

11161



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

EFFECTOS DE LOS ELEMENTOS ALEANTES DE FUNDENTES
BÁSICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y
MICROESTRUCTURA DE UN ACERO A-36,
SOLDADO POR ARCO SUMERGIDO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

M E T A L - M E C Á N I C A

P R E S E N T A :

ROLANDO CORTES MONTES DE OCA

DIRECTOR: M.I. ANA MARÍA PANIAGUA MERCADO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
COORDINACIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARTA DE VOTOS APROBATORIOS

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO
Coordinación General de Estudios de Posgrado
FES-Cuautitlán
Presente.

Por medio de este conducto nos permitimos comunicar a usted que revisamos la tesis titulada "EFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEANTES DE FUNDENTES BÁSICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURA DE UN ACERO A-36, SOLDADO POR ARCO SUMERGIDO" que presenta el alumno CORTES MONTES DE OCA ROLANDO con número de cuenta 97805366 y número de expediente 100971033 para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Metal-Mecánica). Consideramos que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen de Grado correspondiente, otorgamos el voto aprobatorio.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

_____ a _____ de _____ del _____

NOMBRE DE LOS SINODALES

Presidente: M. en I. MARCO ANTONIO ALARCÓN RAMÍREZ

Vocal: M. en I. TOMÁS RANGEL ORTIZ

Secretario: M. en C. RAÚL DEL ÁNGEL LUCIDO DE LA PARRA

Primer Suplente: M. en I. MARIO RODRÍGUEZ CASTILLO

Segundo Suplente: M. en I. ANA MA. PANIAGUA MERCADO

Gracias.

A Dios:

Por permitirme alcanzar una meta mas en mi vida.

A mi Familia:

Mi esposa Lilia y mis hijos Lilia Lizbeth y Rolando Daniel.

Por siempre estar conmigo y ser una motivación para cada logro en mi vida, y ser pacientes a pesar de que en muchas ocasiones nos ha tocado

estar lejos físicamente, pero muy cerca en mi corazón.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

CENTRO DE ASIMILACIÓN TECNOLÓGICA (C.A.T.)

MAESTRIA EN: INGENIERIA METALMECÁNICA

TESIS:

**EFFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEANTES DE FUNDENTES
BÁSICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y
MICROESTRUCTURA DE UN ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36
SOLDADO POR ARCO SUMERGIDO.**

ALUMNO: ROLANDO CORTES MONTES DE OCA

ASESOR: M.I. ANA MARIA PANIAGUA MERCADO

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
---------------------	----------

CAPITULO 1

1 El proceso de Arco Sumergido	4
--------------------------------	---

CAPITULO 2

2 Experimentación	8
2.1 Material utilizado	8
2.1.1 Placas de acero estructural ASTM A-36 (1027)	8
2.1.2 Fundentes	9
2.2 Preparación de las Placas para Soldadura mediante el Proceso de Arco Sumergido	10
2.3 Condiciones Para Soldar y equipo de proceso de arco sumergido	10
2.4 Proceso de Maquinado de Probetas	12
2.4.1 Fabricación de Probetas redondas para Pruebas de Tensión	12
2.4.2 Fabricación de Probetas rectangulares para Pruebas de Tensión	13
2.4.3 Fabricación de Probetas para Pruebas de Impacto	13
2.4.4 Fabricación de Probetas para Pruebas de Dureza	13
2.5 Pruebas Mecánicas	14
2.5.1 Pruebas de Tensión de placas y soldadura	14
2.5.2 Pruebas de Impacto	15
2.5.3 Pruebas de Dureza	16

2.5.4 Pruebas Metalograficas	17
2.5.4.1 Preparación de las Probetas	17

CAPITULO 3

3 Resultados	20
3.1 Resultados de Pruebas Mecánicas	21
3.1.1. Resultados de Pruebas de Tensión	21
3.1.1.1 Resultados de Pruebas de Tensión de probetas rectangulares	21
3.1.1.2 Resultados de Pruebas de Tensión de probetas cilíndricas	23
3.1.1.3 Resultados de deformaciones promedios en probetas rectangulares	24
3.1.1.4 Diagramas esfuerzo-deformación en probetas rectangulares	25
3.1.1.5 Diagramas esfuerzo-deformación en probetas cilíndricas	27
3.1.2 Resultados de Pruebas de Impacto	29
3.1.3 Resultados de Pruebas de dureza	31
3.2.0 Resultados de Prueba Metalograficas	34
3.2.1 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el fundente AS-200X atacado con Nital	34
3.2.2 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el fundente AS-200 B3 atacado con Nital	35
3.2.3 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el fundente AS-502 atacado con Nital	36
3.2.4 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el fundente AS-200X atacado con Ácido Tartárico	37
3.2.5 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el fundente AS-200 B3 atacado con Ácido Tartárico	38

3.2.6 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS-502 atacado con Ácido Tartárico	39
3.2.7 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS-200X atacado con Solución A y Solución B	40
3.2.8 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS-200 B3 atacado con Solución A y Solución B	41
3.2.9 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS-502 atacado con Solución A y Solución B	42

CAPITULO 4

4.1 Análisis de Resultados	43
4.1.1. Análisis de Resultados de Prueba metalográficas	44
4.2. Análisis de resultados de pruebas de tensión	45
4.2.1. Análisis de resultados de pruebas de tensión	45
4.2.1.1. Análisis de resultados de pruebas de tensión a probetas rectangulares	45
4.2.1.2. Análisis de resultados de pruebas de tensión a probetas cilíndricas.	46
4.2.1.3. Grafica de fundentes con % ferrita en (ZAC).	47
4.2.1.4. Grafica de fundentes con % de perlita en (ZAC)	48
4.2.1.5. Grafica de fundentes con % ferrita (soldadura)	49
4.2.1.6. Grafica de fundentes con % de perlita (soldadura)	50
4.2.1.7. Grafica de fundentes con % de inclusiones (ZAC)	51
4.2.1.8 Grafica de fundentes con % de inclusiones (soldadura)	52
4.2.2. Análisis de Resultados de Prueba de Impacto	53
4.2.3. Análisis de Resultados de Prueba de dureza	53

4.2.4. Soldadura del fundente AS-200X	54
4.2.5. Análisis de propiedades mecánicas de probetas rectangulares	54
4.2.6. Análisis de resistencia al impacto	55
4.2.7. Análisis de la dureza	56
4.2.8. Análisis de propiedades mecánicas de probetas cilíndricas	57
4.2.9. Ataque con Nital	57
4.2.10. Ataque con ácido tartárico	59
4.2.11. Ataque con Solución A Solución B	60
4.2.12. Análisis de la soldadura de los fundentes AS-200B3 y AS-502	61

CAPITULO 5

5.1. Conclusiones	62
5.2. Bibliografía	63

INTRODUCCIÓN

La soldadura de arco sumergido es un proceso semiautomático o automático. Se emplean uno o dos electrodos metálicos desnudos, y el arco se protege mediante una cubierta, de suministro independiente, de un fundente granular fusible. No hay evidencia visible del arco en este método. El arco, el electrodo fundido y el posillo fundido de soldadura están completamente sumergidas en el fundente conductor de alta resistencia.(13)

Variando la composición química del fundente puede soldarse una variedad de metales y aleaciones en diversos tipos de puntas. Sin embargo, la soldadura de arco sumergido es primordialmente un proceso de producción que se emplea para soldaduras en línea recta, especialmente en la formación de marcos para cajas.(13)

El efecto de los fundentes en las soldaduras por arco sumergido, juegan un papel muy importante en la actualidad, ya que se ha determinado que son los responsables de la tenacidad y microestructura de las soldaduras realizadas.

Estas dos propiedades desarrolladas en el metal soldado han sido atribuidas a la adición de elementos desoxidantes en los fundentes, tales como Ti, V, B, Cr Mo que tienden a ser refinadores del grano y además a formar inclusiones de una determinada composición que originan en ellas la formación y crecimiento de microestructuras benéficas, como es la ferrita acicular, principalmente.

En esta investigación se utilizarán fundentes que contienen algunos de los elementos mencionados, como son Cr, Mo, por lo que se les llama "fundentes activos" y se va estudiar el efecto de dichos fundentes en la soldadura de un acero estructural ASTM-A36, que es simplemente un acero al carbón, sin aleantes.

Estos fundentes activos, son también denominados “básicos”, lo cual es debido a su índice de basicidad, determinado según la ecuación de Boniszewski (1).

Los principales capítulos de esta investigación, comprenden:

- a) Una parte teórica, en donde se describe el proceso de arco sumergido y la importancia del índice de basicidad y el número de neutralidad de los fundentes, sobre las propiedades mecánicas.
- b) La parte experimental consiste en la descripción del material que se va a utilizar, así como la preparación y condiciones en las cuales va a ser el metal soldado.
La extracción de las probetas y la determinación de las condiciones y tipos de prueba de las soldaduras realizadas, el análisis por diferentes métodos, como son pruebas de tensión, impacto, dureza y ataque metalográfico con diferentes reactivos para determinar las microestructuras obtenidas, así como la cantidad de inclusiones formadas en cada una.
- c) La explicación de resultados se realiza en el capítulo 3 para cada una de las pruebas realizadas experimentalmente, aquí se determina el efecto del Cr y el Mo en las soldaduras y se observan los efectos sobre sus propiedades mecánicas.
- d) El capítulo 4 consta de el análisis de resultados, de las soldaduras y la explicación de los efectos observados en el capítulo 3.
- e) Por último el capítulo 5, son las conclusiones del presente trabajo de Investigación.

En el presente trabajo de investigación se determinarán los efectos en los elementos aleantes de fundentes básicos, en las propiedades mecánicas y en la micro estructura de un acero estructural ASTM-A36 en el proceso de arco sumergido.

CAPITULO 1

EL PROCESO DE ARCO SUMERGIDO

El proceso de arco sumergido es un proceso automático, desarrollado y patentado por la Unión Soviética en 1930, en este proceso se emplean uno o varios electrodos metálicos (alambre desnudo), el arco se protege, mediante un fundente granular fusible, que se suministra en forma independiente, no hay evidencia visible del arco eléctrico en este proceso. El arco, el electrodo, y la zona de fusión de la soldadura están completamente sumergidos en el fundente. Un cabezal para soldadura de diseño especial, alimenta el electrodo continuo y el fundente en forma separada (1).

Variando la composición química del fundente pueden soldarse una variedad de aleaciones en diversos tipos de biseles. La soldadura de arco sumergido es primordialmente un proceso de producción que se emplea para efectuar soldaduras en placa gruesa, sin embargo también se aplica en la reparación de piezas específicas de la industria pesada en general (1).

Los fundentes para arco sumergido tienen un papel muy importante en la soldadura, los fundentes deben proteger el depósito contra los gases de la atmósfera, limpiar las impurezas del metal base, modificar la composición de la soldadura y dar una buena apariencia a la superficie del depósito, además se debe desprender fácilmente la escoria, después de la soldadura (1).

Se llama estructura de los metales a la disposición ordenada y geométrica, en el espacio, de los constituyentes de la materia en estado sólido (átomos, moléculas y grupos de moléculas). La estructura está íntimamente ligada con el comportamiento de un metal. Hay que considerar dos tipos de estructura: la cristalina y la granular (1).

En la estructura cristalina, los átomos están ordenados en el espacio según una red geométrica, constituida por repetición de un elemento básico llamado cristal (2)

En la estructura granular, el elemento fundamental es el grano, constituido por agrupación de cristales. El tamaño de grano tienen gran importancia en las propiedades mecánicas de los metales. Los granos son de forma irregular y su tamaño oscila entre 0.02 y 0.2 mm, lo cual depende, principalmente de:

- a) Del proceso de fabricación del metal.
- b) De los procesos térmicos a que se haya sometido el metal.

A mayor temperatura, mayor es el tamaño de grano de que está constituido el metal, y disminuyen, sus propiedades mecánicas en general y que también son influenciadas. Esto es debido a que los metales por el interés técnico contienen siempre cierta cantidad de impurezas insolubles formadas por óxidos, sulfuros, silicatos, etc. Estas impurezas se concentran en los límites de grano formando verdaderas capas que envuelven los granos y los separan unos de otros. Para una misma proporción de impurezas, resultan capas más delgadas cuanto más pequeños son los granos, ya que su superficie total es mayor que si los granos son grandes. Además si las capas son muy delgadas, en general son discontinuas, quedando los granos bien unidos por las discontinuidades.

Por fabricación existen dos tipos de fundentes para el proceso de arco sumergido:

- 1.- Fundente Fundido
- 2.- Fundente Aglomerado

El fundente fundido se fabrica de una mezcla de minerales que se funden en un horno eléctrico a una temperatura de 1200°C . Esta fundición se vacía formando granos sin una forma definida y su aspecto es de vidrio molido.

Los fundentes aglomerados se fabrican también de una mezcla de minerales y ferroaleaciones que se aglomeran en elevadas temperaturas de 800°C, pero

debajo de su punto de fusión. Por esta razón todavía tienen poder de acción durante el proceso de soldadura. (1)

Tipos de Fundentes según basicidad Boniszewski pueden ser : ácido semi-básico básico y

$$I.B. = \frac{CaO + CaF_2 + MgO + BaO + K_2O + Na_2O + 0.5(MnO + FeO)}{SiO_2 + 0.5(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)}$$

<1 = **ÁCIDO**

> 1 y < 1.5 = **SEMI-BASICO**

> 1.5 = **BASICO**

Tipos de Fundentes Según Neutralidad:

De acuerdo a la norma AWS se clasifican los fundentes como: activos o neutros. Según el contenido de silicio y manganeso que aportan al depósito de soldadura, esto es aplicable únicamente a los aceros al carbón y no aplica en aceros aleados. La neutralidad es importante para este trabajo de investigación ya que este determina si el fundente es neutro o activo, si es neutro la probeta va a tener mayor resistencia al impacto y si es activo tendrá una menor resistencia al impacto. (1)

El número de Neutralidad (N) sirve para medir la neutralidad de un fundente para el proceso de arco-sumergido en aceros al carbono y de baja aleación.

El "N" se relaciona únicamente a los valores de Manganeso y silicio, porque se ha sabido durante años que la tenacidad (Resistencia al Impacto) se limita con el uso de los fundentes ácidos debido a que los fundentes de elevado contenido de silicio tienden a introducir oxígeno al metal soldado. (1)

En los depósitos de varios cordones el efecto de la dilución se traduce en un contenido progresivamente creciente de silicio en el metal aportado cuando el contenido en silicio supera el 0.6% tiene el riesgo de disminuir la tenacidad del

metal de aportación creciendo el riesgo de agrietamiento, por cuya razón se limita el uso de fundentes altos de silicio

La determinación del número de neutralidad se consigue de la siguiente forma:

Se realizan 2 depósitos de soldadura con los mismos parámetros, excepto un depósito con 8 volts más, se maquinan los depósitos y se analizan silicio y manganeso.

	Corriente Eléctrica	Velocidad	Voltaje
Deposito 1 :	500 amps	45 cm/min	28 volts.
Deposito 2 :	500 amps	45 cm/min	36 volts.

$$N = 100 \times (Si + Mn)$$

Menor que 35 = NEUTRO

Mayor que 35 = ACTIVO

CAPITULO 2

EXPERIMENTACIÓN

2.1 MATERIAL UTILIZADO

2.1.1 PLACAS DE ACERO ESTRUCTURAL 10-27 (9)

Dimensiones de las placas de acero estructural ASTM A-36

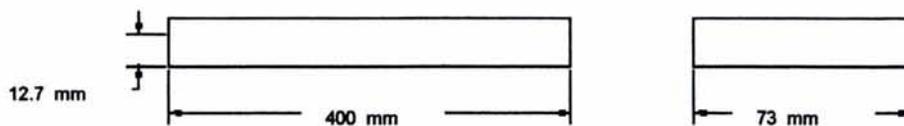


Figura No.1 Dimensiones de las Placas de Acero estructural ASTM A-36

Se maquinaron 6 placas con las dimensiones que se muestran en la figura No. 1 a las cuales se les hizo un bisel a lo largo de la placa, este es 60° con respecto a la horizontal, hecha con cepillo de codo de máquinas herramientas mostrada en la figura No.2.



Figura No.2 bisel de las placas.

2.1.2 FUNDENTES

En la investigación se usaron tres tipos de fundentes que son:

1.- Fundente AS 200x

Fundente aglomerado básico neutro para la soldadura de aceros estructurales.

