

11161

2.  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

DESARROLLO DE NUEVOS FUNDENTES PARA  
SOLDADURA DE ACEROS DE MEDIO CARBONO  
MEDIANTE LA TÉCNICA DE ARCO SUMERGIDO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRIA EN INGENIERIA**  
*(Metalmeccánica)*  
**PRESENTA:**  
**ANA MARIA PANIAGUA MERCADO**

1995

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 está 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.

Dedico con mucho cariño este trabajo  
a mi esposo Paulino por su comprensión y apoyo,  
a mis hijos Roxanna y Paul así como a mi mamá  
por el apoyo tan grande que siempre me ha dado.

EALLA DE ORIGEN

## **H. JURADO ASIGNADO**

<b>Presidente</b>	<b>Dr. José Antonio Barrera Godínez</b>
<b>Vocal</b>	<b>Dr. Jaime Hinojosa Torres</b>
<b>Secretario</b>	<b>M. en C. Tomás Rangel Ortiz</b>
<b>Primer suplente</b>	<b>M. en I. Marco Antonio Alarcón Ramírez</b>
<b>Segundo suplente</b>	<b>M. en C. Raul Angel Lucido de la Parra</b>

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
CENTRO DE ASIMILACION TECNOLOGICA**

**SUSTENTANTE:**

**Ing. Ana María Paniagua Mercado.**

**DIRECTOR DE LA TESIS:**

**Dr. Jaime Hinojosa Torres.**

## INDICE

Introducción	1
Capítulo I	2
1.1 Descripción de la técnica	2
Capítulo II	4
Experimentación	4
2.1 Descripción del proceso	5
2.2 Análisis elemental por rayos X	6
2.3 Diseño y fabricación de las probetas	8
2.4 Aplicación de la técnica	9
2.5 Caracterización de la soldadura	10
Capítulo III	12
Resultados	12
3.1 Prueba de tensión	12
3.2 Macrografías	18
3.3 Durezas	23
3.4 Micrografías	23
Capítulo IV	40
Análisis de resultados	40
4.1 Pruebas de tensión	40
4.2 Medidas de dureza	41
4.3 Macroestructuras	43
4.4 Microestructuras	43
Capítulo V	45
Conclusiones	45
Bibliografía	47

## INTRODUCCION

La técnica de soldadura con arco sumergido utiliza como cubierta protectora del arco un material fundente. Los fundentes han sido definidos según los comités internacionales de soldadura como materiales minerales fusibles y granulares. Estos varían en composición dependiendo del tipo de acero que se va a soldar.

Los fundentes son mezclas de óxidos como: óxido de manganeso; óxido de titanio; óxido de silicio; óxido de aluminio; óxido de calcio; óxido de circonio; óxido de magnesio.

Henry Horwitz establece que los fundentes resuelven en gran parte los problemas de estabilización del arco, ya que el fundente es un material que se evapora formando una barrera protectora en torno del arco y de la soldadura impidiendo que el oxígeno y el nitrógeno del aire formen óxidos y nitruros con el metal soldado [1].

La fabricación de fundentes para arco sumergido en México es limitada, ya que se cuenta con muy pocas compañías nacionales que se dedican a la fabricación de este tipo de materiales. La mayor parte de los fundentes empleados en la industria son de importación, ya que los que en México se fabrican no abastecen el mercado; y además, su calidad no es competitiva con los de importación. Debido a lo anterior el objetivo de este trabajo fué desarrollar nuevos fundentes aplicables en la técnica de soldadura con arco sumergido a un acero de medio carbono. Para el desarrollo de dichos fundentes se diseñaron tres formulaciones por el proceso de fundentes sinterizados aglomerados.

# CAPITULO I

## 1.1 DESCRIPCION DE LA TECNICA

La soldadura con arco sumergido es una técnica en la cual el calor para soldar es suministrado por un arco eléctrico entre un electrodo y una pieza de trabajo. El arco es protegido por una capa de fundente que cubre el metal fundido y el metal base en la unión. El calor generado funde: el electrodo; el fundente; el metal base, formandose una pileta de material líquido en la junta.

En operación continua el fundente es depositado en forma granular arriba del arco. Posteriormente, el fundente sin fundir es removido por succión para ser reutilizado.

Generalmente los fundentes para arco sumergido son formulados para controlar la transferencia de elementos metálicos al metal soldado; ya que, los óxidos y las ferroaleaciones que este contiene modifican las propiedades mecánicas y la microestructura de la soldadura depositada.

De acuerdo a la composición química del fundente estos pueden ser ácidos, neutros, semibásicos y básicos, pudiéndose comprobar lo anterior a través del índice de basicidad BI el cual es calculado por medio de la ecuación de Tulian; ecuación 1. Esta ecuación usa unidades de por ciento en peso del contenido de Ca, Mg, K, Na, Li, Mn, Fe, Si, Al, Ti, Zr, como óxidos principalmente:

$$BI = \frac{CaO+CaF_2+MgO+K_2O+Na_2O+Li_2O+\frac{1}{2}(MnO+FeO)}{SiO_2+\frac{1}{2}(Al_2O_3+TiO_2+ZrO_2)} \quad (1)$$

<b>CLASIFICACION DE LOS FUNDENTES DE ACUERDO AL BI</b>	
FUNDENTES	BI
ACIDOS	1
NEUTROS	1-1.5
SEMIBASICOS	1.5-2.5
BASICOS	más de 2.5

**Tabla I.** Categorías composicionales para fundentes utilizados en soldadura por arco sumergido.

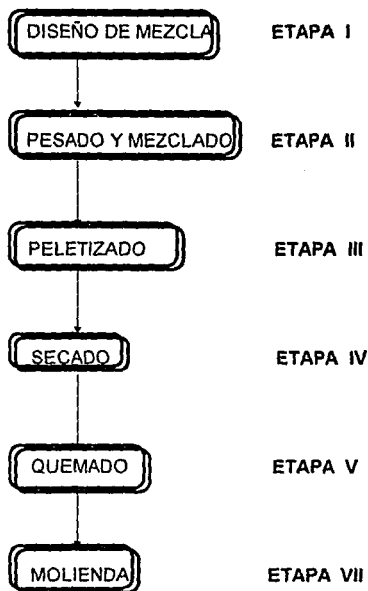
Si incrementamos la basicidad se reduce el contenido de oxígeno en la interfase soldadura metal a un mínimo cuando se tienen valores de BI más grandes que 1.5. A medida que los niveles de oxígeno disminuyen, el número de inclusiones en la soldadura tiende a bajar. El BI es importante porque el tipo de fundente influye en las características de la soldadura; ya que, cuando se tienen fundentes ácidos se obtienen excelentes características en soldadura como: estabilidad de arco; separación del arco. Sin embargo, los fundentes ácidos producen una concentración alta de inclusiones en la soldadura y pobre resistencia al impacto. Fundentes básicos producen soldaduras con excelente resistencia al impacto pero pobres características de soldadura. Los fundentes semibásicos han ganado popularidad como arreglos de trabajo los cuales combinan las ventajas del fundente ácido y básico.

