



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Grado en Ingeniería de Edificación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

Determinación de las modificaciones estructurales de la soldadura tipo SMAW en acero S355J2W

Modalidad:

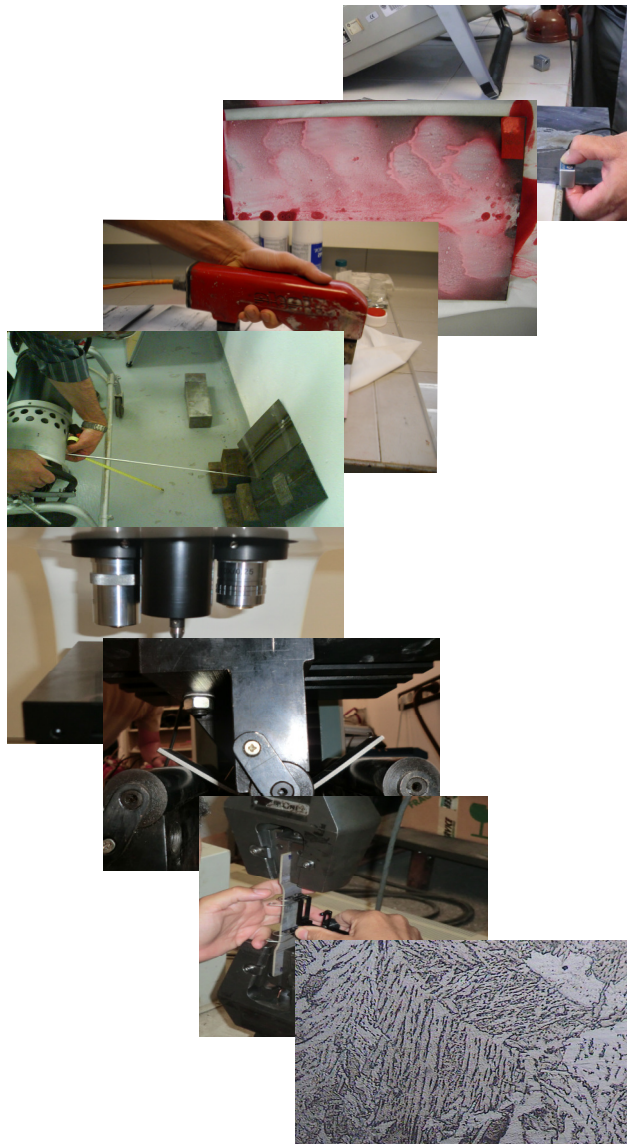
Científico Técnico

Proyecto final de grado de:

Ángel Iván Aibar Moscoso

Dirigido por:

Manuel Pascual Guillamón





ÍNDICE GENERAL

MEMORIA DESCRIPTIVA

I.1. Objeto	5
I.2. Introducción historia de la soldadura por arco	7
I.3. Teoría de los procesos de soldadura	9
I.3.1. INTRODUCCIÓN	9
I.3.2. SOLDEO POR ARCO ELECTRICO	10
I.3.2.1. Principios de electricidad basada en el arco eléctrico.....	10
I.3.2.2. El arco eléctrico	10
I.3.2.3. La columna de plasma	11
I.3.2.4. Polaridad.....	12
I.3.2.5. En corriente alterna.....	13
I.3.2.6. Establecimiento del arco.....	14
I.3.2.7. El soplo magnético	14
I.3.2.8. Angulo y dirección de soldeo	15
I.3.2.9. Posición de soldadura	16
I.3.2.10. Tipos de soldadura.....	16
I.3.2.11. Tipos de cordón de soldadura.....	17
I.3.3. SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO TIPO SMAW INTRODUCCIÓN	18
I.3.3.1 Equipo de soldeo	19
I.3.3.2. Fuente de alimentación	20
I.3.3.3. Cables de conexión	22
I.3.3.4. Portaelectrodo.....	22
I.3.3.5. Masa	23
I.3.3.6. El electrodo.....	23
I.3.3.7. Conservación y manipulación de los electrodos.....	31
I.3.3.8. Técnicas operativas.....	32
I.3.3.9. Inspección antes de soldar	34
I.3.3.10. Ejecución de soldeo	34
I.3.3.11. Utilización	34
I.3.3.12 Como detener la soldadura	35



I.3.3.13. Defectos típico.....	36
I.3.3.14. ventajas y limitaciones.....	39
I.3.3.15. Seguridad en operaciones de soldadura.....	39
I.3.3.16. Seguridad en soldadura por arco eléctrico.....	41
I.3.5. PROCESO TIG.....	43
I.3.5.1 Electrodo.....	46
I.3.5.2. Tipos de corriente.....	46
I.3.5.3. Metal de aportación.....	46
I.3.5.4 Técnicas especiales.....	48
I.3.5.5. Aplicaciones.....	49
I.3.5.5. Ventajas y limitaciones.....	49
I.3.5. PROCESO MIG/MAG.....	50
I.3.5. SOLDEO POR CHORRO DE PLASMA.....	52
I.4. Fundamentos del acero S355J2W (ST52)	53
I.4.2. Características químicas.....	54
I.4.3. Aceros estructurales.....	54
I.5. Soldadura con distintos electrodos	67
I.5.1. Tipos de electrodos empleados en el presente proyecto.....	67
I.5.2. Soldadura con electrodo de rutilo.....	69
I.5.3. Soldadura con electrodo Básico.....	71
I.5.4. Soldadura con electrodo Básico y acero inoxidable.....	73
I.6. Soldadura con distintos electrodos	78
I.6.1. Introducción.....	78
I.7. Preparación de las chapas para ensayos NO destructivos	80
I.7.1. Estado de las soldaduras antes de preparar.....	81
I.7.2. Procedimiento para conseguir la planeidad deseada.....	82
I.7.3. Epis para proceder al lijado de las soldadura.....	83
I.7.4. Estado final de la superficie.....	84
I.8. Radiografía	85
I.8.1. Radiografía de la soldadura por rayos X.....	86
I.8.2. Proceso seguido.....	87
I.8.3. Resultados.....	93
I.9. Ensayo por partículas magnéticas	96
I.9.1. Introducción.....	96
I.9.2. Proceso seguido.....	96



I.9.3. Resultados obtenidos	98
I.9.4. Ventajas e inconvenientes.....	99
I.10. Líquidos penetrantes	101
I.10.1. Proceso seguido	101
I.10.2. Resultados obtenidos	104
I.10.3. Tabla de propiedades físicas	107
I.10.4. Ventajas e inconvenientes.....	108
I.11. Ultrasonidos	109
I.11.1. Introducción	109
I.11.2. Equipo.....	110
I.11.3. Ejecución del ensayo de ultrasonido.....	113
I.11.4. Ventajas e inconvenientes.....	113
I.12. Diseño de probetas para ensayos destructivos	114
I.13. Ensayos mecánicos. Tracción.....	116
I.13.1. Introducción	116
I.13.2. Datos y gráficas con las diferentes soldaduras.....	117
I.14. Ensayos mecánicos. Flexión	123
I.14.1. Introducción	123
I.14.2. Datos y gráficas con las diferentes soldaduras.....	125
I.15. Fabricación de probetas Microestructura	128
I.15.1. Introducción	128
I.15.2. Proceso de fabricación.....	130
I.15.3. Ensayo de microdurezas. Proceso.....	135
I.16. Micrografía	140
I.16.1. Ataque Químico a las probetas	140
I.16.2. Micrografías a las probetas.....	141
I.17. Conclusión	148
I.18. Bibliografía	149
Agradecimientos	150



I.1. OBJETO DEL PROYECTO

La finalidad del presente proyecto es poder determinar las características de la soldadura por arco eléctrico tipo SMAW mediante tres diferentes electrodos, como son los básico con alma de acero al carbono, los de rutilo y los básico con alma de acero inoxidable sobre un acero st-52 así como los métodos destructivos y no destructivos para verificar el estado en el que se encuentra la soldadura.

Estos objetivos se llevan a cabo mediante el seguimiento de una metodología de trabajo, así como, la aplicación continua de la normativa vigente (UNE, ISO).

En primer lugar se procede a realizar las soldaduras correspondientes, y finalizadas éstas se llevaros a radiografiar.

En segundo lugar, se procede a la preparación de las chapas soldadas con estos 3 tipos de electrodos, mediante una amoladora que consigue que haya la planeidad suficiente sobre el cordón para conseguir el correcto funcionamiento de los ensayos.

Tras la preparación precedimos a realizar los ensayos no destructivos siguientes: Líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonidos.

Tras los ensayos no destructivos procedimos con los destructivos con, compuestos por ensayos mecánicos normalizados como el de tracción, flexión y microdureza, terminadas la microdureza se atacaron químicamente mediante Nital II y la inoxidable con Marvel , para poder observar la microestructura tanto del material base , como la zona afectada por el calor (Zac) y su soldadura.

Indicar que, en el proceso de soldeo y aplicación de tratamientos térmicos, se ha tenido en cuenta dificultades como: falta de penetración, fluidez, excesiva intensidad, cambios bruscos de temperatura sufridos por la probeta, etc.



En resumen, el objetivo de este proyecto es caracterizar la soldadura del acero st-52 (S355J2W) a partir de su microestructura y de sus características resistentes, averiguando también qué tipo de soldadura ofrece el resultado más óptimo a este tipo de fundición.

I.2 Introducción Histórica de la soldadura de metales por arco.

Durantes miles de años los metales han sido utilizados sin saber como se consiguió el primer metal útil, si fue por restos de meteoritos o por calentar excesivamente minerales que contenían cobre. Pero lo que si está claro es que en la edad de bronce se utilizaban multitud de piezas conformadas como pueden ser hachas, lanzas etc..., el empleo de éste metal estaba limitado por la escasa tecnología de entonces así como conseguir uniones aceptables metal a metal quedó sin resolver.



La revolución industrial fue la que incentivó la introducción a escala comercial las técnicas de soldadura, tanto soldeo fuerte, blando, por fusión y arco eléctrico.

Centrándonos en el soldeo por arco eléctrico que es el que nos interesa para el presente proyecto su descubrimiento fue por el químico Británico y considerado el creador de la electroquímica Sir Humphry Davy en 1801, en sus primeras aportaciones la soldadura por arco eléctrico no era tal y como lo conocemos actualmente, ya que los electrodos que explicaremos mas adelante no estaban recubiertos produciendo así soldaduras débiles además de que sobrecalentaba la pieza asoldar y se hacia frágil la soldadura por el contacto del aire. Tras éste problema se dejó apartado éste proceso de soldadura hasta que en 1912 llegó Strohmenger que añadió la solución mediante el recubrimiento del electrodo pero que por su elevado coste no era del todo aceptado.



Humphry Davy

A partir de 1930 tras la ejecución de un barco mercante construido en Carolina del Sur y tras éste miles de barcos para la Segunda Guerra mundial se proclamó éste método de soldadura como de los más importantes. Luego apareció la corriente alterna (1935) y surgió la dificultad de mantener el arco eléctrico, solucionándose como hablamos más adelante mediante unos revestimientos del electrodo que se ionizan con mayor facilidad.



Barco Alemán Segunda Guerra Mundial

Este tipo de soldadura sería equivalente a al tipo SMAW y que será el que utilizemos para los ensayos del presente proyecto.

Tras ésta aparecieron nuevos tipos de electrodos como es el TIG que tiene una protección gaseosa de wolframio y helio solucionando así la soldadura de metales muy reactivos, pero no fue útil para soldar piezas muy gruesas ni las altamente transmisoras de calor, con lo que apareció el MIG en 1948 que sustituyó el wolframio por un alambre consumible, pero el alto precio del helio y argón hizo que se sustituyeran por materiales como el gas inerte, oxígeno y anhídrido carbónico creando el tipo de soldadura MAG.



I.3 Teoría de los procesos de soldadura.

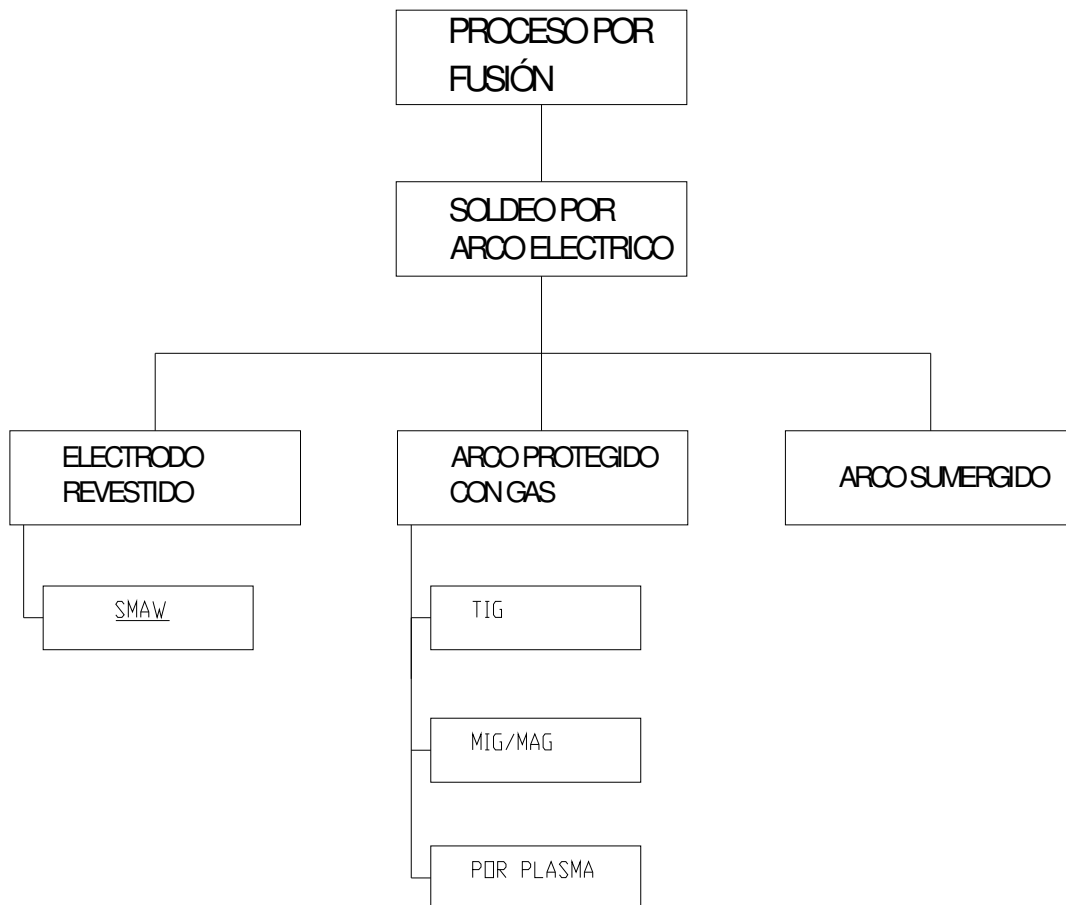
I.3.1 Introducción.

La soldadura es el procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a las de las piezas que se han de soldar.

Se distingues varios tipos de procesos de soldadura más importantes como:

- **Soldeo por fusión** que se caracteriza porque siempre se produce la fusión del metal base y la del de aportación. Este es el proceso con el que se realiza la soldadura por arco eléctrico, y que prestaremos más atención.
- **Soldeo en estado sólido** que aquel que nunca se produce la fusión del metal base, ni la del de aportación.
- **Soldeo fuerte y blando** son aquellos que siempre se produce la fusión del metal de aportación y no la del metal base distinguiéndose por la temperatura de fusión siendo la fuerte por encima de 450° C y la blanda por debajo.

Esquema de soldadura por arco:

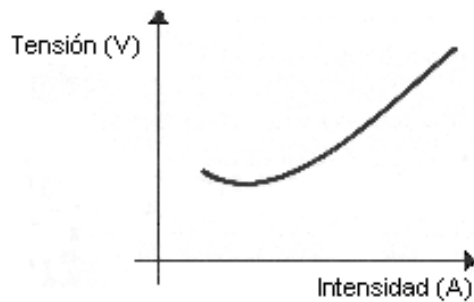




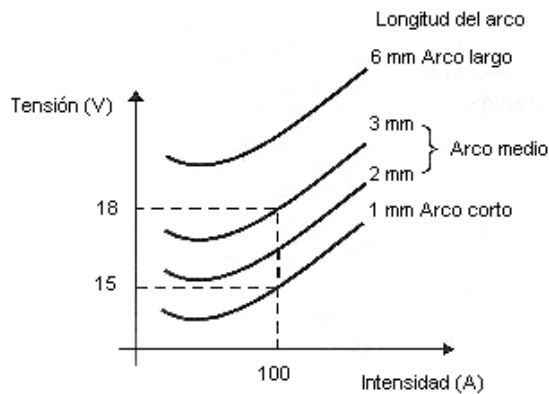
I.3.2 Soldeo por arco eléctrico

I.3.2.1. PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD BASADO EN EL ARCO ELECTRICO.

El arco eléctrico es el principio físico de transformar la energía en calor. Normalmente cumple la ley de Ohm en la que voltaje (Voltios) es igual a la resistencia (Ohmios) por la intensidad (Amperios). $V=I \times R$ y cumple con la siguiente curva:



La curva depende además del tamaño y naturaleza del cátodo, del electrodo y la longitud del arco.



I.3.2.2 EL ARCO ELECTRICO

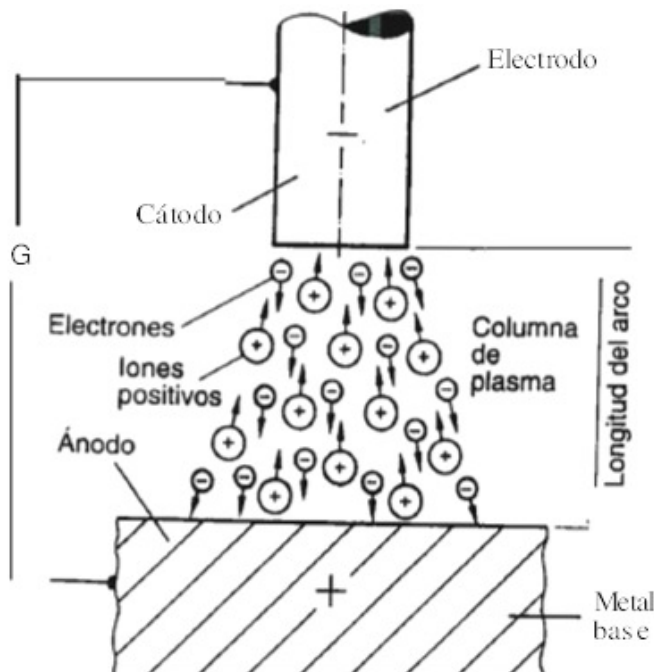
Es una descarga continuada entre dos conductores que serán el **electrodo** y el **plasma** (gas conductor), separados ligeramente por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos. Se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor.

Es fundamental para los procesos de soldeo porque:

- Proporciona altas intensidades de calor.
- Es fácil controlable a través de medios eléctricos.

I.3.2.3 LA COLUMNA DE PLASMA

Es la columna gaseosa que sostiene la corriente para producir el arco, gracias a la **ionización** basada en el choque de electrones que salen de uno de los electrodos con el gas.



DESCRIPCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO

Cada extremo de la columna de plasma:

- **Cátodo:** Es el que produce la emisión de electrones que ionizan el gas convirtiéndose en plasma.
- **Ánodo:** terminal positivo que dirige los electrones atraído por la carga positiva del ánodo.

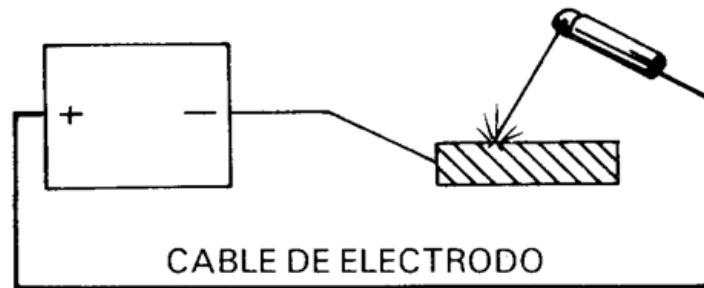
I.3.2.4 POLARIDAD “en corriente continua”

Hay dos diferentes tipos de polaridad llamadas **polaridad directa** y **polaridad inversa**.

La Polaridad Directa consiste en que el electrodo sujeto esta conectado al negativo de la fuente de tensión y la pieza a soldar esta conectada al positivo creando así como si fuera un circuito eléctrico.

Características de la polaridad directa en general:

- Se obtienen cordones más anchos con menor penetración.
- El electrodo soporta intensidades mayores que si estuviera conectado con polaridad inversa.

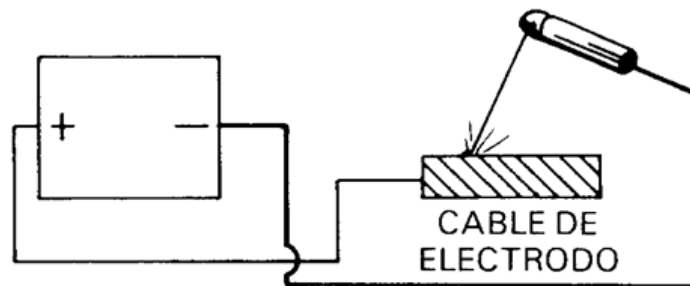


B. Polaridad directa (negativa)

En cambio la Polaridad Inversa consiste en que la pieza a soldar se conecta al positivo y el electrodo al negativo.

Características de la polaridad inversa en general:

- Se obtienen cordones poco anchos, con mayor penetración.
- Excesiva acumulación de calor que puede provocar su sobrecalentamiento y rápido deterioro.

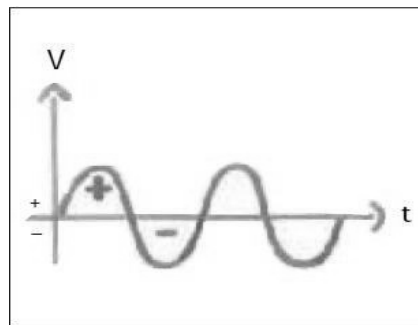


A. Polaridad inversa (positiva)

I.3.2.5 EN CORRIENTE ALTERNA.

En corriente alterna la polaridad no existe ya que hace que el electrodo durante medio ciclo trabaja como positivo y durante el otro medio en negativo, produciéndose cada ciclo 100 veces por segundo.

En corriente alterna surge la desventaja de que no es tan fácil como en corriente continua mantener el arco ya que la tensión esta variando incluso llegando a anularse, por lo tanto es necesario que cuando pasa del semiciclo positivo al negativo se mantenga la soldadura suficientemente caliente para que no se extinga.

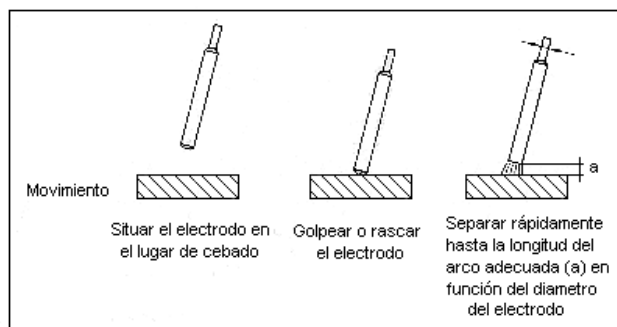


Corriente alterna

I.3.2.6 ESTABLECIMIENTO DEL ARCO.

Para establecer el arco, ligeramente golpee o rasque el electrodo en el metal por soldar, Enguanto se establezca el arco levante inmediatamente el eléctrico a una distancia igual al diámetro del electrodo.

El no levantar el electrodo producirá que éste se pegue al metal y si lo dejas en esa posición fluyendo la corriente el electrodo se calentara sobrecargando el circuito creado. Cuando un electrodo se pegue, se lo puede soltar rápidamente torciendo o doblándolo, si este movimiento no lo desaloja, suelte el electrodo del porta electrodo y apague la fuente de alimentación.

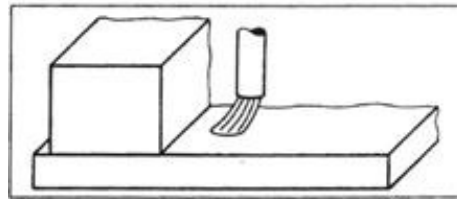


Establecimiento del arco

I.3.2.7 EL SOPLO MAGNETICO.

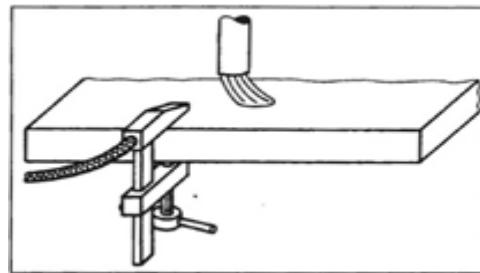
Desviación de soldeo producido por la distorsión del campo magnético existente alrededor del arco siendo las razones más comunes:

- Cuando se suelda en los extremos de las piezas a soldar cuando éstas son ferromagnéticas
- En los cambios de dirección de la corriente al entrar en la pieza de metal base y dirigirse hacia la mesa.



Aproximación a la pieza

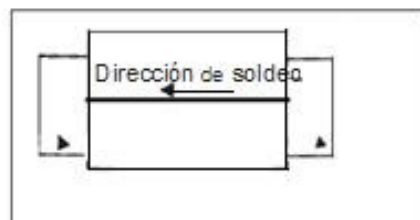
- Al aproximarse el electrodo a la masa.



Aproximación a masa

El soplo lo podremos disminuir:

- Colocar la masa lo más lejos posible.
- Reducir la corriente de soldeo todo lo posible.
- Utilizar una longitud de arco corta.
- Colocar apéndices en los extremos de la unión.



Colocación de apéndices.

- Utilizar corriente alterna.

I.3.2.8 ÁNGULO Y DIRECCIÓN DE SOLDEO.

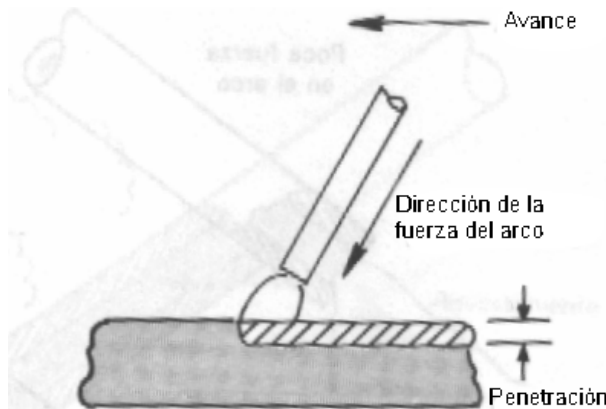
El ángulo y orientación es un factor muy importante a la hora de realizar una soldadura óptima.

En general el tamaño del ángulo a utilizar respecto a la vertical influye en:

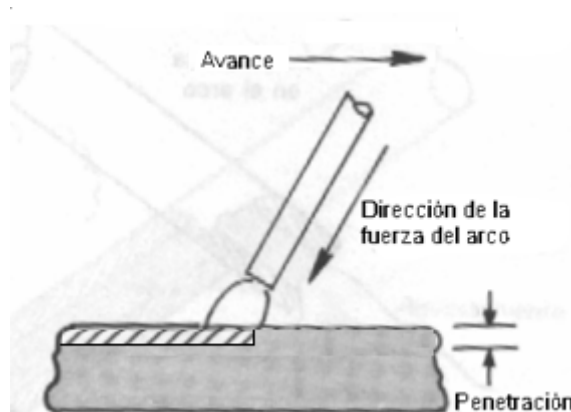
- Si es muy pequeño favorece la formación de mordeduras
- Mientras que si es grande puede causar falta de fusión.

Al ángulo comprendido entre el eje del electrodo y una línea perpendicular al eje de la soldadura es el **ángulo de desplazamiento**.

Ángulo de retraso es en el que el soldeo se realiza hacia delante, en el cual el electrodo se dirige en el mismo sentido que el avance del soldeo. Cuando ésta misma operación se realiza hacia atrás se le denomina **ángulo de adelanto**.



Ángulo de retraso



Ángulo de adelanto

I.3.2.9 POSICIÓN DE SOLDADURA.

Los electrodos están diseñados para ser usados en posiciones específicas. Siempre que sea posible hay que llevar la pieza a una posición plana, que es la más cómoda y con mayor rendimiento.

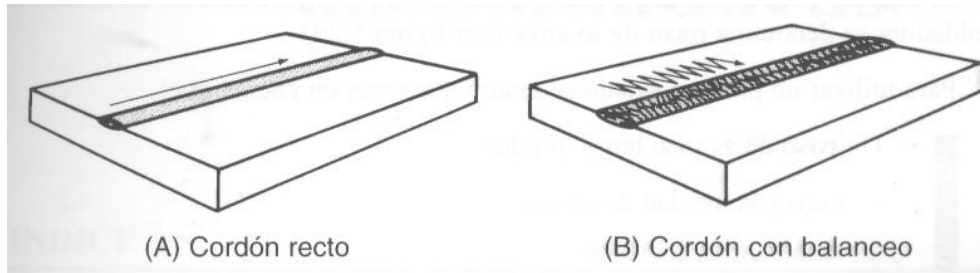
PLANO	HORIZONTAL	VERTICAL	SOBRECABEZA

I.3.2.10 TIPOS DE SOLDADURA.

 TOPE SIN BISEL	 TOPE CON BISEL	 TOPE CON DOBLE BISEL	 TOPE CON UNA PLANCHA BISELADA	 TOPE CON UNA PLANCHA DOBLE BISEL
 TOPE BISEL EN U	 TOPE DOBLE BISEL EN U	 TOPE BISEL EN J EN UNA PLANCHA	 TOPE DOBLE BISEL J EN UNA PLANCHA	 FILETE SIMPLE
 FILETE SIMPLE	 DOBLE FILETE	 DOBLE FILETE	 UNION V DE LADOS DOBLADOS	 UNION DE FLANGE
 CORDON	 TAPON	 PUNTO DE ARCO SENCILLO		

I.3.2.11 TIPOS DE CORDÓN DE SOLDADURA.

Si el soldador progresa a lo largo de la unión sin oscilar el electrodo obtendremos lo que se le llama **cordón recto** pero si en cambio oscila el electrodo lateralmente a la dirección de soldeo se le llama **cordón con balanceo**.



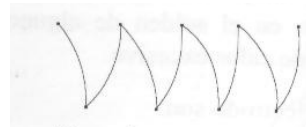
Tipos de cordón

El cordón con balanceo es más lento que el cordón recto ya que realiza mayor trazado, éste método se suele utilizar cuando la separación de las piezas a soldar es tan amplia que utilizando el cordón recto no obtendríamos un buen resultado.

A éste método se le pueden realizar diferentes movimientos, como pueden ser **circulares** o en **zig-zag**.



Circular



zig-zag

Al movimiento lateral se le denomina paso de avance pudiendo ser largo o corto dependiendo de.

El **avance largo** produce.

- Mayor velocidad de avance.
- Menor calor aportado.
- Cordón poco vistoso.

El **avance corto** produce.

- Menor velocidad de avance.
- Mayor calor aportado.
- Es más vistoso.

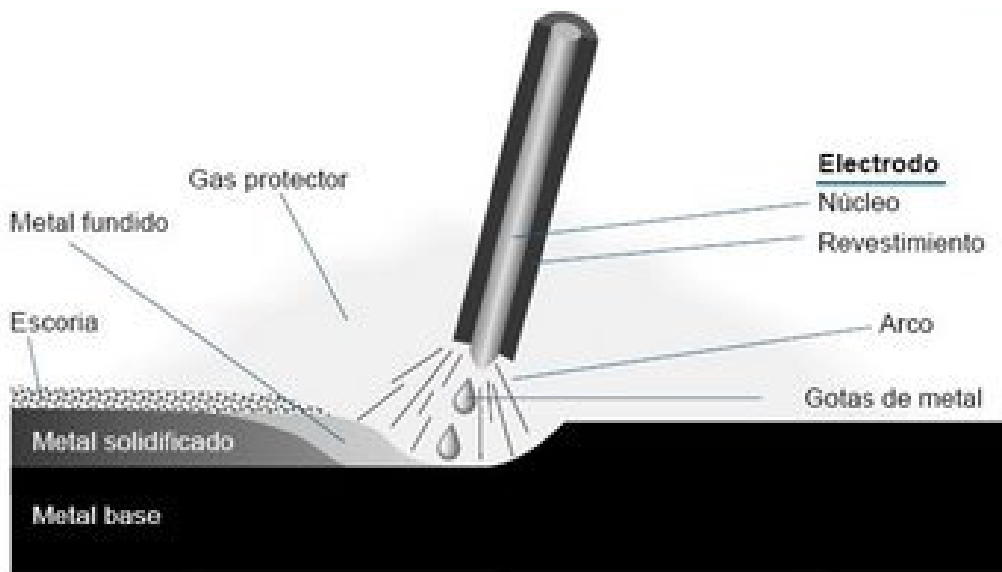
I.3.3 Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido “tipo SMAW”

Es el proceso en el cual la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico que al incidir corriente sobre un extremo del electrodo revestido recorriendo éste hasta llegar al otro extremo donde se encuentra el metal base a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas y la protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y después solidifica creando por encima del cordón de soldadura, una capa protectora del metal fundido.

Tiene varias denominaciones:

- SMAW, shielded metal-arc welding.
- MMAW, manual metal-arc welding.