2.- Fundente AS 200 B3

Fundente aglomerado básico activo para los aceros de grano fino.

3.- Fundente AS 502

Fundente aglomerado básico activo para los aceros de baja aleación.

% Elementos	AS 200X	AS 200 B3	AS 502
C %	0.10	0.07-0.10	0.07-0.10
Mn %	1.0-1.3	1.0 MAX	1.0 MAX.
Si %	0.4-0.6	0.6 MAX	0.45 MAX.
P %	0.025	0.025	
S %	0.025	0.025	
Cr %		2.1-2.3	4.9-5.2
Mo %		1.1	0.45-0.6

Tabla No. 1 Composición química de los fundentes

Los cuales se aplicaron al mismo material base y con un mismo electrodo EM13K

CLASIFICACION AWS	% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Cu
EM13K	0.06-0.16	0.90-1.40	0.35-0.75	0.030	0.030	0.35
PLACA A-36	0.26	1.0	0.6	0.030	0.030	0.20

Tabla No 2 Composición química del electrodo y acero A-36

2.2 PREPARACIÓN DE LAS PLACAS PARA SOLDADURA MEDIANTE EL PROCESO DE ARCO SUMERGIDO.

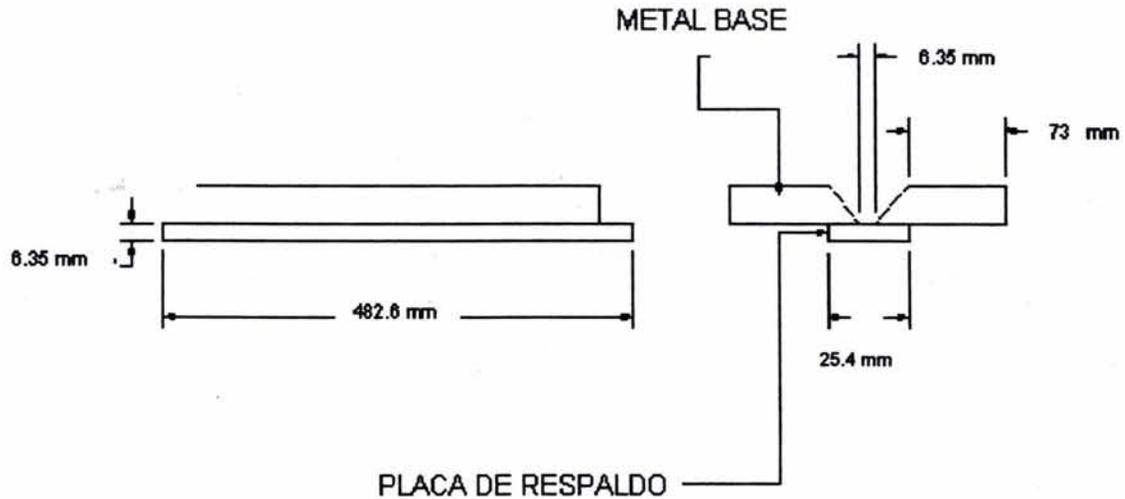


Figura No.3 Configuración de la junta Según Norma AWS 5.17

2.3 CONDICIONES PARA SOLDAR Y EQUIPO DE PROCESO DE ARCO SUMERGIDO

Proceso: Arco sumergido			Material base: Acero estructural ASTM A-36				
Tipo de proceso: Automático			Material de aporte: Alambre AWS EM12k Fundente: AS-200X, AS-200B3, AS-502				
Espesor del material (mm)	Preparación de juntas		Parámetros de soldadura				Calor inducido $\frac{(V)(A)(60)}{v}$ (KJ/cm)
	Tipo de junta	número de cordones	Tensión (v)	Amperaje (A)	Velocidad de la soldadura (cm/seg.)	Diámetro de alambre (mm)	
12	V	4	26	500	0.41	4	

Tabla No. 3 Condiciones para soldar

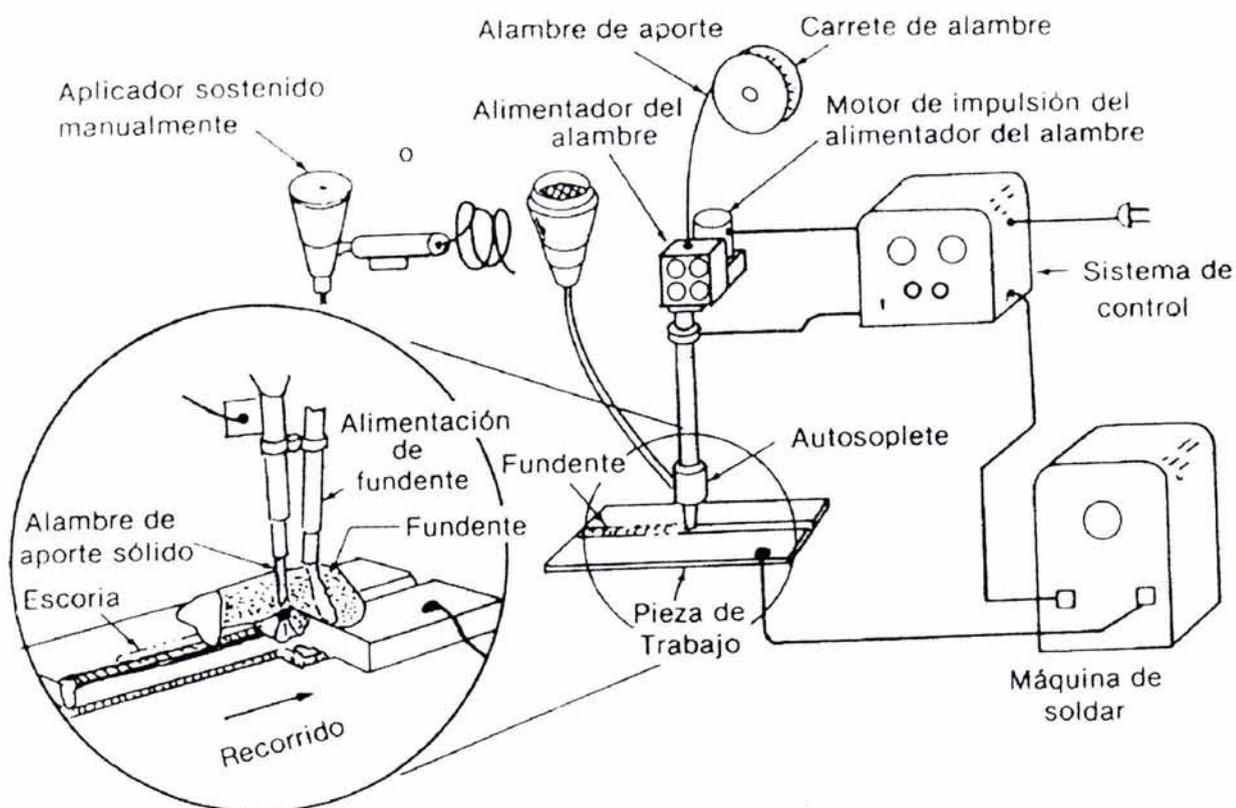


Figura No. 4 Partes de un sistema para soldadura de arco sumergido.(13)

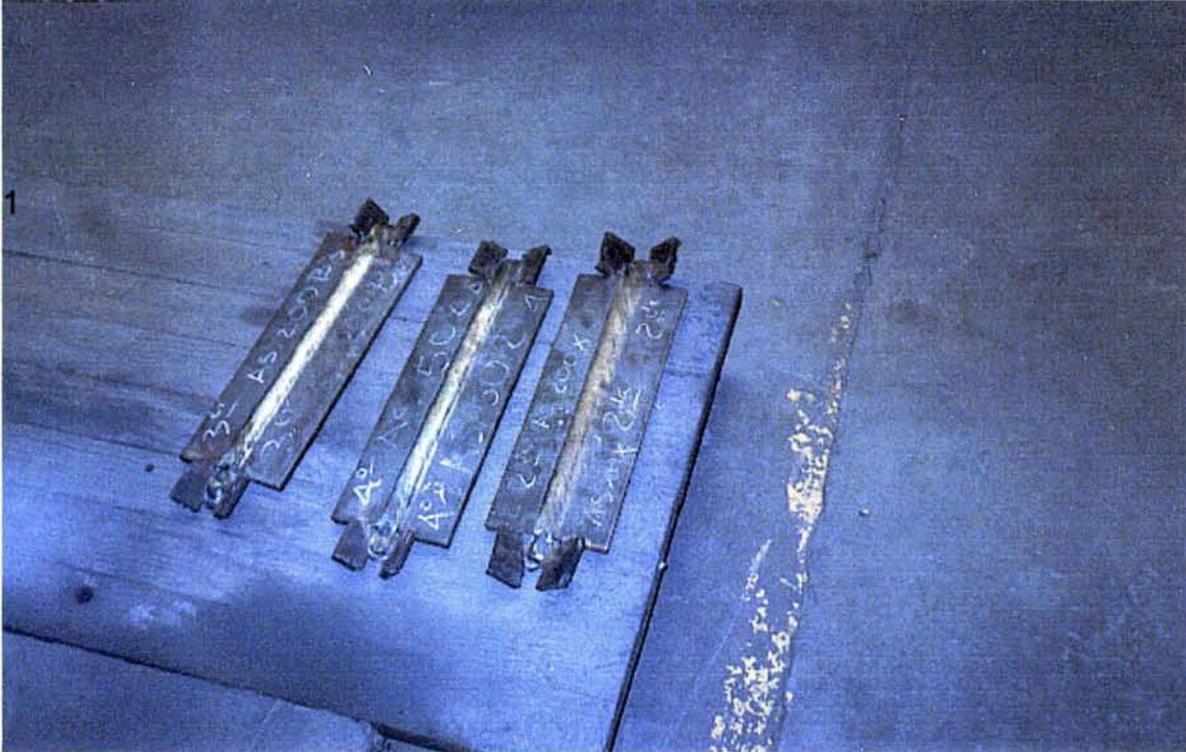


Figura No. 5 Placas Soldadas

Después de soldadas las placas, se procedió a maquinaslas, de las cuales se obtuvieron probetas para ensayos de tensión e Impacto, dureza y metalografía, de acuerdo a la norma internacional ASTM 370 AWS 5.17. Y así determinar sus propiedades mecánicas.

2.4 proceso de maquinado de probetas

2.4.1 Fabricación de Probetas de soldadura redondas para pruebas de Tensión

Para fabricar las probetas de tensión de metal depositado, se cortaron tres muestras, 1 de cada placa, placas soldadas de la figura 4, con las siguientes dimensiones:

70 mm de largo x 24 mm de diámetro las cuales se maquinaron en un torno. Marca: ROMI/520/S-20ª a una velocidad de:

2.4.2 Fabricación de Probetas rectangulares para pruebas de Tensión

Se cortaron 5 muestras de cada una de las placas soldadas, con las siguientes dimensiones:

largo de 110 mm x 9 mm de espesor x 11 mm de ancho, las cuales se maquinaron en una fresadora vertical Marca: DIMSA FTX-8.

2.4.3 Fabricación de las Probetas para pruebas de impacto

Se cortaron 3 muestras de cada una de las placas soldadas con las siguientes dimensiones.

60 mm de ancho x 80 mm de largo y por 14 de espesor, las cuales se maquinaron en una fresadora y en un cepillo de codo.

Marca del cepillo de codo: ZOCCA-450

2.4.4 Fabricación de Probetas para pruebas de Dureza.

Se cortaron 3 muestras de cada una de las placas de la figura 4, con las siguientes dimensiones :

80 mm de largo x 10 mm de espesor x 12 mm de ancho, las cuales se maquinaron en una fresadora vertical.

Marca: DIMSA FTX-8

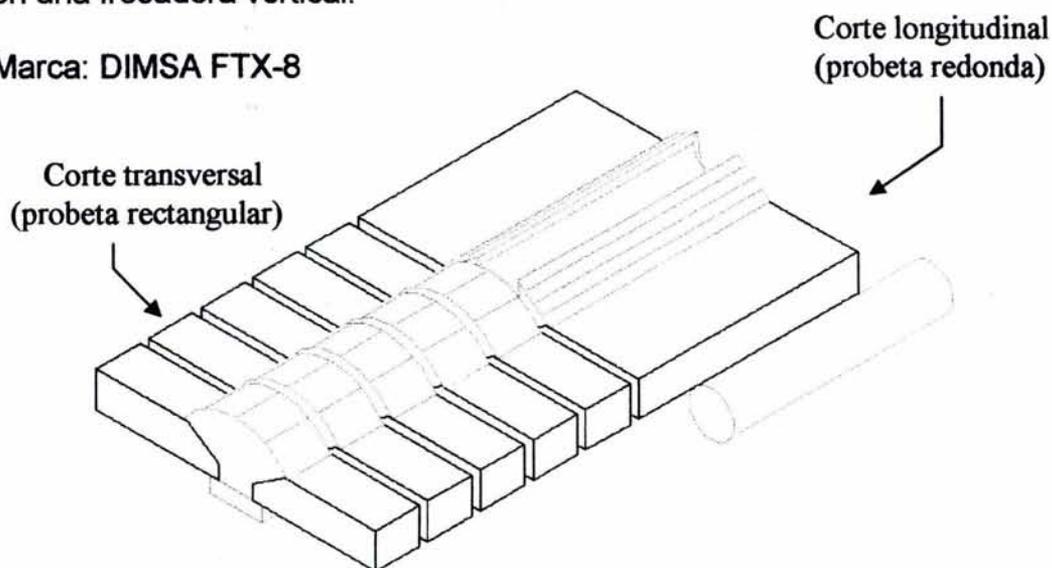


Figura No.6 Forma en que se cortaron las muestras para las probetas

2.5 PRUEBAS MECÁNICAS

2.5.1 PRUEBAS DE TENSIÓN DE PLACAS Y PROBETAS DE SOLDADURA

Se realizaran pruebas de tensión a las probetas de sección rectangular y de sección redonda.

A continuación se muestra en la figura No. 5 las dimensiones de las probetas de sección redonda según la norma AWS 5.17; una por cada soldadura.

Todas las piezas tuvieron las mismas dimensiones

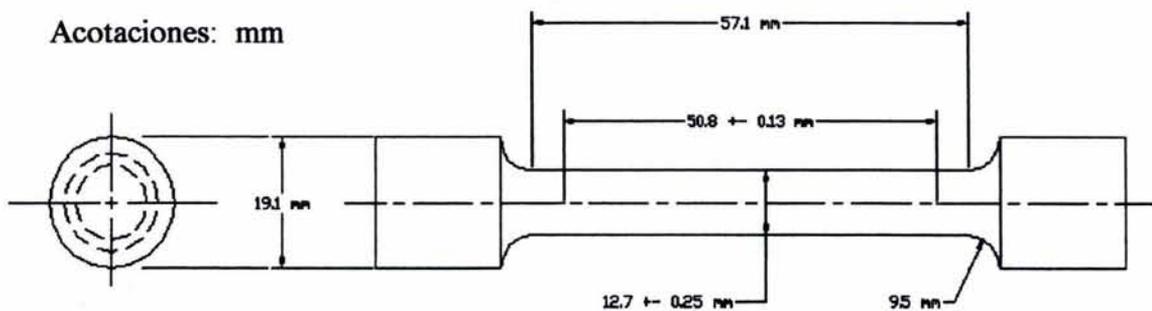


Figura No. 7 Dimensiones de la Probeta redonda de soldadura

En la figura No. 6 se muestra las dimensiones de la probeta de sección rectangular según la norma ASTM A-370 (5 piezas de cada soldadura).

Todas la probetas tuvieron las mismas dimensiones.

