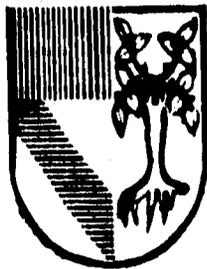


308917

53

24



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A U.N.A.M.

ESTUDIO SOBRE SOLDADURAS APLICADAS
EN ZINALCO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA : INGENIERIA MECANICA

P R E S E N T A :

MIGUEL ANGEL RODRIGUEZ ALANIS

REVISOR: FIS. MARIANO ROMERO VALENZUELA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Quiero agradecer a todas las personas que han hecho posible mi éxito profesional. En especial aquellas que han iluminado mi caminar y que me han seguido durante mi carrera profesional...

A mi Padre Alberto y a mi Madre María del Lourdes por su gran apoyo y comprensión, así como por el cariño y fuerza que me inspiraron acompañándome en todos los sentidos hasta la recta final de mis estudios...

Gracias... por su esfuerzo, apoyo y dedicación.

Gracias a mi familia por quererme tanto. A mi hermano Alberto por sus consejos y ejemplos y a mis hermanas María del Lourdes y María del Rocío por su comprensión y paciencia.

A mis amistades y amigos por su compañía y apoyo.

Los amigos especiales suelen durar para toda la vida...

Agradezco a la planta de profesores y personal de la **Universidad Panamericana** por el tiempo dedicado a la realización de mis estudios profesionales.

A todos aquellos maestros que más que ser instructores o tutores fueron mis amigos y me ayudaron en muchos aspectos en el comienzo, durante la carrera y en la conclusión de la misma.

Mis más sinceros agradecimientos para el Dr. Gabriel Torres Villaseñor por ser el Director de esta Tesis Profesional, por su apoyo, comprensión y por ser la guía en todos los aspectos para hacer posible la realización de este trabajo, apoyándome en la conclusión de mis estudios profesionales.

Mis agradecimientos para el Instituto de Investigación de Materiales por haberme apoyado en la utilización de equipos especializados y sus instalaciones. Asimismo de nueva ocasión al Dr. Gabriel Torres Villaseñor por haber hecho que esto haya sido posible.

ÍNDICE

	Página
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción al Trabajo Realizado	1
1.2 Introducción al Estudio de Soldaduras Aplicadas al Zinalco	1
1.3 Conceptos Básicos	2
1.3.1 Definición	2
1.3.2 La Generación de Calor	3
1.4 Procesos de Soldado	4
1.4.1 Soldadura por Presión Soldadura por Punteo Eléctrico	5
1.4.2 Soldadura por Fusión o de Aporte	6
1.4.2.1 Soldadura por Arco Eléctrico	7
1.4.2.1.1 Arco Eléctrico Vs. Arco Eléctrico con Electrodo Sumergido Vs. Arco Eléctrico con Electrodo Metálico en Gas Inerte	10
1.5 Equipo de Soldado Generación de Calor	13
CAPITULO 2 MÉTODO EXPERIMENTAL	15
2.1 Generalidades	16
2.1.1 El Zinalco	16
2.1.1.1 Propiedades del Zinalco	17
2.2 Desarrollo Experimental	17
2.2.1 Preparación del material base para soldar	18
2.2.2 Preparación de las probetas para pruebas a tensión. Curvas Esfuerzo-Deformación	23
2.2.3 Pruebas a Tensión. Curvas (ϵ - σ) Esfuerzo Deformación	25
2.2.4 Fotografiado de las Microestructuras Análisis metalográfico e interpretación	32
CONCLUSIONES	40
Conclusiones	41
Recomendaciones	42

ANEXO 1	Hojas de Datos Técnicos	43
	Tabla A1.1 Reportes de Soldadura	44
BIBLIOGRAFÍA		54

CAPITULO 1

SOLDADURAS

C A P I T U L O 1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN AL TRABAJO REALIZADO.

Esta tesis está concebida con el fin de proporcionar a los futuros profesionistas o investigadores, un panorama general simplificado de todos los conocimientos relativos al análisis de soldaduras efectuadas a este material de excelentes características y propiedades, el Zinalco, y para ayudar a los ya profesionistas a mantenerlos actualizados y ampliarlos en lo posible.

En ella hago una exposición de los conceptos y aspectos más relevantes de esta actividad, enfocada a formar en el lector una idea de ella lo más completa posible, sin entrar en detalles que sin dejar de ser importantes pueden posteriormente ser abordados para enriquecer los conocimientos previamente adquiridos en esta tesis.

El estudio concienzudo de esta tesis será de ayuda para los interesados en formarse como buenos técnicos o profesionistas en la fascinante actividad de soldar, que ofrece entre otras satisfacciones la posibilidad de una posición digna en nuestra sociedad y una excelente forma de ganarse la vida.

1.2 INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE SOLDADURAS APLICADAS AL ZINALCO.

Con la presente investigación pretendo analizar la soldadura aplicada a la aleación denominada Zinalco. El estudio realizado comprende el proceso utilizado, el procedimiento adecuado para lograrlo y el resultado de la unión misma. Trataré de que el lector conozca qué es lo que sucede cuando una cantidad considerable de calor es depositada en nuestro material a soldar por algún método y cómo hay que aplicarla.

El alcance de del estudio comprende la elaboración de las soldaduras, método y preparación así como las pruebas experimentales del comportamiento del Zinalco soldado y las observaciones sobre su microestructura antes y después de la soldadura.

Las hipótesis que he planteado para el desarrollo de esta investigación son las siguientes:

- 1.- El Zinalco tiene alto grado de soldabilidad, en un cien por ciento. El Zinalco se puede soldar con el mismo y con aluminio. Se puede soldar bajo los mismos criterios que se aplican al soldar una barra de aluminio.
- 2.- La Resistencia de la soldadura es de tan buena calidad como si existiera en una sola pieza completa del mismo material. Los valores a obtener deberán ser de acuerdo a tabla de valores de propiedades del Zinalco.
- 3.- Las estructuras del Zinalco son las mismas antes y después de haber realizado las pruebas a tensión.
- 4.- La continuidad de la estructura fuera y dentro de la unión dependerá de una correcta aplicación del método de soldadura, éstas deberán ser iguales.

Estas hipótesis se confirmarán o serán rechazadas en función de los resultados obtenidos.

1.3 CONCEPTOS BÁSICOS.

1.3.1 DEFINICIÓN.

La soldadura puede definirse como la unión de dos cuerpos sólidos de metal, con lo cual se logra continuidad del material entre las partes unidas esto se logra mediante la aplicación de calor en cantidades controladas, con adición de material de relleno o sin éste, y con aplicación de presión o sin ella. Cuando hablamos de soldadura nos referimos a la que se realiza entre metales y nos indica tanto el procedimiento tecnológico de la unión como el resultado de la misma.

Lo que buscamos es establecer la unión del retículo cristalino metálico en la zona de la unión.

La aplicación de calor en el proceso de soldadura, produce en las piezas una variedad de efectos estructurales, térmicos y mecánicos al igual que en el material que se añade, durante la operación dentro de esos efectos aparece la expansión y contracción del metal, cambios metalúrgicos, tales como crecimientos de grano y tratamientos térmicos y también pueden suceder cambios en la composición del metal.

Los fenómenos anteriores pueden ocasionar en la soldadura cualquier clase de defectos tales como grietas, ya sea, en

el metal base o en el fundido entre los bordes, durante el proceso, porosidad o inclusiones en el metal de la soldadura y cambios en las propiedades mecánicas del material, como pérdida de resistencia, ductilidad, etc., ya sea, dentro o fuera de la zona de la soldadura.

1.3.2 LA GENERACIÓN DE CALOR.

La generación de calor, es el principal factor para que se realice la unión entre dos piezas, mediante cualquier proceso de soldadura; el principal medio utilizado para lograrlo es el eléctrico.

El método que se emplea para la producción de calor en soldadura es el arco eléctrico y resistencia. El arco eléctrico lo consideramos como una corriente eléctrica que circula a través de una abertura de un circuito, por medio de iones, es decir, un grupo de átomos que llevan una carga eléctrica que en palabras cotidianas significa una descarga eléctrica sostenida a través de un medio gaseoso entre dos polos o contactos.

El calor generado por un arco se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{calor generado} = \text{voltaje del arco} \times \text{corriente aplicada} \times \text{unidad de tiempo}$$

Utilizando unidades, la ecuación para el calor generado, por unidad de distancia recorrida, por unidad de tiempo, se transforma en:

$$J(\text{joule por cm}) = E(\text{volts}) \times I(\text{amperes}) \times 60\text{seg} / S(\text{cm/min})$$

$$J(\text{joule por cm}) = \text{watt} \times \text{seg} / \text{cm}$$

donde:

$$1 \text{ watt} = \text{joule} / \text{seg}$$

El joule es la energía transformada en calor por el arco; Un electrodo operado con un cierto voltaje y una cierta carga, a razón de tantos centímetros por minuto, generará tal cantidad de energía por centímetro para fundir la soldadura.

Debido a la resistencia que opone la pieza de metal al paso de la corriente ésta también puede ser calentada y cuando hacemos pasar una corriente eléctrica de una pieza de metal a otra que se encuentran en contacto se desarrolla una

cantidad de calor dentro de las piezas y también en la superficie de contacto entre ambas.

El calor desarrollado en el interior de las piezas depende directamente de la resistencia que opone el material de que están compuestas al paso de la corriente eléctrica, mientras que el que se desarrolla en las superficies está en función de la resistencia de contacto entre ellas, la que a su vez depende de varios factores, entre otros las características de los materiales, la presión que existe entre ellas, el que las superficies estén o no cubiertas por óxidos o compuestos de alta resistencia eléctrica.

La cantidad de calor producida durante el proceso depende directamente de factores como la cantidad de corriente que pasa a través de las piezas, la resistencia total que en conjunto oponen a su paso y la duración del flujo de la corriente.

Utilizando la ecuación anterior, podemos escribir la ecuación del calor en función de la corriente, como sigue:

$$J \text{ (joule / cm)} = V \text{ (voltaje)} \times I \text{ (corriente)} \times t \text{ (tiempo)}$$

donde:

$$V \text{ (voltaje)} = I \text{ (corriente)} \times R \text{ (resistencia)}$$

sustituyendo:

$$J \text{ (joule / cm)} = I^2 \times R \times t$$

1.4 PROCESOS DE SOLDADO.

Una de las propiedades del Zinalco es la facilidad que tiene para ser soldado. Los procesos con los que podemos soldar este excelente material son soldadura por punteo eléctrico, soldadura de aporte o soldadura por fusión que a continuación describiré brevemente.

La rama de donde se desprenden los diferentes procesos para soldar el Zinalco se denomina soldadura autógena.

En el proceso de soldadura autógena como su nombre lo indica, la unión se autogenera a partir del metal base cuando los bordes a unir adquieren un nivel de energía eléctrica tal que permite una movilidad atómica suficiente para construir un único retículo cristalino

en la zona de la unión. Puede obtenerse de dos maneras, por fusión de los bordes y posterior recristalización o por presión, acompañada de un nivel térmico suficientemente alto para permitir la cristalización de las superficies encaradas y comprimidas una contra otra.

El proceso de soldadura por punteo eléctrico corresponde a la soldadura por presión, el resto corresponde a procesos de soldadura por fusión.

1.4.1 SOLDADURA POR PRESIÓN. SOLDADURA DE PUNTEO ELÉCTRICO.

El calor necesario para fundir las superficies a soldar viene proporcionado por la resistencia que las propias superficies oponen al paso de la corriente eléctrica. El proceso de soldadura se consume al aplicarse presión las piezas a soldar.

Las dos piezas que se desean unir se sitúan parcialmente superpuestas entre dos electrodos conectados a los extremos de un circuito secundario de un transformador; entre dichos electrodos se aplica un esfuerzo de compresión y luego se hace circular una corriente elevada, como se observa en la Fig. 1.1.

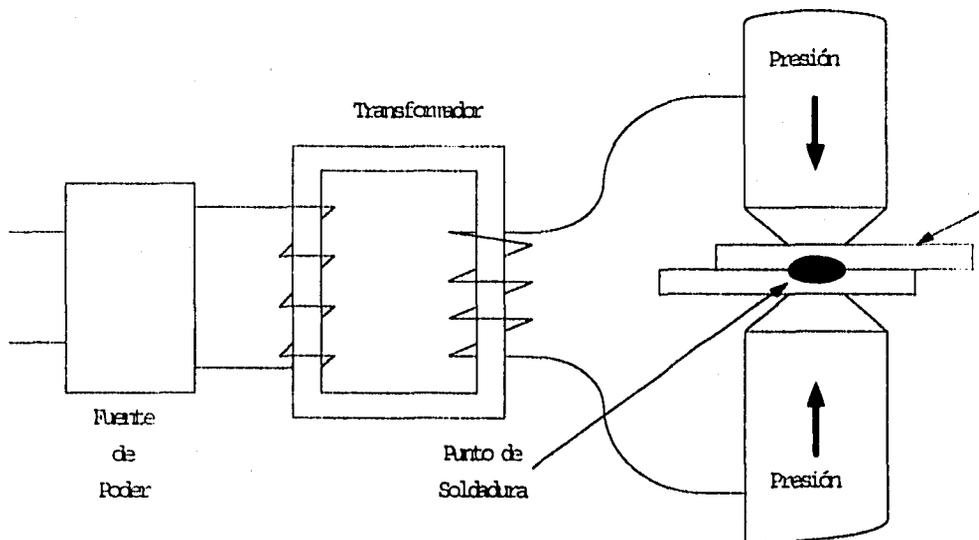


Fig. 1.1 Diagrama esquemático del proceso de soldadura a presión.

El calor generado en la superficie de contacto y la fuerza aplicada durante el proceso, por los electrodos hacen que las zonas fundidas por el calor se unan. La mayor resistencia que encuentra la corriente en el

circuito secundario es la correspondiente a la que se encuentra entre las dos piezas a unir.

En este tipo de soldadura los electrodos tienen cierta superficie de contacto con las piezas, que es la misma que la superficie total a soldar. Si realizamos un corte entre las láminas soldadas podemos observar que la unión queda entre ellas, no pudiéndose hacer notar desde el exterior las marcas producidas por presión ejercida por los electrodos, fig. 1.2.

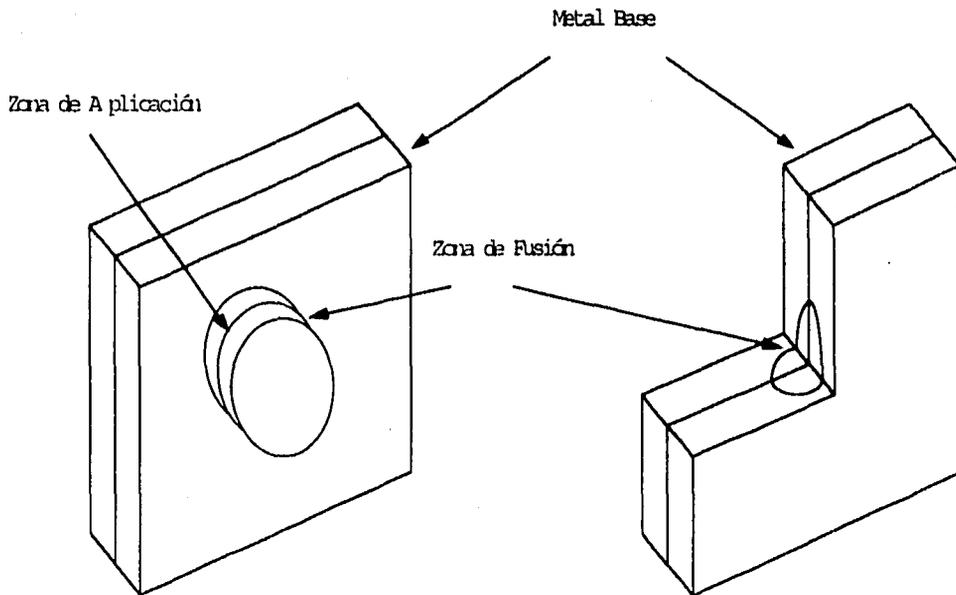


Fig. 1.2 Piezas terminadas al ser soldadas por el proceso de soldadura por puntos.