Los datos sobre la composición, el ancho y la profundidad del fundente son las variables con la menor cantidad de datos publicados disponibles; ya que la información sobre los efectos de la composición están basados en la especulación.



## CAPITULO II EXPERIMENTACION

Los tres fundentes desarrollados en este trabajo fueron preparados por una de las tres formas existentes para la fabricación de fundentes para soldadura por arco sumergido. La forma utilizada fué la de fundentes enlazados; la cual consiste de seis etapas de preparación:



**Tabla II.** Diagrama de flujo del proceso de fabricación de los fundentes.

## 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### 2.1.1 Diseño de las mezclas

Las mezclas fueron diseñadas químicamente como una modificación de:

i) La composición química de fundentes que están siendo utilizados actualmente.

ii) Las formulaciones químicas que para este tipo de materiales se encuentran en algunos trabajos de investigación [6, 7, 8 y 10] y procesos de soldadura [4, 9]

### 2.1.2 Pesado y mezclado

Se pesaron los materiales en una balanza mecánica de precisión marca OHAUS con capacidad para tres kilogramos. Posteriormente se mezclaron mecánicamente en una cámara vibratoria durante quince minutos.

### 2.1.3 Peletizado

Las tres mezclas que pasaron por la etapa II fueron nodulizadas en un peletizadora, misma que fué construida en el laboratorio para este fin. La peletizadora tiene un diámetro de ochenta centímetros y una profundidad de veintiocho centímetros. La inclinación utilizada en la peletizadora fué de 45° y el giro de ésta fué de cuarenta rpm. Durante el proceso y al inicio del mismo se agregó silicato de sodio líquido como agente aglomerante, obteniéndose nódulos pequeños con un diámetro de 5 mm en promedio.

#### 2.1.4 Secado

Una vez peletizadas las tres mezclas, éstas fueron colocadas en charolas metálicas y calentadas en una estufa eléctrica a 200°C durante 24 horas con objeto de asegurar el secado total de los nódulos.

#### 2.1.5 Quemado

Después de la etapa IV, las mezclas fueron quemadas a una temperatura de 950°C por un período de tres horas. El objetivo de esto es eliminar la materia orgánica y la humedad en las mismas y formar un ligando más fuerte entre las partículas con el silicato de sodio. Esta etapa se realizó con la ayuda de un horno de gas en el que para alcanzar la temperatura indicada se prefijó una rapidez de calentamiento de 50°C por hora.

#### 2.1.6 Molienda

Una vez calcinadas las mezclas éstas se sometieron a una reducción de tamaño mediante el uso de un molino. El tamaño de las partículas fué de 240  $\mu\text{m}$  en promedio.

### 2.2 ANALISIS ELEMENTAL POR RAYOS X

Una vez preparados los fundentes con las características deseadas, éstos fueron analizados por difracción y fluorescencia de rayos X; encontrándose que los óxidos de los fundentes se sitúan proporcionalmente dentro de los siguientes rangos y constituyen a la vez las fases mineralógicas que a continuación se mencionan.

TIPO DE FUNDENTE			
OXIDOS	A	B	C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.20	3	29
SiO <sub>2</sub>	52	44	15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.5	6	3
K <sub>2</sub> O	0.9	0.11	0.31
Na <sub>2</sub> O	0.86	0.09	0
CaO	12	20	31
MnO	20	17	31
MgO	0	6	1.2
TiO <sub>2</sub>	0	2.1	18.4

**Tabla III.** Contenido de óxidos de los fundentes en por ciento en peso.

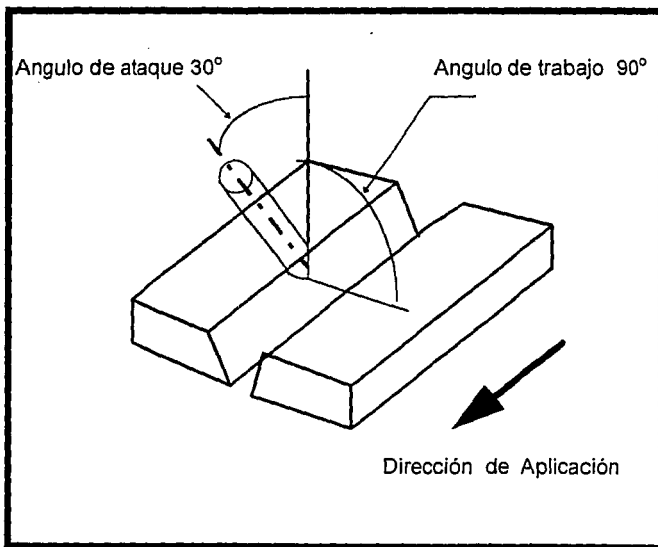
FORMULA	NOMBRE
NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	nefelina sintética
Ca <sub>19</sub> Al <sub>11</sub> Mg <sub>2</sub> Si <sub>16</sub> O <sub>66</sub> (OH) <sub>9</sub>	vesuvianita
SiO <sub>2</sub>	cuarzo sintético
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	hausmanita sintética
5Ca.3SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	silicato de calcio hidratado
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	corundo
CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> .4H <sub>2</sub> O	gismodina
TiO <sub>2</sub>	rutilo
TiO <sub>2</sub>	anatasa

**Tabla IV.** Compuestos mineralógicos en los fundentes.

## 2.3 DISEÑO Y FABRICACION DE LAS PROBETAS

### 2.3.1 Preparación para la soldadura

Se cortaron varias placas de acero AISI-1025 con dimensiones 25 x 6 x 1.3 cm, las cuales se biselaron por un extremo para posteriormente ser soldadas por la parte biselada mediante la técnica de arco sumergido.