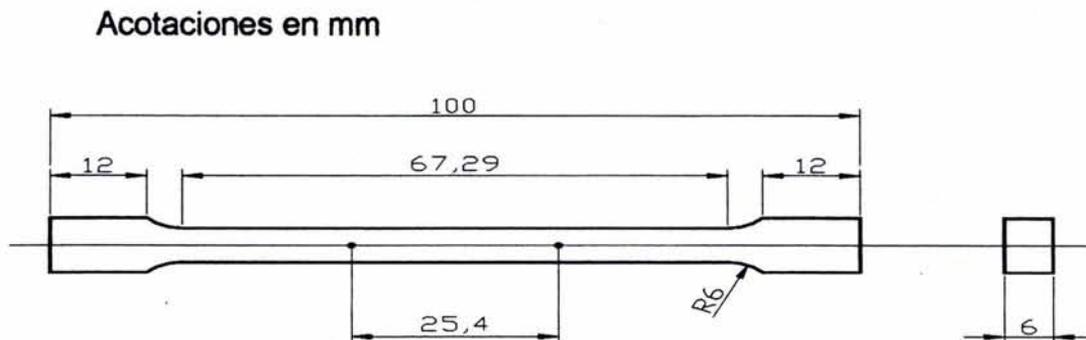


Figura No. 8 Dimensiones de las Probetas Rectangulares

Equipo utilizado:

Máquina de tensión

Marca: Shimadzu
Carga utilizada: 20365.56 N

2.5.2 PRUEBAS DE IMPACTO

El método utilizado fue el tipo Charpy, las dimensiones según norma AWS5.1. A continuación se muestra en la figura No.7 las dimensiones de la probeta de impacto. (5 de cada soldadura)

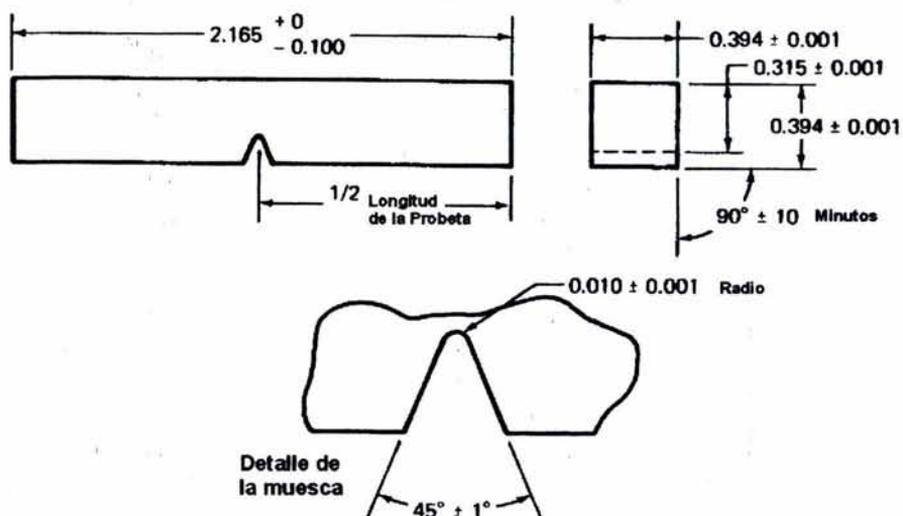


Figura No. 9 Características de las probetas para impacto

Se efectuaron las pruebas de impacto a 5 probetas AS – 200X, AS-200b3 y AS-502.

Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente.

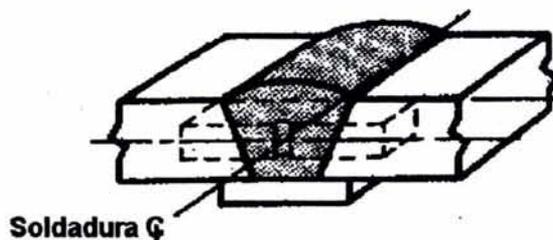


Figura No.10 Localización de la probeta de impacto.

Equipo utilizado:
Máquina de impacto tipo péndulo

Marca: SCHENCK TREBEL

Tipo:RPS W/H.

Para realizar las pruebas de impacto primero se hace en vacío (sin muestra) para determinar su fricción, siendo esta de "2 joules". Este valor se le suma a los resultados de las pruebas.

La máquina tiene tres escalas: Joules; Grados y Joules/cm².

Se utilizaron las tres escalas

2.5.3 PRUEBAS DE DUREZA

Se efectuaron ensayos de dureza Vickers a las probetas, AS – 200X, AS – 200 B3 y AS – 502. para lo cual se prepararon las 3 probetas de la siguiente manera:

- 1.- Proceso de desbaste con lijas del N° 100, 220, 350, 400, 500 y 600.
- 2.- Proceso de pulido con alúmina de 1 μ , 0.3 μ y 0.5 μ .
- 3.- Aplicación del reactivo químico (Nital HNO₃).

A continuación se muestra en la figura los puntos en donde se tomaron las lecturas de dureza Vickers.

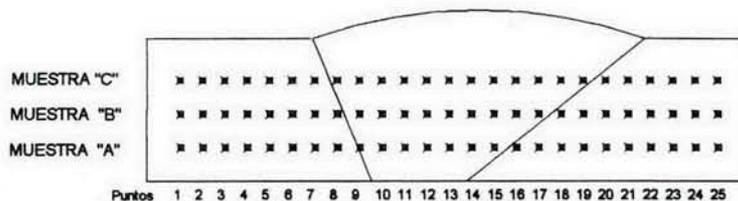


Figura No. 11 Probeta para Dureza

En la figura 10, se muestra como se debe realizar la prueba de dureza, cada punto dentro de la probeta es una medición, se realizo en tres filas para poder analizar toda la probeta.

Material utilizado:

Durómetro. Para Vickers

Marca: WOLPERT

Tipo: Dia. Testor 2 Rc

Carga: 10 Kg.

2.5.4 PRUEBAS METALOGRAFICAS

2.5.4.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

A continuación se describe el proceso de preparación de probetas para realizar los análisis metalográficos.

Antes de realizar dicho proceso cabe mencionar que, todas las probetas tienen la misma forma y dimensiones indicadas en la figura 10.

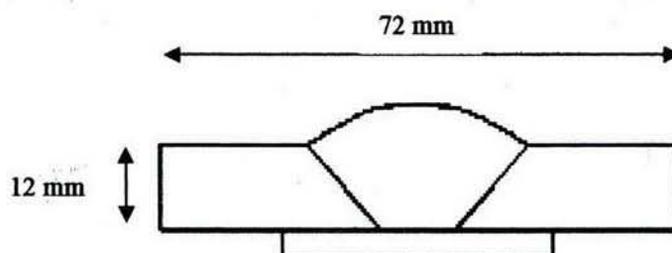


Figura No. 12. dimensiones de probeta metalografica

A cada una de estas probetas se les realizó por el siguiente procedimiento de preparación:

1. Proceso de desbaste:

Primero se desbastaron las probetas con las siguientes lijas: No 100,220,350,400,500 y 600, colocadas éstas en una máquina pulidora.

2. Proceso de pulido:

Se realizo el pulido con paño y alúmina de 1μ , 0.3μ , 0.05μ .con una máquina pulidora.

En la tabla No. 3 se muestra los pasos del Desbaste y pulido.

Paso	Material utilizado	observaciones
1	Lija No. 100	El proceso se realizo en una máquina pulidora, utilizando las lijas mencionadas respectivamente.
2	Lija No. 220	
3	Lija No. 350	
4	Lija No. 400	
5	Lija No. 500	
6	Lija No. 600	
7	Alúmina 1μ (micras)	Este pulido se realizo con un paño y alúmina, el tamaño de grano indicado en micras.
8	Alúmina 0.3μ (micras)	
9	Alúmina 0.05μ (micras)	

Tabla No. 4 Proceso de Desbaste y Pulido

3. Proceso de ataque:

Se prepararon 4 tipos diferentes de reactivos

El proceso de ataque se realizo una vez terminado el pulido, de la siguiente manera:

A) Se atacaron las muestras con el siguiente reactivo: ácido nítrico(Nital), (HNO_3)

Proporciones del reactivo: 3 ml. (HNO_3) mezclarlo con 97 ml. Metanol.

Revela los limites del grano

Tiempo de inmersión: 30 seg.

Ocular 500.

B) Se atacaron las muestras con el siguiente reactivo: ácido Tartárico.

Proporciones del reactivo: 10 g de ácido tartárico mezclarlo con 100 ml de Agua

Se usa para detectar las inclusiones

Tiempo de inmersión 5 min.

Ocular: 500X.

C) Se atacaron las muestras con el siguiente reactivo: Solución A y Solución B

Proporciones de reactivo: Solución A: 1 g de Metabisulfito de sodio

100 ml. Agua

Solución B: 4 g de ácido pícrico

100 ml. de Etanol

Revela una superficie coloreada de azul-naranja. La bainita esta de color negro, la Ferrita bronceada y la martensita en blanco.

Tiempo de inmersión: 14 seg.

Ocular: 500X.

Una vez atacadas se procede a observarlas y tomar micrografías en el microscopio metalográfico para su identificación.

CAPITULO 3

RESULTADOS

3.1. RESULTADOS DE PRUEBAS MECÁNICAS.

3.1.1. RESULTADOS DE PRUEBAS DE TENSIÓN.

3.1.2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE IMPACTO.

3.1.3. RESULTADOS DE PRUEBAS DE DUREZA.

3.2.0. RESULTADOS DE PRUEBAS METALOGRAFICAS

3.1 RESULTADOS DE PRUEBAS MECANICAS

3.1.1 RESULTADO DE PRUEBAS DE TENSION

3.3.1.1.1 RESULTADO DE PRUEBA DE TENSION PARA PROBETAS RECTANGULARES

Estas pruebas se realizaron según las normas AWS 5.17 y ASTM A-370

Identificación	Modulo de Elasticidad E (MPa)	Carga Máxima (N)	Elongación (%)	Reducción de área (%)	Esfuerzo a la Cedencia (MPa)	Esfuerzo a la Tensión (MPa)	Esfuerzo a la Ruptura (MPa)	Zona De Fractura
1	1053.29513	20012.4	34.9	26.7568	367.6	540.8	399.6	ZAC
2	1009.73451	20699.1	33.9	29.7297	342.3	559.4	404.6	ZAC
3	1090.12739	20699.1	31.4	35.1351	342.3	559.4	404.6	ZAC
4	1104.62963	20208.6	32.4	32.4324	357.9	546.1	389.0	ZAC
5	1045.48287	20208.6	32.1	35.1351	335.6	546.1	383.6	ZAC
Promedio	1060.65391	20365.56	32.94	31.83782	349.14	550.3	396.2	ZAC

Tabla No. 5 Resultado de prueba de tensión de probeta rectangular de la soldadura utilizando el fundente AS-200X

Identificación	Modulo de Elasticidad E (Mpa)	Carga Máxima (N)	Elongación (%)	Reducción de área (%)	Esfuerzo a la Cedencia (MPa)	Esfuerzo a la Tensión (MPa)	Esfuerzo a la Ruptura (MPa)	Zona De Fractura
1	2214.45783	20110.5	16.6	32.4324	367.6	543.5	415.6	MB
2	1886.80556	20306.7	14.4	40.5405	271.7	548.8	431.5	MB
3	1522.28261	20306.7	18.4	31.5789	280.1	548.8	404.6	MB
4	2593.93939	20208.6	13.2	31.5789	342.4	546.1	420.2	MB
5	1481.46341	20306.7	20.5	32.4324	303.7	548.8	399.6	MB
Promedio	1939.78976	20247.84	16.62	33.71262	313.1	547.2	414.3	MB

Tabla No.6 Resultado de prueba de tensión de probeta rectangular de la soldadura utilizando el fundente AS-200B3

Identificación	Modulo de Elasticidad E (Mpa)	Carga Máxima (N)	Elongación (%)	Reducción de área (%)	Esfuerzo a la Cedencia (MPa)	Esfuerzo a la Tensión (MPa)	Esfuerzo a la Ruptura (MPa)	Zona De Fractura
1	2112.142	20502.9	14	25.7895	295.7	539.5	420.2	MB
2	2227.049	19816.2	12.2	32.4324	271.7	550.4	399.6	MB
3	2429.62	20012.4	12.5	32.4324	303.7	555.9	415.5	MB
4	2623.611	19718.1	14.4	33.3333	377.8	547.7	410.7	MB
5	926.570	20306.7	20.7	32.4324	191.8	548.8	415.5	MB
Promedio	2063.794	20012.4	13.275	31.284	288.14	548.375	412.3	MB

Tabla No.7 Resultado de prueba de tensión de probeta rectangular de la soldadura utilizando el fundente AS-502

3.1.1.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE TENSIÓN PARA PRUEBAS CILÍNDRICAS

Identificación	Modulo de Elasticidad E (Mpa)	Carga Máxima (N)	Elongación (%)	Reducción de área (%)	Esfuerzo a la Cedencia (MPa)	Esfuerzo a la Tensión (MPa)	Esfuerzo a la Ruptura (MPa)	Zona De Fractura
AS – 200X	115.49	26022.9	36.4	71.3	42.04	205.5	140.81	ZAC
AS – 200 B3	536.45	11828.8	20.0	86.3	107.29	268.22	187.75	ZAC
AS - 502	285.98	40809.6	14.7	42.8	42.04	322.35	187.75	MB

Tabla No. 8 Resultados de Pruebas de Tensión de Probetas Cilíndricas.

3.1.1.3 RESULTADO DE DEFORMACIONES PROMEDIOS EN PROBETAS RECTANGULARES.

Soldadura	Deformación en el límite elástico δ mm	Deformación al esfuerzo máximo δ mm	Deformación al esfuerzo de ruptura δ mm
AS-200X	0.35	6.5	8.3
AS-200B3	0.20	2.88	4.1
As-502	0.20	2.82	3.7

Tabla No. 9 Resultados de deformaciones promedios en probetas rectangulares

3.1.1.4 DIAGRAMAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN ENTRE PROBETAS RECTANGULARES

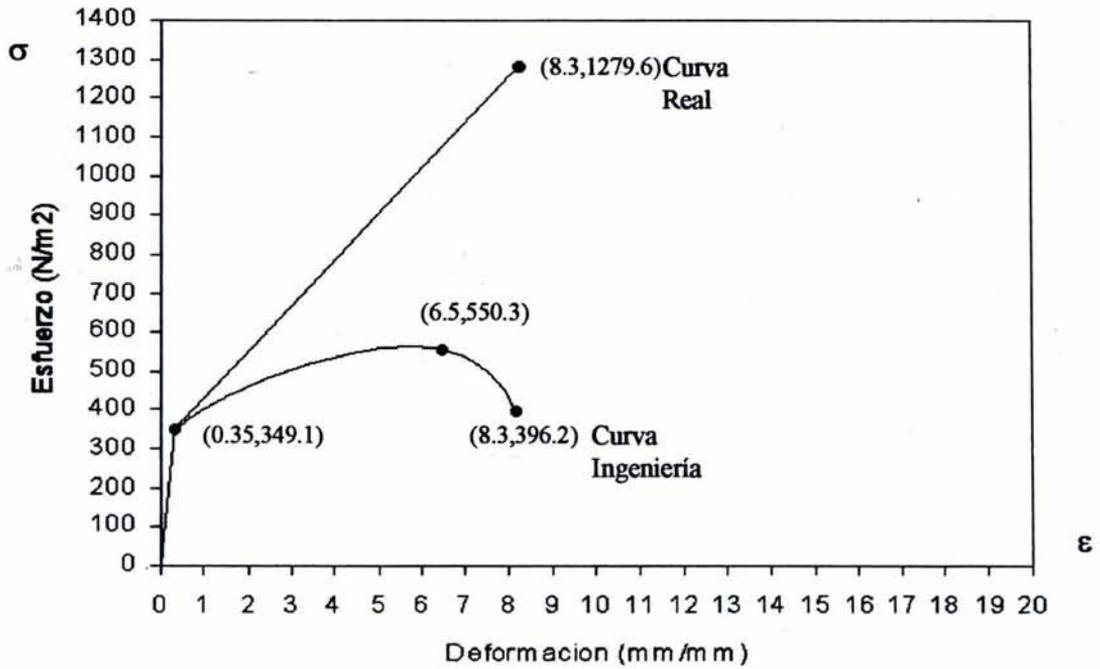


figura No.13. Diagrama esfuerzo-deformación para probeta AS-200X rectangular.

