

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA APLICADA



**Comparación de distintos métodos de
soldadura en la recuperación de partes de
válvulas esclusas sometidas a desgaste en
servicio**

PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL

Autor: Conejeros Miguel

Director Académico: Zalazar Monica

CARRERA: INGENIERIA MECANICA

Lugar: Neuquén

Año: 2019

**COMPARACIÓN DE DISTINTOS MÉTODOS DE SOLDADURA
EN LA RECUPERACIÓN DE PARTES DE VÁLVULAS ESCLUSAS
SOMETIDAS A DESGASTE EN SERVICIO.**

RESUMEN

Las válvulas esclusas son ampliamente utilizadas en la industria del petróleo y gas por su fácil operatividad y su alto desempeño. No obstante dichas válvulas fallan en servicio y deben ser recuperadas para poder mantener los pozos activos.

El tipo de daño encontrado exige una recuperación del equipo sobre los componentes de la válvula los cuales son de acero inoxidable martensítico denominado AISI 410. Este tipo de recuperación se denomina recargue y para este caso se aplica mediante un proceso de soldadura. Esta soldadura se distingue de la soldadura de unión ya que su fin último es brindarle propiedades superficiales al componente para su vida en servicio.

En este trabajo se estudiaron la influencia del metal de aporte y del procedimiento de soldadura sobre las propiedades finales del recargue, mediante un proceso de arco eléctrico semiautomático con alambre tubular GMAW-C y el proceso de arco eléctrico manual con electrodo no consumible GTAW. Para obtener resultados que ayuden a concluir este trabajo se estudiaron: efecto de la dilución de los depósitos estudiados, se caracterizó la microestructura mediante microscopía óptica y electrónica, EDS (Espectrometría de emisión dispersiva) y mediciones de microdureza.

Cada recargue se realizó sobre fragmentos de válvulas originales. Esto permitió observar el comportamiento real del material soldado y el aporte. Luego mediante comparación se estableció una posible solución lo cual es objetivo de este trabajo.

Palabras claves:

Recargue resistente al desgaste, microestructura, recuperación de válvulas, procesos GMAW-C/GTAW, acero AISI 410.

**COMPARISON OF DIFFERENT WELDING METHODS IN THE
RECOVERY OF PARTS OF GATE VALVES SUBJECTED TO
WEAR IN SERVICE.**

ABSTRAC

Gate valves are widely used in the Oil and Gas industry due to their easy operability and high performance. However, gate valves fail in service and must be repaired in order to keep the wells working.

The kind of damage found requires a recovery from the unit about the components of the valve, which are made of martensitic stainless steel, called AISI 410. This kind of recovery is called hardfacing and for this case is applied through a solder process. This solder differs from join weld, as its aim is to provide surface properties for the component for its service life.

In this work, it has been studied the influence of the weld metal and welding process on the final properties of the hardfacing, through a process of semiautomatic electric arc with tubular wire GMAW-C and the process of manual electric arc with not consumable electrode GTAW. In order to obtain certain results that contribute to the conclusion of this work, some aspects have been studied: the effect of the dilution of the deposits studied; it has been characterized the microstructure through optical and electron microscopy; EDS (Energy dispersive detector), and microhardness testing.

Each hardfacing was done over original fragments of valves. This allowed to observe the actual behavior of the weld material and the weld metal. Then, through comparison it was established a possible solution which is the aim of this work.

Keywords:

Hardfacing wear resistant, microstructure, valve recovery, process GMAW-C/GTAW, stainless steel AISI 410.

Agradecimientos

“Jehová es mi pastor nada me faltara” ... La biblia

Agradezco a Dios por sobre todo, porque con Él nunca me faltó nada.

A mis padres, Miguel Conejeros y Eva Salgado por su arduo trabajo, paciencia y confianza en mí.

A mis hermanos que siempre me apoyaron.

A mi familia pasada, presente y futura porque son la razón de este esfuerzo.

A mis amigos y compañeros de vida que en mayor o menor medida alentaron este recorrido.

A Luis “El Chapu” Bernales por sus infinitos mates y acompañamiento.

A todos mis amigos formados dentro de la facultad sin discriminar carrera e ideología, en especial al grupo de “los pibes”.

PROYECTO INTEGRADOR- Comparación de distintos métodos de soldadura en la recuperación de partes de válvulas esclusas sometidas a desgaste en servicio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

Quiero agradecer a las siguientes personas pertenecientes a diferentes empresas e instituciones que apoyaron y colaboraron de alguna forma en la realización este trabajo.

A la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue por darme la posibilidad de estudiar.

A Monica Zalazar por guiarme en este trabajo.

A **Esab Argentina** por proveer los consumibles utilizados.

A Javier Kaiser por realizar las soldaduras.

A **Tornería Industrial** por proveer las esclusas utilizadas para las pruebas.

A Contreras Federico y Martin Guillermo por ayudarme con este trabajo.

INDICE

Contenido

Glosario	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO 1	1
Introducción	1
CAPITULO 2	3
Revisión de la literatura	3
2.1. Resumen Informe LMT 950	3
2.1.1. Inspección Visual	3
2.1.2. Micrografía	4
2.1.3. Análisis químico.....	5
2.1.4. Medición de microdureza	5
2.1.5. Conclusión del informe LMT 950.....	6
2.2 Definición de válvula	6
2.2.1. Válvulas de regulación.....	6
2.2.2 Válvula esclusa	9
2.2.3 Diseño de las válvulas esclusas	10
2.3. Material utilizado en la esclusa y asientos.....	14
2.3.1. Acero inoxidable.....	14
2.3.2. Acero inoxidable martensítico	15
2.4. Métodos de recubrimiento	17
2.4.1. Clasificación de los recubrimientos.....	18
2.4.2. Recubrimientos metálicos.....	18
2.4.3. Proyección térmica de alta velocidad, HVOF	21
2.5. Recargue por soldadura	23
2.5.1. Recargue.....	23
2.5.2. Materiales utilizados en la soldadura de recargue	25
2.5.3. Transformación Martensítica	26
2.6. Proceso de soldadura utilizados en el recargue.....	28
2.6.1. Soldadura por arco con alambre tubular con relleno metálico, GMAW-C	28
2.6.2. Soldadura por arco, GTAW.....	31
2.7. Dilución de la soldadura para ambos procesos.....	35
2.7.1. Variables de soldadura que afectan la dilución para en ambos procesos	35
CAPITULO 3	39
Desarrollo experimental.....	39

PROYECTO INTEGRADOR- Comparación de distintos métodos de soldadura en la recuperación de partes de válvulas esclusas sometidas a desgaste en servicio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

3.1. Realización de la soldadura	39
3.1.1. Consumibles utilizados en los procesos	39
3.1.2. Material base utilizado	41
3.1.3 Gases de protección	43
3.1.4. Equipos y dispositivos utilizados	43
3.1.5. Equipo de soldadura utilizado	44
3.1.6. Secuencia de soldadura.....	45
3.1.7. Identificación de los cupones soldados.....	45
3.1.8. Parámetros utilizados y definición del aporte térmico.....	45
3.2. END mediante líquidos penetrantes	46
3.3. Extracción de muestras	47
3.3.1. Probetas soldadas	47
3.3.2. Extracción de probetas de pasada simple.....	48
3.3.3. Consumibles	48
3.4. Composición química	48
3.4.1. Composición química de la pasada simple.....	48
3.4.1. Composición química de los cupones	48
3.5 Caracterización microestructural.....	48
3.5.1. Macrografía y microscopía óptica	48
3.5.2. Medición de dilución.....	50
3.5.3. Medición de las crestas del depósito.....	50
3.5.4. Microscopia electrónica de barrido	50
3.5.5. Barridos de microdureza	51
CAPITULO 4	52
4.1. Caracterización del metal base	52
4.2. Parámetros registrados de la soldadura	53
4.3. Inspección visual de la soldadura de los cupones.....	54
4.3.1. END, mediante líquidos penetrantes	56
4.4. Inspección visual de la soldadura de pasada simple.....	57
4.5. Resultados de las soldaduras de pasada simple	58
4.5.1. Macrografía y cálculo de dilución	58
4.5.3. Microestructura de la soldadura de pasada simple.....	60
4.5.4. Caracterización de las probetas por SEM.....	62
4.6. Resultados de la soldadura del cupón GMAW-C	63
4.6.1. Macrografía del cupón soldado	63

PROYECTO INTEGRADOR- Comparación de distintos métodos de soldadura en la recuperación de partes de válvulas esclusas sometidas a desgaste en servicio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

4.6.2. Caracterización microestructural	65
4.6.3. Caracterización por SEM	67
4.6.4. Barridos de microdureza	69
4.7. Resultados de la soldadura del cupón GTAW	71
4.7.1. Macrografía del cupón soldado	71
4.7.2. Caracterización microestructural	73
4.7.3. Caracterización por SEM	74
4.7.4. Barridos de microdureza	75
Capítulo 5	78
5.1. Resultados y conclusiones.....	78
Capítulo 6	80
Tareas a futuro	80
Bibliografía	81
Anexo 1.....	83
Informe químico LMT 950 [2].....	83
Anexo 2.....	85
Informe químico metal base	85
Anexo 3.....	86
Cálculo de dilución en soldadura de pasada simple	86

Glosario

AISI:	American Iron and Steel Institute
Ar:	Argón
C:	Carbón
Co:	Cobalto
CO ₂ :	Dióxido de carbono
Cr:	Cromo
EDS:	Espectrometría de emisión dispersiva
END:	Ensayos no destructivos
Fe:	Hierro
GMAW:	Gas metal arc welding: Soldadura por arco con alambre continuo
GMAW-C:	Gas metal arc welding cored: Soldadura por arco con alambre tubular con relleno metálico
GMH:	Cupón soldado con proceso GMAW-C y alto aporte térmico
GML:	Cupón soldado con proceso GMAW-C y bajo aporte térmico
GT:	Cupón soldado con proceso GTAW
GTAW:	Gas tungsten arc welding: Soldadura por arco con electrodo de tungsteno no consumible
HV:	Microdureza Vickers
HVOF:	High velocity oxyfuel. Proyección térmica de alta velocidad
I:	Corriente de soldadura [Ampers]
Mf:	Martensite finish; Final de la transformación martenista
MO:	Microscopía óptica
Mo:	Molibdeno
Mo ₂ C:	Carburo de molibdeno
Ms:	Martensite start; inicio de la transformación martensita

OES:	Espectrometría de emisión por chispa
Q:	Aporte térmico [KJ/mm]
SEM:	Microscopio electrónico barrido
SEM:	Microscopio electrónico de barrido
TIG:	Tungsten inert gas, en español: soldadura con tungsteno y gas inerte
T°:	Temperatura [°C]
V:	Vanadio
V _a :	Tensión de arco [Voltios]
V _s :	Velocidad de soldadura [mm/seg]
W:	Tungsteno
W ₂ C:	Carburo de tungsteno
WC:	Carburo de tungsteno
ZAC:	Zona afectada por el calor
Zn:	Zinc

CAPITULO 1

Introducción

En la industria del petróleo se utilizan válvulas esclusas que son ampliamente solicitadas por sus prestaciones en este campo dada sus características de diseño y su fácil operatividad. Estas válvulas se utilizan en la apertura y cierre de los circuitos de alimentación en los pozos donde se fractura el suelo y la roca para la extracción de gas y petróleo, técnica conocida como fractura hidráulica o “fracking”, en inglés. [1]

Debido a la alta sollicitación en servicio se produce un daño localizado en el interior de válvula dejándola fuera de servicio. Este problema presenta altos costos en la recuperación de la misma para que se reincorpore al circuito. Sin embargo el circuito hidráulico no puede detenerse y es por ello que se debe reparar los componentes dañados de la válvula y así mantener activos los pozos. Los daños detectados en los componentes de la válvula esclusa se dan sobre el cuerpo de la válvula conocida como esclusa propiamente dicho o “gate” en inglés y sobre los anillos llamados sellos o “seat” en inglés. Ambos componentes de acero inoxidable martensítico del tipo AISI 410. Este material posee una combinación que le otorga resistencia mecánica a los componentes y protección contra la corrosión.

El tipo de falla encontrado se corresponde con un desgaste abrasivo por lo cual siempre existe una pérdida de material en los componentes. La pérdida de material exige que este sea rellenado, surgiendo así la recuperación por medio de un proceso de soldadura. [2]

La soldadura de recargue es un método que ha ido en crecimiento en la recuperación de superficies sometidas a desgaste severo, corrosión u oxidación. Con el tiempo esta técnica se ha aplicado y desarrollado tecnológicamente en la reparación y extensión de vida útil como así también en la fabricación de nuevos componentes. [3]

En este sentido crece el desarrollo de procesos de soldadura y de nuevos consumibles aplicados a recargues duros siendo optimizados y poniendo a punto cada procedimiento. Algunos autores estudian las variables que puede presentar gran relevancia sobre las condiciones finales del recargue, como pueden ser precalentamiento o temperatura postsoldadura, aporte térmico y protección gaseosa. [4]

En este trabajo se realizaron los recargues de soldaduras sobre fragmentos de válvulas originales, este proceso tuvo como primer fin recuperar el espesor perdido por desgaste y se estudiaron las características microestructurales del metal de soldadura depositado. Se evaluó la forma de los depósitos, se realizó un estudio de dilución, se realizó un análisis químico semicuantitativo, se caracterizó la microestructura mediante microscopía óptica y electrónica de barrido, EDS (Espectrometría de emisión dispersiva) y mediciones de microdureza.

El recargue se aplicó mediante soldadura por arco eléctrico semiautomático con alambre tubular GMAW-C y el proceso de arco eléctrico con electrodo no consumible GTAW en forma manual.

El objetivo será comparar el desempeño de los metales de aporte que fueron recomendados para la recuperación de válvulas, contra la válvula original sin recuperación.

CAPITULO 2

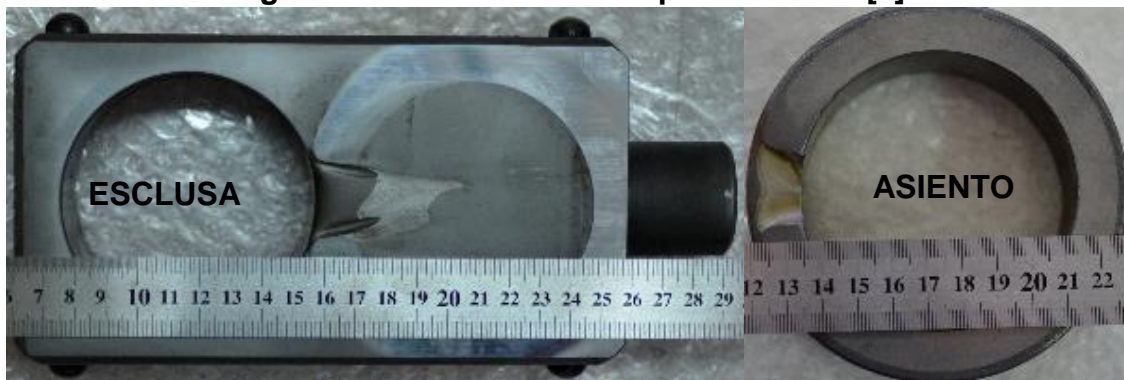
Revisión de la literatura

2.1. Resumen Informe LMT 950

Se tiene como antecedente el informe técnico LMT 950.

En el laboratorio de metalografía de la Universidad Nacional del Comahue se recibieron dos piezas correspondientes a un asiento y una esclusa de una válvula esclusa propiamente dicha como se muestra en la **Figura 2.1**. Estas partes corresponden a una válvula esclusa utilizada para servicio en pozos petroleros que operan con “fracking”.

Figura 2.1. Piezas recibidas para estudio. [2]

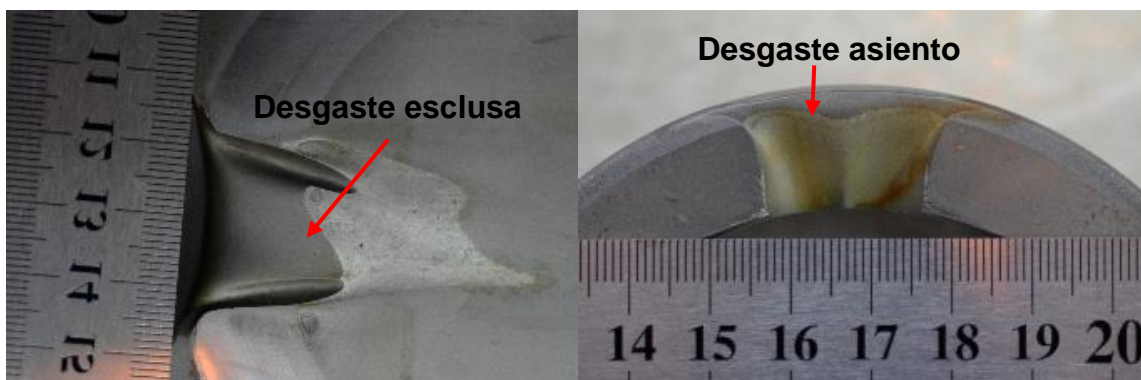


De los estudios realizados se determinaron los siguientes resultados.

2.1.1. Inspección Visual

En la **Figura 2.2** se observa la zona desgastada y por lo tanto la pérdida de material en cada componente.

Figura 2.2. Zona desgastada en cada pieza. [2]



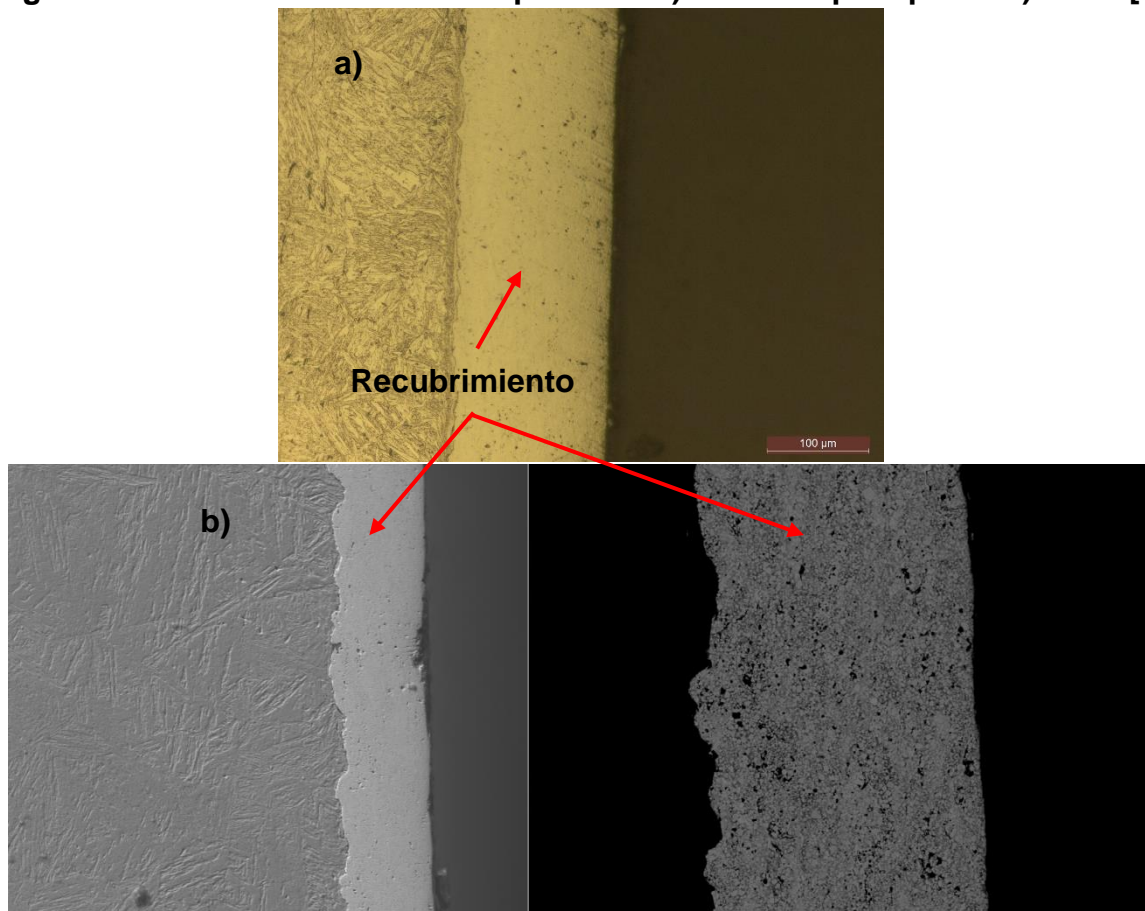
2.1.2. Micrografía

Se observó que ambas piezas poseían una microestructura de martensita como se muestra en la **Figura 2.3** y un recubrimiento que se muestra en la **Figura 2.4**, este recubrimiento se corresponde con el procedimiento llamado “spray térmico” y definido como HVOF por sus siglas en inglés High-velocity oxyfuel, o protección térmica de alta velocidad, este recubrimiento fue también analizado por medio de SEM (microscopio electrónico de barrido) y analizado químicamente por EDS.

Figura 2.3. Microestructura martensítica. [2]



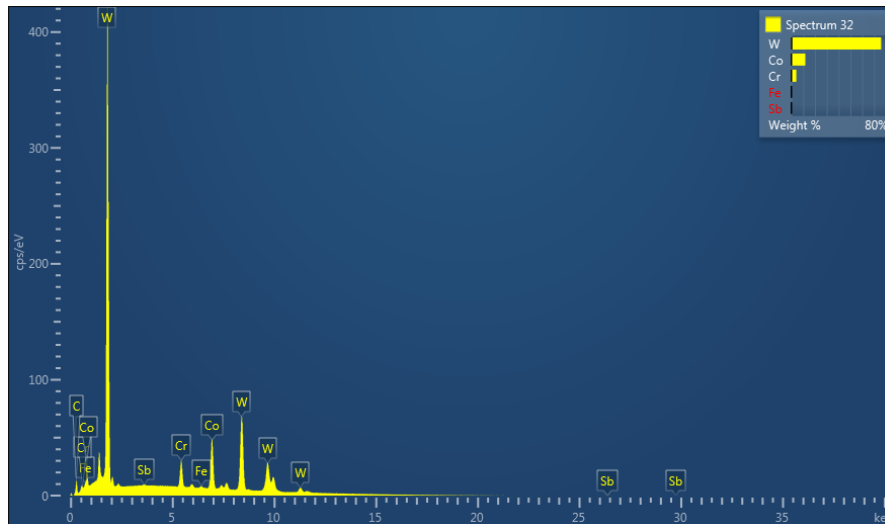
Figura 2.4. Recubrimiento duro superficial. a) Microscopio óptico. b) SEM. [2]



2.1.3. Análisis químico

Del análisis químico realizado que se muestra en el **Anexo 1**, se determinó que el metal base se corresponde con un acero inoxidable martensítico del tipo AISI 410. Y se determinó por medio de EDS que en la composición química del recubrimiento es predominante el tungsteno como se muestra en la **Figura 2.5** correspondiente a una gráfica obtenida por medio de EDS, asumiendo que el recubrimiento se trata de WC.

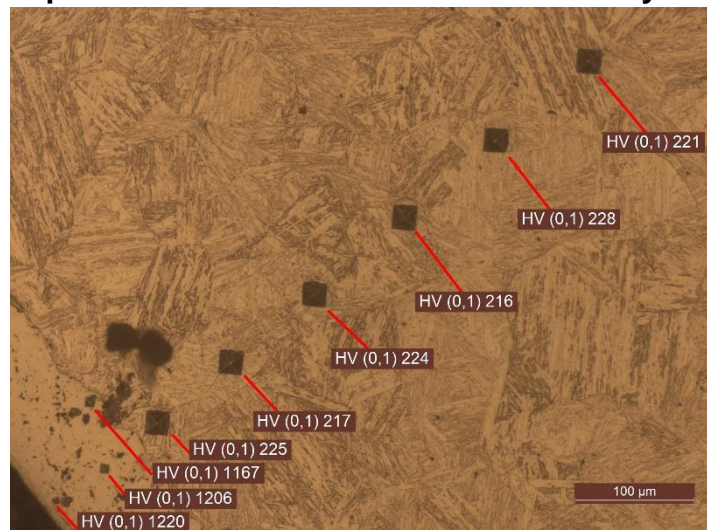
Figura 2.5. EDS sobre el recubrimiento.



2.1.4. Medición de microdureza

El metal base presento una dureza promedio de 225 HV_{0,1} y en el recubrimiento una dureza de 1170 HV_{0,1} aproximadamente. En la **Figura 2.6** se muestra una imagen con las improntas de microdureza realizadas.

Figura 2.6. Improntas realizadas sobre el metal base y recubrimiento.



2.1.5. Conclusión del informe LMT 950

Dado que existe pérdida de material sobre estos elementos será necesario recuperar dichos componentes por medio de soldadura. Como también se requiere condiciones de dureza muy elevadas se buscará que dicha recuperación también otorgue propiedades mecánicas que intentarán devolver las condiciones iniciales a la esclusa y el asiento. Este tipo de trabajo se denomina Hardfacing en inglés o recargue duro.

2.2 Definición de válvula

Una válvula consiste básicamente en un cuerpo principal dentro del cual van alojados el obturador y los asientos, éstos son los elementos que definen el paso de fluido. El obturador consiste en un mecanismo móvil que varía su posición con respecto a los asientos, siendo el caudal de paso directamente proporcional a la superficie libre existente entre el émbolo y el asiento. Cuando la válvula esté cerrada se deberá acoplar perfectamente sobre el asiento para proporcionar un cierre hermético. El movimiento del obturador se comanda por un vástago al que es solidario, siendo este, el elemento físico sobre el que se actúa para controlar la posición del obturador. Según sea el diseño de la válvula el movimiento podrá ser lineal o rotativo.

Es importante decir que el cuerpo de la válvula debe ser de un material con propiedades mecánicas suficientes, capaz de resistir la presión máxima posible en la línea y a su vez garantizar la hermeticidad del dispositivo.

De acuerdo con el diseño del cuerpo de la válvula y al movimiento del obturador se pueden clasificar diferentes tipos de válvulas. Sin embargo una clasificación más importante es aquella que caracteriza las válvulas según la función que van a desempeñar en el sistema. Con este criterio se tienen los siguientes tipos de válvulas:

- Válvulas de regulación.
- Válvulas de seguridad.
- Válvulas de retención.

2.2.1. Válvulas de regulación

Este tipo de válvulas se utilizan para realizar control de caudal o presión. El mecanismo básico de funcionamiento de todo el conjunto es la regulación del caudal de paso, y se logra controlando la posición relativa del obturador respecto de los asientos. La forma y mecanismo mediante el cual se acciona el movimiento del obturador definirá los distintos tipos de válvulas existentes.

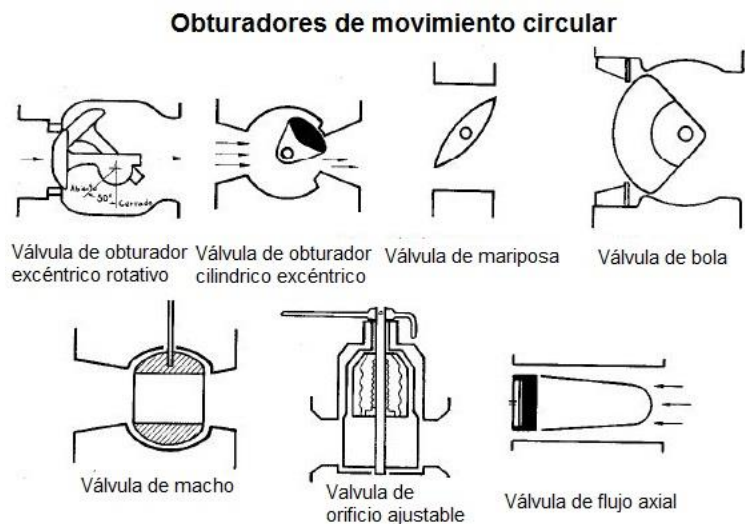
Dentro de todo el grupo de válvulas de regulación encontraremos diversos tipos que dependen de su diseño constructivo. Las características de los asientos, obturador y su movimiento determinan las aplicaciones en servicios para cada tipo de válvula. Dentro de los movimientos permitidos por el obturador podemos encontrar dos tipos

generales como se muestran en la **Figura 2.7** y **2.8**, de cada uno de estos se desprenden diferentes modelos de válvulas.