**Figura 1.** Colocación del electrodo para soldadura por arco sumergido en posición plana.

## 2.4 APLICACION DE LA TECNICA

Para la aplicación de la técnica por arco sumergido se realizaron los siguientes pasos:

i) Se colocó el fundente en la estufa eléctrica durante 24 horas para eliminar la humedad.

ii) Se limpiaron las placas dejandolas libres de polvo y grasa en los extremos a soldar.

iii) Se utilizó una máquina automática longitudinal de línea C marca LINCOLN ARC WELDER que trabaja con un transformador de dos cabezales; dicha máquina es utilizada industrialmente en la fabricación de productos que van soldados por medio de arco sumergido. Se colocaron las placas en la línea de soldadura de la máquina con la ranura hacia arriba y el fundente a probar cubriendo la placa; ver Figura 1. Enseguida se deslizó lentamente el electrodo para ir fundiendo y llenando la ranura de soldadura.

Una vez terminado el proceso de soldadura, se procedió a eliminar la escoria que se formó sobre el cordón de la soldadura mediante leves golpes.

La soldadura se aplicó bajo las siguientes condiciones de operación de la máquina :

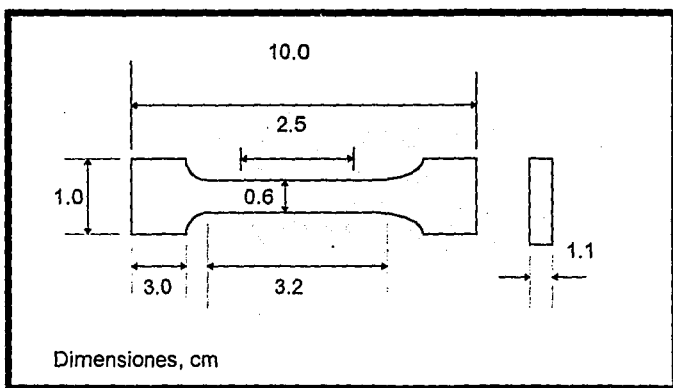
voltaje	30 V
corriente	600 amp
velocidad de soldado	71.12 cm/min
electrodo	B-16

**Tabla V.** Condiciones de operación de la máquina y tipo de electrodo usado.

## 2.5 CARACTERIZACION DE LA SOLDADURA

Después de soldadas las placas se cortaron muestras para pruebas de: Tensión; dureza; análisis metalográfico.

i) Se maquinaron veinte probetas para la prueba de tensión, según norma E8M-86A de ASTM, las probetas se cortaron perpendicularmente al cordón soldado de tal forma que la unión quedara en el centro de la probeta; ver Figura 2. Las probetas se ensayaron en una máquina universal marca SHIMADZU modelo UMH-20 con capacidad máxima de 20 toneladas. En las pruebas se utilizaron cargas de 5 y 10 toneladas.



**Figura 2.** Esquema de la probeta utilizada para las pruebas de tensión según norma E8M-86A de ASTM.

ii) Para las medidas de dureza se cortó una probeta rectangular de cinco centímetros de longitud con la zona soldada en la parte central para cada par de placas soldadas. Se pulió una de las caras a espejo y posteriormente se atacó con Nital al 3%. La carga de prueba se determinó mediante la curva de Meyer encontrándose para dicha carga el valor de 3 kilogramos. Se hicieron medidas a lo largo de las probetas y en la zona de soldadura.

iii) Las probetas cortadas para las medidas de dureza se emplearon también en el análisis metalográfico para observar las diferentes zonas que componen la soldadura; ver Figuras 7, 8, 9, 10.



# CAPITULO III

## RESULTADOS

### 3.1 PRUEBA DE TENSION

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de tensión realizadas a las placas de acero AISI 1025 soldadas con ayuda de los fundentes de prueba A, B, C y el fundente comercial T. Los parámetros evaluados son: Esfuerzo máximo de tensión ( $S_{max}$ ); esfuerzo en el límite elástico ( $S_{le}$ ); esfuerzo de ruptura ( $S_{rup}$ ); por ciento de elongación ( $\delta$ ); por ciento de reducción de área ( $\psi$ ). Dichos parámetros son los obtenidos directamente de la curva esfuerzo deformación ingenieril<sup>(11)</sup>.

	<b>S<sub>max</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>S<sub>le</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>S<sub>rup</sub></b> <b>(MPa)</b>	<b>δ</b> <b>(%)</b>	<b>ψ</b> <b>(%)</b>
fundente A	404	173	336	22	47
fundente B	410	164	347	23	51
fundente C	512	260	435	19	36
fundente T	564	279	481	19	43

**Tabla VI.** Parámetros obtenidos en las pruebas de tensión realizadas en placas de acero AISI 1025 soldadas con diferentes fundentes. Curva esfuerzo deformación ingenieril.

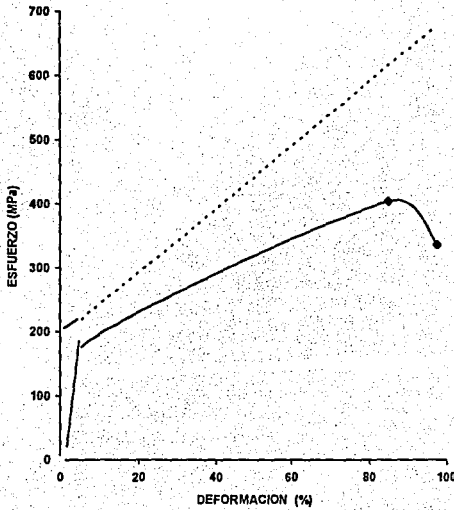
Los parámetros reales como: esfuerzo máximo ( $\sigma_{max}$ ); esfuerzo en el límite elástico ( $\sigma_e$ ); deformación a la ruptura ( $\epsilon$ ); módulo de Young (E); son mostrados en la siguiente Tabla.

	$\sigma_k$ (MPa)	$\sigma_{rup}$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	E (MPa)
Fundente A	210	676	59	4022
Fundente B	201	725	74	3808
Fundente C	309	793	46	4176
Fundente T	332	843	56	3932

**Tabla VII.** Parámetros obtenidos en las pruebas de tensión realizadas en placas de acero AISI 1025 soldadas con diferentes fundentes. Curva esfuerzo deformación real.