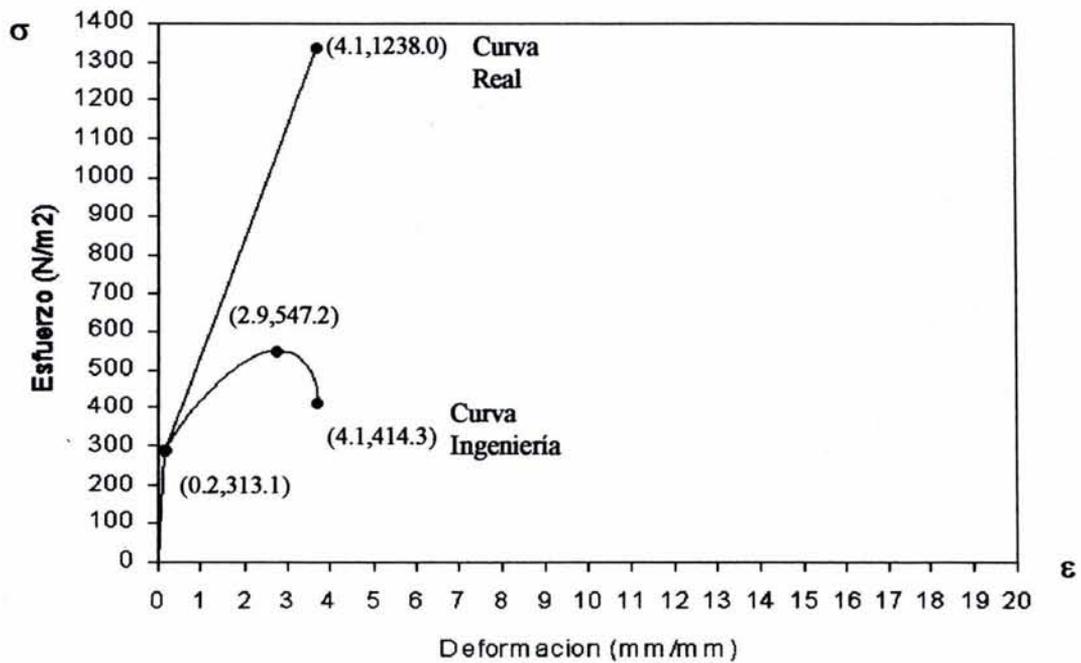


figura No.14. Diagrama esfuerzo-deformación para probeta AS-200B3 rectangular

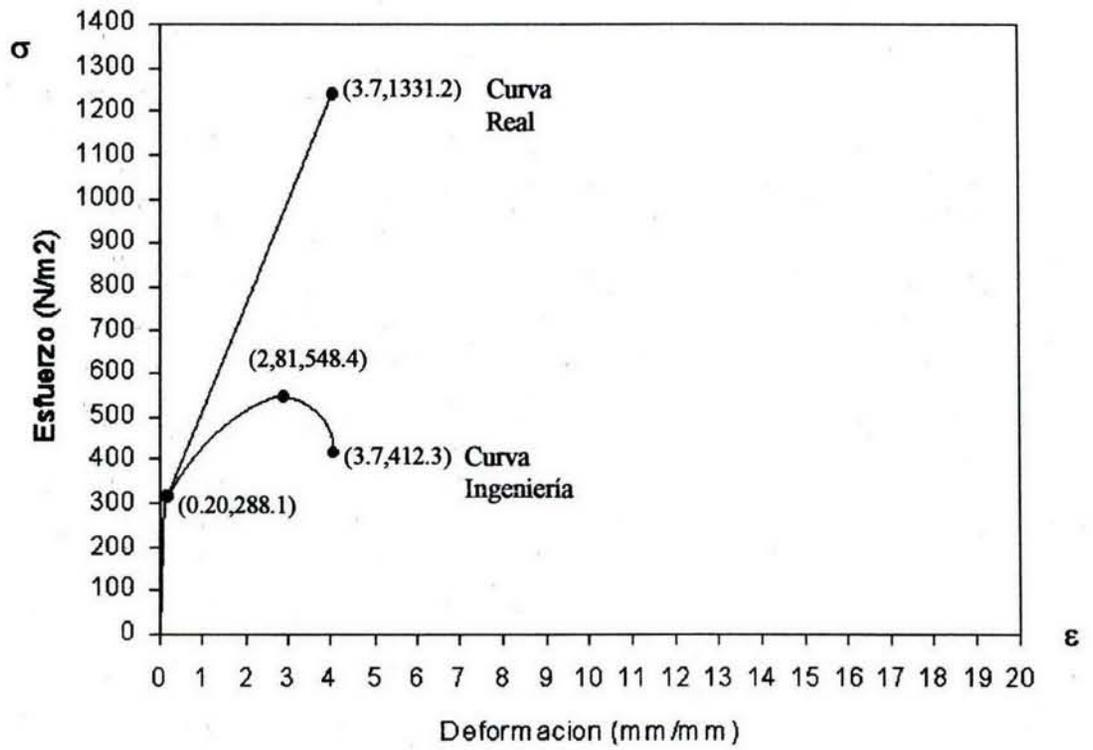


figura No.15. Diagrama esfuerzo-deformación para probeta AS-502 rectangular

3.1.1.5 DIAGRAMAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN ENTRE PROBETAS DE SOLDADURAS CILÍNDRICAS

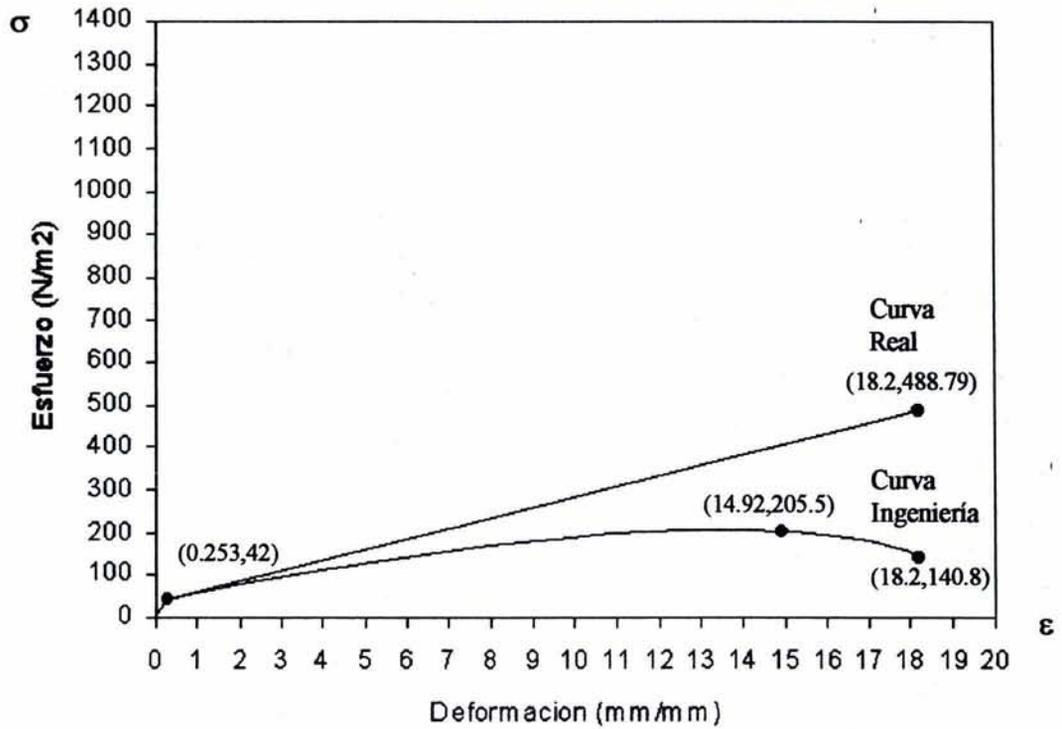


figura No.16. Diagrama esfuerzo-deformación para probeta AS-200X cilíndrica

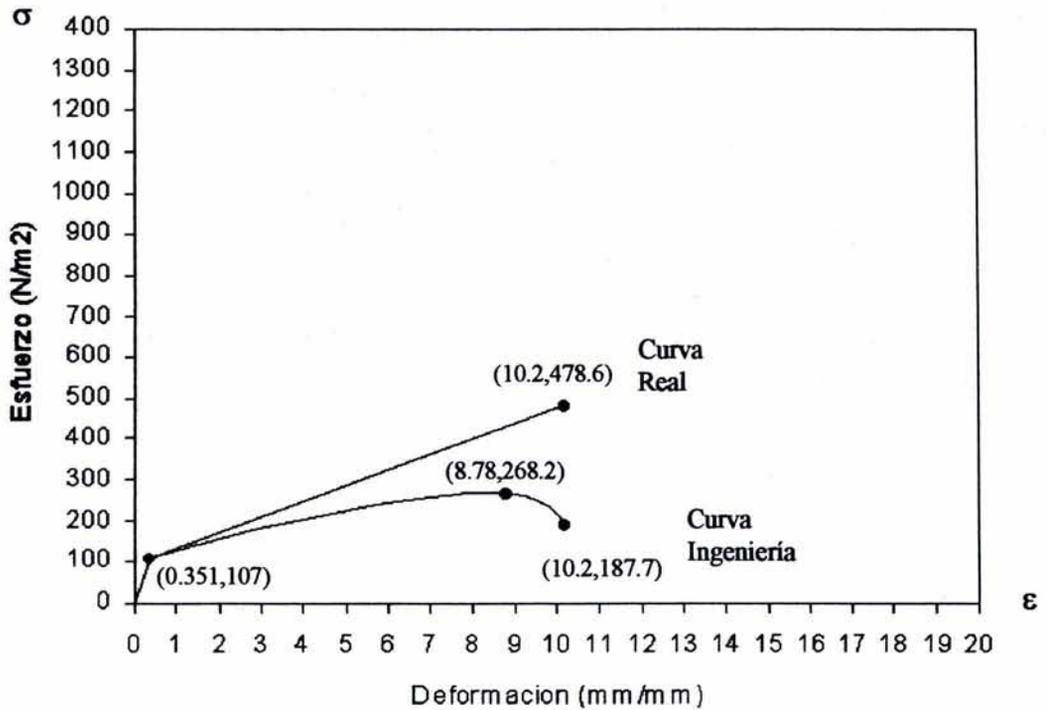


figura No.17. Diagrama esfuerzo-deformación para probeta AS-200B3 cilíndrica

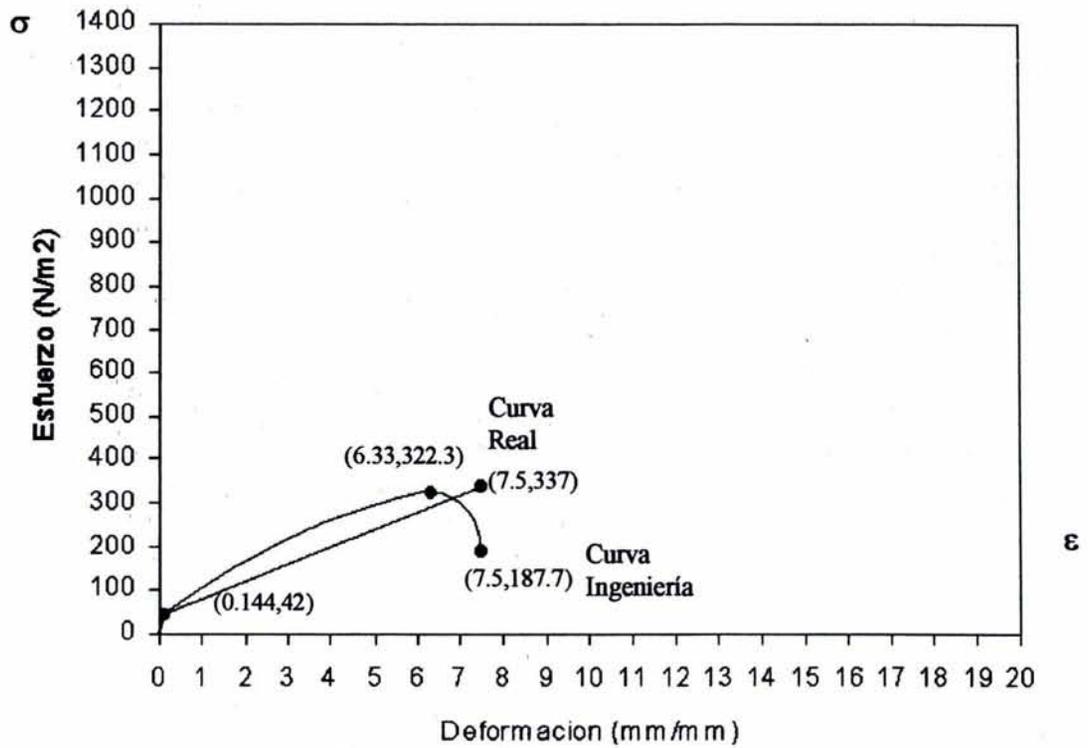


figura No.18. Diagrama esfuerzo-deformación para probeta AS-502 cilíndrica

3.1.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE IMPACTO

Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Identificación de probeta	Joules
1	168
2	180
3	192
4	193
5	178
Promedio	182.2

Tabla No. 10 Resultados de impacto de las probetas soldadas con el fundente AS-200X

Identificación de probeta	Joules
1	58
2	66
3	58
4	40
5	62
Promedio	56.8

Tabla No. 11 Resultados de impacto de las probetas soldadas con el fundente AS-200B3

Identificación de probeta	Joules
1	40
2	59
3	48
4	60
5	56
Promedio	52.6

Tabla No. 12 Resultados de impacto de las probetas soldadas con el fundente / 502

3.1.3 RESULTADOS DE PRUEBAS DE DUREZA

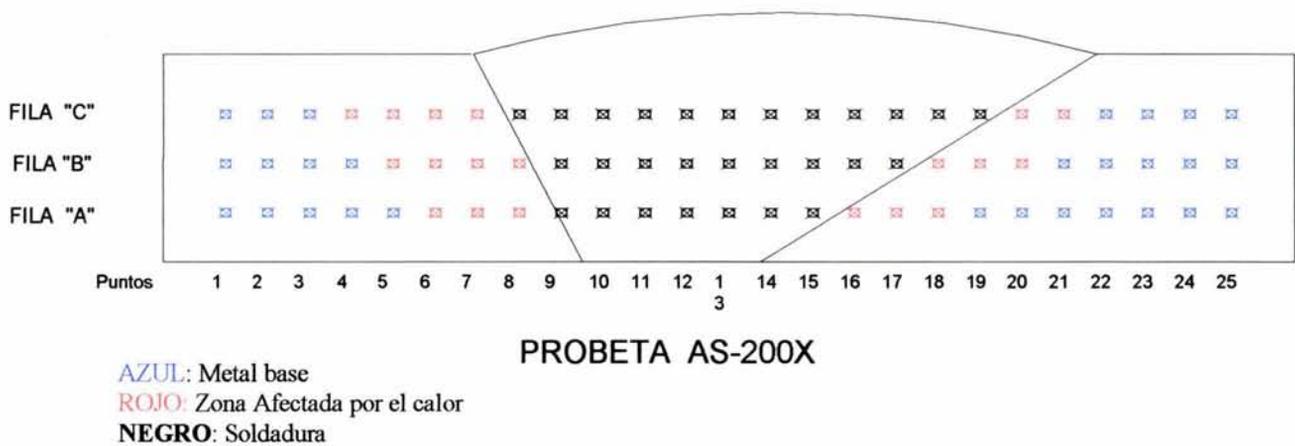
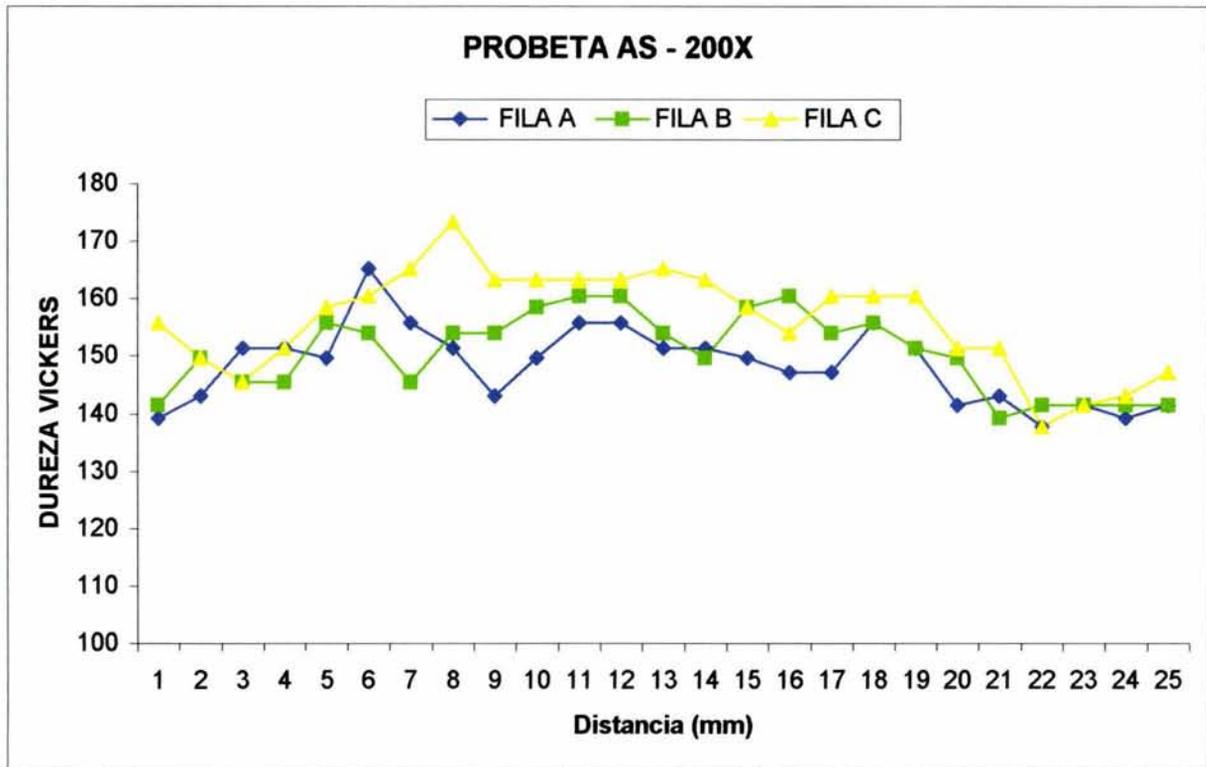