Obturador de movimiento Circular:

- Obturador excéntrica rotativa
- Obturador cilíndrica excéntrica
- De macho
- Tipo mariposa
- Orificio ajustable
- Flujo axial
- Válvula de bola

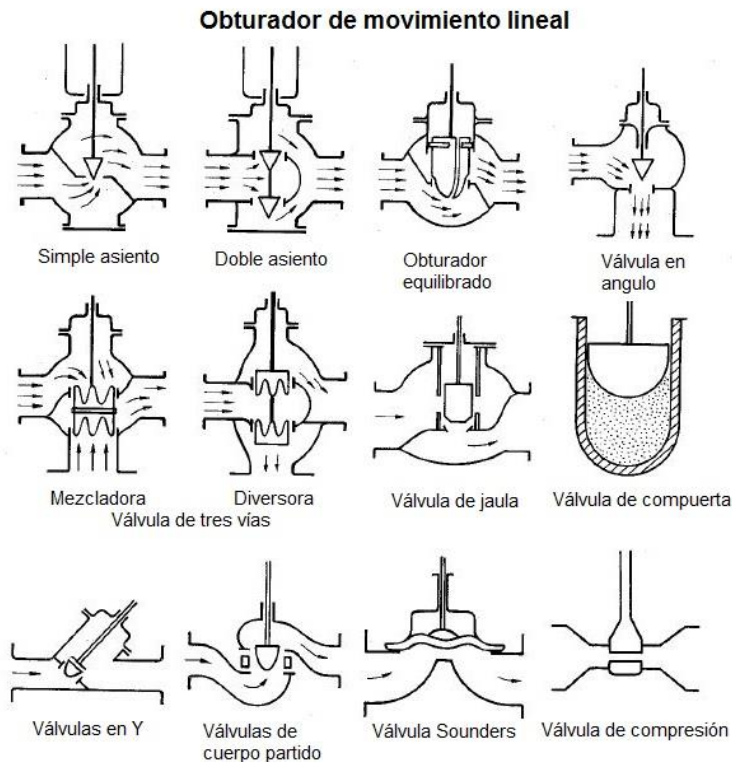
Figura 2.7. Modelos de válvula de movimiento circular. [5]



Obturador de movimiento lineal:

- Simple asiento
- Doble asiento
- Obturador equilibrado
- En ángulo
- Mezcladora de tres vías
- Diversora de tres vías
- De jaula
- Válvula de compuerta o esclusa
- De cuerpo partido
- En Y
- Válvula Sounders
- De compresión

Figura 2.8. Modelos de válvula de movimiento lineal. [5]



Otra característica muy importante en una válvula de regulación es el modo de accionamiento. Se presentan dos tipos de válvulas:

- Válvulas manuales
- Válvulas automáticas

2.2.1.1 Válvulas manuales

Este tipo de válvulas son las que se estudiaron en este trabajo. Las válvulas manuales exigen la acción directa de un usuario para efectuar la regulación. El obturador se mueve por la transmisión de fuerza que ejerce el usuario. Existen diversos mecanismos de transmisión de la fuerza, como pueden ser reductores, trenes de engranajes u otros, por medio de estos se transforma la acción humana en el movimiento del obturador.

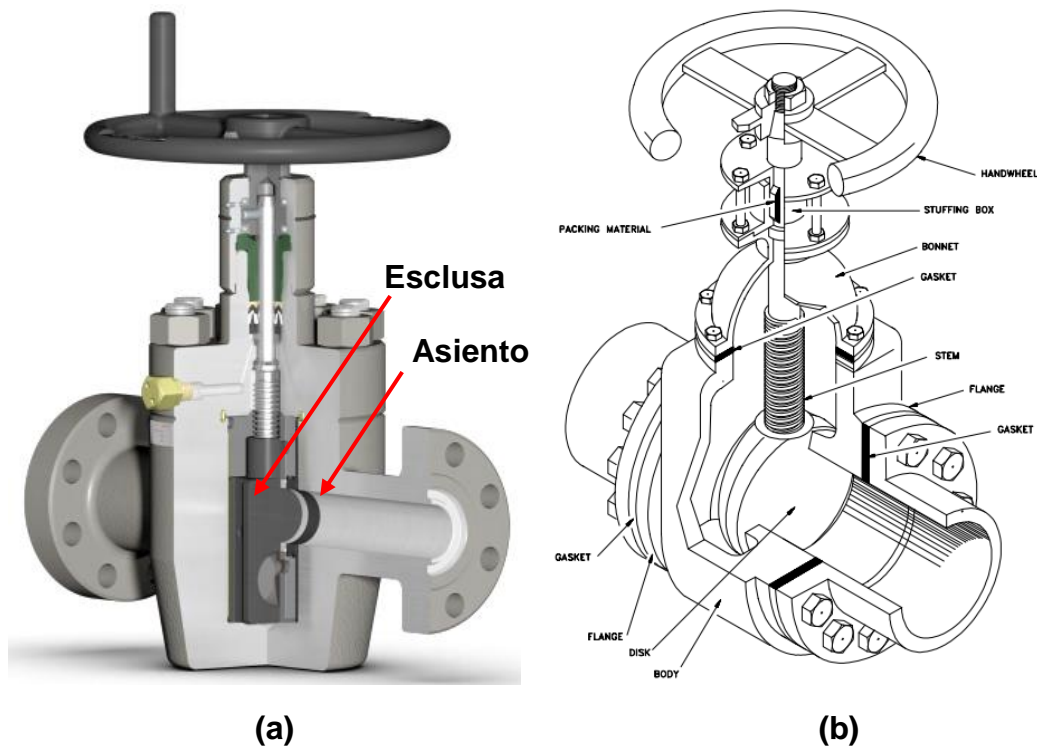
Las válvulas de accionamiento manual se usan en líneas donde las regulaciones no son muy frecuentes sino que se aplican para mantener y controlar el régimen del proceso. En general, en una planta de proceso industrial las válvulas manuales se utilizan únicamente como elementos de bloqueo en las líneas, ya que en aplicaciones donde se requiere variaciones en la línea de corriente se utilizan válvulas automáticas. Por lo tanto las válvulas manuales se instalarán donde sea necesario habilitar o bloquear un circuito hidráulico. [5]

2.2.2 Válvula esclusa

Una válvula esclusa es una válvula de movimiento lineal utilizada para abrir y cerrar el flujo dentro de un conducto, ver la **Figura 2.9**; sin embargo, no regula el flujo. El cuerpo de la válvula no interfiere con la corriente fluida cuando la válvula está completamente abierta. Por este motivo este tipo de dispositivo prácticamente no ofrece resistencia cuando la válvula está abierta. Por lo tanto, hay poca caída de presión y bajas pérdidas en la válvula al estar abierta.

Cuando la válvula está completamente cerrada, existe una superficie de contacto anular de 360 ° entre la esclusa y el asiento, y esto es lo que proporciona un sellado totalmente hermético.

Figura 2.9. (a) Vista en perspectiva de una válvula esclusas o de disco paralelo [6] y (b) esquema del diseño de una válvula esclusa con disco de cuña sólida [7].



Al abrir la válvula esclusa, la trayectoria del flujo crece de una manera no lineal con respecto al porcentaje de apertura. Esto significa que la velocidad de flujo no cambia de manera uniforme con el recorrido del vástago. La mayor parte del cambio de flujo ocurre cerca del cierre de la esclusa donde se generan las velocidades más altas del fluido, esto causa un desgaste del asiento y la esclusa propiamente dicha, como consecuencia del desgaste aparecen fugas y pérdida de presión dejando este equipo fuera de servicio. Por estas razones, las válvulas esclusa no se usan para regular flujo.

Una válvula esclusa puede usarse en una amplia variedad de fluidos proporcionando un sellado hermético cuando está cerrada.

A continuación se presentan las principales desventajas del uso de una válvula esclusa en la regulación de una línea de conducción:

- No es adecuado para aplicaciones de estrangulamiento.
- Es propenso a la vibración en el estado parcialmente abierto.
- Es más propenso al desgaste del asiento y de la esclusa que por ejemplo una válvula globo.
- Las reparaciones, como lo es el rectificado, generalmente son difíciles de lograr y con costos muy elevados.

2.2.3 Diseño de las válvulas esclusas

Diseño del cuerpo o disco de válvulas esclusa:

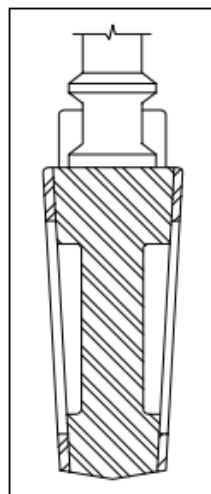
Las válvulas esclusa están disponibles con una variedad de discos. La clasificación de las válvulas esclusa generalmente se realiza mediante el tipo de disco utilizado, como pueden ser: cuña sólida, cuña flexible, cuña dividida o disco paralelo.

Cuñas sólidas, flexibles y divididas se utilizan en válvulas con asientos inclinados. Los discos paralelos se utilizan en válvulas con asientos paralelos.

Independientemente del estilo de cuña o disco utilizado, la esclusa puede ser reemplazada. En los servicios donde la alta velocidad o los sólidos en suspensión pueden causar una rápida erosión del asiento o esclusa, es necesario que estos componentes tengan una alta dureza superficial y deben tener asientos de reemplazo además de las esclusas. Las válvulas que se utilizan en el servicio de corrosión normalmente deben especificarse con asientos reemplazables.

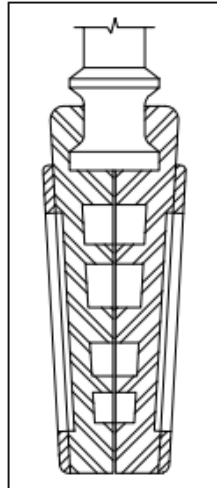
Cuña sólida: La válvula esclusa de cuña sólida mostrada en la **Figura 2.10** es el disco más comúnmente utilizado debido a su simplicidad y resistencia. Una válvula con este tipo de cuña se puede instalar en cualquier posición y es adecuada para casi todos los fluidos. Es práctico para flujo turbulento.

Figura 2.10. Cuña sólida. [7]



Cuña flexible: La válvula esclusa de cuña flexible que se muestra en la **Figura 2.11** consiste en una pieza con un corte alrededor del perímetro para mejorar la capacidad de igualar el error o el cambio en el ángulo entre los asientos. El corte varía en tamaño, forma y profundidad. Un corte estrecho y poco profundo da poca flexibilidad pero conserva la fuerza. Un corte más profundo y más ancho, deja poco material en el centro, lo que permite más flexibilidad pero compromete la resistencia mecánica.

Figura 2.11. Cuña flexible. [7]



Cuña dividida: La válvula esclusa de cuña dividida, como se muestra en la **Figura 2.12**, es un diseño de rôtula esférica. Estas son autoajustables y autoalineables a ambas superficies de asiento. Si la mitad del disco está ligeramente desalineada debido a la presencia de cuerpos extraños entre la mitad del disco y el anillo del asiento, la esclusa puede ajustarse libremente a la superficie del asiento. Este tipo de cuña es adecuado para manejar gases y líquidos sin condensación a temperaturas normales, particularmente líquidos corrosivos. La libertad de movimiento de la esclusa en el cuerpo de la válvula evita que se enganche aunque la cuña se haya cerrado cuando está caliente y luego se haya contraído debido al enfriamiento. Este tipo de válvula debe instalarse con el vástago en posición vertical.

Disco paralelo: La válvula esclusa de disco paralelo mostrada en la **Figura 2.13** se diseñó para prevenir la fijación en la válvula por causas térmicas transitorias. Este diseño se usa en aplicaciones de baja y alta presión.

Las superficies de la esclusa se presan bajo el empuje del vástago entre las mitades paralelas de la cara de los asientos separándolos y sellando contra estos. Un anillo de soporte guía los asientos y un muelle o muelles los mantienen separados cuando no hay una presión hacia arriba. Otro diseño de válvulas esclusa con disco paralelo está hecho solamente para sellar un puerto. En estos diseños el lado de alta presión empuja la esclusa para que se abra de ese lado, forzando a su vez, que se cierre la

esclusa por el lado de baja presión. Con estos diseños, se tiende a reducir la cantidad de fugas, mientras que aumenta la diferencia de presión en el asiento. Generalmente estas válvulas tienen una marca de dirección de fluido que muestra cual es el lado de alta presión (descarga). Hay que tener cuidado de que estas válvulas no se instalen al revés en el sistema.

Figura 2.12. Cuña dividida. [7]

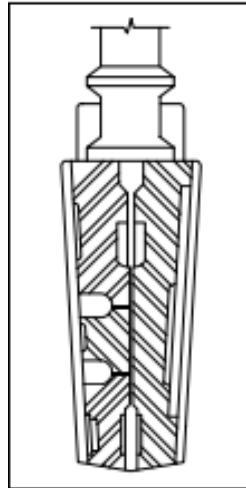
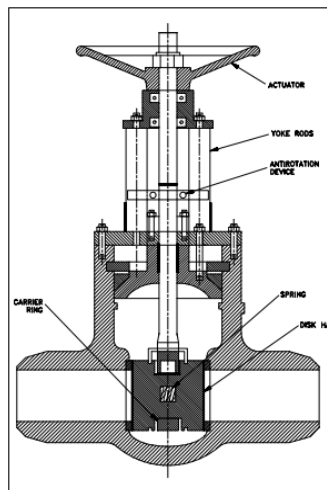


Figura 2.13. Válvula esclusa de disco paralelo. [7]



Diseño de vástago de válvula de la esclusa: Las válvulas esclusas se clasifican como válvulas de vástago ascendente o no ascendente. Para la válvula esclusa de vástago no ascendente, el vástago se enrosca en el extremo inferior de la esclusa. A medida que se gira el volante en el vástago, la compuerta se desplaza hacia arriba o abajo del vástago sobre las roscas mientras el vástago permanece estacionario

verticalmente. Las **Figuras 2.14** y **2.15** ilustran las válvulas de compuerta de vástago ascendente y las válvulas esclusas de vástago no ascendentes.

Figura 2.14. Válvulas de vástago ascendente. [7]

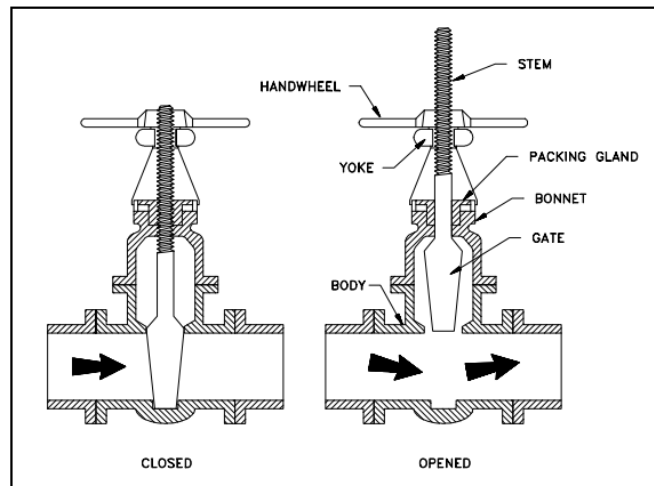
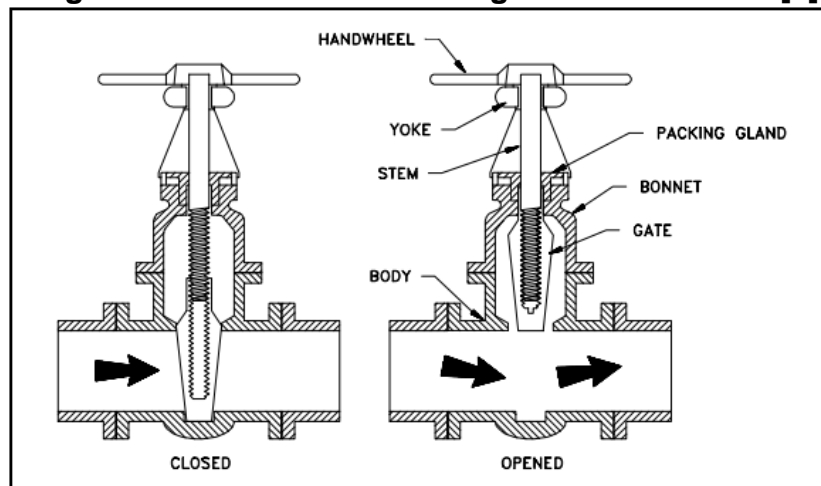


Figura 2.15. Válvulas de vástago no ascendente. [7]



Las válvulas de compuerta de vástago ascendente están diseñadas para que el vástago se eleve fuera de la trayectoria del flujo cuando la válvula está abierta. Las válvulas esclusa de vástago ascendente vienen en dos diseños básicos. Algunos tienen un tallo que se eleva a través del volante mientras que otros tienen un vástago que se enrosca en el bonete.

La configuración del vástago no ascendente tiene la rosca del vástago dentro del límite establecido por la empaquetadura de la válvula fuera del contacto con el medio ambiente. Esta configuración asegura que el vástago simplemente gira en el empaque sin peligro de transportar suciedad dentro del empaque de afuera hacia adentro [7].

2.3. Material utilizado en la esclusa y asientos

2.3.1. Acero inoxidable

Los aceros inoxidables son aceros aleados con un contenido nominal de cromo de al menos un 11% y puede ser con o sin otro tipo de aleante. La propiedad de ser inoxidables y la resistencia a la corrosión de estas aleaciones se atribuyen a la presencia de una pequeña película pasiva de óxido de cromo sobre la superficie. Cuando son expuestas a condiciones que remueven esta película pasiva de óxido, los aceros inoxidables están sujetos a un ataque corrosivo. La velocidad a la cual un acero inoxidable desarrolla una película pasiva depende de la atmósfera y del contenido de cromo. La exposición a elevadas temperaturas aumenta el espesor de la película de óxido pasivo y se pierde brillo en el metal.

Toda la gama de aceros inoxidable puede separarse en dos grados; grado común y grado especial. Los grados comunes son tres: martensíticos, ferríticos y austeníticos. Los grados especiales son cuatro: endurecidos por precipitados, superausteníticos, superferríticos y dúplex.

2.3.1.1. *Propiedades*

Las propiedades físicas y mecánicas se controlan con los elementos de aleación. Propiedades como la expansión térmica, conductividad y resistencia eléctrica tienen efectos significativos sobre la soldabilidad de los aceros inoxidables. En los inoxidables austeníticos el coeficiente relativamente alto de expansión térmica y su baja conductividad térmica se traducen en mayores requisitos y técnicas más complejas para lograr minimizar la distorsión del arco durante la soldadura, en comparación con otros aceros inoxidables. Dada su baja conductividad térmica, el metal base de acero inoxidable y el metal de aporte requieren menor aporte térmico que el acero al C (carbón).

Las características metalúrgicas de las aleaciones de grado común generalmente determinan características del acero dentro de ese grupo. La soldabilidad de los aceros inoxidables martensíticos está afectada grandemente por el endurecimiento que puede resultar en fisuración en frío. Las juntas soldadas en los aceros inoxidables ferríticos tienen baja ductilidad como resultado del engrosamiento del grano que está relacionado con la ausencia de la transformación de fase alotrópica. La soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos está gobernada por la susceptibilidad a la fisuración en caliente, similar a otras aleaciones monofásicas con una estructura cristalina fcc (cúbica centrada en la cara). La eficiencia de la soldadura depende de la capacidad del proceso de soldadura y de los procedimientos que producen propiedades mecánicas casi uniformes en el metal de soldadura, la ZAC (zona afectada por el calor) y el metal base en la condición como soldado o post soldadura tratada térmicamente. Estas propiedades pueden variar considerablemente con los aceros inoxidables ferríticos, martensíticos y de grados especiales. La soldabilidad, elección de los consumibles y las diversas condiciones de servicio (temperatura,

presión, creep, dureza y corrosión) requiere una cuidadosa evaluación del proceso a causa de los complejos aspectos metalúrgicos de los aceros inoxidable.

2.3.2. Acero inoxidable martensítico

Los aceros inoxidables martensíticos son esencialmente una aleación de hierro, cromo y carbón con valores nominales de 11,5 a 18% de cromo y son capaces de transformar de austenita a martensita en casi todas las condiciones de enfriamiento. El revenido ablanda la martensita y dependiendo del revenido puede obtenerse desde materiales muy duros a blandos que son esencialmente ferríticos. Si bien estos aceros también pueden ser recocidos completamente para proporcionar una estructura ferrítica luego del austenizado y posterior enfriamiento muy lento, normalmente se usan con su estructura martensítica templada.

La composición química de los típicos aceros inoxidables martensíticos soldables están dados en la tabla de la **Figura 2.16** algunos de estos tienen una o más variaciones que le otorgan propiedades especiales. Elementos como molibdeno, vanadio, niobio, y tungsteno son adicionados a los aceros para mejorar las propiedades a elevadas temperaturas.

Estos aceros son conocidos por su moderada resistencia a la corrosión, resistencia a la oxidación, resistencia hasta temperaturas aproximadas de 593°C, una amplia gama de propiedades mecánicas y un costo relativamente bajo.

Figura 2.16. Composición química de aceros inoxidables martensíticos. [3]

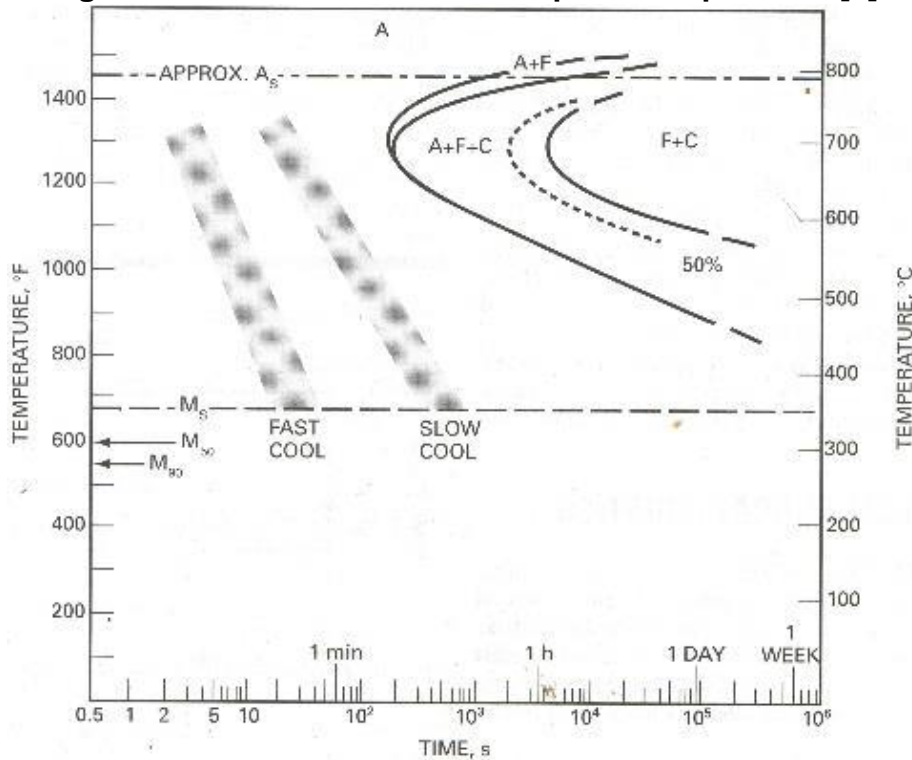
Type	UNS Number	Composition, wt. %*							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Other
Wrought Alloys									
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0	—	0.04	0.03	—
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	—	0.04	0.03	—
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50	0.04	0.03	—
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0	—	0.04	0.15 min.	—
420	S42000	0.15 min.	1.00	1.00	12.0-14.0	—	0.04	0.03	—
422	S42200	0.20-0.25	1.00	0.75	11.0-13.0	0.5-1.0	0.025	0.025	0.75-1.25 Mo; 0.75-1.25 W; 0.15-0.3 V
431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	—
440A	S44002	0.60-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0	—	0.04	0.03	0.75 Mo
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0	—	0.04	0.03	0.75 Mo
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0	—	0.04	0.03	0.75 Mo
Casting Alloys									
CA-6NM	J91540	0.06	1.00	1.00	11.5-14.0	3.5-4.5	0.04	0.03	0.40-1.0 Mo
CA-15	J91150	0.15	1.00	1.50	11.5-14.0	1.0	0.04	0.03	0.5 Mo
CA-40	J91153	0.20-0.40	1.00	1.50	11.5-14.0	1.0	0.04	0.03	0.5 Mo

2.3.2.1. Características metalúrgicas

Los aceros martensíticos son considerados como aceros inoxidables porque su contenido de cromo es suficiente para desarrollar la película de óxido pasivo, que los hace resistente a las condiciones de corrosión oxidantes. Desde el punto de vista metalúrgico los aceros inoxidables martensíticos responden al endurecimiento y al temple de forma similar que los aceros al carbón y de baja aleación.

Los aceros inoxidables martensíticos contienen suficiente cromo como para ser templados al aire desde temperaturas sobre los 800°C. Las máximas durezas se alcanzan templando desde temperaturas mayores a 950°C. La **Figura 2.17** muestra un típico diagrama de transformación tiempo vs temperatura, para acero inoxidable tipo AISI 410, que ilustra la facilidad del temple con que se logra la martensita.

Figura 2.17. Transformación tiempo vs temperatura [3].



La dureza de los aceros inoxidables martensíticos aumenta con un incremento del contenido de carbón hasta aproximadamente un 0.6%. Un mayor contenido de carbono no aumenta la dureza apreciablemente, y un exceso de carbono forma carburos primarios que mejoran la resistencia a la abrasión, pero estos aceros carecen de tenacidad en el estado endurecido y generalmente requieren un revenido luego del temple para proporcionar una tenacidad adecuada. El temple y el revenido se pueden ir adecuando a los niveles de tenacidad y ductilidad deseada.

El contenido de cromo también influencia el comportamiento metalúrgico del acero inoxidable martensítico durante la soldadura. Se produce un cambio significativo en un acero endurecido a medida que el contenido de cromo aumenta de aproximadamente 11 a 17%. Con un contenido de carbono de aproximadamente 0.08, un acero con un 12% de cromo (tipo AISI 410) debe tener una estructura completamente martensítica en la ZAC. Si el contenido de carbón en el acero incrementa por sobre un 1,5%, el efecto del cromo estabiliza la ferrita inhibiendo la transformación completa en austenita, entonces algo de ferrita no transformada puede permanecer en la microestructura. Consecuentemente solo una porción de la ZAC

enfriada rápidamente sería martensita y el resto ferrita. La presencia de ferrita suave en la martensita disminuye la dureza del acero y reduce la probabilidad de fisuración.

2.3.2.2. Soldabilidad de los aceros inoxidable

Los aceros inoxidables martensíticos pueden ser soldados en condición de recocido, endurecido, semi endurecido, con alivio de tensiones o templados. Los tratamientos térmicos tienen poco peso sobre el endurecimiento de la ZAC y por lo tanto poca influencia sobre la soldabilidad. La dureza depende principalmente del contenido de carbono del acero y solo es posible un poco de control mediante el procedimiento de soldadura. Ya que aumenta la dureza de la ZAC, también aumenta la susceptibilidad a la fisuración en frío y disminuye su tenacidad. Se puede mejorar la capacidad de soldadura utilizando un metal de aporte de microestructura austenítica (acero inoxidable o aleación de níquel) que aprovecha la baja resistencia elástica y la buena ductilidad del metal de soldadura. El metal de soldadura con microestructura austenítica puede ceder durante la soldadura y minimizar las tensiones residuales en la ZAC. En el caso de los procesos de soldadura que introducen hidrógeno, como la soldadura con electrodo revestido y la soldadura por arco sumergido, el metal de soldadura con microestructura austenítica proporciona una ventaja adicional ya que no expulsa el hidrógeno hacia el metal base durante el enfriamiento.

Las propiedades finales en la ZAC endurecida de un acero inoxidable martensítico es una función del balance de las propiedades mecánicas en estas zonas, incluyendo dureza y ductilidad. En general a las juntas soldadas en acero inoxidable martensítico se les debería realizar un tratamiento térmico post soldadura para alcanzar las propiedades óptimas en la soldadura.

Los aceros inoxidables martensíticos están sujetos a la fisuración por hidrógeno inducido de la misma manera que los aceros de baja aleación. Las precauciones apropiadas se deben tomar al momento de elegir el procedimiento de soldadura, almacenamiento y manipulación de los consumibles, limpieza y procedimientos de soldadura para evitar la difusión de hidrógeno durante la soldadura, generando problemas de fisuración [3].

2.4. Métodos de recubrimiento

El recubrimiento tiene como objetivo volver a cubrir un sustrato. En muchos casos los recubrimientos son realizados para mejorar algunas propiedades o cualidades de la superficie del sustrato, tales como aspecto, adhesión, características de mojado, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, y muchas otras. Generalmente se dice recubrimiento para espesores menores a 1mm y cuando son mayores se les llama revestimiento.

Este es el método para el control de la corrosión más común y se basa en crear una barrera entre el sustrato para protegerlo del medio que lo rodea en servicio.

Su composición debe ser tal que al ser aplicada una capa delgada sobre un sustrato metálico, sea capaz de formar una película seca uniforme que actúe como una barrera.

El propósito que cumple un recubrimiento es otorgarle propiedades finales al sustrato. Ya que este por ejemplo puede ser mecánicamente apto pero no tener capacidades de resistencia a la corrosión.