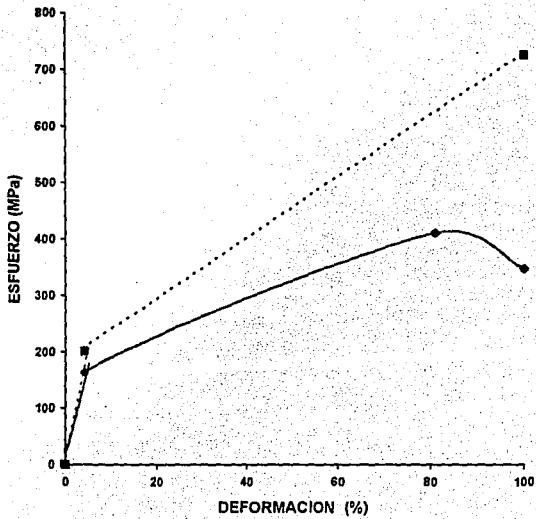
A continuación se muestran las gráficas de los datos con la finalidad de observar el comportamiento que tuvieron las placas en tensión soldadas con ayuda de cada uno de los fundentes mencionados. En las gráficas se pueden observar dos curvas; la de esfuerzo deformación ingenieril (línea continua) y la de esfuerzo deformación real (línea punteada).

### FUNDENTE A



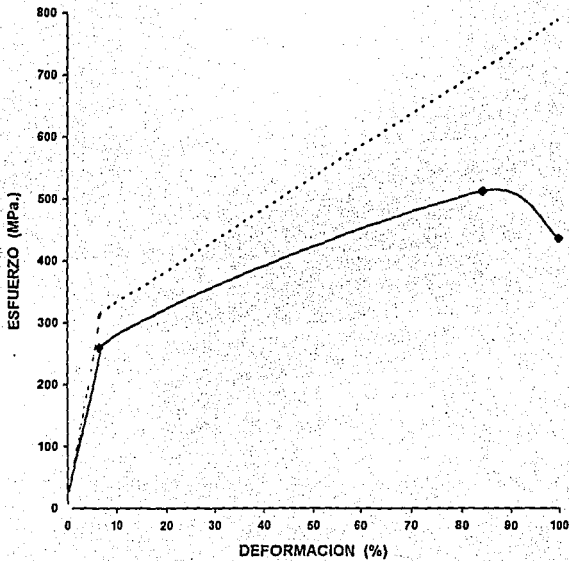
**Figura 3.** Curvas esfuerzo deformación ingenieril (línea continua) y esfuerzo deformación real (línea punteada) de las placas de acero AISI 1025 soldadas con el fundente A.

## FUNDENTE B



**Figura 4.** Curvas esfuerzo deformación ingenieril (línea continua) y esfuerzo deformación real (línea punteada) de las placas de acero AISI 1025 soldadas con el fundente B.

### FUNDENTE C



**Figura 5.** Curvas esfuerzo deformación ingenieril (línea continua) y esfuerzo deformación real (línea punteada) de las placas de acero AISI 1025 soldadas con el fundente C.

## FUNDENTE T

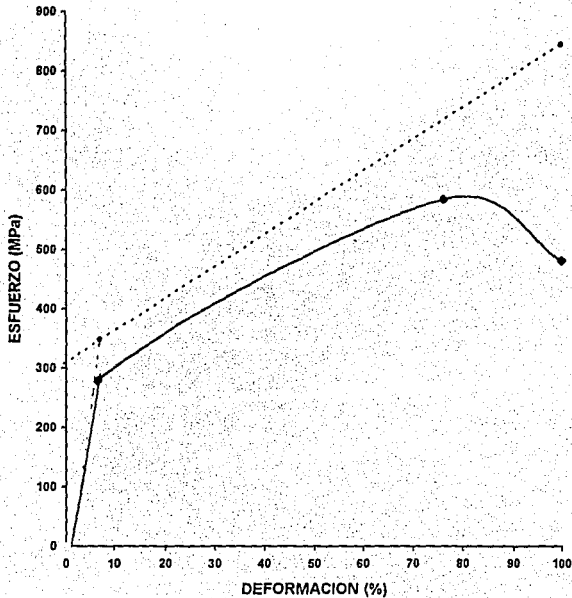


Figura 6. Curvas esfuerzo deformación ingenieril (línea continua) y esfuerzo deformación real (línea punteada) de las placas de acero AISI 1025 soldadas con el fundente T.

### **3.2 MACROGRAFIAS**

El estudio metalográfico mostró la existencia de cuatro zonas con diferente estructura; a saber:

- i) Zona I.  
Metal base.
- ii) Zona II.  
Zona calentada.
- iii) Zona III.  
Zona de grano grueso.
- iv) Zona IV.  
Zona de fusión.

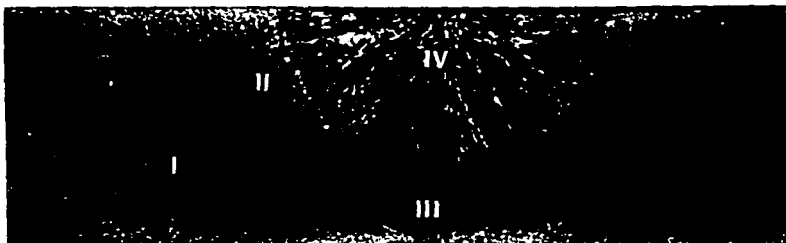
La siguiente serie de macrografías muestran la posición de las zonas mencionadas correspondientes a las placas soldadas con cada uno de los fundentes.



5 X

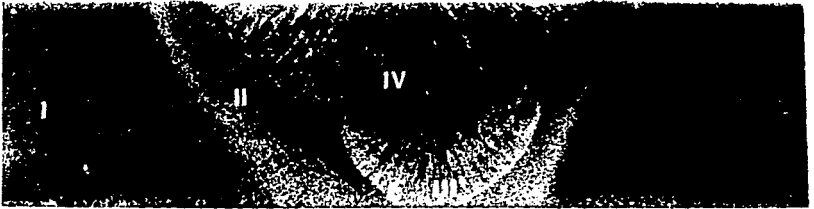
**Figura 7.** Macrografía de la soldadura por arco sumergido de placas de acero AISI 1025 utilizando el fundente A.





