chapas.



Ilustración 8. Amarrado de piezas previo a la soldadura

### **Cordón de soldadura**

Posteriormente al punteo de las piezas comenzamos a realizar el cordón de soldadura. Esta parte del proceso además de ser la más compleja es la más importante ya que el material de la varilla de aporte tiene que penetrar correctamente para que quede homogénea toda la chapa, ya que posteriormente cuando sometemos las piezas a tracción puede variar mas de lo que debería y afectar en los resultados reales a estudiar.



Ilustración 9. Cordón de soldadura

## Acabado

Para finalizar este proceso utilizaremos una amoladora para devastar el material de aporte sobrante y pulir la superficie para dejarla homogénea. Para el primer proceso utilizaremos un disco con un grano más grueso ya que para el desbaste no es necesario que quede perfecto. Posteriormente con un disco de grano más fino realizaremos el pulido para que toda la superficie quede de igual manera.

### 4.4 | Defectos de soldadura

En cualquier proceso de soldadura pueden existir diferentes problemas de diferentes tipos. En el proceso realizado para este proyecto se han dado 3 especialmente pero pueden existir varios más dependiendo del tipo de soldadura que se utilice.

#### - **Mordedura**

Este defecto se puede visualizar en cualquier parte de la pieza. Concretamente es una falta de material que se puede deber a un exceso de intensidad, un ángulo incorrecto de la lanza o una velocidad inadecuada a la hora de realizar el cordón.



**Ilustración 10. Mordedura**

#### - **Falta de penetración**

Este caso se produce cuando hay un déficit en la penetración de material aportado. Uno de los factores que puede dar lugar a este problema es cuando reanudamos la soldadura después de haber parado por cualquier inconveniente. Esta falta de

penetración hace que las piezas no queden perfectamente unidas y se puede producir una rotura.

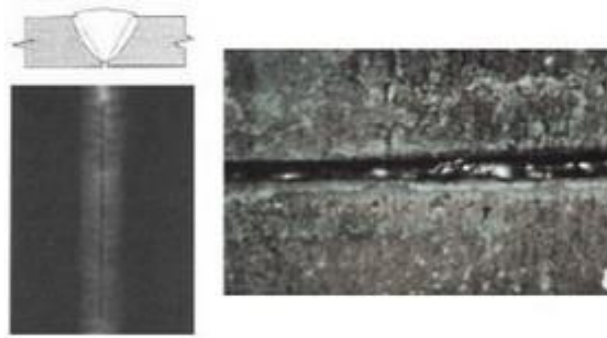


Ilustración 11. Falta de penetración

- **Cráteres en el cordón de soldadura**

Este problema es bastante común en persona que no tienen experiencia. Los cráteres son agujeros que se forman a lo largo del cordón de soldadura cuando hay una parada brusca en el proceso de soldado.



Ilustración 12. Cráter en la soldadura

- **Exceso de penetración**

El exceso de penetración entre de piezas aparece cuando no se está usando la corriente adecuada, si se utiliza una corriente demasiado elevado o las piezas a unir están demasiado separadas entre sí aparece este problema.



#### 4.5 | Resultado final de las piezas

A continuación de muestra un ejemplo del resultado y el aspecto final de las placas realizadas:



**Ilustración 13. Resultado final de las chapas soldadas**

Estas chapas son un ejemplo de todas las realizadas ya que son muy similares. Como podemos observar a pesar de ser una técnica de soldadura bastante compleja tienen muy buen aspecto con buena penetración de material y el cordón uniforme, hay una pequeña mordedura pero esto no afecta para realizar el estudio ya que será una parte sobrante. Debido a la falta de penetración en alguna de las zonas del cordón de soldadura, añadiremos más material para corregir este error y posteriormente volveremos a desbastar y pulir el cordón de soldadura.

## 5 | CORTE DE PIEZAS

Para realizar el estudio de corrosión frente a tensión debemos cortar las chapas soldadas previamente en varias probetas de menor tamaño.

### 5.1 | Equipo y método empleado.

El equipo que emplearemos para la obtención de las probetas a partir de las chapas será una cizalla atornillada a un tornillo de banco, de esta manera será más cómodo el corte y más seguro ya que evitaremos cualquier movimiento de la cizalla. Este método de corte además de ser bastante rápido es bastante efectivo ya que prácticamente no deja ninguna rebaba significativa después del corte.



**Ilustración 14. Cizalla acoplada en tornillo de banco**

## 5.2 | Dimensiones de las probetas

A partir de cada una de las chapas soldadas obtendremos varias probetas para realizar el estudio correspondiente. De cada chapa obtendremos 7 probetas de 20 mm para realizar el estudio a tracción y posteriormente a corrosión, y dos probetas de 10 mm para realizar las micrografías.

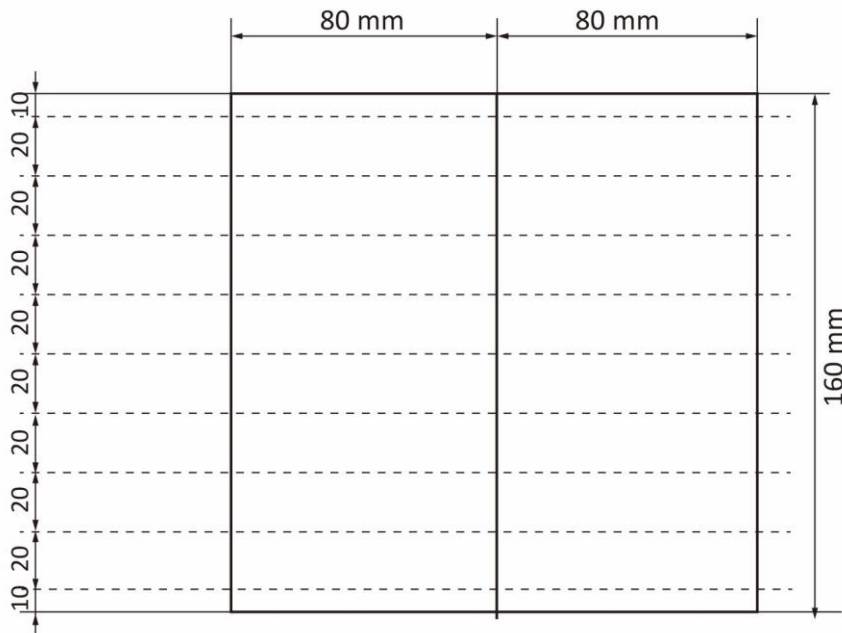


Ilustración 15. Dimensiones de las probetas a cortar

## 5.3 | Sistema de actuación

Para realizar el corte de las chapas en distintas probetas, el primer paso será marcar con un rotulador las dimensiones que vamos a cortar. Una vez realizado el paso anterior nos dirigimos a la cizalla e iremos cortando las distintas probetas. Una vez cortadas las marcaremos con un granete ya que si lo hacemos con un rotulador es posible que después de sumergirlas en el corrosivo se pierda la numeración de cada pieza. De cada chapa obtendremos 8 probetas, 6 de dimensiones 20X160 mm y 2 probetas de dimensiones 10x160 mm que como hemos dicho anteriormente las de mayor dimensión son para realizar el estudio tracción-corrosión y las dos restantes para las micrografías. Como elementos de seguridad utilizaremos unos guantes de cuero y unas gafas de protección.

## 6 | ENSAYO A TRACCIÓN

El ensayo de tracción es posiblemente el ensayo más fundamental de todas las pruebas mecánicas que se puede realizar en un material. En este tipo de ensayos se somete al material a una fuerza de tracción que tratara de estirar el material, durante el ensayo el material se estirara a medida que apliquemos más fuerza hasta llegar a su rotura.

### - Tensión de rotura

Se denomina tensión de rotura a la máxima tensión que un material puede soportar antes de que su sección transversal se contraiga hasta la rotura.