1.4.2. SOLDADURA POR FUSIÓN O DE APORTE.

En este tipo de soldadura encontramos el proceso de soldadura por arco eléctrico y dentro de esta se desprenden de el arco eléctrico con electrodo revestido y arco eléctrico con electrodo metálico protegido en gas eléctrico.

La diferencia entre utilizar la segunda y no la primera para soldar el Zinalco radica principalmente en el medio de protección del ambiente alrededor del área de trabajo en las piezas a soldar y por otro lado en el tipo de electrodo empleado.

A continuación describiré el principio de funcionamiento de la soldadura de arco eléctrico y posteriormente el porqué su utilización.

1.4.2.1. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.

El arco eléctrico es una fuente de calor muy adecuada para obtener la fusión de los bordes a soldar. Se caracteriza por generar temperaturas extremadamente elevadas y constantes, lo que permite transmitir una gran cantidad de calor a un área de aplicación muy pequeña. La temperatura que se puede alcanzar se encuentra por el límite de los 6090°C que en comparación con la soldadura de oxiacetileno es mayor ya que ésta última apenas alcanza una temperatura de 3300°C; pueden ser utilizadas varios tipos de atmósferas para proteger el arco, ejerciéndose así, una influencia sobre la composición química del metal de soldadura, del metal de aporte y del metal base en donde hay que tener mucho cuidado ya que las impurezas pueden introducir desperfectos o afectar la composición química del Zinalco.

El arco eléctrico puede ser alimentado tanto por corriente directa (C.D.) como por corriente alterna (C.A.). Una u otra puede tener ventaja si se utilizan en las condiciones adecuadas y con los electrodos adecuados. La tensión del arco durante el proceso suele ser del orden de 25 o 30 Volts y en ciertos casos pueden descender hasta unos 10 Volts.

La corriente necesaria para la soldadura de arco eléctrico se proporciona generalmente por medio de una máquina especial que transforma la corriente eléctrica de alto voltaje y bajo amperaje de las líneas eléctricas ordinarias en corriente de bajo voltaje y alto amperaje. La corriente de soldadura varía sensiblemente según las aplicaciones, pasando de algunas decenas de amperios, hasta 300 o 400 amperes en las soldaduras manuales e incluso superando los 1000 Amperes en ciertos casos de soldaduras automáticas.

Cuando se emplea corriente directa el flujo continuo en una dirección puede usarse para controlar el calor que pasa al metal base ya que en general se libera mayor cantidad de calor en el polo positivo de un arco eléctrico que en el negativo. La corriente directa fluye de un polo hacia otro siempre en la misma dirección mientras que la alterna cambia su dirección de flujo.

POLARIDAD DIRECTA Vs. POLARIDAD INVERSA

Cuando se emplea polaridad directa en donde el electrodo es el polo negativo, en este caso estamos hablando de un electrodo no consumible y el metal base es el polo positivo, se obtiene una penetración profunda en el

metal base y la fusión del metal de aporte se reduce al mínimo, mientras que si la polaridad es inversa, el electrodo es el polo positivo y el metal base el polo negativo, se reduce la penetración y aumenta la cantidad de metal de aportación fundido, ya que el electrodo se calienta más permitiendo un mayor control sobre la temperatura en el área de fusión, el metal base no se funde descontroladamente y se logra un intercambio y estabilidad de calor entre el mismo y el metal de aporte (Figura 1.3a), 1.3b) y 1.3c).

Cuando el arco se forma entre un electrodo y el metal por soldar, aquél puede consumirse o no durante la operación dependiendo del tipo de éste. Los electrodos usados son los del tipo no consumibles y suelen ser de varillas de carbono o de tungsteno, mientras que los consumibles se hacen de acero y otros metales con puntos de fusión más bajos que los de carbono y tungsteno y son consumibles, fungen como metal de aporte durante la operación.

El tipo de electrodo que se utilizó para realizar las soldaduras es el de tungsteno.

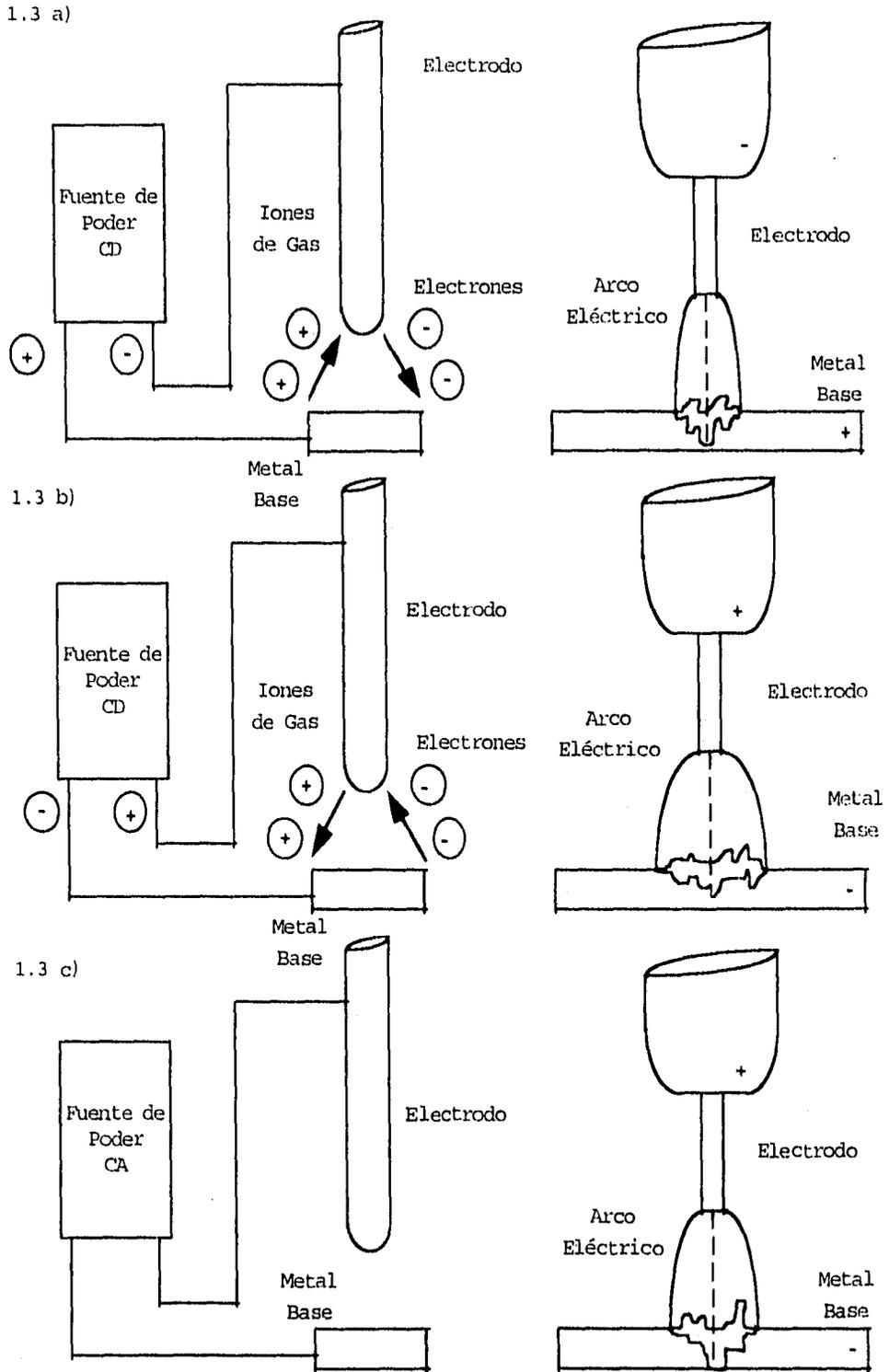


Fig. 1.3 Efectos sobre el proceso de soldadura dependiendo de la manera de conectar el equipo de soldar: a) CD, Polaridad directa, b) CD, Polaridad inversa y c) Corriente alterna.

1.4.2.1.1. ARCO ELÉCTRICO CON FUSIBLE REVESTIDO
Vs. ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO SUMERGIDO
Vs. ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO METÁLICO EN
GAS INERTE.

Un proceso eléctrico sin protección encuentra un campo muy reducido de aplicación, debido a que la mayoría de los metales necesitan estar protegidos de alguna manera, para evitar los efectos de la corrosión del oxígeno y del nitrógeno del aire durante las etapas del proceso de soldadura.

A manera de comparar características propias de cada uno de los procesos que se pueden utilizar para soldar el Zinalco, describiré brevemente cada uno de ellos y explicaré el porqué la utilización de uno y no el otro.

1) SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO.

- Unión producida por un electrodo consumible generalmente de acero y cubierto por un metal orgánico. Fig. 1.4.
- La protección de la soldadura se obtiene de la descomposición del revestimiento del electrodo. Se crea una atmósfera contaminante para el Zinalco la cual se mezcla en la composición química del material y produce escoria, la cual afecta la viscosidad del metal de soldadura.
- No aplica la existencia de varillas de Zinalco con algún tipo de revestimiento por las razones antes mencionadas.

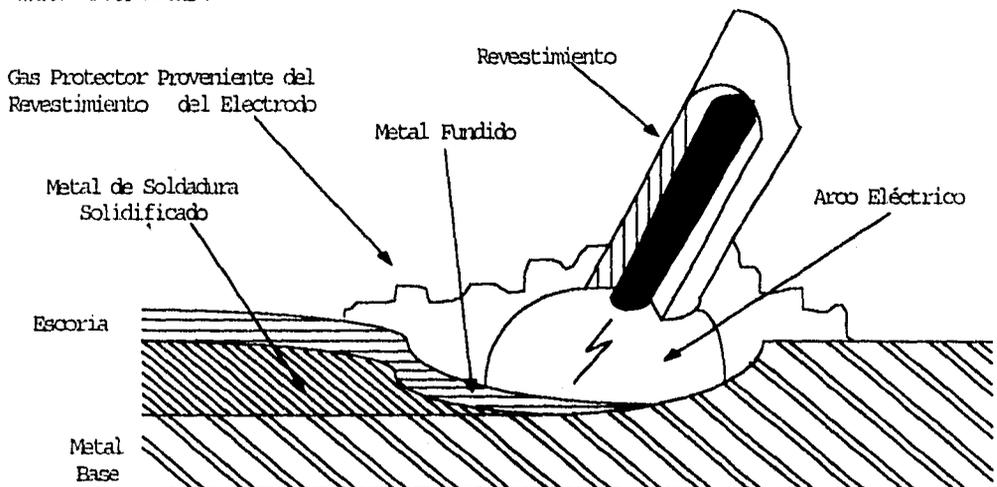


Fig. 1.4 Diagrama esquemático del proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo.

-Aunque la producción de gases que protegen el arco y el metal fundido mejora la conducción eléctrica a través del arco y ayuda a estabilizarlo.

2) SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ARCO SUMERGIDO

-En este tipo de soldadura se forman uno o varios arcos eléctricos con la utilización de uno o varios electrodos.

-A diferencia de la soldadura por arco con electrodo revestido y electrodo metálico, el arco eléctrico no se produce en el aire, sino dentro del material fundente como se puede observar en el fig. 1.5, el cual es un material finamente granulado y se coloca a lo largo de la junta a soldar.

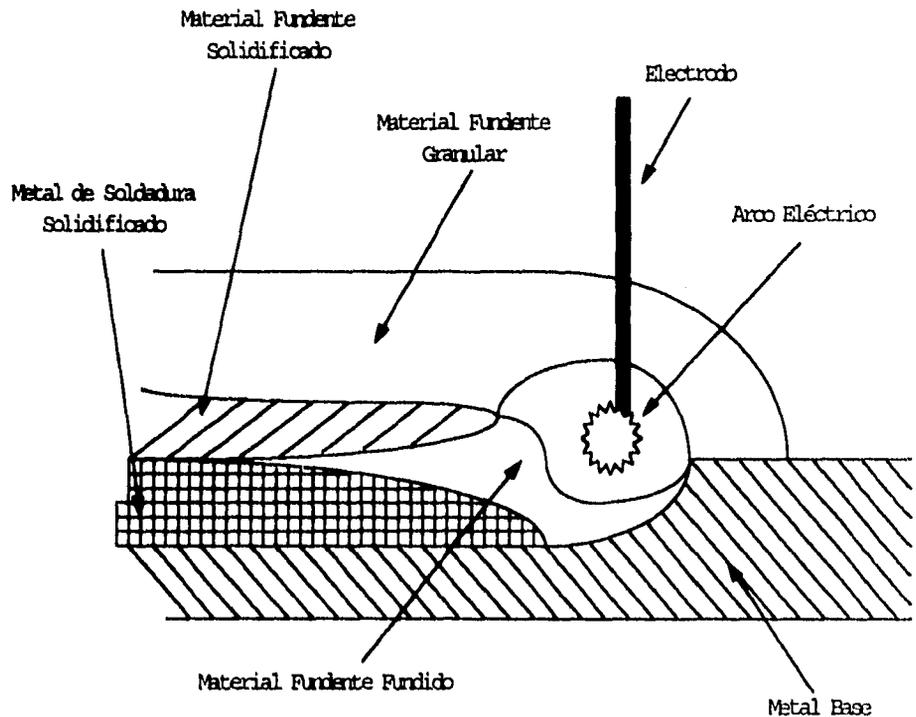


Fig. 1.5 Diagrama esquemático del proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo sumergido.

-Los materiales granulados son silicatos a los que se les añade metales en polvo que pasan a formar parte de la soldadura durante la fusión.

-El calor funde el material granular que rodea, formando una masa de escoria fundida.

3) SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO METÁLICO EN GAS INERTE (ARGÓN-HELIO).

- El método por excelencia para soldar el Zinco. Proceso Tig o proceso Mig, figura 1.6. La diferencia entre éstos radica en la forma de proporcionar el material de aporte y la velocidad de aplicación de la soldadura.
- En el proceso Tig, el metal de aporte se proporciona de forma manual, mientras que en el método Mig, la manera de proveer el material es de forma automática desarrollando una velocidad más grande de soldado, existiendo mayor control sobre el metal de aporte y su aplicación.
- El arco se protege por medio de gas inerte.
- Se puede utilizar o no material de aporte.
- No se requiere de ningún tipo de material fundente.
- No se forma escoria, el gas inerte introducido sustituye la atmósfera de protección que proporciona el revestimiento de un electrodo con varilla revestida, pero con la ventaja de no producir escoria, evitando posibles incrustaciones de escoria y una atmósfera activa.