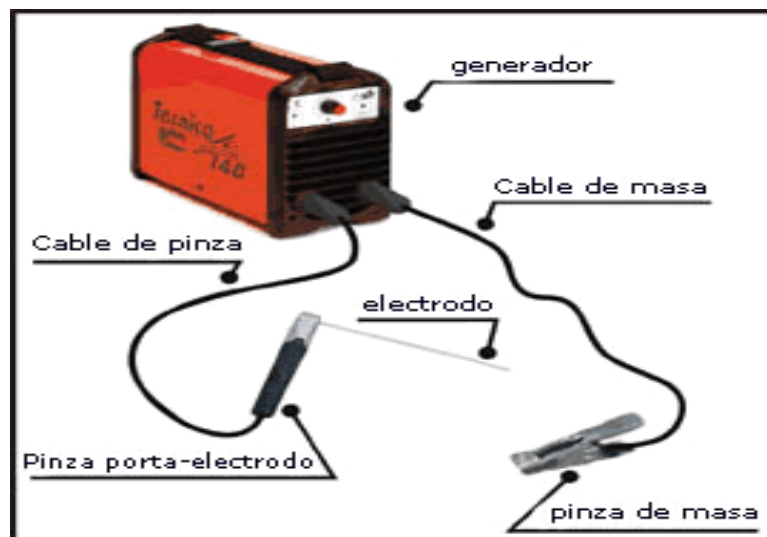
Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido

I.3.3.1 EQUIPO DE SOLDEO.

EL equipo de soldeo por electrodo revestido es del todo sencillo aunque consiste en una fuente de alimentación ya sea corriente alterna o continua, un portaelectrodo, una conexión a masa, un electrodo y como no la pieza que deseamos soldar.

El equipo consta de:

1. Fuente de alimentación (generador o transformador) depende si C.A. o C.C.
2. Cables de conexión.
3. Porta electrodo.
4. Masa.
5. Electrodo.
6. pieza de trabajo.



Equipo de soldeo

I.3.3.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

Si se desea soldar con corriente continua se deberá utilizar de fuente de energía transformadores-rectificadores o **generadores** que es lo que se utiliza generalmente, y para corriente alterna se utilizan **transformadores**.

Además se deberá tener en cuenta el tipo de electrodo que se utilice que como mas adelante veremos existen varios tipos, que por ejemplo los electrodos básicos necesitan mayores tensiones en comparación con los electrodos de tipo rutilo y ácido.



Transformador

Elección del tipo de corriente.

La posibilidad de utilizar tanto corriente alterna como continua hace pensarse que tipo de corriente, en que condiciones y con que equipo realizar la soldadura. En la siguiente tabla se observan éstas dependencias.

Soldadura de secciones gruesas	Corriente continua	Corriente alterna
Perdida de tensión	Grande. Hay que utilizar los cables más cortos posible.	Pequeña.
Electrodos	Son validos todos los tipos de electrodos.	El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco
Encendido del arco	Fácil	Más fácil sobretodo con electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Fácil	Más difícil excepto cuando se utilizan electrodos de gran diámetro.
Efecto del soplo	Sensible sobretodo en el borde de la pieza a soldar.	No hay ya que la alternancia de los ciclos lo neutralizan
Salpicaduras	Poco frecuente	Más frecuente, debidas a la pulsación.
Posiciones de soldeo	se usa mejor para piezas gruesas	Fácil de usar en cualquier posición.
Soldadura de hojas metálicas	Preferible	Si no se actual con gran precaución se puede se puede deteriorar el material por la dificultad de encendido del arco.

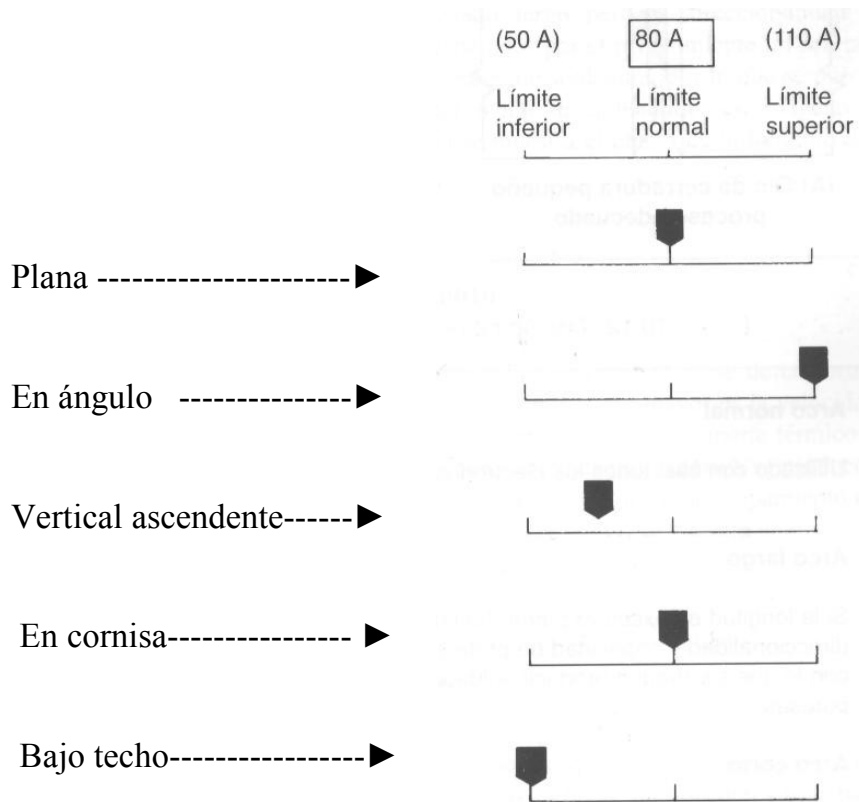


INTENSIDADES A UTILIZAR.

VALORES MEDIOS DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA (A)							
Diámetro electrodo (mm)	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,00
Electrodo ácido	-	-	-	100-150	120-190	170-270	240-380
Electrodo rutilo	30-55	40-70	50-100	80-130	120-170	150-250	220-370
Electrodo celulósico	20-45	30-60	40-80	70-120	100-150	140-230	200-300
Electrodo básico	50-75	60-100	70-120	110-150	140-200	190-260	250-320

POSICIÓN DE LA SOLDADURA:

INTENSIDAD:



I.3.3.3 CABLES DE CONEXIÓN.

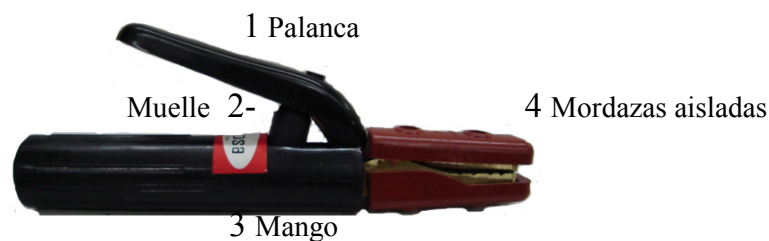
El cable primario que conecta la máquina soldadora a la fuente de electricidad es significantes, la **longitud** de este cable ha sido **determinada por el fabricante** de la unidad de fuerza eléctrica, y representa una longitud que permitirá una operación eficiente de la máquina sin que se produzca una caída apreciable del voltaje, si se usa un cable más largo, se requerirá mas voltaje para el trabajo y si no hay disponible más voltaje no será posible mantener el arco eléctrico.

I 3.3.4 PORTAELECTRODO.

Su función es doble sirve tanto para agarrar el electrodo como para conducir la electricidad al electrodo.

Características que debe cumplir:

- Debe Ser ligero para evitar la fatiga del soldador.
- Debe evitar un sobrecalentamiento en las mordazas, manteniéndose en perfecto estado para evitar una disminución de la calidad y dificultad en la ejecución del soldeo.
- Debe colocarse firmemente al cable ya que una conexión floja puede sobrecalentar.
- Todas las superficies deben estar perfectamente aisladas.
- El electrodo debe poder extraerse y ponerse fácilmente.
- Debe permitir el movimiento de balanceo necesario para la realización del cordón.



Portaelectrodo

I.3.3.5 MASA.

Hay que vigilar atentamente la situación de la masa ya que puede producir el soplo magnético, además hay que tomar especial atención al método de sujetar el cable, siendo la mejor forma utilizar una zapata de contacto de cobre sujeta con una mordaza, si fuera perjudicial el cobre sobre la pieza a soldar se reemplazará por una chapa compatible a la pieza.



Pinza de masa

I.3.3.6 EL ELECTRODO.

Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo en particular y luego determinar el tipo y diámetro de electrodo que más se adapte a estas condiciones.

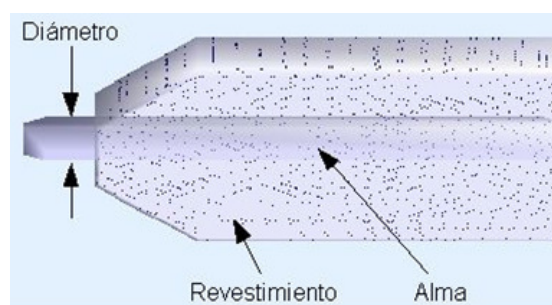
Este análisis es relativamente simple, si el operador se habitúa a considerar los siguientes factores:

1. Naturaleza del metal base.
2. Dimensiones de la sección a soldar.
3. Tipo de corriente que entrega su máquina soldadora.
4. En qué posición o posiciones se soldará.
5. Tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza.
6. Si el depósito debe poseer alguna característica especial, como son: resistencia a la corrosión, gran resistencia a la tracción, ductilidad, etc.
7. Si la soldadura debe cumplir condiciones de alguna norma o especificaciones especiales.

Después de considerar cuidadosamente los factores antes indicados, el usuario no debe tener dificultad en elegir un electrodo con el cual se consiga un arco estable, una soldadura uniforme escoria fácil de remover y un mínimo de salpicaduras, que son las condiciones esenciales para obtener un trabajo óptimo.

Partes del electrodo revestido:

- Tiene un núcleo o **alma** que es el metal a aportar
- El **revestimiento** es a base de sustancias químicas. En un extremo no está revestido para fijarlo en el porta electrodo.



ENVASE DE LOS ELECTRODOS.



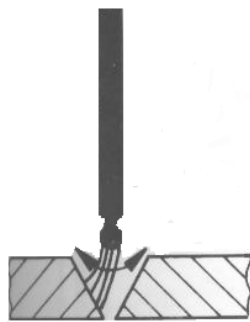
I.3.3.6.1 EL REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO.

Es el elemento del equipo más característico de la soldadura por arco eléctrico, ya que como hemos comentado en la evolución histórica no fue éste método considerado útil hasta que no se revistió el electrodo.

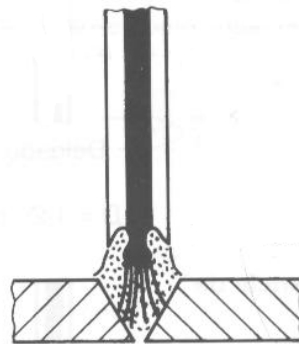
Funciones del revestimiento en general:

1. Facilitar el cebado y estabilizar el arco.

2. Proteger el metal fundido gracias a que crea unos gases que impiden la entrada del oxígeno y nitrógeno que perjudican a la soldadura.
3. Produce una escoria que cubre el metal de aporte, evitando el enfriamiento brusco y también el contacto del Oxígeno y del Nitrógeno.
4. Contiene determinados elementos para obtener una buena fusión con los distintos tipos de materiales.
5. Aporta al baño de fusión elementos químicos que darán al metal distintas características para las cuáles fue formulado.



Electrodo sin revestimiento



Electrodo con revestimiento

TIPO DE REVESTIMIENTOS DE LOS ELECTRODOS DE ACERO AL CARBONO:

Revestimiento ácido

Formados por óxidos de hierro, aleaciones ferrosas de manganeso y silicio. Con una escoria fluida y porosa.

Ventaja:

- Buena estabilidad del arco que los hace idóneos tanto para la corriente alterna y continua..
- Velocidad de fusión y penetración elevada.

Inconvenientes:

- Tienen un baño muy fluido que no permite soldaduras en determinadas posiciones.
- No tienen un gran poder de limpieza en el material base y esto puede causar grietas.
- No soportan elevadas temperaturas de secado, con el consiguiente riesgo de humedad residual y por lo tanto inclusiones de hidrógeno en la soldadura.



Posición: Especialmente la plana.

Tipo de corriente: Alterna y continua

Revestimiento al rutilo

Formados por un 95% de bióxido de titanio.

Ventajas:

- Garantiza una óptima estabilidad del arco y una elevada fluidez del baño, con un apreciable efecto estético en la soldadura.
- Garantizar una fusión dulce, de fácil realización, facilitando la formación de una escoria abundante y viscosa que permite un buen deslizamiento en la soldadura, sobretodo en posición plana.
- El cordón se presenta visualmente un muy buen aspecto.

Inconvenientes:

- No tienen una gran eficacia como limpiadores y por lo tanto se aconsejan en los casos donde el material base no contiene muchas impurezas.
- No secan bien y por lo tanto desarrollan mucho hidrógeno en la soldadura.

Tipo de corriente: tanto en corriente alterna como continua.

Posición: Todas, especialmente adecuado para soldar en posición vertical y bajo techo gracias a las características de su escoria



Revestimiento celulósico

Formado por celulosa integrada con aleaciones ferrosas (magnesio y silicio).

Ventajas:

- Permitiendo la soldadura en posición vertical descendiente.
- La elevada gasificación de la celulosa reduce la cantidad de escorias presentes en la soldadura.
- El elevado desarrollo de hidrógeno (derivado de la especial composición química del revestimiento) hace que el baño de soldadura sea "caliente", con la fusión de una notable cantidad de material base; se obtienen de esta manera soldaduras que penetran en profundidad, con pocas escorias en el baño.

Inconvenientes:

- El nivel estético es bastante bajo ya que la casi total ausencia de la protección líquida ofrecida por el revestimiento impide una modelación del baño durante la solidificación.

Posición de soldeo: Todas

Tipo de corriente: La corriente de soldadura, dada la escasa estabilidad del arco, es normalmente en corriente continua (CC) con polaridad inversa

Revestimiento básico

Formado por óxidos de hierro, aleaciones ferrosas y sobretodo por carbonatos de calcio y magnesio a los cuales, añadiendo el fluoruro de calcio, se obtiene la fluorita, o sea, un mineral adecuado para facilitar la fusión.

Ventajas:

- Tienen una elevada capacidad de depuración del material base, por lo que se obtienen soldaduras de calidad y con una notable robustez mecánica.
- Estos electrodos soportan elevadas temperaturas de secado, y por lo tanto no contaminan el baño con hidrógeno.

Inconvenientes:

- La fluorita hace que el arco sea muy inestable: el baño es menos fluido, se producen frecuentes corto circuitos debidos a una transferencia del material de aporte con grandes gotas;
- El arco debe mantenerse muy corto por la escasa volatilidad del mismo revestimiento;
- Tienen una escoria dura y difícil de quitar, y debe eliminarse completamente en caso de repasos mediante piqueta y cepillo. Fig.1 y 2
- Todas estas características hacen necesario que el soldador tenga una buena experiencia.

Posición de soldeo: Todas las posiciones .Estos electrodos se prestan para realizar soldaduras en posición, verticales, por encima de la cabeza.

Tipo de corriente: Se aconseja el empleo de generadores de corriente continua (CC) en **polaridad inversa**.



Fig1. Piqueta



Fig 2 Cepillo

I.3.3.6.2 DESIGNACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE ACERO AL CARBONO.

EXXYYS-1HZR

E: Indica que es un electrodo para soldadura por arco.

XX: Son dos dígitos que designan la mínima resistencia a la tensión del metal.

YY: Son dos dígitos donde indican las posiciones en las que puede trabajar el electrodo en cuestión, el tipo de revestimiento y el tipo de corriente adecuada.

El primer numero para indicar la posición siendo



- 1: todas.
- 2: plana y horizontal.
- 4: todas pero especialmente para vertical descendente.

S: Indica el tipo de revestimiento.

- 0: Celulósico Sódico.
- 1: Celulósico potásico
- 2: Rutilo Sódico.
- 3: Rutilo Potásico.
- 4: Rutilo +Hierro en polvo.
- 5: Bajo hidrogeno sódico.
- 6: Bajo hidrogeno potásico.
- 7: Mineral mas hierro en polvo
- 8: Bajo hidrogeno +Hierro en polvo

Los dígitos de después del guión son opcionales.

1: Indica que los electrodos cumplen con los requisitos de impacto.

HZ: Indica que los electrodos cumplen con los requisitos de la prueba de hidrógeno.

R: Indica que los electrodos cumplen con los requisitos de la prueba de absorción de humedad.

I.3.3.6.3 ELECTRODOS CON POLVO DE HIERRO EN EL REVESTIMIENTO.

Son aquellos electrodos en los se les añade polvos de diferentes metales para compensar la pérdida de elementos de aleación y mejorar las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

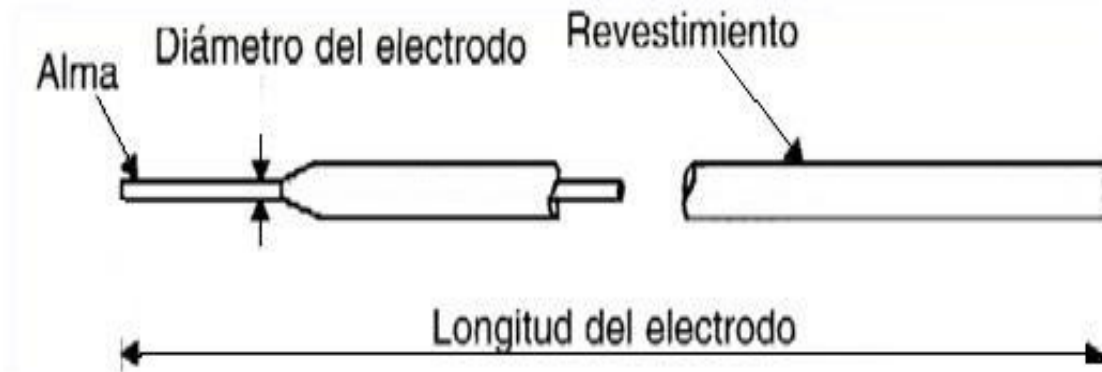
Ventajas.

- Requiere menor habilidad del soldador, ya que tiene mejores condiciones para arrastrar el electrodo por la soldadura.
- El arco es más estable.
- Aumenta la cantidad de metal depositado.

Inconvenientes.

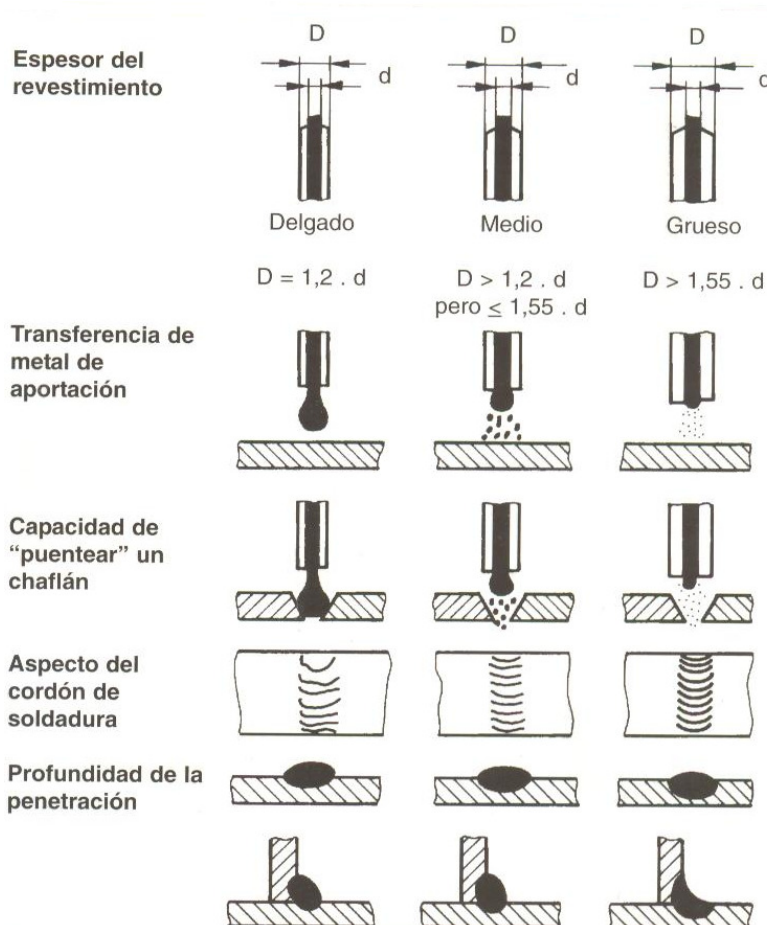
- Solo se puede emplear en posición plana.

I.3.3.6.4 OTRAS MEDIDAS DEL ELECTRODO



EL ESPESOR DEL REVESTIMIENTO.

El espesor del revestimiento influye en gran medida en la soldadura, en la siguiente imagen podemos apreciar cómo en función del espesor ya sea **delgado** (1,2 veces el diámetro del alma), **medio** (mayor a 1,2 y menor a 1,55 veces el diámetro del alma) o **grueso** (mayor a 1,55 veces el diámetro del alma) se obtienen diferentes niveles de perfección en la soldadura.



EL DIÁMETRO DEL ELECTRODO

Se debe seleccionar el electrodo de mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita un fácil manejo. Esta elección debe hacerse en función del espesor del material, del tipo de unión y de la posición, los mas comunes son.

- 1,6mm; 2,0mm; 2,5mm; 3,25mm; 4,0mm; 5mm;

Como norma general se deben emplear:

- **Electrodos de poco diámetro** en punteado, primeras pasadas, uniones de piezas de poco espesor, soldaduras en cornisa, vertical y bajo techo, y cuando se requiera que el aporte térmico sea bajo.
- **Electrodos de mayores diámetros** para uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues.

SU LONGITUD.

Las longitudes normalizadas de los electrodos

- 150, 200, 250, 300, 350 y 450mm.

I.3.3.7 CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE LOS ELECTRODOS.

Se deben transportar en recipiente lo suficientemente resistente evitando cualquier golpe ya que el electrodo es muy frágil y cualquier agrietamiento del revestimiento podría hacer que la soldadura no fuera limpia, ya que el recubrimiento del electrodo es el encargado de proporcionar el ambiente adecuado de protección del cordón de soldadura, por lo que se debe evitar el empleo de varillas con humedad o daños.

- Los Electrodos deberán adquirirse en recipientes herméticamente sellados o deberán secarse al menos durante dos horas entre 260 °C (500 ° F) y 430°C (800 °F) antes de su uso. Los Electrodos deberán secarse antes de su uso si el recipiente muestra evidencia de daño.
- Una vez abierto el recipiente de los Electrodos, éstos deberán ser almacenados en un recipiente acondicionado con una bombilla o resistencia eléctrica a una temperatura de al menos 120°C (250°F).
- Después de abierto el recipiente o sacados los electrodos del horno es recomendable que éstos sean consumidos completamente.

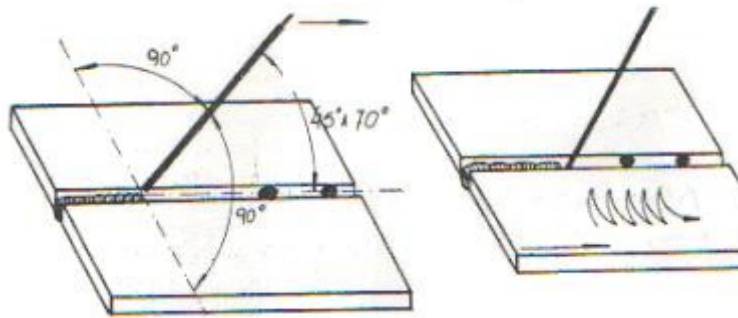


Recipiente de electrodos

I.3.3.8 TECNICAS OPERATIVAS.

I.3.3.8.1 PUNTEADO.

Antes de soldar en ocasiones se realizan un punteamiento a lo largo de la pieza para mantener las piezas a unir firmes, y se además de utiliza de guía.



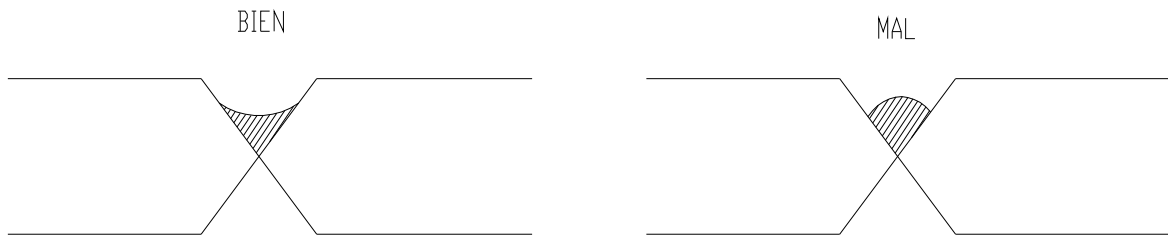
El punteado se realizará con el mismo precalentamiento y el mismo electrodo que se vaya a utilizar en el soldeo. Una vez realizado el punteado y eliminada la capa de escoria debe inspeccionarse cuidadosamente cada punto por si hubiera algún defecto (gritas o cráter) si se produjeran se debería eliminar la soldadura completamente.



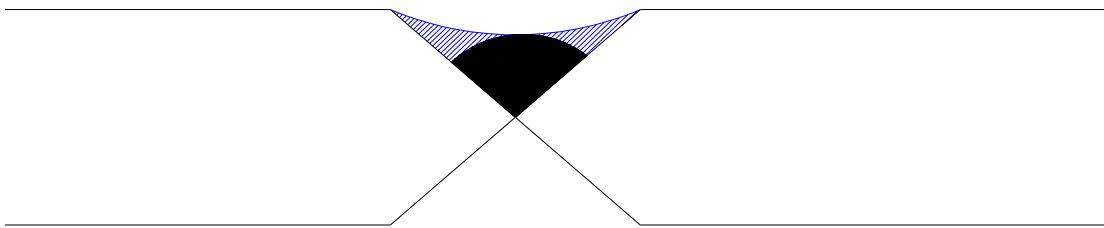
Punteado chapa s355

El punto de soldadura debe tener siempre una forma cóncava (nunca convexa) si se produjera un abombamiento en la soldadura, se repararía hasta dejarla cóncava porque sino se podrían formar grietas.

Si la longitud a soldar es larga, el punto se iniciará en el centro de la pieza.



MODIFICACIÓN DE SOLDADURA



I.3.3.9 INSPECCIÓN ANTES DE SOLDAR.

Se deberá comprobar que las uniones están perfectamente, limpias de óxidos grasas, aceites, agua etc... que las chapas están bien niveladas y alineadas.

Además se observará que los puntos previos están bien realizados, sin poros, grietas ni abultamientos, si tuvieran alguna de estas imperfecciones se eliminarán con piqueta, cepillo o soplete, si fuera necesario se repasaran o se eliminarán los puntos.

I.3.3.10 EJECUCIÓN DEL SOLDEO.

Es importante distinguir entre el baño de fusión y la escoria, ya que hay q procurar que la escoria no se adelante al baño de fusión y que éste bañe igual a ambos lados de la unión.

Durante el soldeo de deberá mantener la longitud del arco lo más constante posible, moviendo uniformemente el electrodo sobre la zona de soldadura según se va fundiendo.

I.3.3.11 UTILIZACIÓN.

Centrándonos en el **lugar** de soldeo éste método gracias a su portabilidad y simpleza que puede utilizarse tanto a pie de campo en la construcción como en trabajos de mantenimiento y reparación pero especialmente en soldaduras de producción corta.



A pie de campo

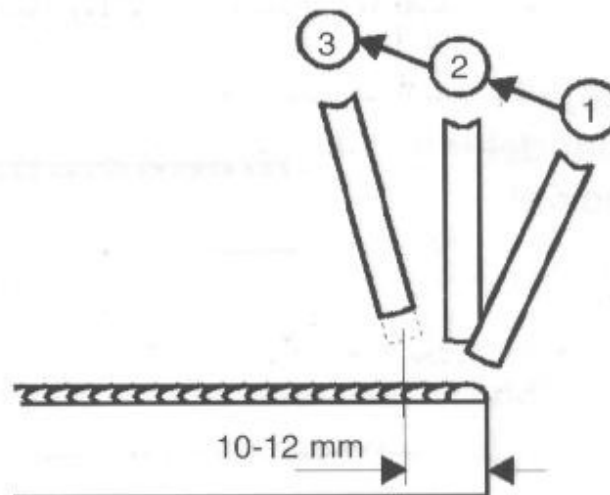
Los **metales** aplicables son los aceros tanto al carbono, aleados, inoxidables, fundiciones y no féreos así como aluminio, cobre y níquel.

I.3.3.12 COMO DETENER LA SOLDADURA.

No se debe nunca detener de forma brusca porque pueden producirse grietas y poros en el cordón.

Hay varias formas de hacerlo:

- Disminuir el arco de forma rápida acercándolo a la pieza a soldar y a continuación mover el electrodo fuera de la fusión. Se utiliza ésta técnica cuando queremos sustituir el electrodo siguiendo con la misma soldadura.
- Otra forma es dar al electrodo una inclinación contraria y se retrocede, sobre el mismo cordón, unos 10 ó 11 mm antes de interrumpir el arco; de ésta forma se rellena el cráter...

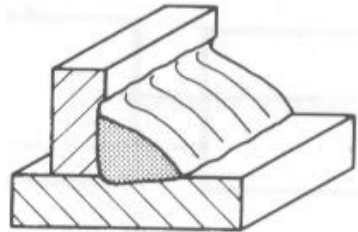


I.3.3.13 DEFECTOS TÍPICOS DE SOLDADURAS.

- Los defectos pueden ocurrir por diversidad de motivos siendo los más comunes la elección de una intensidad incorrecta, el ángulo de soldeo, la suciedad, electrodos en mal estado , interrumpir el arco de forma brusca etc.... a continuación veremos que defectos defectos podemos encontrar y cómo se producen.

1.) Mordedura:

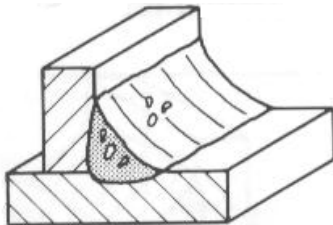
Puede producirse por una intensidad **soldeo demasiado elevado**, por un **ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño** (respecto a la vertical) o por utilizar un **arco demasiado largo**.



Mordedura

2.) Porosidad

Puede producirse por **suciedad** en el metal base, por utilizar un arco demasiado largo o por estar el **electrodo húmedo**.



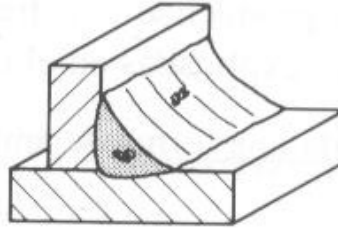
Porosidad



Porosidad por humedad

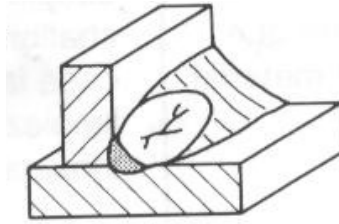
3.) Inclusión de escoria

Puede producirse por utilizar una **intensidad muy baja**, por soldar con una **velocidad de desplazamiento elevada** o por hacer varias pasadas sobre un mismo soldeo sin retirar la escoria.



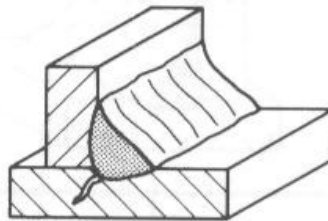
4.) Grietas en la soldadura.

Se produce por interrumpir el arco de forma brusca.



5.) Fisura en el material base.

Se produce por soldar un material no soldable o porque el enfriamiento ha sido excesivamente rápido.



6.) Falta de fusión en los bordes.

Se produce por **suciedad** (presencia de óxido), por utilizar una **orientación del electrodo inadecuada** o por una **intensidad del soldeo insuficiente**.



7.) Falta de penetración.

Se produce por utilizar un **electrodo demasiado grande o fino** o por una **intensidad inadecuada**.



En general:

Síntomas	Causas	Remedios
1. Arco inestable, se mueve, el arco se apaga. Salpicadura distribuida sobre el trabajo	1. Arco demasiado largo.	1. Acorte el arco para penetración correcta.
2. La soldadura no penetra. El arco se apaga con frecuencia.	2. Insuficiente corriente para el tamaño del electrodo.	2. Aumentar corriente. Use electrodo más pequeño.
3. Sonido fuerte de disparo del arco. El fundente se derrite rápidamente. Cordón ancho y delgado. Salpicadura en gotas grandes.	3. Demasiada corriente para tamaño del electrodo. También podría haber humedad en revestimiento del electrodo.	3. Reducir corriente. Use electrodo más grande.
4. La soldadura se queda en bolas. Soldadura pobre.	4. Electrodo incorrecto para el trabajo.	4. Use el electrodo correcto para el metal por soldar.
5. Es difícil establecer el arco. Penetración, dando una soldadura inadecuada.	5. Polaridad incorrecta en portaelectrodo. Metal no limpiado. Corriente insuficiente.	5. Cambie polaridad o use corriente CA en vez de CD. O, aumente la corriente.
6. Soldadura débil. Es difícil hacer el arco. El arco se rompe mucho.	6. El metal por soldar no está limpio.	6. Limpie el metal por soldar. Quite toda escoria de soldadura previa.
7. Arco intermitente. Puede que cause arcos en grapa para puesta a tierra.	7. Puesta a tierra inadecuada.	7. Corrija la puesta a tierra. Mueva el electrodo más lentamente.

I.3.3.14 VENTAJAS Y LIMITACIONES GENERICAS.

Ventajas.

- Equipo sencillo y portátil.
- El metal de aportación y medios de protección están en el propio electrodo.
- Es menos sensible al viento que el tipo TIG (protección gaseosa).
- Se puede realizar tanto en espacios abiertos como cerrados.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.

Limitaciones.

- Es un proceso lento, sobre todo por la necesidad de retirar la escoria.
- Requiere habilidad del soldador.
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión (plomo, estaño, cinc) ni tampoco a los de alta sensibilidad como puede ser titanio.