Los tipos de recubrimientos son de lo más variado ya que podemos encontrar elementos orgánicos, inorgánicos y metálicos.

2.4.1. Clasificación de los recubrimientos

Orgánicos: Los recubrimientos orgánicos son polímeros y resinas producidas en forma natural o sintética, generalmente formulados para aplicarse como líquidos que se secan o endurecen como películas de superficies delgadas en materiales del sustrato. Un ejemplo de estos recubrimientos son las pinturas.

Inorgánicos: Los recubrimientos inorgánicos proporcionan acabados tersos y duraderos, los más usados son el vidrio y los cerámicos.

Metálicos: Los recubrimientos metálicos se aplican mediante capas finas que separan el ambiente corrosivo del metal, es decir que puedan servir como ánodos sacrificables que puedan ser corroídos en lugar del metal base. Los galvanizados son un buen ejemplo de este caso. [8]

2.4.2. Recubrimientos metálicos

El fin más frecuente e importante de los recubrimientos metálicos es el de proteger a otros metales de la corrosión. Otros usos son: lograr un conjunto de propiedades diferentes que no están reunidas en un metal solo o fines decorativos. [9]

Lo que influye es el valor de protección requerida, por consiguiente, el método de aplicación y el espesor de la película protectora.

Se distinguen varios métodos según el modo en que se deposita la capa protectora:

Inmersión: Se sumerge el metal a proteger en un baño de otro metal fundido. Al sacarlo del baño, el metal se solidifica formando una fina película protectora. Los metales que se emplean comúnmente son:

- Estaño (estañado)
- Cinc (galvanizado)
- Aluminio (aluminización)
- Plomo (plombeado) [10]

Tal que el espesor de la capa de aleación no debe ser tan grande que origine una película frágil. Sin embargo, tanto el espesor como la uniformidad del recubrimiento son difíciles de regular. [9]

Electrodeposición: Se hace pasar corriente eléctrica entre dos metales diferentes que están inmersos en un líquido conductor que actúa de electrolito. Uno de los metales será aquel que queremos proteger de la oxidación y hará de cátodo. El otro metal hará de ánodo. Al pasar corriente eléctrica, sobre el metal catódico se crea una película protectora. Con este método se produce el cromado o niquelado de diversos metales.

Protección por capa química: Se provoca la reacción de las piezas con un agente químico que forme compuestos de un pequeño espesor en su superficie, dando lugar a una película protectora como puede ser:

- Cromado
- Fosfatación [10]

Galvanizado: Es el proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro, se llama galvanizado.

La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable y menos noble que el hierro genera un óxido estable, protegiendo al hierro de la oxidación al exponerse al aire. [9]

Proyección de metal fundido: En una «pistola» de oxígeno y acetileno se funde un alambre o polvo, y el metal fundido se proyecta con aire o con un gas inerte comprimido sobre el sustrato.

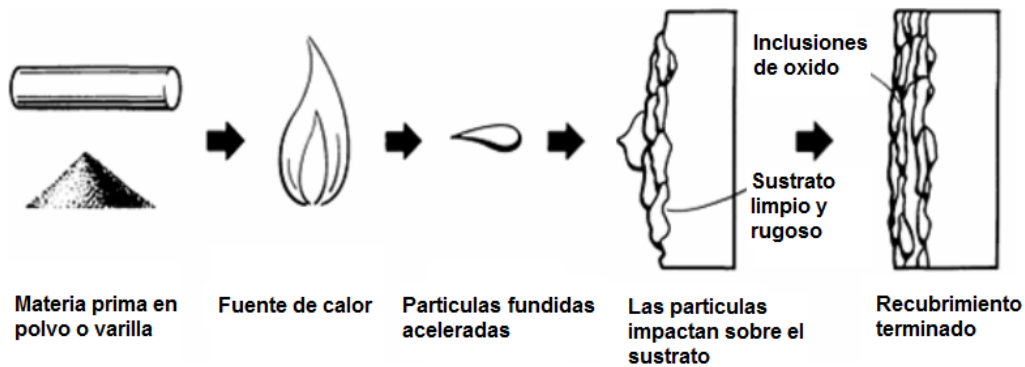
Preparación de las superficies. Para todos los procedimientos es requisito fundamental que las superficies a recubrir estén exentas de grasas, óxidos, suciedad y materiales extraños, lo que se consigue con el desengrasado, decapado, tratamiento con chorro de arena y granalla, etc. [9]

2.4.2.1. Spray térmico, recubrimiento original de las válvulas

La proyección también conocida como spray térmico es extensamente utilizado en aplicaciones superficiales; para mejorar resistencia al desgaste abrasivo, corrosivo, oxidativo, o una combinación de estos; y para proveer propiedades térmicas y eléctricas específicas. Frecuentemente, los depósitos de spray térmico se aplican a elementos de máquinas nuevos para proveer superficies con características deseadas para una dicha aplicación.

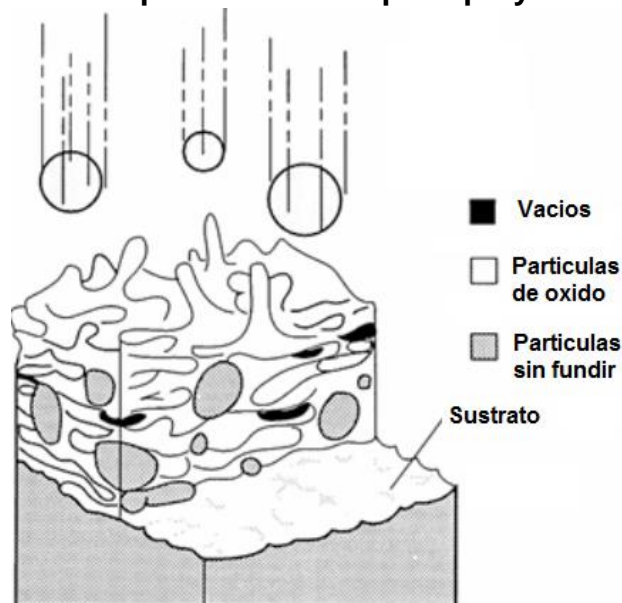
El spray térmico es un proceso en el cual un material metálico o no metálico es calentado y luego propulsado en forma atomizada sobre un sustrato como se muestra esquemáticamente en la **Figura 2.18**. Inicialmente el material a depositar puede estar en forma de varilla, alambre o polvo. Este es calentado hasta un estado plástico o fundido por una llama combustible, generada por un arco eléctrico o de plasma, o por detonación de una mezcla de gas explosivo. El material caliente es propulsado desde una pistola de proyección hacia el sustrato por un chorro de gas. La mayoría de los metales, cerment, óxidos, y compuestos metálicos duros pueden ser depositados por medio de esta técnica. [3]

Figura 2.18. Proceso esquemático de un spray térmico. [12]



Cuando las partículas fundidas se pegan al sustrato, se aplastan y forman plaquetas delgadas que conforman una nueva superficie como se muestra en la **Figura 2.19**. Estas plaquetas se enfrían y solidifican rápidamente. Se aplican sucesivas capas para obtener el espesor deseado. La adherencia entre el spray depositado y el sustrato puede ser mecánica, metalúrgica, química o una combinación de estas. En algunos casos, un tratamiento térmico puede mejorar la adherencia por difusión o reacción química entre el depositado y el sustrato [3].

Figura 2.19. Deposito formado por Spray térmico. [12]



La densidad del depósito dependerá del tipo de material, proceso de spray térmico, método de deposición, y tratamiento posterior. Las propiedades del depósito dependerán de la densidad, la cohesión entre las partículas depositadas, y su adhesión al sustrato.

Hay cinco métodos de spray térmico principales:

- Proyección de llama

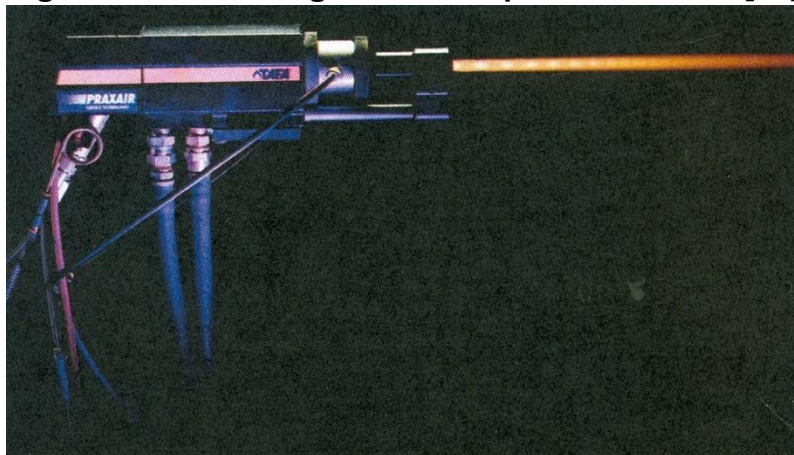
- Proyección de plasma
- Proyección por arco
- Proyección por detonación con llama
- Proyección de alta velocidad, o más conocido como HVOF

Estas variaciones se basan en los métodos usados para calentar el spray térmico para lograr el estado plástico o fundido del material y la técnica para propulsar el material atomizado hacia el sustrato. [3]

2.4.3. Proyección térmica de alta velocidad, HVOF

El HVOF es un proceso de rociado térmico en forma de spray que utiliza una mezcla de oxígeno y combustible a alta presión para calentar y propulsar el material de revestimiento hacia el sustrato. La **Figura 2.20** muestra una sección transversal genérica de una pistola de proyección HVOF.

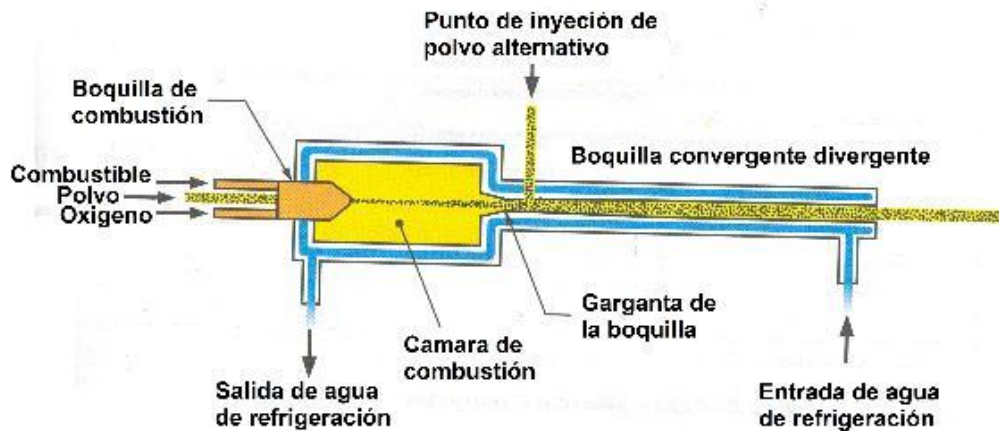
Figura 2.20. Pistola genérica del proceso HVOF. [11]



El proceso HVOF utiliza un gas o líquido combustible que se mezcla con oxígeno puro y se quema en la cámara de combustión dentro de la pistola de proyección esto se puede ver esquemáticamente en la **Figura 2.21**. La combustión se produce a una presión muy elevada dentro de la cámara de combustión y el gas caliente que resulta de este proceso sale de la pistola a través de una boquilla convergente-divergente, o como puede ser también otra vía de flujo que produzca que el chorro de proyección sea supersónico. Las partículas de polvo atomizadas son arrastradas por el chorro de gas de alta velocidad y se aceleran hasta velocidades entre 500 y 1000 m/seg, según el tipo de pistola, tipo de polvo (tamaño y composición) y las condiciones de funcionamiento. Estas velocidades son mayores que las alcanzadas en la mayoría de los otros métodos de spray, excepto por proyección por detonación con llama y proyección en frío. Los gases de combustible HVOF comúnmente utilizados son

hidrógeno, propileno, gas natural y propano y para el caso de los combustibles líquidos el más común es el kerosene.

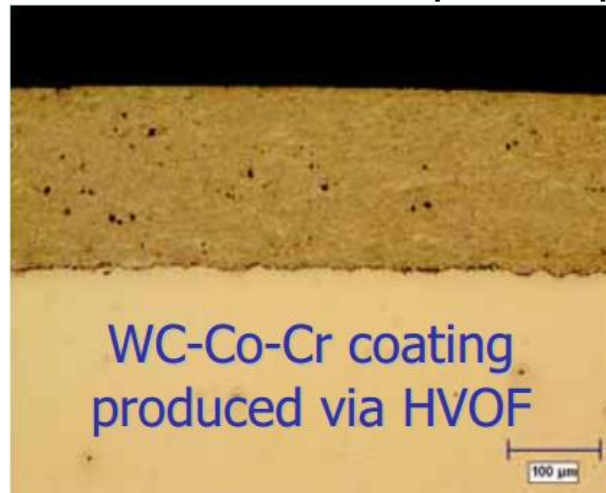
Figura 2.21. Cámara de combustión de la pistola de proyección. [11]



La materia prima disponible en forma de polvo se lleva a la pistola de proyección térmica mediante un gas inerte, como nitrógeno o argón. La alta energía cinética de las partículas atomizadas contribuye a un calor adicional a medida que las partículas impactan el sustrato. Esto ayuda a promover una buena unión de las partículas, y el efecto de “peening” o granallado genera una tensión residual de compresión y tiende a producir depósitos relativamente densos con una porosidad muy baja. Dado que gran parte de la energía térmica del gas se convierte en energía cinética, las temperaturas del gas dentro del chorro cuando sale de la pistola proyectora pueden ser relativamente bajas en comparación con otros procesos de deposición térmica. Las bajas temperaturas del chorro de gas ayudan a evitar el sobrecalentamiento del sustrato y la descarburación de carburos sensibles a la temperatura, como el WC (carburo de tungsteno). Por esta razón, cuando se requieren recubrimientos resistentes al desgaste el proceso HVOF generalmente prefiere carburo cementado de alta calidad, como lo es WC-Co- Cr (carburo de tungsteno con cobalto y cromo) como se muestra en la **Figura 2.22** y algunos recubrimientos metálicos. En general las temperaturas de los dispositivos HVOF no son lo suficientemente altas como para fundir partículas cerámicas, por lo que este proceso rara vez se utiliza sobre sustratos cerámicos.

Debe observarse que, a pesar de las temperaturas relativamente moderadas en el chorro proyectado, el de calor en el sustrato tiende a ser suficiente con HVOF. Esto ocurre porque la desaceleración del chorro de gas a alta velocidad en la superficie del sustrato convierte la gran energía cinética del chorro nuevamente en energía térmica, liberando una gran cantidad de calor en la superficie del sustrato.

Figura 2.22. Recubrimiento de WC-Co-Cr producido por HVOF. [11]



Esta carga de calor generalmente es manejable con chorros de enfriamiento auxiliares y movimientos rápidos del chorro de proyección sobre la superficie de la pieza de trabajo; por eso se debe considerar la carga de calor del sustrato antes de seleccionar el proceso de HVOF para una aplicación específica [11].

2.5. Recargue por soldadura

2.5.1. Recargue

Se denomina recargue al proceso mediante el cual se depositan capas de material sobre un metal base o sustrato para obtener las propiedades y dimensiones finales deseadas. Además el recargue se logra con la aplicación de procesos de soldadura, brazing o thermal spraying y se distingue de la soldadura de unión. Es usado en servicios que requieren resistencia a la corrosión y al desgaste y necesita controles dimensional y metalúrgico. En recargue se aplica una capa superficial de mayor resistencia a la abrasión, erosión, oxidación o cavitación que el material base.

Principios de operación: el recargue se deposita usualmente por soldadura manual con electrodos revestidos, semiautomática con alambres macizos o tubulares, motorizada, o automática por arco sumergido y procesos de soldadura por brazing. Las propiedades importantes de los materiales de recargue son las siguientes:

- 1) Dureza
 - a) Macro dureza (dureza global)
 - b) Micro dureza (dureza de los constituyentes en estructuras heterogéneas)
 - c) Dureza en caliente (resistencia al efecto de ablandamiento en servicio a elevadas temperaturas durante cortos períodos)
 - d) Resistencia al creep (resistencia a la deformación plástica cuando la pieza se carga durante largos períodos)

- 2) Resistencia a la abrasión
 - a) Bajo cargas suaves
 - b) Bajo cargas altas
 - c) Bajo cargas altas e impacto

- 3) Resistencia al impacto
 - a) Resistencia a la deformación plástica bajo repetidas cargas de impacto
 - b) Resistencia a la fisuración bajo cargas de impacto

- 4) Resistencia al calor
 - a) Resistencia al revenido (ablandamiento con el tiempo y la temperatura)
 - b) Retención de la resistencia en caliente
 - c) Resistencia al creep
 - d) Resistencia a la oxidación o corrosión por gases calientes
 - e) Resistencia a la fatiga térmica

- 5) Resistencia a la corrosión

- 6) Resistencia al desgaste metal-metal
 - a) Coeficiente de fricción
 - b) Tendencia a la adhesión localizada
 - c) Películas superficiales (capa de óxidos)
 - d) Lubricidad (deslizamiento)
 - e) Plasticidad (habilidad para deformarse)

- 7) Resistencia al desgaste erosivo
 - a) Bajo altos ángulos de incidencia de las partículas
 - b) Bajo bajos ángulos de incidencia de las partículas
 - c) Bajo erosión de gotas líquidas
 - d) Bajo condiciones de cavitación

Las operaciones de recargue intentan incrementar la vida en servicio de componentes, pero debido a que las condiciones que causan desgaste son variadas y complejas, es difícil establecer una correlación simple entre propiedades de la superficie y vida en servicio. La mejor aproximación parece ser un cuidadoso análisis de las condiciones de servicio, seguido por una aplicación lógica de los datos de prueba pertinentes de propiedades físicas, mecánicas y de desgaste. [3]

2.5.2. Materiales utilizados en la soldadura de recargue

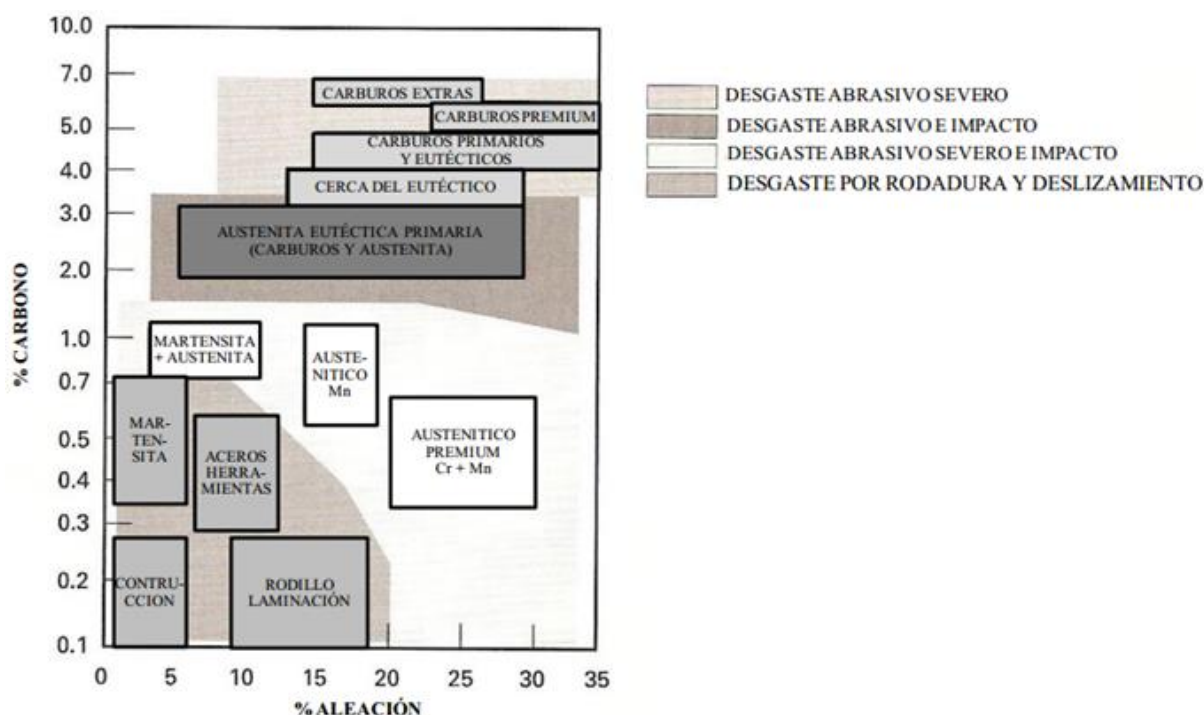
Los materiales que se aplican como recargue se pueden agrupar en cuatro grupos:

- 1- Aleaciones base hierro.
- 2- Aleaciones base cobalto.
- 3- Aleaciones base níquel.
- 4- Aleaciones base cobre.

De éstas las aleaciones de hierro son las más ampliamente utilizadas.

Aleaciones base hierro: pueden ser subdivididas acorde con su microestructura. Cada microestructura puede resistir cierto tipo de desgaste más económicamente que otra: un recargue universal no existe. El contenido de carbono en la aleación ferrosa de recargue tiene un gran efecto sobre la microestructura así como el contenido de aleantes ya que determina, la microestructura, la resistencia al desgaste y el costo. En la **Figura 2.23** se presenta un mapa de recargue general para las aleaciones.

Figura 2.23. Mapa de aplicación de recargue [3]



Además de incrementar la templabilidad, ciertos elementos aleantes ayudan a disminuir la velocidad de ablandamiento durante el revenido. El ablandamiento se debe fundamentalmente al engrosamiento de la cementita con el aumento de la temperatura de revenido, un proceso que depende de la difusión del carbono y del hierro. Los elementos aleantes más efectivos son aquellos formadores de carburos tales como Cr, Mo, V y W (cromo, molibdeno, vanadio, y tungsteno). Sin estos elementos los aceros al carbono y de baja aleación se ablandarán rápidamente con el

aumento de la temperatura de revenido. Si los elementos formadores de carburos están presentes en cantidad suficiente, no sólo retardarán el ablandamiento sino que también formarán finos carburos aleados que pueden producir un incremento de dureza a altas temperaturas de revenido, esto se conoce como endurecimiento secundario. Los carburos de Mo y W son más estables que la cementita. Cuanto mayor es el porcentaje de Mo, más alto es el pico de dureza generado. Aun cuando no hay un pico de endurecimiento secundario, se observa una importante resistencia al ablandamiento.

El pico de endurecimiento secundario se genera sólo a altas temperaturas de revenido debido a que la formación de carburos aleados depende de la difusión de los elementos formadores de carburos que es mucho más lenta que la difusión del carbono y del hierro. Como resultado, no sólo se forma una dispersión fina de carburos sino que una vez formados son muy resistentes al engrosamiento de la cementita. Esta última característica se utiliza en aceros que no deben ablandarse al exponerse a altas temperaturas. El Mo y el W tiene una morfología de precipitación similar a pesar que difieren en el tamaño y densidad, siendo menor la densidad de partículas y mayor el tamaño y separación de las agujas de martensita en aceros que contienen W. Por lo tanto, los aceros con W_2C (carburo de tungsteno) son más blandos que sus similares con Mo_2C (carburo de molibdeno), ya que, los primeros se engrosan más lentamente, producto de la difusión lenta de los átomos de W. [4]

2.5.3. Transformación Martensítica

Se denomina martensita a todo cambio de fase sin difusión. Puesto que no hay difusión, los átomos de C no se reparten entre la cementita y la ferrita, sino que quedan atrapados en sitios octaédricos de una estructura cúbica centrada en el cuerpo (bct), produciendo así una nueva fase, denominada martensita.

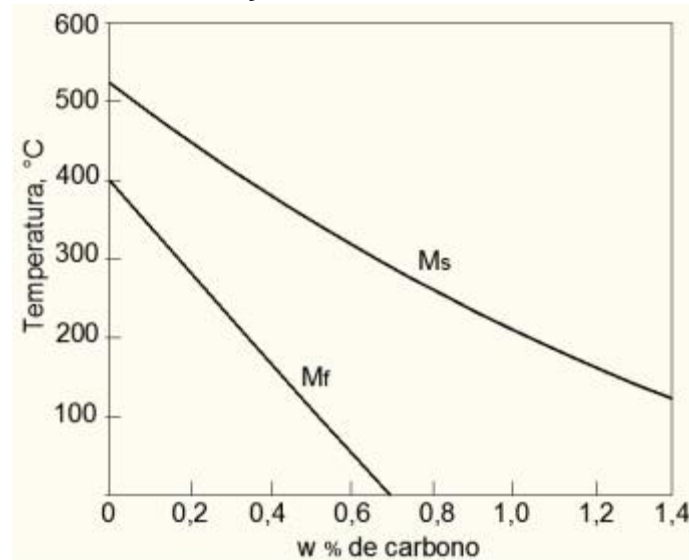
En los aceros es una transformación controlada por difusión los átomos migran por la interfase sin producir una inclinación, generando que la nueva fase sea paralela a la fase principal.

Si la austenita inicialmente no se puede acomodar a los cambios de forma producidos por la transformación martensítica, podría ocurrir una separación o fisuración de la fase principal y la fase martensita. Favorablemente, la austenita en los aceros tiene suficiente ductilidad para acompañar la formación de la martensita.

La temperatura a la cual comienza a formarse la martensita en una determinada aleación se la llama temperatura de comienzo de transformación martensítica (M_s). La M_s refleja la fuerza impulsora necesaria para iniciar por mecanismo de corte de austenita a martensita. La **Figura 2.24** muestra que la M_s decrece significativamente con el aumento del contenido de carbono. El carbono en solución sólida aumenta la resistencia al corte de la austenita y, por lo tanto, se requerirá mayor sobreenfriamiento o fuerza impulsora para iniciar la transformación por mecanismo de corte de la martensítica en aleaciones con alto contenido de C. La temperatura a la cual finaliza la transformación de la martensita (M_f), o la temperatura a la cual se completa la

transformación martensítica para una aleación dada es también función del contenido de C. Es difícil determinar experimentalmente la cantidad de austenita sin transformar, por lo tanto la curva Mf también es afectada por la cantidad de C e incluso cae por debajo de la temperatura ambiente. Por lo tanto, a temperatura ambiente se pueden encontrar cantidades significativas de austenita sin transformar, especialmente en aceros de alto carbono.

Figura 2.24. Curvas de inicio y fin de la transformación martensítica. [13]



Los elementos de aleación también poseen influencia sobre la temperatura Ms de los aceros y se han desarrollado numerosas ecuaciones para relacionar Ms con la composición del acero. Todos los elementos de aleación, excepto el Co (cobalto), bajan la temperatura Ms. La temperatura de inicio de la transformación martensítica en aceros, se puede determinar de acuerdo con la expresión de Andrews:

$$Ms (°C) = 539 - 423 \%C - 30 \%Mn - 17,7 \%Ni - 12,1 \%Cr - 7,5 \%Mo [13]$$

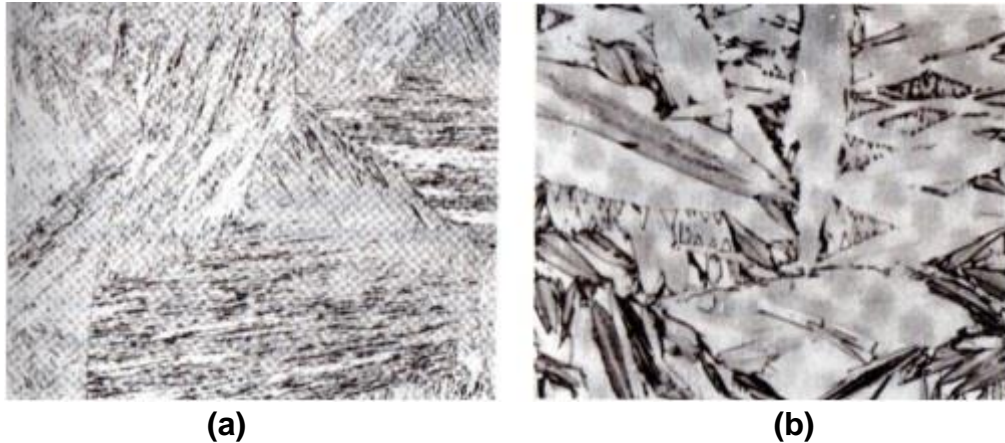
Una explicación sobre como ocurre la austenita retenida es que los átomos de C aumentan la resistencia al corte de la austenita estabilizándola.

La martensita en los aceros presenta básicamente dos morfologías bien diferenciadas, denominadas martensita en láminas o listones y en placas. Como se muestra en la **Figura 2.25**.

La designación de lámina se usa para describir la forma en listón de la martensita que se forman en aceros de bajo y medio C, mientras que la designación de placa describe adecuadamente la forma de la martensita que se presenta en los aceros con alto contenido de C. Los términos lámina o placa se refieren a las formas tridimensionales de los cristales individuales de martensita. Para revelar las secciones transversales de las láminas o las placas se realizan muestras metalográficas por medio de pulido y ataque químico. Generalmente, estas secciones transversales aparecerán con forma de aguja o acicular, estos últimos son los adjetivos utilizados frecuentemente para describir la microestructura martensítica. Las unidades individuales de las láminas de

martensita están por debajo de la resolución del microscopio óptico al igual que la austenita retenida presente la cual es demasiado fina para resolverla.