El gas inerte fluye de una copa invertida colocada alrededor del electrodo y protege a éste, al arco y al metal fundido de los defectos de acción corrosiva del oxígeno y del nitrógeno.

Los gases de protección son el Helio (He) y el Argón (Ar). Los dos gases no afectan de la misma forma las características del arco, por lo que no son rigurosamente intercambiables; el empleo de uno u otro depende de la composición del metal base y su espesor.

El gas Argón (Ar) se emplea más comúnmente que el Helio (He), que es más pesado, e inicia la ionización (el arco eléctrico) con un voltaje de arco más bajo. Además hace una buena acción de limpieza de óxidos con una excelente estabilidad de arco.

Las condiciones de operación recomendadas para soldar aluminio y sus aleaciones son las siguientes:

Espesor (Pulgadas)	Mezcla (% de Gas)
0 a 1	100% Ar
1 a 2	100% Ar ó 50% Ar - 50% He
2 a 3	50% He - 50% Ar
3 o más	75% He - 25% Ar

El proceso Tig es el adecuado para soldar láminas delgadas de metal y más si son de bajo punto de fusión, debido a que produce una zona afectada de calor relativamente delgada y ocasiona retorcimientos pequeños.

Como conclusión el lector podrá darse cuenta por sí sólo que el método de soldadura Tig o Mig es el más adecuado dentro el tipo de soldadura por fusión.

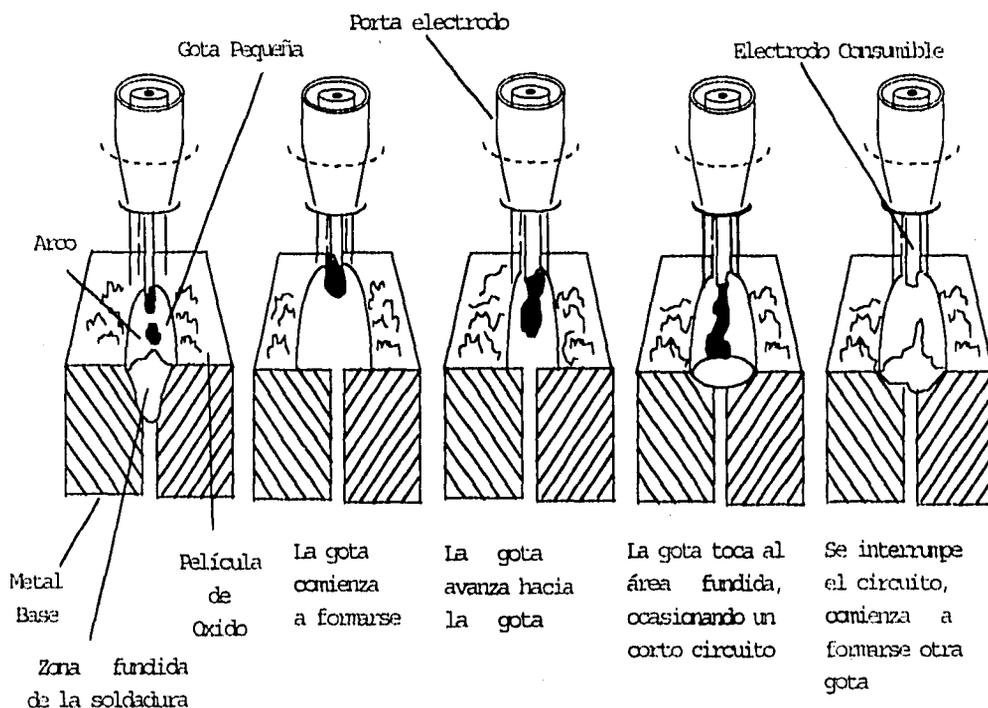


Fig. 1.6 Métodos de transferencia del metal en la soldadura de arco metálico y gas en el caso del método de soldadura MIG.

1.5 EL EQUIPO DE SOLDAR Y LA GENERACIÓN DE CALOR.

El equipo de soldar que se utilizó para llevar a cabo la presente investigación fue una máquina para generar el

arco eléctrico con capacidad de proporcionar tanto corriente alterna (C.A.) como corriente directa (C.D.).

La máquina usada es la MI-250, CA-CD-AF, de la marca Miller de México, con una salida nominal de 250 amperes CA/CD a 30 volts de carga y a 40 por ciento de ciclo de trabajo. La función de la alta frecuencia nos es útil para ayudar a iniciar el arco sin tocar la pieza a soldar y también para romper el óxido en la superficie del Zinalco.

En las soldaduras realizadas utilicé la polaridad inversa de corriente continua, con el fin de destruir la capa de óxido formada en la superficie de las piezas a soldar y la razón es que si la pieza a soldar es negativa, los iones positivos pesados del arco son atraídos hacia ella por lo que rompen esa capa y consiguen que se caiga.

CAPITULO 2
METODOLOGÍA

C A P I T U L O 2. M É T O D O E X P E R I M E N T A L

2.1 GENERALIDADES.

2.1.1 EL ZINALCO

El Zinalco es una aleación compuesta por Zinc, Aluminio y Cobre desarrollada en el Instituto de Investigación de Materiales de la Universidad Autónoma de México.

El Zinalco es tan resistente a la tensión como el acero y resistente a la corrosión como el aluminio; está constituido principalmente por Zinc en un 78%, un 21% de Aluminio, aproximadamente y el resto de cobre.

El cobre ayuda a que no se produzcan fases nuevas ni precipitados en las fronteras de grano. Las pequeñas cantidades de cobre añadidas entran en solución con las fases alfa (α) y beta (β) del Zinalco. La fase alfa constituida básicamente por aluminio con un porcentaje de zinc disuelto en ella y la fase beta, constituida básicamente por zinc con un porcentaje de aluminio disuelto ambas con cobre disuelto. Las fases alfa y beta ($\alpha+\beta$) en conjunto forman la típica estructura del Zinalco, la perlita, Figura 2.7.

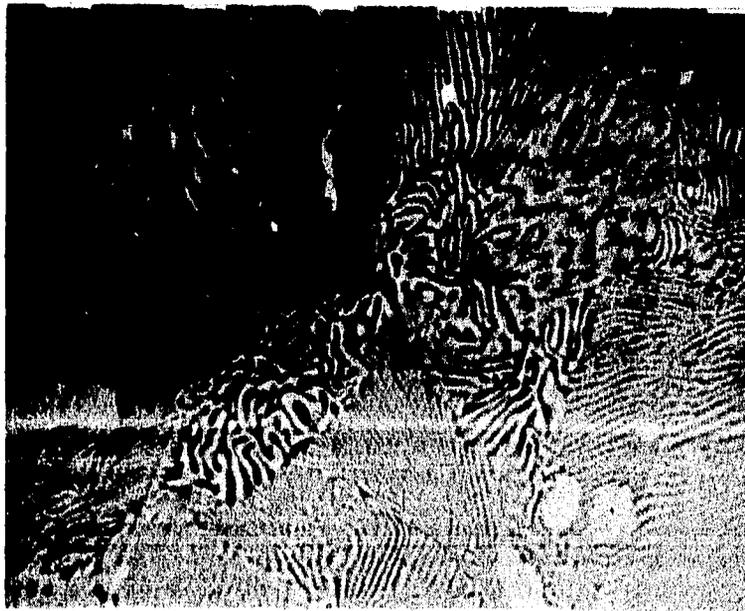


Fig. 2.7 Estructura perlítica característica del Zinalco.

2.1.1.1 PROPIEDADES DEL ZINALCO.

El Zinalco es la aleación con excelentes características mecánicas, tan resistente como el acero estructural, con excelente protección ante la corrosión, por que tiende a formar una capa de óxido protector al entrar en contacto con el aire, así como otras propiedades; su densidad es 2 a 1 con respecto al aluminio, con una alta resistencia mecánica de 400 Mpa y excelente maquinabilidad. Sin menospreciar sus propiedades se maquina con la misma facilidad con que se maquina la madera.

A continuación se muestra una tabla de valores para las características del Zinalco.

Material :	Zinalco
Propiedad	
Tipo de Moldeo	Extruído
Densidad (Grm/Cm ³)	5.4
Punto de Fusión (°C)	421-481
Coefficiente de expansión Térmica (°K-1)	26
Conductividad Térmica (W m-1 °K-1)	126
Conductividad Eléctrica (% I.A.C.S.)	38
Resistencia a la Tensión (MPa)	380-410
Esfuerzo de cedencia (MPa)	290-320
Deformación Máxima (%)	30-35
Módulo de Elasticidad (GPa)	110-130

2.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL.

El método experimental que se desarrollará para determinar la soldabilidad del Zinalco es el siguiente:

- 1.-Preparación del material listo para soldar. Maquinado y limpieza. Soldado del Zinalco.
- 2.-Preparación de las probetas para prueba a la tensión. Gráficas de pruebas a la tensión.
- 3.-Preparación de las muestras para análisis metalográfico.
- 4.-Fotografía de la microestructura de cada muestra en el microscópio electrónico de barrido a diferentes ampliaciones.
- 5.-Análisis, interpretación y obtención de conclusiones.

2.2.1. Preparación del material base para soldar

Como ya se mencionó anteriormente se realizó el estudio acerca de la soldabilidad del Zinalco partiendo de material extruido en barras de sección circular con un diámetro aproximado de 22 mm.

El método de soldado para unir el Zinalco con Zinalco y con aluminio es el proceso Tig, descrito con anterioridad. La soldadura con tungsteno y gas inerte se caracteriza por sus depósitos sanos, limpios y de excelente calidad.

Se adoptó este método ya que es el que por sus características particulares nos permite soldar el aluminio y sus aleaciones con extrema facilidad y con utilización de material de aporte. Nos permite tener un control más exacto de la temperatura en una zona determinada de la soldadura, su atmósfera protectora nos ayuda a evitar la formación continua de óxido de alumina, a través del modo de conectar el equipo (polaridad invertida) ya que nos ayuda a desprender fácilmente la capa de óxido que se forma naturalmente en el metal base.

Este proceso nos permite la utilización de material de aporte siendo éste uno de los objetivos principales de este estudio, para determinar la soldabilidad con dos tipos de metales de aporte el mismo Zinalco y el aluminio.

La soldadura se logró a través de la interposición del metal de aportación, mediante metal fundido entre los dos bordes sólidos de las piezas a unir preparando los mismos de tal manera que formen un receptáculo capilar.

Entre dichos bordes existe una temperatura tal, que el metal de aportación líquido penetra por fenómeno de capilaridad superficial, adheriéndose a los bordes y mojándolos. Se tuvo cuidado de dejar una separación tal entre los bordes del material base a soldar tal que permitiera el libre escurrimiento de la soldadura del metal de aporte.

Cuando se deja enfriar la unión, el metal de aportación al solidificar cierra las dos piezas estableciendo una continuidad metálica. En las muestras obtenidas observaremos más adelante las microestructuras desarrolladas. Es muy importante que para lograr una formación de granos finos, lo cual implica una mejor resistencia mecánica, se haya dejado enfriar las soldaduras al aire libre y sin ayuda de ningún agente. De otra forma el material depositado en la soldadura enfriaría muy rápido y esto provocaría una cristalización inmediata provocando la formación de granos relativamente grandes, lo cual debilita indiscutiblemente al material y en consecuencia se obtendrían resultados a la tensión fuera del orden establecido para el Zinalco. Esto se explicará más

adelante con el análisis de las fotografías de la microestructura del Zinalco.

La limpieza del material antes de soldar es básico para asegurar que la soldadura se realice con la más alta calidad, ya que durante el manejo de los mismos adquieren contaminantes y corrosión. Las piezas, material base, se limpiaron con cepillo y lija de diferentes tamaños de grano, con el fin de eliminar agentes contaminantes y asperezas que pueden ser factores de falla durante el proceso.

El maquinado correspondió al diseño de las juntas, siendo necesario preparar los bordes a fin de que el material de aporte pueda penetrar hasta dentro de la sección. Existe una infinidad de patrones a seguir dependiendo del espesor de las piezas a unir.

El tipo de diseño empleado para todas las muestras fue la soldadura de ranura doble, en la cual se hace una abertura con cierto grado de inclinación en los bordes de las piezas. El porqué la utilización de este diseño lo encontramos en que es el tipo típico para realizar muestras de soldado, se aprecia perfectamente la penetración del material, implica un trabajado mecánico que nos permite manejar parámetros dimensionales y sobre todo se obtiene las probetas con secciones de las barras soldadas con mayor representación para realizar inspecciones visuales por cualquier método.

Refiriéndose a la soldadura en sí, ésta se debe hacer con un ligero refuerzo que no exceda de $1/8''$ y una transición gradual al metal base en cada intersección.

Este tipo de soldadura no debe ser excesivamente convexa, ni tener garganta insuficiente, socavación, ni traslape excesivo. En la Figuras 2.8 y 2.9 se muestran las partes de que se compone una soldadura bien realizada la cual fue desarrollada en el presente estudio y lo que debemos evitar.

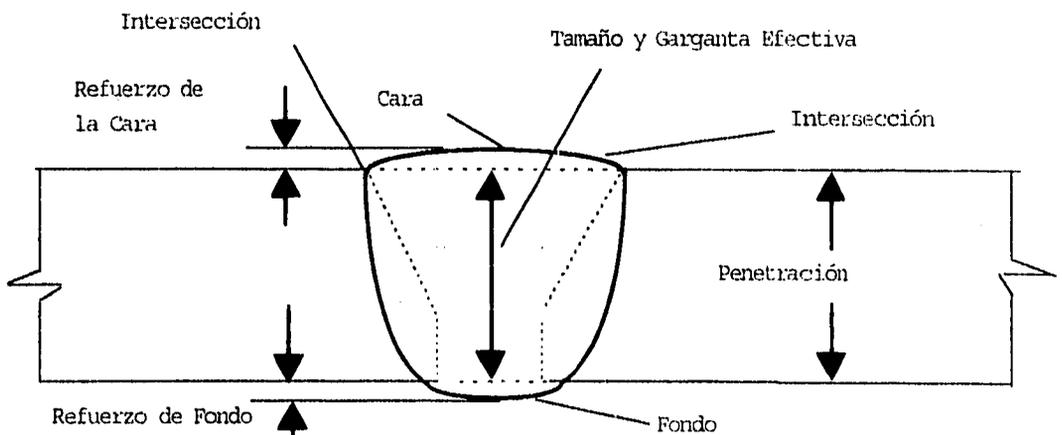


Fig. 2.8 Soldadura de Ranura

R = Refuerzo Máximo = 1/8 pulg.