La tensión de rotura se obtiene generalmente al realizar un ensayo de tracción y registrar la tensión en función de la deformación. El punto situado en la zona más elevada de la curva tensión-deformación es la tensión de rotura. La ecuación utilizada para hallar dicha tensión de rotura es:

$$\sigma_r = \frac{Fr}{A}$$

Ecuación 1. Cálculo de tensión de rotura

Donde:

**Fr:** Carga máxima que puede soportar la probeta.

**A:** Área inicial de la sección transversal de la probeta.

**$\sigma_r$ :** Tensión de rotura del material.

## - **Módulo de Young**

Se denomina módulo de Young o módulo de elasticidad al parámetro característico de cada material el cual indica la relación entre los incrementos de tensión y los incrementos de deformación longitudinal unitaria. Este módulo de elasticidad se puede mantener constante durante toda la zona elástica del material indicando un comportamiento lineal. Las unidades del modulo de Young en el sistema internacional son Pascales. Este modulo indica la rigidez, cuanto mayor es su rigidez mayor es su módulo.

$$E = \frac{F_e \cdot l_0}{\Delta l \cdot A}$$

Ecuación 2. Cálculo del módulo de young

Donde:

**Fe:** Carga elástica.

**Lo:** Longitud inicial de la probeta.

**Δl:** Diferencia entre longitudes.

**A:** Sección de la probeta.

## - **Alargamiento**

El alargamiento conocido también en tecnología de materiales como elongación, es una magnitud la cual mide la longitud que incrementa un material cuando se somete a un esfuerzo de tracción antes de producirse la rotura de dicho material. Este incremento de longitud se mide en % respecto a la longitud inicial. Este proceso se

suele estudiar en materiales dúctiles ya que pueden deformarse sin llegar a romperse, en cambio los materiales frágiles apenas se deforman antes de romperse.

$$\%EL = \left( \frac{L_f - L_o}{L_o} \right) \times 100$$

Ecuación 3. Cálculo de coeficiente de elongación

Donde:

**EL:** Coeficiente de elongación en %.

**L<sub>f</sub>:** Longitud final de la probeta.

**L<sub>o</sub>:** Longitud inicial de la probeta.

### 6.1 | Equipo y método empleado

Para realizar el ensayo de tracción utilizaremos un maquina la cual consta de dos cabezales con una mordaza en cada cabezal para amarrar la probeta correspondiente. El cabezal superior es fijo mientras que el inferior puede moverse verticalmente. La maquina empleada es una maquina universal de ensayos MOHR & FEDERHAFF.



Ilustración 16. Maquina universal de tracción MOHR & FEDERHAFF

## 6.2 | Sistema de actuación

Las probetas cortadas anteriormente se introducirán en la máquina con unas mordazas adecuadas para que el amarre sea correcto para las probetas de 1.5 mm de espesor y se procederá a ensayarlas a tracción.

En este proceso antes de someter a tracción las probetas que posteriormente van a ser sumergidas en un corrosivo, haremos tres ensayos. Puesto que es evidente que no todas las chapas pueden ser soldadas de la misma manera para que tengan la misma resistencia a tracción, estudiaremos tres probetas con la maquina arriba expuesta y sacaremos la media de las tensiones de rotura y de las tensiones elásticas para definir un rango en el cual estudiar las siguientes probetas.

## 6.3 | Resultados

En este caso hemos utilizado tres probetas para averiguar el rango de valores en el que debemos trabajar y aplicar dichas tensiones a las probetas que se ensayarán a corrosión. En el ensayo hemos obtenido una tensión de rotura a 10000 N, 10600 N y 11300 N por lo que hemos elegido como valores para estudiar las probetas que se someterán a corrosión unos valores de 10500 N, 10700 N y 11000 N.

# 7 | MICROGRAFÍA

## 7.1 | Metalografía.

La metalografía es la rama de la metalurgia la cual realiza el estudio de una estructura de un metal o de una aleación y la relaciona con las propiedades físicas, mecánicas y con la composición química. La realización de este estudio se lleva a cabo aplicando diversas técnicas especiales.

Previamente a este proceso se utilizaban los análisis químicos y ensayos mecánicos para conocer dichas propiedades pero la metalografía proporciona información tan importante como la forma y tamaño del grano, la conformación de los constituyentes capaces de ejercer influencia en la dureza, resistencia a la tracción, etc., que pueden ser modificados por tratamientos térmicos o conformación mecánica. Estos tres procesos nombrados se complementan entre sí.

Cada uno de los componentes que nos podemos encontrar en un metal o en una aleación se conoce como constituyente metalográfico y según su forma y proporción las aleaciones tienen unas propiedades u otras.

El análisis micrográfico de un metal se realiza primeramente atacando dicho metal con un reactivo y posteriormente se hace el análisis sobre una probeta pulida del material en la cual podremos observar los diferentes granos. Dependiendo del constituyente metalográfico existe una determinada velocidad con el reactivo de ataque. De estos constituyentes, los menos atacables quedarán con más brillo por lo tanto reflejarán mayor cantidad de luz en el microscopio y aparecerán más claros para la observación.

## **PROCEDIMIENTO**

Es de fundamental importancia que la preparación de la probeta para la observación microscópica sea correcta. Para ello se tienen en cuenta los resultados de la observación macroscópica y posteriormente se procede:

1. Selección del lugar y extracción de la muestra.
2. Montaje de la probeta.
3. Desbaste.
4. Pulido.
5. Ataque.
6. Observación microscópica.



- **Selección del lugar y extracción de la muestra.**

En nuestro estudio, nos interesa estudiar la zona afectada por el cordón de soldadura, por lo tanto realizaremos un corte transversal en la probeta destinada para la micrografía donde podremos observar en la misma probeta el material base, la zona de transición entre el material base y la soldadura y el cordón de soldadura.

**SECCIÓN A ANALIZAR**



**Ilustración 17. Ejemplo de la muestra tomada para micrografía**

Para realizar este corte en la probeta utilizaremos una sierra con accionamiento manual y refrigerado con taladrina para reducir la fricción entre la probeta y el disco de corte. Utilizaremos este método para realizar el corte debido a que es más limpio que la cizalla con la que realizamos el corte de las probetas anteriores y debido a que la sección a cortar es bastante reducida y en la sierra de disco tenemos acceso a dos mordazas que nos facilitan considerablemente el corte.



**Ilustración 18. Sierra de disco con accionamiento manual**

### - Montaje de la probeta

Para realizar el montaje de la probeta utilizaremos unos materiales plásticos termoendurecibles los cuales son moldeados con la pieza en su interior con una pequeña presa con un calefactor. Para este nuestro ensayo usaremos un compuesto termoendurecible en concreto llamado TransOptic (Polimetil Metacrilato) y una máquina para embutir Struers LaboPress-3.



Ilustración 19. Máquina de embutición y compuesto termoendurecible

Debido al tamaño reducido de la probeta deberemos usar un porta piezas para colocarlo en el alojamiento adecuado de la embutidora y una vez puesto se cubre con la cantidad necesaria del compuesto plástico que vamos a usar. La parte en la que realizaremos la micrografía debe quedar apoyada hacia abajo, de esta manera cuando termine el proceso quedara enrasado con el compuesto. Una vez hecho todo lo anterior cerraremos el tapón y comenzara el proceso de embutición.

Este proceso tarda exactamente 7 minutos para calentarse y otros 7 para enfriarse a una fuerza de 15KN que como resultado nos dará un cubilete transparente con la parte a la cual realizaremos la micrografía en la parte inferior.



Ilustración 20. Cubilete resultante de la embutición

## - Desbaste

El desbaste puede hacerse de dos maneras, a mano, pasando la probeta sobre un papel de lija colocado sobre una superficie plana o mecánicamente, donde el papel de lija está pegado a un disco metálico que puede a girar a velocidades entre 100 y 600 rpm. Para realizar el desbaste debemos tener en cuenta que al cambiar de un desbaste a otro debemos girar la probeta 90º con el objetivo de producir rayas perpendiculares y de esta manera tener un índice de cuando se ha eliminado la totalidad de las rayas.

Este proceso se da por finalizado cuando la cara queda completamente plana con rayas muy finas por la superficie que han sido producidas en un solo sentido por el papel de lija de mayor finura.

Para la realización de este proceso en nuestra probeta hemos utilizado un papel de lija de 200 de grano para el desbaste grueso y otras dos de 500 y 100 de grano para el desbaste fino. Hemos realizado este proceso con una desbastadora Struers LaboPol-21.