Figura 2.25. a) Martensita en láminas o listones. b) en placas. [4]



La microestructura de placas de martensita, posee un gran número de variantes posibles y dado que los planos adyacentes asumen diferentes variaciones, aparecen en disposiciones completamente azarosas, a pesar del hecho de que hay un solo plano de hábito para todas las placas en una dada aleación.

Una consecuencia importante de la formación de placas no paralelas en las aleaciones Fe-C es el desarrollo de microfisuras en las placas de martensita como resultado del choque entre placas de diferentes variantes del plano de hábito, sin embargo, en las aleaciones Fe-Ni donde la martensita es mucho más dúctil, los choques entre las placas de martensita son contenidos por maclas de deformación más que por fisuras. Se observan que las microestructuras con mayor cantidad de carbono poseen una cantidad de martensita en placas, la cual se diferencia de la martensita en láminas por su mayor tamaño y su tendencia a la microfisuración [14].

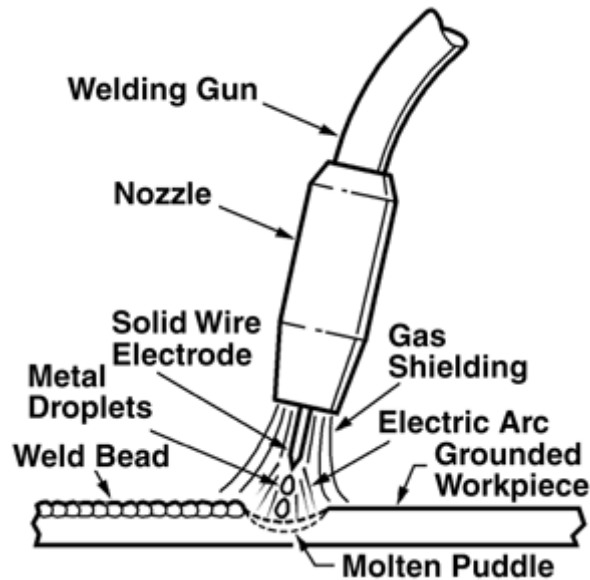
2.6. Proceso de soldadura utilizados en el recargue

2.6.1. Soldadura por arco con alambre tubular con relleno metálico, GMAW-C

En el proceso GMAW-C se genera un arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y la pileta fundida. Este proceso es usado con la protección de un gas suministrado externamente, y sin la aplicación de presión. La **Figura 2.26** ilustra el proceso. Una vez que el operador ha hecho los ajustes iniciales, el equipo puede regular automáticamente las características eléctricas del arco. Es por ello que en el proceso semiautomático el soldador solo controla la velocidad de avance y dirección de desplazamiento, así como el posicionamiento de la torcha. Esto hace que la

longitud de arco y la corriente (lo que es lo mismo decir velocidad de alimentación del alambre) se mantienen automáticamente.

Figura 2.26. Proceso de soldadura con electrodo tubular y protección gaseosa.
[16]



Dado que se trata de un recargue en el proceso debe haber un aporte, en este caso es un alambre tubular. El arco establecido genera el calor suficiente para producir la transferencia del metal fundido hacia el metal base. El gas es el encargado de proteger el arco eléctrico y la piletilla líquida de la atmósfera circundante y favorece la generación del arco eléctrico.

A continuación se expresan los cinco elementos fundamentales y el equipo completo utilizado en el proceso se muestran en la **Figura 2.27**, en la **Figura 2.28** se muestra la terminología utilizada generalmente. [15]

Elementos fundamentales:

- Fuente de poder
- Alimentación del electrodo y sistema de control
- Torcha y cable
- Electrodo
- Sistema de alimentación de gas de protección

Figura 2.27. Esquema completo del equipo utilizado. [15]

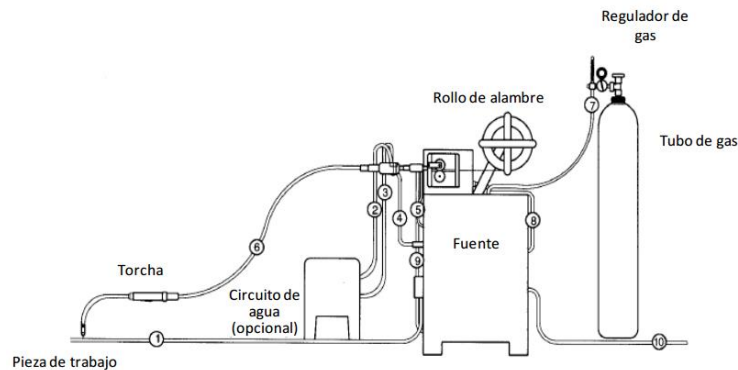
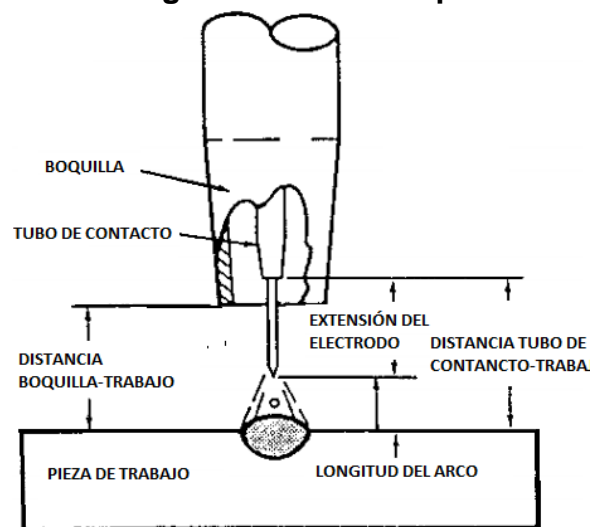


Figura 2.28. Terminología utilizada en el proceso GMAW-C. [15]

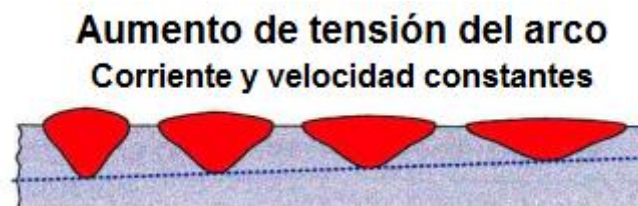


2.6.1.1. Variables del proceso GMAW-C

2.6.1.1.1 Tensión

La tensión del arco se relaciona directamente con la distancia entre el electrodo y la pieza (pileta líquida) a soldar. La variación en la tensión del arco afecta la apariencia, la calidad y las propiedades de la soldadura. Una tensión de arco elevada (alta distancia del arco) puede originar salpicadura y cordones muy anchos e irregulares. Una tensión de arco baja (corta distancia del arco) puede originar alta salpicadura y cordones muy angostos y convexos con poca penetración. **Figura 2.29.**

Figura 2.29. Relación del cordón de soldadura y la tensión de arco. [17]



2.6.1.1.2 Corriente

Al aumentar la intensidad de la corriente el cordón se vuelve más penetrante, las variaciones en la intensidad de la corriente alteran el perfil del cordón de soldadura como se muestra en la **Figura 2.30**.

Figura 2.30. Relación del cordón de soldadura y corriente utilizada. [17]



Siempre y cuando la composición química y el diámetro del electrodo para el caso del proceso GMAW se mantengan constantes la corriente es proporcional a la velocidad de alimentación del electrodo, la corriente aumenta con el diámetro, manteniendo constante la velocidad de alimentación y todas las demás variables.

2.6.1.1.3. Otras variables del proceso GMAW-C

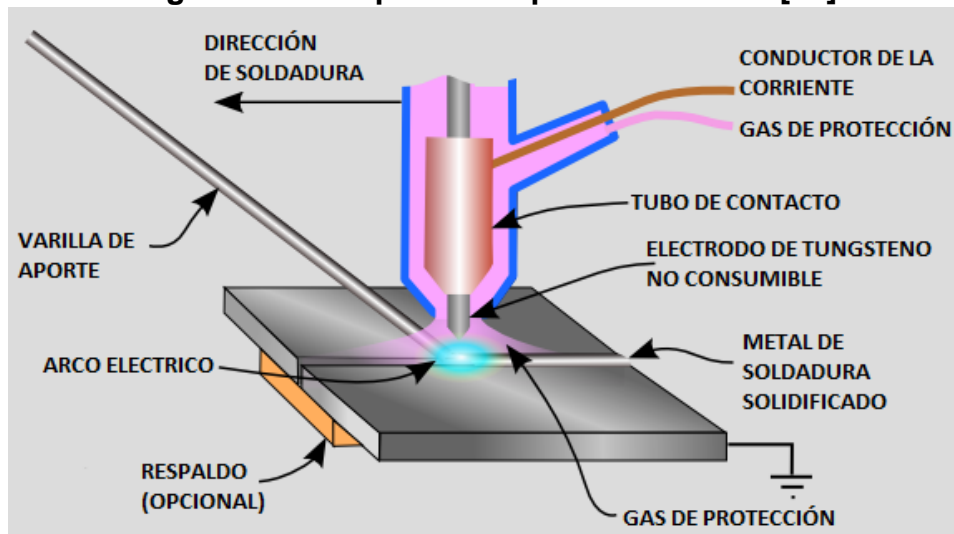
Otras variables que afectan este proceso: Velocidad de soldadura, caudal y gas de protección, longitud libre del electrodo y calor aportado que es una combinación de tensión, corriente y velocidad de soldadura.

Sin embargo estas variables no cobran importancia en este trabajo.

2.6.2. Soldadura por arco, GTAW

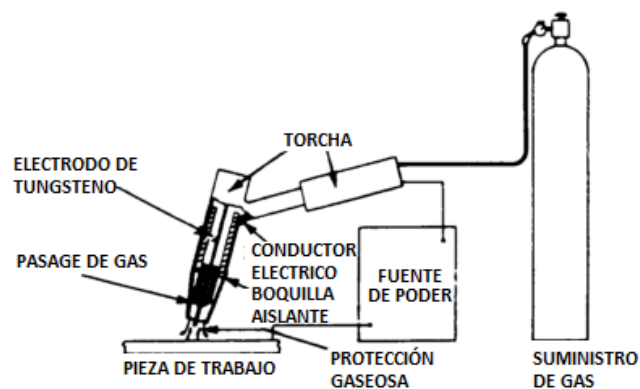
En el proceso GTAW se genera un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pileta fundida de metal base. Este proceso es usado con la protección de un gas suministrado externamente, y sin la aplicación de presión. La adición de metal de aporte es opcional y se realiza en forma externa. La **Figura 2.31** muestra esquemáticamente el proceso de soldadura GTAW. Este proceso ha recibido los nombres de soldadura con tungsteno y gas inerte (TIG), pero la terminología empleada por AWS es de GTAW porque en algunas aplicaciones es posible usar mezclas de gases protectores que no son inertes.

Figura 2.31. Esquema del proceso GTAW. [16]



El proceso GTAW se basa en el uso de un electrodo de tungsteno (o una aleación de tungsteno) no consumible sostenido en una torcha (o soplete). Se alimenta con un gas de protección para proteger el electrodo, la piletta líquida y el metal de soldadura durante la solidificación, de la contaminación atmosférica. El arco eléctrico se produce por el paso de la corriente a través del gas de protección ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y la superficie de trabajo. El calor generado funde el metal base. Una vez establecido el arco y la piletta de soldadura, la torcha se mueve a lo largo de la unión y el arco funde progresivamente las superficies de empalme. Si se usa varilla de aporte, se alimenta por el borde delantero de la piletta de soldadura para llenar la unión. Todos los sistemas de soldadura GTAW tienen en común cuatro componentes básicos, los cuales se muestran en la **Figura 2.31** y **32**.

Figura 2.32. Esquema del equipo necesario en proceso GTAW. [15]



- Torcha
- Electrodo de tungsteno
- Fuente de poder
- Sistema de alimentación del gas de protección

2.6.2.1. Variables del proceso GTAW

Dentro de las variables que intervienen en el proceso, de soldadura GTAW podemos distinguir entre los parámetros dados por el equipo que son regulables mediante el panel de control y no regulable por el operador, definidos por el proceso operativo y los materiales a soldar.

Desde el equipo se puede regular la intensidad de corriente y tensión de salida en la fuente de energía.

Los parámetros durante el soldeo son:

- Tensión de arco
- Velocidad de desplazamiento de la torcha.
- Velocidad de alimentación de la varilla consumible

El control de estos parámetros es esencial para obtener soldaduras de calidad. Estas variables no son independientes, ya que el cambio de una de ellas produce o implica el cambio de alguna de las otras.

2.6.2.1.1. Corriente de soldadura

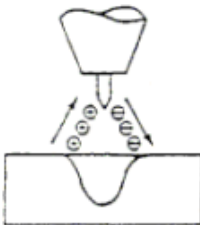
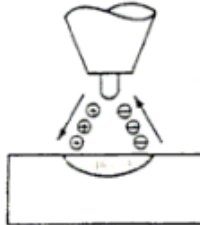
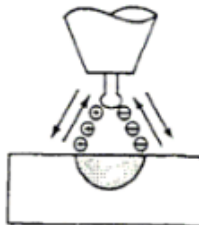
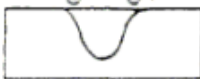


Es el parámetro más importante a controlar durante el soldeo ya que de este depende la penetración, la velocidad de soldeo, la tasa de deposición y la calidad de la soldadura. Fundamentalmente podemos distinguir tres tipos de corriente de soldeo:

- Corriente continua directa
- Corriente continua indirecta
- Corriente alterna

La elección de la clase de corriente y polaridad se hará en función del material a soldar. Las diferencias que se presentan se muestran en la **Figura 2.33**, en esta tabla se han resumido los efectos de la polaridad cuando se suelda con corriente continua y los efectos del soldeo con corriente alterna.

La corriente continua tiene como característica que el máximo calor del arco se genera en el polo positivo, aproximadamente un 70%.

Figura 2.33. Características del soldeo de acuerdo con la corriente seleccionada. [18]

Tipo de corriente	Corriente continua		Corriente alterna
	Directa	Inversa	
Polaridad	Directa	Inversa	
Flujo de electrones e iones			
Aspecto de la penetración			
Acción decapante	No	Sí	Sí. Una vez durante el semiciclo positivo.
Balace calórico (aproximado)	70% en la pieza 30% en el electrodo	30% en la pieza 70% en el electrodo	50% en la pieza 50% en el electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Ancha y menos profunda	Media
Comportamiento del electrodo	Excelente Ej. 400 A; 3,2 mm	Pobre Ej. 30 A; 3,2 mm	Buena Ej. 225 A; 3,2 mm

- Conectando en forma directa, esto es negativo al electrodo, podemos observar una mayor penetración. La pieza recibirá el 70% del calor del arco, con lo que podremos trabajar con menor corriente y además trabajar con un diámetro menor de varilla. De la misma manera podremos mejorar nuestra taza de depósito o bien aumentar la velocidad de soldeo.
- Conectando en forma indirecta, esto es positivo al electrodo podemos observar como primera medida la necesidad de utilizar un electrodo de mayor diámetro. Con el fin de evitar que este se deteriore rápidamente y transfiera material contaminando la pileta líquida. Igualmente nos obligaría a reducir velocidad de soldeo y como consecuencia tendríamos una taza de deposición menor.
- La corriente alterna, posee las ventajas de las dos polaridades el buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa y el efecto decapante del baño durante el semiciclo de polaridad inversa, por lo que suele emplearse en el soldeo de aleaciones ligeras, tales como las de aluminio y magnesio. [18]

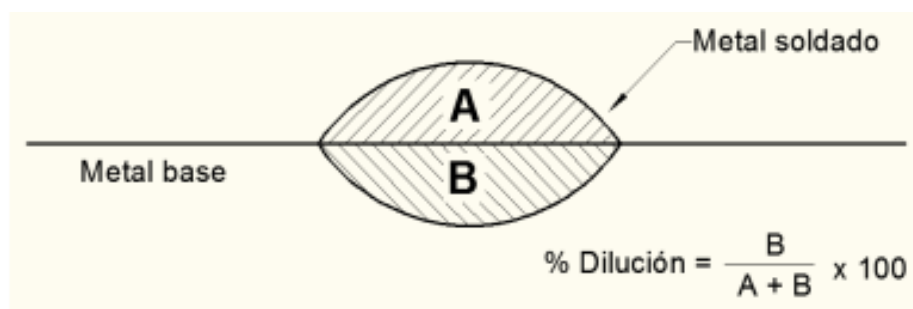
2.7. Dilución de la soldadura para ambos procesos

En la mayoría de los casos, el proceso de recargue requiere consideraciones especiales que no son solicitadas para uniones soldadas. Se enumeran a continuación:

1. La composición química y las propiedades mecánicas del recargue usualmente son muy diferentes de aquéllas del metal base o sustrato donde se deposita.
2. Una área relativamente grande del metal base se recubre con recargue.
3. En recargue, se busca aplicar la menor cantidad de depósito que le otorgue las propiedades buscadas.

La **Figura 2.34** ilustra un esquema de dilución. La ecuación en la figura muestra los porcentajes de dilución como una función de la cantidad de metal base fundido (B) y el metal depositado (A).

Figura 2.34. Esquema de dilución de un cordón de soldadura. [3]



Desde un punto de vista metalúrgico, la composición y las propiedades del recargue dependen grandemente de la dilución resultante. Debido a esto, la cantidad de dilución que otorga cada proceso de soldadura debe ser considerado apropiadamente, combinando el material de recargue y el proceso de soldadura para cada necesidad.

2.7.1. Variables de soldadura que afectan la dilución para en ambos procesos

Corriente: Incrementando la corriente aumenta la dilución. El arco es más caliente y rígido, la penetración es más profunda y mayor es la fusión del metal base.

Polaridad GMAW-C: Con corriente directa con polo negativo al electrodo da menos penetración y, por lo tanto, menor dilución que con el electrodo en polo positivo. Con corriente alterna la dilución es intermedia.

Polaridad GTAW: La polaridad en el proceso GTAW tiene efectos opuestos al proceso GMAW-C, esto significa que con corriente directa con polo negativo al electrodo da mayor penetración y por lo tanto mayor dilución. Con corriente alterna la

Diámetro del electrodo: Los diámetros pequeños se traducen en menores amperajes y por lo tanto menor dilución. En soldadura por arco bajo protección gaseosa (GMAW), para un amperaje definido, un diámetro grande de electrodo da una baja dilución sí con este diámetro se alcanza transferencia globular; mientras que los diámetros más pequeños resultan en transferencia de rocío. Con otros procesos de soldadura el resultado puede variar.

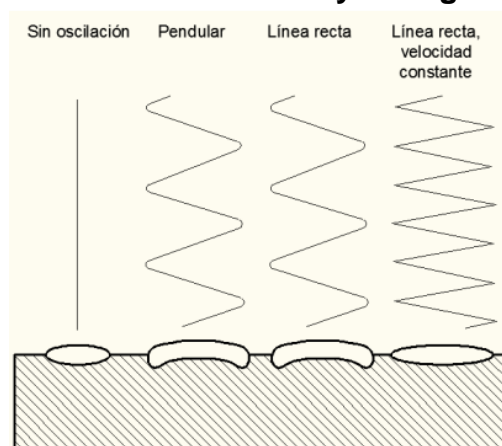
Extensión del electrodo (solo proceso GMAW-C): Un electrodo largo disminuye la dilución (para procesos con electrodo revestido). A la inversa, un electrodo corto incrementa la dilución, dentro de ciertos límites.

Superposición de cordones: Una mayor superposición de los cordones reduce la dilución debido a que existe mayor cantidad de cordones previos y menor material base que se refunden e incorporan a la pileta líquida. Una menor superposición incrementa la dilución.

Oscilación del electrodo: Cuando se oscila el electrodo, se obtienen cordones anchos y menor penetración, por lo que es menor la dilución: los cordones finos, estirados, producen máxima dilución. La frecuencia de oscilación también afecta la dilución: como regla, a mayor frecuencia de oscilación menor dilución.

Hay tres parámetros básicos de oscilación, como se indican en la **Figura 2.35**. La oscilación pendular se caracteriza por una oscilación sigilosa a ambos lados de los cordones en donde se produce mayor penetración y por lo tanto mayor dilución. La longitud del arco cambia continuamente con la oscilación pendular, resultando en variaciones en las características del arco. La oscilación en línea recta da aproximadamente igual resultado que con oscilación pendular pero logra mantener constantes las características del arco. La oscilación en línea recta y con velocidad constante produce la dilución más baja y hace que la longitud del arco se mantenga constante, para movimientos horizontales.

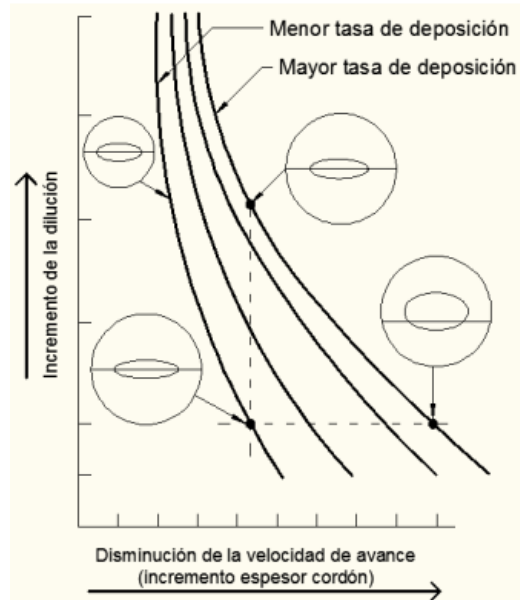
Figura 2.35. Modos básicos de oscilación y configuración de cordones. [3]



Velocidad de avance: Una disminución en la velocidad de avance disminuye la cantidad de metal fundido por unidad de tiempo y/o distancia e incrementa la cantidad

de recargue agregado: esto reduce la dilución. Esta reducción se genera por el cambio de forma del cordón y el espesor y por el hecho de que la fuerza del arco es ejercida sobre la pileta líquida más que sobre el metal base. En la **Figura 2.36** se muestran estos efectos.

Figura 2.36. Efecto de la velocidad de soldadura sobre la dilución. [3]



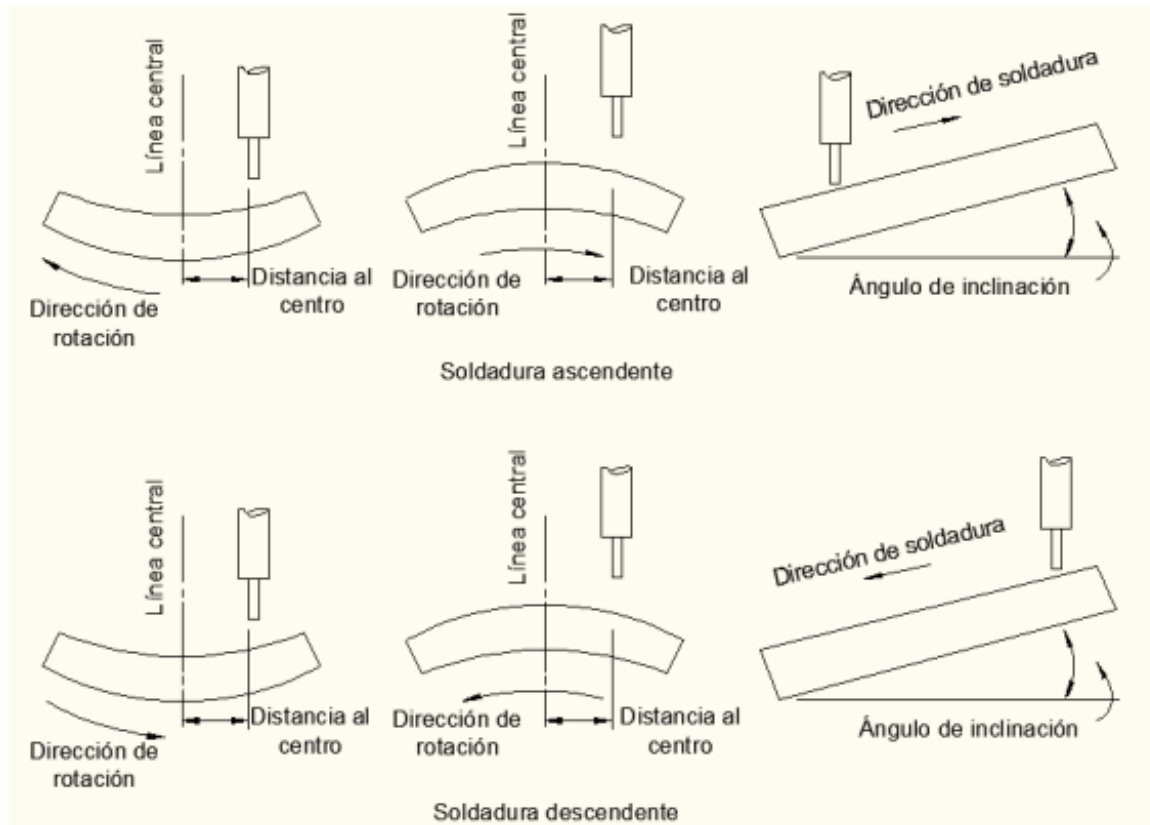
Posición de soldadura e inclinación de la pieza de trabajo: La posición de soldadura sobre la cual se aplica el recargue tiene una influencia importante sobre la dilución. Dependiendo de la posición o la inclinación de la pieza de trabajo la gravedad puede hacer que la pileta vaya delante, se mantenga debajo o detrás del arco. La mayoría de las piletas permanecen adelante o debajo del arco, por lo tanto la penetración en el metal base es menor y entonces la dilución es menor; así, la pileta líquida actúa como un recipiente, absorbiendo algo de la energía del arco antes de que incida sobre el metal base. La absorción de la energía del arco aplana y extiende cordón soldado. Si la pileta líquida está muy por delante del arco, habrá insuficiente fusión de la superficie del metal base y el depósito no tendrá lugar.

En los casos más generales, el orden donde disminuye de la dilución según cada posición de trabajo es la siguiente:

1. Vertical ascendente (mayor dilución)
2. Horizontal
3. Plana con inclinación subiendo
4. Plana sin inclinación
5. Plana con inclinación bajando (menor dilución)

La mayoría de las aplicaciones de recargue se realizan en posición plana. Para lograr la menor dilución en soldaduras ascendente o descendente de placas y partes cilíndricas la misma debe realizarse de acuerdo con la **Figura 2.37**.

Figura 2.37. Soldadura ascendente y descendente sobre placas y partes cilíndricas. [3]



Gas de protección: El gas de protección, tiene gran efecto sobre la dilución. Esta influencia se debe a la fluidez y tensión superficial de la pileta líquida, que a su vez, determinan la medida en que el metal de soldadura moja el metal base y se mezclan a lo largo de los bordes del cordón. El gas de protección también tiene un efecto significativo efecto sobre el tipo de corriente a utilizar en el proceso.

CAPITULO 3

Desarrollo experimental

El objetivo de este capítulo fue establecer los parámetros de soldadura, realizar los depósitos de soldadura de recargue y definir técnicas de caracterización. Por un lado se utilizó un proceso de soldadura semiautomático bajo protección gaseosa empleando alambre tubular con relleno metálico conocido como GMAW-C, bajo dos parámetros de soldeo; y por otro lado un proceso de soldadura manual bajo protección gaseosa empleando varilla maciza como consumible denominado GTAW, con un solo parámetro de soldeo.

El procedimiento experimental de este capítulo consistió en la preparación de los cupones, realización de las soldaduras, verificación de las mismas y caracterización química, macrografía, micrografía, y perfil de microdureza.

3.1. Realización de la soldadura

3.1.1. Consumibles utilizados en los procesos

Como se mencionó anteriormente los materiales utilizados para recargue pertenecen a 4 grupos.

- 1- Aleaciones base hierro.
- 2- Aleaciones base cobalto.
- 3- Aleaciones base níquel.
- 4- Aleaciones base cobre.

Las aleaciones del grupo 1 y 2 se corresponden con nuestros materiales en estudio para la tarea de recargue. Ambos metales de aporte en este trabajo fueron recomendados para recargue por un proveedor de consumibles definiendo así para el proceso GMAW-C un consumible de alambre tubular continuo con relleno metálico base hierro y diámetro 1,2mm, y para el proceso GTAW una varilla maciza base cobalto, de diámetro 3,2mm.

Para el proceso GMAW-C se utilizó un alambre tubular base hierro con relleno metálico de diámetro 1,2 mm, bajo la denominación comercial "EnDOtec DO 15" [19].