I.3.3.15 SEGURIDAD EN OPERACIONES DE SOLDADURA.

Condiciones ambientales que deben ser consideradas:

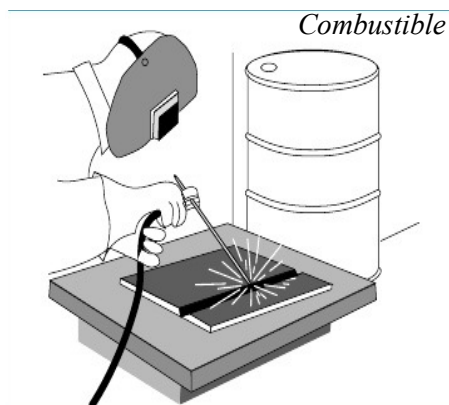
Riesgos de Incendio:

Nunca se debe soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles.

Cuando en un área de soldadura contiene gases, vapores o polvos, es necesario mantener perfectamente aireado y ventilado el lugar mientras se suelda.

Nunca soldar cerca de materiales inflamables o de combustibles no protegidos.

Riesgos de Incendio



Ventilación:

Soldar en áreas confinadas sin ventilación adecuada puede considerarse una operación arriesgada, porque al consumirse el oxígeno disponible, a la par con el calor de la soldadura y el humo restante, el operador queda expuesto a severas molestias y enfermedades.



Humedad:

La humedad entre el cuerpo y algo electrificado forma una línea a tierra que puede conducir corriente al cuerpo del operador y producir un choque eléctrico.

El operador nunca debe estar sobre suelo húmedo cuando suelda ni en un lugar húmedo, debiendo conservar las manos con guantes y el lugar de trabajo seco.



I.33.16 SEGURIDAD EN SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO.

Cuando se realiza una soldadura al arco durante la cual ciertas partes conductoras de energía eléctrica están al descubierto, el operador tiene que observar con especial cuidado las reglas de seguridad para poder contar con la máxima protección personal y también proteger a las otras personas que trabajan a su alrededor.

En la mayor parte de los casos, la seguridad es una cuestión de sentido común. Los accidentes pueden evitarse si se cumplen las siguientes reglas:

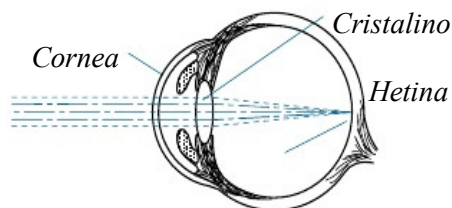
Protección de la vista

La protección de la vista es un asunto tan importante que merece consideración aparte. El arco eléctrico que se utiliza como fuente calórica y cuya temperatura alcanza sobre los 4.000° C, desprende radiaciones visibles y no visibles. Dentro de estas últimas, tenemos aquellas de efecto más nocivo como son los rayos ultravioletas e infrarrojos.

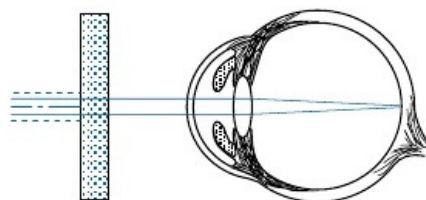
El tipo de quemadura que el arco produce en los ojos no es permanente, aunque sí es extremadamente dolorosa. Su efecto es como “tener arena caliente en los ojos”. Para evitarla, debe utilizarse un lente protector (vidrio inactínico) que ajuste bien y, delante de éste, para su protección, siempre hay que mantener una cubierta de vidrio transparente, la que debe ser sustituida inmediatamente en caso de deteriorarse.

A fin de asegurar una completa protección, el lente protector debe poseer la densidad adecuada al proceso e intensidad de corriente utilizada.

Influencia de los rayos sobre el ojo humano:



Sin lente protectora

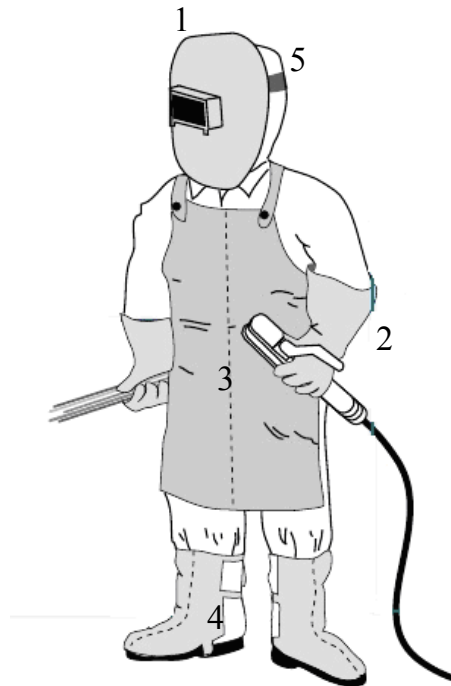


Con lente protectora

Protección Personal EPI's

Siempre utilice todo el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar. El equipo consiste en:

1. Máscara de soldar, protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros inactivos de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.
2. Guantes de cuero, tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas.
3. Coletos o delantal de cuero, para protegerse de salpicaduras y exposición a rayos ultravioletas del arco.
4. Zapatos de seguridad, que cubran los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras.
5. Gorro, protege el cabello.



Importante:

Evite tener en los bolsillos todo material inflamable como fósforos, encendedores o papel celofán. No use ropa de material sintético, use ropa de algodón.

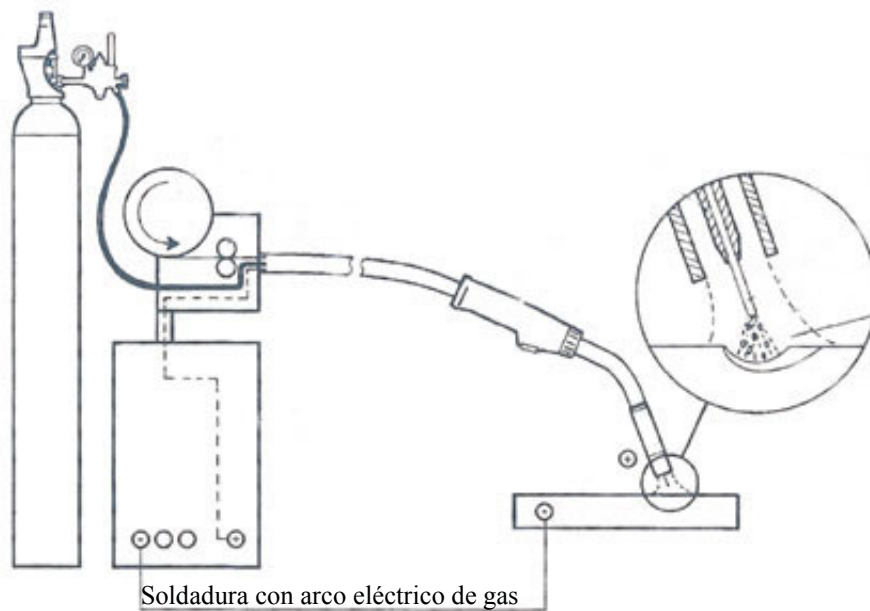
Breve explicación de otros tipos de soldadura no utilizados en el presente proyecto.

I.3.4 Generalidades de la soldadura por arco eléctrico protegido con “GAS”.

Los procesos de soldeo por arco protegido por gas más comunes son:

- TIG.
- MIG/MAG.
- Soldeo por plasma.

Siguen con la misma teoría de que dicho arco proteja la soldadura pero ésta vez mediante gas para evitar que la fusión entre en contacto con el oxígeno, nitrógeno que puedan debilitar la soldadura, producir porosidad o grietas.





PROPIEDADES DE LOS GASES:

- **Potencial de ionización:** El objetivo es que los átomos de gas cedan electrones y se conviertan en partículas de gas eléctricamente cargadas produciendo así la columna de plasma.
- **Densidad:** A mayor densidad del gas menos será falta el caudal. Ya que así cubrirá más fácilmente la zona.
- **Conductividad térmica:** Facilidad que tiene el gas para conducir el calor.
- **Tensión superficial.** La tensión superficial indica la tendencia de los átomos del fluido a mantenerse juntos y no fluir en un determinado medio

TIPOS DE GAS:

1.) Argón.

- Cebado fácil por necesidad de menor energía por sus buenas características ionizantes.
- Es económico.
- Tiene una alta densidad, necesitando así menor caudal. Tiene 10 veces mayor densidad que el helio.
- Menos conductividad térmica que el helio.

2.) Helio.

- Es inerte, como el argón.
- Es más ligero que el aire.
- Potencial de ionización elevado:
- Conductividad térmica elevada:

3.) Dióxido de carbono, CO₂.

- Es más pesado que el aire (densidad relativa 1.5).

Se utiliza en soldaduras como la G.M.A.W o la F.C.A.W., donde el efecto oxidante puede compensarse con la adición a las varillas de metal de aportación de ciertos elementos de aleación como el silicio o el manganeso.

Se suele utilizar mezclado con argón para mejorar la productividad y la penetración en la G.M.A.W.

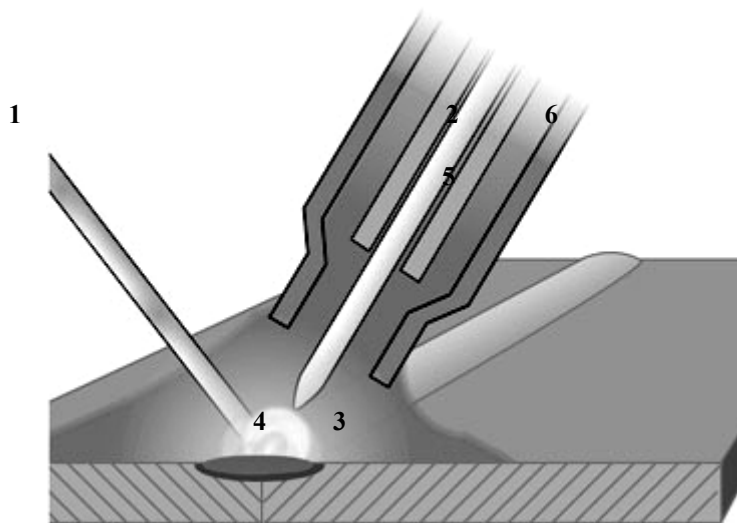


VENTAJAS DE LA SOLDADURA ELECTRICO PROTEGIDO POR GAS:

- Los cordones de soldadura **son más resistentes**, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que los que se obtienen con otros procedimientos.
- El proceso de soldadura se simplifica considerablemente para metales no ferrosos.
- No hay que utilizar desoxidantes, **ni eliminar** los residuos que estos produzcan, ni aparecen problemas asociados a esos desoxidantes como deformación de la soldadura e inclusiones de escoria.
- Tienen menor producción de humos y menos proyecciones.
- Además la **atmósfera gaseosa es transparente**, lo que permite que el soldador controle lo que está haciendo y produce mejores resultados en la soldadura.

I.3.5. Proceso T.I.G.

El procedimiento de soldeo por arco bajo gas protector, con electrodo NO consumible llamado TIG (Tungsteno Inert Gas), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando se utiliza, se aplica por medio de varillas.



1. Varilla .Metal de aportación.
2. Electrodo no consumible.
3. Protección gaseosa.
4. Arco eléctrico.
5. Boquilla de contacto.
6. Tobera.

I.3.5.1 ELECTRODO.

Los electrodos utilizados en la soldadura TIG. son no consumibles, que no se funden a la temperatura del arco, y están fabricados de materiales de alto punto de fusión como puede ser el tungsteno.

El diámetro y el afilado de la punta dependerá del tipo y de la intensidad de corriente que circule a través de él. Debido al elevado calor generado, la punta del electrodo se desafilada y se redondea.

La composición del electrodo dependerá del tipo de corriente con que se trabaje. Inicialmente los electrodos se fabricaban de tungsteno puro, debido a que es el segundo elemento de mayor temperatura de fusión.

I.3.5.2 TIPOS DE CORRIENTE

En la soldadura TIG se puede utilizar corriente continua o corriente alterna. La elección del tipo de corriente y de la polaridad se hará en función del material a soldar.

Por norma general son:

- **Corriente continua C.C:** Para todos los materiales excepto aluminio.

En la actualidad, en corriente continua se trabaja con electrodos de tungsteno aleado con pequeñas cantidades de torio que mejoran el cebado y la estabilidad del arco, porque aumenta la emisividad de electrones. Estos electrodos sufren un menor desgaste y desafilado de la punta.

También se han conseguido buenos resultados con aleaciones de tungsteno con óxidos de Lantano o de Cerio.

- **Corriente alterna C.A:** Para aluminio y sus aleaciones.

En corriente alterna se suelen utilizar aleaciones de tungsteno con zirconio, que reduce la erosión ya que la temperatura de trabajo del electrodo es superior.

I.3.5.3 METAL DE APORTACIÓN

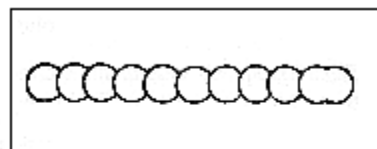
Como en esta técnica no se producen reacciones en el baño, que está protegido por una atmósfera inerte, ni se genera escoria, el metal de aportación deberá tener la misma composición que el metal base. Normalmente se presenta en forma de varillas de distintos diámetros.

I.3.5.4 TECNICAS ESPECIALES.

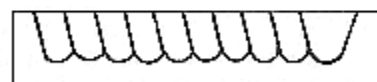
Arco pulsado

Con la finalidad de obtener un mayor control sobre el aporte de calor al metal base y una mejor calidad de soldadura, se puede emplear la corriente pulsada. En el arco pulsado, la corriente de soldadura varía cíclicamente entre un nivel mínimo y uno máximo a frecuencias que oscilan entre milésimas de segundo y un segundo.

El resultado es un arco pulsatorio que produce una serie de puntos que se solapan formando un cordón.



Vista superior

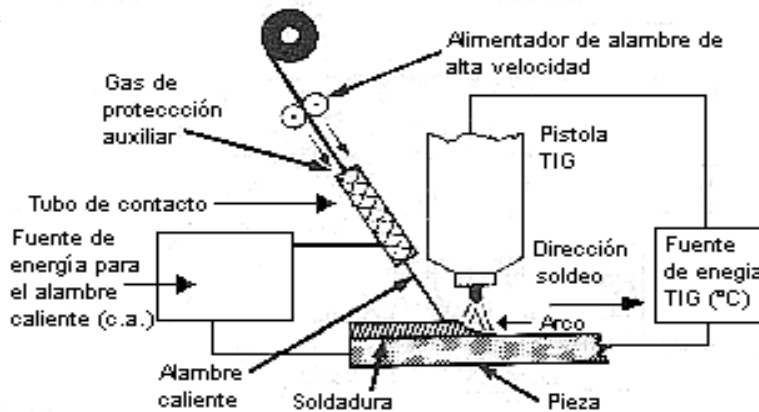


Corte longitudinal



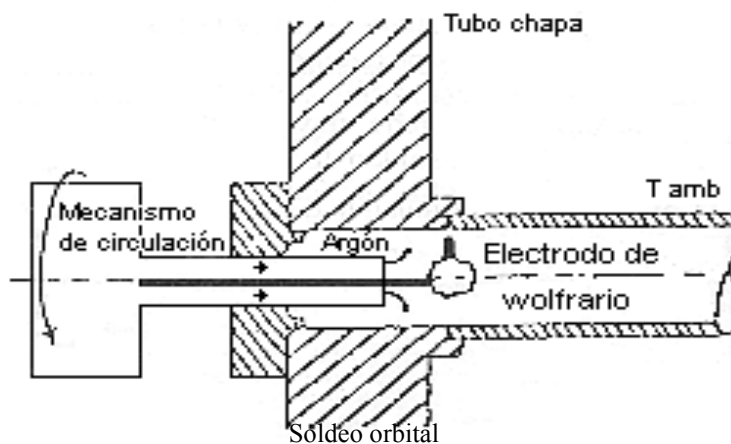
Soldeo con alambre caliente

Otra variedad es el TIG con alambre caliente (figura 34). La varilla aportada de forma continua se precalienta con una corriente baja, entrando a alta temperatura en el baño, fundiéndose a mucha más velocidad y lográndose altas velocidades de aportación. Se utiliza principalmente para recargues y para soldeo automático de piezas de mayor espesor.



Soldeo orbital

Esta técnica es interesante para el soldeo automático de tubos; el electrodo se hace girar mecánicamente alrededor de la unión circunferencial con o sin aportación de material.





I.3.5.5 APLICACIONES.

El proceso de soldadura TIG se aplica principalmente a los aceros inoxidable, aceros aleados al cromo-molibdeno resistentes al calor, aluminio, níquel y aleaciones. Especialmente adecuado para soldaduras de alta calidad.

Especialmente aplicable para materiales de pequeño espesor. Soldaduras de elevada calidad y buen acabado superficial.

Se usa fácilmente en todas las posiciones (de soldadura) y se consigue buen control del baño.

Normalmente manual, pero se puede automatizar para aplicaciones de alta producción. Existe una variante del proceso que precalienta el metal de aportación y lo funde mientras entra en el baño de fusión. Esto permite concentrar el calor del arco en fundir la pieza y no el metal de aportación.

Industrias: aeroespacial, generación de energía, química y petrolífera etc...

I.3.5.6 VENTAJAS Y LIMITACIONES.

Ventajas

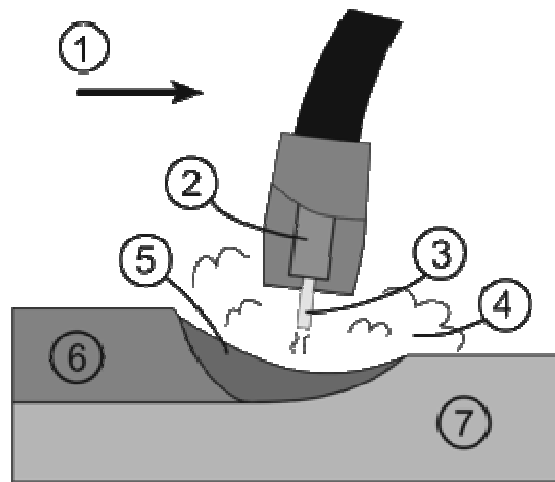
- Se pueden unir la mayoría de metales.
- No hay proyecciones de escoria porque no produce escoria.
- Produce soldaduras lisas y regulares.
- Arco estable y concentrado.
- Se puede utilizar con o sin aporte de metal.
- Puede utilizarse en todo tipo de posiciones.
- Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación.

Limitaciones

- Necesita gran habilidad por parte del soldador.
- No es económico para espesores de más de 10mm de espesor.
- En presencia de aire resulta difícil conseguir una protección de la zona de soldadura.

I.3.6 Proceso MIG/MAG.

La soldadura por arco bajo gas protector **con electrodo consumible** es un proceso en el que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (proceso MIG) o por un gas activo (proceso MAG).



1. Manguera
2. Tubo de contacto.
3. Electrodo.
4. Protección gaseosa.
5. Fusión del cordón.
6. Cordón de soldadura.
7. Base metal.



Ventajas

- Puede utilizarse para el soldeo cualquier tipo de material.
- El electrodo es continuo, con lo que se aumenta la productividad por no tener que cambiar el electrodo y la tasa de deposición es elevada. Se pueden conseguir velocidades de soldeo más elevadas que en el soldeo por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).
- Se puede realizar el soldeo en cualquier posición.
- Se pueden realizar soldaduras largas sin que existan empalmes entre cordones, zona de peligro de imperfecciones.
- No requiere eliminar escoria, puesto que el método no la produce.

Limitaciones

- El equipo de soldeo es más costoso, complejo y menos transportable que el de SMAW.
- Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, botellas de gas de protección, por lo que no puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es sensible al viento y a las corrientes de aire, por lo que su aplicación al aire libre está limitada.



I.3.7 Soldeo por chorro de plasma

La técnica del chorro plasma se utiliza tanto en el corte como en la soldadura de metales.

Al establecer un arco eléctrico, la gran densidad de corriente produce un rápido calentamiento y vaporización del material de los electrodos. Los vapores, al ionizarse en las inmediaciones del electrodo salen disparados a grandes velocidades en forma de chorros luminosos de 15-20 mm de longitud.

A la salida de la boquilla el arco es estrangulado en un canal (figura 37), el plasma sufre una compresión y la temperatura y grado de ionización de las partículas aumentan.

La boquilla se modifica con un circuito de arco piloto que sirve para el cebado del arco. Éste se inicia con una chispa de alta frecuencia.

La refrigeración de la boquilla se realiza con agua y con el argón que no se ha ionizado. La aportación de metal se realiza lateralmente como en el procedimiento TIG.



I.4. Fundamentos del acero S355J2W (st52).

I.4.1. El acero S355J2W.

El **S355J2W** es el utilizado en el presente proyecto y se trata de un acero **resistente a la corrosión atmosférica**, se utiliza sin recubrimiento en aplicaciones expuestas a la intemperie, ya que se forma una capa de óxido en la superficie de este acero, por lo que, a menudo, este material recibe el nombre de “acero autopatinable”.

Cuando se utiliza este producto sin recubrimiento en aplicaciones expuestas a la intemperie, se forma una capa de óxido sobre la superficie de la chapa, creando una pátina de grano fino de color marrón rojizo y fuerte adherencia que protege al acero. Si se daña esta pátina, el acero se oxida de nuevo, con lo que se regenera la pátina y se mantiene la barrera de protección que ésta proporciona. Si la capa es dañada, ésta se regenera de nuevo manteniéndose de esta manera una protección continuada. Es apto para procesos de revestimiento (pintura, recubrimiento metálico, etc.). En el caso de los componentes fabricados a partir de este material, la pátina de protección previene la propagación del óxido bajo la capa de pintura.

La experiencia ha demostrado que permiten una mejor adherencia de la pintura que los demás productos de acero al carbono. Adicionalmente este acero tiene una mayor resistencia a las altas temperaturas que un acero estructural ordinario, también posee una excelente soldabilidad gracias al bajo contenido en carbono y su estructura de grano fino.

En la UNE 10025 se designan los aceros con la letra **S** seguida de un número, **235, 275 ó 355**, que hacen referencia al límite elástico garantizado (se) expresado en N/mm² para espesores inferiores a 16 mm.

Existen diferentes grados **JR, JO, J2**, que además se dividen en subgrados **G2, G3 y W**. Los diferentes grados JR, JO, J2 se diferencian por su soldabilidad y resiliencia, siendo la soldabilidad creciente desde el grado JR al J2.

Aplicaciones

Estos aceros tienen una amplia variedad de aplicaciones, tales como arquitectura, chimeneas industriales, vagones de transporte, silos, contenedores, pilares, elementos de plataformas petrolíferas, etc.

Cuando se utilizan sin recubrimiento, este material no requiere mantenimiento y no sufre deterioro debido a corrosión. La eficacia de la protección contra la corrosión depende en gran medida de la velocidad de formación de la pátina. Para una formación óptima de la pátina, se puede utilizar en entornos exteriores, inclusive en atmósferas sulfúricas.

No obstante, se desaconseja su utilización para aplicaciones en ambientes con condensación o ensuciamiento repetido, en particular en medios clorados.



I.4.2. Características químicas y mecánicas.

Características Químicas

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE COLADA % según EN10025 - 2:2006 %							
	C %máx	Mn	P	S	Si	N	Cu
S355J2W	0,16	0,5-1,5	0,035	0,035	0,5	...	0,25-0,5

Características Mecánicas

CARACTERÍSTICAS MECANICAS según EN10025-2 : 2006										
	Re (N/mm ²)		Rm (N/mm ²)		A % (Mínimo tras la fractura)				RESISTENCIA CHARPY	
	d ≤ 16	16 < d	d < 3	3 ≤ d	<1,5≤2	>2≤2,5	>2,5≤3	≥3≤40	°c	J
					Lo = 80mm		Lo = 5,56√So			
S355JR					16	17	18	22	20	≥27
S355JO									0	≥27
S355J2			510-680	470-630					-20	≥27
S355J2W	≥355	≥345			14	15	16	20	-20	≥40

I.4.3. Aceros estructurales.

Entre los materiales de construcción el acero es de los más importantes; ya que combina la resistencia mecánica la capacidad de ser trabajado y su bajo costo relativamente.

Su amplio uso engloba campos como pueden ser el de la ingeniería, en las estructuras pudiendo ser **fijas** (estructuras, puentes etc..) o **móviles** (industria ferroviaria, automotriz, naval, aeronáutica etc..).

Para la mayoría de las aplicaciones consideradas, la importancia de la **resistencia mecánica** es, en cierto modo, relativamente pequeña, del mismo modo que el **factor peso** no es primordial. De esta forma, los aceros al Carbono comunes, simplemente laminados y sin ningún tratamiento térmico, son plenamente satisfactorios y constituyen un porcentaje considerable dentro de los aceros estructurales.

En otras aplicaciones, se exige una relación resistencia/peso más satisfactoria. Es el caso de la **industria del transporte**, en donde el equipo utilizado –camiones, buses, equipo ferroviario, naval, etc.- debido a las condiciones propias del servicio, debe caracterizarse por un peso relativamente bajo y una alta resistencia. Esta condición es fundamental ya que estas estructuras están sujetas a esfuerzos e impactos severos, además de una resistencia a la corrosión adecuada. Para todas estas aplicaciones, los aceros indicados son los de **baja aleación**, más conocidos como los de **”alta resistencia y baja aleación”**.

De esta forma, se puede establecer la siguiente división de los aceros empleados en estructuras:

- Aceros al Carbono
- Aceros de alta resistencia y baja aleación.

I.4.3.1 PROPIEDADES DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES

Las propiedades físicas de varios tipos de acero y de cualquier aleación de acero dada a temperaturas variantes dependen principalmente de la cantidad del carbono presente y en como es distribuido en el hierro.

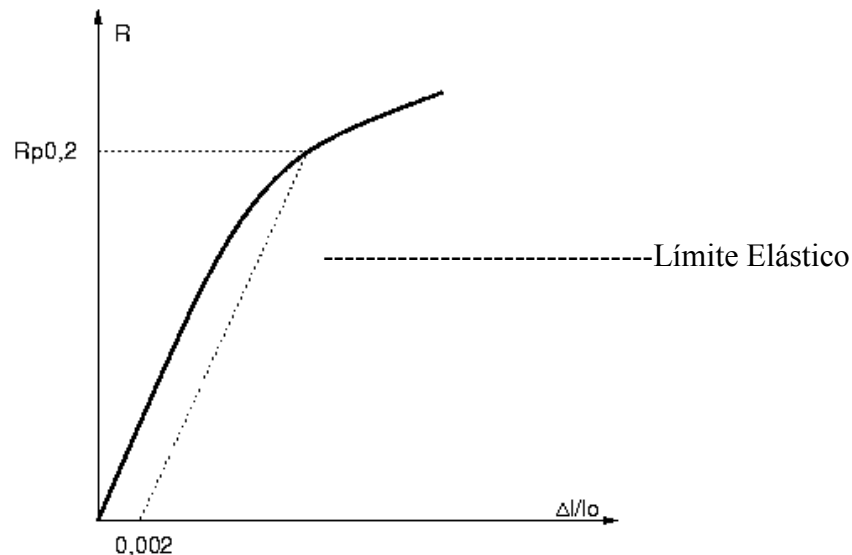
Antes del tratamiento de calor la mayoría de los aceros tienen una mezcla de 3 sustancias, ferrita, perlita, cementite.

- **La ferrita** se encuentra en cantidades pequeñas que contienen ferritas de carbono y otros elementos de solución, es suave y dúctil.
- **La cementita** es un compuesto de hierro que contiene aproximadamente 7% del carbono, es sumamente quebradizo y duro.
- **La perlita** es una mezcla íntima de ferrita y cementita que tienen una composición específica, y una estructura característica, y las características físicas se interponen entre los dos electrones. La dureza depende de las variaciones de calor, y de las proporciones de los 3 ingredientes.

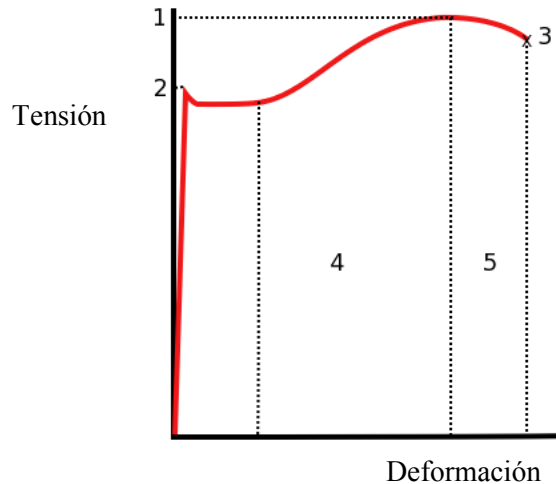
El límite elástico: El mayor esfuerzo que puede soportar el material sin ser deformado permanentemente.

Una propiedad muy importante de una estructura que no haya sido cargada más allá de su punto de fluencia, es que **recuperará su longitud original** cuando se le retire la carga. Si se hubiere llevado más allá de este punto, sólo alcanzaría a recuperar parte de su dimensión original

En la grafica se puede observar como en un principio la deformación es lineal con el esfuerzo ocasionado esta zona se corresponde a las deformaciones elásticas del material hasta un punto donde la función cambia de régimen y empieza a curvarse (**zona plástica**), zona que se corresponde al inicio del régimen, ese punto es el límite elástico.



El límite de fluencia . Esfuerzo que corresponde un decisivo incremento en el alargamiento o deformación, sin el correspondiente incremento en esfuerzo,. Este es también el primer punto, sobre el diagrama esfuerzo-deformación, donde la tangente a la curva es horizontal.



Deformaciones. Cualquier material sometido a la acción de una fuerza, sufre una deformación cuya magnitud depende del valor de la fuerza aplicada y de las propiedades mecánicas del material.

Siendo ésta deformación elástica cuando el material recobra la forma al cesar la fuerza (Límite elástico), en caso contrario la deformación es permanente denominándose estado plástico..

Carga de rotura. Es la fuerza suficiente para romper el material en el que se ejerce la fuerza.

Carga De seguridad. Es la cantidad de carga que se le puede ejercer a un sólido para que las deformaciones sólo sean elásticas.

Acritud. Siguiendo a la deformación plástica, existe una zona donde es necesario un esfuerzo adicional para producir deformación adicional, que es llamada de endurecimiento por deformación .

Cantidad de carbono. El carbono es el material que tiene mayor efecto en las propiedades del acero. La dureza y resistencia aumentan a medida que el porcentaje de carbono se eleva, pero desgraciadamente el acero resultante es más quebradizo y su **soldabilidad** disminuye considerablemente. Una menor cantidad de carbono hace al acero más suave y más dúctil pero también menos resistente.

- A mayor cantidad de carbono \uparrow menor soldabilidad \downarrow



I.4.3.2 ACEROS AL CARBONO.

Los requisitos fundamentales que deben cumplir estos aceros, son los siguientes:

Ductilidad y homogeneidad. De hecho, un contenido relativamente bajo de Carbono y el trabajado en caliente de laminación de los perfiles estructurales, garantizan la ductilidad necesaria, además de la homogeneidad en todo el producto. La ductilidad de estos aceros garantiza una excelente trabajabilidad en operaciones como el corte, doblado, perforado, etc., sin que se originen fisuras u otros defectos.

Valor elevado de la relación resistencia mecánica/límite de fluencia.

SOLDABILIDAD. La soldabilidad es una característica muy importante en este tipo de material de construcción, ya que la soldadura de los elementos y piezas en una estructura, es práctica común.

Los aceros al Carbono comunes también satisfacen este requisito, pues deben ser soldados sin alterar su microestructura.

Apto para ser cortado por llama, sin endurecimiento. Del mismo modo, el corte por llama, muy empleado en piezas estructurales, poco afecta a estos aceros, desde el punto de vista de sus alteraciones microestructurales en las proximidades de la zona de corte.

Resistencia a la corrosión. La resistencia a la corrosión sólo es alcanzada por la **adición** de pequeñas cantidades de **cobre**, elemento que adicionado en cantidades muy bajas (0,25%) mejora esta propiedad en dos veces en relación al mismo acero sin cobre.

I.4.3.3 OTROS TIPOS DE ACERO NO IMPORTANTES EN EL PRESENTE PROYECTO.

Aceros aleados: Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de **vanadio, molibdeno** y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc.

Aceros de baja aleación ultrarresistentes: Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación.

Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios.

Aceros inoxidables: Estos aceros contienen **romo, níquel**, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidables son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas.

Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se usa para la fabricación de útiles de cocina, como pucheros, gracias a que no oscurece alimentos y es fácil de limpiar.

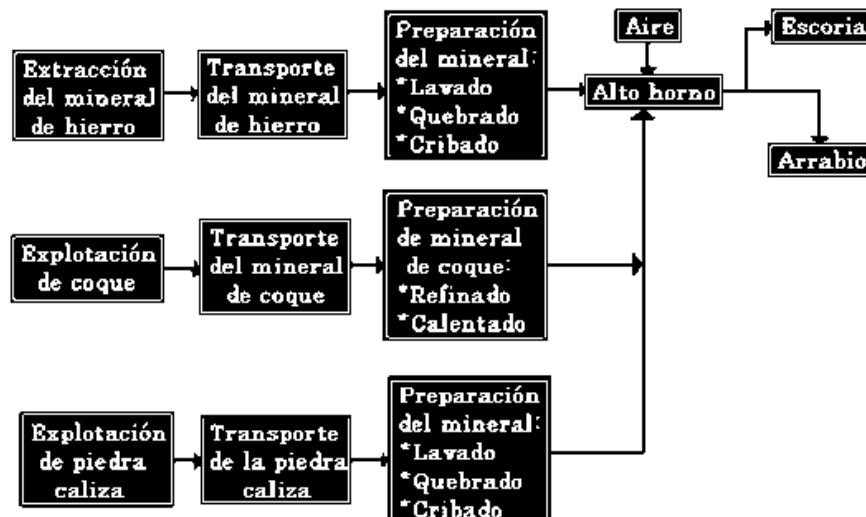
Aceros de herramientas: Estos aceros se emplean para fabricar herramientas y cabezales de corte y modelado de maquinas. Contiene **wolframio, molibdeno** y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad.