Figura No. 19 Resultado de prueba de dureza de probeta AS-200X

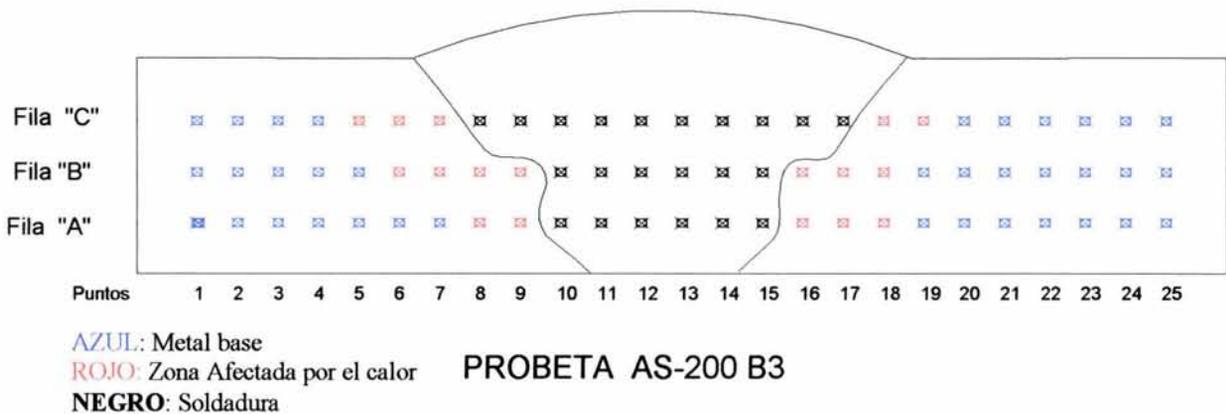
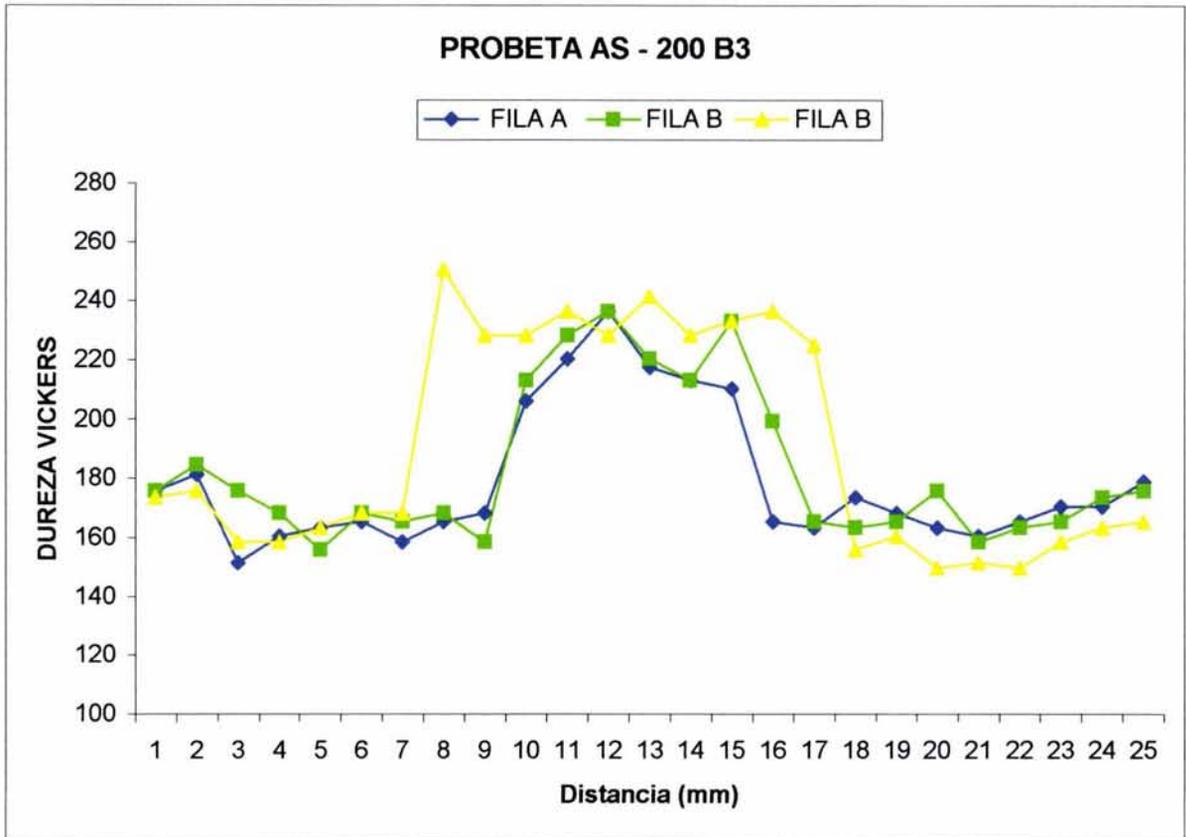
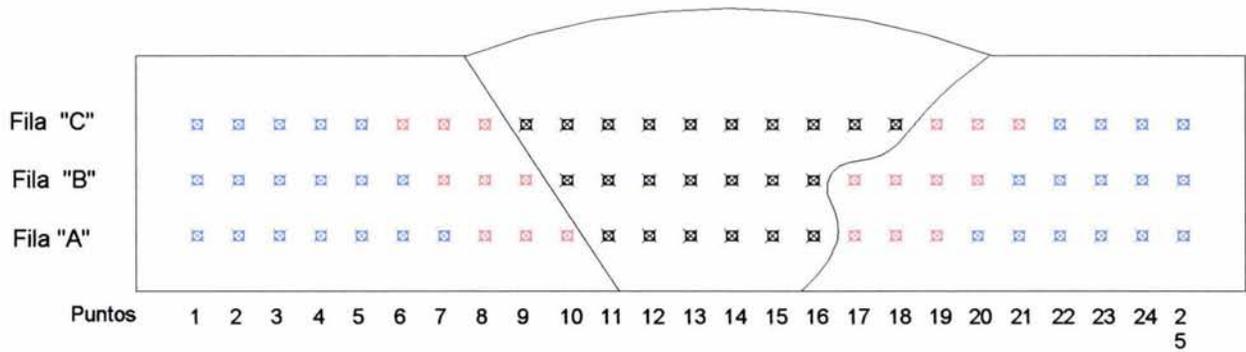
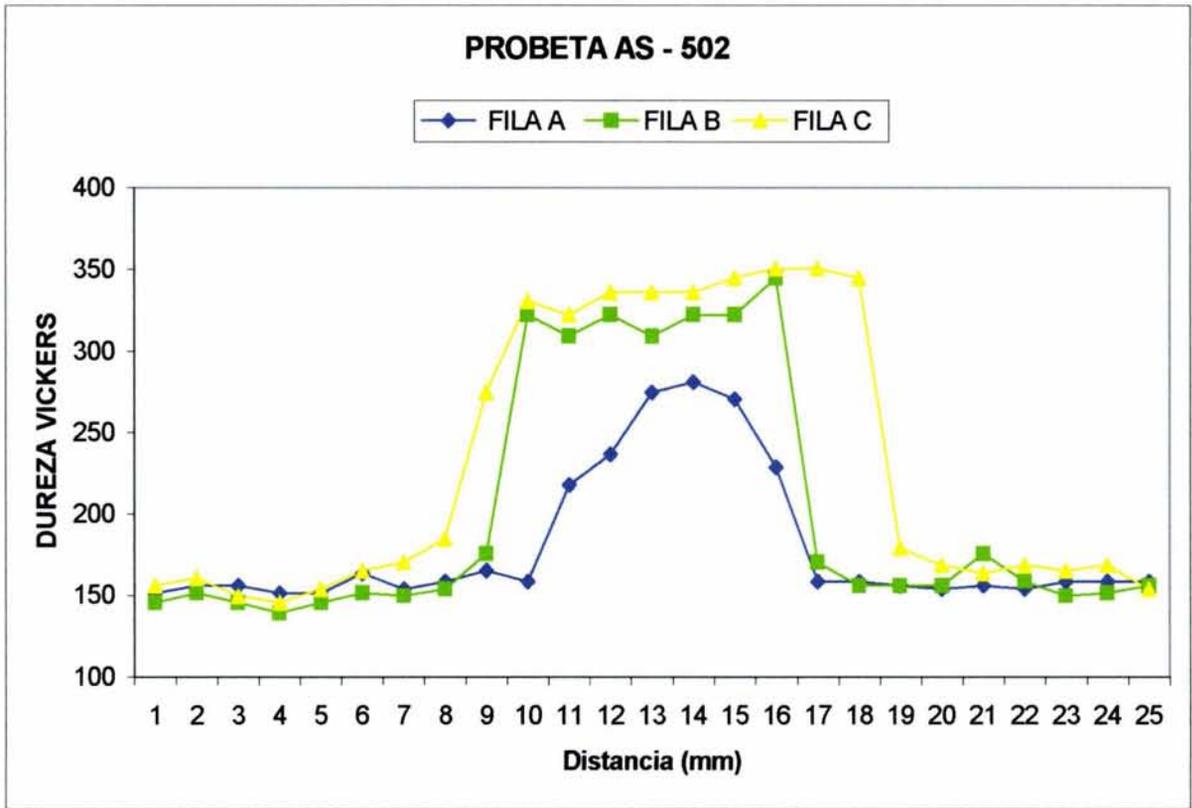


Figura No.20 resultado de prueba de dureza de probeta AS-200 B3



AZUL: Metal base
ROJO: Zona Afectada por el calor
NEGRO: Soldadura

Figura No. 21 Resultado de prueba de dureza de probeta AS-502

3.2.0 RESULTADOS DE PRUEBAS METALOGRAFICAS.

3.2.1 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el Fundente AS – 200X atacado con Nital. (Este reactivo revela perlita, ferrita y los limites de grano)

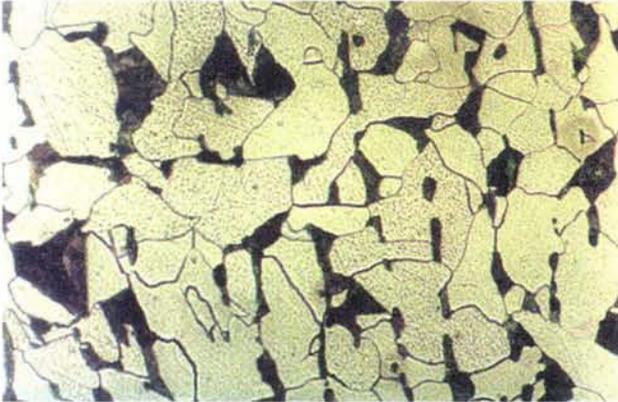


Figura No 22
Microestructura del **Metal Base** del acero A-36 atacado con Nital con un aumento de 500X. En la cual se observan granos blancos (ferrita) y zonas oscuras (perlita).

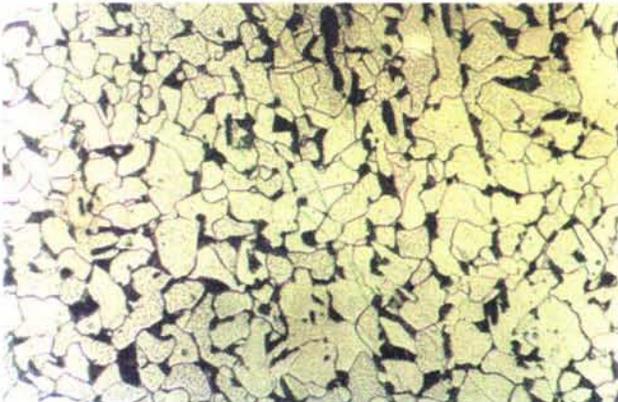


Figura No 23
Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el Fundente AS – 200X. Atacado con el Nital con un aumento de 500X. Se observan granos más pequeños blancos (ferrita) y zonas oscuras (perlita).



Figura No 24
Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 200X. Atacado con Nital con un aumento de 500X. Se observan granos más grandes e irregulares blancos (ferrita) y granos más pequeños irregulares oscuros (perlita).

3.2.2 Resultados de microestructura de la soldadura relizada con el fundente AS – 200 B3 atacado con Nital.

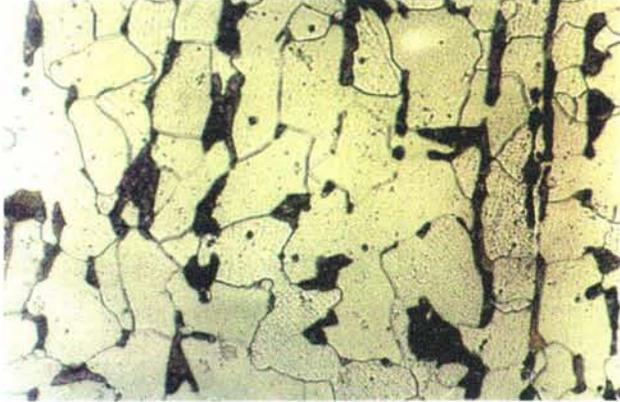


Figura No.25

Microestructura del **Metal Base** del acero A-36 atacado con nital con un aumento de 500X. En el cual se observan granos blancos (ferrita) y zonas oscuras (perlita).

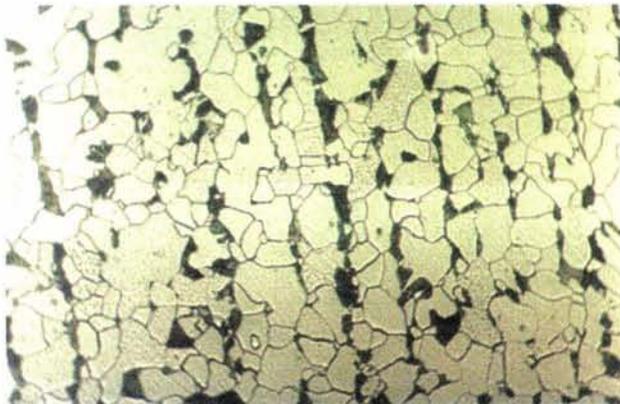


Figura No 26

Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el fundente AS – 200 B3. Atacado con nital con un aumento de 500X. Se observan granos más pequeños blancos (ferrita) y zona oscura (perlita).