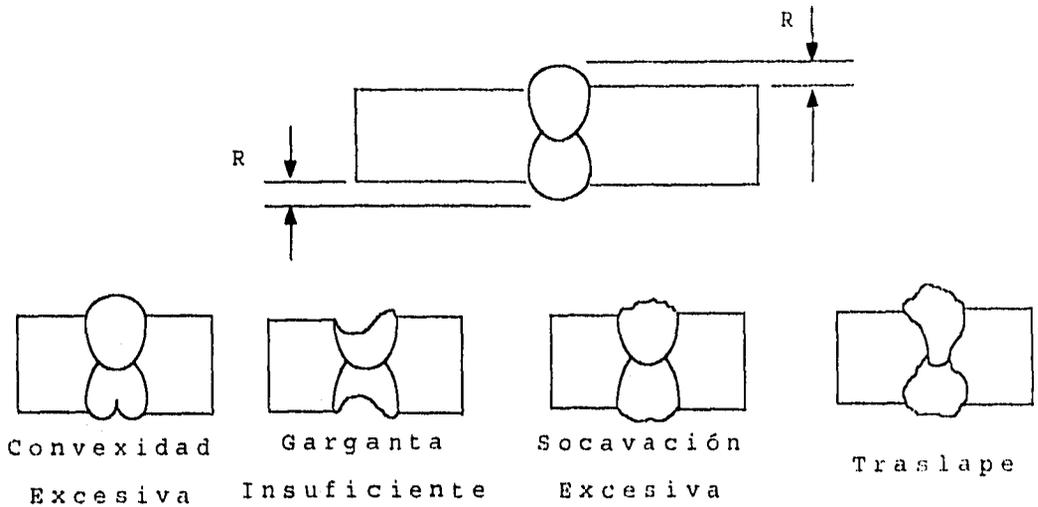


Fig.2.9 Cortes de soldadura de ranura aceptables e inaceptables.

A partir de barras de Zinalco obtenido por extrusión se maquinaron las piezas del material base para realizar las soldaduras de este trabajo.

Para todas las piezas 1,2,3,4 y 5 de metal base 1 Zinalco y metal base 2 Zinalco, respectivamente, se maquinó a partir de una barra extruida de 22 milímetros de diámetro y con un ángulo de abertura de ranura de aproximadamente 60°, se procuró que la distancia de separación entre las piezas a soldar fuera no menor de entre 2 y 3 milímetros, por razón que a continuación se comenta.

No hay refuerzo de fondo, por ser ranura doble y se decidió dejar una cara vertical de "empalme" de 3.2 milímetros de longitud con el fin de que existiera mayor penetración del metal de aporte en juego de fusión con el metal base. El metal de aporte se funde junto con estas caras, formándose un mismo material. Si no existiera la separación de 2 milímetros entre las piezas a unir, estas caras quedarían completamente pegadas en forma paralela y no habría penetración total, inclusive es seguro que queden atrapados gases de la misma atmósfera protectora. Pero la intención de que se encuentren separadas es firme ya que de no ser así el metal de aporte no penetraría completamente.

En el Anexo 1, Hojas de Datos Técnicos, podemos observar la representación gráfica en un corte de la preparación de las probetas y un resumen de los parámetros más importantes e

involucrados para determinar causas y efectos en este estudio.

A Continuación presentó una serie de fotografías tomadas con una cámara fotográfica comercial con lente de acercamiento, en las cuales tengo el especial interés de mostrar cual es la apariencia de las piezas, realizándoles un corte transversal, posterior a aplicación de la soldadura y el resultado de realizar correctamente o no una preparación mecánica como el biselado de las piezas.

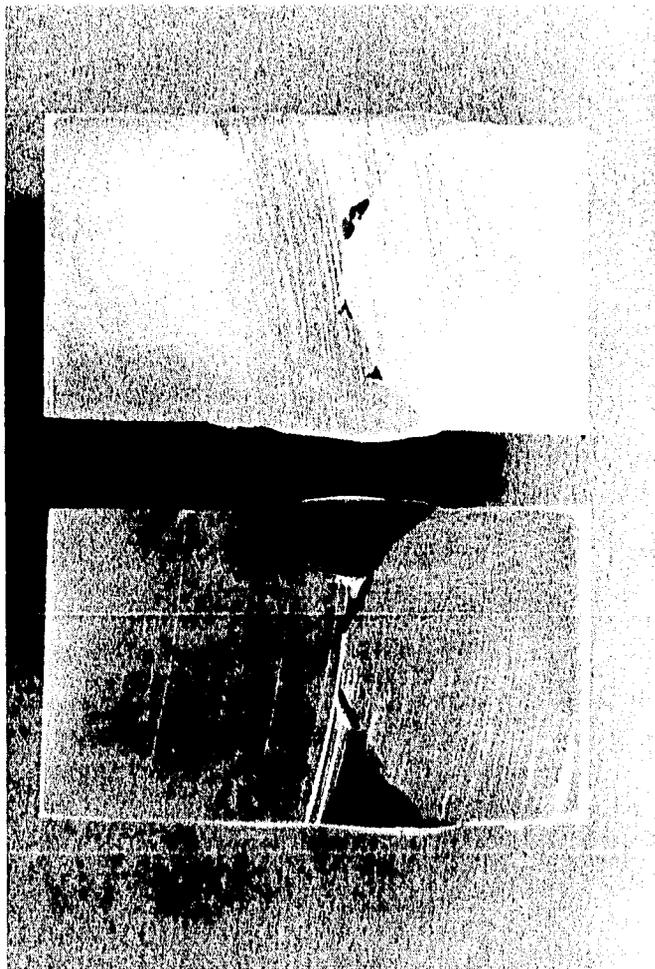


Fig. 2.10 Corte longitudinal de una pieza soldada.

El metal de aporte no logró una penetración completa porque la aplicación de calor no fue tal que permitiera un fundido completo del metal de aporte para que éste penetrara libremente. Se puede decir que fue una aplicación demasiado rápida y entre las piezas a soldar no existió un espacio tal que permitiera que el metal de aporte fluyera libremente.

Para las siguientes figuras podemos apreciar que ocurrió lo mismo. Sin embargo si nosotros trazáramos una franja por el centro de la muestra simulando una probeta podemos observar que la unión fue perfecta, es continua y no existe cavidad alguna como porosidad o espacios sin llenar. Se alcanza a distinguir perfectamente donde da inicio una pieza, la frontera de la soldadura entre una y otra y no se distingue el inicio y fin del material de aporte depositado.

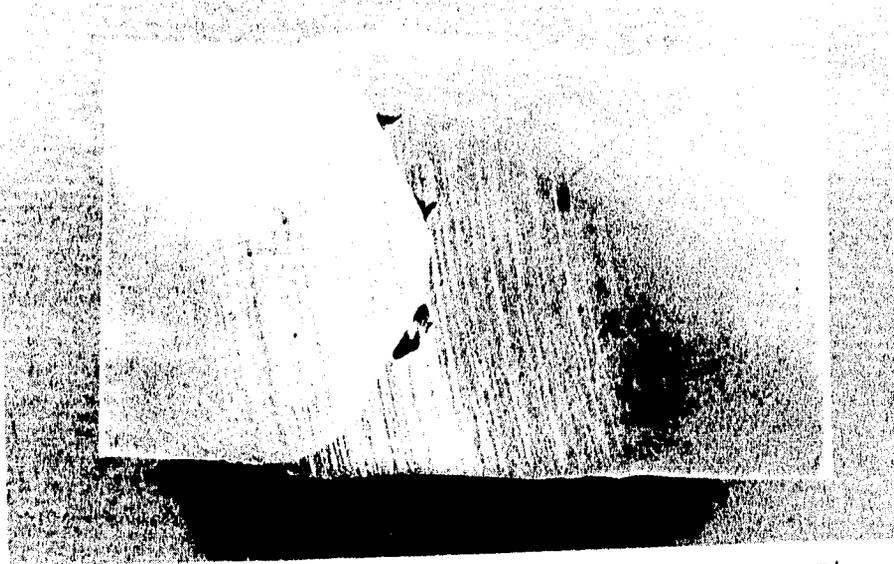


Fig. 2.11a

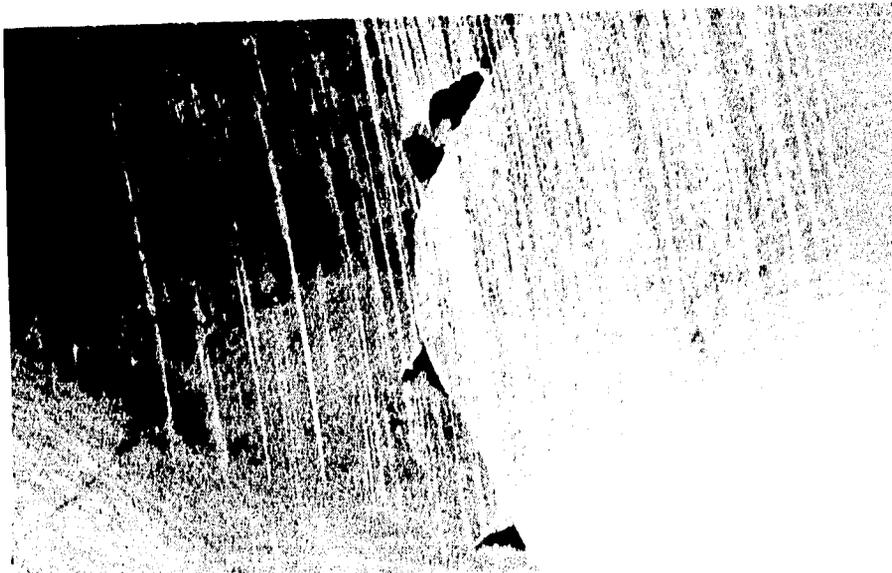


Fig. 2.11b

Figs. 2.11a y 2.11b Toma de cerca de un corte longitudinal, fotografiado con cámara comercial.

2.2.2 Preparación de las Probetas para Pruebas a la tensión.

Una vez realizadas las soldaduras se prepararon las probetas para ser sometidas a las pruebas de tensión. Las probetas fueron maquinadas en el taller del Instituto de Investigación de Materiales a partir de las barras formadas por dos piezas de Zinalco soldadas como se muestran en las Figuras 2.12a, 2.12b y 2.12c.

A las piezas soldadas se les efectuó un corte longitudinal, perpendicular al cordón de la soldadura, por la mitad de la pieza para así dejar expuestas dos secciones amplias y de ahí aprovechar al máximo las áreas de observación. Después por medio de un cepillo mecánico se fue rebajando el grosor de las probetas hasta obtener las probetas que se muestran en las Figs. 2.12a, 2.12b y 2.12c y dejarlas preparadas para pulirlas y eliminar lo más posible cualquier defecto adherido o causado por la realización del proceso de mecanizado y que éste pudiera desfavorecer las condiciones bajo las cuales se realizan las pruebas mecánicas.

Una vez que han sido fabricadas las probetas se procedió a limpiarlas, el motivo por el cual se realizaron estos pasos antes y no después de las pruebas mecánicas es de que la carencia de ellos podrían ocasionar fallas provocadas por el mecanizado de las piezas, y ello lleva a obtener información errónea en la lectura de las pruebas mecánicas, y que también una vez de que se realizan las pruebas es difícil maniobrar con las pequeñas muestras, para pulirlas, ya que la probeta se corta en secciones las cuales se eligen dependiendo de las zonas de interés para observar bajo el microscopio electrónico.

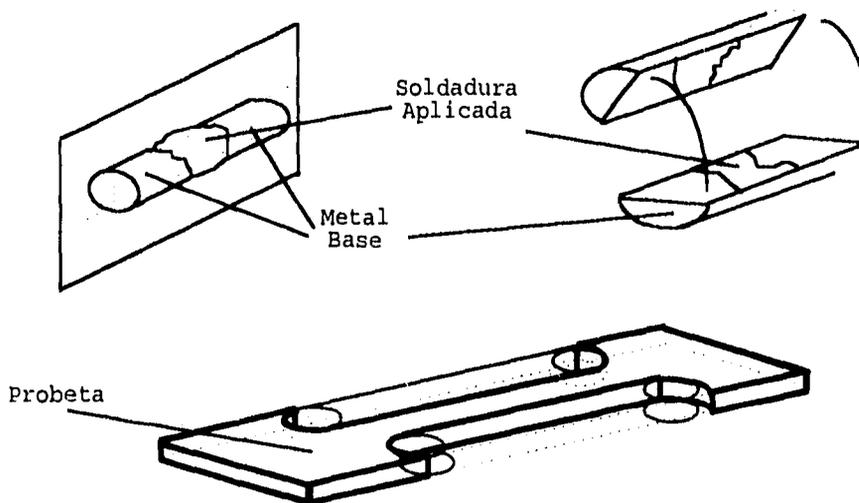


Fig. 2.12a Preparación de la probetas antes de la prueba a la tensión y del análisis al microscopio.

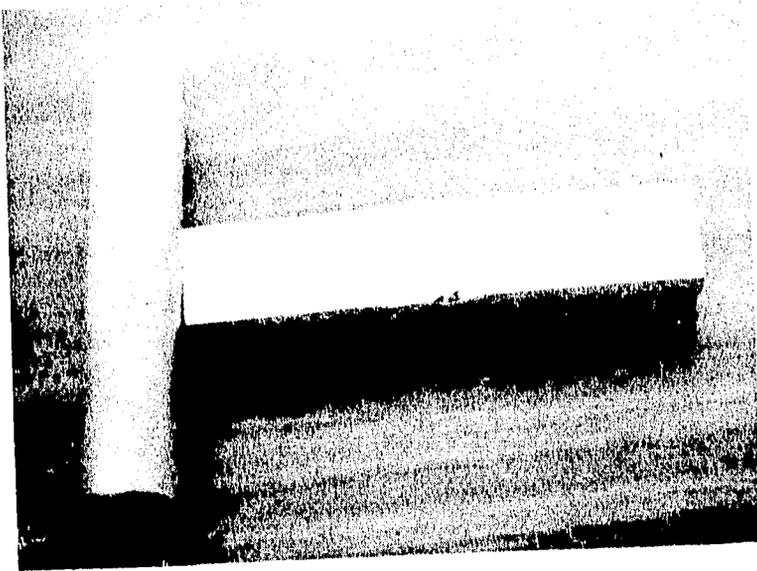


Fig. 2.12b

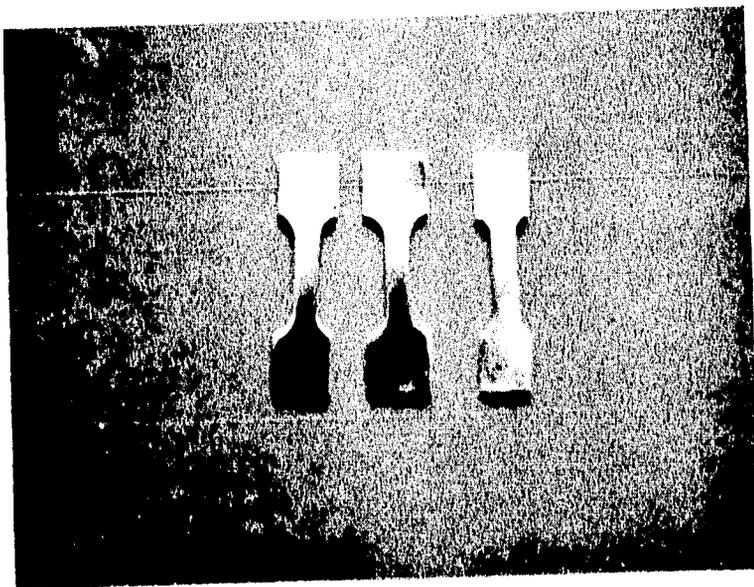


Fig. 2.12c.

Figuras. 2.12b, 2.12c Preparación de la probetas antes de la prueba a la tensión y del análisis al microscopio.

Los pasos que se siguieron para la limpieza de las probetas son los ya conocidos por el lector: selección de la muestra, identificación, pulido grueso, pulido fino y limpieza con disco abrasivo.