I.4.3.4 FUNDICIÓN DEL ACERO.

Los procesos para la obtención de hierro fueron conocidos desde el año 1200 ac. Siendo los principales minerales de los que se extrae el hierro :

Hematita (merma roja)	70% de hierro
Magnetita (merma negra)	72.4% de hierro
Siderita (merma café pobre)	48.3% de hierro
Limonita (merma café)	60-65% de hierro

A continuación podemos observar en el diagrama de flujo los trabajos que hay que realizar desde la extracción del hierro de los minerales, hasta que obtenemos el arrabio y la escoria.



EL ALTO HORNO.

Recibe este nombre por sus grandes dimensiones, ya que puede llegar a tener una altura de 80 metros, y un diámetro de hasta tienen un diámetro mayor a 8 m , están revestidos de refractario de alta calidad.

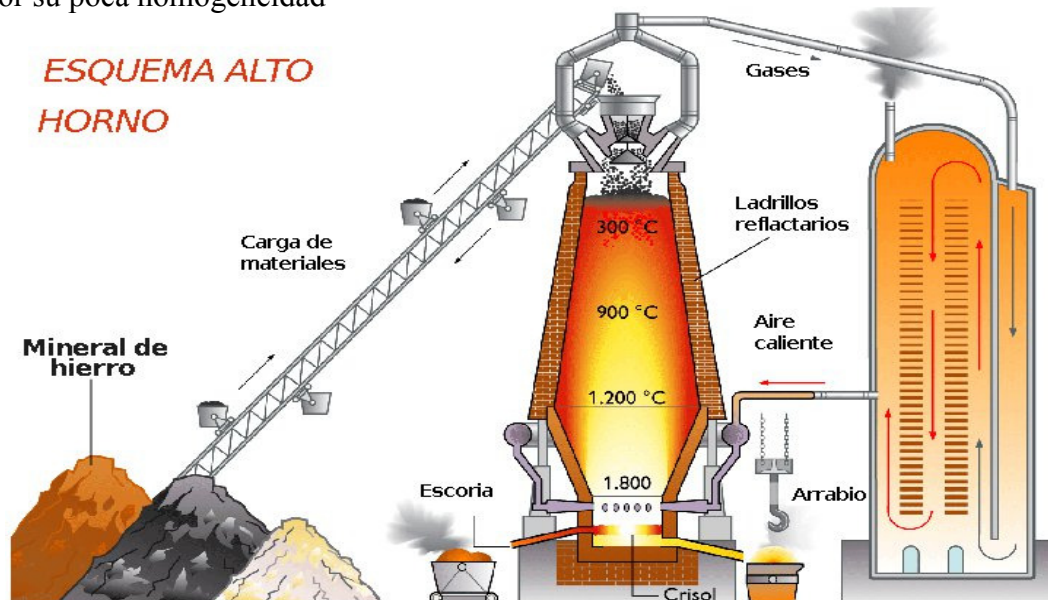
El proceso es el siguiente: Por la parte superior del horno se introduce el mineral de hierro, de coque y de piedra caliza por medio de vagones que son volteados en una tolva, el cual a medida que va descendiendo y por efecto de las altas temperaturas, se descomponen en los distintos materiales que lo forman.

En la parte inferior del horno, por un lado, se recoge el arrabio y, por otro, la escoria, o material de desecho.

Para producir 1000 toneladas de arrabio, se necesitan 2000 toneladas de mineral de hierro, 800 toneladas de coque, 500 toneladas de piedra caliza y 4000 toneladas de aire caliente y el tiempo para producir entre 800 y 1600 toneladas de arrabio son 24h aproximadamente.

Con la inyección de aire caliente a 550°C , se reduce el consumo de coque en un 70%. Los sangrados del horno se hacen cada 5 o 6 horas, y por cada tonelada de hierro se produce 1/2 de escoria.

El arrabio o de primera fusión obtenidos en el alto horno, no podrían ser utilizados de inmediato en el taller, debido a la gran cantidad de carbono que contiene y por su poca homogeneidad



Tras el proceso de extracción del arrabio en el alto horno, éste se procesa para obtener los productos; hierro dulce, fundiciones y aceros con los que se elaboran los subproductos comerciales finales.



HIERRO DULCE

Es aquel que tiene un contenido en carbono inferior al 0,1 %. En estas condiciones puede considerarse químicamente puro.

Es un material de color plateado, de gran permeabilidad magnética, dúctil y maleable.

Admite la forja, por lo que también se le denomina hierro forjado, puede obtenerse por procedimientos electrolíticos, a partir de baños de sulfato y cloruro de hierro. El material que resulta se emplea para conducción eléctrica por su baja resistividad.

Sin embargo, resulta muy poroso, se oxida con gran facilidad y presenta con frecuencia grietas internas que lo hacen poco útil para otras aplicaciones industriales.

FUNDICIONES

El arrabio o fundición de primera fusión, como ya hemos indicado, es el material que se obtiene directamente del horno alto.

Cuando solidifica resulta un material muy duro, pero su contenido en carbono y otras impurezas hace que sea frágil y quebradizo y que no admita la forja ni la soldadura.

En estas condiciones no puede utilizarse para fabricar piezas que vayan a estar sometidas a esfuerzos.

Según las impurezas que contiene, se distinguen la **fundición gris** y la **fundición blanca**, nombre que reciben por el aspecto que presenta su superficie de fractura.

- **La fundición gris** se obtiene cuando el contenido de silicio es elevado. El carbono cristaliza en forma de grafito y sólo puede emplearse para piezas .
- **La fundición blanca** se obtiene cuando el contenido de manganeso es elevado. En estas condiciones, el carbono se combina con el hierro formando carburo de hierro y se utiliza como una de las materias primas para la obtención del acero.

Para conseguir un material duro, resistente y tenaz, es necesario reducir el contenido de carbono y modificar la composición de los demás elementos presentes en el arrabio. Esta operación se denomina **afino** y de ella se obtienen los aceros.

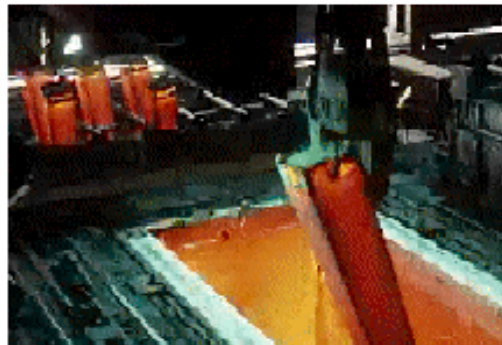
ACEROS

Cuando se consigue reducir el contenido en carbono del hierro por debajo del 1,76 % se obtiene el acero, siendo el acero una aleación de hierro y carbono en la que el contenido de carbono oscila entre el 0,1 % y el 1,76 %, Y puede contener en su composición otros elementos metálicos o no metálicos.

Los elementos que aparecen en la composición de los diferentes tipos de aceros son los que se encargan de dotarlos de las propiedades que los caracterizan. Además del carbono, podemos encontrar silicio, manganeso, cromo, níquel, molibdeno, vanadio y wolframio.

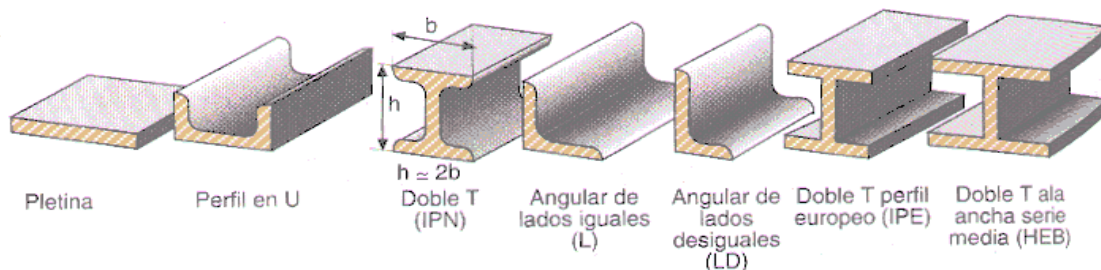
I.3.3.4 PROCESOS Y ACABADOS.

Existen distintos tipos de acabados para el acero, por lo tanto tiene una salida al mercado de gran variedad de formas y de tamaños, como varillas, tubos, railes de ferrocarril o perfiles en H o en T. Estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas laminando los lingotes calientes o modelándolos de algún otro modo. El acabado del acero mejora también su calidad al refinar su estructura cristalina y aumentar su resistencia.



El método principal de trabajar el acero se conoce como laminado en caliente. En este proceso, el lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termodifusión y a continuación se hace pasar entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados. La distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.

El primer par de rodillos por el que pasa el lingote se conoce como tren de desbaste o de eliminación de asperezas. Después del tren de devaste, el acero pasa a trenes de laminado en bruto y a los trenes de acabado que lo reducen a láminas con la sección transversal correcta. Los rodillos para producir railes o rieles de ferrocarril o perfiles en H, en T o en L tienen estrías para proporcionar la forma adecuada.





I.4.3.4.1 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS

RECOCIDO.

En ocasiones las piezas directamente de colada suelen quedar con tensiones residuales que se incrementan en las operaciones de mecanizado, influyendo de forma decisiva su diseño y su misión.

Para eliminar dichas tensiones se aplica a las piezas un calentamiento subcrítico a una temperatura comprendida en el intervalo 500-600°C durante un tiempo de 2 a 5 horas, seguido un enfriamiento en el mismo horno.

La aleación resultante ha tomado un gran desarrollo en Europa, pues se emplea para fabricar piezas de grandes dimensiones como son: Culatas para motores Diesel, bastidores, bancadas y plataformas para prensas, carcasas para turbinas, cuerpos para válvulas, etc., que después de la fusión, son sometidas a un prolongado recocido contra tensiones y puestas seguidamente en funcionamiento con resultados satisfactorios.

RECOCIDO DE RESOLUCIÓN.

Tiene como principal objetivo paliar el defecto que supone la aparición de cementita en la aleación, que dificulta el maquinado y actúa como un elemento fragilizador en la aleación pudiendo provocar roturas en servicio.

Este tratamiento consiste en un calentamiento a una temperatura comprendida en el intervalo 900-930°C con una permanencia de 30 minutos por cada cm² de espesor y seguido de un enfriamiento al aire ambiente; de esta forma se consigue una estructura ferrita-perlita, con ausencia de cementita



RECOCIDO DE FERRITIZACIÓN.

Con este tratamiento se obtienen estructuras completamente ferríticas, para aumentar la maquinabilidad, ductilidad y tenacidad de la fundición. Consiste en un calentamiento en el intervalo 860-900°C durante 1 a 3 horas seguido de un enfriamiento muy lento dentro del horno a razón de 15-20°C/hora hasta alcanzar los 620-650°C; seguidamente las piezas pueden ser enfriadas al aire.

Así, con cualquiera de los tratamientos anteriormente mencionados, se libera el carbono combinado (cementita y perlita) distribuyéndolo en forma de grafito esferoidal en la matriz ferrítica. La dureza y la resistencia a la tracción de la aleación después del tratamiento son de aproximadamente 160 HB y 50 kg/mm² relativamente.

NORMALIZADO.

Es un tratamiento destinado a homogeneizar la estructura de la fundición de Grafito Esferoidal, consiguiendo una excelente combinación entre el límite elástico y la resistencia a la tracción. Mediante este sencillo y económico tratamiento, se obtienen características mecánicas suficientemente elevadas para la mayor parte de piezas fundidas de grafito esferoidal, pudiendo reemplazar en determinado número de piezas, al recocido contra tensiones. Cuando se realiza en las piezas coladas, se adquiere una gran homogeneidad estructural y elevada resistencia pudiéndose alcanzar cifras de 260 a 300 HB, según el tipo de aleación.

Consiste en un calentamiento a temperaturas comprendidas en el intervalo 850-880°C durante 30 minutos por cada cm² de sección, seguido de un enfriamiento al aire. La estructura resultante no difiere mucho de la obtenida en bruto de colada, con la excepción que se obtiene una mayor homogeneidad y mayor finura del componente perlítico y un ligero aumento de carbono combinado a costa de ferrita.

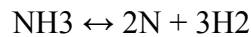
Como ejemplos de piezas utilizados con este tratamiento cabe citar: Camisas para cilindros, pistones, engranajes de distribución, cuerpos de embrague, volantes, portamatrices, portacuhillas, rotores para turbinas, tambores y poleas de



NITRURACIÓN

La fundición Esferoidal acepta la nitruración en sus dos variantes: Nitruración gaseosa y blanda.

La primera, producida por disociación del amoníaco según la reacción



no es muy difundida en esta aleación por precisar de elementos capaces de formara fuertes nitruros de elevada dureza, entre ellos, el aluminio, molibdeno, cromo, titanio, etc.

Sin embargo, la nitruración blanda no precisa de elementos aleantes y permite obtener excelentes características mecánicas como:

- Aumento de la resistencia a la fatiga, especialmente en piezas sometidas a flexiones alternadas (cigüeñales).
- Elevada resistencia al desgaste y rozamiento a temperaturas elevadas.
- Ligero aumento de la resistencia a la corrosión, más acusado en presencia de Cr y Ni.
- Ninguna variación en las dimensiones de las piezas tratadas.

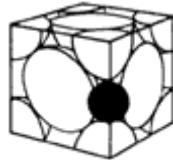
Este tipo de nitruración, muy utilizada por sus características, fácil manejo y coste económico, se aplica perfectamente a la fundición Esferoidal tanto si es o no aleada, e indistintamente del tratamiento térmico aplicado.

Consiste en sumergir las piezas en un baño líquido de sales con composición base de cianuros y cianatos. El enriquecimiento superficial de nitrógeno se efectúa a una temperatura comprendida en el intervalo 550-580°C, con permanencia de 1 a 3 horas en el horno y posteriormente se procede al enfriamiento al aire o en un medio más enérgico.

El objetivo principal del proceso de tratamiento térmico en controlar la cantidad, tamaño, forma y distribución de las partículas de cementita contenidas en una ferrita, determinando así las propiedades físicas del acero.

AUSTENITA.

Para el tratamiento calorífico del acero se hace un proceso básico, que es el de endurecer el acero que consiste en la calefacción del metal a una temperatura a la que el **austenita** se forma, normalmente aproximadamente de 760 a 870 °C, y entonces se refresca bruscamente en agua o aceite.



AUSTENITA

Los átomos de hierro en la **fase austenita** se posicionan en una red cristalina cúbica centrada en las caras, en éste caso los átomos de carbono se acomodan en el centro de las aristas del cubo. Pudiendo la austenita aceptar hasta un 2 % de carbono.

Inconveniente.

Este tratamiento de endurecimiento forma martensita y crea grandes **tensiones internas** en el metal.

Solución.

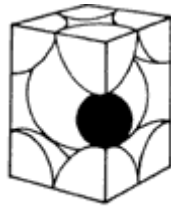
Para eliminar estas tensiones se emplea el **temple**.

EL TEMPLE.

Consiste, al igual que en los aceros, en superar la velocidad crítica de enfriamiento para la total **transformación de la austenita en martensita**. Esta velocidad es más moderada que en los aceros de bajo contenido en carbono (0,2-0,45%), y según el tipo de aleación, podemos aumentar el desplazamiento de la curva de las S hacia la derecha aumentando así, la templabilidad.

En general, el temple consiste en un calentamiento a una temperatura comprendida en el intervalo 850-880°C, durante 20 minutos por cada cm² de espesor y seguido de un enfriamiento lo suficientemente rápido para conseguir la transformación martensítica.

Para conseguir las máximas características con este tratamiento, es necesario partir de una estructura perlita-ferrita obtenida en bruto de colada, o bien por normalizado de una estructura ferrítica.



MARTENSITA

Red cristalina en la que el carbono queda atrapado en una posición donde no cabe en la red cúbica centrada en el cuerpo, produciéndose así una distorsión elástica.

REVENIDO

El acero es sometido a un tratamiento de revenido después del temple, y mantenida a una temperatura de 200 a 650°C según las propiedades solicitadas.

La función principal del revenido es eliminar la tensión provocada durante el temple, aumentando la aleación en tenacidad y alargamiento.

I.5. Soldadura con distintos electrodos.

I.5.1 Tipos de electrodos empleados para el presente proyecto.

En el presente proyecto, se ha optado por la soldadura por arco eléctrico con electrodo, para soldar dos chapas de un acero s355j2w (st52) con unas medidas de 30x10 cm y un grosor de 3 mm, y enfriamiento de la soldadura al aire (templado).

Los electrodos usados son los que disponía el taller de la universidad y el acero se pidió expresamente para la realización de dicho proyecto.

En el presente proyecto, se han utilizado electrodos del tipo Rutilo y Básico (con escoria de carbonato cálcico), en el tipo básico se ha utilizado uno de acero normal al carbono, y otro de acero inoxidable.



Básico con alma inoxidable

Rutilo

Básico alma acero carbono



COMPONENTES QUÍMICOS

1. ELECTRODO TIPO RUTILO E6013 (Diámetro 3.2 mm)

Ni	0.30%
C	0.20%
Mn	1.20%
Si	1.00%
Cr	0.20%

2. ELECTRODO TIPO BÁSICO (ACERO CARBONO) NWE850 E7016-H8 (Diámetro 3,2 mm)

C	0.07%
Mn	0.7%
Si	0.4%
S	0.0015
P	0.025%

3. ELECTRODO TIPO BÁSICO (ACERO INOXIDABLE) INOXCODE308 (Diámetro 2.5 mm)

Ni	10.5
C	<0.03
Mn	0.55
Si	0.75

1.5.2 Soldadura con electrodo de rutilo. E6013

En la soldadura con el electrodo de Rutilo con una nomenclatura de AWS6013.

Se tomó la precaución de utilizar la polaridad directa, es decir, conectando el electrodo al negativo y la masa al positivo.

Después de puntearse para tener una guía de soldadura, se procedió a soldar, empezando con una intensidad de 100 amperios para ver como reaccionaba se observó que sobrecargaba de calor el arco eléctrico y se bajo a 80 A, pero seguía igual y disminuimos hasta 65 A, que fue la idónea para tal soldadura.

Utilizamos además un voltaje de 20 V y se realizaron 10 cm por minuto aproximadamente.



Problemas observados:

- Soplo magnético en el borde de la pieza.
- Surgió un poro por lo que se tuvo que aumentar la intensidad para así penetrara mejor el acero por el hueco.
- Calentamiento de la chapa que hacer que el arco vuelva a coger calor y que la soldadura no salga tan bien como en un principio donde el calor es el óptimo, deberíamos haber disminuido más la intensidad para compensar el calor.



Ventajas:

- Garantiza una óptima estabilidad del arco y una elevada fluidez del baño, con un apreciable efecto estético en la soldadura.
- Garantizar una fusión dulce, de fácil realización, facilitando la formación de una escoria abundante y viscosa que permite un buen deslizamiento en la soldadura, sobretodo en posición plana.
- El cordón se presenta visualmente un muy buen aspecto.

Inconvenientes:

- No tienen una gran eficacia como limpiadores y por lo tanto se aconsejan en los casos donde el material base no contiene muchas impurezas.
- No secan bien y por lo tanto desarrollan mucho hidrógeno en la soldadura.

1.5.3 Soldadura con electrodo de Básico (Acero al carbono). NWE850 E7016-H8

En la soldadura con el electrodo de Básico con una nomenclatura de NWEB50 E Z016-H8.

Se tomó la precaución de utilizar la polaridad inversa, es decir, conectando el electrodo al positivo y la masa al negativo.

Se procedió a empezar con una intensidad de 65 A pero se observó que era un poco floja y se subió a 70.

Utilizamos además un voltaje de 20 V y se realizaron 10 cm por minuto aproximadamente.

Se puede apreciar que la escoria es más brillante



Problemas observados:

- Surgimiento de numerosos poros a causa de que contiene gran humedad el electrodo y no se ha procedido al secado mediante estufa 1 hora a 100°.

SOLDADURA ERRONEA

- **Dificultad de cebar el arco.**

Ventajas:

- Tienen una elevada capacidad de depuración del material base, por lo que se obtienen soldaduras de calidad y con una notable robustez mecánica.
- Estos electrodos soportan elevadas temperaturas de secado, y por lo tanto no contaminan el baño con hidrógeno.

Inconvenientes:

- La fluorita hace que el arco sea muy inestable: el baño es menos fluido, se producen frecuentes corto circuitos debidos a una transferencia del material de aporte con grandes gotas;
- El arco debe mantenerse muy corto por la escasa volatilidad del mismo revestimiento;
- Tienen una escoria dura y difícil de quitar, y debe eliminarse completamente en caso de repasos mediante piqueta y cepillo.
- Todas estas características hacen necesario que el soldador tenga una buena experiencia.

Estufa industrial donde secar la humedad de los electrodos:



1.5.4 Soldadura con electrodo de Básico (Acero Inoxidable). INOXCODE308

En la soldadura con el electrodo de Básico con alma d acero inoxidable su nomenclatura es E308L17.

Se tomó la precaución de utilizar la polaridad inversa como en el anterior. Pero eso si se escogió una intensidad de 50 amperios.

Utilizamos además un voltaje de 20 V y se realizaron 10 cm por minuto aproximadamente.



Ventajas frente al otro electrodo básico:

- La escoria salta menos.
- Más estético, con un color cobre.
- Más rápido.

Desventaja:

- Penetra menos.



I.5.5 Presupuestos de la realización de la soldadura

I.5.5.1 Introducción.

En el presente proyecto, el presupuesto se ha elaborado mediante cuadros de precios elementales y cuadros de precios descompuestos, donde se reflejan los materiales utilizados y la preparación de las probetas a ensayar, respectivamente.

En los cuadros se han distinguido las siguientes partes:

Materiales: En €/unidad.

Procesos de mecanizado: sus costes se basan en las horas que duran éstos. Se han valorado las distintas operaciones realizadas con máquinas-herramienta para la preparación de las probetas de ensayo. Indicar, que en el precio operador-máquina, está incluido tanto la tasa horaria de la máquina como la tasa horaria del operador y que se toma fracciones de media hora como mínimo, en la facturación.

Procesos de soldeo: sus costes se valoran en los metros lineales de soldadura efectuados; para ello, se han extraído del IVE, la energía consumida en Kwh., así como el tiempo y el número de electrodos empleados en realizar una soldadura en un metro de longitud.



I.5.5.2. Precios elementales.

El precio básico utilizado para las chapas de acero st52 es el que consta en el albaran que la empresa FUNCIONES GOMEZ,S.A pasó a la universidad.

El precio que he puesto a los electrodos gastados son los de eveliosuero.com en el que :

- Una caja de electrodo de Rutilo de 3.2 mm cuesta 7,65 con 23 unidades : 0.33 €/unid.
- Una caja de electrodo de Básico de 3.2 mm cuesta 7,65 con 23 unidades : 0.33 €/un
- Una caja de electrodo inoxidable cuesta 32.71 con 30 unidades : 1.1 €/unid.

Materiales				
Descripción	Unid	Cant	Precio (€)	Precio Total (€)
Chapa st-52 de 300x100x3 mm	€	6	2,32	13,92
Electrodo de Rutilo de 3,2 mm	€	2	0,3	0,6
Electrodo de Básico de 3.2 mm	€	2	0,3	0,6
Electrodo de Acero inóx de 2,5 mm de alma	€	4	1,1	4,4



I.5.5.3. Cuadros descompuestos.

En los siguientes cuadros de precios descompuestos vienen reflejados lo que me costaría tanto por metro lineal como lo que en realidad gasto la soldadura en sí , utilizando cada tipo de electrodo.

Electrodo de Rutilo:

PROCESO DE SOLDEO					
Ref.	Descripción				
E.1.	Metro lineal de soldadura realizada por arco eléctrico mediante corriente alterna (intensidad de soldeo media 65 amperios) con electrodos de rutilo AWS6013 para probetas de dimensiones 300X100X3 mm				
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio/Ud (€)	Precio Total (€)
E.1.1	Electrodos de Rutilo de 3.2 mm e diámetro y 300mm de longitud	Ud.	6,5	0,3	1,95
E.1.2.	Energía consumida por ml. de soldadura por el equipo de soldeo	Kwh	0,31	0,11	0,0341
E.1.3.	Mano de Obra Directa de Oficial Soldador 1ª	h	0,5	49,28	24,64
TOTAL E1					26,62 €
Metros lineales de soldadura E1 efectuados		0,3	TOTAL SOLDADURA		7,99 €

Electrodo de Básico:

PROCESO DE SOLDEO					
Ref.	Descripción				
E.2.	Metro lineal de soldadura realizada por arco eléctrico mediante corriente alterna (intensidad de soldeo media 70 amperios) con Electrodo de Básico NWEB50 E Z016-H8 de 2,5 mm de alma para probetas de dimensiones 300X100X3 mm				
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio/Ud (€)	Precio Total (€)
E.2.1	Electrodo de Básico NWEB50 E Z016-H8 de 3.2 mm de alma	Ud.	6,5	0,3	1,95
E.2.2.	Energía consumida por ml. de soldadura por el equipo de soldeo	Kwh	0,35	0,11	0,0385
E.2.3.	Mano de Obra Directa de Oficial Soldador 1ª	h	0,5	49,28	24,64
TOTAL E2					26,63 €
Metros lineales de soldadura E2 efectuados		0,3	TOTAL SOLDADURA		7,99 €



Electrodo de Básico con alma de acero inoxidable:

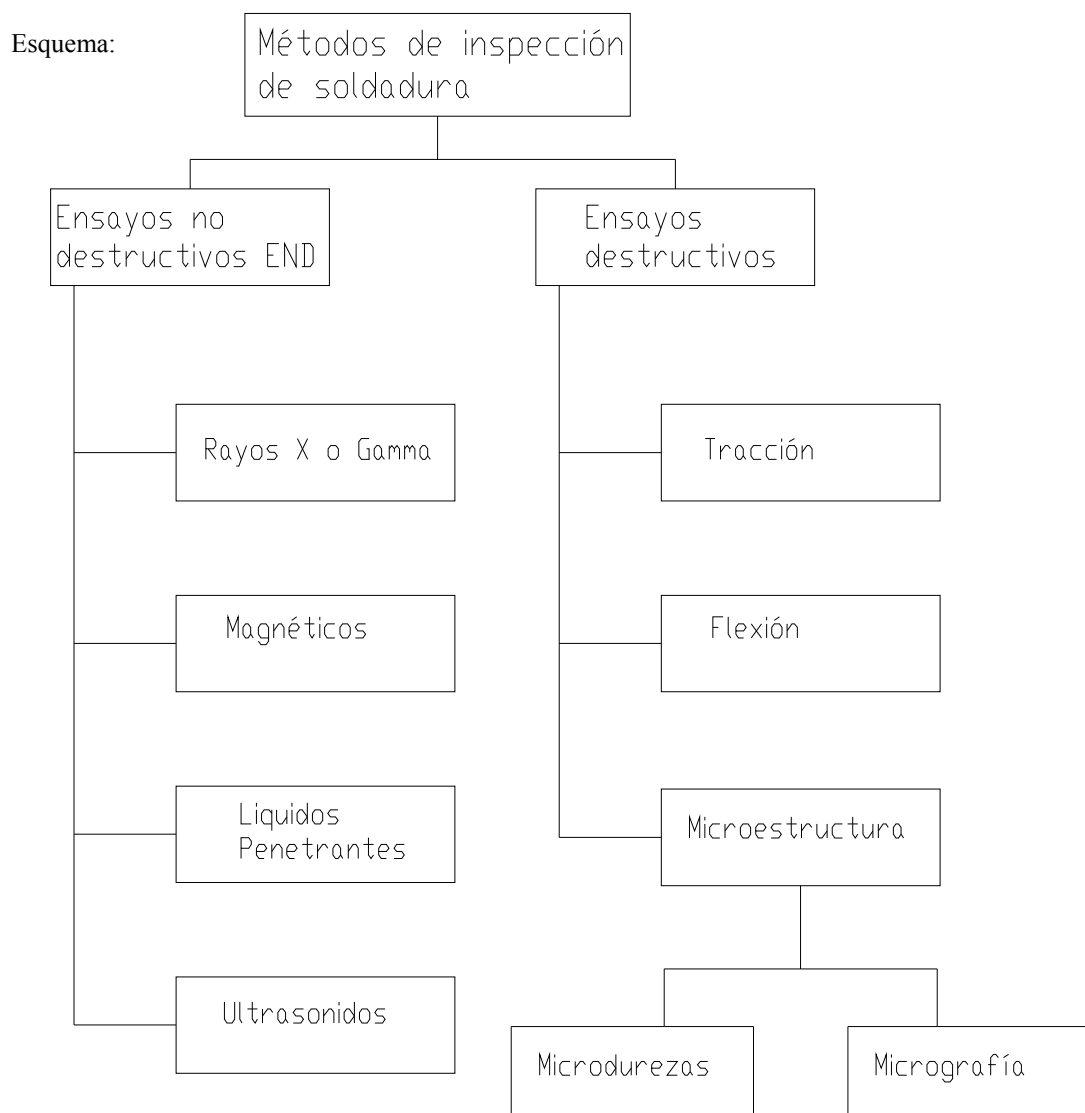
PROCESO DE SOLDEO					
Ref.	Descripción				
E.3.	Metro lineal de soldadura realizada por arco eléctrico mediante corriente alterna (intensidad de soldeo media 65 amperios) con Electrodo de Acero inox E 308 L17 de 2 mm de alma para probetas de dimensiones 300X100X3 mm				
Ref.	Descripción	Ud.	Cant.	Precio/Ud (€)	Precio Total (€)
E.3.1	Electrodo de Acero inox E 308 L17 de 2.5 mm de alma	Ud.	14	1,1	15,4
E.3.2.	Energía consumida por ml. de soldadura por el equipo de soldeo	Kwh.	0,31	0,11	0,0341
E.3.3.	Mano de Obra Directa de Oficial Soldador 1ª	h	0,5	49,28	24,64
TOTAL E3					40,07 €
Metros lineales de soldadura E3 efectuados		0,3	TOTAL SOLDADURA		12,02 €



I.6. Métodos de inspección de soldadura utilizados en el presente proyecto.

I.6.1.Introducción.

En la actualidad hay diversos métodos de inspección de soldadura, entrando repartidas entre ensayos no destructivos y destructivos, a continuación se puede observar la un esquema con la relación de ensayos utilizado en el proyecto.





I.6.1.1 ALGUNAS APLICACIONES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END).

- Detección y evolución de Grietas
- Detección de Fugas.
- Determinación de Posición.
- Medidas Dimensionales.
- Caracterización de Estructura y microestructura..
- Estimación de Propiedades mecánicas y Físicas.
- Medidas de Deformación.
- Determinación de Composición Química.

I.6.1.2 ALGUNAS APLICACIONES DE LOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Obtener las características resistentes tanto a tracción, compresión, como microdureza (Vickers) de las soldaduras.

Importantes:

- Resistencia a la rotura.
- Límite elástico.
- Límite plástico.
- Alargamiento.



I.7. Preparación de las chapas para ensayos NO destructivos.

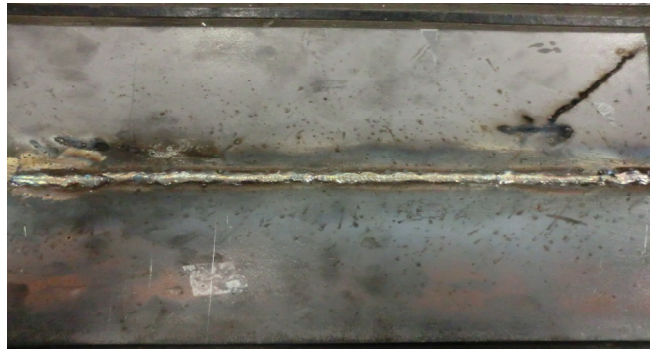
En los ensayos no destructivos se debe preparar la chapa de tal modo que el cordón de soldadura quede con la suficiente planeidad para que así la irregularidad del cordón no perjudique la buena ejecución de cada uno de los ensayos.

A continuación voy a explicar en cada ensayo la función que tiene una buena planeidad a la hora de realizarlos.

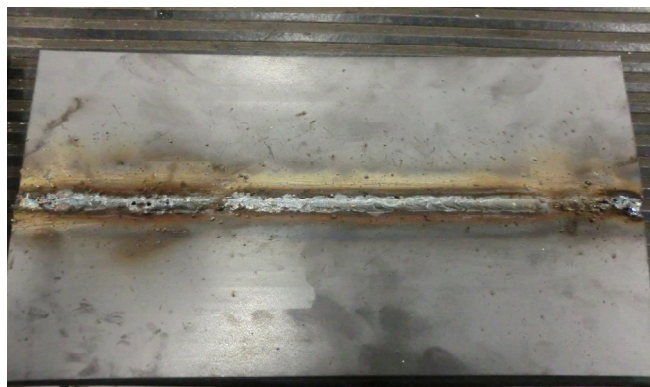
- En Las radiografías con la maquina de **rayos X** no hace falta realizar la preparación ya que la irregularidad de la superficie no afecta a la inspección. Aunque eso si se deberá colocar una película, donde se marcará la radiografía pero eso ya lo comentaremos mas en adelante.
- En los **Líquidos penetrante** se necesita una buena planeidad, para que el líquido tenga facilidad para entrar en los poros o desperfectos, así como, que cuando se aplique el revelador se marque claramente en que sitio ha penetrado.
- En el ensayo con elementos **electromagnéticos** se necesita que esté la superficie plana también porque a la hora de utilizar el Lluvo magnético es muy importante que las partículas no sean obstruidas por la rugosidad de la superficie.
- En **ultrasonido** pasa lo mismo que en los demás casos sólo que como juega con el rebote del sonido y el cambio de velocidad en zonas huecas se necesita planeidad absoluta, porque los supuestos escalones en una zona no plana haría variar el rebote y no sería factible el ensayo. Además de que el planador debe fluir fácilmente por la zona estudiada.