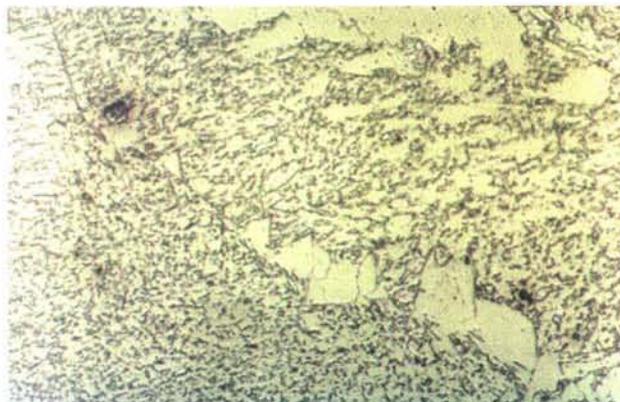


Figura No 27

Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 200 B3. Atacado con Nital con un aumento de 500X. Se observan manchas grandes y pequeñas blancas (ferrita) y zonas más pequeñas con puntos oscuros (perlita).

3.2.3 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el Fundente AS – 502 atacada con Nital.



Figura No 28

Microestructura del **Metal Base** del Acero A-36 atacado con nital con un aumento de 500X, En el cual se observan granos blancos irregulares (ferrita) en mayor cantidad y pequeñas manchas oscuras (perlita).

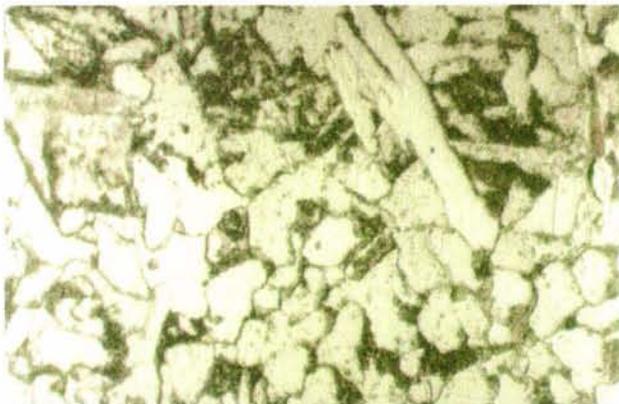


Figura No 29

Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el fundente AS-502. Atacado con nital con un aumento de 500X. Se observan granos blancos muy irregulares (ferrita) y pequeños granos oscuros (perlita) en menor cantidad.



Figura No 30

Microestructura de la **soldadura** con el fundente AS – 502. Atacado con nital con un aumento de 500x. En el cual se observan manchas blancas irregulares (ferrita) y manchas oscuras pequeñas (perlita) en mayor cantidad.

3.2.4 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el fundente AS – 200X atacada con Ácido Tartárico. (El ácido tartárico es usado para revelar las inclusiones)



Figura No 31

Microestructura del **Metal Base** del acero A-36 atacado con ácido Tartárico con un aumento de 500X. Se observan inclusiones de diferentes formas y tamaños.



Figura No 32

Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el fundente AS – 200X. Atacado con Ácido Tartárico, con un aumento de 500X. Se observa inclusiones pequeñas de forma redonda y en forma alargada.



Figura No 33

Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 200X. Atacado con Ácido Tartárico, con un aumento de 500X. Se observa una serie de inclusiones en forma de (punto) que a diferencia de las otras imágenes las inclusiones son mas pequeñas y difícil de observar la forma exacta.

3.2.5 Resultados de microestructura de la soldadura realizada con el fundente AS – 200 B3 atacado con Ácido Tartárico.



Figura No 34

Microestructura del **Metal Base** del acero A-36. Atacado con Ácido Tartárico, con un aumento de 500X. En esta imagen no se observa ningún tipo de inclusiones.



Figura No 35

Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el Fundente AS – 200 B3. Atacado con Ácido Tartárico con un aumento de 500X. En esta figura se observa la mitad en forma de triangulo superior es la ZAC en donde se observan inclusiones de forma alargada y en la parte inferior en forma de triangulo también se observan pequeñas inclusiones (puntos negros) **soldadura** diferentes a las de la parte superior.

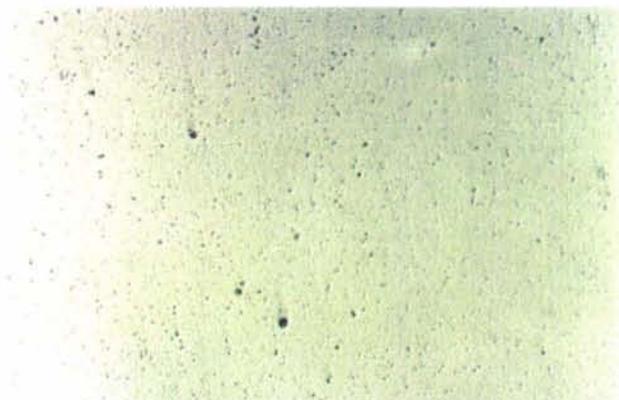


Figura No 36

Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 200 B3. Atacado con Ácido Tartárico con un aumento de 500x. Se observa solo algunas muy pequeñas inclusiones (puntos negros).

3.2.6 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS – 502 atacado con Ácido Tartárico.

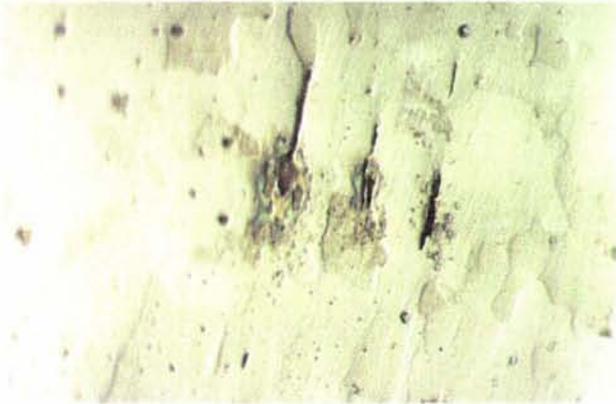


Figura No 37

Microestructura del **Metal Base** del Acero A-36, atacado con Ácido Tartárico, con un aumento de 500X. Aquí encontramos inclusiones en forma de célula en la cual una de ellas es mas grande y tiene un núcleo de forma alargada, mientras que la mas pequeña posee un núcleo circular.

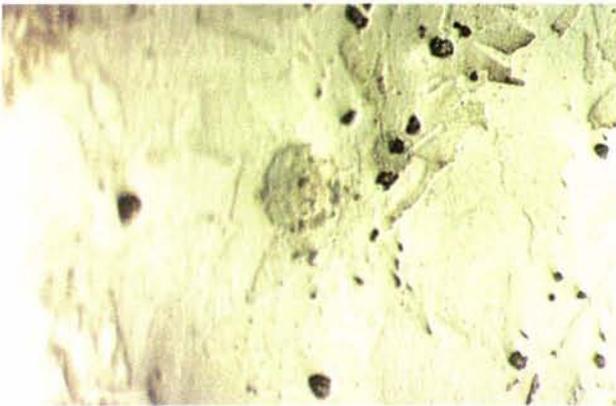


Figura No 38

Microestructura de la **zona Afectada por el calor** de la soldadura con el Fundente AS – 502. Atacado con Ácido Tartárico, con un aumento de 500X. En el cual se observan inclusiones en formas circular (puntos negros), y una inclusión en forma celular



Figura No 39

Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 502 atacado con Ácido Tartárico, con un aumento de 500X. Se observa claramente solamente un punto negro, aunque si se observa detalladamente encontramos puntos (inclusiones) difíciles de observar.

3.2.7 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS – 200X atacado con Solución A y Solución B. (Las soluciones A y B sirven para detectar la bainita que está en negro, la ferrita bronceada y la martensita en blanco)



Figura No 40

Microestructura del **Metal Base** del Acero A-36 atacado con la Solución A y Solución B con un aumento de 500X. Se observa la Ferrita (clara, granos grandes), Perlita (obscura, granos chicos) y Martensita (bronceada).

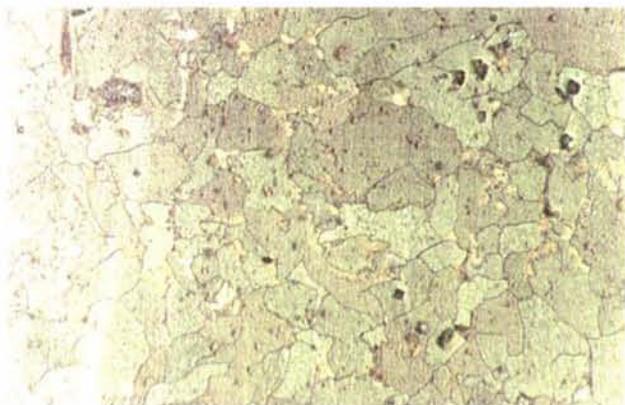


Figura No 41

Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el Fundente AS – 200X. Atacado con Solución A y Solución B, con un aumento de 500X. Se observa Ferrita (clara, granos chicos), Perlita (obscura, granos chicos) y Martensita (bronceada).



Figura No 42

Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 200X. Atacado con Solución A y Solución B, con un aumento de 500X. Se observa Ferrita (clara, granos chicos), Perlita (obscura, granos chicos) y Martensita (bronceada).

3.2.8 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS – 200 B3 atacado con Solución A y Solución B.

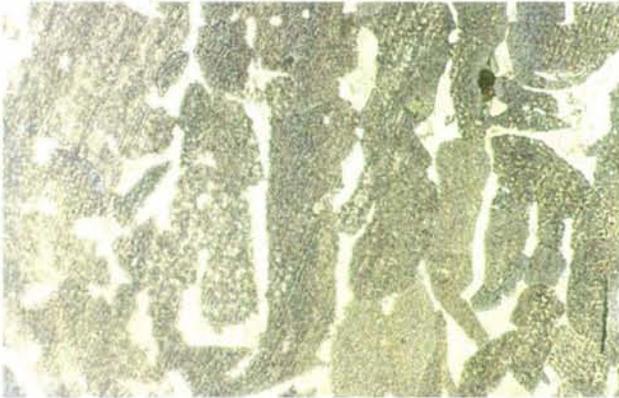


Figura No 43

Microestructura del **Metal Base** del acero A-36 atacado con Solución A y Solución B, con un aumento de 500X. Se observa Ferrita (obscura, granos grandes) y Perlita (clara, granos chicos).



Figura No 44

Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el Fundente AS – 200 B3. Atacado con Solución A y Solución B, con un aumento de 500X. Se observa Ferrita (clara, granos grandes), Perlita (obscura, granos chicos) e impurezas.



Figura No 45

Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 200B3 atacado con Solución A y Solución B, con un aumento de 500X. Se observa Dendritas (Ferrita, Perlita, inclusiones y poros) y Martensita (bronceada).

3.2.9 Resultados de microestructura de la soldadura realizado con el fundente AS – 502, atacado con solución A y solución B.

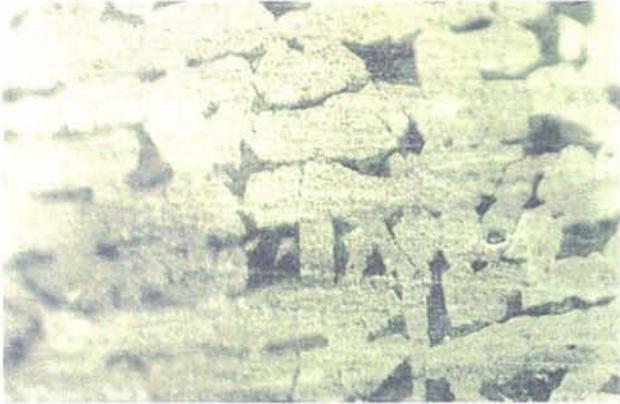


Figura No. 46

Microestructura del **Metal Base** del acero A-36 atacado con solución A y solución B, con un aumento de 500X. Se observa Ferrita (clara, granos grandes) y Perlita (obscura, granos chicos).

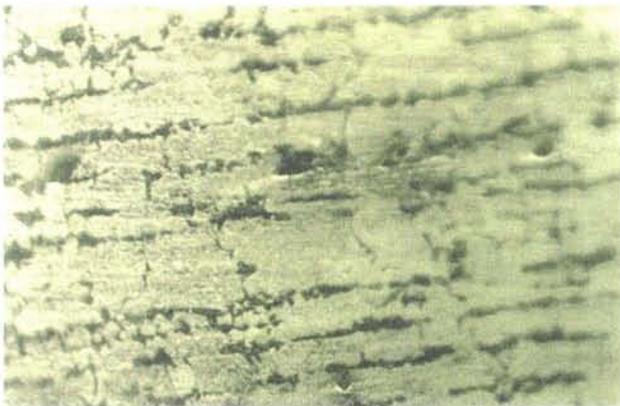


Figura No. 47

Microestructura de la **zona afectada por el calor** de la soldadura con el fundente AS-502, atacado con solución A y solución B, con un aumento de 500X. Se observa Ferrita (clara, granos grandes) y Perlita (obscura, granos chicos alargados).



Figura No. 48

Microestructura de la **Soldadura** con el Fundente AS – 502 atacado con solución A y Solución B, con un aumento de 500x. Se observa Dendritas (Ferrita, Perlita, inclusiones y poros).

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBA METALOGRAFICAS.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS MECÁNICAS.

4.2.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE TENSIÓN.

4.2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE IMPACTO.

4.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE DUREZA.

4.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBA METALGRÁFICAS

Probeta	%Ferrita (ZAC)	%Perlita (ZAC)
AS-200X	77.77	22.22
AS-200B3	76.67	21.17
AS-502	68.33	31.67

Tabla No. 13 Porcentaje de ferrita y perlita en la ZAC

Probeta	%Ferrita (Soldadura)	%Perlita (Soldadura)
AS-200X	70	30
AS-200B3	47.05	47.84
AS-502	50.19	42.15

Tabla No. 14 Porcentaje de ferrita y perlita en soldadura

Probeta	%Inclusiones (ZAC)	%Inclusiones (Soldadura)
AS-200X	1.98	5.75
AS-200B3	3.26	17.64
AS-502	4.39	2.083

Tabla No. 15 Porcentaje de inclusiones en ZAC y Soldadura

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS MECANICAS

4.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBA DE TENSIÓN

4.2.1.1 ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE TENSIÓN A PROBETAS RECTANGULARES

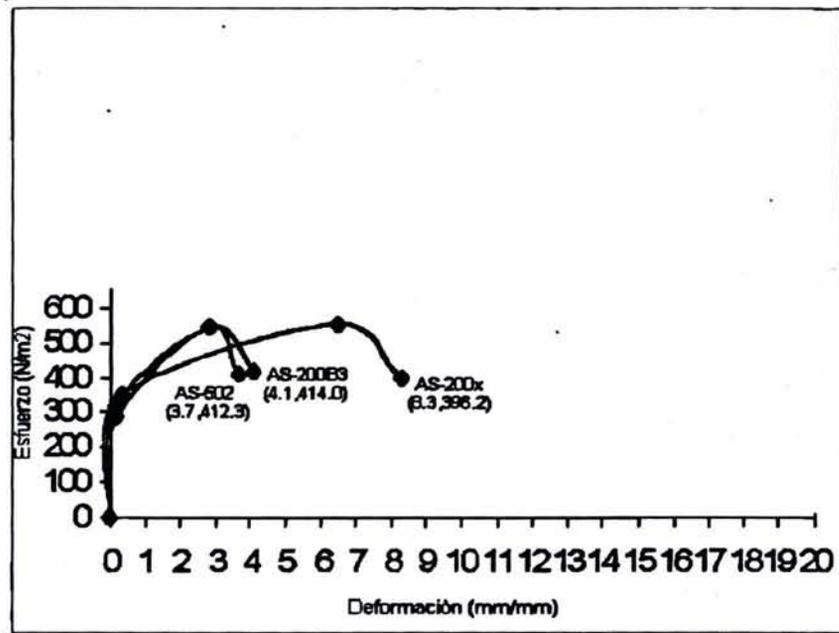


Figura No.49. Diagrama Esfuerzo-Deformación para probetas AS-502, AS-20083 y AS-200x.

4.2.1.2 ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE TENSIÓN A PROBETAS DE SOLDADURA REDONDAS.