Ilustración 21. Desbastadora LaboPol-21

## - Pulido

El pulido se realiza con el objetivo de eliminar por completo todas las rayas producidas durante el proceso de desbaste. Este proceso de pulido se puede hacer por medios mecánicos, electrolíticos o químicos. En nuestro estudio utilizaremos la misma

desbastadora que hemos utilizado anteriormente pero con una hoja de pulido y pasta de diamante.

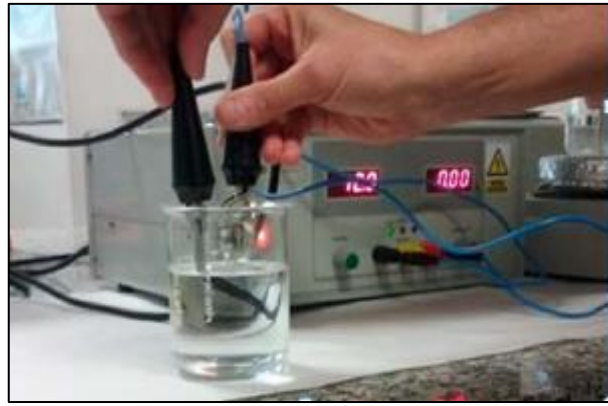
#### - **Ataque**

El ataque se realiza para poner en evidencia la estructura de la aleación o del metal. Hay varios métodos de ataque siendo el más utilizado el ataque químico. Este tipo de ataque puede hacerse sumergiendo en un reactivo la muestra con la cara pulida hacia arriba o pasar sobre la cara pulida de la probeta un algodón empapado en el reactivo o goteando este mismo reactivo durante un tiempo muy corto, del orden de segundos. Para que el ataque quede de manera más homogénea en toda la superficie es aconsejable mover continuamente la probeta para que el reactivo se renueve. Finalmente se lava la probeta con agua, se enjuaga con alcohol y se seca en corriente de aire caliente.

El fundamento de este ataque químico consiste en que la varía la velocidad de disolución de los constituyentes metalográficos que forman nuestra muestra frente al reactivo usado. El constituyente que tenga más velocidad de reacción se atacara rápidamente y se verá más oscura en el microscopio mientras que el constituyente menos atacable se verá más brillante, reflejara más luz y por lo tanto se verá más claro en el microscopio.

No conviene sobre atacar las probetas puesto se pueden manchar y tapar la estructura o pueden producirse figuras de corrosión. En el caso que se sobre ataquen las probetas habría que volver a realizar el pulido.

Para nuestro estudio utilizaremos un ataque electrolítico con una disolución de ácido oxálico y una tensión de 12V y 1.2 Amp. Este método consiste en generar una corriente eléctrica entre dos electrodos. En este proceso se ponen en contacto eléctrico dos metales diferentes sumergidos en el ácido oxálico, de esta manera la corriente fluye entre el ánodo que es la probeta y el cátodo el otro metal utilizado.



**Ilustración 22. Ataque electrolítico en disolución de ácido oxálico y tensión de 12V y 1,2 Amp**

### 7.3 | Observación microscópica

Para realizar la observación microscópica es necesario tener un microscopio adecuado ya que con el observaremos las micro estructuras de las probetas, el tamaño de grano y ver la diferencia entre las mismas entre la zona del cordón de soldadura y el metal base.

En nuestro estudio hemos utilizado un microscopio con el que primeramente con la opción de aumentos 50X iremos observando la evolución durante el desbaste y el pulido hasta tener la certeza que esta correcto para poder realizar el ataque electrolítico. Una vez atacadas las probetas con el mismo microscopio y con la opción de aumento 100X ya podremos observar las micro estructuras debidas al ataque. Este microscopio utilizado tiene 5 opciones de aumento pero solo hemos utilizado las dos nombradas. Para realizar las fotografías de las micrográficas disponíamos de un utensilio que se acopla al propio microscopio para poder realizar estas fotografías con un programa llamado Optika Vision y el modelo de la cámara es una Nikon Microphot-FX.

### 7.4 | Resultados

Como vamos a poder observar en las micrográficas siguientes como resultado del ataque electrolítico es como varían los granos de unas zonas y en las zonas de transición. Debido a que hemos realizado el ataque en cuestión en probetas que han

sido sometidos a tensiones diferentes la lectura de la micro estructura será diferente. En primer lugar en la primer probeta tenemos un acero inoxidable austenitico formado por granos poligonales austenticos, como se puede observar en la imagen en la zona de la soldadura aparecen granos dendríticos y de ferrita por lo tanto concluiremos que esta microestructra está formada por granos de austenita en una matriz ferrítica. Por otra parte la otra probeta estudiada nos muestra un cambio no tan severo dentro de la micro estructura ya que como podemos ver los granos a partir de la zona de soldadura cambian de poligonales a dendríticos y se produce un cambio de austenita a dendrita.

A continuación se muestran las micrografías que se han realizado en modo panorámico para que se aprecien los cambios y las diferentes zonas de transición dentro de la probeta, se puede observar en la primera imagen de derecha a izquierda en el siguiente orden, soldadura, zona de transición y metal base, en la segunda imagen a la inversa:

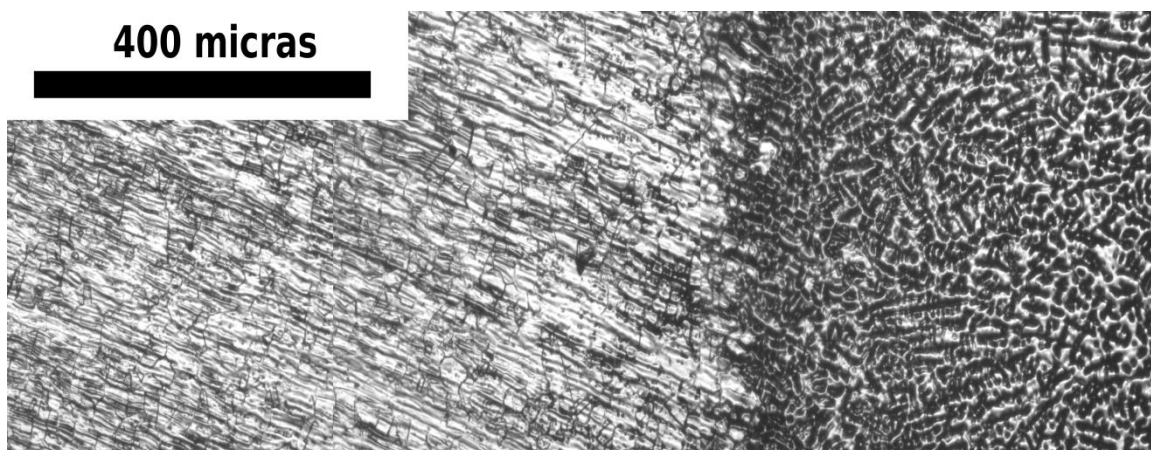


Ilustración 23. Micrografía de la probeta sometida a 10500 N (x100)