I.7.1. Estado de las soldaduras antes de preparar.

El estado actual de las chapas es el de finalización de la soldadura estando el cordón de soldadura intacto.



Mediante Electrodo Básico con alma inoxidable.



Mediante Electrodo Básico



Mediante Electrodo de Rutilo.

I.7.2. Procedimiento utilizado para conseguir la planeidad deseada.

El procedimiento seguido ha sido el de la utilización de una amoladora eléctrica conectada a corriente eléctrica para lijar la superficie del cordón realizado en la soldadura, fijando la chapa mediante un gato cogido en la mesa del taller.



Gato encargado de la sujeción de la chapa.



Amoladora

Consiste en el pasado repetido del disco de la amoladora por la superficie sobresaliente hasta que la superficie quedara plana a nivel con la chapa de 3mm de espesor.



I.7.3. Elementos de protección individual para proceder al lijado de la soldadura.



1. Gafas protectoras.
2. Cascos aislantes del sonido.
3. Mono.
4. Guantes.

I.7.4. Estado final de la superficie.



I.8. Radiografía de la soldadura por rayos X.

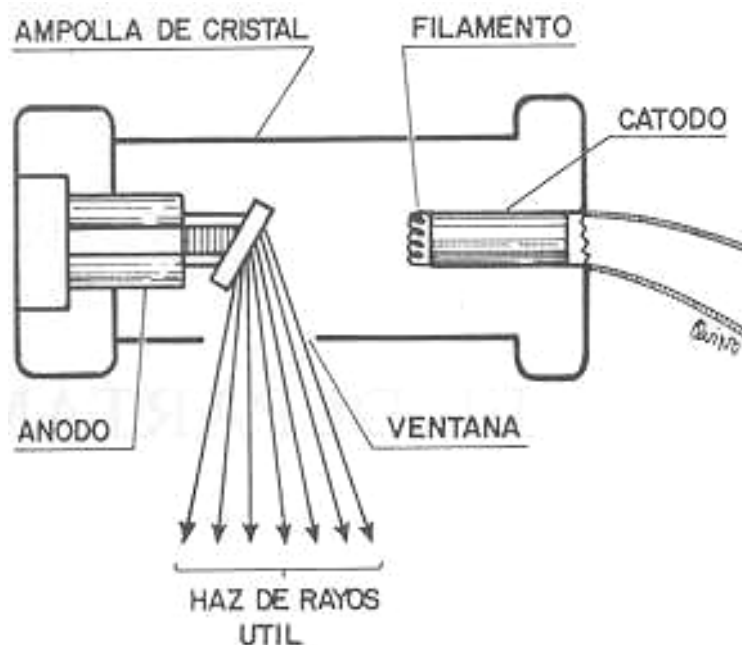
Ensayos con rayos x o rayos gamma

La inspección de la soldadura por radiografía es un tipo de ensayo no destructivo que proporciona información sobre la calidad de la soldadura pudiendo ver así los defectos producidos en ésta como pueden ser poros, grietas etc....

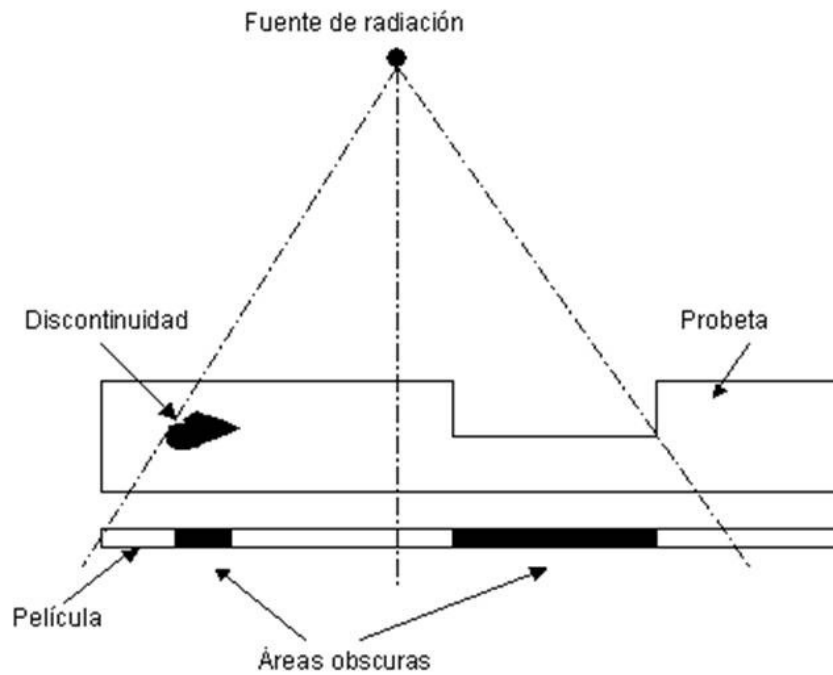
Los rayos x son radiaciones electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz atravesando los elementos opacos sin reflejarse, siendo absorbidos en mayor o menor grado dependiendo del espesor de la densidad del elemento a radiografiar y la longitud de onda de la radiación.

Por lo tanto cuando en un acero con una densidad determinada se encuentra un hueco , grieta o defecto , la densidad en ese punto será diferente o nula por lo que se reflejará diferente en la película colocada en el reverso de la chapa.

Se utiliza *Equipo de Rayos X* y *Maquina de revelado de placas radiográficas*.



Interior de la maquina de rayos x



Esquema del ensayo de la radiografía.

I.8.1. Inspección por Rayos X.

El punto de disparo de la maquina de rayos x esta limitada a un ángulo de 45° y deben colocarse las chapas con la soldadura a una distancia de 70 cm aproximadamente para que la radiografía salga correctamente.



I.8.2. Proceso seguido.

Realizadas las soldaduras se prepararon las chapas de la siguiente forma:

- Primero de todo se **midió** con un pie de rey **el espesor** de la soldadura, para así mirar en la gráfica que voltaje se deberá utilizar y el tiempo en que deberemos exponer las soldaduras a la maquina de Rayos X.
- Se **colocó una película** en la parte de atrás, (es decir, en la cara donde no influye directamente el haz de rayos), de la soldadura que será donde se reflejará el resultado de la radiografía.



Película sujeta con cinta adhesiva.



- Colocamos en un punto central una **plaqueta plástica que refleja la calidad** en la radiografía.



- Se colocó una **letra de plomo** para reconocer la radiografía tras el revelado.



- Pusimos las placas a la distancia antes mencionada (70 cm) y dentro del ángulo (45°) que la maquina de rayos x es capaz de abarcar, apoyadas sobre tacos de madera para facilitar que las chapas estuviesen en el radio de alcance del haz de rayos..

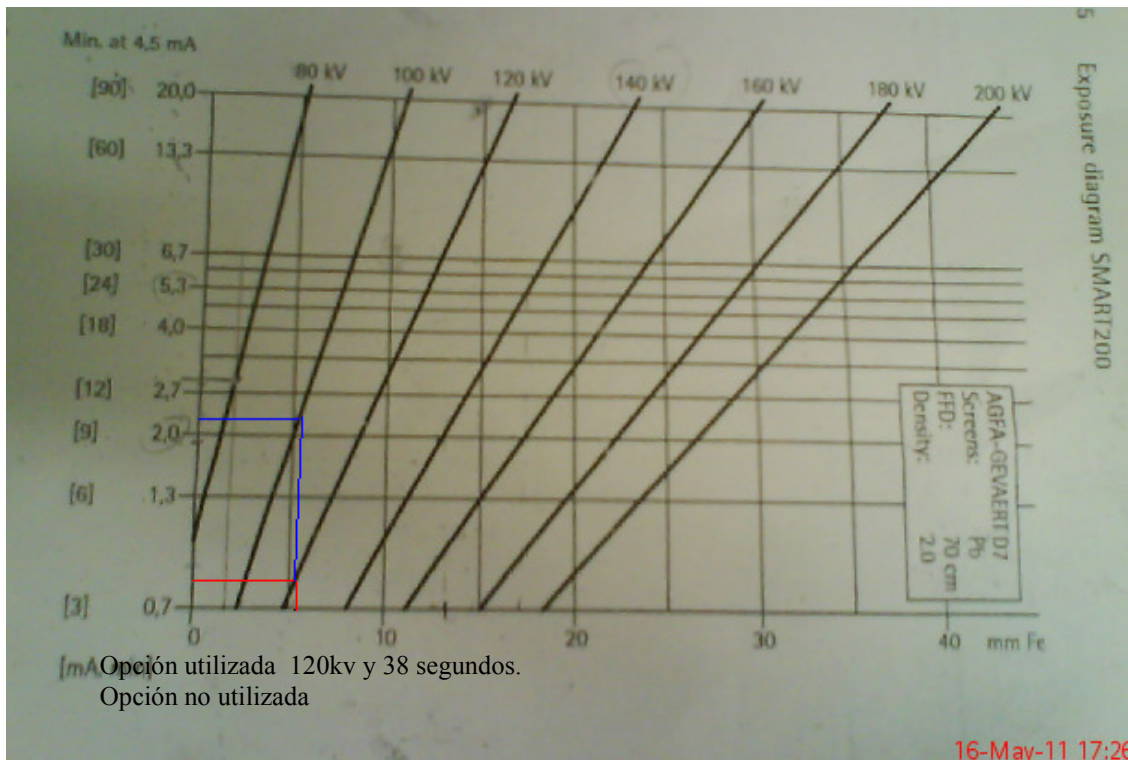


Separación de la maquina de rayosX 70 cm

- **Tensión y tiempo de exposición.**

Las chapas realizadas con tres electrodos diferentes tienen en la zona de soldadura un espesor de 6 mm, por lo tanto podemos observar en la grafica que se pueden utilizar dos tiempos diferentes dependiendo de la tensión que queramos utilizar.

Nos decantamos por utilizar una tensión de 120 KVoltios y nos da que se debe utilizar un tiempo de 38 segundos.



Alimentación y control de la maquina de rayos X

- **Revelado.**

Revelador (para 1 litro): 800ml de agua.
200ml de revelador.

Fijador (para 1 litro) :800ml de agua.
200ml de fijador.

Costa de 5 pasos:

Una vez aclimatada la sala se procede a la extracción de la radiografía de su funda insertándose en un chasis con pinzas para poder ser manejadas durante su revelado con facilidad.

1. Revelador durante 4 minutos.(tanque 1)
2. Baño de parada en agua 30 segundos.(tanque 2)
3. Fijador durante 6 minutos.(tanque3)
4. Lavado final mediante agua en circulación durante 15-20 minutos.(tanque 4)
5. Secado al aire.

Se prepararon 4 tanques para el revelado



Tanque B
Fijador

Tanque2
Agua

Tanque1
Revelador

Tanque 4
Agua en circulación

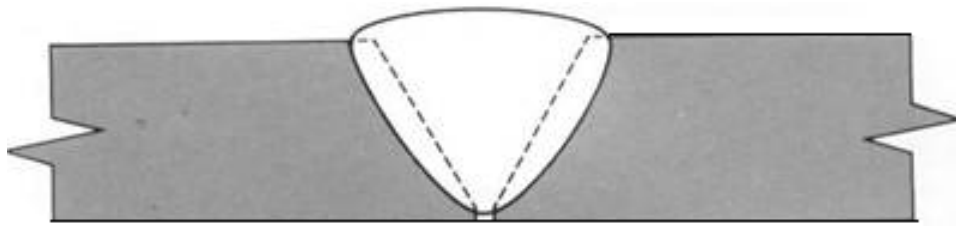
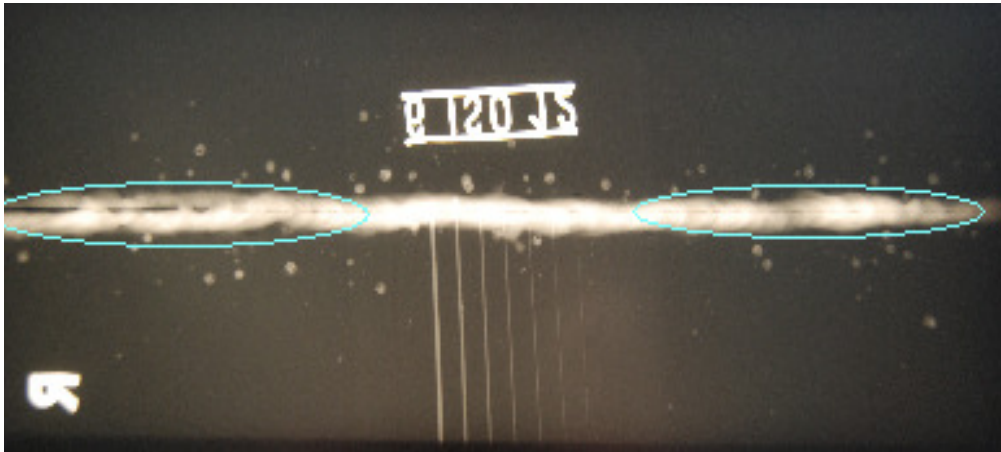
- **Una vez secadas al aire se procede a la inspección mediante el Negatoscopio.**



Negatoscopio

I.8.3. Resultados de las radiografías.

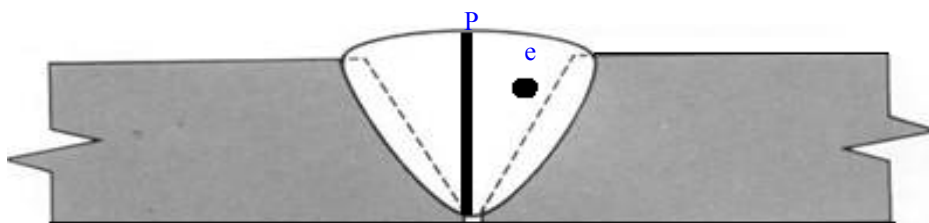
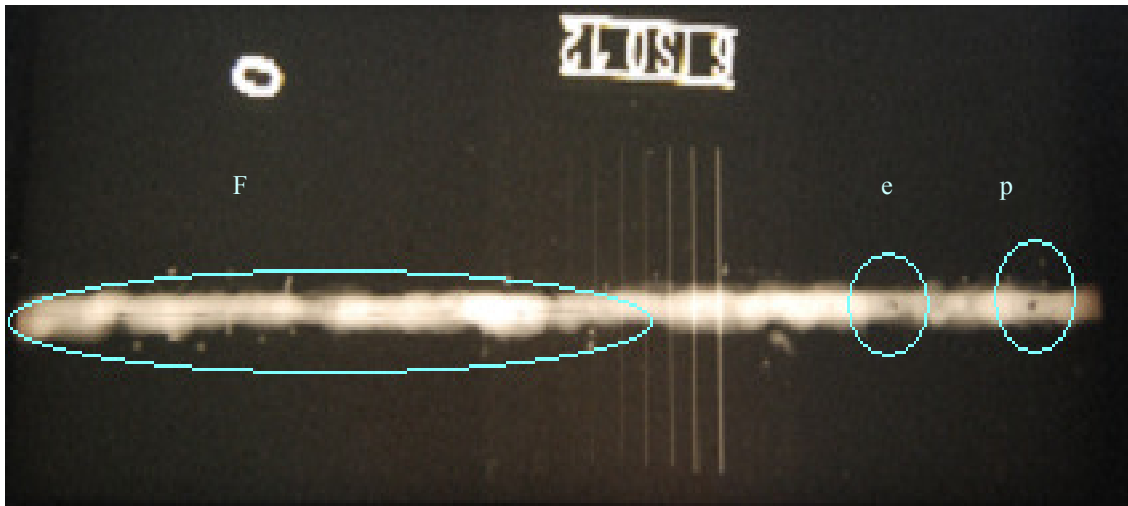
Rutilo



Falta de penetración

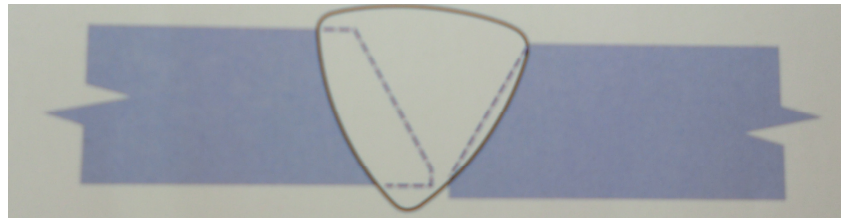
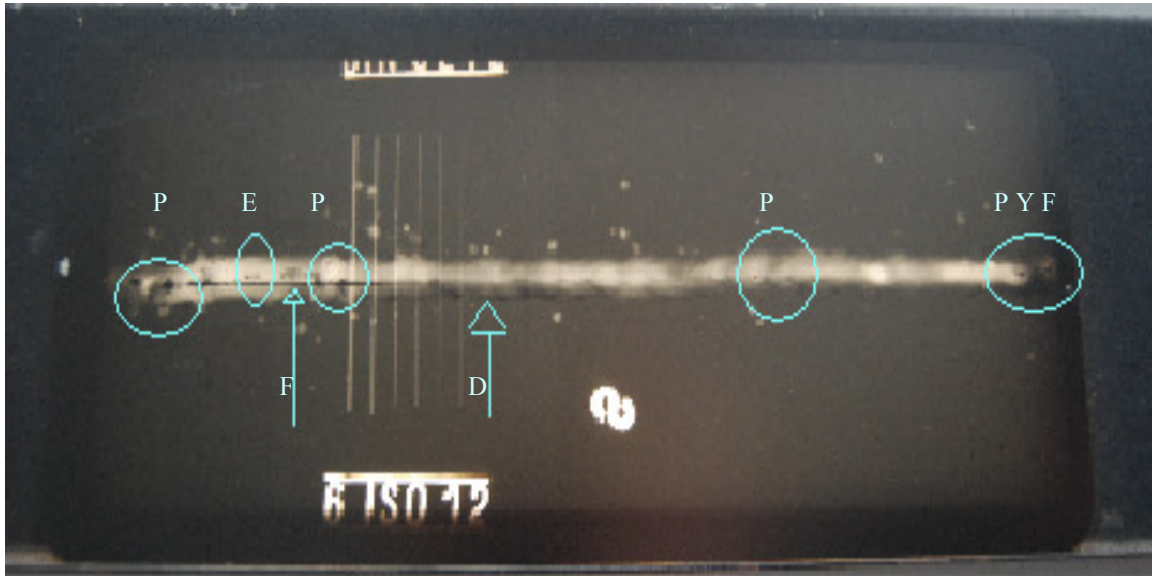
- Radiografía de unión soldada a tope, de acero, mostrando indicaciones correspondientes a falta de penetración total en casi toda la longitud de la probeta, siendo mayor en los extremos.

Inoxidable



- Radiografía de unión soldada a tope por ambas caras, con acero inoxidable, mostrando indicaciones en la zona izquierda de la imagen correspondientes a falta de penetración (F), además de escorias (e) y poros en la zona derecha.

Básico



Descolgadura

- Radiografía de unión soldada a tope por ambas caras, con acero inoxidable, mostrando indicaciones en la zona izquierda de la imagen correspondientes a falta de penetración (F), además de escorias (e) y poros esféricos en varios lugares de la imagen, en ésta soldadura a diferencia de las otras se puede apreciar como disminuye la luz en la zona de la derecha causada como se puede observar en la imagen por una descolgadura (D) entre chapas.
- Hay que recordar que ésta soldadura se hizo con unos electrodos defectuosos y que se conservó para poder observar defectos en los distintos ensayos.

I.9. Ensayo por partículas magnéticas.

I.9.1 Introducción.

Es un ensayo por el cual se observan grietas y poros superficiales por la distorsión que éstos causan a los campos magnéticos aplicados, y consecuente acumulación de partículas magnetizadas, que se agregan.

Cabe recordar el previo lijado de la superficie del cordón para que así el desplazamiento de las partículas no se obstruya y se pueda observar la acumulación de éstas en los sitios con defecto.

A fin de poder detectar discontinuidades mediante la inspección con partículas magnéticas deben satisfacerse varios requisitos:

1. La discontinuidad debe ser perpendicular a las líneas de flujo. Por lo que métodos diferentes de imposición del campo magnético detectarán discontinuidades con orientaciones distintas.
2. La discontinuidad debe estar cerca de la superficie, o de lo contrario las líneas de flujo simplemente se unirán en vez de escapar del material. La prueba con partículas magnéticas es también adecuada para la localización de grietas de templado, grietas por fatiga o grietas inducidas por esmerilado o rectificado, ya que todas ellas ocurren en la superficie.
3. La discontinuidad debe tener una permeabilidad magnética inferior a la del metal.
4. Solamente se pueden probar materiales ferromagnéticos.

I.9.2 Proceso seguido.

1. Proyección de laca (blanca) durante entre 5 y 10 minutos sobre las chapas, para así poder observar las partículas ferromagnéticas como se distribuyen sobre los desperfectos de la soldadura. Es importante el agitado del bote antes de aplicar ya que sino la impulsión de la laca sale líquida quedando a chorros la chapa.

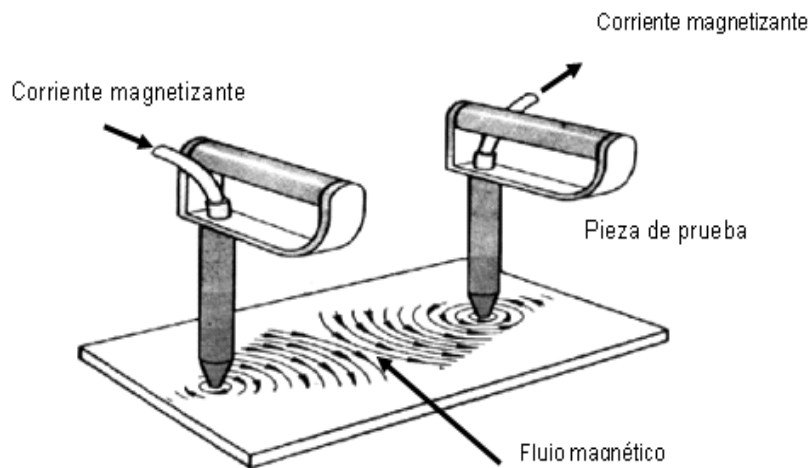


Bote de laca

2. Aplicamos las partículas ferromagnéticas sobre la soldadura.
3. Conectamos el yugo magnético a la luz 50 hercios y lo colocamos transversal a la soldadura, magnetizando así la chapa y haciendo fluir las partículas en una dirección como se muestra en la imagen.



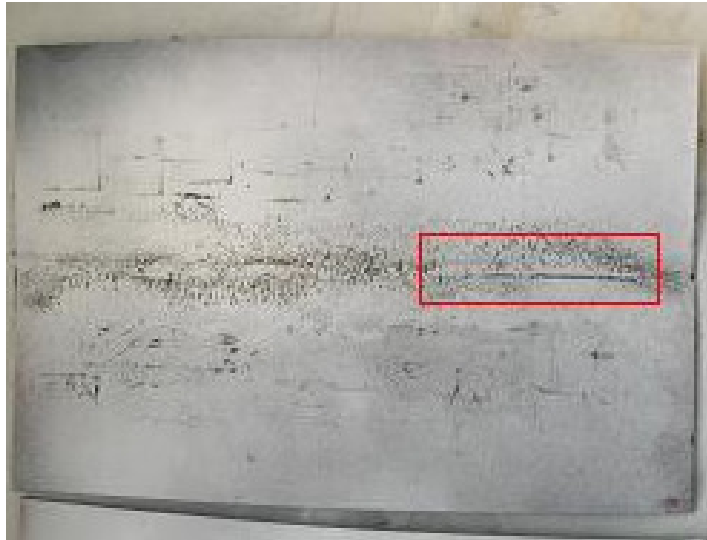
Yugo magnético



4. Vemos el resultado y limpiamos con acetona.

I.9.3 Resultados obtenidos.

- **Chapa con soldadura Rutilo.**



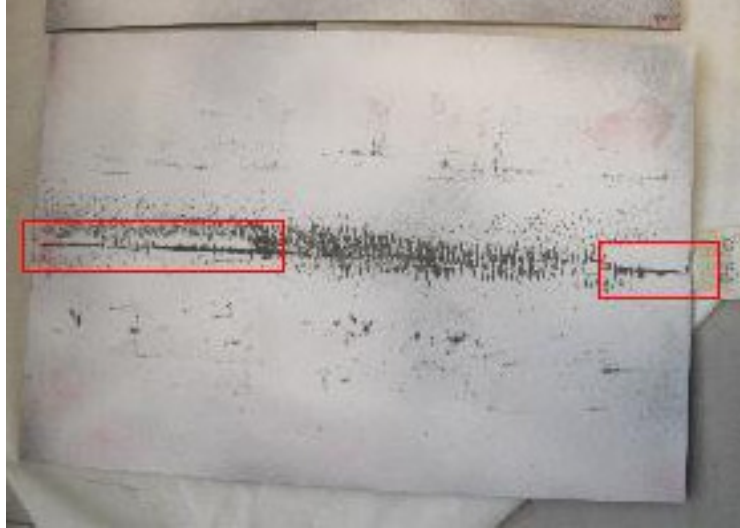
La línea continua presente es por culpa de un escalón entre chapas, sin preveer que tiene oquedades.

- **Chapa con soldadura Básico con alma inoxidable.**



La línea recta continua que forman la acumulación de partículas ésta vez es por la razón en la que el acero inoxidable no es magnetizable, y por ello las piezas se dejan llevar por los campos de imán que se atraen del yugo .

- **Chapa con soldadura Básica y alma de acero al carbono.**



Se puede apreciar claramente las líneas continuas de partículas ferromagnéticas que rodean los cuadros rojos, es exactamente la misma zona donde pudimos ver en el ensayo de líquidos penetrantes que se encontraban los poros y fisuras. En el resto de la soldadura se observa que no ha habido acumulación de partículas por lo tanto no deben haber oquedades.

I.9.4. Ventajas e inconvenientes.

Ventajas:

- Se puede inspeccionar las piezas en serie obteniéndose durante el proceso, resultados seguros e inmediatos.
- La inspección es más rápida que los líquidos penetrantes y más económicos.
- Equipo relativamente simple, provisto de controles para ajustar la corriente, y un amperímetro visible, conectores para HWDC, FWDC y AC.
- Portabilidad y adaptabilidad a muestras pequeñas o grandes.
- Requiere menor limpieza que Líquidos Penetrantes.
- Detecta tanto discontinuidades superficiales y subsuperficiales.
- Las indicaciones son producidas directamente en la superficie de la pieza, indicando la longitud, localización, tamaño y forma de las discontinuidades.
- El equipo no requiere de un mantenimiento extensivo.
- Mejor examinación de las discontinuidades que se encuentran llenas de carbón, escorias u otros contaminantes y que no pueden ser detectadas con una inspección por Líquidos Penetrantes.



Inconvenientes:

- Es aplicable solamente a materiales ferromagnéticos; en soldadura, el metal depositado debe ser también ferromagnético.
- Requiere de una fuente de poder.
- No detectará discontinuidades que se encuentren en profundidades mayores de 1/4".
- La detección de una discontinuidad dependerá de muchas variables, tales como la permeabilidad del material, tipo, localización y orientación de la discontinuidad, cantidad y tipo de corriente magnetizante empleada, tipo de partículas, etc.
- La aplicación del método en el campo es de mayor costo.
- La rugosidad superficial puede distorsionar las líneas de flujo.
- Se requieren dos o más inspecciones secuenciales con diferentes magnetizaciones.
- Generalmente después de la inspección se requiere de una desmagnetización.
- Debe tenerse cuidado en evitar quemadas por arco eléctrico en la superficie de la pieza con la técnica de puntas de contacto.
- Aunque las indicaciones formadas con partículas magnéticas son fácilmente observables, la experiencia en el significado de su interpretación es muchas veces necesario.

I.10. Líquidos penetrantes (coloreados).

I.10.1 Proceso seguido.

Tras la preparación de la superficie que ya hemos comentado en puntos anteriores se procede a realizar un control que nos facilite la observación de los defectos mediante contrastes de color entre el rojizo del líquido que penetra en los defectos y el blanco del líquido que revela en que defectos entrado el penetrante.

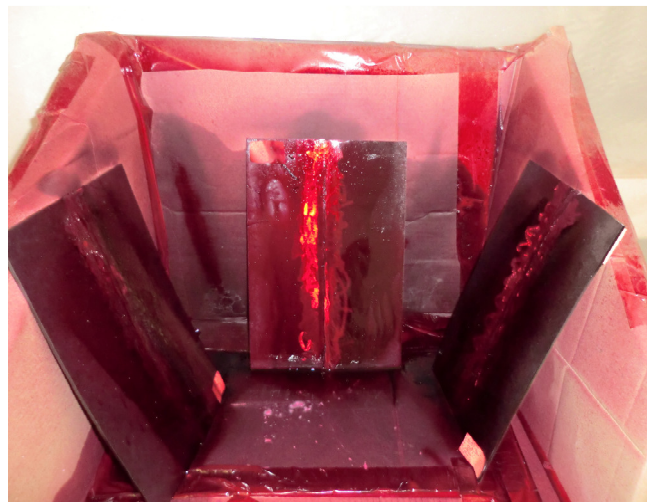
1. Lavado de la superficie con jabón y secado con acetona.
2. Aplicamos el **líquido penetrante** sobre toda la superficie de la soldadura, intentando alcanzar el llenado total del defecto, permanecemos el penetrante un tiempo de 20 minutos según las instrucciones de la marca utilizada.

Las características fundamentales del penetrante son:

- Tienen que tener un gran nivel humectante para poder fluir sobre los desperfectos.
- Debe tener un poco coeficiente de evaporación.
- Baja viscosidad.
- Debe poseer un color de contraste con el revelador (en este caso es granate).
- No corrosivo.



Penetrante



Chapas cubiertas del penetrante

3. Aplicamos el **líquido eliminador**, para eliminar la parte de líquido penetrante que no ha entrado en los defectos. Se intentará la mínima tensión superficial, e intentaremos no flotar intensamente para evitar extraer líquido que si ha entrado en algún defecto. Dejamos que el eliminador se seque para proceder con el siguiente paso.



Eliminación del penetrante superficial.

4. Se aplica el **líquido revelador** que tiene la misión de diferenciar por contraste de color las zonas que se ha introducido el penetrante ya que tiene la característica de poder absorber el penetrante.

Permanecemos con el revelador 5 minutos, según instrucciones de la marca,

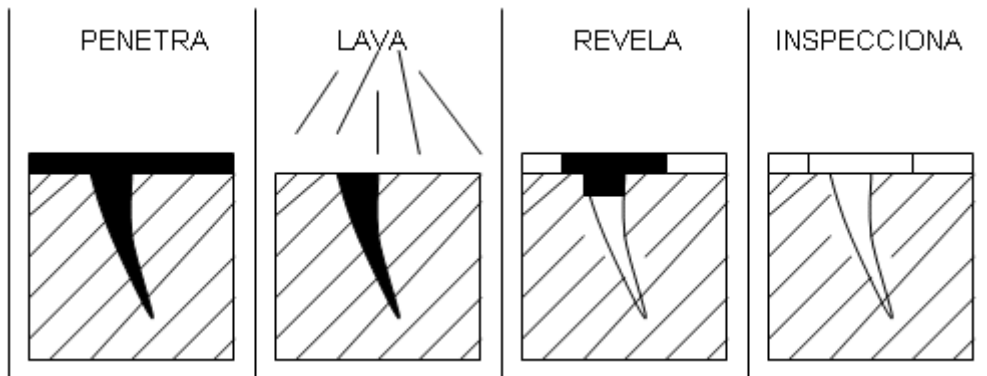


Chapas cubiertas de líquido revelador.

5. Para concluir el ensayo se procede a la limpieza de las chapas mediante **acetona**.



Cuadro de resumen gráfico del proceso



I.10.2. Resultados obtenidos en cada una de las caras de las chapas con diferente electrodo utilizado para realizar el cordón de soldadura.

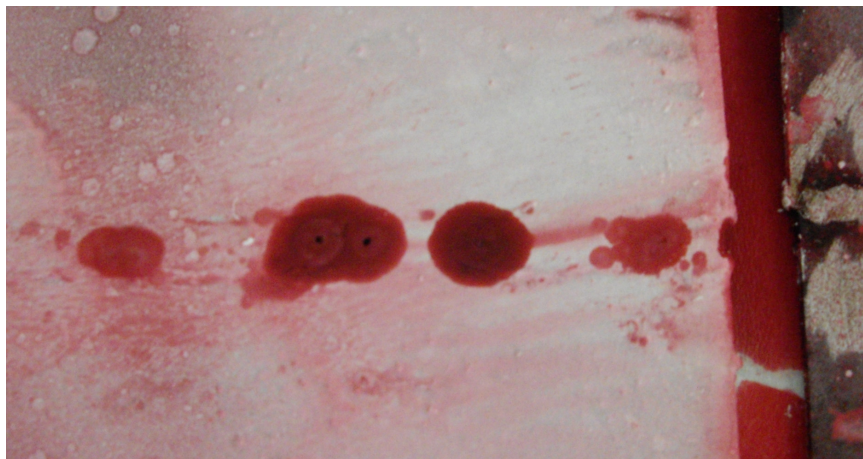
- **CHAPA CON ELECTRODO BÁSICO. (ALMA DE ACERO AL CARBONO).**

CARA "A"



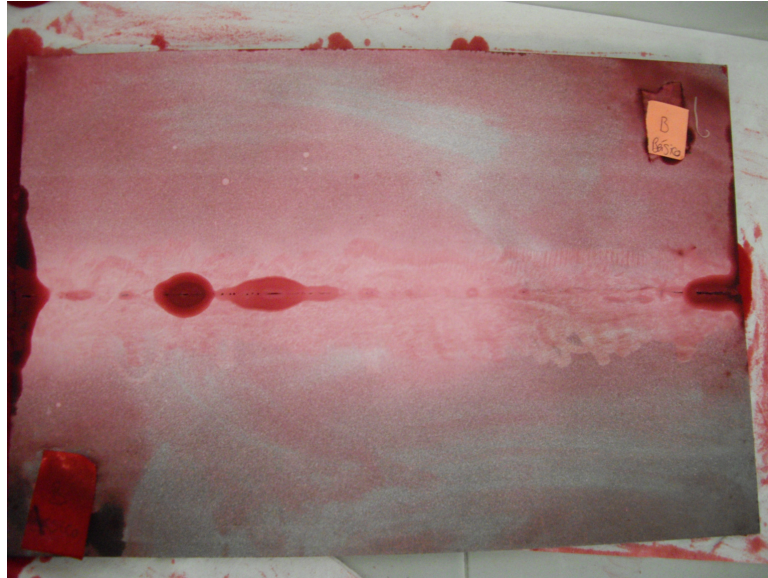
Cara A en chapa con elect. Básico y alma de acero al carbono

Se puede observar claramente los fallos mencionados en el punto I.5 donde explicaba que la soldadura había sido errónea ya que los electrodos poseían un grado de humedad tal que produjo que aparecieran numerosos poros. Se mantuvieron los fallos para poder observar en los ensayos diferentes resultados, y éste es uno de ellos.