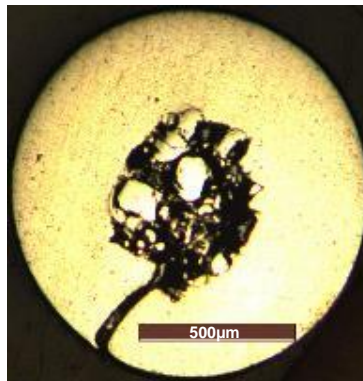
Cuyo rango de composición química (% en peso) y dureza dados por el fabricante se muestran en la **Tabla 3.1**.

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	Fe	Dureza(HRc)
0,35-0,55	0,8-1,2	<0,50	3,8-5,0	1,8-2,5	0,2-0,4	1,6-2,2	Balance	53-58

Tabla 3.1 Características del alambre comercial EnDOtec DO15. [19]

En la **Figura 3.1** se muestra el alambre denominado EnDOtec DO15 antes de ser soldado. Se observa el fleje de acero con el cual está conformado el consumible y puede verse el relleno de los elementos de aleación.

Figura 3.1. Macrografía del alambre antes de ser soldado, 50x.



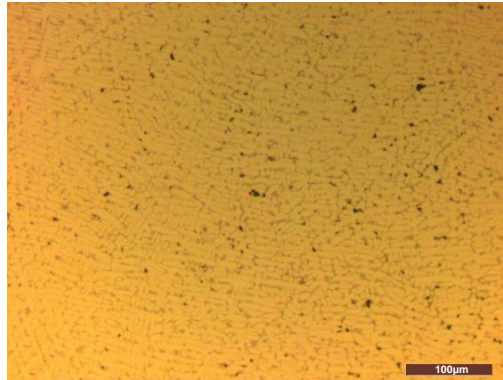
Para el proceso GTAW se utilizó una varilla maciza base cobalto de diámetro 3,2 mm, bajo la denominación comercial “Stoodite 6” [20] cuya dureza y composición química (%en peso) está dada por el fabricante y se muestra en la **Tabla 3.2**.

C	Cr	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	W	Co	Hrc
1,2	29	2,10	0,050	0,1	2	1,2	4,7	Balance	53-58

Tabla 3.2 Características del alambre comercial Stoodite 6. [20]

En la **Figura 3.2** se muestra la microestructura de la varilla del consumible denominado Stoodite 6 la cual posee una microestructura dendrítica definida por los elementos de aleación que la constituyen.

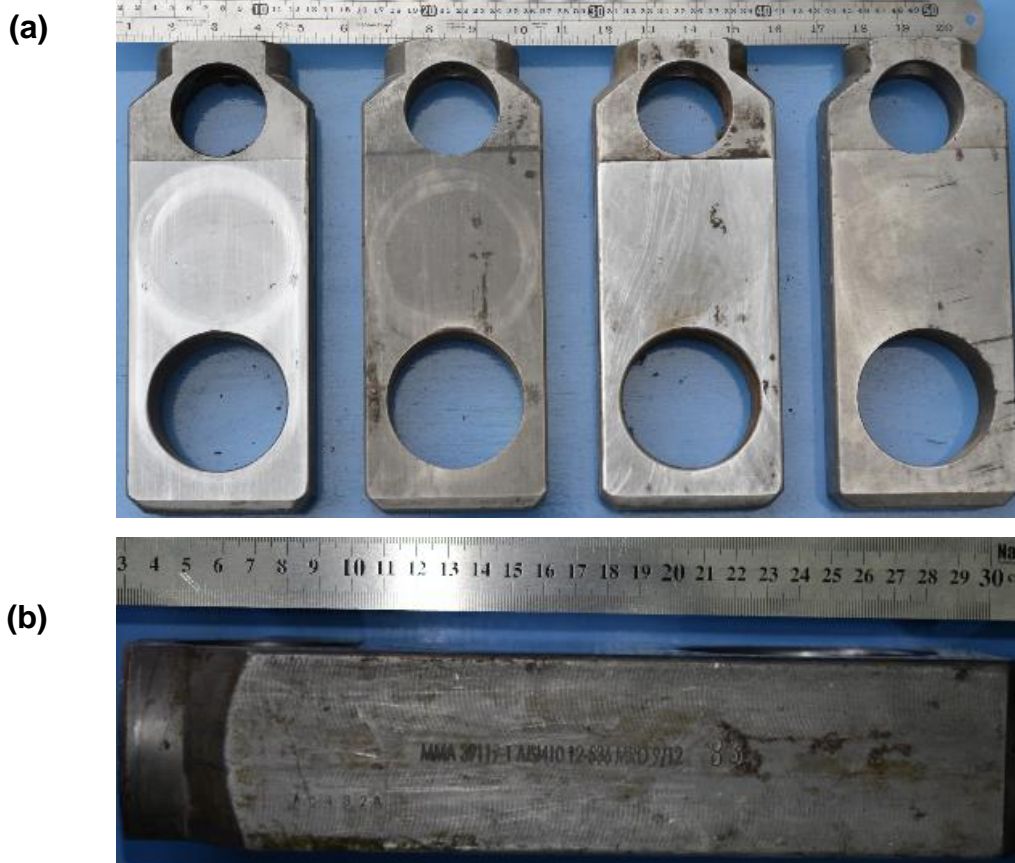
Figura 3.2. Micrografía de la varilla maciza antes de ser soldada, 500x.



3.1.2. Material base utilizado

Para realizar las soldaduras se prepararon cupones a partir de esclusas reales fuera de servicio que se muestran en la **Figura 3.3**. Estas son de acero inoxidable martensítico tipo AISI 410, y poseen un recubrimiento superficial de carburo de tungsteno de 105µm de espesor aproximadamente. [2]

Figura 3.3. Válvulas fuera de servicio para pruebas de soldadura;
a) vista superior. b) vista lateral. [2]



3.1.2.1. Preparación de la superficie

Para comenzar a preparar los cupones se realizó un desbaste de la superficie de las válvulas esclusa, con el objetivo de quitar el recubrimiento superficial de carburo de tungsteno y por otro lado asegurar que la superficie sea plana. Esta tarea se inició amolando con un disco abrasivo que eliminó la mayor cantidad posible de recubrimiento, sin embargo este paso no aseguró la eliminación total del depósito ni tampoco que la superficie quede plana. Para poder garantizarlo la esclusa fue mecanizada por medio de fresadora como se muestra en la **Figura 3.4**, realizando un desbaste de espesor cercano a 1 mm, este espesor excede ampliamente el recubrimiento original. Finalmente se rectificó la superficie, obteniendo la superficie plana. Antes de soldar la superficie fue limpiada con acetona.

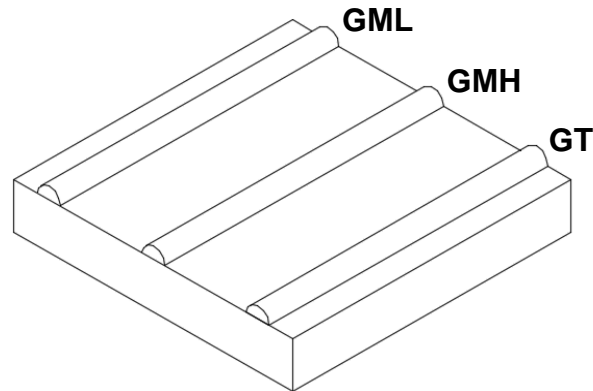
Figura 3.4. Mecanizado por medio de fresadora.



3.1.2.1. Realización de pasadas simples

Se preparó un cupón para determinar dilución y otro cupón para analizar composición química del metal de aporte puro. Para esta tarea se soldó sobre el mismo material en estudio, una pasada simple de cada condición de soldeo como se muestra en la **Figura 3.5** y sobre una chapa diferente se realizaron tres pasadas superpuestas de metal de aporte puro con el fin de obtener la composición química del mismo.

Figura 3.5. Esquema de soldadura de pasada simple.



3.1.3 Gases de protección

Como gas de protección se utilizó lo recomendado por el fabricante de los consumibles, sin embargo el gas no formó parte de las variables en estudio.

Según la recomendación se empleó para el proceso GMAW-C una mezcla de gases: Ar-20%CO₂ y para el proceso GTAW Ar puro. En ambos casos el caudal fue de 15lt/min.

3.1.4. Equipos y dispositivos utilizados

En el proceso GMAW-C la soldadura se realizó con un sistema guiado de la torcha de soldadura y se utilizó un equipo Railtrac FW 1000 Flexi Weaver como se muestra en la **Figura 3.6**, el cual permitió controlar la velocidad de avance de la torcha. El mismo consta de una guía rectificada de aluminio, un cabezal móvil y los paneles de control portátiles.

Figura 3.6. Equipo Railtrac FW 1000 Flexi Weaver.

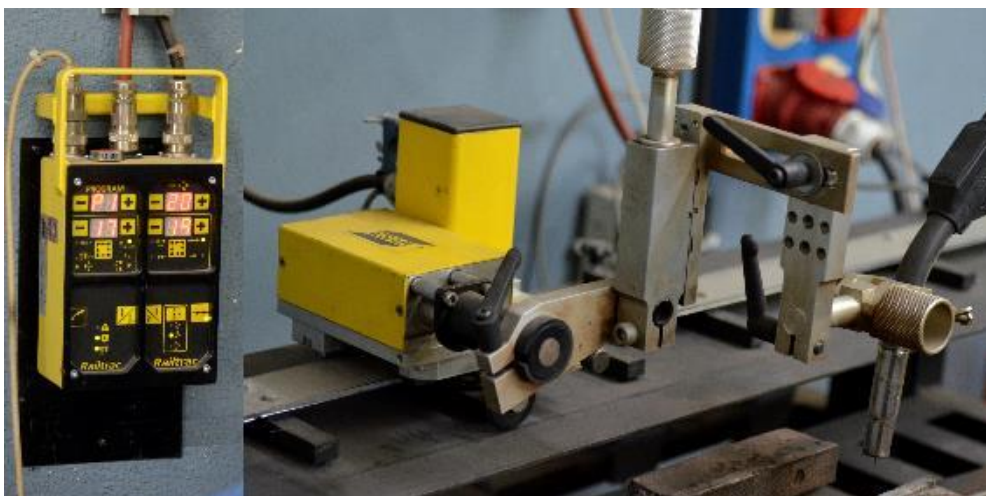


Figura 3.7. Realización soldadura GTAW.



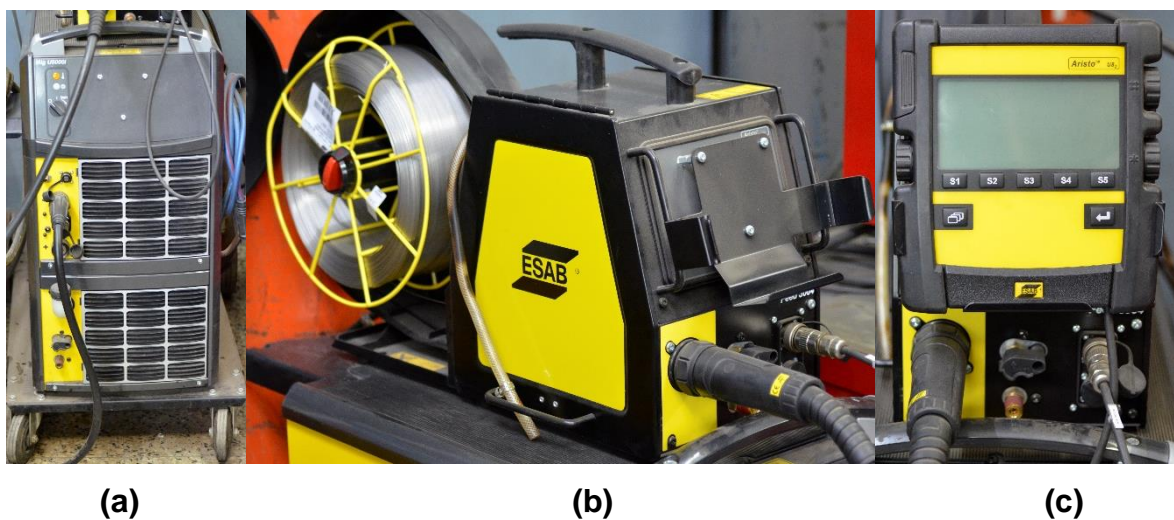
Para el proceso GTAW la soldadura se realizó en forma manual sin otro equipo auxiliar como se muestra en la **Figura 3.7.**

3.1.5. Equipo de soldadura utilizado

Para ambos procesos se empleó la misma fuente, como se muestra en la **Figura 3.8a**, la misma es un modelo Esab Mig U5000i que es una unidad de alimentación MIG/MAG/TIG.

El proceso GMAW-C fue realizado con una unidad de aporte de hilo como se muestra en la **Figura 3.8b**, modelo Feed 3004, diseñada específicamente para realizar soldaduras MIG/MAG.

Figura 3.8. Equipo de soldadura. a) Fuente de poder semiautomática. b) Alimentadora de hilo. c) Display digital.



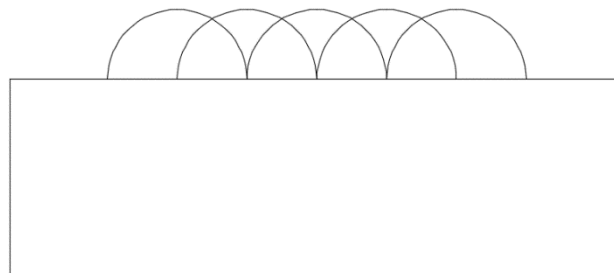
Para el proceso GMAW-C se utilizó arco continuo. Los parámetros de soldadura se regularon modificando la velocidad de alimentación del alambre ya que la tensión es esencialmente constante dada por la altura desde la torcha a la pieza. Aumentar la velocidad de alimentación se traduce en aumentar la corriente. El equipo cuenta con un display digital que se muestra en la **Figura 3.8c**, modelo U82, que indica instantáneamente los valores eficaces medidos. Se soldó con corriente continua y electrodo positivo.

Para el proceso GTAW se utilizó corriente continua y electrodo negativo.

3.1.6. Secuencia de soldadura

La secuencia de soldadura empleada para todos los casos fue un cordón junto al anterior como se muestra en la **Figura 3.9**, con un solape del 50%.

Figura 3.9. Esquema de la superposición de los cordones de soldadura.



3.1.7. Identificación de los cupones soldados

GML: Cupón soldado con proceso GMAW-C y bajo aporte térmico.

GMH: Cupón soldado con proceso GMAW-C y alto aporte térmico.

GT: Cupón soldado con proceso GTAW.

3.1.8. Parámetros utilizados y definición del aporte térmico.

Debido a las necesidades del recargue fue necesario definir los parámetros de soldadura utilizado, los mismos se establecieron basado en lo que recomienda el fabricante de los consumibles. Sin embargo se realizaron pruebas de soldaduras previas a soldar los cupones para obtener un arco estable. Los parámetros utilizados difieren de los recomendados.

En la **ecuación 3.1** se muestra que el aporte térmico, “Q” es función de la tensión de arco, “V_a”, la corriente de soldadura “I” y velocidad de soldadura “V_s”.

Para el proceso GMAW-C la velocidad de soldeo fue constante y se definió con el railtrac fijándola en 2,9mm/seg.

El proceso GTAW fue manual, por lo tanto la velocidad dependió del operario sin embargo esta mantuvo esencialmente constante durante toda la soldadura en un promedio de 1,9mm/seg.

Para lograr modificar el aporte térmico se varió la potencia del arco (dada por el producto V_a*I).

Ecuación 3.1. Aporte térmico

$$Q = \frac{V_a \times I}{v_s}$$

La **Tabla 3.3** muestra los parámetros promedio utilizados y la denominación asignada a los cupones soldados.

Identificación del cupón	Metal de aporte	Gas de protección.	V_a	I	V_s	Q
GML	EnDOtec DO15	Ar-20%CO ₂	22,2	158	2,9	1,2
GMH	EnDOtec DO15	Ar-20%CO ₂	27	180	2,9	1,6
GT	Stoodite 6	100% Ar	12,8	170	1,9	1,1

Tabla 3.3. Parámetros utilizados.

Las temperaturas entre pasadas se midieron mediante el empleo de un termómetro infrarrojo.

3.2. END mediante líquidos penetrantes

Una vez soldados los cupones se realizó un ensayo no destructivo de líquidos penetrantes de acuerdo con la norma ASTM 165E, 2001 [21], con el propósito de evaluar superficialmente la calidad de las mismas. Esta tarea permitió evidenciar si existen indicaciones sobre la superficie de las soldaduras, propias del proceso, del consumible o de las condiciones de soldeo.

3.3. Extracción de muestras

3.3.1. Probetas soldadas

Para la obtención de probetas se realizaron cortes sobre los cupones utilizando una cortadora por chorro de agua, un serrucho mecánico y una cortadora metalográfica. Inicialmente se realizaron tres cortes por cada cupón, obteniendo dos secciones de interés como se muestra en la **Figura 3.10**. La primera sección fue utilizada para realizar una macrografía y la segunda reducida por medio del serrucho mecánico y de la cortadora metalográfica, de aquí se obtuvieron probetas pequeñas de las regiones que se muestran en la **Figura 3.11**.

Figura 3.10. Esquema de las secciones obtenidas con la cortadora de chorro de agua.

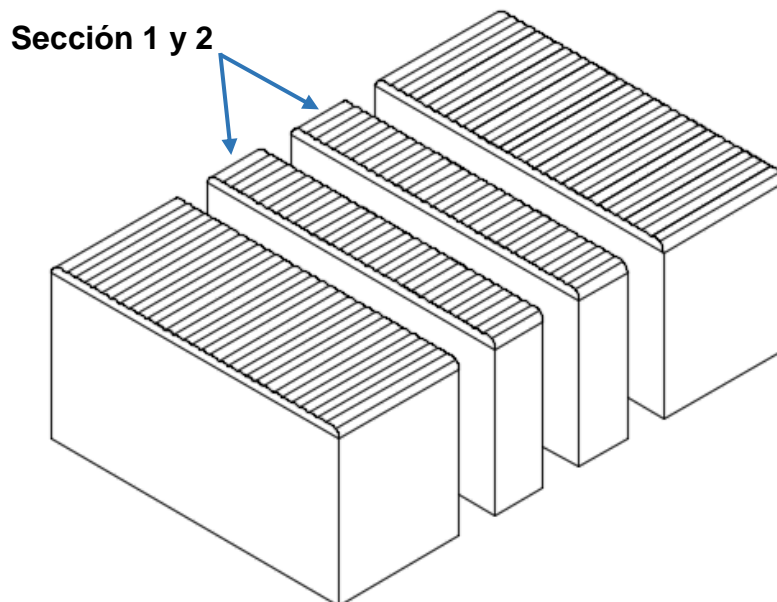
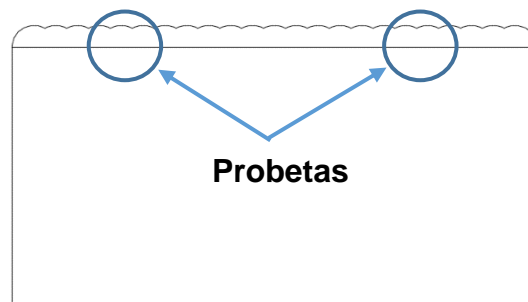


Figura 3.11. Esquema de donde se obtuvieron las probetas de la sección 2.



3.3.2. Extracción de probetas de pasada simple

Del cupón de pasada simple se tomaron tres probetas por cada condición de soldeo. Estas probetas fueron utilizadas para estudio de dilución.

3.3.3. Consumibles

De los dos consumibles utilizados, se tomaron muestras sin fundir para caracterizar. Además se utilizaron los cupones soldados con metal de aporte puro para obtener su composición química.

3.4. Composición química

3.4.1. Composición química de la pasada simple

La composición química de las pasadas simple se determinó mediante SEM EDS. Para el segundo caso la composición química del metal de aporte puro se utilizó la técnica conocida como OES, espectrometría de emisión por chispa; equipo OXFORD INSTRUMENT, Modelo: PMI MASTER Pro, N° Serie 13T0039. Donde solo se pudo determinar la composición del consumible EnDOtec DO 15 correspondiente al proceso GMAW-C.

3.4.1. Composición química de los cupones

La composición química se determinó mediante SEM EDS. Para esta tarea se utilizaron las 2 probetas obtenidas para cada condición de soldeo.

3.5 Caracterización microestructural

3.5.1. Macrografía y microscopía óptica

De cada cupón soldado se preparó un corte para observación metalográfica, macrografía y micrografía con microscopía óptica (MO). La preparación de las muestras para observación de macrografía consistió en dos etapas: desbaste y ataque químico, para la observación de micrografía se debieron incluir previamente en una resina acrílica para su preparación metalográfica según la norma ASTM E 3– 2011[22] antes del pulido y del ataque químico. El desbaste se realizó con papel de lija al agua desde grado 80 y sucesivamente hasta grado 1500. Posteriormente haciendo uso de una pulidora de disco, se utilizó como abrasivo pasta de pulir de 1µm. Una vez alcanzado este nivel de acabado superficial en la etapa de pulido se efectuó el ataque químico según norma ASTM E407, - 2007[23]. Los reactivos utilizados se muestran en la **Tabla 3.4**. Se utilizaron los reactivos llamados Vilella y Beraha's, los que resultaron ser efectivos para los cupones GMAW-C que son base hierro, sin embargo

ninguno dio resultado el cupón GTAW que es base cobalto, por lo tanto se realizó un ataque químico denominado “agua regia” según se encontró en bibliografías de trabajos similares [24]. La observación macrográfica, se realizó empleando una lupa.

Para la caracterización microestructural se empleó un microscopio óptico marca “LEICA DMI 3000M” con sistema incorporado de digitalización de imágenes, como se observa en la **Figura 3.12**. Para todos los casos se realizó el escalado de las imágenes mediante el uso de patrones digitalizados.

Reactivo	Composición Química	Cupón
Vilella	1g ácido pícrico ($C_6H_3N_3O_7$) 5ml ácido clorhídrico (HCl) 100ml alcohol etílico	GML GMH
Beraha's	50ml ácido clorhídrico (HCl) 100ml agua destilada (H_2O) 1gr metabisulfito de potasio ($K_2S_2O_5$) 1,5gr cloruro de hierro ($FeCl_3$) 5gr bifluoruro de amonio (NH_4HF_2)	GML GMH
Agua regia	40ml ácido clorhídrico (HCl) 10ml ácido nítrico (HNO_3)	GT

Tabla 3.4. Reactivos utilizados y su composición química.

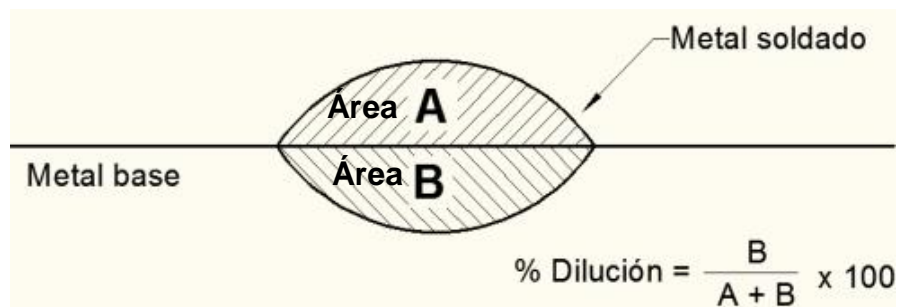
Figura 3.12. Microscopio óptico LEICA DMI 3000M.



3.5.2. Medición de dilución

A partir de las imágenes macro de las probetas de pasada simple se realizó el cálculo de la dilución. Primero se midió el área de cada cordón utilizando un software de dibujo asistido por computadora (CAD), el método implica dibujar el contorno del cordón por medio de vectores que delimitan el área total. Y mediante la ecuación de la **Figura 3.13**, se calculó la dilución. [3]

Figura 3.13. Esquema de dilución de un cordón de soldadura. [3]



3.5.3. Medición de las crestas del depósito

El alto del depósito cobra importancia ya que las piezas recuperadas luego de ser soldada deben ser mecanizadas para obtener una superficie completamente plana. Por lo tanto se analizó la altura del depósito, midiendo la diferencia máxima entre crestas, se tomó como referencia una línea donde se eliminó la rugosidad del depósito. A menor diferencia entre crestas, menor es el mecanizado de toda la superficie reduciendo el tiempo de recuperación.

Esta tarea se realizó utilizando un software de dibujo asistido por computadora (CAD).

3.5.4. Microscopia electrónica de barrido

Se caracterizó la microestructura de los cupones soldados. Se empleó un microscopio electrónico de barrido perteneciente al Centro Atómico Bariloche, modelo INSPECT S50 año 2016, de la firma FEI, con analizador EDS. Además se realizaron mediciones puntuales y generales de composición química identificando sus elementos.

3.5.5. Barridos de microdureza

Para la determinación de microdureza sobre las probetas extraídas utilizo un microdurómetro digital que se muestra en la **Figura 3.14**, marca FUTURE TECH modelo FM700. El procedimiento fue realizar barridos de microdureza Vickers con una carga de 300gr y una separación igual a 0,5 mm según norma ASTM E384-17, 2001 [25]. Se realizaron tres barridos en dos probetas por cada condición en líneas paralelas por cada probeta de manera transversal a la soldadura con una separación de 5 mm entre cada barrido.

Figura 3.14. Microdurómetro empleado.



CAPITULO 4

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos.

4.1. Caracterización del metal base

El metal base fue caracterizado antes de aplicar cualquier proceso de soldadura para determinar composición química, microestructura y microdureza.

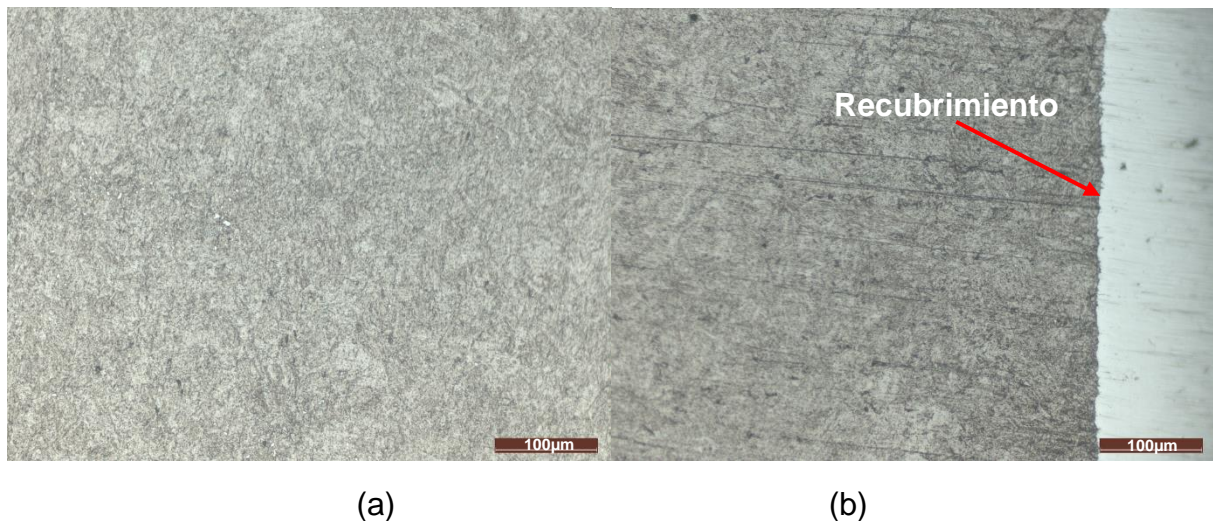
Los valores de composición química se muestran en la **Tabla 4.1**. Estos valores se encuentran dentro del rango del acero inoxidable AISI 410[3].

Muestra	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	Fe
M. base	0.15	0.528	0.305	12.8	0.559	0.021	0.003	0.069	Resto

Tabla 4.2. Composición química del metal base (wt%). Ver Anexo 2

La microestructura del metal base se muestra en **Figura 4.1a** y se corresponde con una microestructura martensítica. Se observan los típicos listones de martensita y en algunas regiones también se pudo observar algunas agujas de martensita. En la **Figura 4.1b** puede verse el recubrimiento duro descrito en el capítulo 2.

Figura 4.1. Metal base con microscopio óptico, 200x; (a) estructura martensítica (b) Recubrimiento.



La **Tabla 4.2** muestra la microdureza obtenida en el metal base, el valor promedio fue de 223 HV_{300gr}. Los valores son los esperados según los datos teóricos.

Por lo expuesto anteriormente se sabe que el metal base es un acero inoxidable martensítico del tipo AISI 410.

Impronta	Dureza HV_{0,3}
1	230
2	219
3	218
4	226
5	225
Promedio	223

Tabla 4.2. Valores de microdureza del metal base.

4.2. Parámetros registrados de la soldadura

En la **Tabla 3.3** se presentaron los valores promedios de las soldaduras realizadas. A continuación en la **Tabla 4.3.a,b,c** se presentan la identificación de los cupones correspondientes a las tres condiciones de soldadura obtenidas, y se detalla el conjunto de los parámetros utilizados en cada pasada de soldadura.