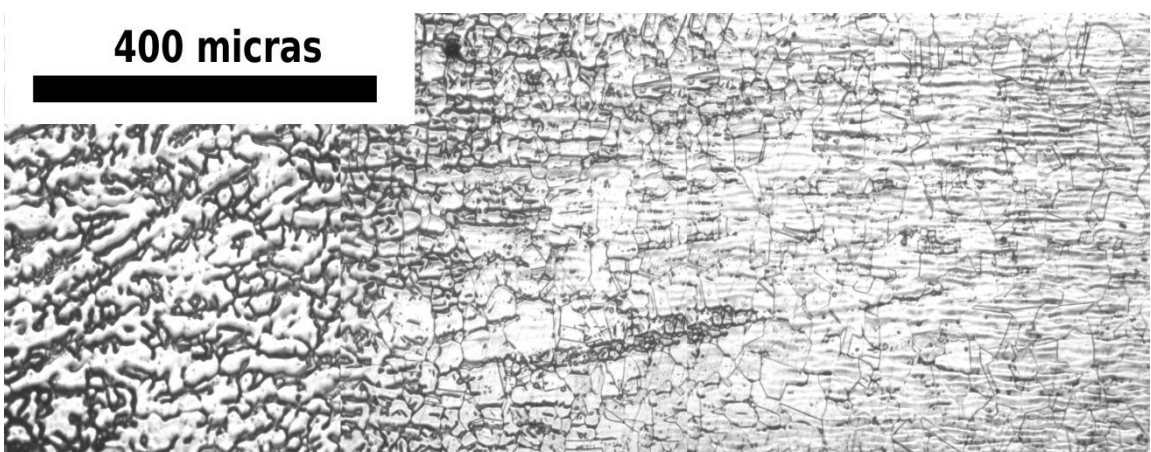


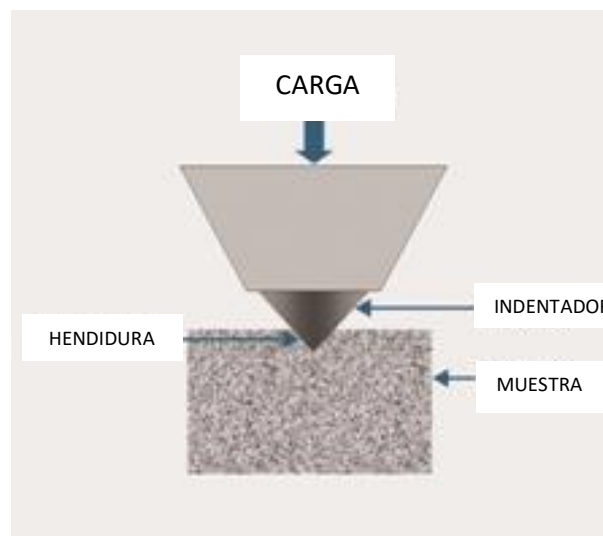
Ilustración 24. Micrografía de la probeta sometida a 10700 N (x100)

## 8| ENSAYO DE DUREZA

### 8.1| Dureza

La dureza de un material se puede definir como la resistencia que el material muestra contra la deformación permanente causada por la penetración de otro material de mayor dureza. La dureza es diferente a la resistencia mecánica de un material, la dureza también es una medida de las propiedades de abrasión de un material. La propósitos principal de este tipo de ensayos es determinar cuan idóneo es un material o el tratamiento al cual ha sido sometido. Hay diferentes tipos de ensayos de dureza, por una parte hay que se llevan a cabo midiendo la profundidad de penetración del penetrador (Rockwell) y otros que miden el tamaño de impresión dejada por un penetrador (Vickers, Knoop y Brinelli).

El tipo de ensayo a realizar dependerá de la micro estructura que forma los materiales, depende de lo homogéneo que sea el material.



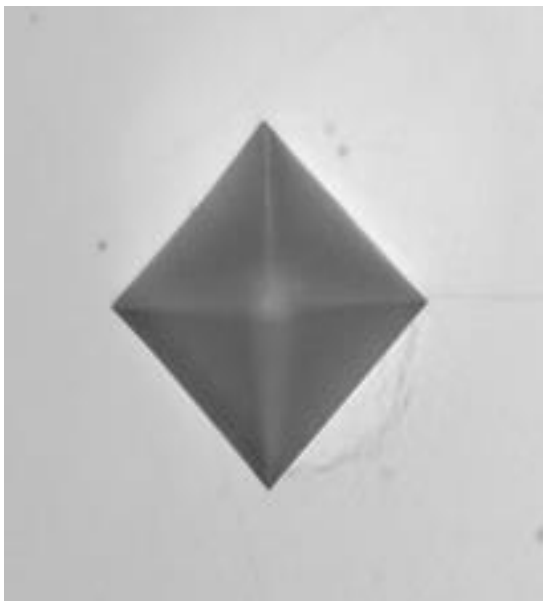
**Ilustración 25. Funcionamiento del ensayo de dureza**

## 8.2 | Método y equipo empleado

Este ensayo se realizara con las mismas probetas con las que se realiza la micrografía pero antes de ser atacadas. Para nuestro estudio vamos a utilizar el ensayo de dureza Vickers, la cual se calcula midiendo las longitudes diagonales de una penetración realizada cuando se introduce un indentador piramidal de diamante con una carga determinada. Este ensayo permite la evaluación de cualquier tipo de material solido y se puede utilizar para gran variedad de aplicaciones. Este ensayo deformara el material y alterara sus propiedades. Con el fin de poder evitar que se malinterpreten los resultados de la dureza, tiene que existir una cierta distancia entre los penetradores según las normativas ASTM E384 y ISO 6507.

Las longitudes diagonales en los ensayos Vicker tiene que tener una diferencia de +/- 5% como máximo, de ser mayor o menor este ensayo debería de ser descartado.

Para este ensayo hemos utilizado una maquina INNOVATEST, en la cual pondremos la probeta en el lugar indicado, posteriormente elegiremos la carga que queremos aplicar, en este caso 300g , y finalmente procederemos a la penetración de la probeta con el indentador de diamante.



**Ilustración 26. Marca que deja el indentador en la muestra**



**Ilustración 27. Máquina para ensayo de dureza INNOVATEST**



### 8.3 | Resultados

A continuación podremos observar los resultados que hemos obtenido con las distintas probetas estudiadas en la máquina de ensayo de dureza. Como hemos podido observar en este estudio, cuanto mayor es la tensión que ha sido aplicada sobre la probeta más dureza tiene esta, por consiguiente cada probeta que aumenta por la tensión su dureza también aumenta su fragilidad. Como hemos dicho anteriormente esta ensayo es un ensayo de dureza Vickers donde para averiguar los resultados obtenidos realizaremos tres penetraciones con el indentador en cada probeta y posteriormente sacaremos la media para que sean unos resultados significativos.

<u>PROBETA</u>	<u>TENSIÓN</u>	<u>DUREZA</u>
1	350 MPa	190 Hv
2	357 MPa	214 Hv
3	367 MPa	240 Hv

**Tabla 1. Resultados ensayo de dureza**

## 9 | ENSAYO DE CORROSIÓN

### 9.1 | Corrosión en los metales y tipos

La corrosión se define como la transformación de un material causado por las reacciones químicas o electro químicas con el medio que lo rodea, la temperatura presentada, si está expuesto a soluciones salinizadas y de las propiedades químicas que posean estos agentes metálicos, lo que lleva a un deterioro del material y de sus propiedades. También es conocida como una oxidación acelerada y continua que desgasta el material lo que significa que para que exista corrosión, previamente tiene que existir un proceso de oxidación. Este proceso se caracteriza por la cesión de electrones del elemento que se oxida al elemento oxidante. La corrosión es un proceso natural y espontaneo que también se puede presentar en materiales no metálicos. La corrosión se puede presentar de varias maneras en el material. A continuación mostraremos la clasificación de los distintos tipos de corrosión.

Los tipos de corrosión que se van a mostrar a continuación se pueden clasificar según su morfología o según el medio en el que se desarrolla:

- **Corrosión uniforme**

El ataque en este tipo de corrosión se presenta de una forma homogénea sobre toda la superficie metálica y la media de la penetración es igual en todos los puntos. Debido a que esta forma es la que nos permite calcular de manera sencilla la vida útil de los materiales corroídos, es la forma más tratable de corrosión.

- **Corrosión por picadura (Pitting)**

Este tipo de corrosión se debe principalmente a la existencia de poros en la capa superficial de la pieza por lo tanto el ataque está localizado en puntos aislados de la superficie metálica, de esta manera se forman unos canales cilíndricos hacia el interior de la pieza por los cuales se propaga. Este en concreto es una de las formas de corrosión más peligrosas que existen.

- **Corrosión por cavitación**

La corrosión por cavitación se da cuando existe contacto entre la superficie del material con algún líquido, formando burbujas en la superficie del mismo. Este es un proceso de corrosión que ocurre sobre todo en las hélices de los barcos en las caras posteriores, dando lugar a picaduras las cuales tienen forma de panal.

- **Corrosión ínter granular**

La corrosión inter granular es un deterioro por corrosión localizada en los límites del grano. En condiciones normales si un metal se corroe de forma uniforme los límites del grano son ligeramente más reactivos. En otras condiciones, los límites del grano pueden ser muy reactivos dando lugar a una corrosión que origina pérdida de la resistencia de la aleación e incluso puede darse la desintegración en los bordes de grano. Este tipo de corrosión suele tener lugar en aceros inoxidables austeníticos cuando son calentados o enfriados lentamente entre 500 y 800°C.