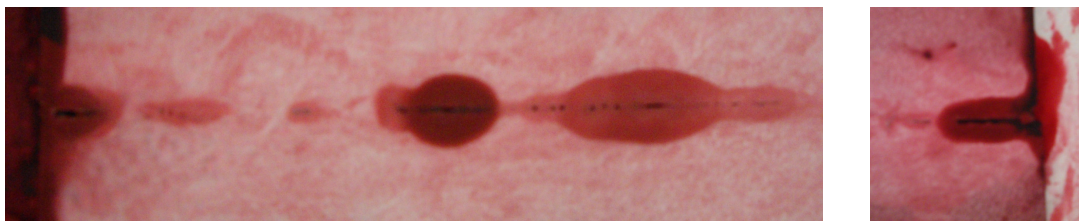
Detalle de los poros.

CARA "B"



Cara B en chapa con Electr. Básico y alma de acero al carbono

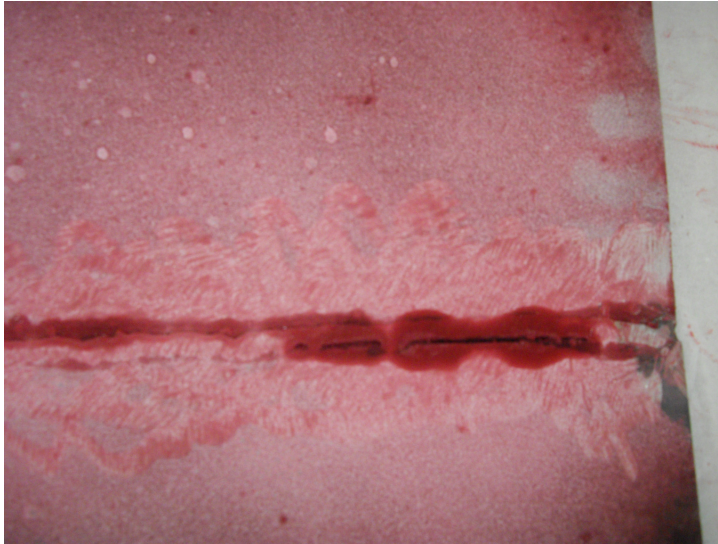
En la cara B más que poro se observa claramente las fisuras longitudinales a lo largo de la unión de las dos chapas. Aunque donde se encuentran las más graves son en los extremos.



Fisuras cara B en chapa básica

- **CHAPA CON ELECTRODO RUTILO.**

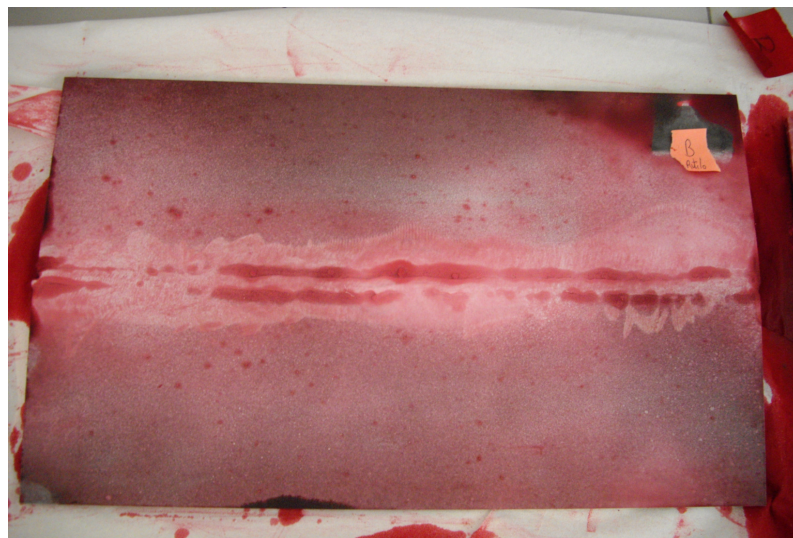
CARA "A"



Rutilo cara A

Se aprecia cantidad de penetrante el cual puede llevarnos a la conclusión de que se trata de fisuras, pero no ya que es ocasionado por un escalón producido en la soldadura de las dos piezas, por lo que el penetrante se refugió en ésta zona cuando se eliminó el superficial y salió tras el revelador. Por lo tanto no tiene defectos visibles con éste sistema.

CARA "B"

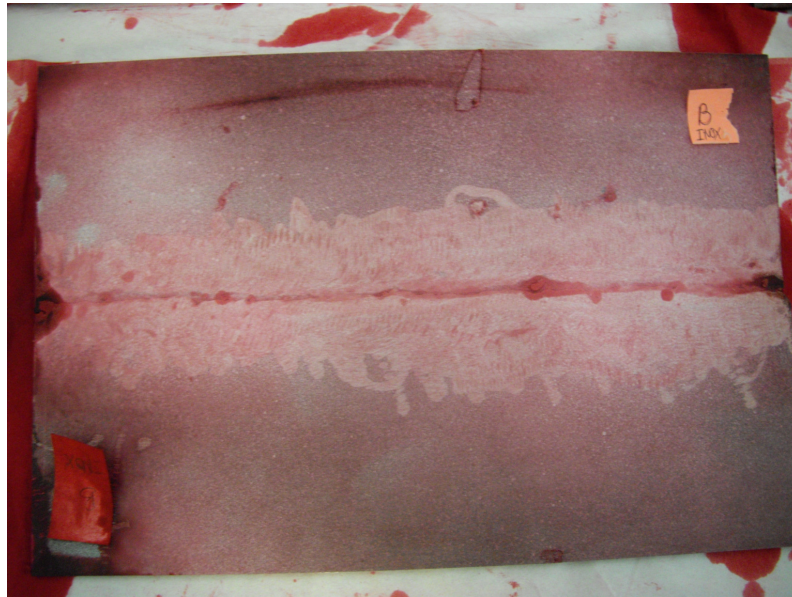


Cara B con cordón de rutilo.

Sin defectos visibles.

- **CHAPA CON ELECTRODO BÁSICO Y ALMA INOXIDABLE.**

TANTO CARA “A” COMO CARA “B” SIN DEFECTO ALGUNO.



Cara B inoxidable, sin defecto alguno.

I.9.3. Tabla de propiedades física del penetrante respecto del revelador para que el sistema funcione.

Propiedad física	Penetrante	Revelador
Capilaridad	Alta	Baja
Tensión superficial	Baja	Alta
Adherencia	Baja	Alta
Cohesión	Baja	Alta
Viscosidad	Baja	Alta
Partículas	Pequeñas	Grandes

Nivel de las propiedades entre penetrante y revelador.



I.10.4. Ventajas y desventajas del método.

VENTAJAS

- Muy económico
- Inspección a simple vista
- No se destruye la pieza
- Se obtiene resultados inmediatos.

DESVANTAJAS

- Solo detecta fallas superficiales
- Dificil establecimiento de patrones
- La superficie a inspeccionar debe estar limpia y sin recubrimientos

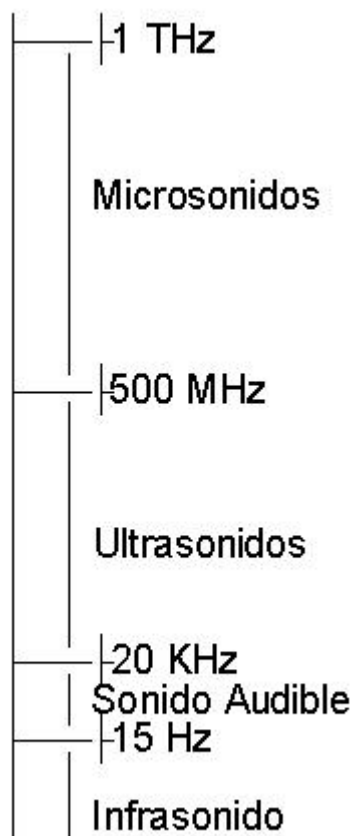


I.11. Ultrasonidos.

I.11.1. Introducción.

Éste método se basa en la generación o propagación de ondas sonoras a través del material. Un sensor, que contiene un elemento piezo-eléctrico, convierte los pulsos eléctricos en pequeños movimientos o vibraciones, con una frecuencia de ondas que se encuentra por encima de la zona audible.

Estas vibraciones se propagan a través del material, y cuando su camino es interrumpido por una interfase, sufren reflexión, refracción ó distorsión. Dicha interrupción se traduce en un cambio de intensidad, dirección y ángulo de propagación, cambio que es detectado y registrado a través de una pantalla o monitor especialmente diseñado para tal finalidad.



I.11.2 Equipo.



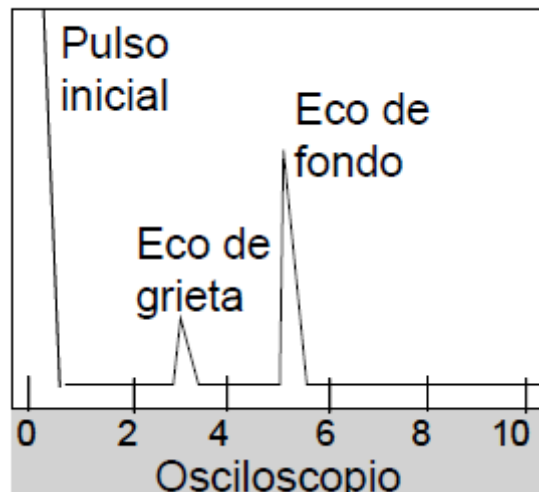
1. Osciloscopio.
2. Palpadores.
3. Líquido acoplante.
4. Cables coaxiales.

I.11.2.1 OSILOSCÓPIO



Componentes del osciloscopio:

1. Sistema de sincronismo.
 2. Generador de impulsos.
 3. Amplificador de señal.
 4. Monitor.
- El **sistema de sincronismo** genera el voltaje de deflexión horizontal en la pantalla del monitor de forma que obliga un pincel electrónico a barrer la pantalla de izquierda a derecha.
 - El **monitor** es el que representa los ecos como reflexiones verticales en la escala de tiempos.



I.11.2.2. PALPADORES.

Hay de varios tipos y son los encargados de transmitir las ondas ultrasónicas a través de la pieza.

Tipos:

1. **Palpador normal:** Es que envía los ultrasonidos a 90° respecto la pieza.



2. **Palpador angular:** Se construyen montando un transductor normal sobre una cuña de perspex con el ángulo adecuado de forma que la refracción en el material a inspeccionar se produzca según el ángulo y tipo de onda deseado.



3. **Palpador de doble cristal.**
4. **Palpador de inmersión.** Son como los normales solo que la carcasa está diseñada para que no entre agua.

I.11.2.3. LÍQUIDOS ACOPLANTES

Para una correcta medición es fundamental eliminar el máximo capa de aire entre el palpador y la pieza por lo que es necesario utilizar un líquido acoplante, entre ellos están:

- Agua
- Aceite mineral.



Aceitera

- Glicerina.
- Grasa consistente.
- Grasa de silicona.
- Pasta de empapelar.



I.11.3 Ejecución del ensayo de ultrasonido.

En el presente proyecto se intentó realizar éste tipo de ensayo pero sin la fortuna de poder sacar señales por las que poder examinar nuestras soldaduras ya que al ser tan pequeño el espesor de la chapa (3mm), los rebotes del sonido era tal que no se podía apreciar el cambio en poros y fisuras.

I.11.4 Ventajas e inconvenientes.

VENTAJAS:

- **Alto Poder de penetración**, Se considera un ensayo que junto con la radiografía, aporta información de todo el volumen.
- **Alta sensibilidad**, permite detectar defectos muy pequeños, a partir de 1mm de longitud y 0.5mm de profundidad.
- **La posición de los defectos internos se determina con precisión.**
- **Sólo necesita acceso por una superficie.**
- El **resultado** de la inspección es **instantáneo**.
- Sin riesgos para el operador.
- Elevada portabilidad de los equipos.

DESVANTAJAS:

- Requiere **personal cualificado**.
- **Las muestras, irregulares, rugosas o de pequeño espesor son difíciles de inspeccionar, como nos ha pasado en nuestro propio ensayo.**
- Las heterogeneidades muy próximas a la superficie pueden no ser detectables.
- La calibración necesita de muestras de referencia.



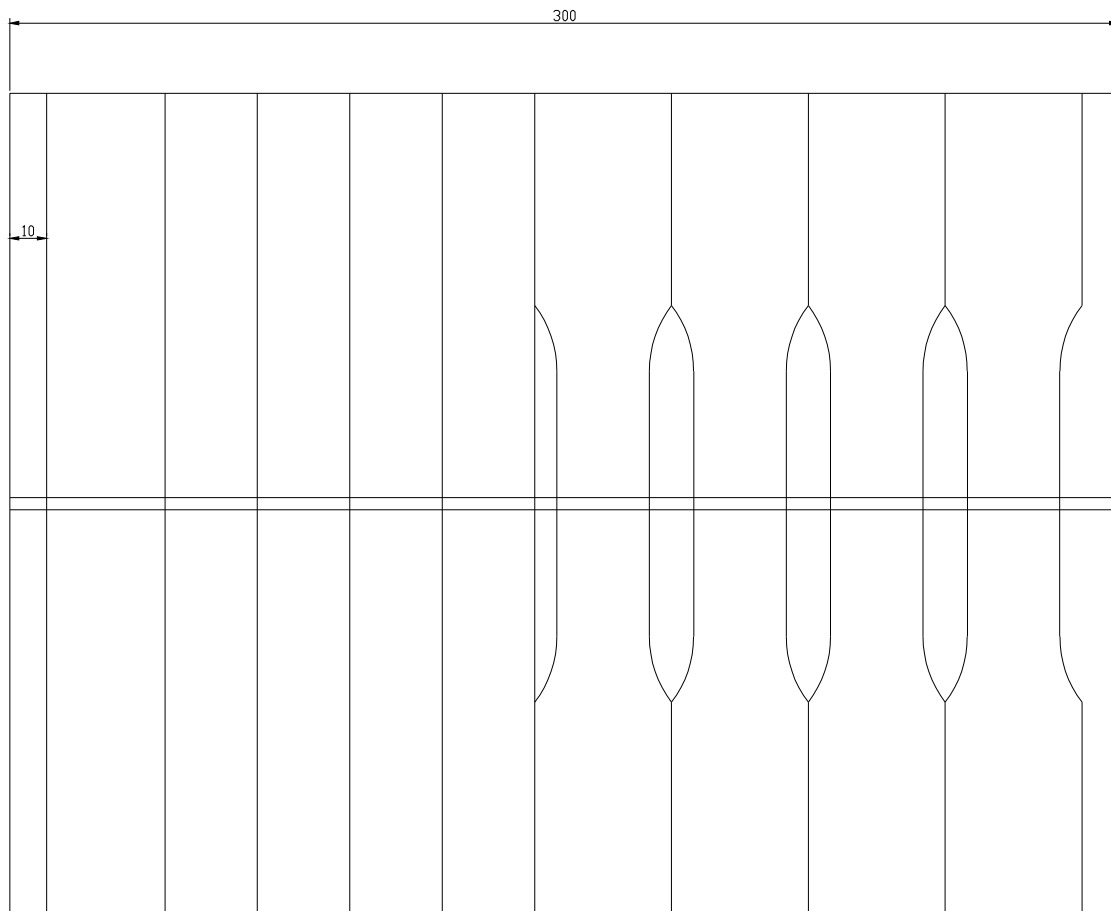
I.12. Diseño de probetas para ensayos destructivos.

Diseño de las probetas para enviar a cortar.

Las probetas se han preparado y mecanizado según la norma UNE-EN 895, (para ensayo a tracción) y la norma UNE-EN 5173-2011 (para el ensayo a flexión) obteniendo las dimensiones indicadas en la figura siguiente.

Después de dicha preparación, las piezas se llevan al taller del DIMM y se disponen para dar comienzo al ensayo a tracción con la Maquina Universal de Ensayo.

Determinaremos mediante el ensayo propiedades muy importantes de una unión soldada; éstas son la resistencia a la rotura, el límite elástico y el alargamiento.

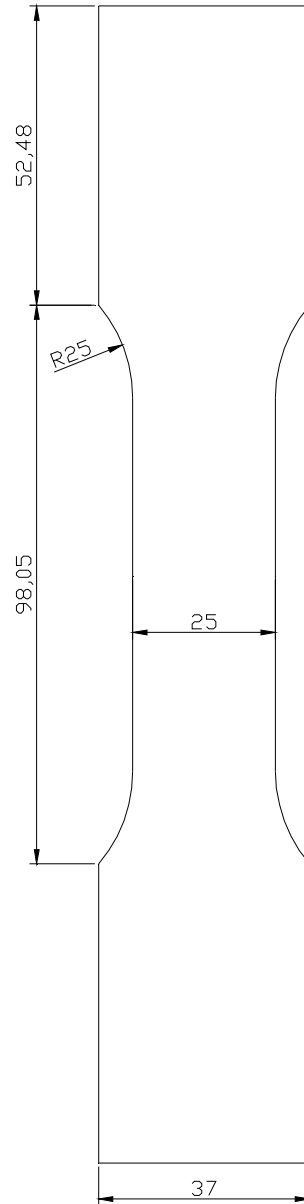


Probetas para Flexión

Probetas para tracción



Medidas de las probetas de tracción



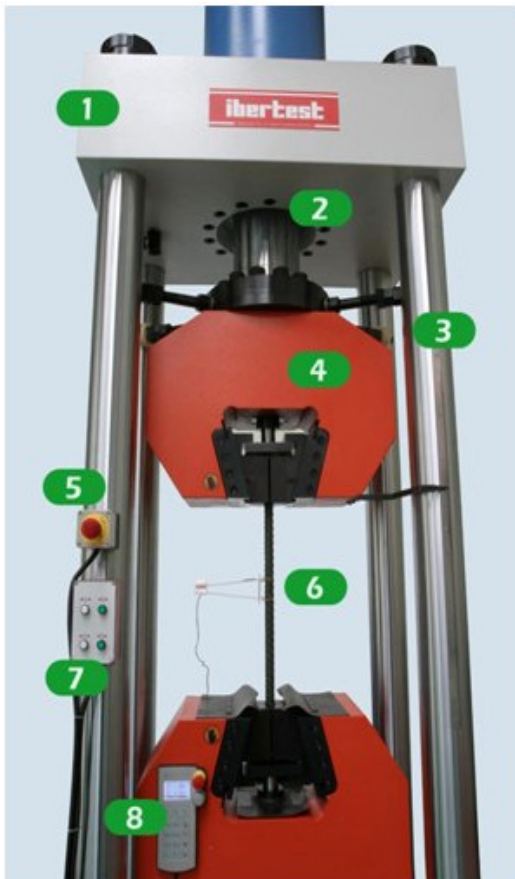
I.13 Ensayo mecánico a tracción.

I.13.1 Introducción.

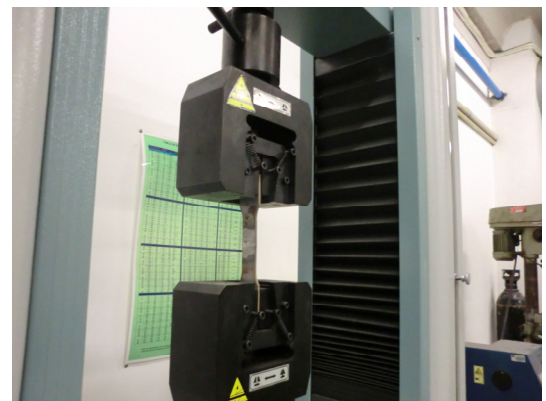
La prueba de tracción consiste en someter una o más probetas a un esfuerzo axial, gradualmente creciente, hasta provocar su rotura.

En el esfuerzo de tracción aplicado de forma gradual y continua desde cero hasta su valor máximo, la probeta se alarga respecto a su tamaño inicial, éste alargamiento se medirá tras la rotura. Al mismo tiempo que se alarga, disminuyen las dimensiones transversales de la probeta, disminución que va acompañada de una generación de calor procedente de la transformación de la microestructura del acero.

Partes de la maquina de tracción.



1. Placa superior del marco de ensayos
2. Pistón hidráulico de doble efecto.
3. Columnas (x4)
4. Cabezal hidráulico superior de tracción
5. Parada de emergencia tipo "seta"
6. Extensómetro axial pinzable sobre probeta
7. Mando de apertura y cierre de mordazas hidráulicas
8. Unidad de control remoto UCR-D (Opcional)



I.13.2 Datos y gráfica con las diferentes soldaduras.

Velocidad 5mm/minuto

Lo (longitud inicial entre trazos de referencia)= 50mm

I.13.2.1 Rutilo

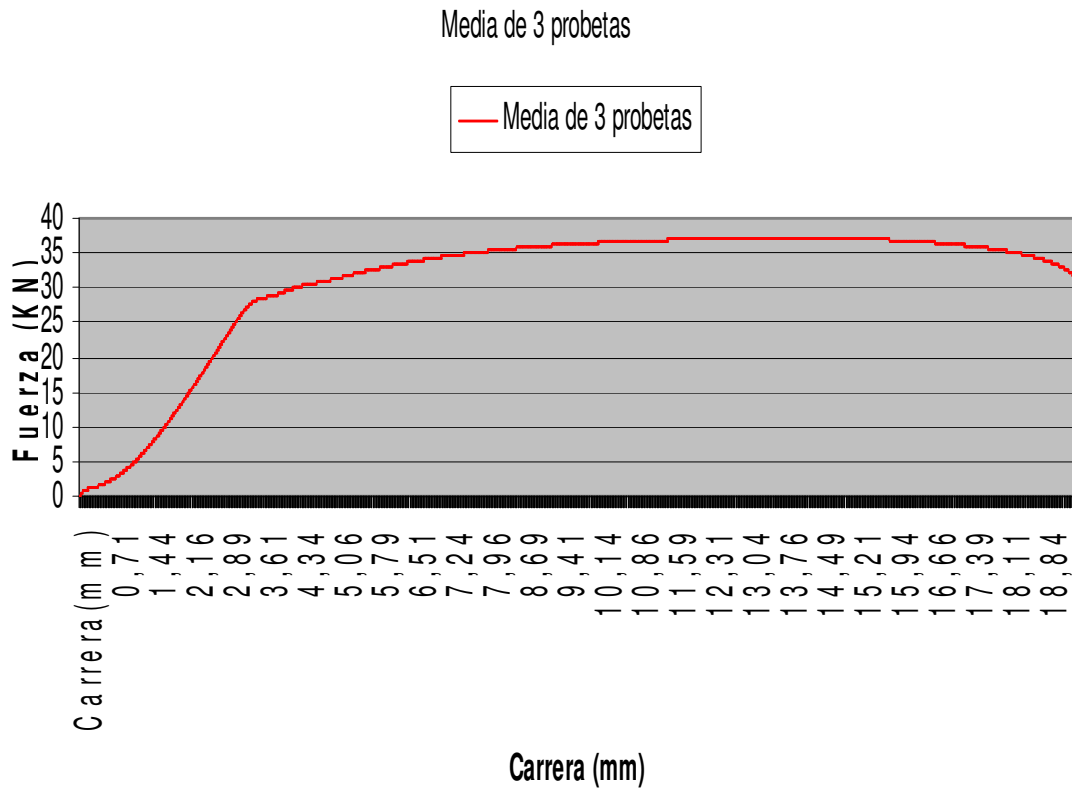


Alargamiento remanente después de la rotura	15.527	mm
Alargamiento porcentual de rotura (A)	95.549	%
Coefficiente de estricción (Z)	73.753	%
Extensión porcentual en el escalón de cedencia (Ae)	13.657	%
Fuerza máxima (Fm)	37.137	kN
Resistencia tracción (Rm)	487,36	MPa
Carrera máxima	18,37	mm
Resistencia máxima	487,36	MPa
Fuerza máxima	37.137	kN
Área de rotura (Su)	20	mm ²
Longitud final entre puntos (Lu)	110	mm
Longitud inicial entre puntos (Lo)	500	mm
Módulo de elasticidad (E)	189834300,00	MPa
Límite elástico convencional (Rp)	468,38	MPa
Alargamiento porcentual total de rotura (At)	10.555	%



Gráfica

Con la ayuda del diagrama F-Carrera registrado por la máquina de ensayo, se ha elaborado el diagrama que a continuación se muestra:



La soldadura mediante el electrodo de rutilo ha tenido buenas características de resistencia, ya que ha tenido un límite elástico aceptable, la zona plástica ha obtenido un desplazamiento de la carrera de hasta 19 mm y además la fuerza máxima obtenida ha sido de 37 kN superior a las probetas inoxidables pero inferior al básico.

I.13.2.2 Inoxidable

Probetas tras la tracción:



Media de los datos de las tres probetas

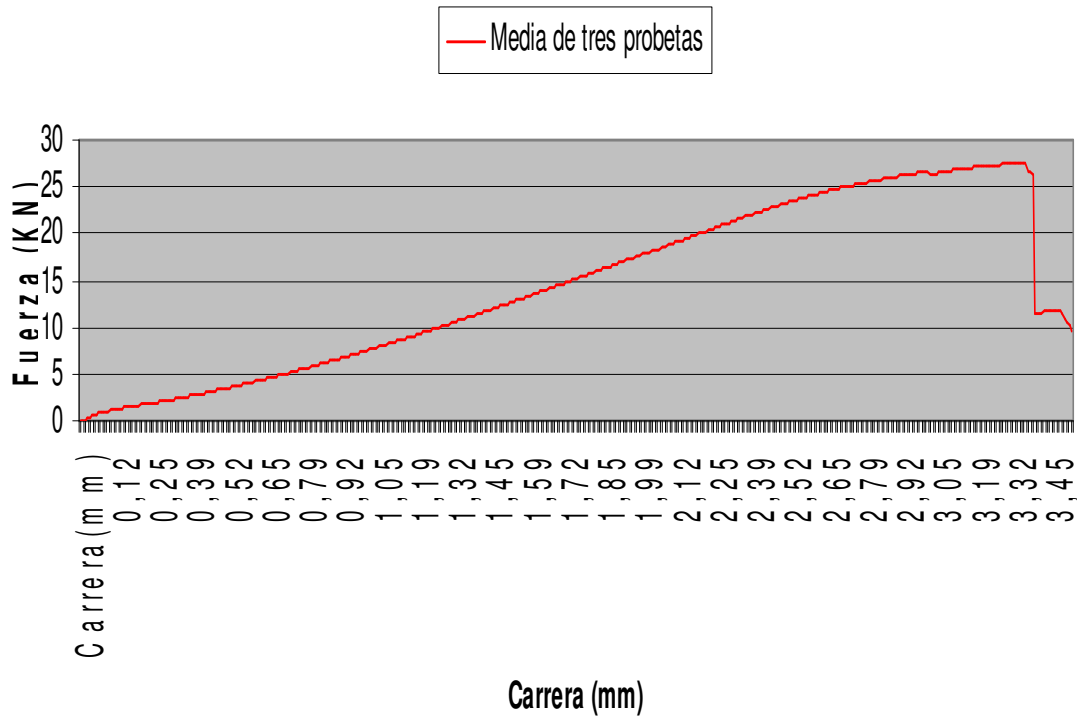
Alargamiento remanente después de la rotura	22.917	mm
Alargamiento porcentual de rotura (A)	14.103	%
Coefficiente de estricción (Z)	73,65	%
Fuerza máxima (Fm)	27.427	kN
Resistencia tracción (Rm)	361,35	MPa
Carrera máxima	3,53	mm
Resistencia máxima	361,35	MPa
Fuerza máxima	27.427	kN
Área de rotura (Su)	20	mm ²
Longitud final entre puntos (Lu)	110	mm
Módulo de elasticidad (E)	154425300,00	MPa
Límite elástico convencional (Rp)	289,65	MPa
Alargamiento porcentual total de rotura (At)	19.954	%



Gráfica

Con la ayuda del diagrama F-Carrera registrado por la máquina de ensayo, se ha elaborado el diagrama que a continuación se muestra:

Media de tres probetas



Entre otras características se puede observar claramente en la gráfica que la soldadura de acero inoxidable tiene respecto su curva de deformación una gran deformación elástica y poca deformación plástica, ya que la carrera solo estiró hasta 3,3 mm, ésta fue causa entre otras por su poca penetración de la soldadura quedando hueco en el interior de la soldadura.

I.13.2.3 Básico

Probetas tras la tracción:



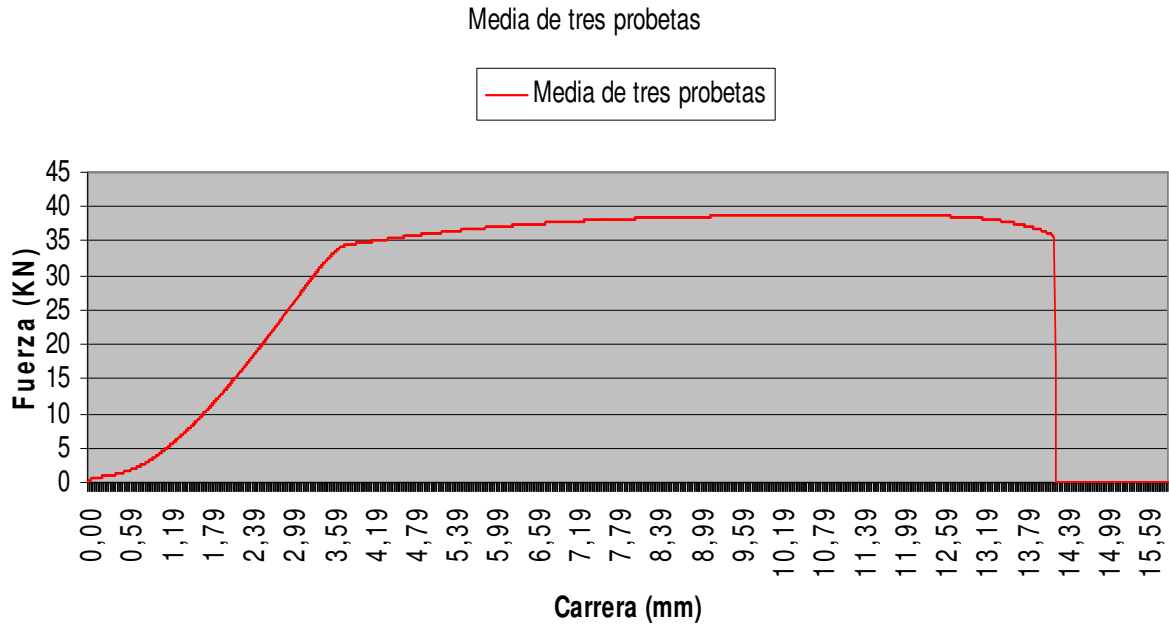
Media de los datos de las tres probetas

Alargamiento remanente después de la rotura	15.011	mm
Alargamiento porcentual de rotura (A)	92.378	%
Coefficiente de estricción (Z)	73.856	%
Fuerza máxima (Fm)	388.081	kN
Resistencia tracción (Rm)	507,30	MPa
Carrera máxima	15,89	mm
Resistencia máxima	507,30	MPa
Fuerza máxima	388.081	kN
Área de rotura (Su)	20	mm ²
Longitud final entre puntos (Lu)	110	mm
Módulo de elasticidad (E)	-429863300,0	MPa
Alargamiento porcentual total de rotura (At)	92.402	%



Gráfica

Con la ayuda del diagrama F-Carrera registrado por la máquina de ensayo, se ha elaborado el diagrama que a continuación se muestra:



La soldadura mediante el electrodo de Básico ha tenido buenas características de resistencia, ya que ha tenido un límite elástico aceptable, y la zona plástica ha obtenido un desplazamiento de la carrera de hasta 14 mm que a pesar de que es inferior a los mm desplazados (alargados) en la probeta de rutilo se puede preveer que si la soldadura Básica hubiese estado correcta ,es decir, sin la cantidad de poros y defectos que en ésta se obtuvieron, claramente hubiese mejorado los resultado del rutilo, y aún así soportó más fuerza hasta que rompió siendo de hasta 38 kN.

I.14 Ensayo mecánico a flexión.

I.14.1 Introducción.

La probeta de sección rectangular se apoya próxima a sus extremos sobre dos soportes formados por varios rodillos cilíndricos, con ejes paralelos, con la posibilidad de girar para permitir a la probeta moverse libremente.

La probeta debe ser del mismo ancho en toda su longitud (al contrario de la flexión que en su parte central hay un estrechamiento).