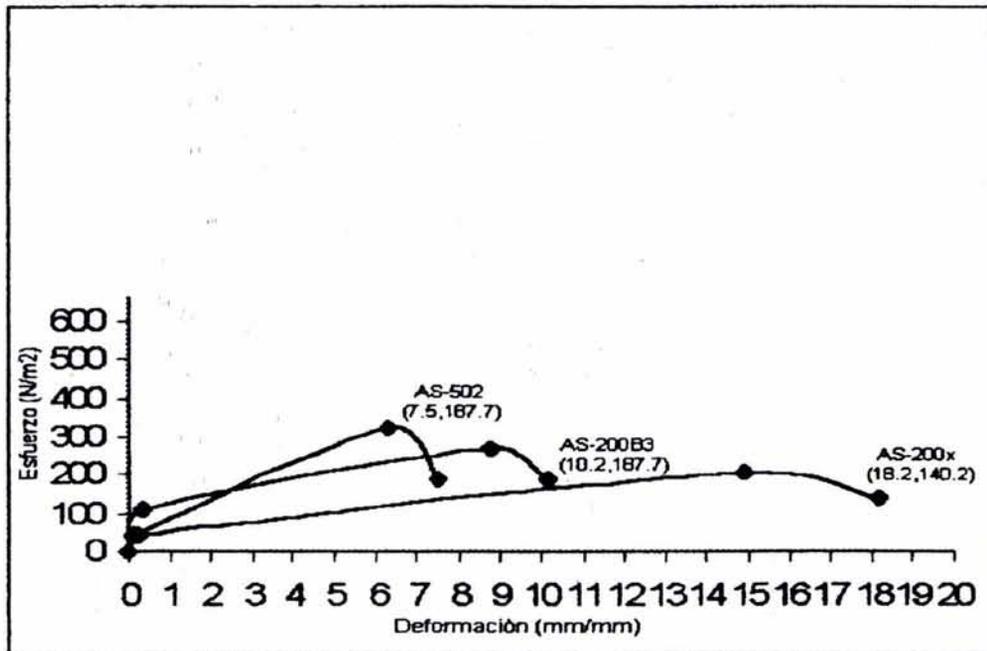


Figura No.50. Diagrama Esfuerzo-Deformación para probetas AS-502, AS-20083 y AS-200x.

4.2.1.3 Grafica de fundentes con % ferrita en (ZAC)

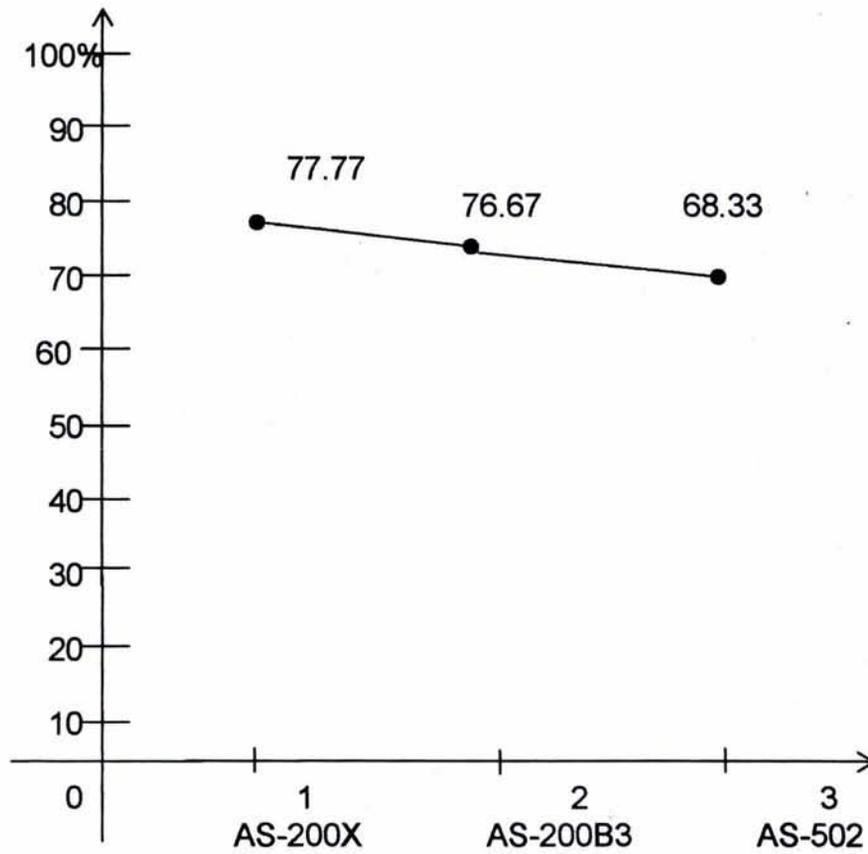


Figura No.51. Grafica de fundentes con % ferrita en (ZAC)

4.2.1.4 Grafica de fundentes con % perлита. (ZAC)

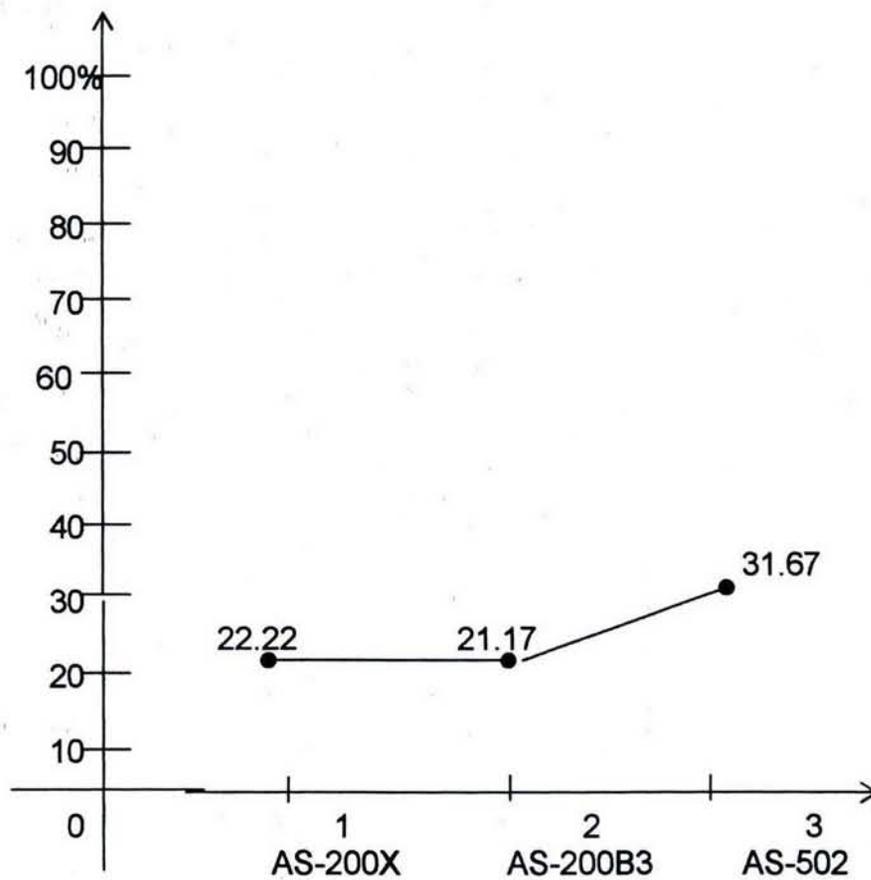


Figura No.52 Grafica de fundentes con % perлита en ZAC.

4.2.1.5 Grafica de fundentes con % ferrita. (soldadura)

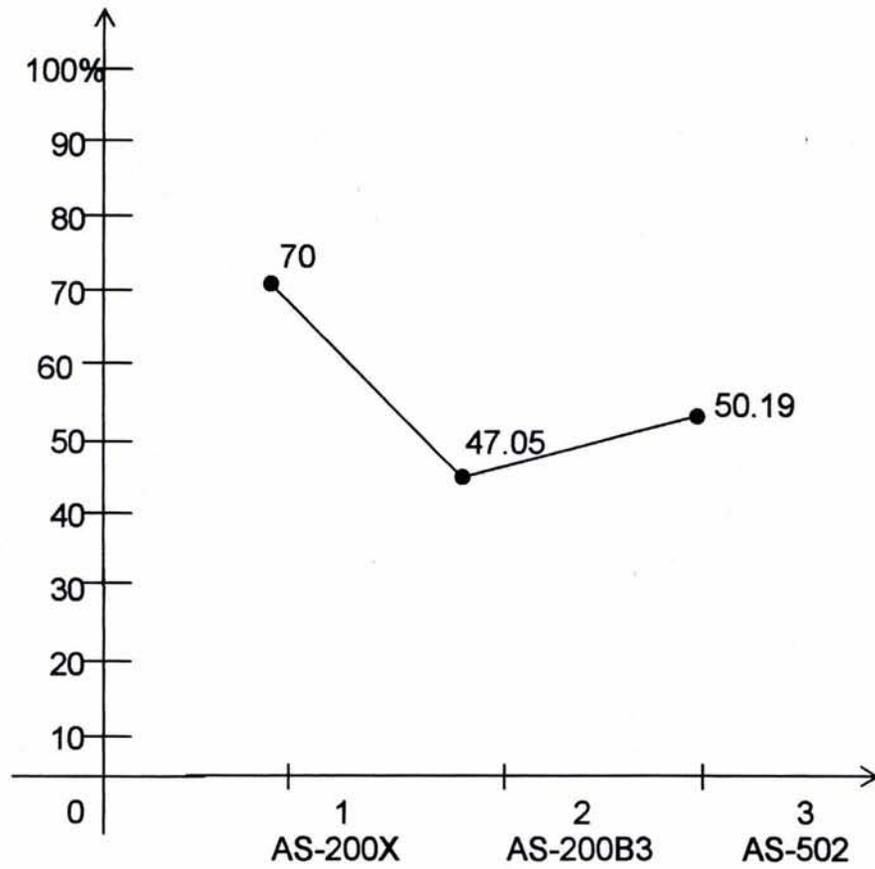


Figura No.53. Grafica de fundentes con % ferrita (soldadura) en ZAC.

4.2.1.6 Grafica de fundentes con % perlita. (soldadura)

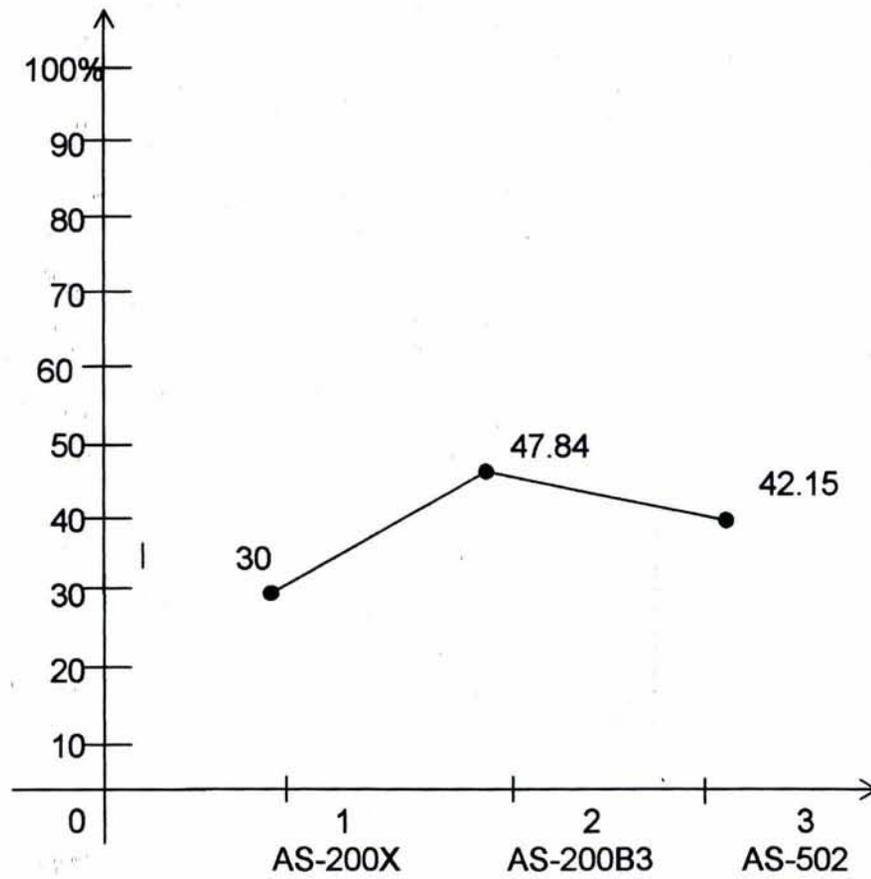


Figura No.54. Grafica de fundentes con % Perlita. (soldadura)

4.2.1.7 Grafica fundentes con % de inclusiones. (ZAC)

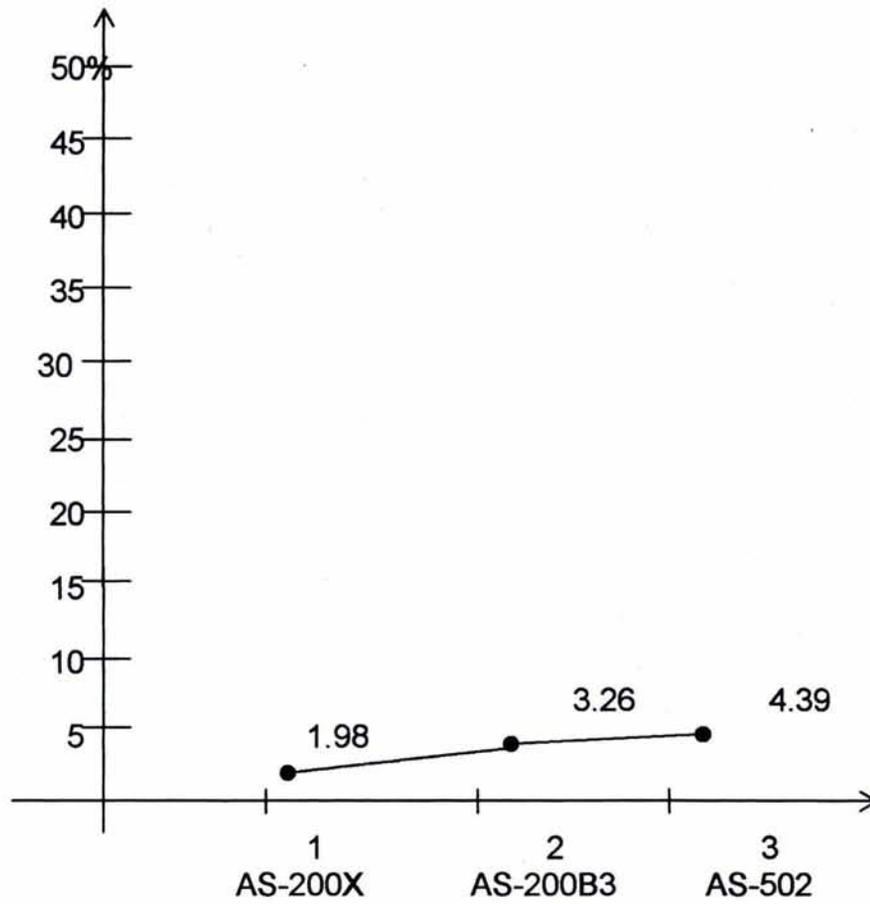


Figura No.55. Grafica de fundentes con % de inclusiones en ZAC.