5 X

**Figura 8.** Macrografía de la soldadura por arco sumergido de placas de acero AISI 1025 utilizando el fundente B.



5 X

**Figura 9.** Macrografía de la soldadura por arco sumergido de placas de acero AISI 1025 utilizando el fundente C.



5 X

**Figura 10.** Macrografía de la soldadura por arco sumergido de placas de acero AISI 1025 utilizando el fundente T.

### 3.3 DUREZAS DE LAS ZONAS DE LA SOLDADURA

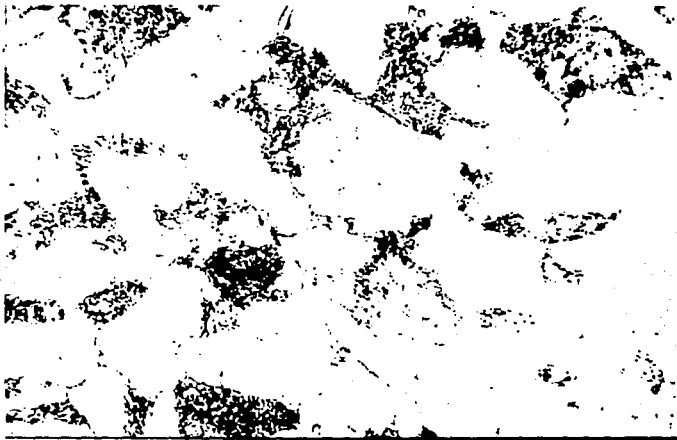
Las medidas de dureza fueron realizadas en las cuatro zonas mencionadas. Los resultados de dichas medidas se muestran en la Tabla siguiente.

	zona I (kg/mm <sup>2</sup> )	zona II (kg/mm <sup>2</sup> )	zona III (kg/mm <sup>2</sup> )	zona IV (kg/mm <sup>2</sup> )
Fundente A	135	149	162	157
Fundente B	144	153	160	155
Fundente C	135	146	170	158
Fundente T	149	161	177	169

Tabla VIII. Resultados de las medidas de dureza realizadas en las zonas I, II, III y IV de las placas soldadas utilizando los fundentes A, B, C y T.

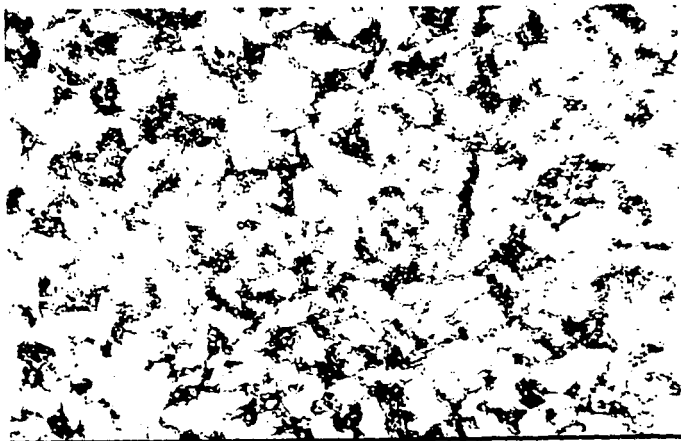
### 3.4 MICROGRAFIAS

Las Figuras 11, 12, 13 y 14 corresponden a las micrografías de las zonas I, II, III y IV respectivamente. Dichas micrografías fueron tomadas de las placas de acero AISI 1025 soldadas con ayuda del fundente A. Las Figuras 15, 16, 17 y 18 muestran las imágenes de las estructuras observadas en las zonas I, II, III y IV de las placas de acero AISI 1025 soldadas con ayuda del fundente B. Las Figuras 19, 20, 21 y 22 corresponden a las zonas I, II, III y IV respectivamente. Estas micrografías fueron tomadas de las placas de acero AISI 1025 soldadas utilizando el fundente C. Finalmente, las Figuras 23, 24, 25 y 26 muestran las imágenes de las estructuras observadas en las zonas I, II, III y IV respectivamente para las placas de acero AISI 1025 soldadas con ayuda del fundente T.



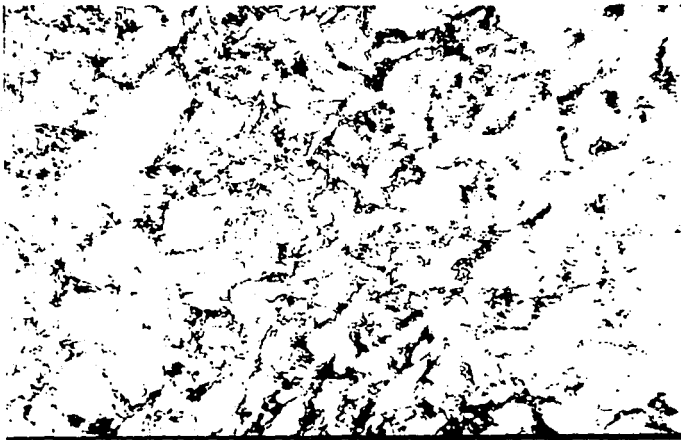
18  $\mu\text{m}$

**Figura 11.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente A. La imagen corresponde a la estructura del metal base. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zona clara) con un tamaño de 17  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se observa perlita (zonas oscuras).



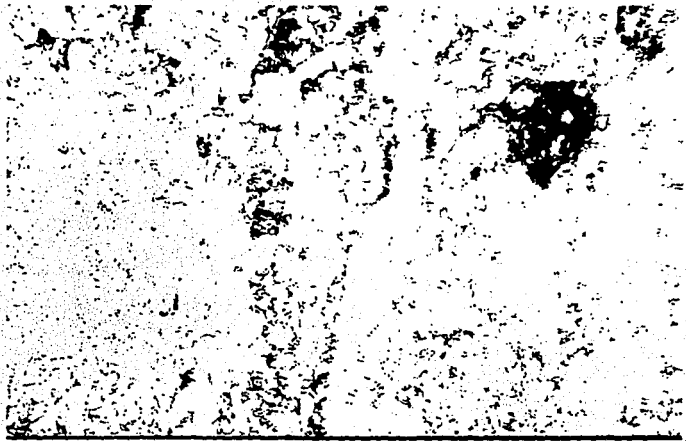
18  $\mu\text{m}$

**Figura 12.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente A. La imagen corresponde a la estructura de la zona calentada. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zona clara) con un tamaño de 7  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se observa perlita (zonas oscuras).



18  $\mu\text{m}$

**Figura 13.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente A. La imagen corresponde a la estructura de la zona de grano grueso. La micrografía muestra granos alargados de ferrita (zona clara) con carburos intragranulares. Las zonas oscuras podrían contener perlita y bainita.