Lo anterior llevará a obtener una muestra que sea representativa de lo que se quiere observar; con mínimas distorsiones causadas por el proceso, libre de ralladuras, picaduras y sin manchas causadas por líquidos; con las inclusiones intactas y suficientemente plana, para permitir una prueba a la tensión uniforme totalmente.

La limpieza se inició con un pulido grueso utilizando la lija más gruesa que permite producir rayaduras más finas que las introducidas por la herramienta de corte. En todos los casos cada lija deberá borrar las huellas del proceso anterior antes de pasar a una lija de mayor finura. Posteriormente viene el pulido fino el cual nos permite obtener una superficie plana, libre de rayaduras y con apariencia de espejo. Para iniciar este pulido es necesario tener una superficie con un acabado semejante al que da la lija grado 600. Los abrasivos más usados para realizar este pulido son la alumina, óxido de magnesio, óxido de cromo, óxido de fierro y pasta de diamante. Estos compuestos, excepto la pasta de diamante, se usan formando una suspensión en agua destilada.

El abrasivo utilizado fue el óxido de alumina, comenzando a pulir contra un paño y terminando de pulir en terciopelo con pasta de diamante. Esto se repitió para todas las bases.

2.2.3 Pruebas a Tensión. Curvas (ϵ - σ). Esfuerzo Deformación.

La producción de depósitos de mayor calidad con fina y sólida estructura aumentan la resistencia a la tensión, límite elástico y propiedades mecánicas en general.

Como el metal base y el metal de aporte se llevan ambos al estado de fusión y se mezclan dentro del cráter de soldadura, es aparente que el análisis final de la soldadura está relacionado con el análisis del metal base, el análisis del metal de aporte y la relación de éstos en la mezcla.

El ensayo normal a la tensión se emplea para obtener varias características y resistencias que son útiles para determinar el buen funcionamiento de una unión soldada. Es preciso conocer parámetros como diámetro o área y longitud original, que sirven para medir las deformaciones, se deberán registrar antes e iniciar cualquier prueba.

La probeta se monta en la máquina de ensayos y se carga lentamente a tensión mientras se observan los valores de carga aplicada y de deformación producida. Al concluir la prueba o durante ella, los resultados se llevan a una gráfica llamada diagrama esfuerzo deformación la que posteriormente se analizará para cada prueba realizada.

La deformación plástica de la aleación que se traduce en una deformación permanente de los cristales que la componen, produce esfuerzos residuales importantes y ocasiona cambios acentuados en sus propiedades físicas, la resistencia mecánica, el límite de elasticidad y la dureza aumentan, llegando el metal a hacerse quebradizo si la deformación de los cristales es excesiva.

Las probetas se prepararon con las siguientes características dimensionales; todas las probetas fueron maquinadas de tal forma que son iguales a las que se muestran en las Figuras 2.12a, 2.12b y 2.12c anteriores.

La muestra no.1 es de 4.99 cm de longitud total y con una longitud efectiva de 1.65 cm, con un ancho de 0.5 cm y un espesor de 0.1175cm, esto nos da un área efectiva de 0.05875 cm². Realizando la prueba a la tensión se obtiene un valor de gráfica de $\sigma_1=460$ Mpa y mediante mediciones físicas apreciamos que la probeta se deformó un 12%, es decir:

$$\epsilon = (l_f - l_0) / l_0$$

Sustituyendo valores obtenemos:

$$\epsilon = (1.848 - 1.65) / 1.65 = 0.12$$

es decir: $\Delta l = 0.1980$ cm.

Se elongó casi 2 milímetros, antes de fracturarse.

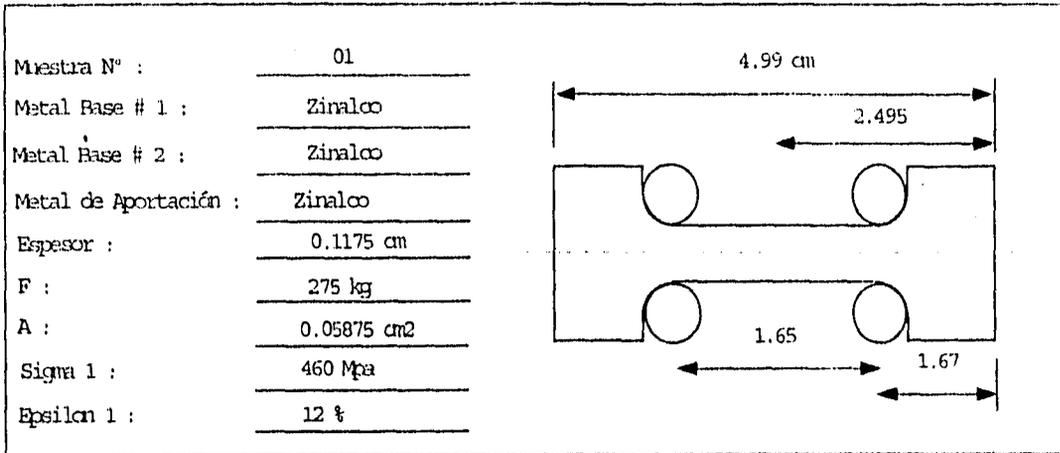


Fig. 2.13 Probeta No.1, valores de prueba a la tensión para soldadura realizada entre Zinalco y Zinalco con material de Aporte Zinalco.

P (carga en Kg)

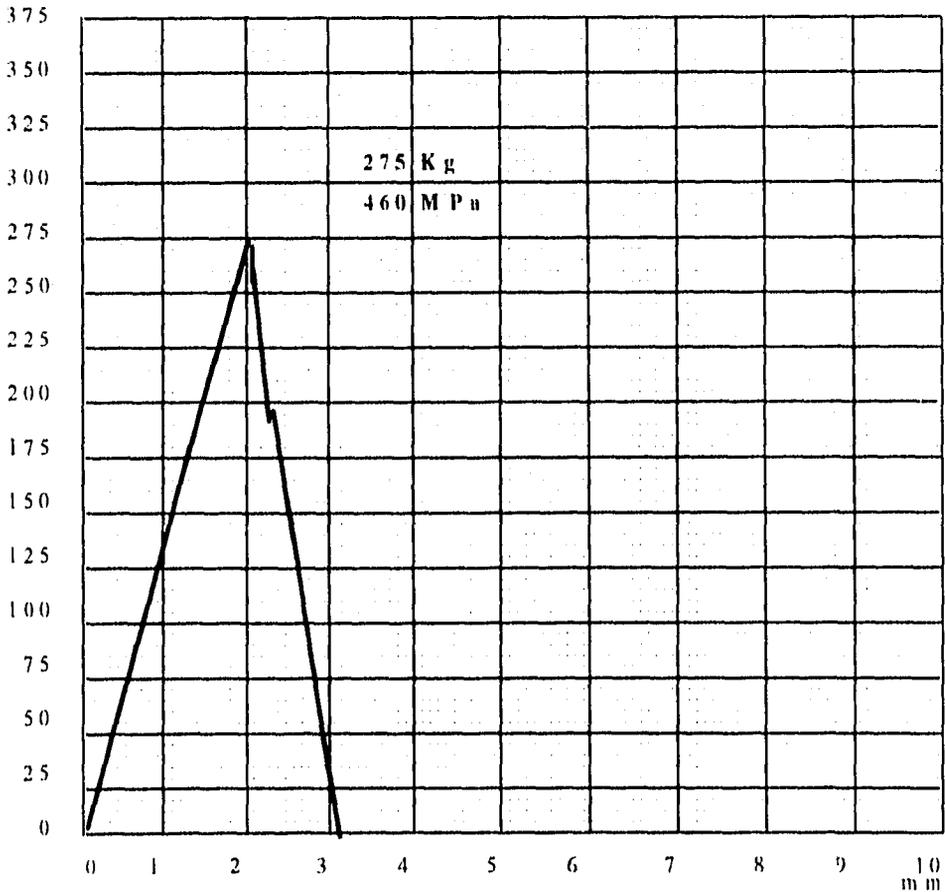


Fig. 2.14 Curva Esfuerzo de formación de la muestra No.1

Se procuró igualar las condiciones dimensionales para todas las probetas, la muestra no. 2, con una longitud igual a la probeta no.1, de 4.99 cm, una longitud efectiva de 1.35 cm, una sección transversal de 0.05287 cm², con un ancho de 0.4499 cm, metal base 1 y 2 Zinalco unidos por un metal de aporte aluminio. El esfuerzo de cedencia $\sigma_2 = 370$ Mpa, porcentaje de elongación $\epsilon = 0.074$, $\Delta l = 0.09990$ cm, casi un milímetro de elongación antes de fracturarse.

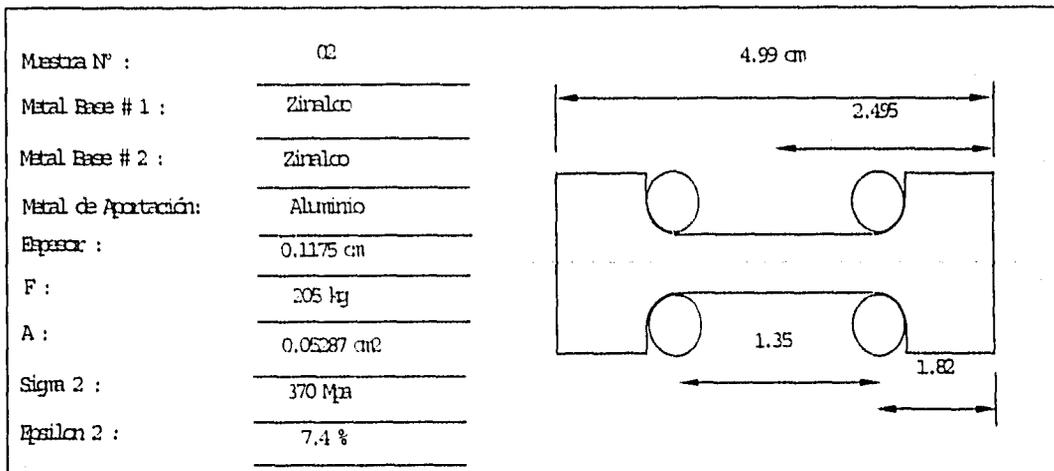


Figura 2.15. Probeta No.2, valores de prueba a la tensión para soldadura realizada entre Zinalco y Zinalco con material de Aporte Aluminio.

P (carga en Kg)

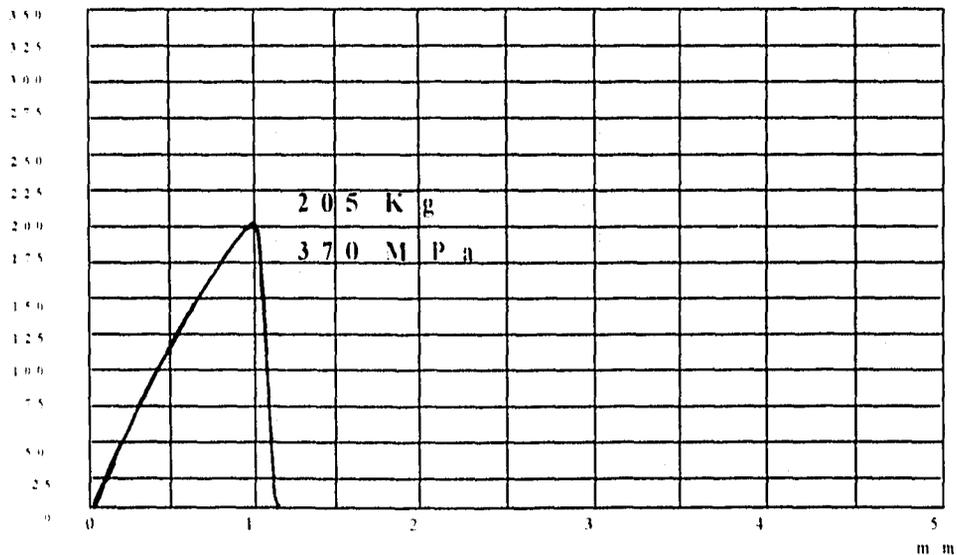


Fig. 2.16 Curva Esfuerzo deformación probeta No.2

Referente a la muestra no.3, de longitud total igual a 4.98 cm y longitud efectiva de 1.45 cm, la resistencia a la cedencia $\sigma_3 = 500$ Mpa, aproximadamente. Ésta probeta soportó una carga mucho mayor que las anteriores, aproximadamente 300 Kg, el material de aporte fue el Zinalco que unido a los metales base igualmente de Zinalco se demuestra una unión perfecta que soporta una fuerza de acuerdo a valores de tabla, indiscutiblemente esta soldadura es de mejor calidad. La deformación $\epsilon = 0.1379$, y la longitud de deformación $\Delta l = 0.1999$ cm, casi dos milímetros.

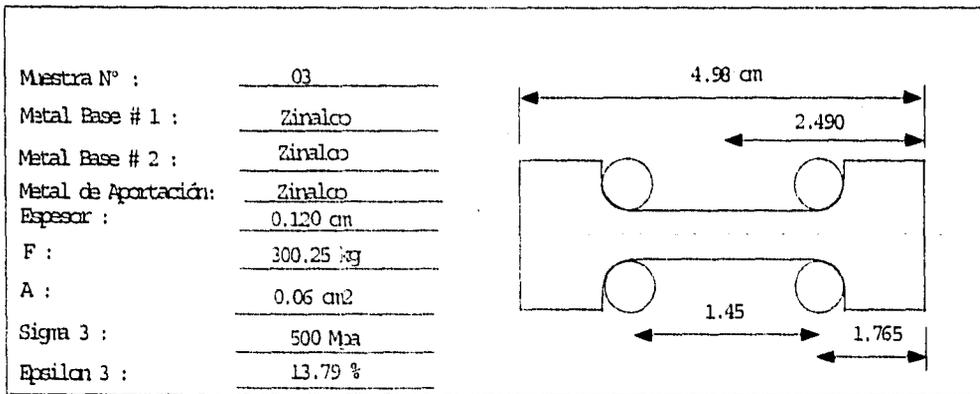


Figura 2.17. Probeta No.3, valores de prueba a la tensión para soldadura realizada entre Zinalco y Zinalco con material de Aporte Zinalco.