- **Corrosión por erosión**

La corrosión por erosión es cuando sobre la superficie metálica el movimiento del medio corrosivo incrementa su velocidad de ataque debido al desgaste mecánico. Este tipo de corrosión tiene la apariencia de picaduras poco profundas y esta prospera en condiciones de alta velocidad, turbulencia, etc., habitualmente podemos encontrar este tipo de corrosión en impulsores de bombas y en codos y cambios de dirección de las tuberías. La corrosión por erosión puede ser evitada mediante cambios de diseño o la elección de materiales más resistentes.

- **Corrosión por Fisuras (Crevice)**

La corrosión por fisuras se produce en las pequeñas cavidades o huecos formados debido al contacto entre dos piezas de metal iguales o una pieza de metal con un elemento no-metálico. En estas fisuras se deposita la solución que facilita la corrosión de dicha pieza. Es denominada como una corrosión con

ánodo estancado, ya que la solución a menos que sea quitada de la fisura no puede salir. Estas fisuras se pueden formar de manea natural como producto de la interacción iónica entre partes de la pieza.

- **Corrosión bajo tensión**

La corrosión bajo tensión es especialmente peligrosa, ya que aparece repentinamente como una fractura frágil del componente, aunque en la zona donde se produce la fractura no se puede apreciar corrosión superficial. Este tipo de corrosión solo puede darse cuando el material tiene una determinada composición, la superficie de este componente debe de estar bajo tensión y el material tiene que ser sometido a un tipo específico de ataque. La corrosión por erosión suele afectar a las aleaciones compuestas de diferentes elementos de carácter noble, aunque mayoritariamente afecta a las aleaciones cobre-zinc. Esta corrosión solo se ve activada en presencia de amoniaco o derivados de este en presencia de oxígeno y humedad.

- **Corrosión selectiva**

La corrosión selectiva es una forma de corrosión en que el ataque se produce sobre uno o más componentes de una aleación preferentemente, esto produce la debilitación de la estructura de la aleación. La superficie que es atacada se hace poroso pero puede seguir manteniendo el mismo aspecto y forma original y no aparentar pérdida de resistencia o ductilidad. El caso más frecuente de esta corrosión se produce cuando el cinc esta aleado con cobre. Este proceso es conocido también como dealeación, donde el metal más activo es removido de una aleación dejando un deposito débil del metal más noble.

- **Corrosión por agrietamiento**

La corrosión por agrietamiento se produce sobre todo en un medio ambiente muy agresivo el cual puede desarrollar y causar este tipo de corrosión. Este tipo de grietas se encuentran normalmente en los tornillos, remaches, etc., pero también pueden formarse por depósitos de suciedad o productos de la

corrosión. La corrosión por agrietamiento habitualmente es debido a cambios de acidez en la grieta, escasez de oxígeno en la grieta entre otros factores.

## 9.2 | Método empleado

Para realizar nuestro estudio sobre cómo se comporta el acero AISI 316 ante la corrosión, hemos empleado el método de corrosión por picaduras, estudiando la pérdida de peso de cada probeta. Este método es uno de los más utilizados para ensayos de corrosión y oxidación para determinar el deterioro de diferentes materiales.

Este método de estudio relaciona la variación de masa de cada probeta con el daño que ha causado la corrosión en el material. La norma que cubre los procedimientos de ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la corrosión por picaduras de aceros inoxidables es la Norma ASTM G48.

## 9.3 | Sistema de actuación

Teniendo conocimiento de que este método consiste en analizar la pérdida de peso de un material o aleación después de sumergirla en un corrosivo, pesaremos cada probeta antes de comenzar el estudio y someterlas bajo un medio corrosivo y después de cuatro días sumergidas en el corrosivo volveremos a realizar el pesaje y analizaremos los resultados.

En nuestro estudio sumergiremos las probetas en una disolución de Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) en agua destilada al 20% de concentración. Una vez sumergidas en el corrosivo para conocer cuál es cada probeta marcaremos cada una con un granete de la siguiente manera:

TABLA 1		
1.1.1	10500 N	PROBETA Nº1
1.2.1	10500 N	PROBETA Nº2
1.3.1	10500 N	PROBETA Nº3

TABLA 2		
2.1.1	10700 N	PROBETA Nº1
2.2.1	10700 N	PROBETA Nº2
2.3.1	10700 N	PROBETA Nº3

TABLA 3		
3.1.1	11000 N	PROBETA Nº1
3.2.1	11000 N	PROBETA Nº2
3.3.1	11000 N	PROBETA Nº3

**Tabla 2. Marcado de probetas**

El elemento empleado para este ensayo a corrosión, es decir, el cloruro férrico, es un compuesto conocido también con nombre como tricloruro de hierro o cloruro de hierro III, forma parte de los compuestos conocidos como haluros de metales donde el hierro utiliza su mayor valencia y su formulación química es  $\text{FeCl}_3$ . Este corrosivo es el menos tóxico ya que su actividad reactiva no la tiene por el intercambio de iones de hidrogeno sino por el intercambio de electrones obteniendo la carga ácida del metal y no del hidrogeno.

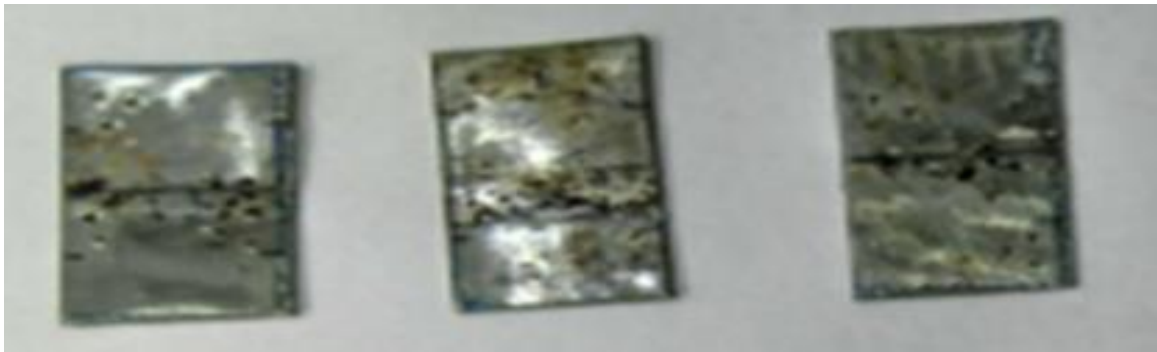


**Ilustración 28. Probetas sumergidas en Cloruro Férrico**

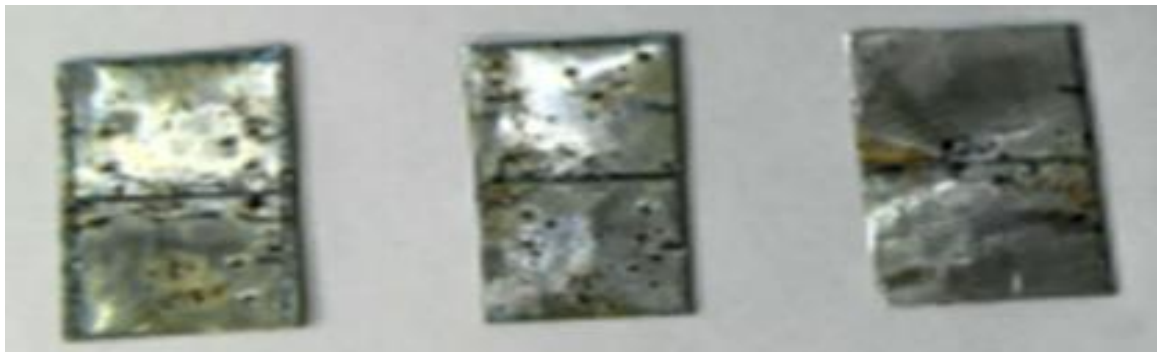
Los ambientes costeros y marinos debido a una gran presencia de sal en el ambiente son bastante agresivos para originar corrosión. Hay muchos factores que intervienen en la corrosión de cierto material en un ambiente en concreto, estos factores pueden ser, la temperatura o el contenido de gases oxidantes. La resistencia que pueda tener un determinado material frente a un ataque de corrosión depende de su composición química, y componentes tales como el cromo o el molibdeno mejoran la resistencia del material frente a un ataque por picaduras. En el estudio realizado como hemos dicho anteriormente las probetas se sumergen en cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) al 20 %, dichas probetas se traccionaron a tensiones distintas por lo que veremos cómo se han visto afectadas por la corrosión estas probetas a diferentes tensiones

#### 9.4 | Resultados

Las fotografías de las probetas mostradas a continuación han sido tomadas después de haber estado cuatro días sumergidas en cloruro férrico ( $\text{ClFe}_3$ ) al 20%. Como podemos observar en estas fotografías, aparentemente se aprecian de manera superficial las picaduras, pero esto es solo a nivel macroscópico. Una vez estas probeta se ponen bajo el microscopio podemos observar que las picaduras en las probetas que han sido sometidas a mayor tensión son de gran tamaño.