GML				
Pasada	V_a	I	V_s	Q
1	22	162	2,9	1,1
2	22	160	2,9	1,0
3	22,2	155	2,9	1,0
4	22,2	156	2,9	1,1
5	22,2	158	2,9	1,2
6	22,2	159	2,9	1,2
7	22,2	160	2,9	1,3
8	22,2	160	2,9	1,2
9	22,2	160	2,9	1,2
10	22,2	158	2,9	1,2
11	22,2	158	2,9	1,4
12	22,3	158	2,9	1,2
13	22,2	156	2,9	1,2
14	22,2	155	2,9	1,1
15	22,2	159	2,9	1,2
16	22,2	159	2,9	1,2
promedio	22,2	158	2,9	1,2

Tabla 4.3.a. Parámetros de soldaduras. Cupón soldado con GMAW-C y bajo aporte térmico.

Para efectuar la soldadura con alto aporte térmico se aumentaron los parámetros de soldadura tanto como fue posible manteniendo estable el arco eléctrico.

GMH				
Pasada	I	T°	V_s	Q
1	178	25	2,9	1,6
2	183	88	2,9	1,6
3	185	85	2,9	1,5
4	184	93	2,9	1,7
5	183	73	2,9	1,6
6	181	78	2,9	1,6
7	175	82	2,9	1,5
8	178	83	2,9	1,5
9	173	85	2,9	1,6
10	179	91	2,9	1,6
promedio	180	//	2,9	1,6

Tabla 4.3.b. Parámetros de soldaduras. Cupón soldado con GMAW y alto aporte térmico.

GTL					
Pasada	V_a	I	T°	V_s	Q
1	12,5	170	26	1,6	1,2
2	12,7	170	33	2,3	0,9
3	12,2	170	66	1,9	1,0
4	13,2	170	61	2,6	0,9
5	13	170	62	1,9	1,1
6	13,7	170	60	2,0	1,1
7	12,5	170	67	1,7	1,2
8	12,7	170	68	1,7	1,3
9	12,2	170	65	1,9	1,0
10	12,5	170	61	2,0	1,0
11	12,7	170	66	2,0	1,0
12	12,2	170	64	1,9	1,1
13	13,2	170	66	2,3	1,0
14	13,5	170	65	1,8	1,2
15	13	170	67	1,9	1,1
16	13,2	170	67	2,0	1,1
17	13,2	170	61	1,7	1,3
18	12,7	170	68	1,4	1,5
19	13,2	170	66	1,7	1,3
Promedio	12.8	170	//	1,9	1,1

Tabla 4.3.c. Parámetros de soldaduras. Cupón soldado con GTAW.

4.3. Inspección visual de la soldadura de los cupones

En la **Figura 4.2. a,b** se muestra el aspecto visual de las soldaduras de los cupones soldados por GMAW-C. Ambos procesos se dan sin escoria y puede observarse una buena apariencia superficial con un nivel de salpicadura muy bajo, los cordones son regulares y homogéneos.

En el proceso GMAW-C se observó sobre el depósito un polvo muy fino de color rojizo como se muestra en la **Figura 4.3**. Esto se debe a que el consumible utilizado contiene principalmente polvo de hierro, desoxidantes, desnitrificantes y los elementos de aleación en el relleno, con poco o ningún elemento formador de escoria, por lo general menores al 5% [26]. Este polvo rojizo solo fue superficial y se removió con facilidad.

En la **Figura 4.2.c** se presenta la pieza soldada con GTAW y se observa una buena apariencia superficial luego de soldado sin presencia de salpicadura. Sin embargo se observan los sucesivos cordones no homogéneos y con un grado de irregularidad lo que es consecuencia del proceso manual.

Figura 4.2.a. Cupón GMAW-C con bajo aporte térmico.



Figura 4.2.b. Cupón GMAW-C con alto aporte térmico.



Figura 4.2.c. Cupón GTAW.



Figura 4.3. Polvo fino color rojizo.



4.3.1. END, mediante líquidos penetrantes

Una vez soldados los cupones se realizó un ensayo no destructivo de líquidos penetrantes de acuerdo con la norma ASTM 165E, 2001 [21], con el propósito de evaluar superficialmente la calidad de las mismas. Esta tarea permitió evidenciar si existen indicaciones sobre la superficie de las soldaduras, propias del proceso, del consumible o de las condiciones de soldeo.

La **Figura 4.4** muestra el ensayo de líquidos penetrantes. Luego en la **Figura 4.5** se muestra los resultados, aquí se observó baja presencia de defectos en ambos cupones, y se trata de porosidad sobre los finales en los cordones de soldadura, este tipo de defecto es conocido comúnmente como rechupe y se da cuando el metal de soldadura se solidifica dentro del cráter [27].

Figura 4.4. Ensayo de líquidos penetrantes.



Figura 4.5. Indicación de defectos.



4.4. Inspección visual de la soldadura de pasada simple

En la **Figura 4.6** se muestra los cordones de soldadura realizados en pasada simple y se observa que todos los cordones presentan una buena apariencia visual al igual que las soldaduras efectuadas sobre los cupones. Se obtuvieron cordones homogéneos. En el proceso GMAW-C con alto aporte térmico, se presentó salpicadura sin embargo la misma es baja y la terminación superficial es buena.

Figura 4.6. Aspecto visual soldadura de pasada simple.



4.5. Resultados de las soldaduras de pasada simple

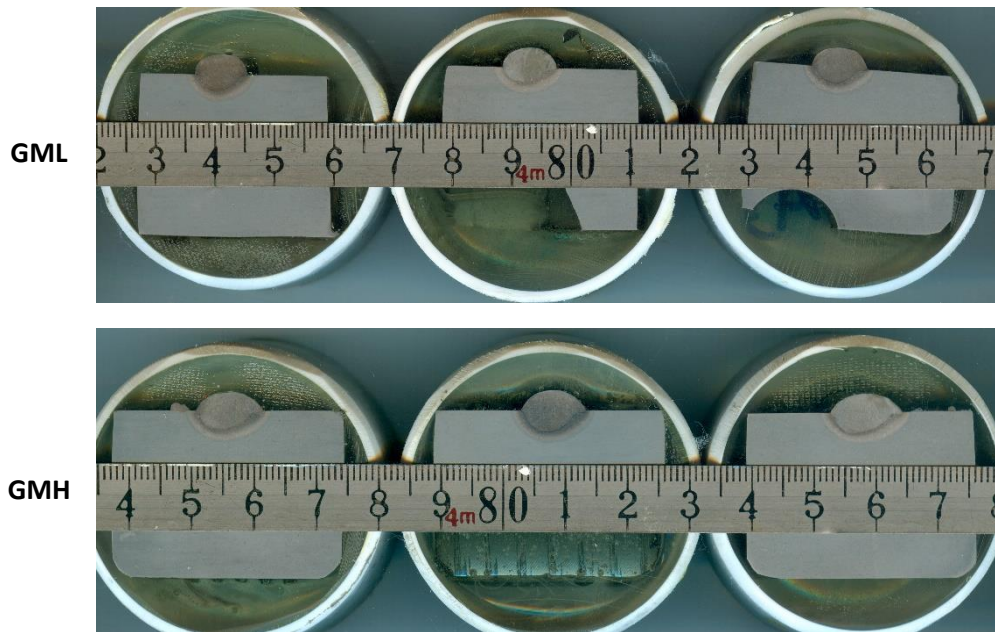
4.5.1. Macrografía y cálculo de dilución

En la **Figura 4.7** se muestran cortes transversales de las soldaduras de pasada simple observándose el metal base y el metal de aporte, además se observa un bajo nivel de defectos macroscópicos (poros, inclusiones de escoria, fisuras, etc).

Para el proceso GMAW-C se puede ver que para la probeta soldada con menor aporte térmico tiene una altura del cordón ligeramente menor con un cordón más angosto que la probeta soldada con alto aporte térmico.

Figura 4.7. Macrografía de las soldaduras de pasada simple.



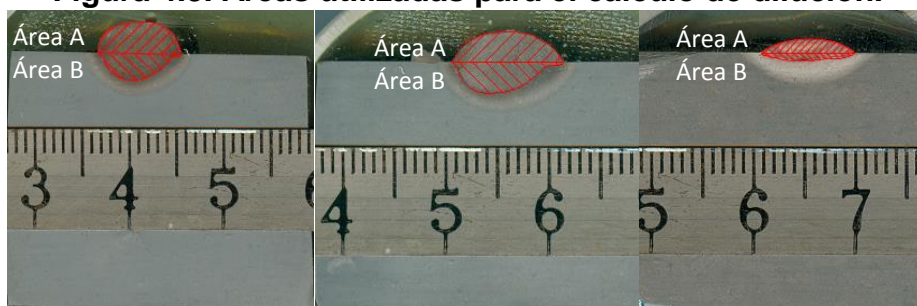


Sobre la **Figura 4.7** se realizaron las mediciones de dilución. Esta imagen permitió cuantificar un promedio en porcentaje de las tres probetas de dilución. En la **Figura 4.8** se muestra esquemáticamente las áreas donde se aplicó la ecuación de la Figura 2.25 del capítulo dos de este trabajo y se determinaron los siguientes valores mostrados en la **Tabla 4.4**. Los cálculos pueden verse en el **Anexo 3**.

Probeta	%Dilución
GML	38,8
GMH	48,2
GT	38,9

Tabla 4.4. Valores promedios de la medición de dilución.

Figura 4.8. Áreas utilizadas para el cálculo de dilución.



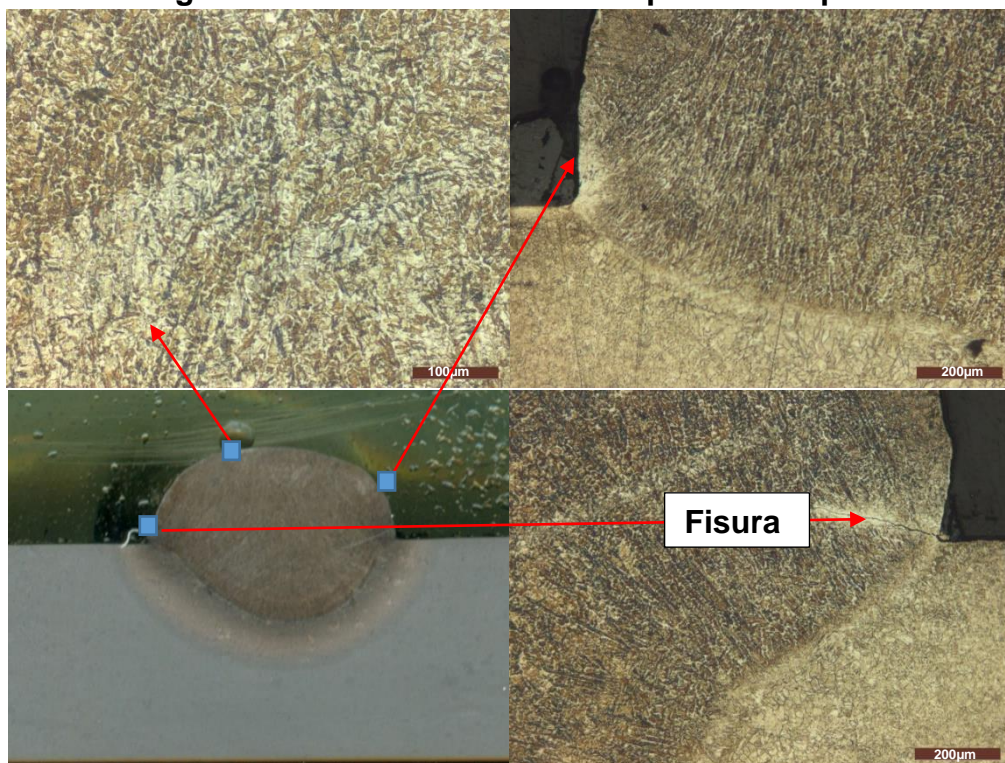
Los valores de dilución se corresponden con el aporte térmico de cada condición de soldadura. Siendo la mayor dilución para el caso de mayor aporte térmico. Al observar

la probeta GML y la probeta GT se pudo ver que poseen valores de dilución semejantes como así también el aporte térmico, no obstante tienen morfologías de depósito completamente diferentes.

4.5.3. Microestructura de la soldadura de pasada simple

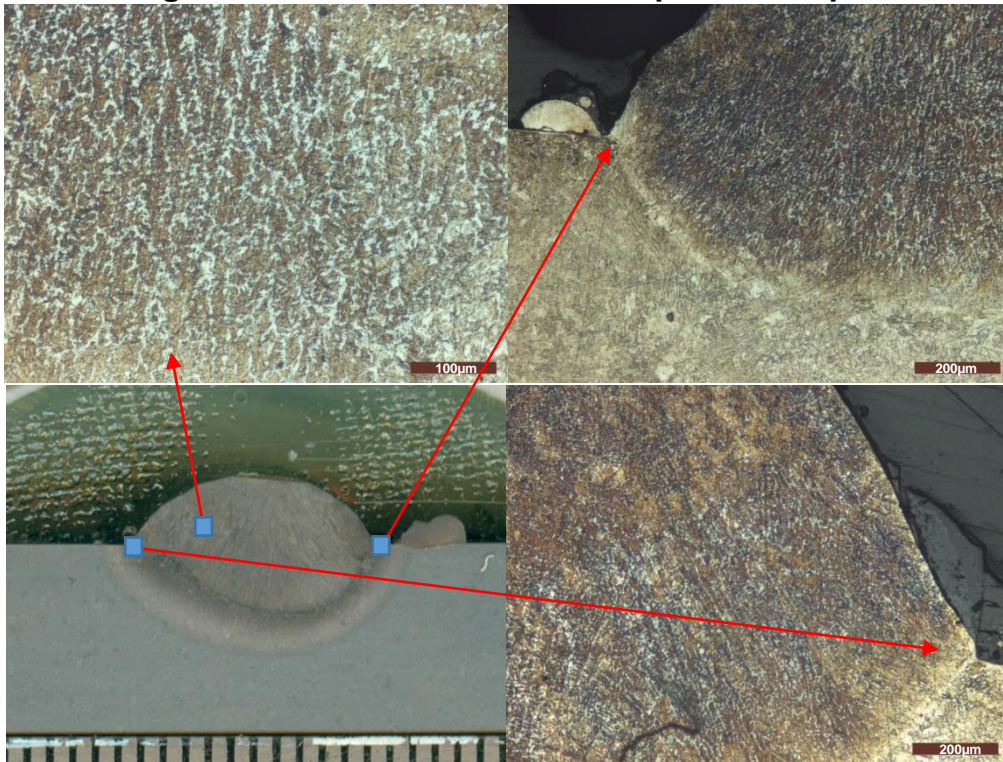
La **Figura 4.9** muestra la microestructura de la probeta pasada simple GML y se revela martensita nucleada a partir de un crecimiento dendrítico, y se observa que el crecimiento dendrítico se origina sobre el metal base hacia la superficie. Además se evidencio una fisura en este cupón.

Figura 4.9. Microestructura GML pasada simple.



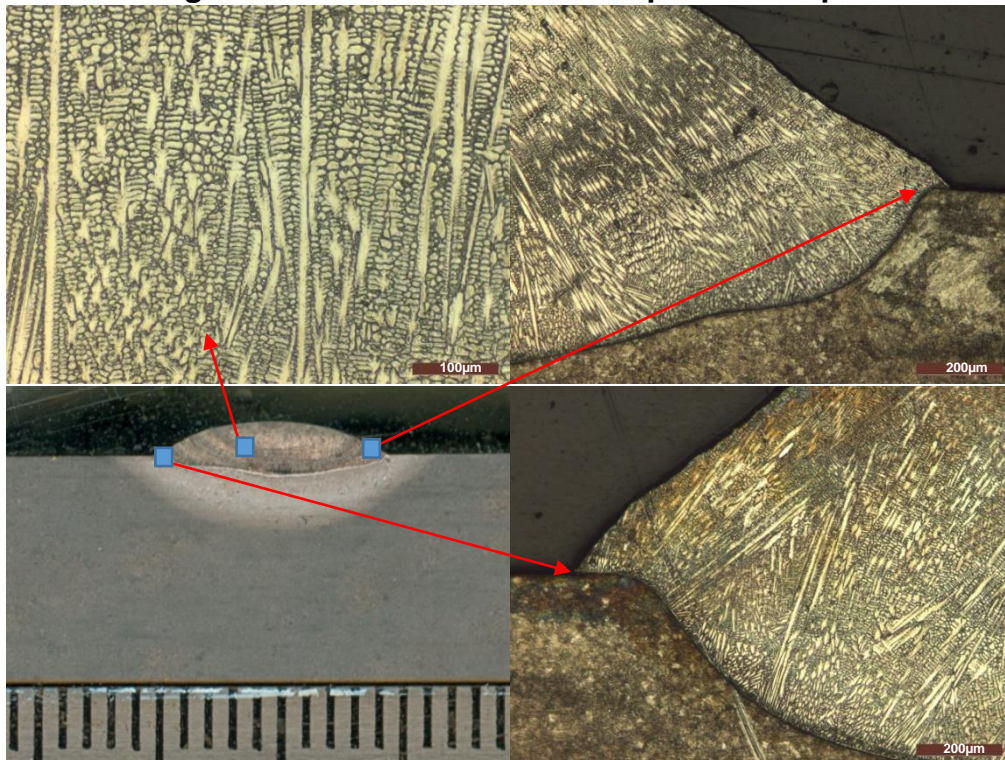
En la **Figura 4.10** se muestra la microestructura de la probeta de pasada simple GMH que presenta una microestructura semejante a la descrita anteriormente pero con un crecimiento dendrítico de tamaño ligeramente mayor.

Figura 4.10. Microestructura GMH pasada simple.



En la **Figura 4.11** se muestra la microestructura de la probeta de pasada simple GT donde se observó una matriz eutéctica con un crecimiento dendrítico

Figura 4.11. Microestructura GT pasada simple

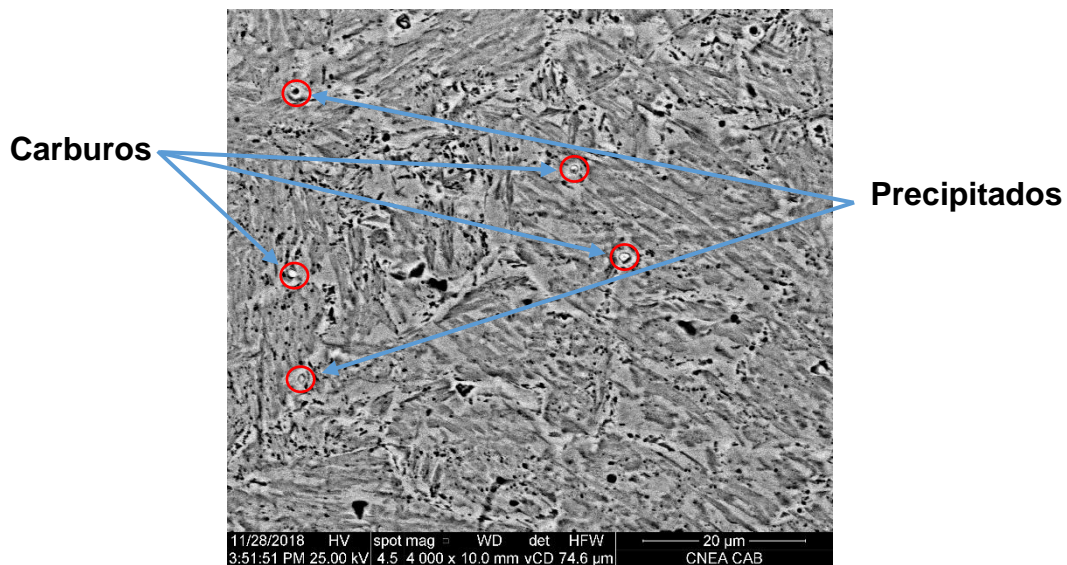


4.5.4. Caracterización de las probetas por SEM

Mediante el uso del SEM EDS se determinó la composición química local de las probetas de pasada simple como así también de los cupones, lo cual veremos más adelante.

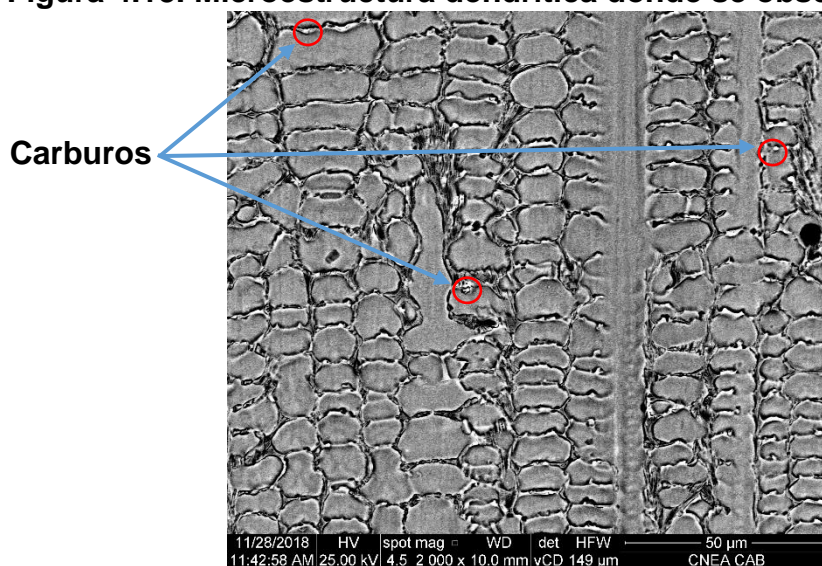
Para el caso de las pasadas simples GMAW-C que se muestra en la **Figura 4.12** se observó la microestructura martensítica donde se pudo ver precipitados y carburos. Los carburos se distinguen con mayor facilidad en la probeta de alto aporte térmico.

Figura 4.12. Microestructura martensítica donde se observan carburos y precipitados.



Para el caso de las pasadas simples GTAW que se muestra en la **Figura 4.13** se observó la microestructura dendrítica donde se pudo ver carburos.

Figura 4.13. Microestructura dendrítica donde se observan carburos.



4.5.4.1. Composición química de las soldaduras de pasada simple

Los valores de composición química obtenidos por EDS se muestran en la **Tablas 4.5. a y b**. Los valores obtenidos son un promedio según la zona indicada, o se corresponde a una medición puntual como es en el caso de los carburos.

Zona	Fe	Cr	Si	Mo	V	W
Promedio	88,4	9,1	0,8	1,1	0,3	0,4
Martensita	90,5	7,8	0,8	0,9		
Carburo	78,3	15,9		3,7	0,6	1,5

Tabla 4.5 a. Composición química por EDS de probeta GMAW-C (wt%).

Zona	Fe	Cr	Si	Ni	Co	W
Promedio	35,0	27,5	0,5	1,6	32,9	2,4
Dendrita	36,2	21,9	0,7	2,2	37,9	1,2
Eutéctico	18,1	44,1	0,2	0,7	14,5	2,4
Carburo	44,3	23,1	0,6	1,6	28,8	1,6

Tabla 4.5 b. Composición química por EDS de probeta GTAW (wt%).

Un aspecto importante que se detectó fue la diferencia en la composición química dentro del depósito, en la zona de interfase se detectaron los mismos elementos de aleación del metal de soldadura pero con una concentración menor lo que hace referencia a una mayor dilución.

Existe diferencias entre los puntos analizados, pero todas las mediciones se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

4.6. Resultados de la soldadura del cupón GMAW-C

4.6.1. Macrografía del cupón soldado

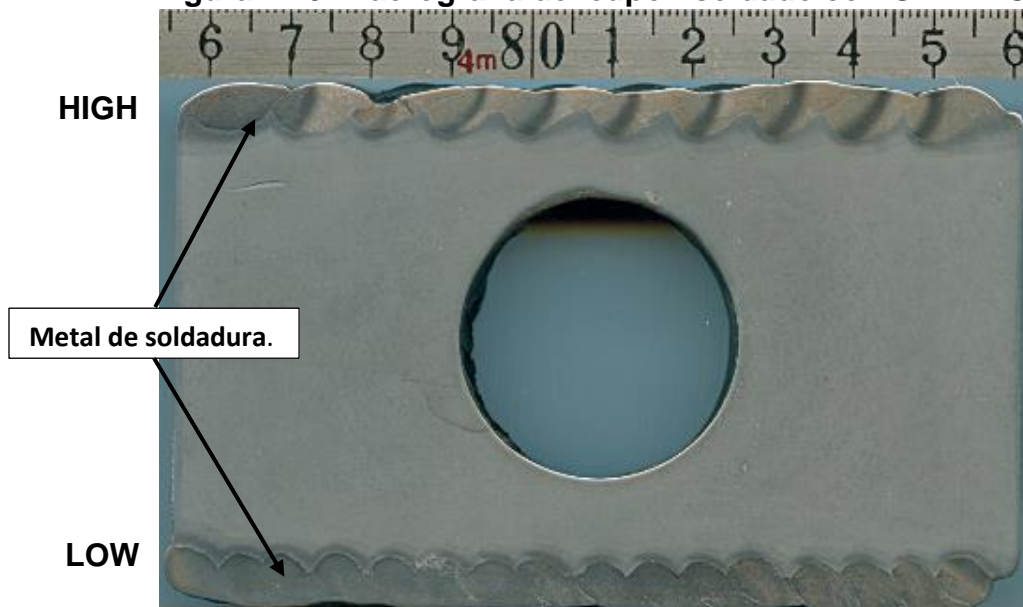
En la **Figura 4.14** se muestran los cortes transversales del cupón GMAW-C. La **Figura 4.15** muestra uno de estos cortes pulido y con ataque químico. Se observa el metal base, y el metal de soldadura o recargue, además puede verse la penetración del depósito. Se distinguen los aportes térmicos; arriba, alto aporte térmico y abajo, bajo aporte térmico.

Sin necesidad de utilizar aumento se observan zonas oscurecidas a causa del tratamiento térmico que generan los sucesivos cordones de soldadura al anterior, este efecto es más significativo en la condición de alto aporte térmico.

Figura 4.14. Corte transversal usando chorro de agua.



Figura 4.15. Macrografía del cupón soldado con GMAW-C.

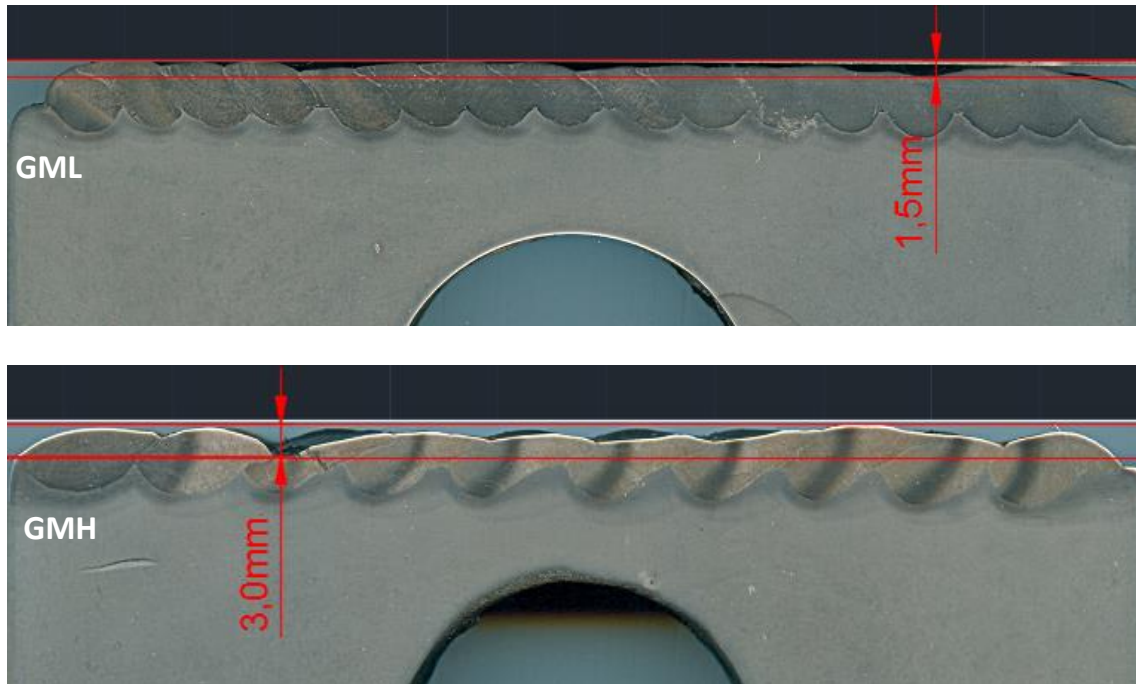


4.6.1.1. Medición de cresta y valle

Se midió desde la cresta más elevada hasta el valle más bajo como se muestra en la **Figura 4.16**. Esto equivale al desbaste mínimo a ser mecanizado. Las mediciones fueron las siguientes.