P (carga en Kg)

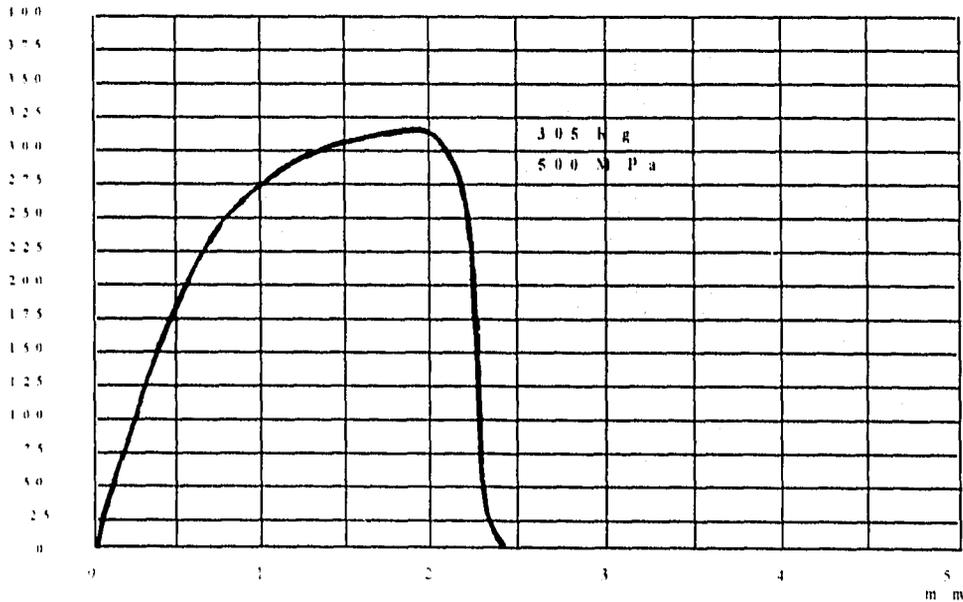


Fig. 2.18 Diagrama Esfuerzo deformación probeta No.3

Probeta no.4, metal base 1 Zinalco con Zinalco y metal de aporte aluminio. $\sigma_4=52$ Mpa, un valor bajo para los que esperamos de la unión soldada, la longitud activa de la probeta es de 1.38 cm, con una deformación $\epsilon=0.05$, es decir una $\Delta l=0,09991$ cm, presentó un esfuerzo de tensión muy bajo, analizando la microestructura veremos la causa, lo que de primera impresión se puede opinar es que fue una ruptura frágil sin elongación.

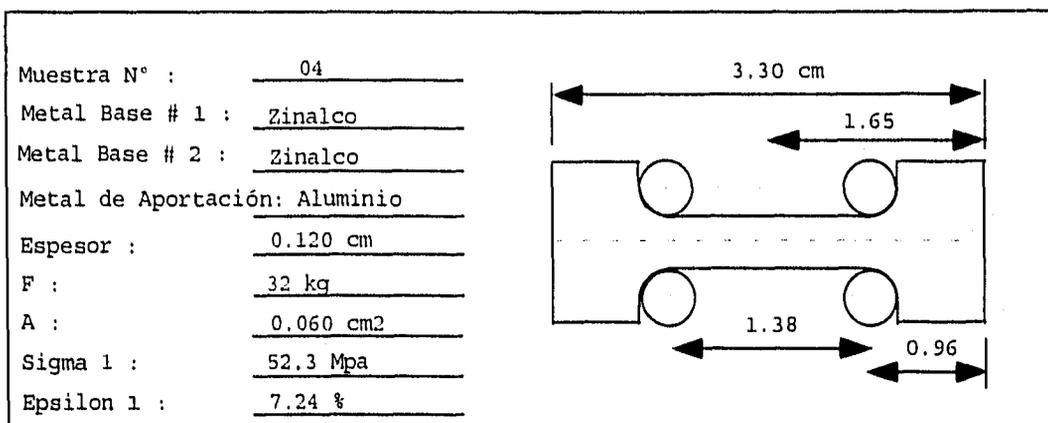


Figura 2.18. Probeta No.4, valores de prueba a la tensión para soldadura realizada entre Zinalco y Zinalco con material de Aporte Aluminio.

P (carga en Kgs.)

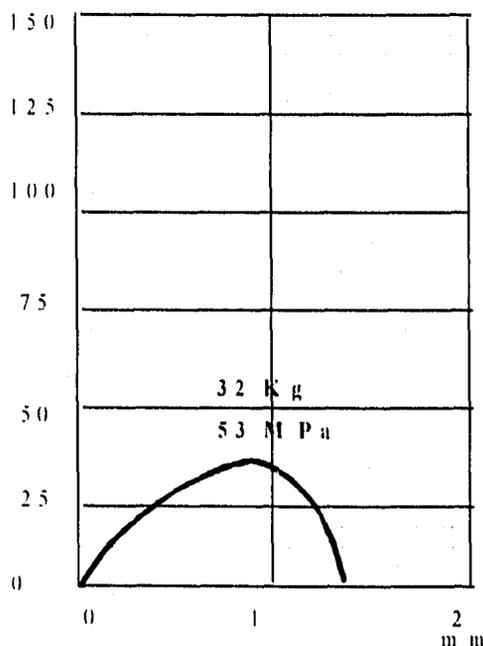


Fig. 2.19. Curva Esfuerzo deformación, probeta No.4

En la probeta no. 5 podemos observar que se presentaron características semejantes a la muestra anterior con una longitud efectiva de 2.00 cm y una longitud final de 2.10 cm, con una $l_1=3.100$ cm y un esfuerzo de cedencia igual a $\sigma_5=87.66$ Mpa.

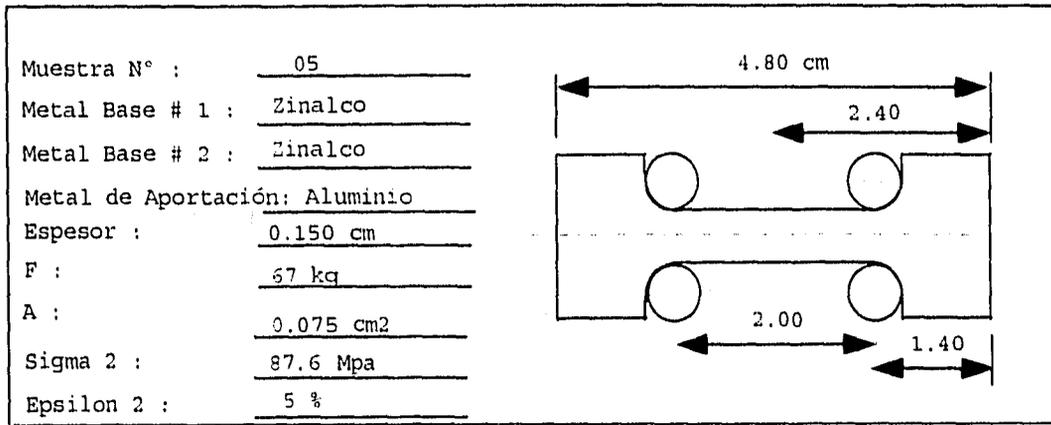


Figura 2.20. Probeta No.5, valores de prueba a la tensión para soldadura realizada entre Zinalco y Zinalco con material de Aporte Zinalco.

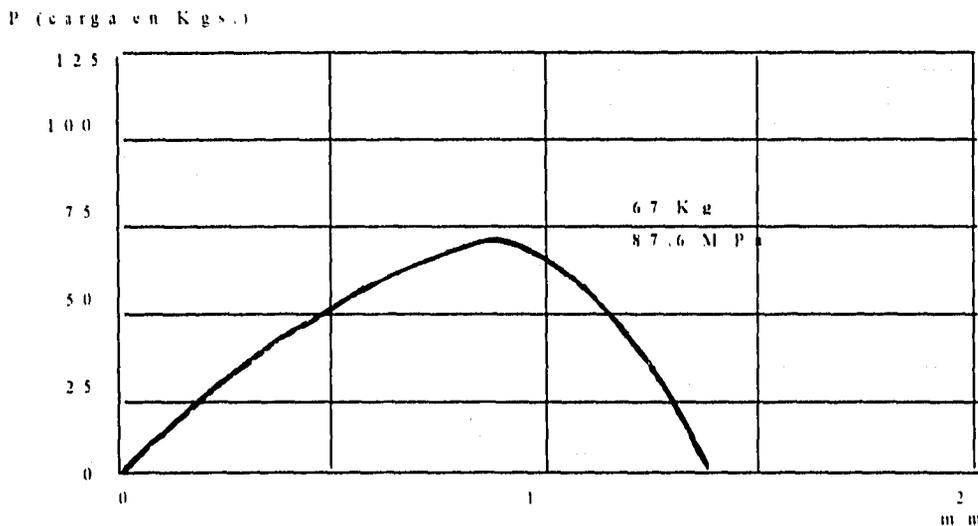


Fig. 2.21. Diagrama Esfuerzo deformación probeta No. 5.

Para las muestras anteriores podemos decir que durante el proceso de soldado, se procuró que se enfriaran lentamente para evitar la formación de granos grandes, no existió precalentamiento y mientras se soldaba un lado el anverso se volvió a fundir, lo que se traduce en dos situaciones: 1) se homogeneiza la soldadura aplicada y 2) introduce defectos

tales como gases o esfuerzos debido a la dilatación y contracción del material.

La resistencia a la tensión para una soldadura bien aplicada de Zinalco se encuentra en el rango de los 400 Mpa, sin embargo la resistencia de las probetas soldadas fue de un rango promedio de alrededor de los 307 Mpa, lo cual considero que es aceptable sabiendo que el Zinalco tiene un valor de esfuerzo de cedencia del orden de 280 a 310 Mpa.

Las superficies de fractura se muestran en el siguiente apartado, mostrándonos que las fracturas ocurrieron fuera de la soldadura sin que encontráramos indicios de fractura en la interfase con el Zinalco.

2.2.4 Fotografiado de las Microestructuras. Análisis metalográfico e Interpretación.

Los mecanismos que produjeron las uniones óptimas se obtienen de las fotografías tomadas en los ensayos metalográficos. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido, el JEOL-T-20, el cual se encuentra en el Instituto de Investigación de Materiales de la U.N.A.M.)

Entrando en tema la microestructura de un material se desarrolla durante el proceso, sea cual fuere éste. El conocimiento de los detalles de la formación de las microestructuras es esencial para entender la relación existente entre los parámetros del proceso y el comportamiento del material en la práctica.

La microestructura de los materiales cristalinos está definida por el número y geometría de las fases, por su topología e interfases, así como por la geometría y estructura de los defectos de la red cristalina.

La forma geométrica de la estructura que toman las fases dependen de la trayectoria seguida durante el enfriamiento a partir de una temperatura superior a 280°C pero inferior a 420°C, es la región en donde el Zinalco adquiere una estructura atómica idéntica a la del aluminio. La estructura predominante es la perlita obtenida directamente del proceso de extrusión.

Si se enfría rápidamente, la estructura resultante estará formada por granos muy finos de fase α y β , mientras que si enfriamos lentamente las fases α y β se arreglan en forma de láminas alternadas dando como resultado la estructura perlítica.

Mientras se calienta o se enfría la aleación durante el proceso de soldadura, el sólido experimenta ciertos cambios en su estructura que puede alterar completamente sus propiedades como cambio de solubilidad sólida en el enfriamiento, cambio de una forma alotrópica a otra, formación de estructuras eutectoides, crecimiento de granos y recristalización.

Estos cambios los podemos ver escritos en el diagrama de equilibrio de la aleación.

El material en estudio está compuesto de Zn, Al y Cu, pero por tener bajo contenido de cobre, el diagrama de equilibrio que puede ser utilizado para su análisis es el siguiente:

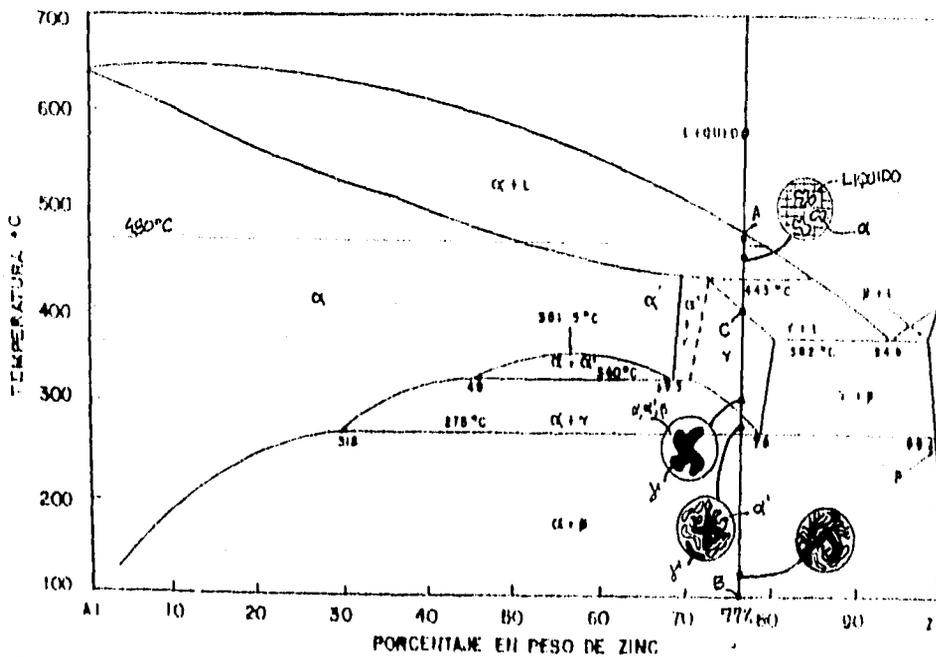


Figura 2.22. Diagrama de equilibrio para la aleación binaria de Zinc y Aluminio.

En la Figura 2.22 podemos apreciar la composición eutectoide del Zinalco, la cual está compuesta de 78% de zinc, 21% a 22% de aluminio y el resto de cobre, como ya lo hemos mencionado con anterioridad.

Expliquemos lo que sucede en las línea que va desde el punto A (punto de fusión de la aleación) hasta el punto B (punto antes de efectuarse al 100% la solidificación de la aleación).

Partimos de que la aleación tiene una estructura perlítica fina la cual se pierde inmediatamente al aplicarle calor y llevarla al punto de fusión, aproximadamente los 480°C, en ese momento los bordes preparados previamente para formar un receptáculo capilar al igual que el material de aporte se funden obteniéndose una fase α + Líquido, punto A de la Fig. 2.22, pasando el arco eléctrico una y otra vez, la transferencia de calor hace que la fase α + Líquido se transforme en γ + Líquido conforme desciende la temperatura. Lo que estamos logrando es la composición y descomposición de una fase α y otra γ .

La fase γ la podemos apreciar en la figura No. 2.23, fase que se aprecia como puntos oscuros y regularmente en formas geométricas bien definidas, esta fase es la formación de precipitados debido a la existencia de impurezas o en nuestro caso en la mayoría de las veces formados por incrustaciones de cobre. Dependiendo de la velocidad de enfriamiento se visualizarán o no; en la zona marcada en el diagrama de equilibrio como la parte de la recta de la aleación entre los puntos C y D predomina esta fase; disminuyendo la temperatura a unos 280°C volvemos a encontrar la fase α , básicamente formada por aluminio con un porcentaje de zinc disuelto en él y la formación de algunos precipitados de fase γ .

Por último con una temperatura inferior a los 280°C aproximadamente encontramos las fases eutécticas de la aleación binaria, las fases α + β que en combinación produce la estructura perlítica laminar, entre más fina sea la perlita mejor ya que se tendrá una estructura homogénea más definida y resistente a las pruebas a la tensión, evitando hacer al material quebradizo por la formación de granos grandes.

La perlita será más fina cuando la aleación es enfriada en aire tal como se hizo en las muestras observadas, que cuando se enfría lentamente, por ejemplo dentro de un horno, además de que cuando el descenso de temperatura es rápido,

adicionalmente a la región laminar la estructura presenta granos finos similarmente a la estructura de fundición en la composición eutectoide; lo anterior lo podemos apreciar en la Figura 2.23



Fig. 2.23. Estructura perlítica fina y aparición de precipitados negros de fase γ . Granos finos similares a los que se desarrollan en la estructura de fundición.

En el presente estudio se pudo observar una transformación de fase muy marcada, en el material soldado, dicha fase depende de la estructura anterior a la soldadura.