Datos a tener en cuenta en el ensayo:

- La carga debe aplicarse con un *elemento (rodillo o cuchilla) con la arista redondeada*, siendo mas larga que la longitud transversal de la probeta .Es decir en nuestro caso deberá ser mayor a 3 mm.

Y además el eje del elemento que aplica la fuerza debe ser paralelo a los ejes de los soportes.

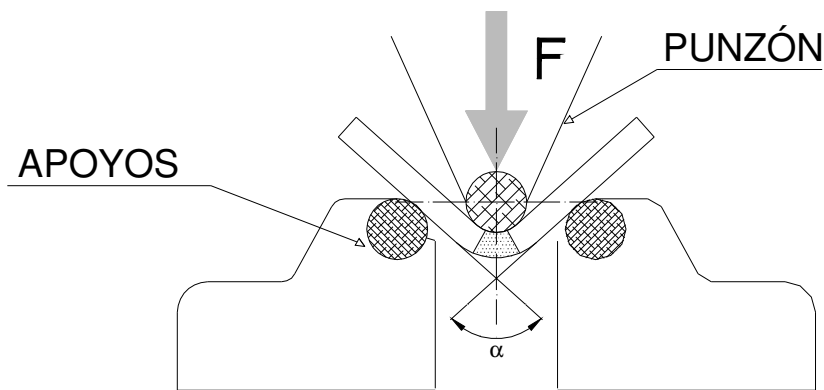
- El radio de lo rodillos debe ser suficientemente grandes para que no produzca marcas en las probetas.
- Éste método se puede realizar colocando la carga en el punto central de la probeta o en dos puntos concentradas y simétricas respecto a los apoyos.
- La carga se debe aplicar de forma constante, gradual y lentamente, en nuestro caso realizaremos los ensayos a una **velocidad de 10mm/minuto y el tiempo será de 220 segundos.**

El ensayo de flexión sirve para determinar:

- La flecha elástica bajo una carga dada.
- La flecha permanente bajo una carga determinada.
- La flecha correspondiente a la carga máxima aplicada durante la prueba.

Como se ha descrito en anterioridad, el ensayo de doblado también se ha efectuado en la Máquina Universal de Ensayos y con la norma UNE-EN 5173-2011, comprobando la distancia entre apoyos, la aplicación de las cargas y el diámetro del punzón a aplicar según la sección de las probetas.

Consiste en someter las probetas a una flexión, colocando las piezas sobre dos apoyos y aplicando uniforme y progresivamente las cargas.

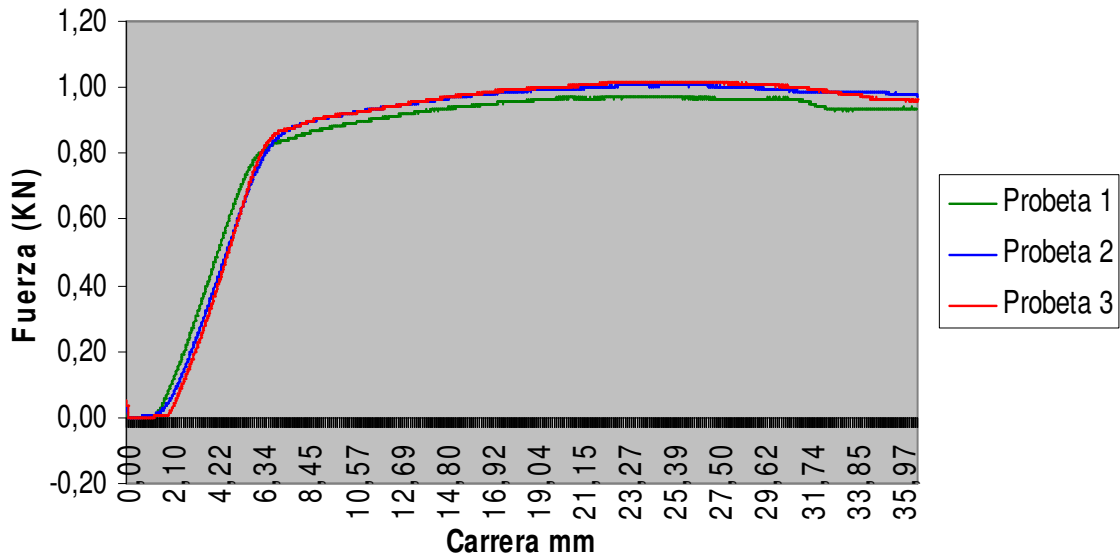




I.14.2 Datos y gráfica con las diferentes soldaduras.

I.14.2.1 Rutilo

Ensayo flexión Rutilo



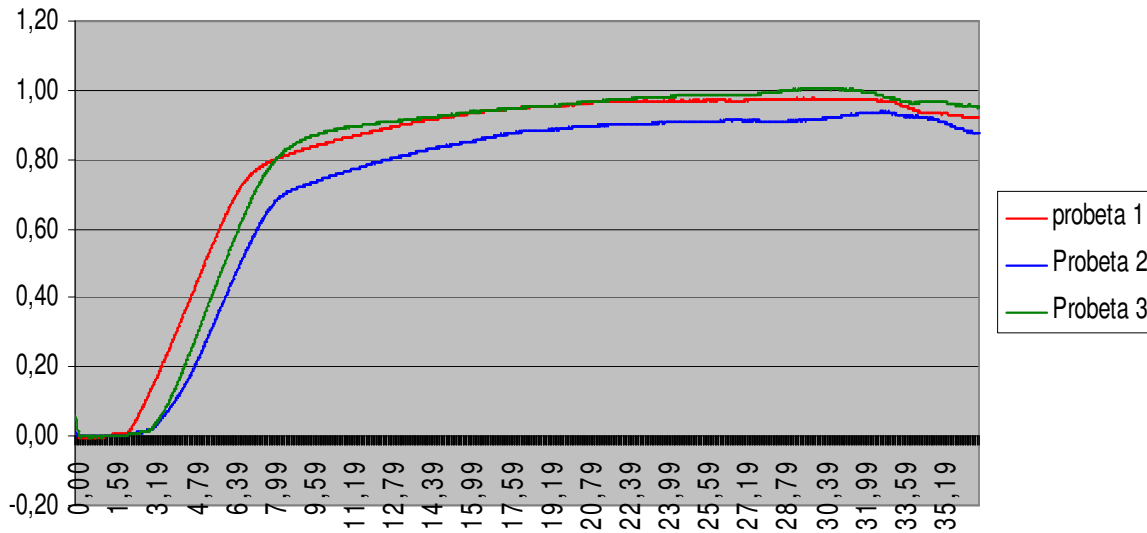
Datos obtenidos:

	Probeta	Probeta2	Probeta3	MEDIA
Carrera máxima	36,67	36,71	36,72	36,7 mm
Resistencia máxima	853	882,7	868,5	868,07 MPa
Fuerza máxima	0,9724	1,0103	1,181	1,05 kN



I.14.2.2 Inoxidable

Ensayo flexión Inoxidable



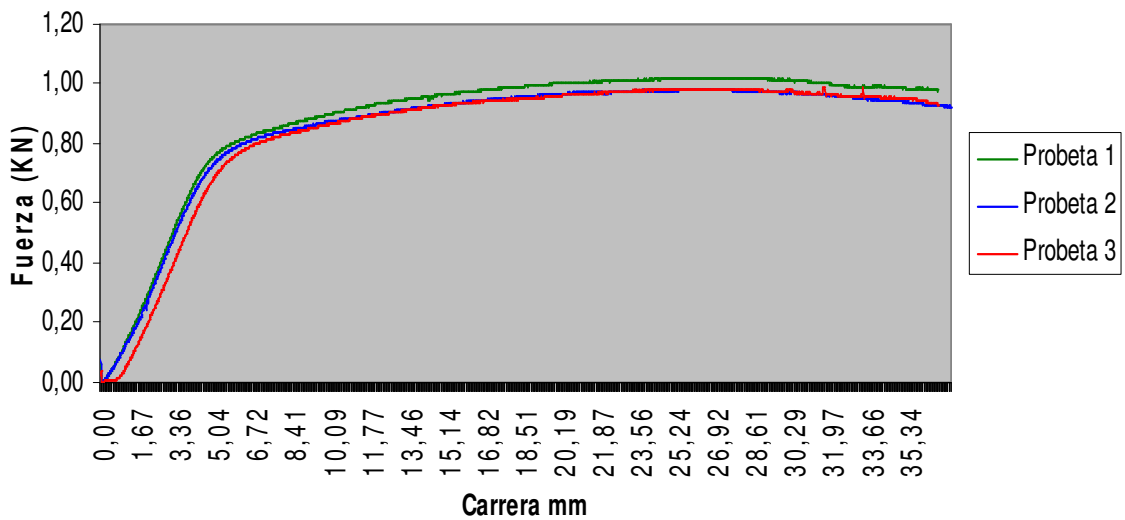
Datos obtenidos:

	Probeta1	Probeta2	Probeta3	MEDIA
Carrera máxima	36,69	36,7	36,71	36,70 mm
Resistencia máxima	836,6	803,1	862,3	834,00 MPa
Fuerza máxima	0,9769	0,9378	1	0,99 kN



I.14.2.3 Básico

Ensayo Flexión Básico



Datos obtenidos:

	Probeta1	Probeta2	Probeta3	MEDIA
Carrera máxima	36,71	37,26	36,72	36,9 mm
Resistencia máxima	875,7	838	848,1	853,93 MPa
Fuerza máxima	1	0,9824	0,9903	1,0659 kN

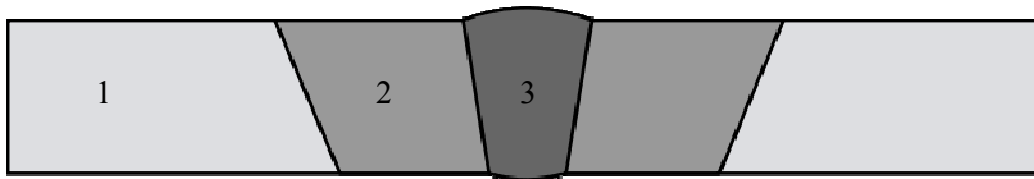
I.15. Fabricación probetas Microdurezas.

I.15.1 Introducción a microdurezas en soldaduras.

El análisis de la microestructura de la unión soldada, se hace considerando que debe de haber una variación de la microestructura por la influencia del calentamiento y el enfriamiento en un rango de temperaturas desde la temperatura de fusión hasta la del medio ambiente. A éste efecto se le llama ZAT zona afectada térmicamente.

Zona de afectación térmica:

Al soldar la pieza el calor efectuado por la soldadura puede perjudicar al acero base utilizado en el presente proyecto, dejando ésta zona contigua a la soldadura con unas características modificadas al material primitivo.



1. Material base.
2. Zona de afectación térmica.
3. Soldadura

La difusividad térmica del material base es la facilidad que ofrece el material al paso de vapor de agua, y ésta es muy importante ya que..

- Si la difusividad es alta, la velocidad de enfriamiento del material es alta y la ZAT es relativamente pequeña.
- Una difusividad baja conduce a un enfriamiento más lento y a una ZAT más grande.

La cantidad de calor inyectada por el proceso de soldadura también desempeña un papel importante, pues los procesos como la soldadura oxiacetilénica tienen una entrada de calor no concentrado y aumentan el tamaño de la zona afectada. Los procesos como la soldadura por rayo láser tienen una cantidad altamente concentrada y limitada de calor, resultando una ZAT pequeña.



La soldadura de arco realizada en el proyecto cae entre estos dos extremos, con los procesos individuales variando algo en entrada de calor. Para calcular el calor para los procedimientos de soldadura de arco, puede ser usada la siguiente fórmula:

$$Q = \left(\frac{V \times I \times 60}{S \times 1000} \right) \times \text{Rendimiento}$$

- Q = entrada de calor (kJ/mm),
- V = voltaje (V),
- I = corriente (A),
- S = velocidad de la soldadura (mm/ min.)

El rendimiento depende del proceso de soldadura usado, con la soldadura de arco de metal revestido teniendo un valor de 0,75, la soldadura por arco metálico con gas y la soldadura de arco sumergido, 0,9, y la soldadura de arco de gas tungsteno, 0,8.

Por lo tanto podemos decir que el calor introducido en la soldadura creando la ZAT es igual a lo siguiente:

1. Con electrodo Rutilo.

$$Q = ((20 \times 60 \times 60) / (100 \times 1000)) \times 0.75 = 0.54 \text{ kJ/mm}$$

2. Con electrodo básico y alma de acero al carbono.

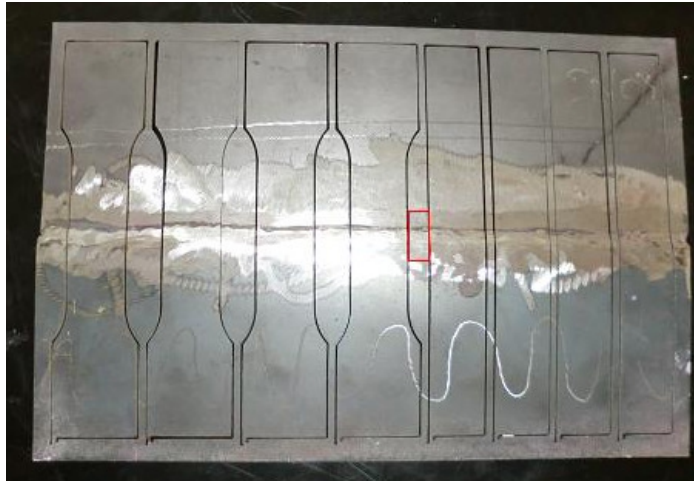
$$Q = ((20 \times 70 \times 60) / (100 \times 1000)) \times 0.75 = 0.63 \text{ kJ/mm.}$$

3. Con electrodo básico y alma de acero Inoxidable.

$$Q = ((20 \times 50 \times 60) / (100 \times 1000)) \times 0.75 = 0.63 \text{ kJ/mm.}$$

I.15.2 Proceso de fabricación de las probetas para el ensayo de Microdureza (Vickers) y Micrografía.

Llegadas las chapas cortadas del almacén aprovechamos una parte de las chapas para realizar las probetas que luego utilizaremos para el ensayo de microestructura.



□ Probeta para ensayo de microestructura

Partimos de las chapas ya cortadas del almacén obteniendo un trozo de la parte soldada de aproximadamente 2 cm de largo y 1 cm de ancho, obteniendo un trozo de la chapa que abarque la soldadura y la zona afectada térmicamente (ZAT).

Para llegar a estas medidas se procedió a corte mediante sierra (Fig. 1) y luego se afinó mediante una Tronzadora (similar a la maquina del agua pero además aporta taladrina) (Fig. 2).

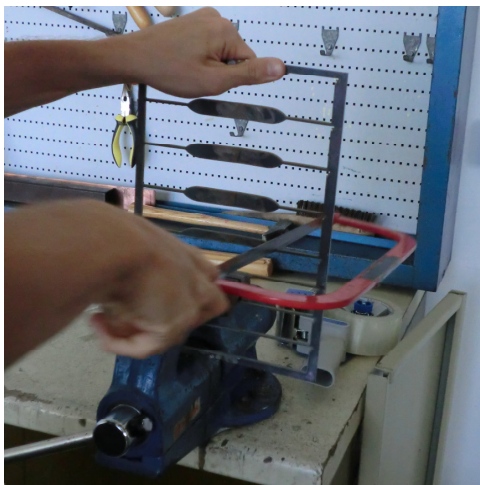


Fig.1

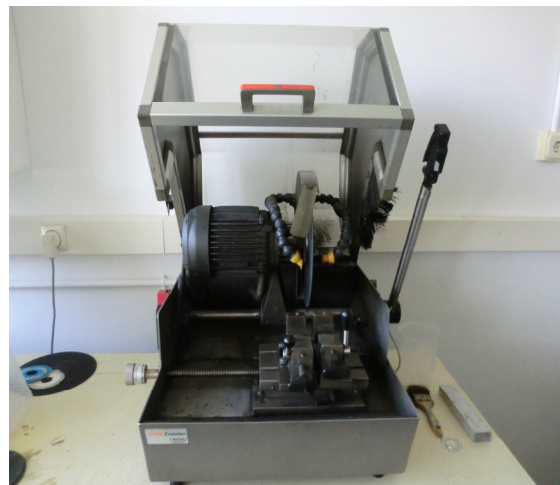


Fig.2

Pasos para obtención de la probeta:

Tras el corte de la chapa por la soldadura y ZAT, dejando un tamaño apropiado para la embutidora ya mencionado en el paso anterior, procedemos a los siguientes pasos.

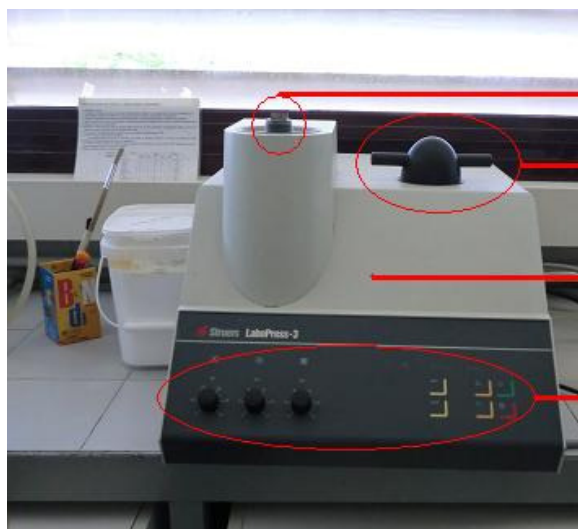


1. Encapsulado mediante embutidora semiautomática.

- Colocación de un apoyo de plástico a la chapita aumentando así su base para que continúe de pie tras el embutido.



- Se coloca la chapita de pie con la base en la parte de la embutidora y lo bajamos para así introducir el polvo de metraquilato (resina).



Lugar donde colocamos la chapita.

Tapa.

Embutidora.

Centro de mando.

- Colocamos el metraquilato (con un embudo de referencia) y un papel para reconocer la probeta.



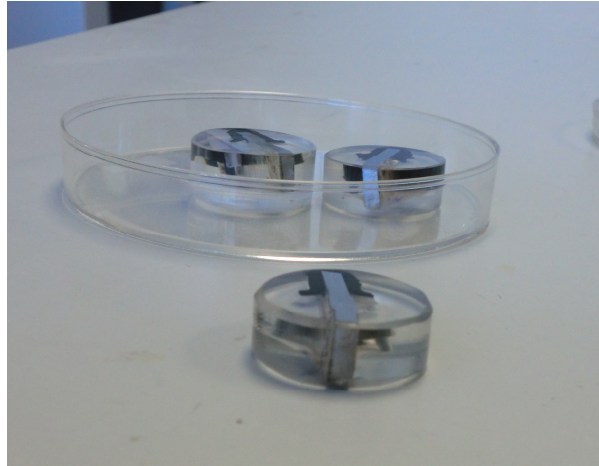
Metraquilato

- Limpiamos con pincel y se cierra.
- Colocamos en el centro de mando 6 minutos de calentamiento a 180° a una tensión de 15 Kn de presión y un enfriamiento de 7 minutos. Y apretamos al power.



Centro de mando

2. Tras la extracción de la probeta encapsulada de la embutiladora, procedemos al **desbaste** de la probeta por la parte inferior.

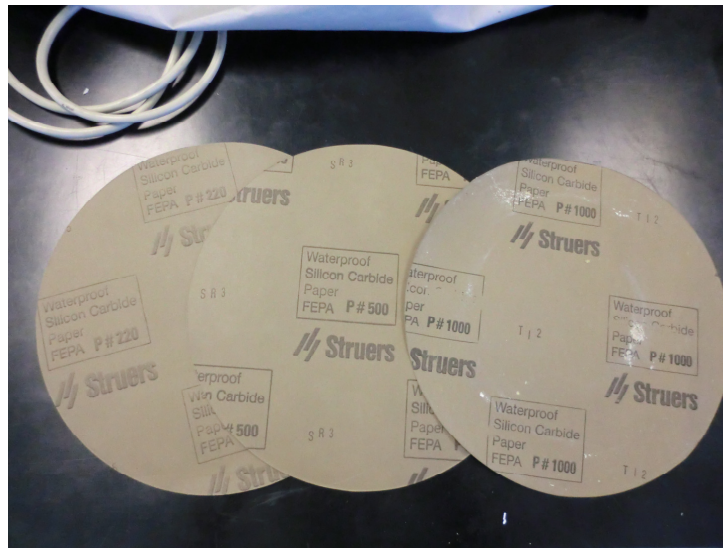


Probetas embutidas

2.1 Desbastamos las probetas mediante unos discos de carburo de silicio de 1º 220, 2º 500 y 3º 1000, es decir, procedemos primero en debastar con los discos de grano mas grueso acabando con el disco de grano mas fino quedando así mínimamente sin rayas tras observar al microscopio.

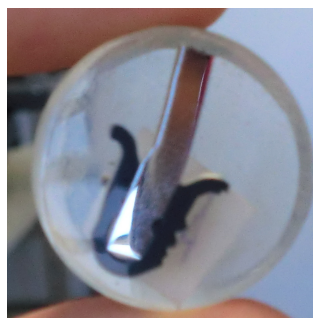


Devastadora.



Discos de diferente tamaño de árido

2.2. Tras el devaste superficial procedemos al pulido fino mediante un disco de terciopelo 1° de 3 micras y luego de 1 micra al que se le añade líquido de pasta de diamante, acabaremos tras quedar totalmente sin rayas para que a la hora de micrografiarlas y hacer las micro durezas podamos observar bien el acero.



Probeta pulida

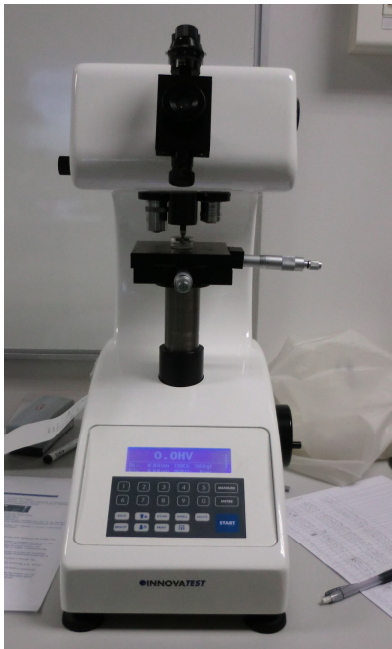
Nota: Es muy importante que no tenga la probeta bisel, es decir, hay que intentar q tras el pulido la probeta tenga las caras lo mas paralelas posibles ya que sino será un problema cuando se procedan a realizar las microdurezas y las micrografias ya que puede ocurrir que no se pueda divisar clara una microestructura si hay irregularidad en la superficie.

I.15.3 Ensayo Microdureza VICKERS

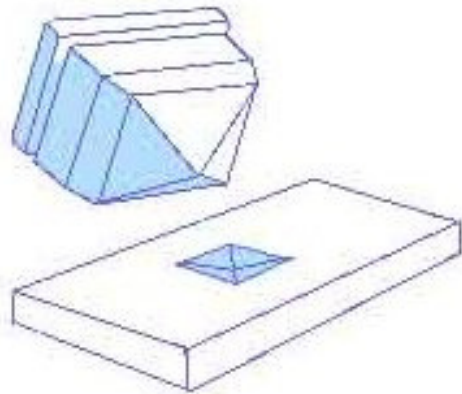
I.15.3.1 Proceso

Una vez realizada el encapsulado de las probetas se procedió al ensayo de microdureza, éste ensayo se utiliza cuando el grosor del material es pequeño o cuando su dureza es muy grande para que una bola de acero deje marca.

Se utilizó para el ensayo un microdurómetro en el que se encuentra un penetrador con punta piramidal de diamante con un ángulo en el vértice de 136° que es el encargado de hacer una marca rómbica, de la cual mediante la medida de sus diagonales se podrá sacar el valor de dureza vicker (Hv).



Microdurómetro



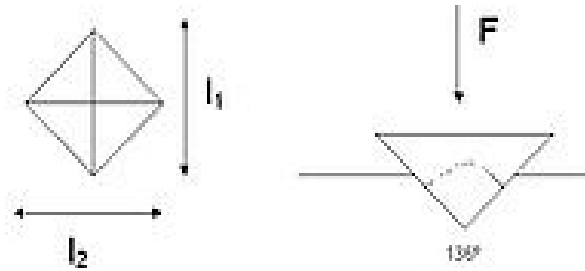
Penetrador

En el ensayo se ha realizado una huella cada medio milímetro a lo largo de toda la probeta cogiendo tanto zona de soldadura como la afectada térmicamente.

El área de la huella se saca analíticamente a partir de la longitud de las diagonales del cuadrado que se medirá mediante microscopio.

La fuerza utilizada en el ensayo es de 300gramos.

El calculo de Hv se obtiene de la siguiente formula:
$$HV = \frac{1,8544 \cdot F}{d^2}$$



Medidas del rombo

En el ensayo no se tuvo que realizar tal formula ya que el propio microdurómetro tras insertar las medidas del rombo te calculaba el solo la fuerza en Hv.



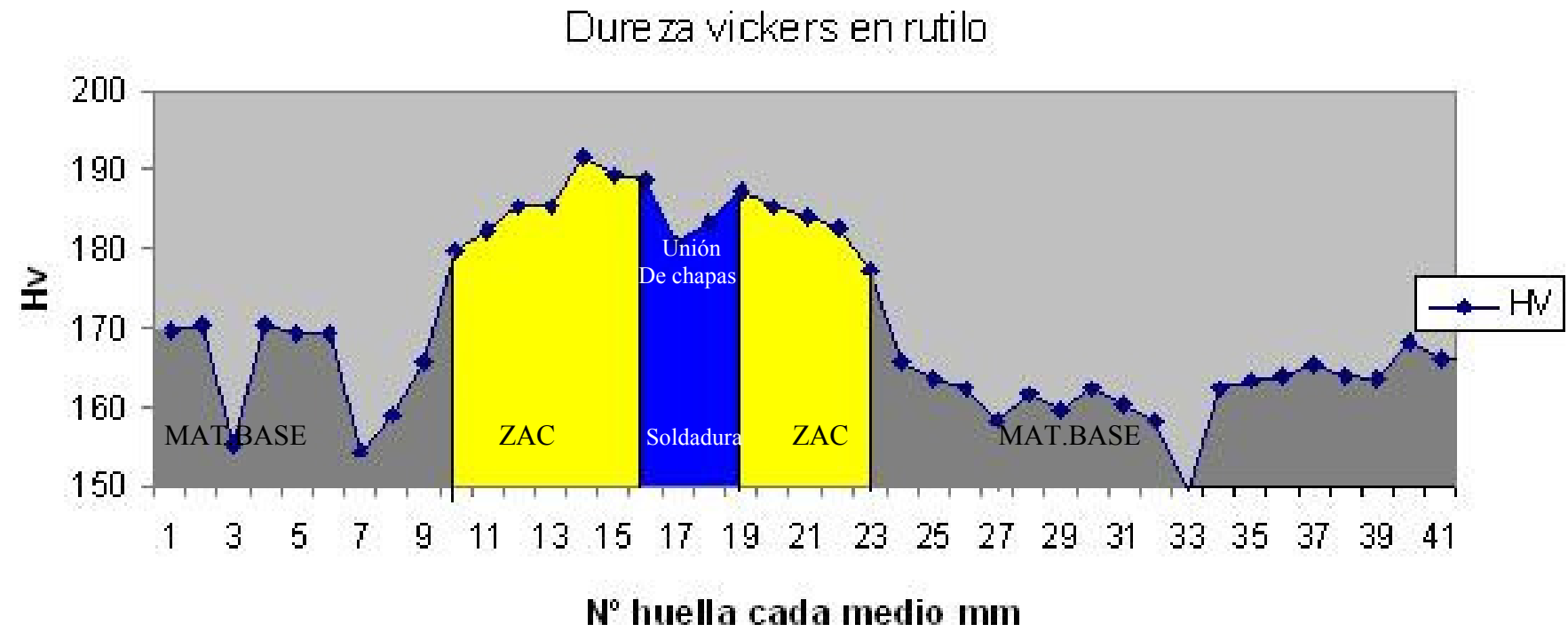
Mando del microdurómetro



I.15.4 Tabla de datos y gráfica con las diferentes soldaduras.

I.15.4.1 Rutilo

41	2305	2325	166,1
RUTILO			
Nº	I1	I2	HV
1	2264	2316	169,7
2	2334	2236	170,4
3	2414	2375	155,2
4	2270	2300	170,4
5	2293	2294	169,2
6	2290	2290	169,2
7	2400	2400	154,5
8	2332	2400	159
9	2317	2317	165,8
10	2246	2203	179,8
11	2208	2208	182,5
12	2206	2177	185,3
13	2206	2177	185,3
14	2155	2155	191,6
15	2167	2170	189,2
16	2160	2185	188,6
17	2232	2205	180,8
18	2217	2188	183,5
19	2160	2200	187,3
20	2192	2192	185,2
21	2192	2207	184
22	2207	2207	182,7
23	2240	2240	177,4
24	2317	2320	165,6
25	2312	2350	163,8
26	2312	2370	162,4
27	2370	2370	158,4
28	2342	2350	161,7
29	2370	2350	159,8
30	2342	2342	162,2
31	2370	2342	160,3
32	2370	2370	158,4
33	2473	2404	149,7
34	2320	2360	162,5
35	2352	2314	163,5
36	2330	2330	163,9
37	2320	2320	165,3
38	2320	2340	163,9
39	2323	2340	163,7
40	2300	2300	168,2



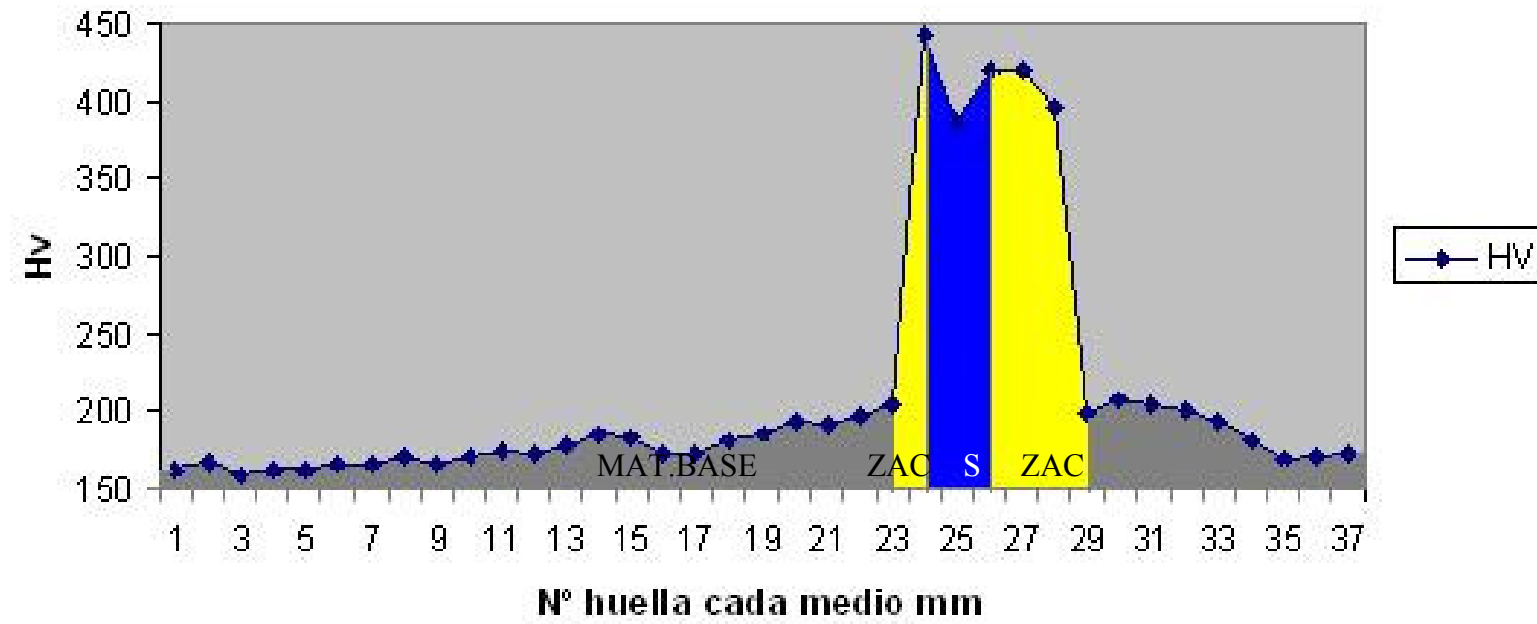
La dureza en la zona afectada por el calor (ZAC) es de 185 Hv aproximadamente (zona amarilla) superior a la dureza del material base (zona gris), ya que en la zona del ZAC se produce la Martensita aumentando así su dureza., se puede observar una disminución de la dureza en el punto central de la soldadura siendo éste donde se unen ambas chapas y se encuentra el material de aporte (zona azul).



I.15.4.2 Inoxidable.