**Ilustración 29. Probetas AISI316 sometidas a una carga de 10500 N**



**Ilustración 30. Probetas AISI316 sometidas a una carga de 10700 N**



**Ilustración 31. Probetas AISI316 sometidas a una carga de 11000 N**



Una vez sacadas del corrosivo y observar las picaduras que se han formado, como es de esperar ha habido una pérdida de masa debido a las picaduras. Para conocer el peso anterior y posterior utilizaremos una báscula de precisión de 0,001g KERN 770. Para eliminar de manera correcta todas las impurezas o residuos que pueden haber en las probetas, limpiaremos estas probetas con agua, posteriormente las sumergimos en alcohol y finalmente secadas con una corriente de aire caliente.



Ilustración 32. Báscula de precisión KERN 770

Los resultados obtenidos después del pesaje de las probetas es el siguiente:

### PERDIDA DE PESO POR CORROSION EN ACERO AISI316L

10500 N				
PROBETA	PESO PREVIO	PRESO POSTERIOR	DIFERENCIA	
1.1.1	7.210	6.860	0.35	
1.2.1	8.055	7.635	0.42	PERDIDA
1.3.1	7.605	7.035	0.57	UNITARIA
<b>MEDIA</b>	<b>7.623</b>	<b>7.177</b>	<b>0.447</b>	<b>0.058638331</b>

Tabla 3. Pérdida de masa con fuerza aplicada de 10500 N

10700 N				
PROBETA	PESO PREVIO	PRESO POSTERIOR	DIFERENCIA	
2.1.1	7.556	6.836	0.72	
2.2.1	7.815	7.005	0.81	PERDIDA
2.3.1	8.862	8.012	0.85	UNITARIA
<b>MEDIA</b>	<b>8.078</b>	<b>7.284</b>	<b>0.793</b>	<b>0.098167863</b>

Tabla 4. Pérdida de masa con fuerza aplicada de 10700 N

11000 N				
PROBETA	PESO PREVIO	PRESO POSTERIOR	DIFERENCIA	
3.1.1	8.808	7.810	0.998	
3.2.1	8.658	7.525	1.133	PERDIDA
3.3.1	7.965	6.950	1.015	UNITARIA
<b>MEDIA</b>	<b>8.477</b>	<b>7.428</b>	<b>1.048</b>	<b>0.123628642</b>

Tabla 5. Pérdida de masa con fuerza aplicada de 11000 N

Posteriormente al pesaje de cada probeta procedemos a el recuento de las picaduras en cada una de ellas que como cabía esperar a aquellas probeta a las que más tensión se les ha aplicado tienen mayor número de picaduras. Para realizar el conteo de las picaduras de una manera adecuada no se puede realizar con un microscopio ya que aunque se utilice el aumento más pequeño se ve demasiado grande y no se puede realizar correctamente este conteo. En este caso hemos utilizado una microscopio estereoscópico NIKON SMZ800 con el aporte de una luz externa situada cerca de donde se sitúa la probeta para poder observarla.



Ilustración 33. Microscopio estereoscópico NIKON SMZ800

A continuación en las siguientes tablas podemos ver la cantidad de picaduras en cada probeta:

### FORMACION DE PICADURAS POR CORROSIÓN EN ACERO AISI316L

10500 N	
PROBETA	PICADURAS
1.1.1	8
1.2.1	10
1.3.1	11

Tabla 6. Picaduras en probetas sometidas a una carga de 10500 N

10700 N	
PROBETA	PICADURAS
2.1.1	13
2.2.1	12
2.3.1	17

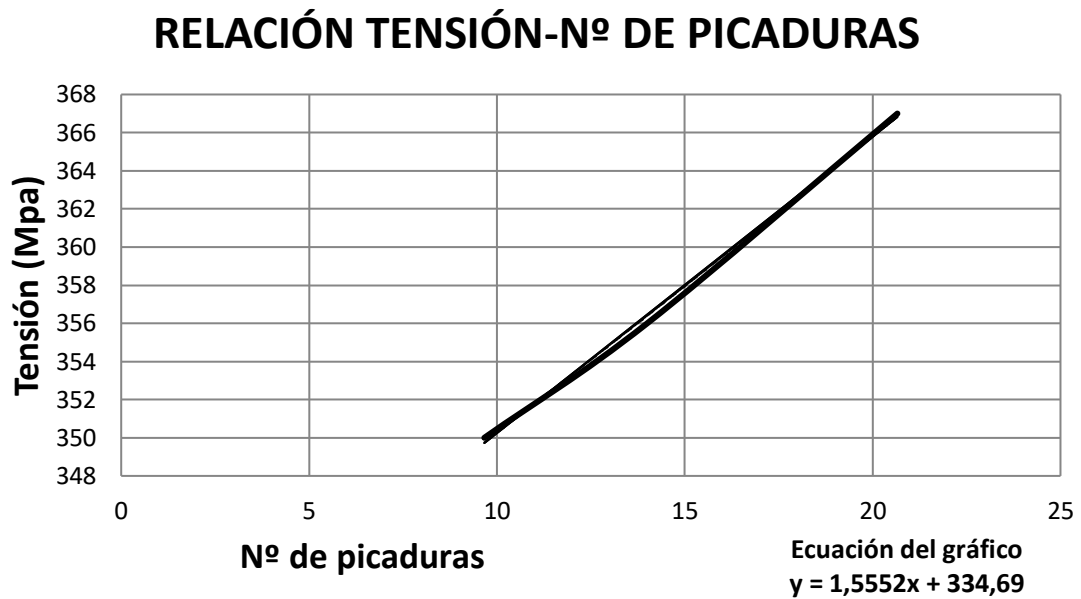
Tabla 7. Picaduras en probetas sometidas a una carga de 10700 N

11000 N	
PROBETA	PICADURAS
3.1.1	20
3.2.1	23
3.3.1	19

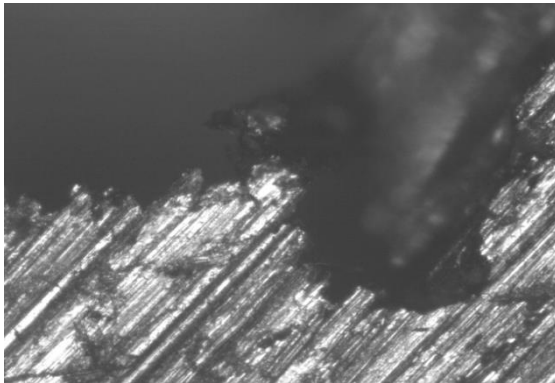
Tabla 8. Picaduras en probetas sometidas a una carga de 11000 N

Para la visualización de las picaduras en las probetas a nivel microscópico utilizaremos el mismo microscopio que para realizar las micrografías que realizamos anteriormente.