18  $\mu\text{m}$

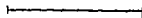
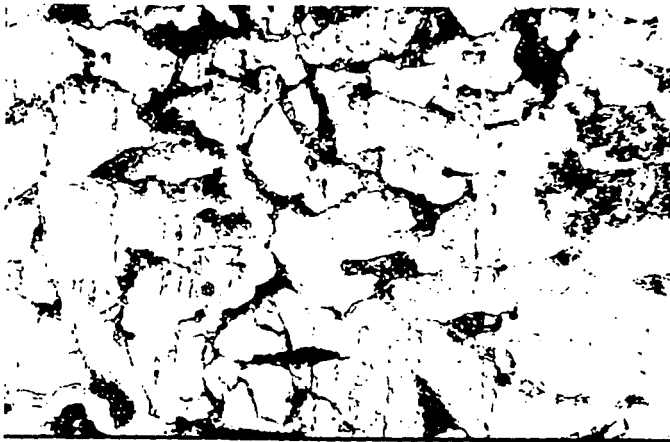
Figura 14. Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente A. La imagen corresponde a la estructura de la zona de fusión. La micrografía muestra una mezcla de granos grandes y pequeños de ferrita (zonas claras), que en realidad son parte de dendritas, con carburos intragranulares. En los límites de la ferrita se observan zonas oscuras probablemente de perlita y bainita.





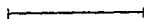
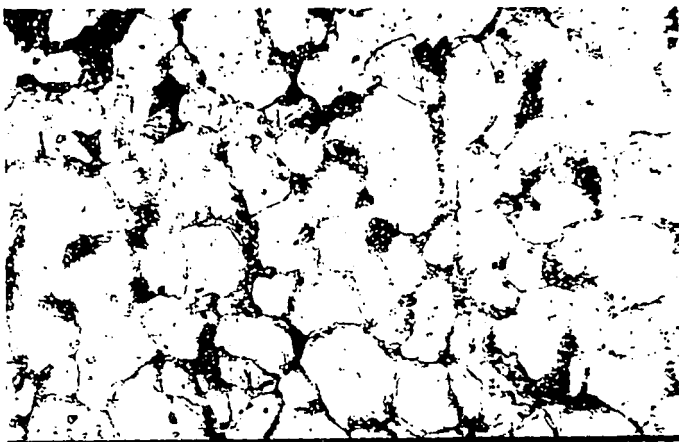
18  $\mu\text{m}$

**Figura 15.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente B. La imagen corresponde a la estructura del metal base. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se puede observar material de diferente composición química de estructura no resuelta.



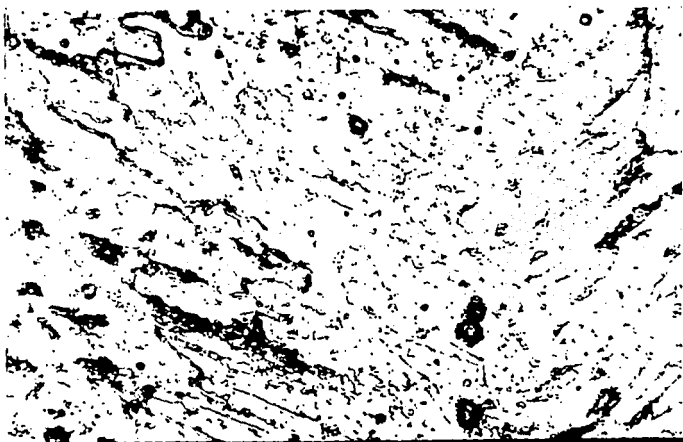
18  $\mu\text{m}$

**Figura 16.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente B. La imagen corresponde a la estructura de la zona calentada. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con un tamaño de 9  $\mu\text{m}$  en promedio conteniendo carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se observa material de distinta composición química de estructura no resuelta.



18  $\mu\text{m}$

**Figura 17.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente B. La imagen corresponde a la zona de grano grueso. En la imagen se observan granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con un tamaño de 13  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se observa material de diferente composición de estructura no resuelta.



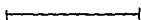
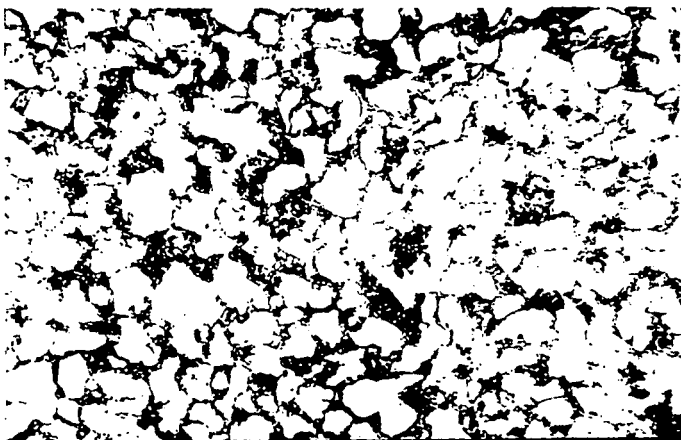
18  $\mu\text{m}$

**Figura 18.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente B. La imagen corresponde a la estructura de la zona de fusión. La micrografía presenta regiones amplias de ferrita (zonas claras), que en realidad son parte de dendritas, con carburos intragranulares. También se observa una segunda fase (zona oscura) que rodea la ferrita probablemente de carburos.



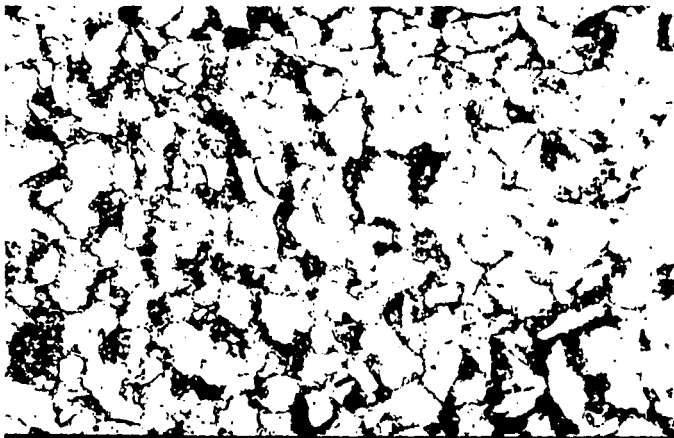
18  $\mu\text{m}$

**Figura 19.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente C. La imagen corresponde a la estructura del metal base. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con un tamaño de 16  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se observa material de diferente composición química que podría ser perlita.