- Cupón GMAW-C L: 1,5mm.
- Cupón GMAW-C H: 3,0mm.

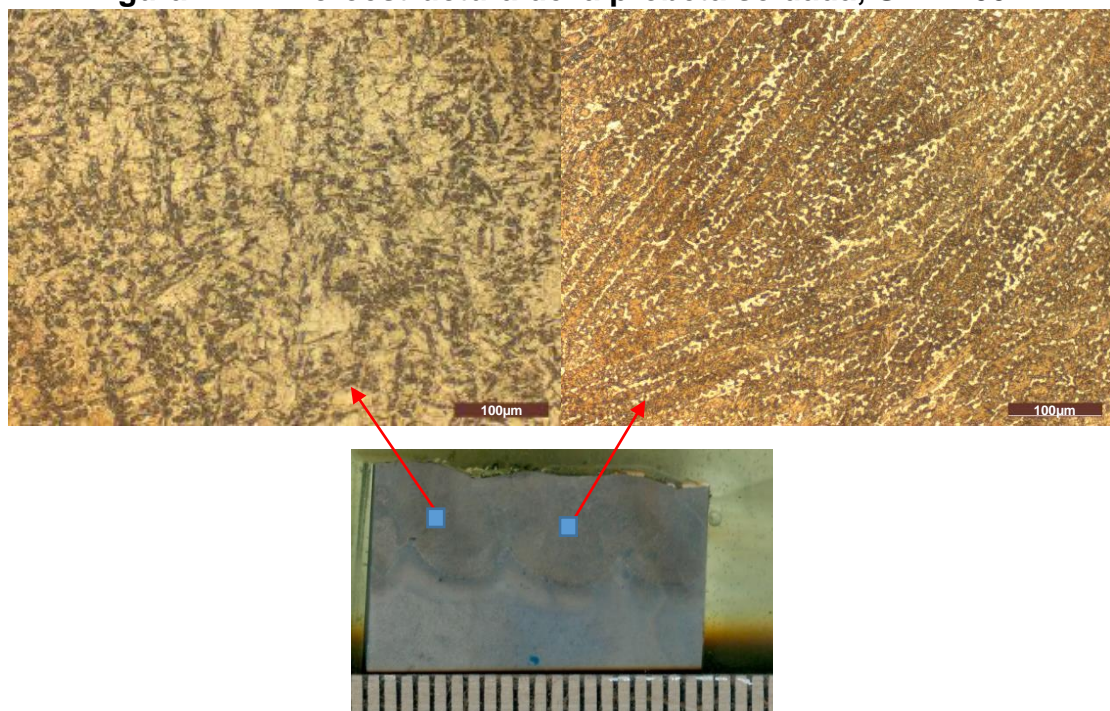
Figura 4.16. Medición máxima entre crestas y valle.



4.6.2. Caracterización microestructural

En la **Figura 4.17** se observa la microestructura de la probeta GML.

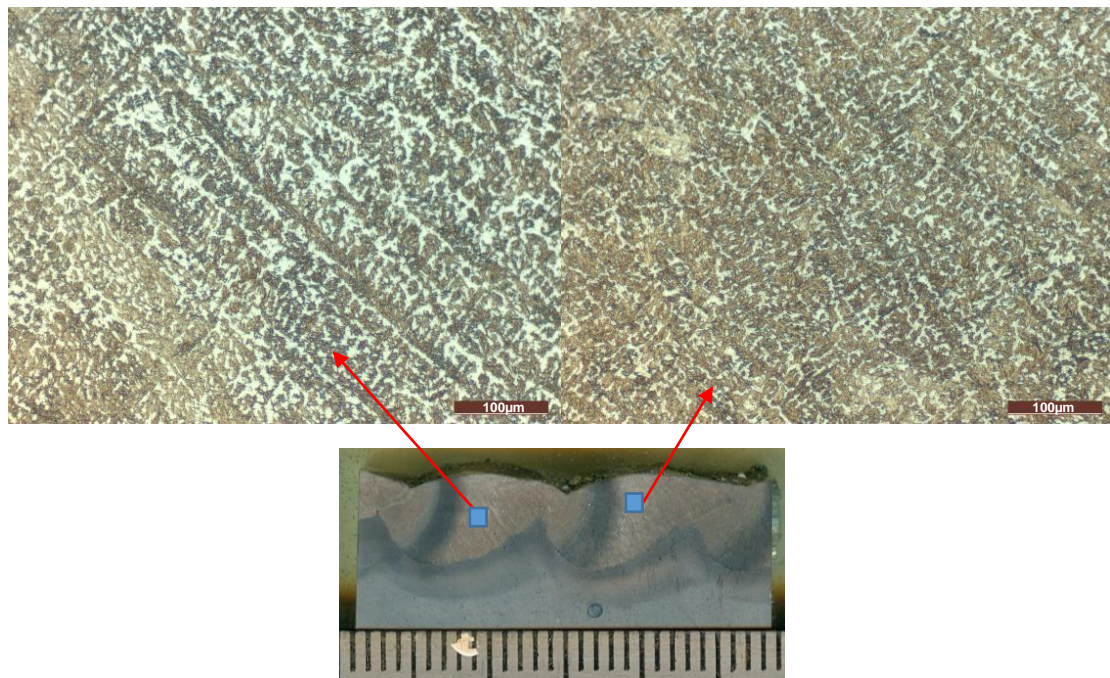
Figura 4.17. Microestructura de la probeta soldada, GML 200x.



Se observan zonas oscuras y zonas claras que son los típicos listones de martensita, y agujas de martensita precipitadas a partir de la austenita. Las láminas de martensita están arregladas en paquetes cuyo tamaño está directamente relacionado con el tamaño de grano de la austenita [28]. Se observó un patrón de segregación dendrítico.

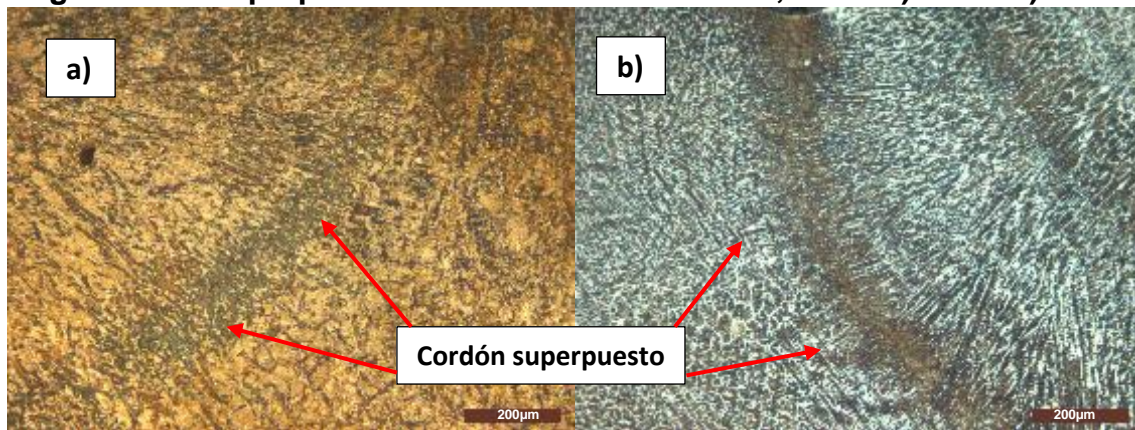
En la **Figura 4.18** se observa la microestructura de la probeta GMH. Se observan zonas oscuras y zonas claras que se tratan de martensita, al igual que la probeta de bajo aporte térmico aparecen agujas de martensita que precipitan desde la austenita. Puede observarse que en la probeta GML se dio un patrón de segregación ligeramente más fino. Esto estaría asociado con la mayor velocidad de enfriamiento de la pileta líquida durante la solidificación [29], lo cual provocó una disminución del espaciado dendrítico primario y secundario.

Figura 4.18. Microestructura de la probeta soldada, GMH 200x.



Se analizó la variación microestructural a lo largo de los depósitos. Como se muestra en la **Figura 4.19**, se observa la fase de martensita como una zona oscura y otra clara, correspondiente a la orientación en la cual fue solidificando y se observó que entre las diferentes pasadas se produjo un revenido de los cordones previos. Esto se evidenció a través del oscurecimiento de la martensita debido a la precipitación de carburos. [4] Este efecto solo se ve en una fracción de cada cordón donde hay un efecto térmico de la pasada siguiente y es más pronunciado en el cupón soldado con alto aporte térmico porque el calor fue más intenso afectando una mayor superficie del depósito y con un color más intenso.

Figura 4.19. Superposición de cordones GMAW-C, 100x. a) GML. b) GMH.



4.6.3. Caracterización por SEM

El propósito del SEM fue obtener mediciones sobre la composición química mediante EDS y además se obtuvieron imágenes de la microestructura como se muestra en la **Figura 4.20** y **4.21** para bajo y alto aporte respectivamente. Se observa al igual que con el microscopio óptico que predomina la fase martensítica y un crecimiento dendrítico. También se muestran una imagen donde se realizaron algunas de las mediciones y un diagrama obtenido por el detector.

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 4.6**.

Figura 4.20. Imágenes del SEM de la probeta GML.

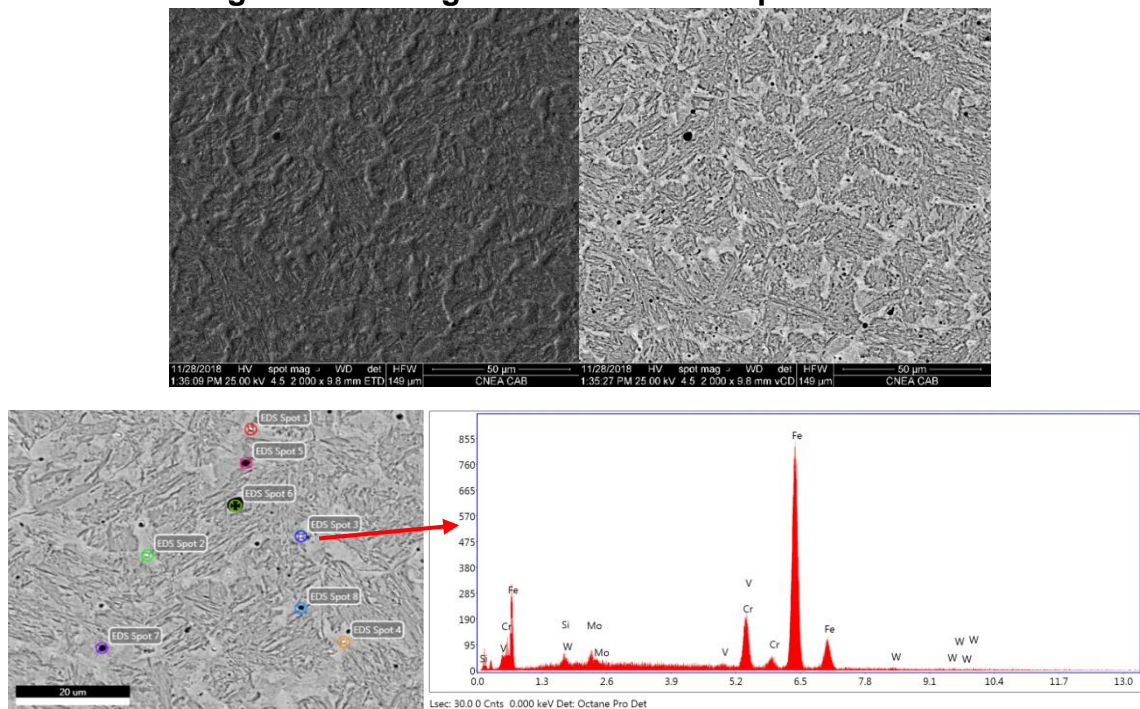
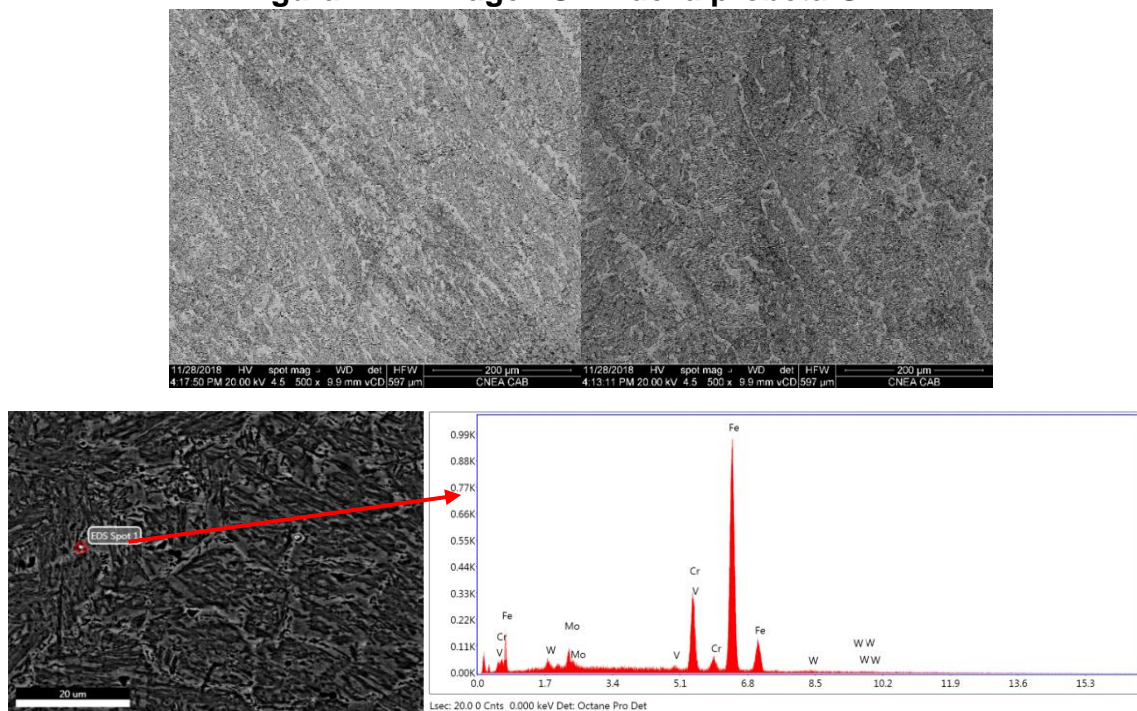


Figura 4.21. Imagen SEM de la probeta GMH.



Se observan imágenes de la microestructura y de las mediciones en los distintos puntos donde se realizó la composición química con un ejemplo del diagrama obtenido por medio del detector EDS.

4.6.3.1. Composición química de los depósitos GMAW-C por medio de EDS

Zona	Fe	Cr	Si	Mo	V	W
Promedio	88,3	9,2	0,9	1,1	0,5	
Carburo	65,8	20,0		8,8	2,1	3,3

Tabla 4.6. Composición química por EDS de probeta GMAW-C (wt%).

Se pudo observar que los valores obtenidos para la probeta de pasadas múltiples no difieren grandemente de los valores obtenidos en la pasada simple. Como se trata de un recargue de una sola pasada el metal de aporte se encuentra mezclado con el metal base a causa de la dilución, por lo tanto los valores de los elementos químicos son muy diferentes a los del metal de aporte puro, y esto puede verse en ambos procesos. Este efecto es ligeramente más pronunciado en el cupón con alto aporte térmico.

En las probetas se observaron carburos que según la bibliografía se tratan principalmente de carburos de cromo y en algún caso podrían ser también carburos de tungsteno o carburos de molibdeno, con un tamaño que van entre 1 y 6 micrones.[4]

4.6.4. Barridos de microdureza

Cada gráfico muestra tres barridos de microdureza por probeta sin embargo se evidencia una gran dispersión de los resultados.

Analizando el metal de soldadura se observó que la dispersión para cada probeta es la siguiente:

- Probeta GML 160HV_{0,3}
- Probeta GMH 260HV_{0,3}

La diferencia de microdureza presente en el depósito se vuelve un tema relevante.

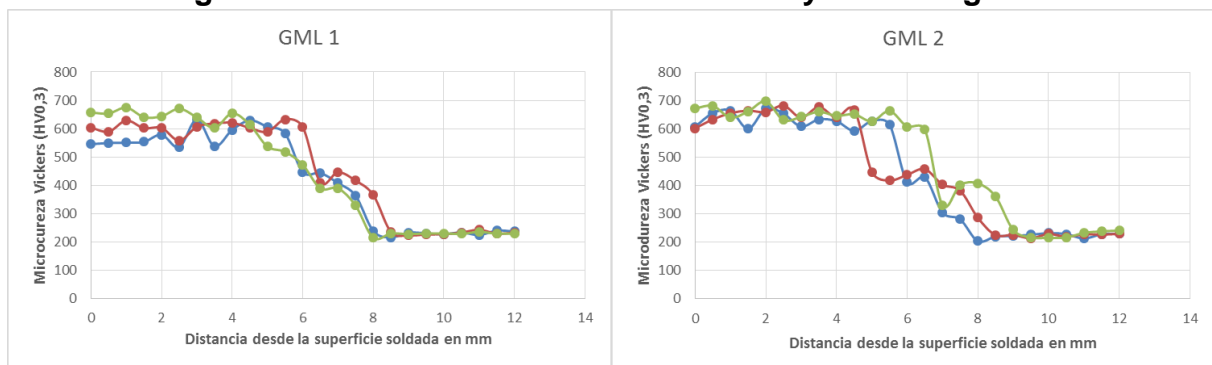
En la **Tabla 4.7** se indican los valores máximos y los valores promedio del metal de soldadura para cada probeta.

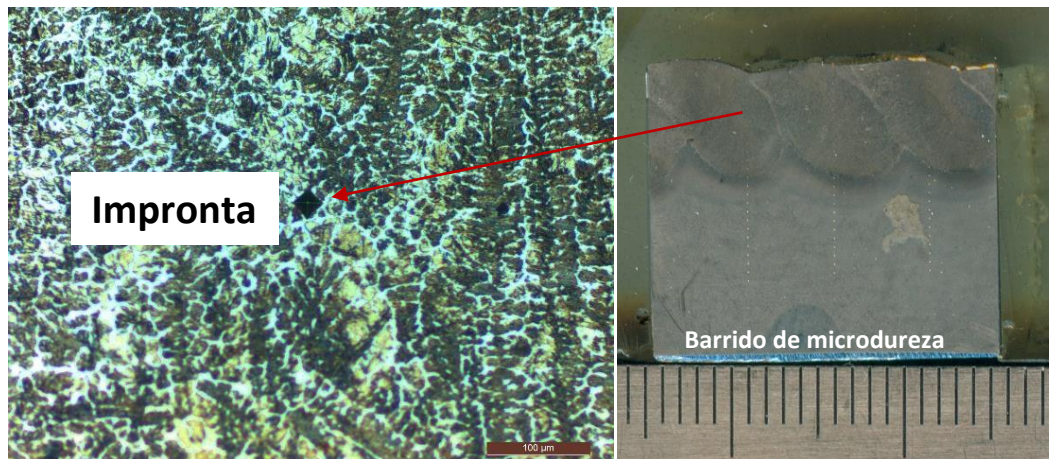
Probeta	Valor máximo	Valor promedio
GML	698	630
GMH	665	540

Tabla 4.7 Valor máximo y promedio de microdureza HV_{0,3} de todas las probetas.

En la **Figura 4.22** se observan los perfiles de microdureza Vickers (HV_{0,3}) obtenidos de dos probetas GML 1 y 2 y sus correspondientes micrografías de las improntas.

Figura 4.22. Perfiles de microdureza GML y su micrografía.

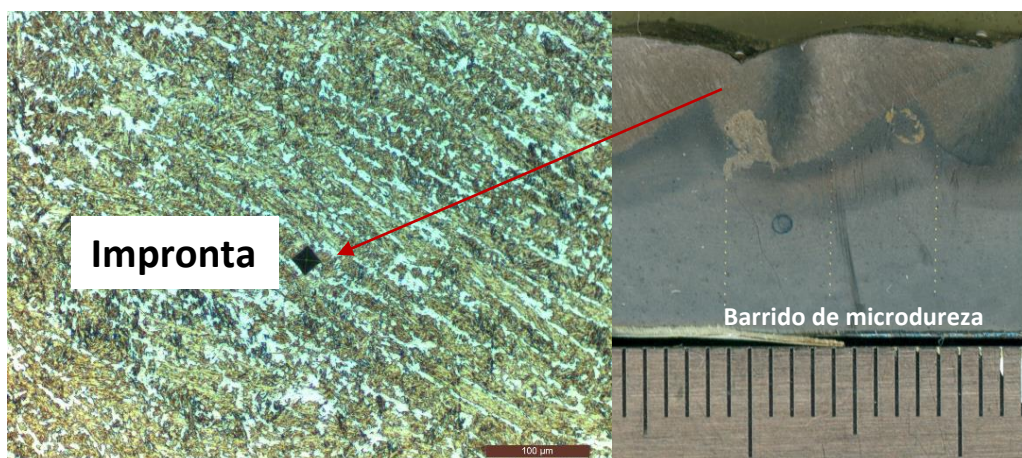
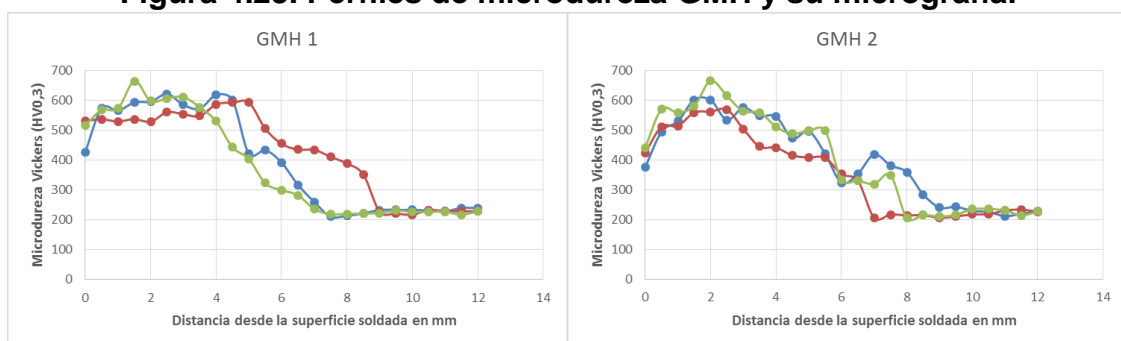




El depósito de soldadura presenta zonas oscuras y zonas claras, se encontró que en general las zonas claras tienen valores de dureza menor pero no siempre es así y existen valores de dureza muy baja cercana al sustrato sin embargo este patrón tampoco se ve repetido en todo el depósito.

En la **Figura 4.23** se observan los perfiles de microdureza Vickers ($HV_{0,3}$) obtenidos de dos probetas GMH 1 y 2 y sus correspondientes micrografías de las improntas.

Figura 4.23. Perfiles de microdureza GMH y su micrografía.



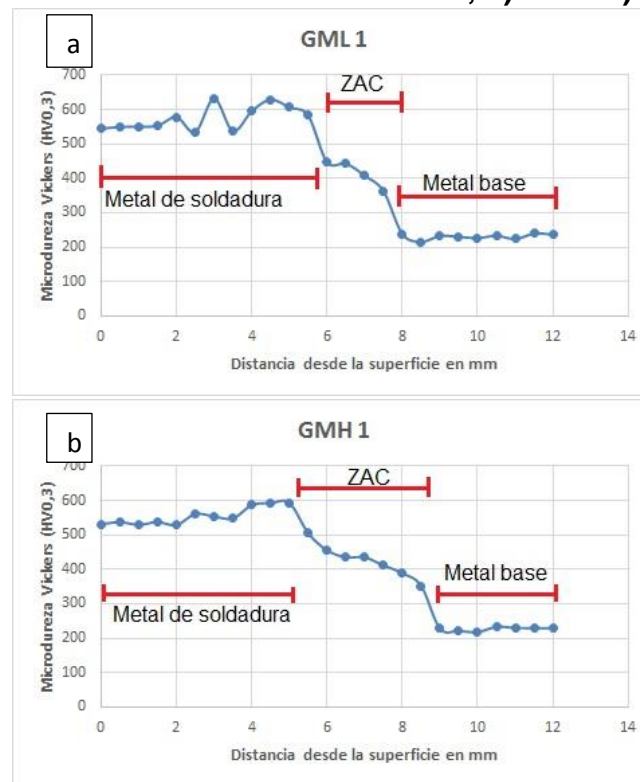
Para la probeta con alto aporte térmico ocurre lo mismo que en la probeta con bajo aporte térmico, aparecen diferentes valores de microdureza en las distintas zonas

clara y oscuras y además se presenta una microestructura martensítica más fina en algunas regiones donde se observaran valores más altos de microdureza, sin embargo la dispersión es aún mayor, lo que se relaciona directamente con la mayor dilución que posee.

En esta probeta se observan dos aspectos de interés, el primero es el alto valor de microdureza que se encuentra en la mitad del depósito lo cual se puede atribuir a una medición sobre un carburo, el segundo aspecto importante es la baja microdureza que se observa sobre la superficie del depósito y esto podría estar relacionado con una microestructura martensítica más fina que el resto.

Para el caso general del proceso GMAW-C puede discretizarse claramente el metal de soldadura, la ZAC y el metal base como se muestra en la **Figura 4.24**.

Figura 4.24. Perfil de microdureza; a) GML b) GMH



Los valores obtenidos en el metal base se corresponden a los estudios previos y en la ZAC se tienen valores que alcanzan los 400HV_{0,3} lo que se corresponde con un material AISI 410 tratado térmicamente, según la bibliografía [30].

4.7. Resultados de la soldadura del cupón GTAW

4.7.1. Macrografía del cupón soldado

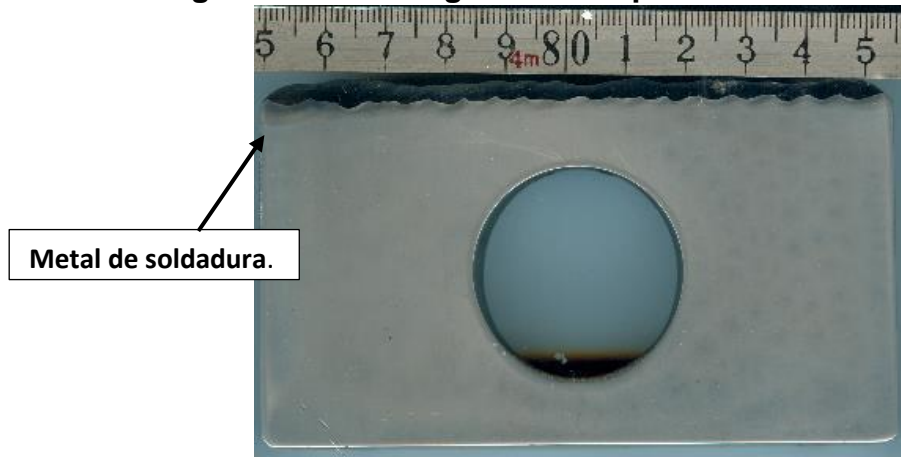
En la **Figura 4.25** se muestran los cortes transversales del cupón GTAW. La **Figura 4.26** muestra uno de estos cortes pulido y con ataque químico. Se observa el metal

base, y el material de soldadura o recargue, además puede verse la penetración del depósito.

Figura 4.25. Corte transversal usando chorro de agua.



Figura 4.26. Macrografía del cupón soldado con GTAW.



4.7.1.1. Medición de cresta y valle

Se midió desde la cresta más elevada hasta el valle más bajo como se muestra en la **Figura 4.27**. Esto equivale al desbaste mínimo a ser mecanizado. La medición fue la siguiente.

Figura 4.27. Medición máxima entre cresta y valle.



- Cupón GTAW: 1,5mm.