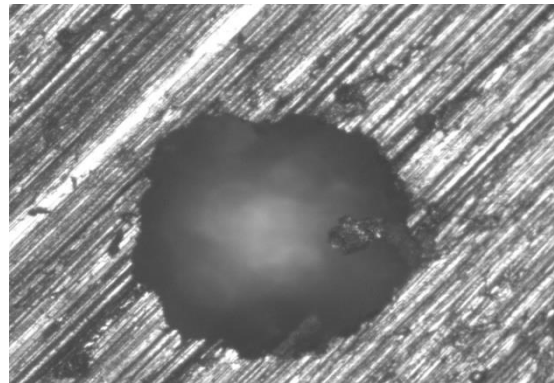
A continuación podemos observar el gráfico con la relación tensión-numero de picaduras:



A continuación se muestran dos tipos de picaduras para poder observar la envergadura de cada una de ellas en distintas zonas de la probeta:



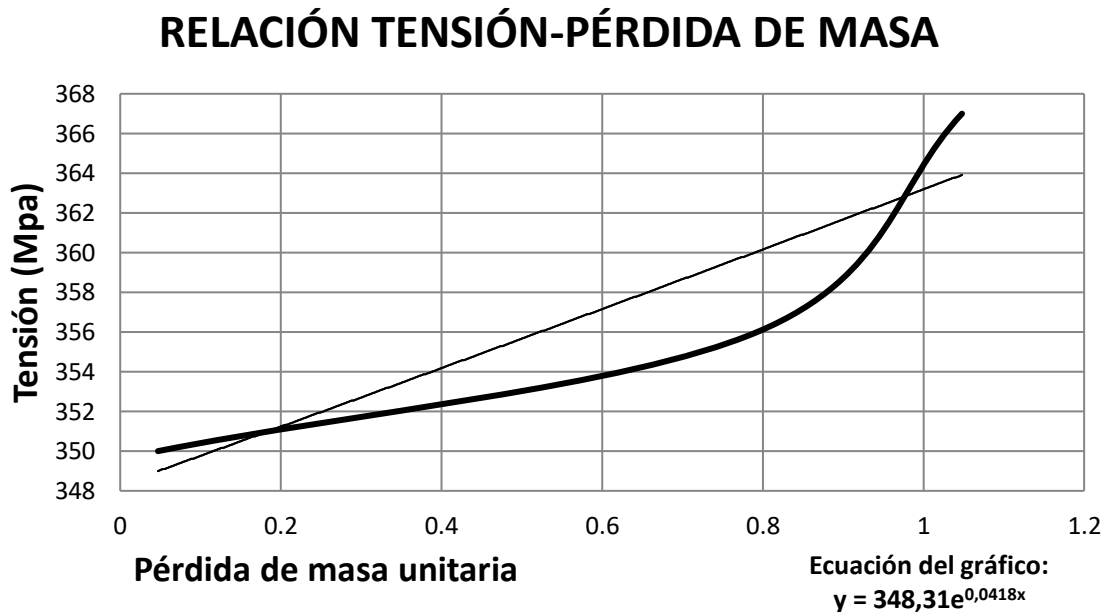
**Ilustración 34. Picadura de gran tamaño debida a corrosión, situada en el borde de la probeta (x100)**



**Ilustración 35. Picadura pequeña debida a la corrosión situada en el centro de la probeta (x100)**

## 10| CONCLUSIÓN

A continuación se muestra una gráfica como descripción del estudio, donde podemos observar cómo se pierde masa a medida que la tensión aplicada a un material aumenta:



**Gráfico 1. Pérdida de masa frente a tensión**

Como podemos ver en la gráfica anterior los resultados eran los esperados, es decir, cuanto mayor tensión se le aplica a un acero inoxidable AISI 316 con aporte de acero inoxidable AISI 308L, mas pérdida de masa tiene debido a la corrosión.

Este fenómeno está ligado a la rotura que causan conjuntamente los esfuerzos de tensión y un entorno corrosivo actuando sobre el material. Las grietas que se producen en el material en cuestión suelen tener lugar en el punto de máxima concentración de tensiones que se propaga en planos perpendiculares a la tensión aplicada, esto da lugar a un agrietamiento que disminuye la sección útil del material.

En las probetas que hemos visto anteriormente la zona donde se concentra mayor corrosión es en la zona del cordón de soldadura, en esta zona hemos observado que las picaduras son de un tamaño considerable. Cuando se le aplican las tensiones a las

probeta, rompen por la zona de la soldadura por lo tanto es la zona más propensa a ser corroída.

Estas tensiones generadas se podrían reducir mediante un recocido cuyo objetivo es el de ablandar y eliminar las tensiones internas en las aleaciones ferrosas. Si aplicáramos un recocido el cual disminuye las tensiones, las características mecánicas del acero en las cuales se incluye la dureza disminuirían, por consiguiente no sería tan frágil.

## 11 | PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

Un pliego de condiciones técnicas reúne todas las normas a seguir para la realización de este estudio, en este caso muestra, máquinas empleadas, elementos de seguridad individual y normativa que corresponde.

### 11.1 | Proceso de soldadura

Maquinas empleadas:

- Soldador TIGMIG 170.
- Banco de trabajo.
- Botella de gas Argón.
- Amoladora.
- Sargento.

Elementos de seguridad individual:

- Mandil.
- Polainas.
- Guantes de protección.
- Careta para soldar.

Normativa seguida:

- Hemos seguido la norma ASTM 380 para soldadura de aceros inoxidables.

- Hemos seguida la norma EN292 para la protección en la soldadura.

## 11.2 | Cortes de piezas

Máquinas empleadas:

- Cizalla manual.
- Tornillo de banco.

Elementos de seguridad individual:

- Gafas de protección.
- Guantes de protección.

Normativa seguida:

- Hemos seguida la normativa NTP 153 para el uso de cizallas.

## 11.3 | Ensayo de tracción

Máquinas empleadas:

- Máquina universal de ensayo a tracción MOHR & FEDERHAFF.
- Mordazas.
- Papel milimetrado.
- Bolígrafo.

Elementos de seguridad individual:

- Gafas de seguridad.
- Guantes de seguridad.

Normativa seguida:

- Hemos seguido la normativa ASTM E8 para ensayos a tracción.

## 11.4 | Micrografía

Máquinas empleadas:

- Sierra de disco con accionamiento manual.
- Máquina de embutición LabolPress-3.
- Compuesto termoendurecible TransOptic.
- Desbastadora LaboPol-21.
- Hojas de lija de granos 200, 500 y 1000.
- Pasta de diamante de 3 $\mu$ m.
- Secador corriente de aire.
- Alcohol etílico.
- Microscopio.
- Acido oxálico.
- Máquina para ataque electrolítico.

Elementos de seguridad individual:

- Gafas de protección.
- Guantes de protección.

Normativa seguida:

- Hemos seguido la normativa UNE-EN ISO 643:2013, determinación del tamaño del grano aparente en metales.

## 11.5 | Ensayo de dureza

Máquinas empleadas:

- Máquina para ensayo de dureza o durómetro.



Elementos de seguridad individual:

- Guantes de protección.

Normativa seguida:

- Hemos seguida la normativa ATSM E10, descripción de método de ensayo para determinación de la dureza.

### 11.6 | Ensayo de corrosión

Máquinas empleadas:

- Cloruro férrico al 20%.
- Bandeja para depositar el cloruro férrico.
- Campana de extracción.
- Báscula de precisión KERN 770.
- Microscopio estereoscópico.
- Alcohol etílico.
- Secador corriente de aire.

Elementos de seguridad individual:

- Gafas de protección.
- Guantes de protección.

Normativa seguida:

- Hemos seguido la norma UNE-EN ISO 9227:2012 para ensayos de corrosión.

## 12 | PRESUPUESTO

El presupuesto es una herramienta que se utiliza para identificar en que se ha gastado el dinero en este estudio o cuanto es necesario para cubrir las necesidades. Este presupuesto está dividido en 3 partes:

### 12.1 | Mano de obra

Nº	UNIDADES	CANTIDAD	ELEMENTO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	H	0.5	PREPARACIÓN EQUIPO SOLDADURA	50.00 €	25.00 €
2	H	5	PROCESO DE SOLDADURA	50.00 €	250.00 €
3	H	1	DESBASTE AMOLADORA	50.00 €	50.00 €
4	H	0.5	PULIDO AMOLADORA	50.00 €	25.00 €
5	H	0.5	CORTADURA CON CIZALLA	50.00 €	25.00 €
6	H	0.5	PREPARACIÓN MÁQUINA TRACCIÓN	50.00 €	25.00 €
7	H	2	ENSAYO DE TRACCIÓN	50.00 €	100.00 €
8	H	2	ENSAYO DE CORROSIÓN	50.00 €	100.00 €
9	H	0.5	CORTE	50.00 €	25.00 €