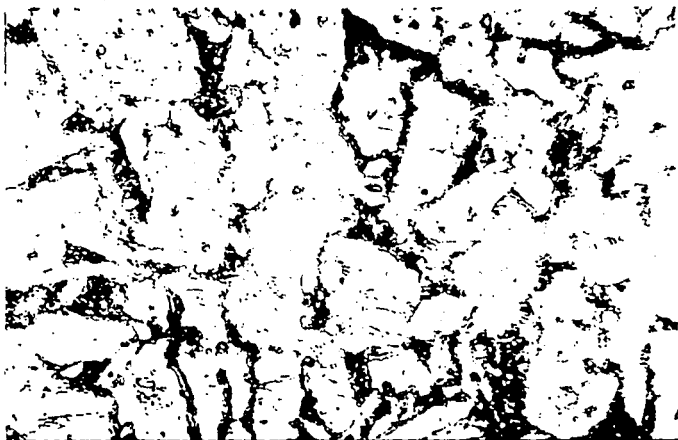
18  $\mu\text{m}$

**Figura 20.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente C. La imagen corresponde a la estructura de la zona calentada. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con un tamaño de 5  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se observa perlita.



18  $\mu\text{m}$

**Figura 21.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente C. La imagen corresponde a la estructura de la zona de grano grueso. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con un tamaño de 8  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En la zona intergranular puede observarse perlita y probablemente bainita.



18  $\mu\text{m}$

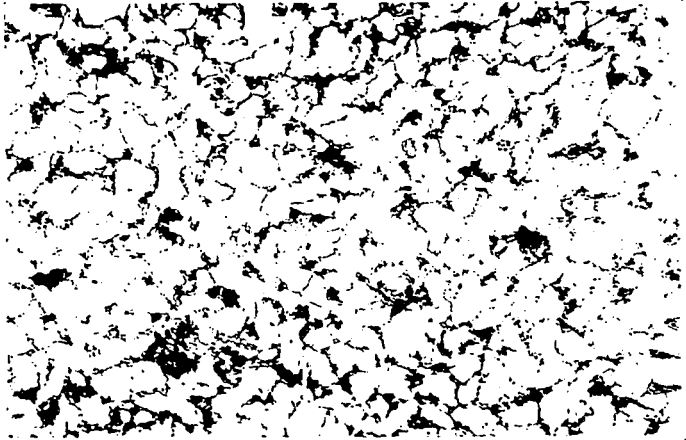
**Figura 22.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente C. La imagen corresponde a la estructura de la zona de fusión. La micrografía muestra granos grandes de ferrita (zonas claras), que en realidad son parte de dendritas, con carburos intragranulares. Las zonas intergranulares muestran material de diferente composición probablemente perlita y bainita.





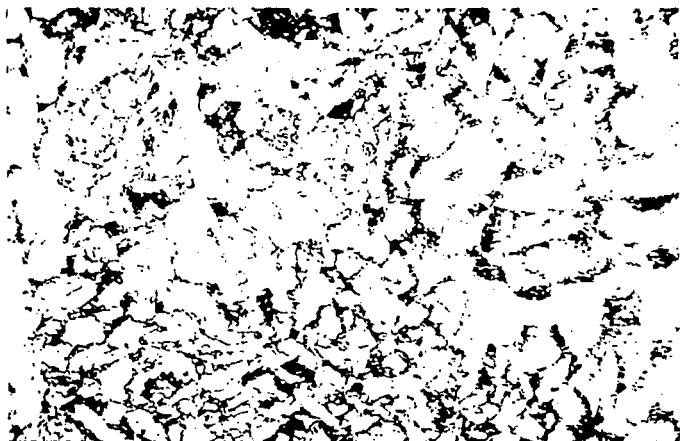
18  $\mu\text{m}$

**Figura 23.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente T. La imagen corresponde a la estructura del metal base. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con un tamaño de 17  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares puede notarse la presencia de perlita.



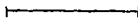
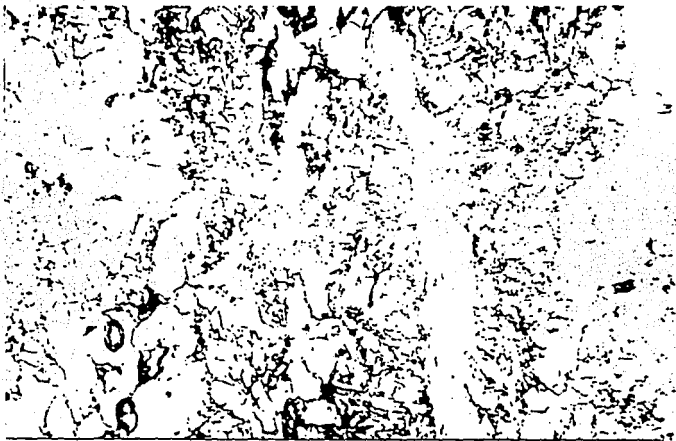
18  $\mu\text{m}$

**Figura 24.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente T. La imagen corresponde a la estructura de la zona calentada. La micrografía muestra granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con un tamaño de 6  $\mu\text{m}$  en promedio con carburos intragranulares. En las zonas intergranulares se observa perlita.



18  $\mu\text{m}$

**Figura 25.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente T. La imagen corresponde a la estructura de la zona de grano grueso. La micrografía muestra una mezcla de granos alargados y granos equiaxiados de ferrita (zonas claras) con carburos intragranulares. En la zona intergranular se observa material de distinta composición que podría ser una mezcla de perlita y bainita.



18  $\mu\text{m}$

**Figura 26.** Micrografía obtenida con microscopio óptico de la soldadura de un acero AISI 1025 soldado con arco sumergido empleando el fundente T. La imagen corresponde a la estructura de la zona de fusión. La micrografía muestra zonas grandes de ferrita (zonas claras), que en realidad forman parte de dendritas, con carburos intragranulares. Las zonas oscuras intergranulares podrían estar constituidas por perlita y bainita.

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS DE RESULTADOS**

Considerando los resultados de las pruebas mecánicas practicadas a las placas de acero soldadas con ayuda del fundente comercial T, a continuación se hace un análisis comparativo de los resultados de las pruebas mecánicas realizadas sobre placas del mismo acero soldadas con ayuda de los fundentes A, B y C preparados en el laboratorio.