INOXIDABLE			
Nº	I1	I2	HV
1	2320	2368	162
2	2320	2291	167,4
3	2390	2352	158,3
4	2340	2340	162,4
5	2340	2340	162,4
6	2320	2320	165,3
7	2320	2320	165,3
8	2250	2311	171,1
9	2283	2350	165,3
10	2283	2283	170,7
11	2238	2283	174,2
12	2238	2300	173
13	2240	2240	177,4
14	2190	2200	184,7
15	2200	2200	183,9
16	2258	2290	172,1
17	2240	2290	173,5
18	2230	2220	181,4
19	2190	2190	185,6
20	2190	2104	193,1
21	2180	2123	192,3
22	2123	2123	197,4
23	2100	2080	203,7
24	1434	1400	443,2
25	1515	1515	387,7
26	1445	1467	419,8
27	1445	1467	419,8
28	1500	1500	395,5
29	2107	2122	199
30	2073	2073	207
31	2100	2073	204,4
32	2100	2120	199,9
33	2185	2105	193,9
34	2219	2219	180,7
35	2293	2293	169,3
36	2293	2273	170,7
37	2273	2273	172,2

Dureza vickers Inoxidable

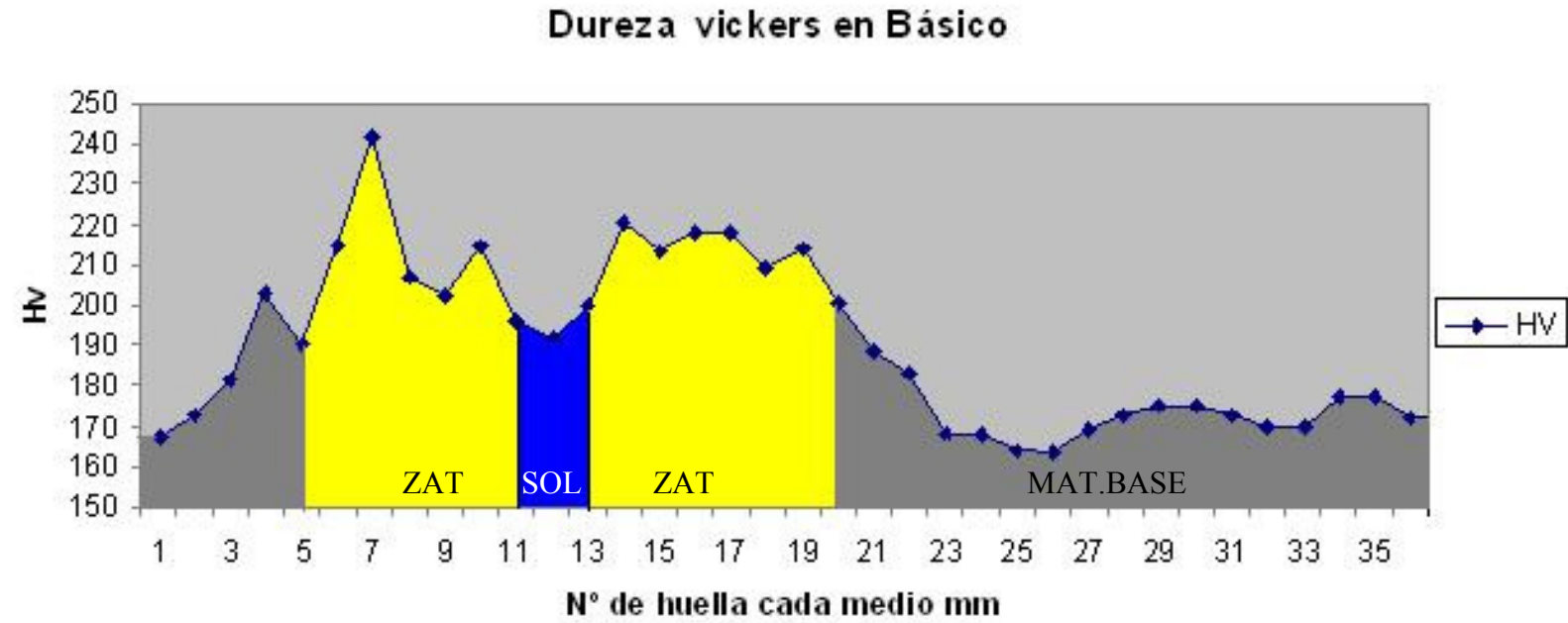


Se puede apreciar claramente que el acero inoxidable tiene mejores características que el acero st52 y que además en la zona del ZAC la dureza es muy elevada de hasta 420 Hv por la creación de carburo de cromo al revenirse por haber calentado dos veces ya que soldamos las placas por ambas caras. La creación del cromo en vez de Martensita es porque el acero inoxidable tiene una cantidad mínima de carbono a diferencia del acero.



I.15.4.3 Básico.

BÁSICO			
Nº	I1	I2	HV
1	2320	2292	167,4
2	2320	2221	172,6
3	2240	2190	181,4
4	2095	2095	202,8
5	2185	2140	190,3
6	2075	2000	214,4
7	1918	1918	241,9
8	2125	2023	206,9
9	2112	2080	202,6
10	2053	2020	214,6
11	2130	2130	196,2
12	2155	2155	191,6
13	2120	2100	199,9
14	1975	2045	220,3
15	2062	2020	213,5
16	2020	2020	218,1
17	2020	2020	218,1
18	2063	2063	209,1
19	2040	2040	213,8
20	2105	2105	200,8
21	2140	2205	188,6
22	2205	2205	183
23	2300	2300	168,2
24	2300	2300	168,2
25	2300	2360	163,9
26	2305	2360	163,6
27	2280	2310	169
28	2270	2270	172,7
29	2270	2240	175
30	2270	2240	175
31	2270	2270	172,7
32	2310	2270	169,7
33	2290	2290	169,7
34	2240	2240	177,4
35	2240	2240	177,4
36	2275	2275	171,9



En ésta soldadura se pueden apreciar picos de Alti-bajos producidos por las numerosas oquedades que se produjeron en ésta soldadura a causa de la humedad que contenía el electrodo mencionado anteriormente.

I.16. Micrografía.

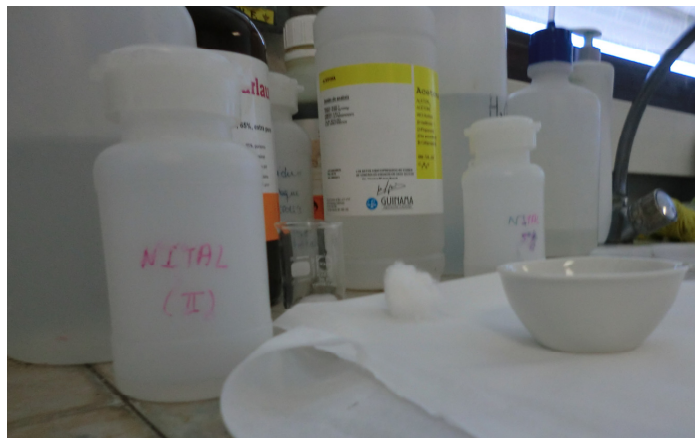
I.16.1 Ataque químico a las probetas.

Una vez las probetas han pasado por el proceso de pulido y se encuentran sin raya alguna se procede a atacarla mediante Nital II, se trata de una solución con:

- 98% de base etanol.
- 2% de ácido nítrico.

Es una fase muy delicada ya que hay que intentar que ataque a la capa superficial pero sin pasarse porque sino podría quemar la superficie sin que llegáramos a ver nada en el microscopio y debiendo volver a los pasos anteriores de pulido.

Se realizó mojando algodón en la base química y frotando en la probeta seguido de un baño de agua y jabón.



Con el Nital II conseguimos atacar el metal base y el acero que utilizaban los electrodos tanto el básico como el rutilo, pero no pudimos atacar la soldadura de acero inoxidable por ofrecer mayor resistencia al ataque químico que los demás y por lo tanto procedimos a atacar mediante Marble compuesto de :

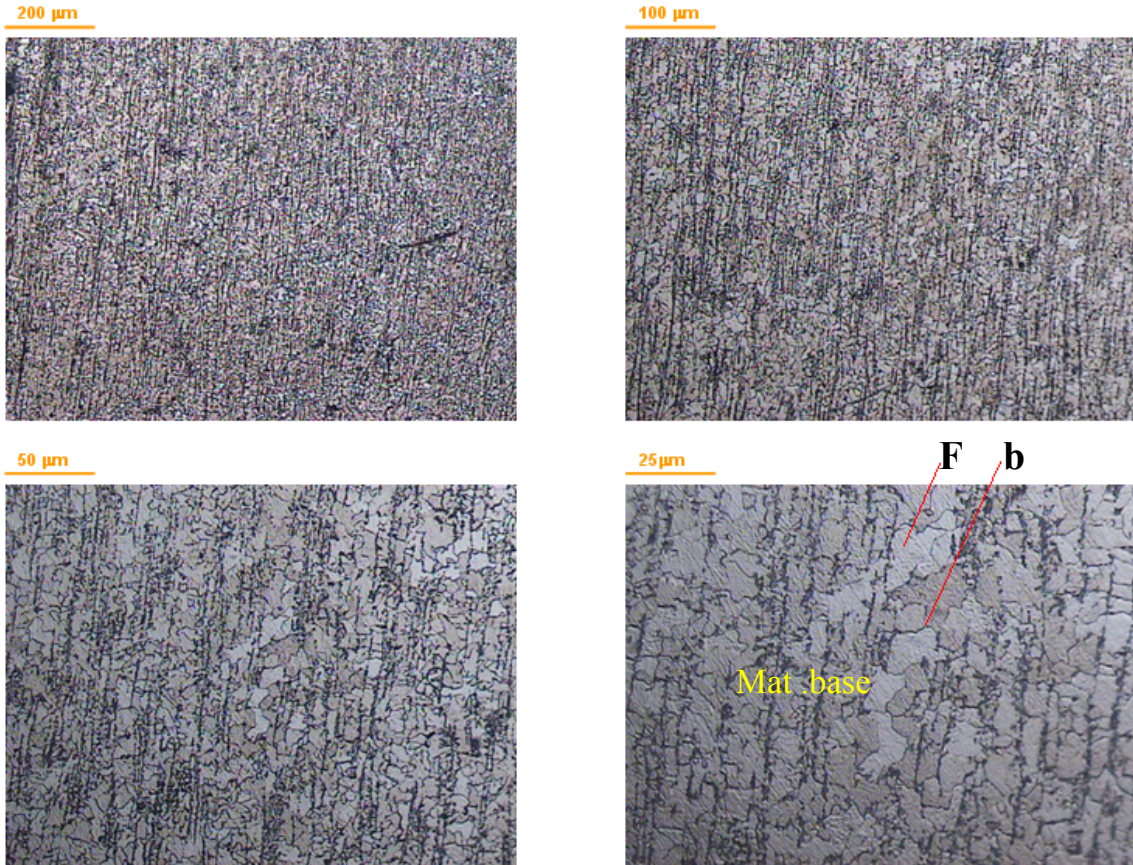
- 4 gramos de sulfato de cobre.
- 20 ml de Hcl (ácido clorhídrico).
- 20 ml de H₂O.



I.16.2 Micrografías de las probetas.

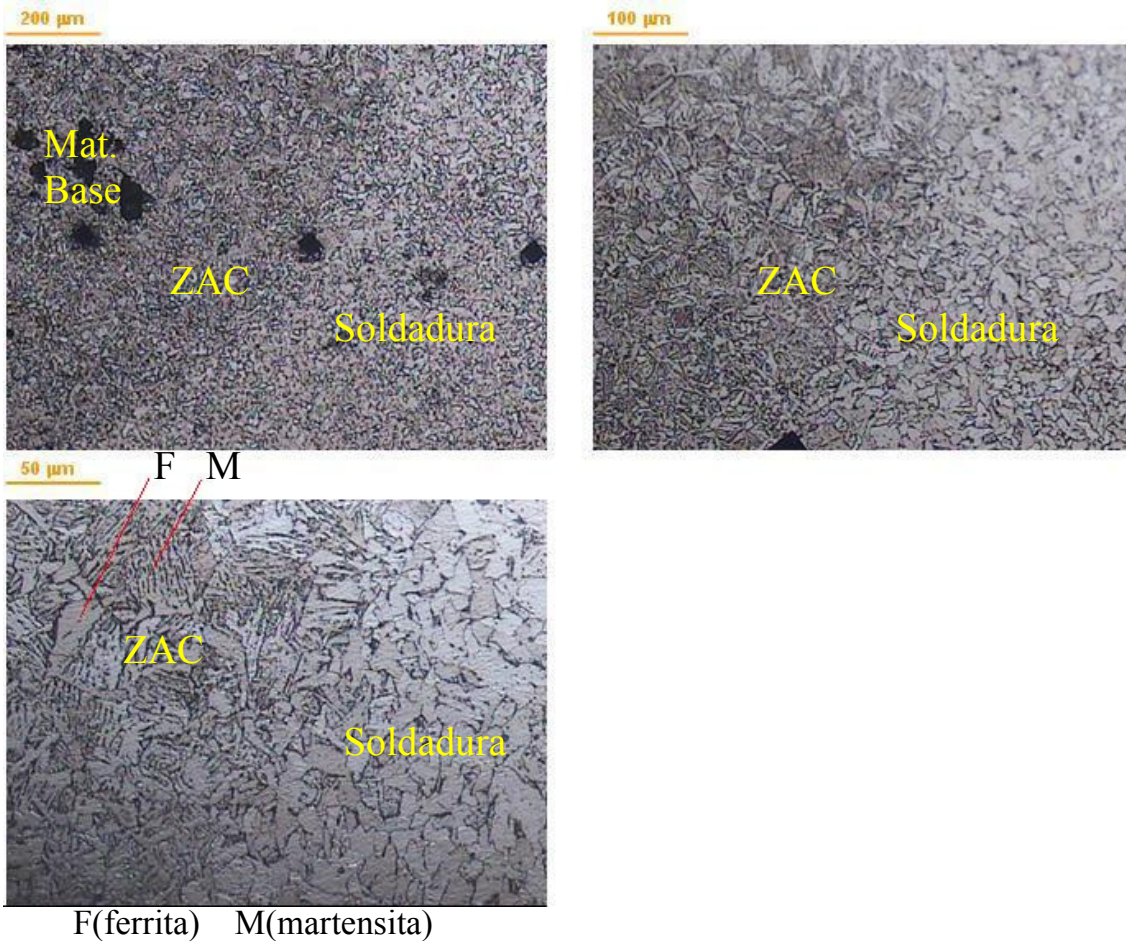
I.16.2.1 Probeta de soldadura con electrodo de RUTILO (E6013):

- **Zona de material base**



Material base a 400 diámetros de aumento, se puede apreciar que está compuesta por granos con el mismo tamaño tanto de largo como de alto aproximadamente 15 micras, estos granos son la **Ferrita (F)** y el filamento oscuro que los envuelve es la **el borde (b)** del grano. Según como nos vayamos acercando a la soldadura y por lo tanto según la zona este más o menos afectada por el calor se irán alargando como veremos a continuación.

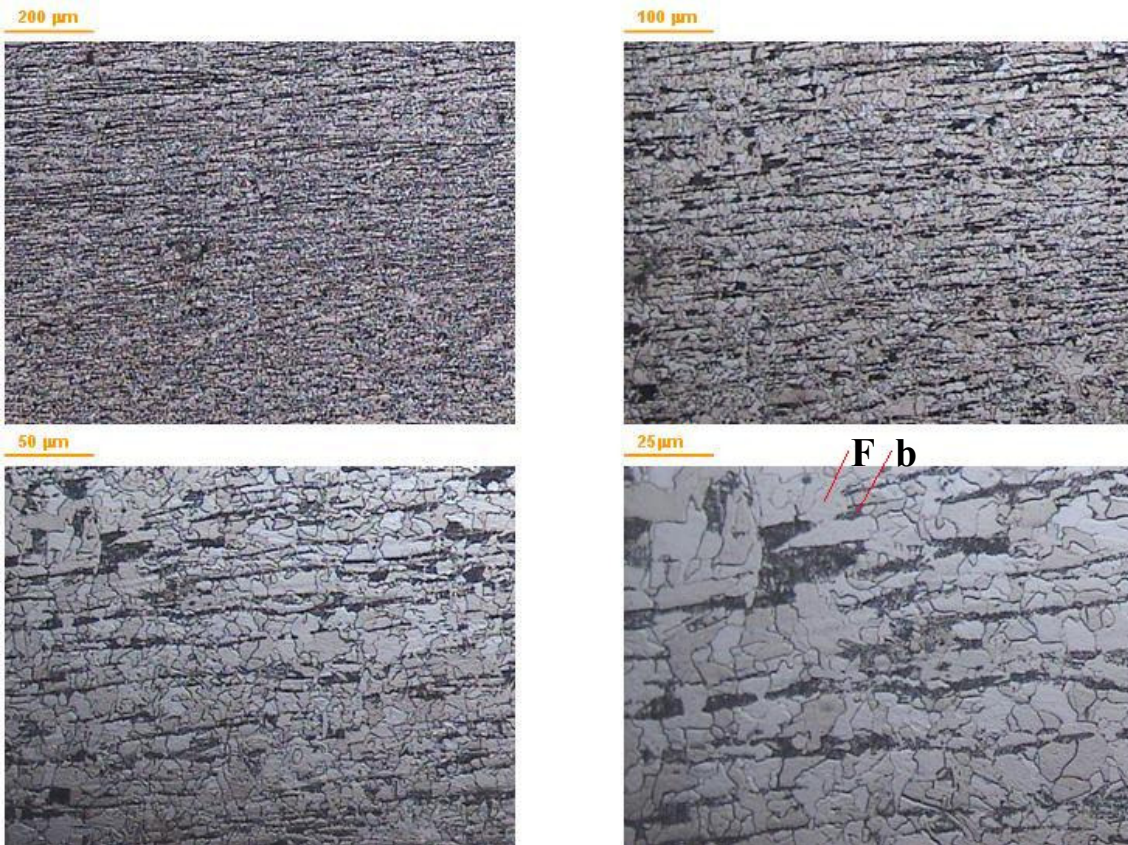
- **Zona de interfase entre el ZAC y la soldadura.**



Se puede observar en detalle la microestructura tanto de la zona afectada por el calor como de la zona del metal de aporte, en ambos casos la muestra esta compuesta por regiones alargadas de austenita en una matriz ferrítica.

I.16.2.2 Probeta de soldadura con electrodo de INOXIDABLE (INOXCODE308):

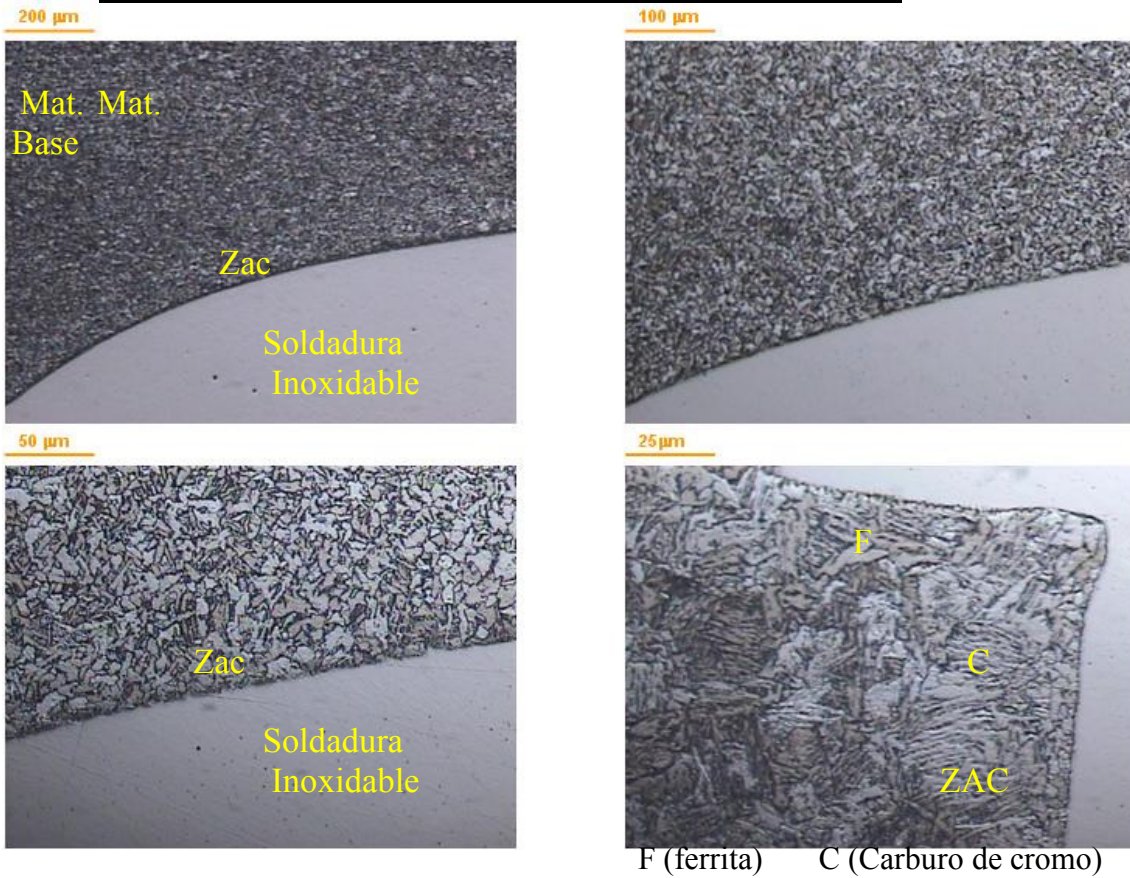
- Zona de material base



F (ferrita) b (borde de grano)

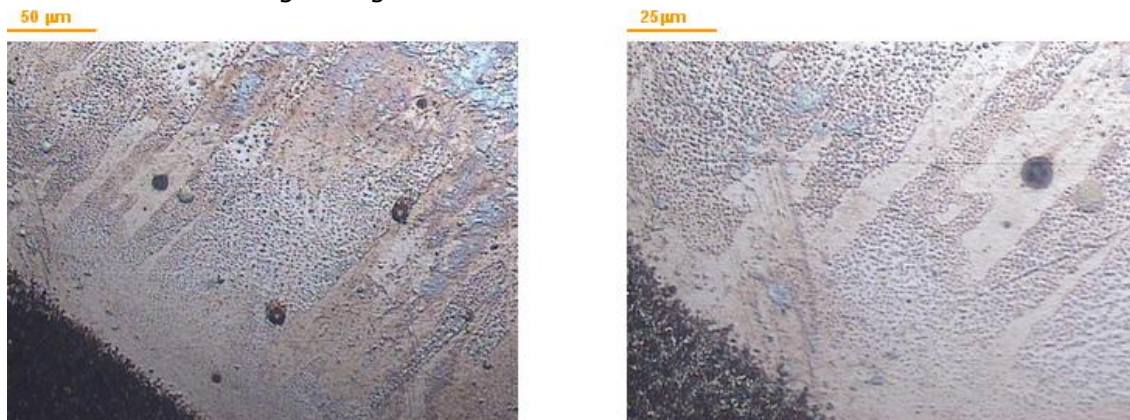
Misma estructura que las chapas soldadas con rutilo solo que los granos son más grande, presuntamente por haber recibido mayor calor en inoxidable, aproximadamente 20 micras.

• **Zona de interfase entre el ZAC y la soldadura.**



Se puede observar en detalle la microestructura que de la zona afectada por el calor está compuesta por regiones alargadas de Carburo de cromo en una matriz ferrítica, la microestructura de carburo de cromo es muy dura y frágil y de aquí que los resultados en vickers estuvieran tan elevados en ésta zona .

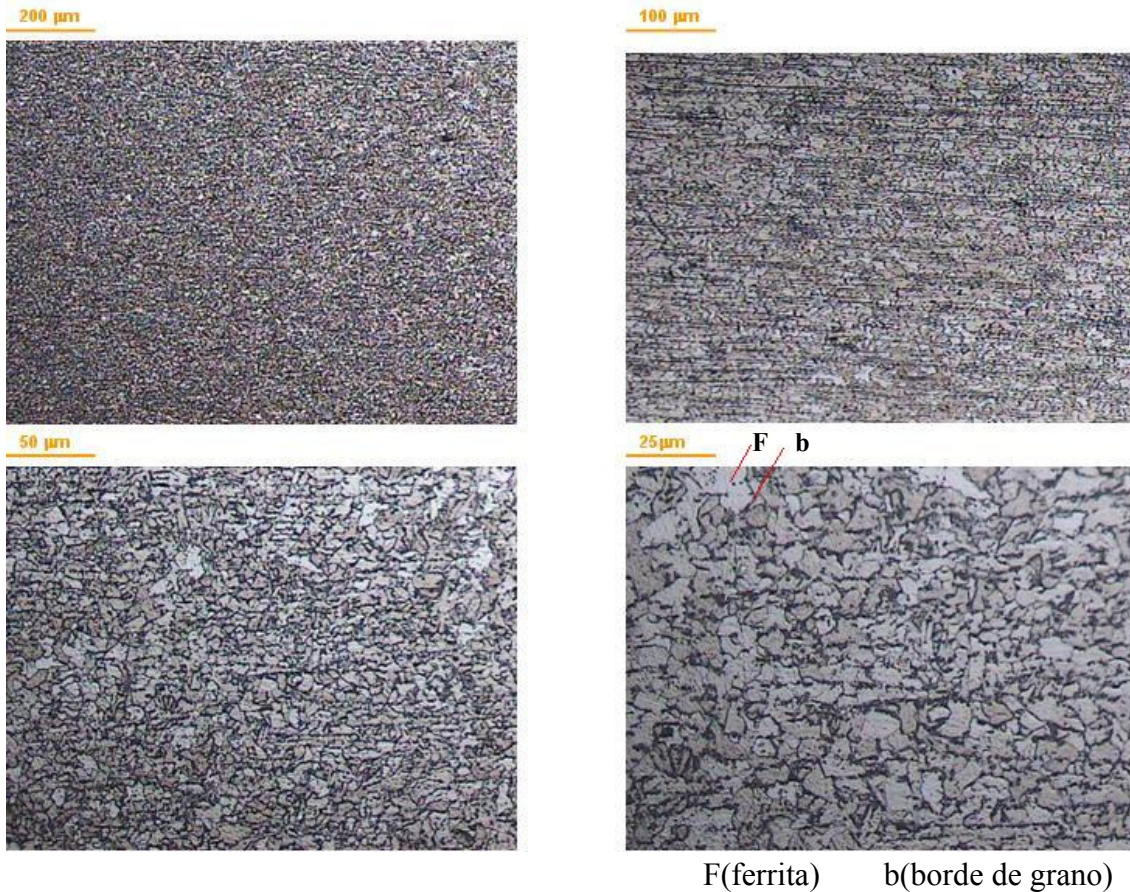
El carburo de cromo se forma en metales muy bajos en carbono, el electrodo inoxidable posee un porcentaje bajo en carbono . La soldadura como hemos comentado anteriormente al ser inoxidable no fue afectada por el Nital II y se procedió a atacarla con Marble, se puede observar a continuación en la figura siguiente.



Tras el ataque mediante Marble

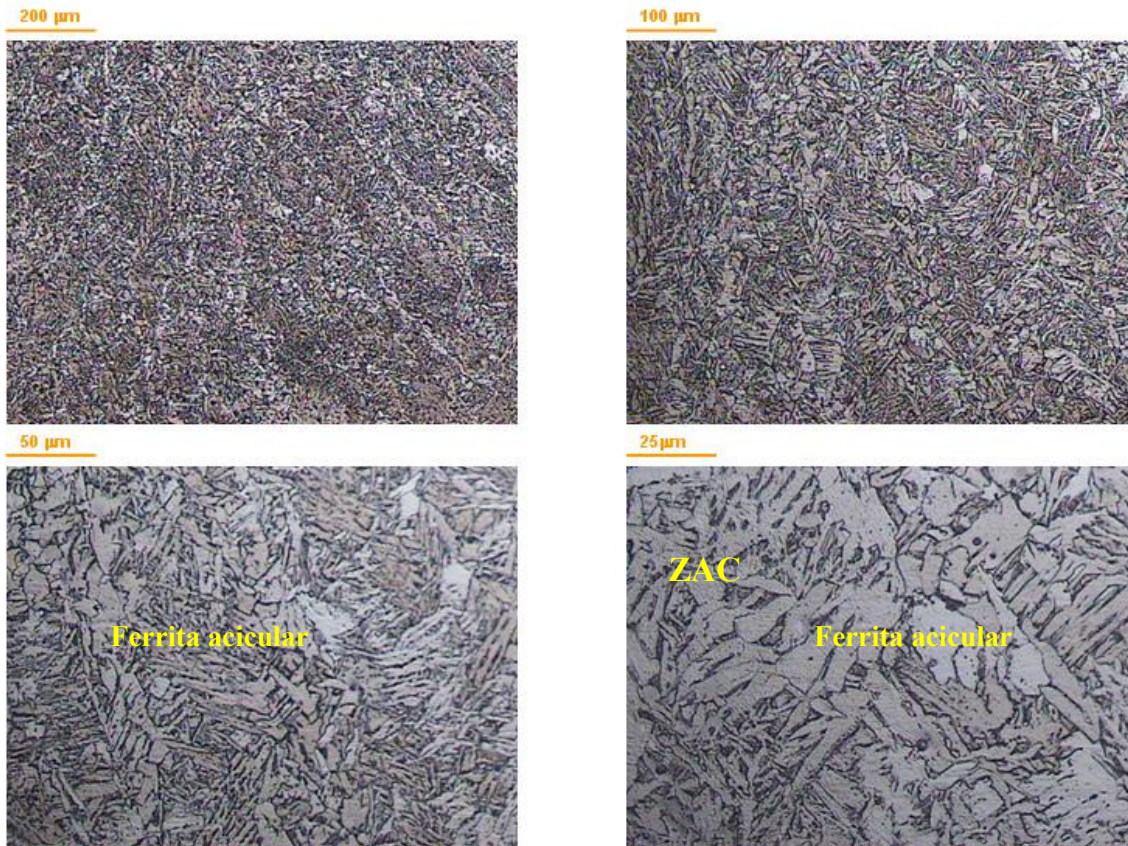
I.16.2.3 Probeta de soldadura con Básico (NWE850 E7016-H8):

- Zona de material base



Misma estructura que las chapas soldadas con rutilo y que en inoxidable solo que los granos son más pequeños, presuntamente por haber estado menos afectado por el calor, aproximadamente miden 10 micras.

- **Zona de afectada por el calor.**



La Ferrita acicular se forma en el interior de la original ,por nucleación directa de las inclusiones, dando como resultado una orientación al azar de agujas de ferrita cortas .

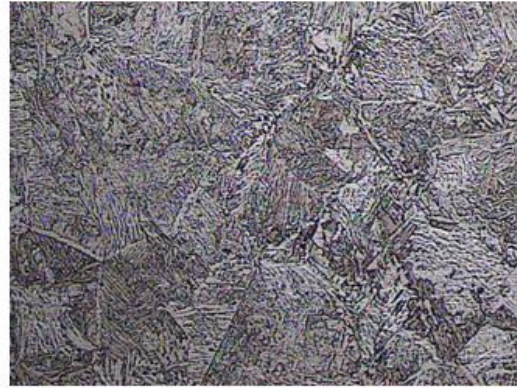
Esta microestructura es una ventaja sobre otros porque sus microestructuras de ordenamiento caótico aumentan su dureza

Soldadura.

200 μm



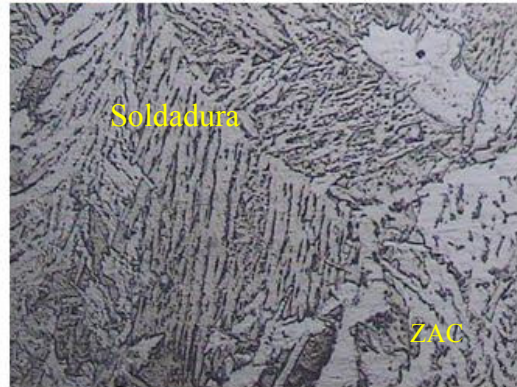
100 μm



50 μm



25 μm



Microestructura Martensítica en un red ferrítica (fase clara).



I.17. Conclusión.

La conclusión tras los estudios realizados en los ensayos anteriores citados es:

El tipo de electrodo más apropiado para soldar un acero S235J2W (ST52) tras los ensayos destructivos realizados conforme a las normas ISO y UNE, y observando las gráficas obtenidas de la Máquina de Ensayo Universal, es el **electrodo básico** NWE850 E7016-H8 ya que a pesar de los múltiples poros y defectos de la soldadura errónea por la humedad que contenía comentada en el proyecto, ha obtenido mejores comportamientos tanto en los ensayos a tracción (en lo referente a fuerza máxima), en los ensayos a flexión y en los ensayos de microdureza (Vickers) superado en éste último por la soldadura con acero inoxidable INOXCODE 308.

El mejor ensayo no destructivo para realizar una inspección completa es la **radiografía**, ya que el líquido penetrante es un ensayo que sólo detecta los defectos superficiales, en el ensayo de partículas magnéticas no se obtienen datos totalmente claros además de que no se puede utilizar para aceros inoxidables, y además el ensayo de ultrasonidos es para espesores mayores al utilizado en el presente proyecto.



I.18. Bibliografía

- ***“Manual del soldador”***

Germán Hernández Riesco, Ed. Cesol

- ***“Tecnología de materiales”***

Carlos Ferrer Giménez y Vicente Amigó Borrás, Ed UPV

- ***“Métodos de ensayos no destructivos”***

Francisco Ramírez Gómez etc... Instituto nacional de técnica aerospacial

- ***“Ensayos mecánicos de los materiales metálicos”***

Domenico Lucchesi, Ed Labor, s.a

- ***“Metalografía”***

E.Heyn-O.Bauer, Ed Labor .sa

- ***“Las soldaduras”***

D. Seferian, Ed.Urmo, s.a.

- ***“Ensayo de materiales y control de defectos en la industria del metal”***

H.studemann, Ed Urmo, s.a

- ***“Ensayo de materiales y control de defectos en la industria del metal”***

H.studemann, Ed Urmo, s.a



AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al director de este Proyecto Fin de Grado, Manuel Pascual Guillamón por su gran dedicación y compromiso durante la ejecución de este proyecto.

También quiero agradecer la colaboración de todos y cada uno de los técnicos del laboratorio del Departamento de Investigaciones de los Materiales (DIMM), por su gran ayuda.

A su vez quiero agradecer a mi familia, a mi novia así como a los compañeros de la universidad por el gran apoyo que me han aportado durante la carrera.