En la siguiente parte analizaremos las fotografías obtenidas a partir del microscopio electrónico de barrido. En la Fig. 2.24 se aprecia la unión soldada consistente en material base Zinalco y material de aporte Zinalco. A esta muestra no se le efectuó prueba a la tensión. Se aprecia perfectamente la estructura perlítica laminar, característica del Zinalco. También vemos la formación de dendritas α' de aluminio, las cuales se formaron antes de que la perlita tuviera lugar. La estructura perlítica aparece en la mayoría de las veces en forma perpendicular a las dendritas de aluminio.

No podemos dejar notar la existencia de precipitados γ , los cuales aparecen como manchas negras con formas geométricas regulares. la formación de estas dendritas son típicas del Zinalco obtenido por fundición y su origen se debe principalmente a incrustaciones de cobre y otras impurezas las cuales no se mezclan con las soluciones sólidas α y β .

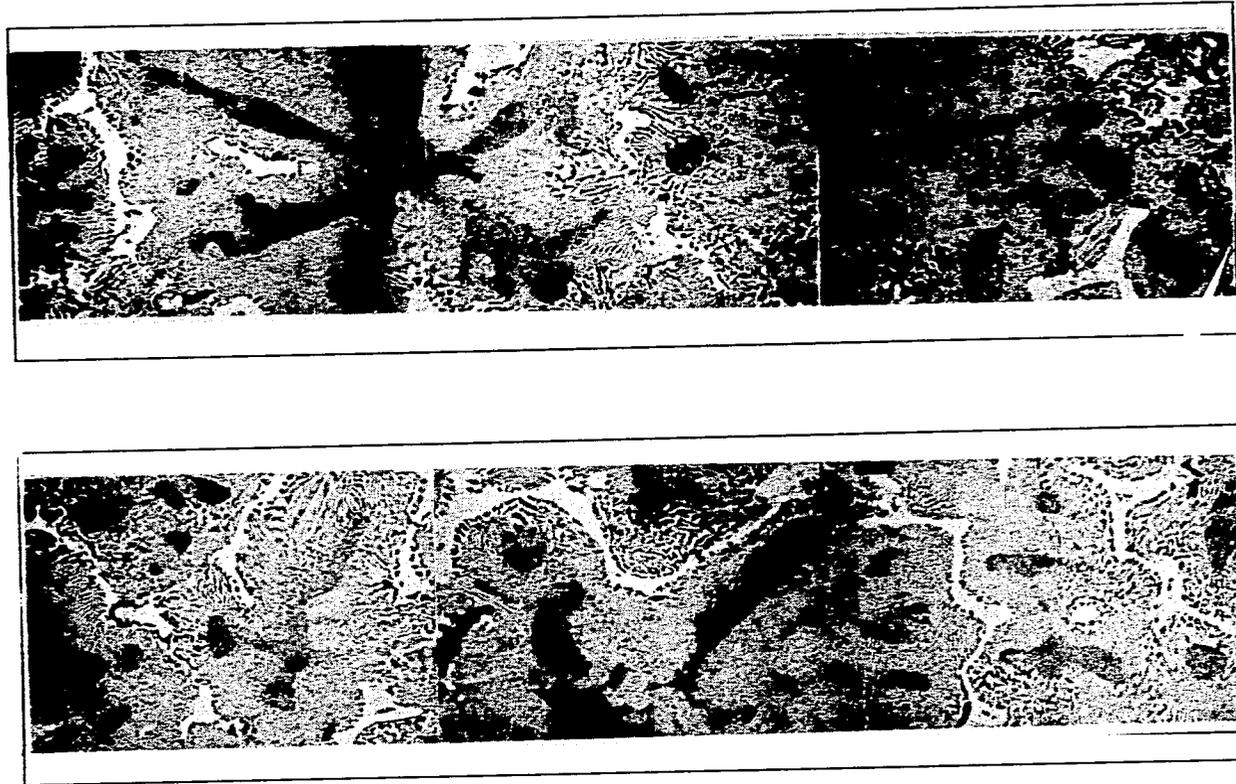


Fig. 2.24. Muestra amplificada 2000X. Material base Zinalco, material de aporte Zinalco. Muestra sin aplicación de prueba a la tensión. Apreciación de dendritas fase α' y $\alpha+\beta$.

En la Figura 2.25 pueden apreciarse con claridad varias estructuras, la primera parte cercana a la zona de la unión es la típica estructura perlítica, presentando granos de una sola fase rica en aluminio con ligeros asentamientos de otra fase como tendiendo a composición eutectoide y la tercera región de nuevo es la típica perlítica laminar de composición eutectoide.

Fig. 2.26 muestra conformada por la soldadura de Zinalco con Zinalco como material base y aluminio como material de aporte. A esta muestra se le realizó prueba a la tensión y se está mostrando la zona de fractura en la cual no se observa porosidad o agrietamiento es una zona conformada totalmente por Zinalco, se alcanza a distinguir la estructura perlítica de éste. Del lado izquierdo a la zona de fractura se aprecian algunas porosidades las cuales no se vieron afectadas durante la prueba a la tensión. Al inicio de la fotografía se aprecian unas estructuras perlíticas perfectamente formadas y bien definidas. También observamos algunas fases proeutéticas α' dendritas que no lograron la composición $\alpha + \beta$, mezcla eutéctica y la cual está conformada básicamente por aluminio. Recorriendo la fotografía observamos la zona de fractura y se alcanza a distinguir el alargamiento normal ocurrido tras haber aplicado la prueba a la tensión.

En la Figura 2.27, donde la muestra está compuesta básicamente de metal base Zinalco y unidas por Zinalco. En esta fotografía podemos apreciar perfectamente la zona de la soldadura poco favorable para la exitosa unión, ésta se puede apreciar debido a la existencia de extrema porosidad ocasionada por factores como gases atrapados, impurezas recogidas durante el proceso de soldado o quizá por haber vuelto a aplicar soldadura tras hacerla aplicado con anterioridad.



Figura 2.25. Muestra en la zona de la unión amplificada 2000X. Muestra la zona de la unión, con material de aporte aluminio y metal base Zinalco.

38

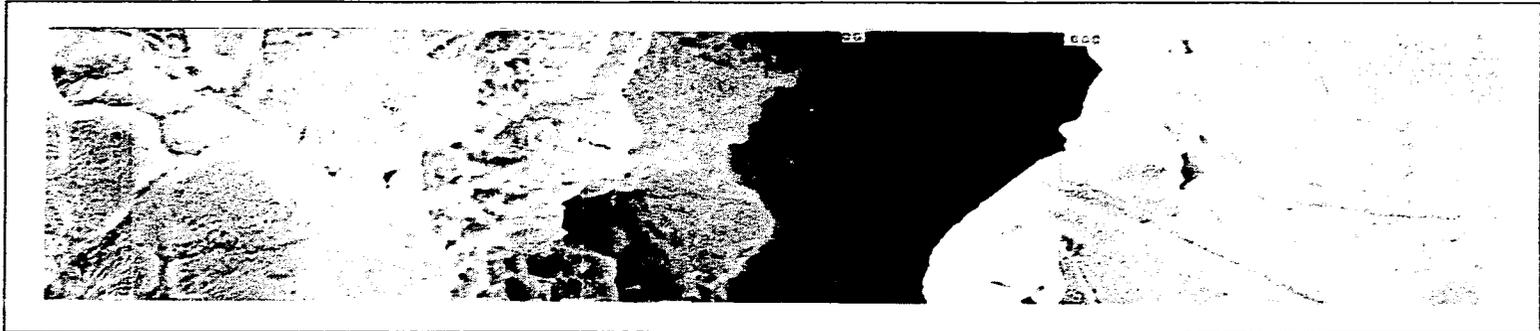


Figura 2.26. En la zona de la unión amplificada 2000X. Material de aporte aluminio y metal base Zinalco. Tras haber aplicado prueba a la tensión.

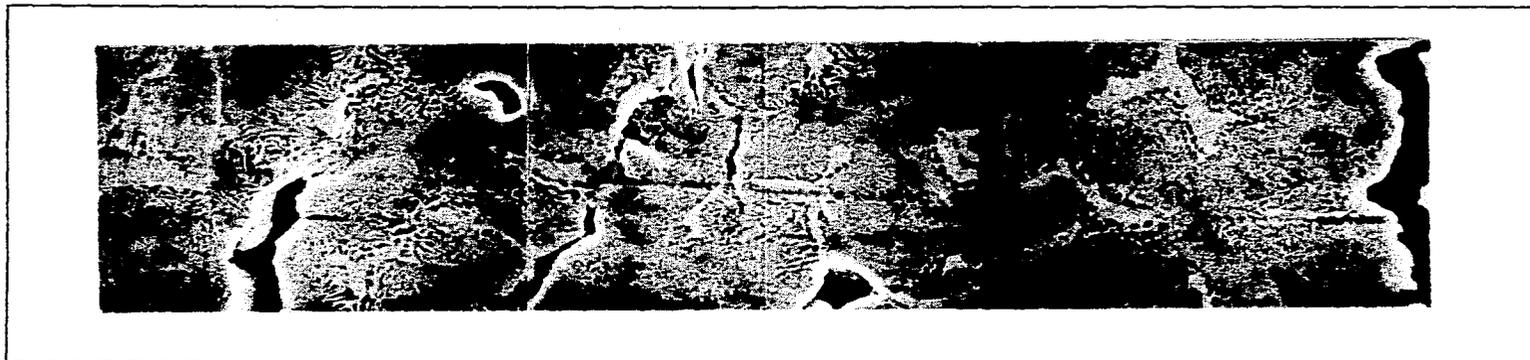


Figura 2.27. En la zona de la unión amplificada 2000X. Material de aporte Zinalco y metal base Zinalco. Se observa continuidad en la microestructura a pesar del agrietamiento y porosidad. No se distingue donde inicia y donde termina la soldadura a pesar de la existencia de poros se aprecia un buen control de la temperatura.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

La deformación plástica de la aleación, que se traduce en una deformación permanente de los cristales que lo componen, produce esfuerzos residuales importantes y ocasiona cambios acentuados en sus propiedades físicas, la resistencia mecánica, el límite de elasticidad y la dureza aumentan, llegando el metal a hacerse quebradizo si la deformación de los cristales es excesiva: otras propiedades como la conductividad eléctrica, permeabilidad magnética y resistencia a la corrosión, se modifican también.

El defecto más común causado por la contaminación de la superficie es la porosidad. La porosidad ocurre debido a la aparición de bolsas de gas o vacíos en el metal de soldadura. Cuando la porosidad es alargada o se extiende a través de más de una capa de metal de soldadura se le llama porosidad canalizada. Esta se forma al flotar la bolsa de gas hacia la superficie de la soldadura, dejando un vacío en su recorrido. La bolsa de gas es atrapada al solidificarse el metal de soldadura, pero al depositarse la siguiente capa de soldadura continúa flotando hacia la superficie. La porosidad y la canalización pueden no ser visibles en la superficie de la soldadura.

Se determinaron las siguientes conclusiones:

- 1.- La presente investigación nos indica la posibilidad de usar soldaduras con Zinalco, utilizando como material de aporte el mismo Zinalco y aluminio, en la misma forma como es soldado con aluminio.
- 2.- La resistencia observada en las pruebas de tensión se aprecian con valores esperados de las mismas. En el caso de las soldaduras donde el metal de aporte es el aluminio se observaron valores relativamente bajos sólo que en las fotografías de análisis microscópico se apreció que la falla no ocurrió en la zona de la soldadura, gracias a que se produce el fenómeno de difusión entre metales con un grado de unión aceptable.
- 3.- Los resultados de las pruebas a tensión y los análisis metalográficos muestran la calidad de las uniones bajo las mismas condiciones de soldabilidad.
- 4.- Cuando la superficie del metal que se va a soldar está sucia y oxidada, presenta una resistencia eléctrica mayor que cuando se encuentra limpia, y cuando el material a soldar se encuentra limpio la mayor resistencia eléctrica que encuentra la corriente está en las superficies intergranulares.

- 5.- La causa de las grietas y porosidades provienen de la existencia de óxido ya que éste reacciona con impurezas contenidas en el material.
- 6.- Tanto los resultados metalográficos como mecánicos se puede deducir que la mejor soldadura fue aquella en la que existió una acción combinada de fusión y difusión entre el metal base y el metal de aportación.

RECOMENDACIONES

Referente al método en sí de soldadura, para lograr una mejor penetración del material de aporte podemos comentar y aconsejar lo siguiente:

- 1) Si se inclina ligeramente la pieza de trabajo y se aplica la soldadura hacia abajo, en el sentido y dirección de la inclinación entonces disminuye la penetración, debido a que el material de aporte no fluye hacia adentro directamente, sino que corre superficialmente, en tanto que si se aplica hacia arriba se logra con seguridad una penetración profunda.
- 2) Usando una velocidad lenta de recorrido y manteniendo la corriente el arco dirigida sobre el metal depositado puede controlarse al máximo la penetración. No se quiere decir que la máxima penetración sino simplemente control óptimo para así lograr la penetración esperada.
- 3) Utilizar una separación mínima de 2 a 3 milímetros entre las piezas a soldar para lograr una penetración completa y satisfactoria, ésta es una de las razones por las que los gases pueden o no quedar atrapados en el interior del material aplicado como aporte.