PROBETAS PARA MICROGRAFÍA					
<b>10</b>	H	2	EMBUTICIÓN, DESBASTE Y PULIDO DE PROBETAS	50.00 €	100.00 €
<b>11</b>	H	0.5	ENSAYO DE DUREZA	50.00 €	25.00 €
<b>12</b>	H	1	MICROGRAFÍA	50.00 €	50.00 €
<b>13</b>	H	150	TIEMPO DE REDACCIÓN DEL ESTUDIO	20.00 €	3000 €
<b><u>TOTAL MANO DE OBRA</u></b>					<b>3800.00 €</b>

### 12.2 | Maquinaria empleada

Nº	UNIDADES	CANTIDAD	ELEMENTO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
<b>1</b>	H	5	EQUIPO DE SOLDADURA	5.00 €	25.00 €
<b>2</b>	H	1	AMOLADORA	10.00 €	10.00 €
<b>3</b>	H	0.5	CIZALLA MANUAL	30.00 €	15.00 €
<b>4</b>	H	0.5	SIERRA DE DISCO	50.00 €	25.00 €

<b>5</b>	H	2.5	MÁQUINA DE ENSAYO TRACCIÓN	50.00 €	125.00 €
<b>6</b>	H	0.5	MÁQUINA DE ENSAYO DUREZA	50.00 €	25.00 €
<b>7</b>	H	0.5	BÁSCULA DE PRECISIÓN	20.00 €	10.00 €
<b>8</b>	H	1	MICROSCOPIO	30.00 €	30.00 €
<b>9</b>	H	0.5	MISCROSCOPIO ESTEROSCÓPICO	30.00 €	15.00 €
<b>10</b>	H	0.5	MÁQUINA ATAQUE ELECTROLÍTICO	40.00 €	20.00 €
<b><u>TOTAL MAQUINARIA EMPLEADA</u></b>					<b>300.00 €</b>

### 12.3 | Materiales empleados

<b>Nº</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	UDS	8	CHAPAS DE ACERO AISI316 200X100X1.5	6.00 €	48.00 €
<b>2</b>	UDS	6	VARILLA ACERO INOXIDABLE	4.00 €	24.00 €

308L					
<b>3</b>	L	20	GAS ARGÓN	10.50 €	210.00 €
<b>4</b>	UDS	1	VARILLA TUNGSTENO	5.00 €	5.00 €
<b>5</b>	UDS	1	DISCO DESBASTE MILHOJAS	5.00 €	5.00 €
<b>6</b>	UDS	1	DISCO PULIDO MILHOJAS	15.00 €	15.00 €
<b>7</b>	L	3	TALADRINA	5.00 €	15.00 €
<b>8</b>	L	1	ALCOHOL ETÍLICO	3.00 €	3.00 €
<b>9</b>	L	0.5	CLORURO FÉRRICO	18.00 €	9.00 €
<b>10</b>	L	0.5	ACIDO OXÁLICO	15.00 €	7.50 €
<b><u>TOTAL MATERIALES EMPLEADOS</u></b>					<b>341.50 €</b>

## 12.4 | Resumen

<u>BLOQUES</u>	<u>TOTAL</u>
MANO DE OBRA	3800.00 €
MAQUINARIA	300.00 €
MATERIALES	341.50 €
<b><u>PRESUPUESTO TOTAL</u></b>	<b><u>4441.50 €</u></b>

## 13. BIBLIOGRAFÍA

- 1- Acero inoxidable - EcuRed. Ecured.cu [Internet]. Citado el 13 de agosto de 2017, de: [https://www.ecured.cu/Acero\\_inoxidable#Utilizaci.C3.B3n](https://www.ecured.cu/Acero_inoxidable#Utilizaci.C3.B3n)
- 2- Aceros inoxidables 316 y 316L - NKS. Nks.com [Internet]. Citado el 15 de agosto de 2017, de:  
[http://www.nks.com/es/distribuidor\\_de\\_acero\\_inoxidable/aceros\\_inoxidables\\_316.html](http://www.nks.com/es/distribuidor_de_acero_inoxidable/aceros_inoxidables_316.html)
- 3- The others. Soldadura Acero Inoxidable 308L : Soldaduras Zelecta SA de CV, La Solución a sus Problemas de Soldadura. Soldaduraszelecta.com [Internet]. Citado el 15 de agosto de 2017, de:  
<http://soldaduraszelecta.com/productos/soldadura-acero-inoxidable-308l-p-58.html?zenid=3ifsm7nc47d23jf3v5qh82ovi1>
- 4- Varillas para soldadura TIG - nicrotec - Varillas para soldadura - Varillas para soldadura - Nicrotec - Consumibles de soldadura -Materiales para soldadura - productos para soldadura. Nicrotec.com [Internet]. Citado el 16 de agosto de 2017, de: <http://www.nicrotec.com/consumibles-de-soldadura/varillas-para-soldadura/varillas-para-soldadura-tig/productos.html?c=1&g=1&s=16>
- 5- ¿Cuáles son los diferentes tipos de soldadura?. De máquinas y herramientas [Internet]. Citado el 16 de agosto de 2017, de:  
<http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/cuales-son-los-diferentes-tipos-de-soldadura>

- 6- Soldadura por resistencia-AMADA MIYACHI EUROPE.  
Amadamiyachieurope.com [Internet]. Citado el 18 de agosto de 2017, de:  
<http://www.amadamiyachieurope.com/esp-es/tecnolog%C3%ADa/soldadura-por-resistencia/>
  
- 7- Soldadura por Arco Eléctrico . Construmatica.com [Internet]. Citado el 19 de agosto de 2017, de:  
[http://www.construmatica.com/construpedia/Soldadura\\_por\\_Arco\\_El%C3%A9ctrico](http://www.construmatica.com/construpedia/Soldadura_por_Arco_El%C3%A9ctrico)
  
- 8- Proceso de soldadura TIG. Esab.com.ar [Internet]. Citado el 20 de agosto de 2017, de:  
[http://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso\\_soldadura\\_tig.cfm](http://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso_soldadura_tig.cfm)
  
- 9- Introducción a la Soldadura MIG. De Máquinas y Herramientas [Internet]. Citado el 20 de agosto de 2017, de:  
<http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-mig>
  
- 10- Defectos que puede tener una soldadura. Automantenimiento.net [Internet]. Citado el 20 de agosto de 2017, de:  
<http://automantenimiento.net/mecanica/defectos-que-puede-tener-una-soldadura/>
  
- 11- Ensayo de Tracción. Areatecnologia.com [Internet]. Citado el 21 de agosto de 2017, de: <http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>
  
- 12- Limite elástico. Arqhys.com [Internet]. Citado el 22 de agosto de 2017, de:  
<http://www.arqhys.com/construccion/limites-elasticos.html>



- 13- CORROSIÓN Y PROCESOS DE CORROSIÓN. METALOGRAFÍA - UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. Citado el 22 de agosto de 2017, de:  
<http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-corrosion-y-procesos-de-corrosion/>
- 14- Sin título. Upv.es [Internet]. Citado el 23 de agosto de 2017, de:  
[https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12\\_4\\_5.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_5.html)
- 15- Corrosión por erosión. Corrosión [Internet]. Citado el 23 de agosto de 2017, de:  
<https://corrosioncarlos.wordpress.com/corrosion-por-erosion/>
- 16- CIMSA – Fisuración por corrosión bajo tensión (SCC). Cimsaww.com [Internet]. Citado el 25 de agosto de 2017, de:  
[http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la\\_corrosion/scc/scc\\_1.jsp](http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la_corrosion/scc/scc_1.jsp)
- 17- Corrosión selectiva - ingeniería mecánica. Ingenieriamecanicacol.com.es [Internet]. Citado el 27 de agosto de 2017, de:  
<http://ingenieriamecanicacol.blogspot.com.es/2015/04/corrosion-selectiva-bacteriana-e.html>
- 18- Repositorio.utp.edu.co [Internet]. Citado el 30 de agosto de 2017, de:  
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5366/66028304/G643.pdf?sequence=1>
- 19- Cloruro férrico | LA Guía de la Química. Quimica.laguia2000.com [Internet]. Citado el 31 de agosto de 2017, de:  
<https://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/cloruro-ferrico>
- 20- Ensayos de dureza- Conocimientos. Struers.com. Struers.com [Internet]. Citado el 2 de septiembre de 2017, de: <http://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing#hardness-testing-about>