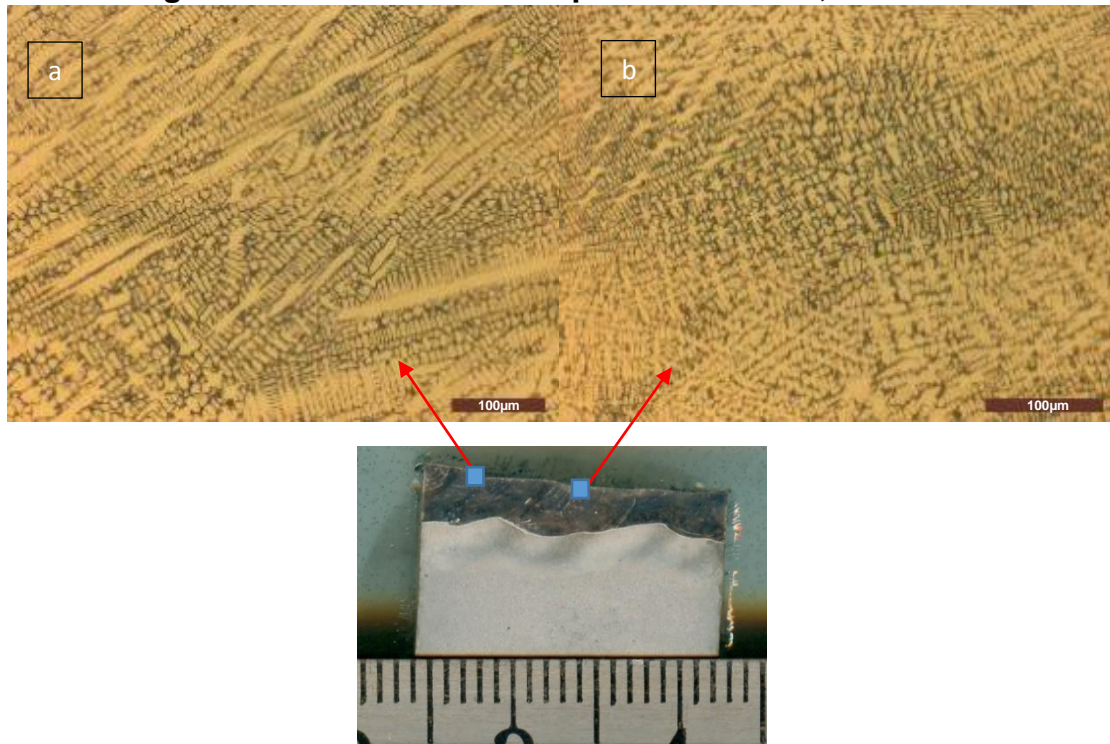
4.7.2. Caracterización microestructural

En la **Figura 4.28**. Se observa la microestructura de la probeta GT.

Para las probetas de GT se observó una microestructura con crecimiento dendrítico dentro de una matriz eutéctica que se compone a su vez por austenita más carburos de cromo [31].

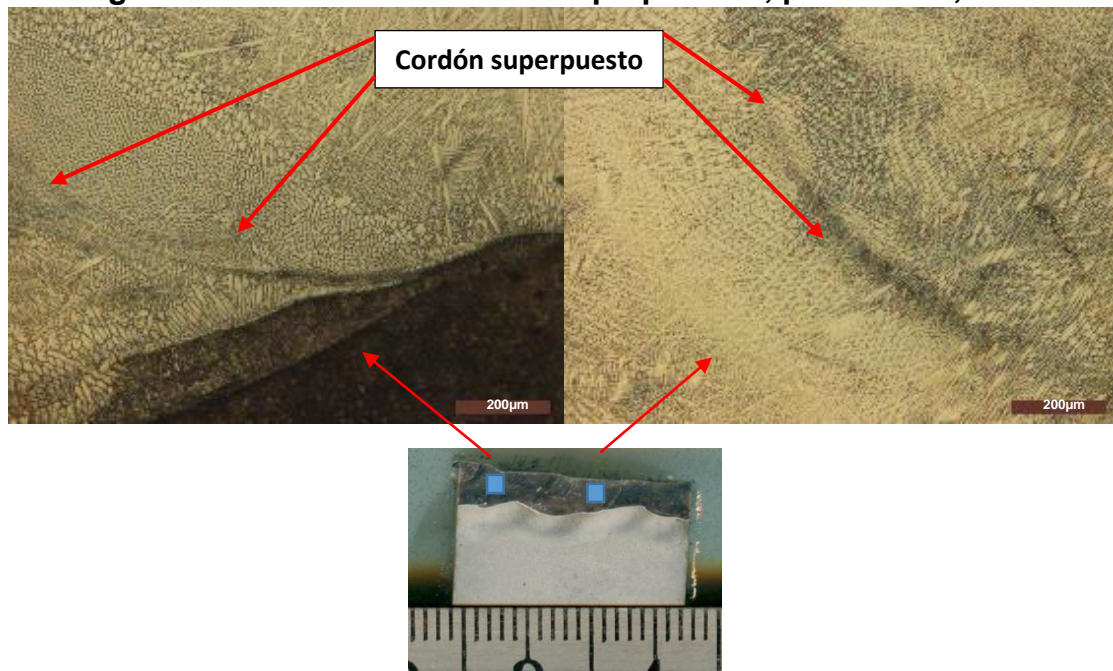
Se observa además que desde la interfase existe una disminución en el grosor de las dendritas, las mismas se van refinando hacia la superficie [32].

Figura 4.28. Microestructura probeta soldada, GTL 200x.



Para el caso de la probeta GT en la **Figura 4.29** se observó una disposición similar a la descrita para las probetas GM, ya que el efecto del calor de los sucesivos cordones afecta al anterior oscureciendo la zona eutéctica lo que significa una mayor formación de carburos presentes.

Figura 4.29. Perfil de cordones superpuestos, probeta GT, 100x.

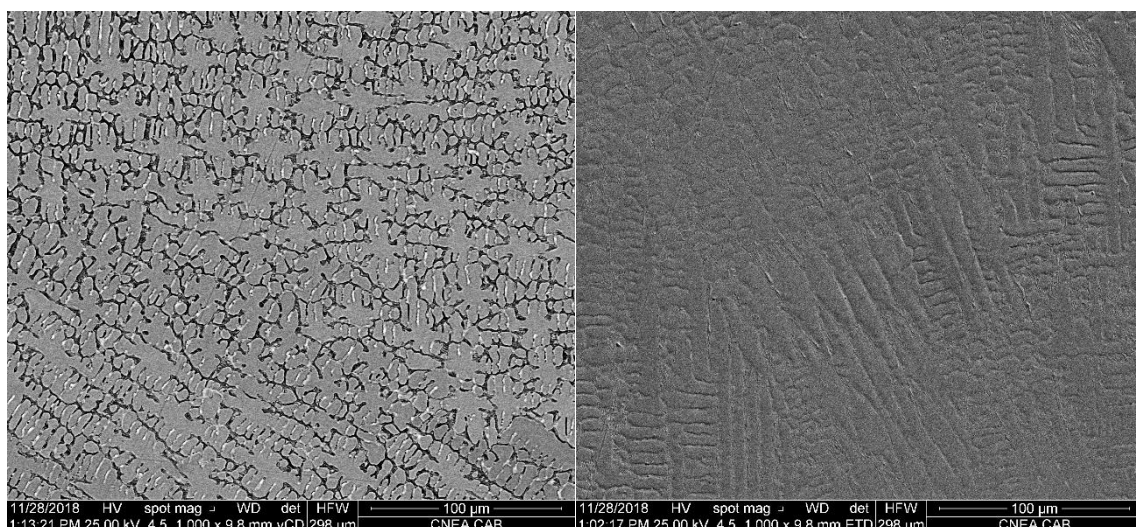


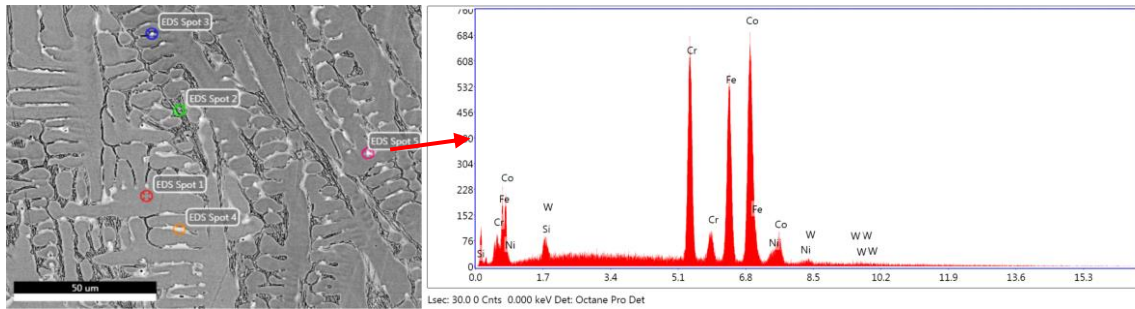
4.7.3. Caracterización por SEM

El propósito del SEM fue obtener mediciones sobre la composición química mediante EDS y además se obtuvieron imágenes de la microestructura como se muestra en la **Figura 4.30**. Se observa al igual que con el microscopio óptico un crecimiento dendrítico y una zona eutéctica. También se muestran una imagen donde se realizaron algunas de las mediciones de EDS y un diagrama obtenido por el detector.

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 4.8**.

Figura 4.30. Imagen SEM de la probeta GTL.





Se observa la imagen de la microestructura y de las mediciones en los distintos puntos donde se realizó la composición química con un ejemplo del diagrama obtenido por medio del detector EDS.

4.7.3.1. Composición química de los depósitos GTAW por medio de EDS

Zona	Fe	Cr	Si	Ni	Co	W
Promedio	35,0	27,5	0,5	1,6	32,9	2,4
Carburo	30,0	22,4		2,2	43,6	1,7
Carburo	23,2	43,8		1,5	28,3	3,2

Tabla 4.8. Composición química por EDS de probeta GT (wt%).

Como se trata de un recargue de una sola pasada el metal de aporte se encuentra mezclado con el metal base a causa de la dilución, por lo tanto los valores de los elementos químicos son muy diferentes a los del metal de aporte puro. Se pudo observar que los valores obtenidos para la probeta de pasadas múltiples no difieren grandemente de los valores obtenidos en la pasada simple.

El EDS realizado en la zona eutéctica revela un carburo de cromo como el que se ejemplifica en la **Tabla 4.8**. Según la bibliografía los carburos de cromo se encuentran en las zonas interdendriticas como coincidiendo con lo observado [32].

4.7.4. Barridos de microdureza

Cada grafico muestra tres barridos de microdureza por probeta sin embargo se evidencia una gran dispersión de los resultados.

Analizando el metal de soldadura se observó que la dispersión para cada probeta es la siguiente:

- Probeta GT 100 HV

La diferencia de microdureza presente en el depósito se vuelve un tema relevante.

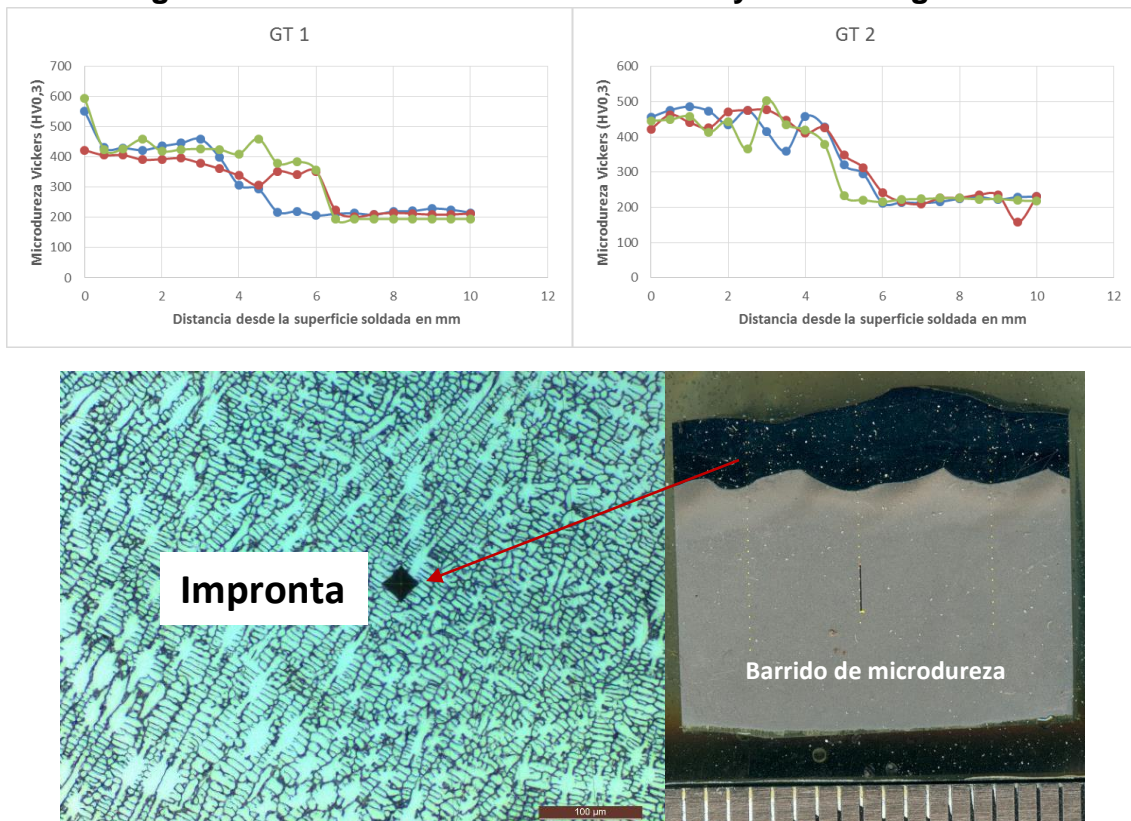
En la **Tabla 4.9** se indican el valor máximo y el valor promedio del metal de soldadura.

Probeta	Valor máximo	Valor promedio
GT	594	450

Tabla 4.6. Valor máximo y promedio de microdureza de la probeta GT.

En la **Figura 4.31**. Se observan los perfiles de microdureza Vickers ($HV_{0,3}$) obtenidos de dos probetas GT y sus correspondientes micrografías de las improntas.

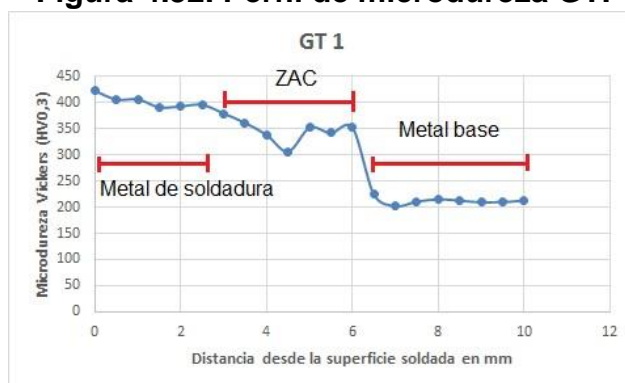
Figura 4.31. Perfiles de microdureza GT y sus micrografías.



El depósito de soldadura presenta mucha variación de microdureza y se observó que en mediciones que corresponden casi exclusivamente a una dendrita los valores son más bajos que en la matriz general donde las improntas caen entre la dendrita y la zona eutéctica.

Para el caso de las probetas GT también puede discretizarse claramente el metal de soldadura, la ZAC y el metal base como se muestra en la **Figura 4.32**.

Figura 4.32. Perfil de microdureza GT.



Un aspecto que llama la atención es que no existe una diferencia muy marcada entre el metal de aporte y la ZAC. Esto se debe a que la dureza promedio de este depósito es semejante al metal base tratado térmicamente [30].

Capítulo 5

En este capítulo se discuten los resultados y conclusiones de este trabajo.

5.1. Resultados y conclusiones

Dilución: De los valores experimentales medidos el más elevado fue en GMAW-C alto aporte térmico. Una alta dilución dificulta obtener las propiedades del consumible puro, esto genera que se pierda dureza global.

Los procesos GMAW-C con bajo aporte y GTAW tienen el mismo aporte térmico y presentaron esencialmente la misma dilución.

Altura de los depósitos: La mayor altura del depósito se obtuvo para el proceso GMAW-C con alto aporte térmico, esto significa que también requerirá mayor trabajo de mecanizado.

Para el proceso GMAW-C con bajo aporte y GTAW se observó que la diferencia entre cresta y valle es la misma siendo que el depósito del proceso GTAW tiene menor altura final.

Composición química: Comparando los valores medidos con los datos comerciales de los consumibles existe una gran diferencia, esto se debe a que se aplicó solo una pasada de aporte y esto genera una gran dilución desde el metal base.

Sin embargo a lo largo de todo el depósito las composiciones se mantuvieron esencialmente constantes. Por otro lado se midieron regiones puntuales como poros o precipitados del proceso GMAW-C donde se encontraron elementos no esperados como Al, B y O.

Además existen perfiles de composición química que van cambiando desde el sustrato hacia la superficie, como resultado del proceso de solidificación. [4]

Revenido de los sucesivos cordones: Acorde con la literatura, la soldadura de pasadas múltiples afecta térmicamente a los cordones previos. Se observó que entre las diferentes pasadas se produjo un revenido de los cordones previos.

En el proceso GMAW-C se evidenció a través del oscurecimiento de la martensita debido a la precipitación de carburos. El proceso GTAW mostró el mismo comportamiento, donde se observó un oscurecimiento de la zona eutéctica donde se forman carburos. [4] [32]

Fisura: Se encontró una fisura en el caso de la soldadura de pasada simple en el proceso de GMAW-C bajo aporte térmico. Esto podría estar asociado a una necesidad de precalentar la pieza antes de aplicar el primer cordón y luego no sería necesario dado que el primer cordón acondiciona la superficie para los sucesivos cordones. [11]. Por otro lado según la bibliografía este tipo de aporte presenta microfisuras que para nuestro casos no fueron detectadas. [4]

Microestructura: Para los cupones soldados con GMAW-C se evidenció un patrón de segregación dendrítico que fue más fino para las probetas soldadas con menor aporte térmico. En todas las probetas soldadas la microestructura estuvo formada por martensita, según la bibliografía también podía encontrarse una pequeña fracción de austenita retenida, la cual no se identificó. Las pasadas múltiples afectaron la microestructura oscureciendo la zona afectada. Este efecto de revenido influyó sobre la microestructura siendo más significativo el de aporte térmico [4].

Para los cupones soldados con GTAW se dio una microestructura dendrítica como se esperaba según el tipo de consumible [20] y dicha microestructura se puede considerar como un material compuesto por su morfología de dendritas embebidas en una matriz eutéctica [33] que le otorga propiedades mecánicas a este sistema.

Microdureza: El cupón soldado con GTAW y consumible Stoodite 6 presentó la menor dureza debido a su sistema compuesto por su microestructura y la formación de carburos de cromo. Para este sistema se prefiere un tamaño dendrítico pequeño ya que esto aumenta la resistencia mecánica [34].

El proceso GMAW-C y consumible EnDOtec DO 15 tiene mayor nivel de dureza. Las propiedades que presenta este sistema se dan en función de su microestructura martensítica la cual es la más dura de las estructuras de un acero y a la precipitación de carburos, este último es el principal mecanismo de resistencia al desgaste [4]. El valor promedio de microdureza más elevado se dio para el proceso con bajo aporte térmico. Esto estaría relacionado directamente con el aporte térmico ya que a mayor aporte térmico mayor dilución con el metal base. Existe una variación importante en los valores de microdureza que no pudieron ser claramente explicados.

Comparación con la válvula original:

Al comparar ambos procesos estudiados en este trabajo con las características originales de una válvula esclusa, se concluye que ambos procesos y consumibles utilizados están por debajo de las propiedades mecánicas de una válvula original. Esto no implica que no puedan ser utilizados para la recuperación de esclusas, sino que podrían presentar una vida útil menor que una válvula nueva.

Capítulo 6

Tareas a futuro

De los resultados obtenidos en este trabajo se sugiere realizar a futuro las siguientes tareas para continuar con esta investigación.

- I. Se propone estudiar con mayor profundidad la microestructura de los depósitos que explique la razón que generó una dispersión tan importante en la microdureza.
- II. Precalentar el cupón antes de soldar el primer cordón, dado que se evidenció una fisura en la soldadura de pasada simple.
- III. Mecanizado de los cupones con el fin de determinar tiempos de trabajo y condiciones operativas para el desbaste real de las esclusas en servicio.
- IV. Proponer ensayo de desgaste que se aproxime a las condiciones de servicio de dichas esclusas. Como podría ser una condición semejante al corte por chorro de agua.
- V. Analizar otros recubrimientos más modernos. Por ejemplo se puede aplicar plasma o HVOF, este último se corresponde al diseño original de las esclusas.

Bibliografía

- [1] El abecé de los Hidrocarburos en reservorios No convencionales. Shale oil, shale gas, tight gas. Instituto Argentino del petróleo y del gas.
- [2] Informe técnico LMT N° 950, Rev 01; 2017: Caracterización del recubrimiento presente en una válvula esclusa sometida a desgaste. Laboratorio de metalografía y soldadura. Universidad nacional del Comahue.
- [3] *Materials and Applications Part 2 – Welding Handbook*: American Welding Society, Vol 4. 8ed. 1998.
- [4] Gualco, Agustin, 2011. *Efecto de los parámetros de soldadura sobre la microestructura y la resistencia al desgaste de recargues martensíticos depositados con alambres tubulares metal-cored*; Universidad nacional de Lomas de Zamora.
- [5] Mavainsa. Información técnica. http://www.mavainsa.com/pdfs/5_valvulas.pdf Julio 2019
- [6] Valveworks USA. Información técnica. <http://www.valveworksusa.com/support/manuals/model-fc.pdf> Julio 2019
- [7] Department of Energy, Fundamentals Handbook, MECHANICAL SCIENCE; valves, Module 4.
- [8] Dr. Ricardo Orosco Cruz; Recubrimientos anticorrosivos. Ingeniería química. Universidad Veracruzana.
- [9] [<http://blog.utp.edu.co/metalografia/389-2/>]. Julio 2019
- [10] [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4912/html/31_proteccion_por_recubrimiento.html]. Julio 2019
- [11] Welding processes Part 2– Welding Handbook: American Welding Society Vol 3. 9ed.
- [12] Overlay technologies for Wear and Corrosion Applications. Alberta Research Council. 2007
- [13] J.D. Verhoeven, *Fundamentos de Metalurgia Física*, 1 ed: Limusa
- [14] Monsalve, H.I., Mena-Herrera, D.A., GiraldoBarrada, J.E., Efecto del amperaje en las propiedades de recubrimientos duros resistentes a la abrasión aplicados por soldadura, Dyna, 71, 144, pp. 151-163, 2004.
- [15] Welding processes – Welding Handbook American Welding Society, Vol 2. Part 1. 9ed.
- [16] <https://maquinasdesoldar.org/tig/> Julio2019

- [17] K Weman, Welding processes handbook, CRC. 2003.
- [18] Proceso Tig, Xornadas de transporte e Mantemento de vehículos. Centro autónomico de formación e innovación. Santiago 2012
- [19] E. Castolin-ESAB, *Hoja de Producto: EnDOtec DO*15*. 1996: Argentina
- [20] Stoody Company. Stoodite 6, Hoja de producto: 2010: Argentina
- [21] Standard test method for liquid penetrant examinations ASTM E165E. 2001.
- [22] Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. Norma ASTM E3. 2011.
- [23] Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. Norma ASTM E407. 2007.
- [24] Revista Latinoamericana de metalurgia y materiales, vol 14, 1994. Influencia del procedimiento de aportación del stellite-6 en la microestructura de un acero WCB y CA-15
- [25] Standard Test Method for Microindentation Hardeness of Materials. Norma ASTM E384. 2001.
- [26] L.A. de Vedia; H.G. Svoboda. Introducción a la metalurgia de la soldadura. Agosto 2004.
- [27] Lincoln Electric, Soporte, Procesos y Teoría. <https://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/weld-crater-shrinkagecavities.aspx> .Julio 2019
- [28] Estructura y Propiedades de las Aleaciones-Facultad de Ingeniería-UNLP capítulo 8 y 9.
- [29] Maria Angelica Alvarado Ramirez, Relación entre microestructura y propiedades mecánicas en piezas vaciadas de aluminio. Universidad autónoma de nuevo Leon. 1999.
- [30] ASM HANBOOK Volumen 4. Heat Treating.
- [31] Eduardo Dias- Cedré. Evaluación de electrodos para la fabricación de blindajes laterales de molinos de trituración de áridos. Enero 2013
- [32] Efecto de la adición de nanoparticulas de WC y TIC en la modificación superficial del acero grado herramienta H13 mediante el proceso de plasma transferido por arco (PTA). Alberto Valentín Zamora López. 2016
- [33] Análisis de la resistencia de una microestructura de solidificación dendrítica equiaxial. Alejandro D. Moreno, Mario R. Rosenberger, Carlos E. Schvezov. La Plata, Noviembre 2017.
- [34] Relación entre microestructuras y propiedades mecánicas en piezas vaciadas de aluminio. María Angélica Alvarado Ramirez. 1999

Anexo 1

Informe químico LMT 950 [2]



INFORME N° 01074

EMPRESA SOLICITANTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

TEMA DEL INFORME:

**DETERMINACION DE LA COMP. QUIMICA
DE DOS (2) MUESTRAS METALICAS
Identif. LMT 950 M1 Y M2**

TRABAJO REALIZADO EN EL LABORATORIO DE METALURGIA Y
TECNOLOGÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR.

**LABORATORIO DE METALURGIA Y TECNOLOGÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA – UNS
TELÉFONO: (0291) 4595179
E-MAIL: dziegler@uns.edu.ar
mauro.puccinelli@uns.edu.ar**

OBJETIVO

La UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE solicitó al Laboratorio de Metalurgia determinar la composición química de dos (2) muestras metálicas.

En la Figura 1 se observan las muestras y sus identificaciones.

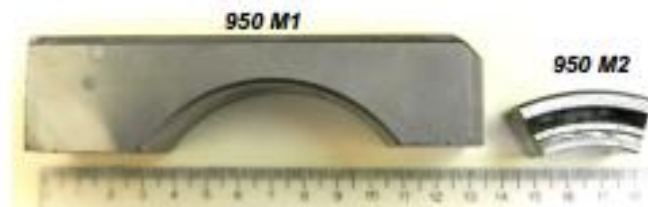


Fig.1

DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la Tabla 1 se presentan los porcentajes en peso del promedio de tres mediciones de la composición sobre cada una de las muestras.

Tabla 1

Muestra	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Fe
950 M1	0.131	0.370	0.680	0.001	0.008	13.750	0.467	0.035	Resto
950 M2	0.110	0.284	0.580	0.001	0.003	13.560	0.590	0.037	Resto

Según la composición química, ambas muestras se corresponden con un acero inoxidable martensítico designación *AISI 410*.

Equipo Utilizado

- Espectrómetro marca SPECTRO modelo Maxx, programa Fe-30-F.

Referencia Bibliográfica

- ASM Metals Reference Book Third Edition (1993).

Ing. Mauro E. PUCCINELLI
Asistente de Laboratorio

Ing. Daniel O. ZIEGLER
Jefe del Laboratorio de Metalurgia
y Tecnología Mecánica

Anexo 2

Informe químico metal base

PMI Pro SNr. 13T0039

Optik Nr. 13T0039

Sample :LMT_950

Alloy : FE_T_300 Mode : PA 13/04/2018 01:54:16 p.m.

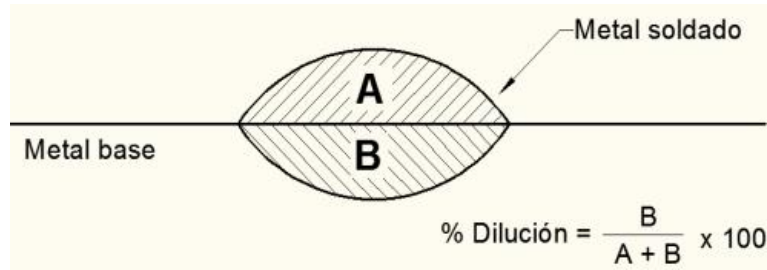
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
2	85,5	0,181	0,320	0,523	0,0229	< 0,0030	12,4
3	85,2	0,128	0,302	0,538	0,0184	< 0,0030	12,9
4	85,1	0,141	0,293	0,524	0,0222	< 0,0030	12,9
Average	85,3	0,150	0,305	0,528	0,0212	< 0,0030	12,8

	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
2	0,0706	0,585	0,103	0,0299	0,138	0,0239	0,0084
3	0,0716	0,539	0,0303	0,0311	0,137	0,0295	0,0025
4	0,0675	0,554	0,0555	0,0296	0,136	0,0237	0,0037
Average	0,0699	0,559	0,0628	0,0302	0,137	0,0257	0,0049

	V	W	Pb
2	0,0195	< 0,0400	0,0246
3	0,0203	< 0,0400	0,0252
4	0,0191	< 0,0400	0,0258
Average	0,0196	< 0,0400	0,0252

Anexo 3

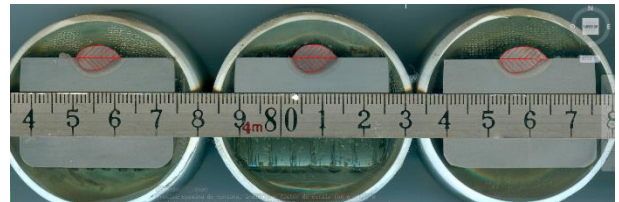
Cálculo de dilución en soldadura de pasada simple



GML			
A	B	A+B	Dilución
24,29	16,54	40,83	40,50943
24,28	14,44	38,72	37,29339
25,08	15,67	40,75	38,45399
Promedio			38,8



GMH			
A	B	A+B	Dilución
23,75	21,09	44,84	47,0339
24,56	22,94	47,5	48,29474
24,94	24,12	49,06	49,16429
Promedio			48,2



GT			
A	B	A+B	Dilución
9,34	5,31	14,65	36,24573
9,8	7,23	17,03	42,45449
12,85	7,92	20,77	38,13192
Promedio			38,9