ANEXO 1

HOJAS DE DATOS TÉCNICOS

TABLA A1.1 REPORTE DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>01</u>	
Proceso de Soldadura : <u>TIG. Arco con electrodo de tungsteno</u>	
Tipo : <u>Manual</u>	
Diseño de la Unión : <u>Ranura doble en doble V.</u>	
Material Base 1: <u>Zinalco</u>	
Material Base 2: <u>Zinalco</u>	
Material de Aporte : <u>Zinalco</u>	
METAL BASE Propiedades Físicas : <u>Módulo Elástico: 400 MPa (prom.), dúctil,</u> <u>Densidad=5.4 g/c.c., Temp.F:421 a 481 °C, Coef.Exp.Térm= 25 m/mm K</u> Rango de Espesor del Metal Base : <u>22.22 mm</u> Ranura : <u>3.2 mm</u> Otros : <u>Color Blanco Grisáceo</u>	
METAL DE APORTE Proceso de Soldadura : <u>TIG</u> Díam. del Metal de aporte : <u>5 mm</u> Espesor de Metal de Soldadura Depositado : <u>22 mm</u>	POSICIONES Posición de la Ranura : <u>Horizontal</u> Progresión de Soldadura : Ascendente : () Descendente: (X)
PRECALENTAMIENTO Precalentamiento Min. : <u>Sin</u> Max. Interpasos : <u>Sin</u> Mantenimiento del Precalentamiento : <u>Sin</u>	TRAT. TERMICO POSTSOLD. Rango de Temperatura : <u>Sin</u> Rango de Tiempo : <u>Sin</u> Otros : <u>Sin</u>
GAS Gas(es) de Protección : <u>50% Ar - 50% He</u> Composición de la Mezcla : <u>Argón - Helio</u> Rango del flujo : <u>0.5 - 0.8 m3/hr</u> Gas de Respaldo : <u>Sin</u> Composición del Gas de Respaldo y Arrastre : <u>Sin</u>	

TABLA A1.1 (Continuación). REPORTE DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>01</u>							
CARACTERISTICAS ELECTRICAS							
Corriente : <u>Continua</u> Polaridad : <u>Directa</u>							
Amperaje (Rango): <u>240 - 280 amp</u> Voltaje (Rango): <u>10 - 15 V</u>							
Diám. del Electrodo de Tungsteno : <u>3.97 mm</u> Tipo : <u>Bola</u>							
Modo de Transferencia de Metal : <u>Manual</u>							
TECNICA							
Cordón Recto u Oscilado : <u>Cordón Recto</u>							
Tamaño del Orificio o Copa de Gas : <u>22 mm</u>							
Limpieza Inicial o interpasos : <u>Esmerilado y Cepillado</u> <u>Lijado con diferentes grados</u>							
Otros : <u>Las superficies a soldar deben estar libres de óxidos</u> <u>aceite, escamas y grasa, en una distancia al menos de 12.7 mm</u> <u>de la preparación para soldar.</u>							
Capa de Sold.	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Volts (Rango)	Vel. de Avance mm/min.
		Clase	Diám.	Tipo y Polaridad	AMP. (Rango)		
Raíz	TIG	Zinalco	5 mm	CD (+)	100-120	10-15	5 cm/min

TABLA A1.1 REPORTES DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>02</u>	
Proceso de Soldadura : <u>TIG. Arco con electrodo de tungsteno</u>	
Tipo : <u>Manual</u>	
Diseño de la Unión : <u>Ranura doble</u> <u>en doble V.</u> Material Base 1: <u>Zinalco</u> Material Base 2: <u>Zinalco</u> Material de Aporte : <u>Aluminio</u>	
METAL BASE Propiedades Físicas : <u>Módulo Elástico: 400 MPa (prom.), dúctil,</u> <u>Densidad=5.4 g/c.c., Temp.F:421 a 481 °C, Coef.Exp.Térm= 25 m/mm K</u> Rango de Espesor del Metal Base : <u>22.22 mm</u> Ranura : <u>3.2 mm</u> Otros : <u>Color Blanco Grisáceo</u>	
METAL DE APORTE Proceso de Soldadura : <u>TIG</u> Dím. del Metal de aporte : <u>5 mm</u> Espesor de Metal de Soldadura Depositado : <u>20 mm</u>	POSICIONES Posición de la Ranura : <u>Horizontal</u> Progresión de Soldadura : Ascendente: () Descendente: (X)
PRECALENTAMIENTO Precalentamiento Min. : <u>Sin</u> Max. Interpasos : <u>Sin</u> Mantenimiento del Precalentamiento : <u>Sin</u>	TRAT. TERMICO POSTSOLD. Rango de Temperatura : <u>Sin</u> Rango de Tiempo : <u>Sin</u> Otros : <u>Sin</u>
GAS Gas(es) de Protección : <u>50% Ar - 50% He</u> Composición de la Mezcla : <u>Argón - Helio</u> Rango del flujo : <u>0.5 - 0.8 m3/hr</u> Gas de Respaldo : <u>Sin</u> Composición del Gas de Respaldo y Arrastre : <u>Sin</u>	

TABLA A1.1 (Continuación). REPORTE DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>02</u>							
CARACTERISTICAS ELECTRICAS							
Corriente : <u>Continua</u> Polaridad : <u>Directa</u>							
Amperaje (Rango): <u>240 - 280 amp</u> Voltaje (Rango): <u>10 - 15 V</u>							
Diám. del Electrodo de Tungsteno : <u>3.97 mm</u> Tipo : <u>Bola</u>							
Modo de Transferencia de Metal : <u>Manual</u>							
TECNICA							
Cordón Recto u Oscilado : <u>Cordón Recto</u>							
Tamaño del Orificio o Copa de Gas : <u>20 mm</u>							
Limpieza Inicial o interpasos : <u>Esmerilado y Cepillado</u> <u>Lijado con diferentes grados</u>							
Otros : <u>Las superficies a soldar deben estar libres de óxidos</u> <u>aceite, escamas y grasa, en una distancia al menos de 12.7 mm</u> <u>de la preparación para soldar.</u>							
Capa de Sold.	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Volts (Rango)	Vel. de Avance mm/min.
		Clase	Diám.	Tipo y Polaridad	AMP. (Rango)		
Raíz	TIG	Zinalco	5 mm	CD (+)	100-120	10-15	5 cm/min

TABLA A1.1 REPORTE DE SOLDADURA.

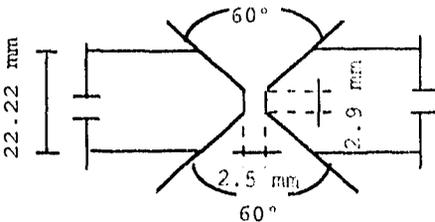
Muestra N° : <u>03</u>	
Proceso de Soldadura : <u>TIG. Arco con electrodo de tungsteno</u> Tipo : <u>Manual</u>	
Diseño de la Unión : <u>Ranura doble</u> <u>en doble V.</u> Material Base 1: <u>Zinalco</u> Material Base 2: <u>Zinalco</u> Material de Aporte : <u>Zinalco</u>	
	
METAL BASE Propiedades Físicas : <u>Módulo Elástico: 400 MPa (prom.), dúctil,</u> <u>Densidad=5.4 g/c.c., Temp.F:421 a 481 °C, Coef.Exp.Térm= 25 m/mm K</u> Rango de Espesor del Metal Base : <u>22.22 mm</u> Ranura : <u>2.5 mm</u> Otros : <u>Color Blanco Grisáceo</u>	
METAL DE APORTE Proceso de Soldadura : <u>TIG</u> Dím. del Metal de aporte : <u>5 mm</u> Espesor de Metal de Soldadura Depositado : <u>22 mm</u>	POSICIONES Posición de la Ranura : <u>Horizontal</u> Progresión de Soldadura : Ascendente: () Descendente: (X)
PRECALENTAMIENTO Precalentamiento Min. : <u>Sin</u> Max. Interpasos : <u>Sin</u> Mantenimiento del Precalentamiento : <u>Sin</u>	TRAT. TERMICO POSTSOLD. Rango de Temperatura : <u>Sin</u> Rango de Tiempo : <u>Sin</u> Otros : <u>Sin</u>
GAS Gas(es) de Protección : <u>50% Ar - 50% He</u> Composición de la Mezcla : <u>Argón - Helio</u> Rango del flujo : <u>0.5 - 0.8 m3/hr</u> Gas de Respaldo : <u>Sin</u> Composición del Gas de Respaldo y Arrastre : <u>Sin</u>	

TABLA A1.1 (Continuación). REPORTES DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>03</u>							
<p>CARACTERISTICAS ELECTRICAS</p> <p>Corriente : <u>Continua</u> Polaridad : <u>Directa</u></p> <p>Amperaje (Rango) : <u>240 - 280 amp</u> Voltaje (Rango) : <u>10 - 15 V</u></p> <p>Diám. del Electrodo de Tungsteno : <u>3.97 mm</u> Tipo : <u>Bola</u></p> <p>Modo de Transferencia de Metal : <u>Manual</u></p>							
<p>TECNICA</p> <p>Cordón Recto u Oscilado : <u>Cordón Recto</u></p> <p>Tamaño del Orificio o Copa de Gas : <u>23 mm</u></p> <p>Limpieza Inicial o interpasos : <u>Esmerilado y Cepillado</u> <u>Lijado con diferentes grados</u></p> <p>Otros : <u>Las superficies a soldar deben estar libres de óxidos</u> <u>aceite, escamas y grasa, en una distancia al menos de 12.7 mm</u> <u>de la preparación para soldar.</u></p>							
Capa de Sold.	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Volts (Rango)	Vel. de Avance mm/min.
		Clase	Diám.	Tipo y Polaridad	AMP. (Rango)		
Raíz	TIG	Zinalco	5 mm	CD (+)	100-120	10-15	10 cm/min

TABLA A1.1 REPORTES DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>04</u>	
Proceso de Soldadura : <u>TIG. Arco con electrodo de tungsteno</u> Tipo : <u>Manual</u>	
Diseño de la Unión : <u>Ranura doble</u> <u>en doble V.</u> Material Base 1: <u>Zinalco</u> Material Base 2: <u>Zinalco</u> Material de Aporte : <u>Aluminio</u>	
METAL BASE Propiedades Físicas : <u>Módulo Elástico: 400 MPa (prom.), dúctil,</u> <u>Densidad=5.4 g/c.c., Temp.F:421 a 481 °C, Coef.Exp.Térm= 25 m/mm K</u> Rango de Espesor del Metal Base : <u>22.22 mm</u> Ranura : <u>3.2 mm</u> Otros : <u>Color Blanco Grisáceo</u>	
METAL DE APORTE Proceso de Soldadura : <u>TIG</u> Díam. del Metal de aporte : <u>5 mm</u> Espesor de Metal de Soldadura Depositado : <u>21 mm</u>	POSICIONES Posición de la Ranura : <u>Horizontal</u> Progresión de Soldadura : Ascendente : () Descendente : (X)
PRECALENTAMIENTO Precalentamiento Min. : <u>Sin</u> Max. Interpasos : <u>Sin</u> Mantenimiento del Precalentamiento : <u>Sin</u>	TRAT. TERMICO POSTSOLD. Rango de Temperatura : <u>Sin</u> Rango de Tiempo : <u>Sin</u> Otros : <u>Sin</u>
GAS Gas(es) de Protección : <u>50% Ar - 50% He</u> Composición de la Mezcla : <u>Argón - Helio</u> Rango del flujo : <u>0.5 - 0.8 m3/hr</u> Gas de Respaldo : <u>Sin</u> Composición del Gas de Respaldo y Arrastre : <u>Sin</u>	

TABLA A1.1 (Continuación). REPORTES DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>04</u>							
CARACTERISTICAS ELECTRICAS							
Corriente : <u>Continua</u> Polaridad : <u>Directa</u>							
Amperaje (Rango): <u>240 - 280 amp</u> Voltaje (Rango): <u>10 - 15 V</u>							
Diám. del Electrodo de Tungsteno : <u>3.97 mm</u> Tipo : <u>Bola</u>							
Modo de Transferencia de Metal : <u>Manual</u>							
TECNICA							
Cordón Recto u Oscilado : <u>Cordón Recto</u>							
Tamaño del Orificio o Copa de Gas : <u>21 mm</u>							
Limpieza Inicial o interpasos : <u>Esmerilado y Cepillado</u> <u>Lijado con diferentes grados</u>							
Otros : <u>Las superficies a soldar deben estar libres de óxidos</u> <u>aceite, escamas y grasa, en una distancia al menos de 12.7 mm</u> <u>de la preparación para soldar.</u>							
Capa de Sold.	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Volts (Rango)	Vel. de Avance mm/min.
		Clase	Diám.	Tipo y Polaridad	AMP. (Rango)		
Raíz	TIG	Zinalco	5 mm	CD (+)	100-120	10-15	10 cm/min

TABLA A1.1 REPORTES DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>05</u>	
Proceso de Soldadura : <u>TIG. Arco con electrodo de tungsteno</u>	
Tipo : <u>Manual</u>	
Diseño de la Unión : <u>Ranura doble</u> <u>en doble V.</u> Material Base 1: <u>Zinalco</u> Material Base 2: <u>Zinalco</u> Material de Aporte : <u>Aluminio</u>	
METAL BASE Propiedades Físicas : <u>Módulo Elástico: 400 MPa (prom.), dúctil,</u> <u>Densidad=5.4 g/c.c., Temp.F:421 a 481 °C, Coef.Exp.Térm= 25 m/mm K</u> Rango de Espesor del Metal Base : <u>22.22 mm</u> Ranura : <u>3.0 mm</u> Otros : <u>Color Blanco Grisáceo</u>	
METAL DE APORTE Proceso de Soldadura : <u>TIG</u> Dím. del Metal de aporte : <u>5 mm</u> Espesor de Metal de Soldadura Depositado : <u>22 mm</u>	POSICIONES Posición de la Ranura : <u>Horizontal</u> Progresión de Soldadura : Ascendente : () Descendente : (X)
PRECALENTAMIENTO Pre calentamiento Min. : <u>Sin</u> Max. Interpasos : <u>Sin</u> Mantenimiento del Pre calentamiento : <u>Sin</u>	TRAT. TERMICO POSTSOLD. Rango de Temperatura : <u>Sin</u> Rango de Tiempo : <u>Sin</u> Otros : <u>Sin</u>
GAS Gas(es) de Protección : <u>50% Ar - 50% He</u> Composición de la Mezcla : <u>Argón - Helio</u> Rango del flujo : <u>0.5 - 0.8 m3/hr</u> Gas de Respaldo : <u>Sin</u> Composición del Gas de Respaldo y Arrastre : <u>Sin</u>	

TABLA A1.1 (Continuación). REPORTES DE SOLDADURA.

Muestra N° : <u>05</u>							
CARACTERISTICAS ELECTRICAS							
Corriente : <u>Continua</u> Polaridad : <u>Directa</u>							
Amperaje (Rango) : <u>240 - 280 amp</u> Voltaje (Rango) : <u>10 - 15 V</u>							
Diám. del Electrodo de Tungsteno : <u>3.97 mm</u> Tipo : <u>Bola</u>							
Modo de Transferencia de Metal : <u>Manual</u>							
TECNICA							
Cordón Recto u Oscilado : <u>Cordón Recto</u>							
Tamaño del Orificio o Copa de Gas : <u>22 mm</u>							
Limpieza Inicial o interpasos : <u>Esmerilado y Cepillado</u> <u>Lijado con diferentes grados</u>							
Otros : <u>Las superficies a soldar deben estar libres de óxidos</u> <u>aceite, escamas y grasa, en una distancia al menos de 12.7 mm</u> <u>de la preparación para soldar.</u>							
Capa de Sold.	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Volts (Rango)	Vel. de Avance mm/min.
		Clase	Diám.	Tipo y Polaridad	AMP. (Rango)		
Raíz	TIG	Zinalco	5 mm	CD (+)	100-120	10-15	10 cm/min

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas:

- 1) Avner H. S.: Introducción a la Metalurgia Física, 2a. ed., McGraw Hill/Interamericana de México, S.A., México, 1992.
- 2) Van Vlack H. L.: Materiales para Ingeniería, Cia. Editorial, S.A., México, 1985.
- 3) Shigley E. J./ Mischke R. C.: Diseño en Ingeniería Mecánica, 4a. ed., McGraw Hill/Interamericana de México, S.A., México, 1990.
- 4) Beer P. F./ Johnston, Jr. R.E.: Mecánica de Materiales, McGraw Hill/Interamericana de México, S.A., México, 1990.
- 5) Dawes L. C.: Tratado de Electricidad, Tomo Segundo, Corriente Alterna, 11a. ed., Ediciones G. Gili, S.A. de C.V., México, 1986.
- 6) Valkenburgh V., Nooger & Neville, INC.: Electricidad Básica, 7a. ed., S.A. Editorial Bell, Buenos Aires, 1971.
- 7) SAE Metals Hand Book
- 8) De Buen O.: Nociones de Metalurgia de la Soldadura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 9) Fluor Daniel, Inc., Programa de Entrenamiento Básico para Mantenimiento, Módulo de Capacitación Principios de Soldadura, Greenville, 1993.
- 10) Fluor Daniel, Inc., Programa de Entrenamiento Básico para Mantenimiento, Módulo de Capacitación Soldadura de Arco de Metal Protegido, Greenville, 1993.
- 11) Manz, A.F., Welding Power Hand Book, Union Carbide Corporation, New York.
- 12) Boletines Técnicos Infra, México, 1992.