4.2.1.8 Grafica de fundentes con % de inclusiones. (soldadura)

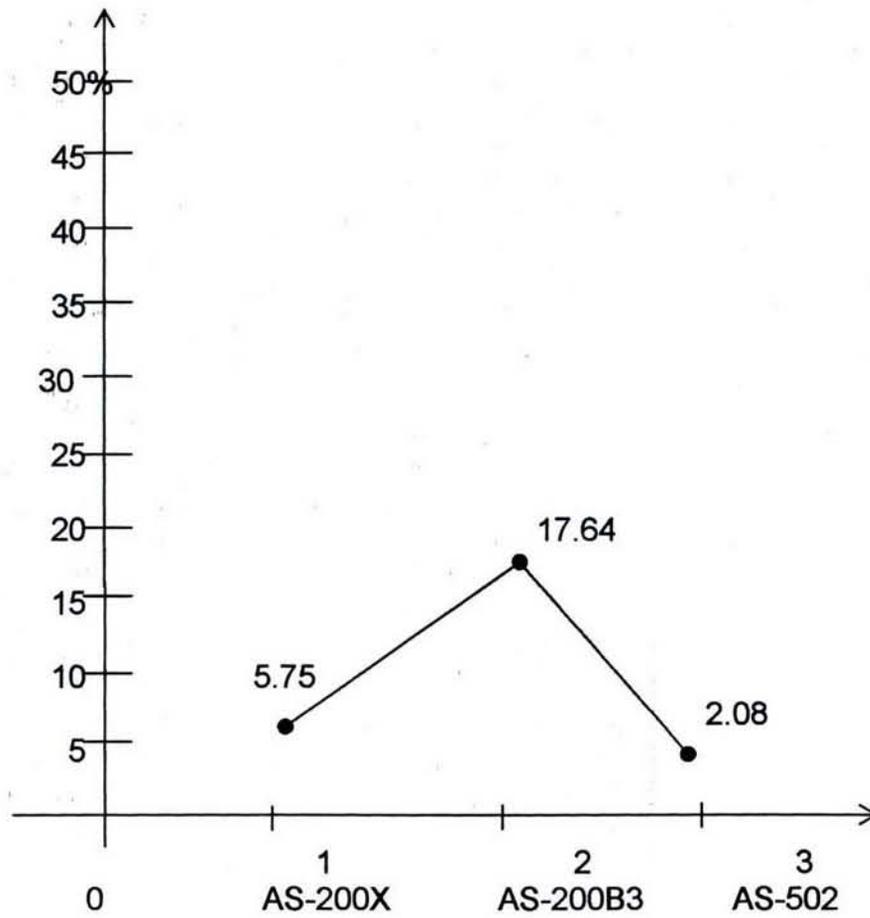


Figura No.56. Grafica de fundentes con % de inclusiones. (soldadura)

4.2.2 ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE IMPACTO

Probeta	Joule
AS-200X	182.2
AS-200B3	56.8
AS-502	52.6

Tabla No. 13 Resultados Promedios de Impacto

4.2.3 ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE DUREZA

CLASIFICACION	DUREZA M.B.	DUREZA Z.A.C	DUREZA SOLDADURA
AS-200X	144.73	153.72	156.67
AS-200B3	165.99	166.62	225.03
AS-502	159.64	163.50	301.69

Tabla No. 14 Resultados promedios de dureza

4.2.4 Soldadura del fundente AS- 200X

La aplicación del fundente aglomerado básico neutro AS200X con el metal base A-36 y electrodo da como resultado la composición química de la soldadura, que se muestra en la tabla No. 1, en esta tabla se puede observar el porcentaje de los elementos aleantes, por lo que con esa composición , se determinaron las propiedades mecánicas como resistencia a la tensión, impacto y dureza como se puede observar en las tablas 5 y 10 y la figura 18, cabe mencionar que este fundente aglomerado básico neutro AS-200X tiene un porcentaje mínimo de silicio y manganeso, razón por la cual se considera neutro, por lo que este tipo de fundente es aplicable en múltiples cordones de soldadura en gran espesor, manteniendo su alta resistencia a la tensión y resistencia al impacto.

4.2.5 Análisis de propiedades mecánicas de probetas rectangulares

En este análisis vamos a comparar las propiedades de las probetas de soldaduras rectangulares, como se muestra en la figura 7.

En la tabla 5 se puede ver el esfuerzo promedio a la tensión de la soldadura con el fundente AS-200X que tiene un valor de 550.3 MPa y la soldadura con el fundente AS-200B3 que tiene una resistencia promedio a la tensión de 547.2 MPa. como se puede ver en la tabla No. 6 y la soldadura con el fundente AS-502 que tiene una resistencia promedio a la tensión de 548.375 MPa. como se puede ver en la tabla No.7, el valor mayor es para la soldadura con el fundente AS-200X ,el de valor menor es para la soldadura con el fundente AS-200B3 y el intermedio es para la soldadura con el fundente AS-502. en este caso los valores son semejantes.

Con respecto a la zona de fractura, la soldadura con el fundente AS-200X la presento en la ZAC, como se ve en la tabla No. 5, La fractura de la soldadura con el fundente AS-200B3 se origino en el MB, como se ve en la tabla No. 6 y la fractura de la soldadura con el fundente AS-502 se originó en el MB como se ve en la tabla no. 7, con lo que se puede concluir que en estas tres soldaduras la mayor resistencia se tuvo en la zona de soldadura.

Con respecto a la elongación, la soldadura con el fundente AS-200X tiene una elongación de 32.94 %, como se ve en la tabla No. 5, la soldadura con el fundente AS-200B3 tiene una elongación de 16.62% como se ve en la tabla 6 y la soldadura con el fundente AS-502 tiene una elongación de 13.27% como se ve en la tabla 7, como se puede observar la soldadura con el fundente AS-200X tiene el valor mayor de elongación con 32.94% y el de valor menor de elongación es la soldadura con el fundente AS-502 con 13.27% de elongación y el intermedio es la soldadura con el fundente AS-200B3 con un valor de 16.62% de elongación, esto es lo que se esperaba, debido a su composición química, es decir que la soldadura con el fundente AS-200B3 y AS-502 tienen elementos aleantes, Cr y Mo, pero en diferentes proporciones como se ve en la tabla 1.

4.2.6 Análisis de Resistencia al impacto

En la tabla 13, se observan los resultados de esta prueba.

Aquí se observa que la soldadura realizada con los fundentes AS-200X y AS-502, en la cual, ambos contienen elementos aleantes como son Cr y Mo en diferentes proporciones, se observó, que la mayor resistencia al impacto es la soldadura realizada con el fundente AS-200X con un valor de 182.2 Joules, mientras que la

soldadura realizada con el fundente AS-502, el valor encontrado fue el más bajo de los tres, de 52.6 Joules, esta diferencia es debido a los diferentes porcentajes de los elementos que contiene cada fundente.

Para la soldadura realizada con el fundente AS-200B3 que también contiene Cr Mo, pero en mayor cantidad de Mo respecto a los otros dos, se observa que es más dura pero también más frágil que la soldadura realizada con el fundente AS-200X.

4.2.7 Análisis de la dureza

La dureza se determinó en las zonas de las soldaduras de los tres fundentes y se muestran en la tabla siguiente:

Zona seleccionada	AS-200X	AS-200B3	AS-502
Soldadura	156.67	225.03	301.59
ZAC	153.72	166.62	163.50
MB	144.73	165.99	159.64

Por último podemos concluir que en las tres probetas se tiene la máxima dureza en la soldadura y de estas la que tiene la mayor dureza es la soldadura con el fundente AS-502 con 301.59. y la dureza mínima la tiene la soldadura con el fundente AS-200X con 156.67. el intermedio es la soldadura con el fundente AS-200B3 con 225.03

4.2.8 Análisis de propiedades mecánicas de probetas cilíndricas

En éste análisis vamos a comparar las propiedades de las probetas de soldadura cilíndricas, como se muestra en la figura 6.

En la tabla No. 8 se puede ver el valor del esfuerzo de tensión de la soldadura con el fundente AS-200X, que tiene 205.5 MPa. y la soldadura con el fundente AS-200B3 que tiene una resistencia a la tensión de 268.22 MPa. y la soldadura con el fundente AS-502 que tiene 322.35 MPa. que como se puede observar la soldadura con el fundente AS-200X tienen el menor valor del esfuerzo a la tensión, esto era lo que se esperaba, debido a su composición química, es decir, que el fundente AS-200B3 y el AS-502 tienen elementos aleantes, Cr y Mo, que mejoran la resistencia a la tensión, mayor dureza, pero son más frágiles.

También se puede observar en esta tabla, No. 8, que el porcentaje de elongación de la soldadura con el fundente AS-200X que tiene el valor máximo con 36.4%, después le sigue la soldadura con el fundente AS-200B3 con 20% y por ultimo la soldadura con el fundente AS-502 con un valor de 14.7%. Para estas soldaduras también se observa el mismo comportamiento que en las probetas rectangulares corroborándose los resultados.

4.2.9 Ataque con Nital

Resultados Metalográficos de las soldaduras con los fundentes AS-200X, AS-200B3 y AS-502 Atacados con Nital:

Con relación a los resultados de las microestructuras se analizaron de la siguiente manera, para la probeta AS-200X atacado con Nital, en las figuras. 22 (Metal

base), 23 (ZAC) y 24 (soldadura). Se observa que en las tres zonas se tiene Ferrita y Perlita en proporciones diferentes, modificando así sus propiedades mecánicas, en este caso la zona de fractura se localizó (Z.A.C.).

En la microestructura de la soldadura con el fundente AS-200B3 mostrada en las figuras 25 (MB), 26 (ZAC) y 27 (soldadura), se puede observar una variación del tamaño de grano en la Ferrita y Perlita que se encuentran en las tres zonas, variando así, también sus propiedades mecánicas, la fractura se localizó en el metal base, ya que en este caso la soldadura con el fundente AS-200B3 tiene elementos aleantes 2.3 % Cr y 1.1 % Mo, generando una mayor resistencia a la tensión en la soldadura y (Z.A.C.).

La microestructura observada para la probeta AS-502, se puede ver en las figuras 28 (MB) , 29 (ZAC) y 30 (soldadura). En estas micrografías también se muestra una variación del tamaño de grano de Ferrita y Perlita que se presentan en las tres zonas, en la figura 28 (MB) se observan granos blancos irregulares (ferrita) en mayor cantidad y pequeñas manchas oscuras perlita.

En la figura 29 (ZAC) se observa que el tamaño de grano es más pequeño, porque existe una recristalización. En la figura 30 se observa un grano muy fino de Ferrita y Perlita, además que esta soldadura contiene elementos aleantes de 5.2 % Cr y 0.6 % Mo mejorando la resistencia a la tensión y dureza, razón por la cual la zona de fractura fue en el M.B.

En las siguientes dos tablas se muestra el porcentaje de Ferrita y Perlita en la ZAC y en la soldadura básicamente de las tres probetas.

Probeta	%Ferrita (ZAC)	%Perlita (ZAC)
AS-200X	77.77	22.22
AS-200B3	76.67	21.17
AS-502	68.33	31.67

Probeta	%Ferrita (Soldadura)	%Perlita (Soldadura)
AS-200X	70	30
AS-200B3	47.05	47.84
AS-502	50.19	42.15

4.2.10 Ataque con ácido tartárico

Los resultados de la microestructura de las soldaduras con los fundentes AS-200X, AS-200B3 y AS-502 atacados con ácido tartárico.

El ácido tartárico como se dijo anteriormente es para detectar inclusiones. Con respecto a la soldadura con el fundente AS-200X, en las figuras 31 (MB), 32 (ZAC) y 33 (soldadura). Se pueden observar las inclusiones en las tres micrografías, solo que en la soldadura, se presentan más pequeñas, ocasionando con esto que disminuyera las propiedades mecánicas.

En relación con la soldadura con el fundente AS-200B3 en las figuras 34(MB) y 35 (ZAC), se observan inclusiones que perjudican las propiedades del acero y en la figura 36 (soldadura) , se muestran pequeñas inclusiones.

Con respecto a la microestructura de la soldadura AS-502 en las figuras 37 (MB), 38 (ZAC) y 39 (soldadura) se muestran inclusiones de diferentes tamaños y formas.

En la siguiente tabla nos muestra el porcentaje de inclusiones en las zonas:

(ZAC) y soldadura de las tres probetas.

Probeta	%Inclusiones (ZAC)	%Inclusiones (Soldadura)
AS-200X	1.98	5.75
AS-200B3	3.26	17.64
AS-502	4.39	2.083

4.2.11 Ataque con Solución A Solución B

Los resultados de la microestructura de las soldaduras con los fundentes AS-200X, AS-200B3 y AS-502 atacados con solución A y solución B.

Como ya se menciona anteriormente, las soluciones A y B sirven para detectar la Ferrita (clara), la Perlita (obscura) y la Martensita (bronceada).

La microestructura de la soldadura con el fundente AS-200X se observan en las figuras 40 MB, 41 ZAC y 42 soldadura.

En estas figuras se aprecian la Ferrita (clara), la Perlita (obscura) y Martensita (bronceada), pero en diferentes tamaños de grano.

La microestructura de la soldadura con el fundente AS-200 B3 se observan en las figuras 43 MB, 44 ZAC y 45 soldadura.

En la figura 43 se aprecia la Ferrita (obscura, granos grandes), la Perlita (clara, granos chicos) no hay Martensita.

En la figura 44 se aprecia Ferrita (clara, granos grandes), Perlita (obscura, granos chicos e impurezas).

En la figura 45 se aprecian Dendritas (Ferrita, Perlita, inclusiones y poros) y Martensita (bronceada).

La microestructura de la soldadura con el fundente AS-502 B3 se observan en las figuras 46 MB, 47 ZAC y 48 soldadura.

En la figura 46 se aprecia Ferrita (clara, granos grandes) y Perlita (obscura, granos chicos).

En la figura 47 se observa Ferrita (clara, granos grandes) y Perlita (obscura, granos chicos alargados).

En la figura 48 se aprecia Dendritas (Ferrita, Perlita, inclusiones y poros).

4.2.12 Análisis de la soldadura de los fundentes AS-200B3 y AS-502

En las soldaduras con los fundentes AS-200B3 y AS-502 son soldaduras que tienen elementos aleantes, la soldadura AS-200B3 sus elementos aleantes son:

2.3 % Cr. Y 1.1% Mo y para el caso de la soldadura del fundente AS-502 sus elementos aleantes son: 5.2% Cr. y 0.6% Mo.

Para ambas soldaduras se trata de mejorar la composición del material aunque no siempre se logra, y esto trae como consecuencia un mejoramiento a sus propiedades mecánicas (resistencia a la tensión, mayor dureza, mayor resistencia al impacto) teniendo además mayor resistencia a la corrosión.

Cabe hacer mención que de estas dos soldaduras la que tuvo mejores propiedades mecánicas es la soldadura para el fundente AS-502 por tener mayor porcentaje de cromo ya que como sabemos las propiedades de los aceros al carbono y muchos de aleación se alteran con elementos residuales, en particular níquel, cromo y molibdeno aunque su cantidad esté limitada.

CAPITULO 5

5.1 CONCLUSIONES

Del trabajo experimental realizado (efecto de propiedades mecánicas, metalografía, medición de dureza y medición de impacto) se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. Existe transferencia de los elementos del fundente hacia la soldadura.
2. Se identificó la acción elementos aleantes de los tres fundentes, en el AS-200X no tienen elementos aleantes; en el AS-200B3 los elementos aleantes son el Mo y el Cr; en el AS-502 también tiene los mismos aleantes, pero con la diferencia que en este fundente los tiene en un porcentaje mayor.
3. En el fundente AS-502 es el que tiene mejores propiedades mecánicas (mayor resistencia a la tensión, mayor dureza y mayor resistencia al impacto), porque contiene mayor porcentaje de Cr y Mo.
4. Las soldaduras que contienen Cr y Mo presentan mayor resistencia al ataque químico.

5.2 BIBLIOGRAFÍA

- 1- Apuntes de UTP, Cap. 5, pags. 1-20
- 2- A. P. Guliáev , Metalografía Tomo 1,2, Segunda Edición, Mir Moscu, Cap. 1,2,3, pags. 11-85.
- 3- George L. Kehl, Fundamentos de la Practica Metalográfica, Tercera Edición, Editorial Aguilar, Cap.1,2,3, pags. 3-148.
- 4- George E. Dieter, JR, Metalurgia mecánica, Editorial Aguilar. Cap.1, 2, 3, pags. 3- 82.
- 5- V . Zolotorevski, Pruebas mecánicas y propiedades de los metales, Editorial Mir Moscú, Cap.1, 2, 3, 7 pags. 7- 72 , 233 – 258.
- 6- William C. Moffatt, George W. Pearsall, John Wulf, Estructura, Editorial Limusa
- 7- Normas AWS 5.17
- 8- Norma ASTM AS-370
- 9- Metals Handbook, Vol 7. Atlas of microstructures of industrial alloys, 8th Edition pags. 3- 20.
- 10- José María Lasheras y Esteban, Tecnología del acero, Tercera Edición, Editorial Cedel.
- 11- Donald R. Askeland, Ciencia e ingeniería de los materiales, Tercera Edición,. Editorial Thomson
- 12.-Pat L. Mangonon, Ph. D., P.E., FASM, Ciencia de materiales selección y diseño, Primera Edición, Editorial Pearson Educación.
- 13-Henry Horwitz, P.E. Soldadura: Aplicaciones y Práctica, Editorial Alfa Omega 1997. Cap 5, pags 110,123.