#### **4.1 PRUEBAS DE TENSION**

En la Tabla VI se muestra los resultados de las pruebas de tensión. Aquí, puede observarse que los resultados obtenidos en las placas soldadas con ayuda de los fundentes A y B, tienen valores muy similares entre si pero menores a los obtenidos en placas soldadas con ayuda del fundente T. Los valores del esfuerzo y de la deformación reales muestran un incremento para las placas soldadas mediante el uso del fundente B respecto a aquellas soldadas con ayuda del fundente A. Es de notarse que las placas soldadas con ayuda del fundente B presentan el mayor porcentaje de deformación real y el menor valor para el esfuerzo en el límite elástico. Para las placas soldadas con ayuda del fundente C los resultados de las pruebas mostraron gran similitud con los tenidos cuando se empleó el fundente T. En cuanto a los valores del esfuerzo y de la deformación reales, las placas soldadas con ayuda del fundente C presentaron el menor porcentaje de deformación; mientras que, las placas soldadas con ayuda del fundente T mostraron el valor más alto en el esfuerzo a la ruptura real.

## **4.2 MEDIDAS DE DUREZA**

En cuanto a las medidas de dureza realizadas en la zona afectada por el calor en placas soldadas mediante el uso de los fundentes A y B, se observó una situación similar a la tenida con las pruebas de tensión; esto es, las placas soldadas con ayuda de los fundentes A y B mostraron menor dureza respecto a la de las placas soldadas usando el fundente T. A su vez, las placas soldadas con ayuda del fundente B mostraron una dureza mayor que la de las placas soldadas con ayuda del fundente A. Las medidas de dureza de las placas soldadas con ayuda del fundente C tienen valores muy próximos a los que se obtuvieron en placas soldadas con ayuda del fundente T. Si consideramos las durezas de las diferentes zonas, se puede observar que la mayor diferencia se tiene entre la zona de grano grueso y el metal base en las placas soldadas con ayuda del fundente C.

A continuación se presentan, en forma comparativa, las curvas esfuerzo deformación ingenieriles obtenidas en las pruebas de tensión para las placas soldadas mediante el uso de los fundentes A, B, C y T.

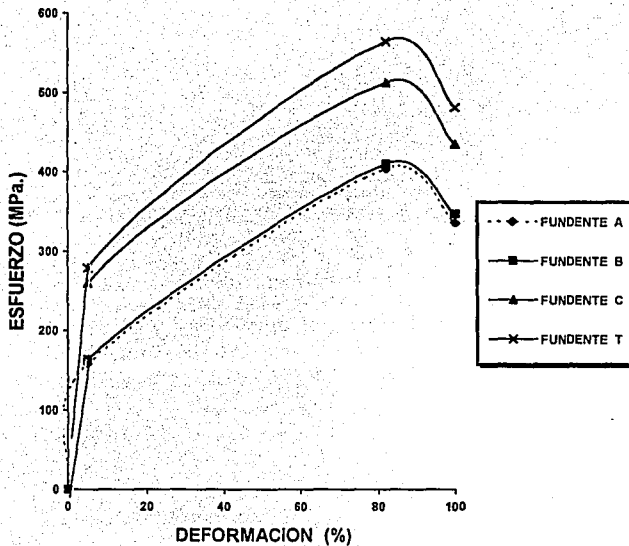


Figura 27.- Curvas esfuerzo deformación ingenieriles de las placas soldadas empleando los fundentes A, B, C y T.

### **4.3 MACROESTRUCTURAS**

Las macroestructuras de las soldaduras utilizando los fundentes A, B, C y T, son mostradas en las Figuras 7, 8, 9 y 10 respectivamente. En la macrografía de la placa soldada utilizando el fundente A se observa buena apariencia del cordón de la soldadura carente de grietas a simple vista; aquí, el tamaño de la zona afectada por el calor fué de 3.67 mm. Por otra parte, la Figura 8 muestra la soldadura empleando el fundente B. La velocidad de soldado utilizando el fundente B fué la misma que la velocidad de soldado utilizando el fundente A; sin embargo, el tamaño de la zona afectada por el calor empleando el fundente B fué de 3.27 mm, y, aunque no se observaron agrietamientos al interior del cordón de la soldadura aparecieron porosidades superficiales producto del atrapamiento de gases. La Figura 9 muestra la macroestructura de la soldadura hecha empleando el fundente C; la imagen de la macrografía no presenta agrietamientos y muestra un cordón de buena apariencia. La zona afectada por el calor utilizando el fundente C tuvo un tamaño de 3.82 mm. Finalmente, la Figura 10 muestra la macroestructura de la soldadura realizada con ayuda del fundente T, y, en esta imagen se observa que la zona afectada por el calor tiene un tamaño de 3 mm con una buena apariencia del cordón de soldadura libre de grietas y porosidades.

### **4.4 MICROESTRUCTURAS**

Las microestructuras que se observaron en las soldaduras utilizando los fundentes A, B, C y T, revelan la presencia de varias subzonas; a saber: zona de carburo esferoidizado, zona parcialmente transformada, zona de grano fino, transición de grano fina a grano grueso, área de grano grueso.



El metal base y la zona afectada por el calor muestran ferrita equiaxiada y perlita. La zona de grano grueso y fino presentan perlita y ferrita gruesa y fina con posible formación de martensita. En la zona de metal soldado se presenta ferrita en los límites de grano con algunas inclusiones de óxido, ferrita acicular y perlita. Estas estructuras están de acuerdo con los resultados obtenidos por A. Joarder [3]. En la siguiente Tabla se muestra el tamaño de grano promedio para cada una de las zonas.

	Zona I ( $\mu\text{m}$ )	Zona II ( $\mu\text{m}$ )	Zona III ( $\mu\text{m}$ )
Fundente A	17	7	13
Fundente B	18	9	14
Fundente C	16	5	12
Fundente T	17	6	13

**Tabla IX.** Tamaño de grano promedio en cada una de las zonas obtenidas en las placas de acero AISI 1025 soldadas con arco sumergido para cada uno de los fundentes.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

Después de haber realizado el análisis de los resultados de este trabajo, y, posterior a las discusiones generadas en torno a las posibilidades de mejorar la soldadura de los aceros de medio carbono, se establecen las siguientes conclusiones.

1.- Las placas de acero AISI-1025 soldadas con arco sumergido, empleando el fundente A, mostraron una adecuada constitución microestructural en la región de soldadura y muy baja porosidad; sin embargo, las cualidades mecánicas tensiles y de dureza fueron inferiores a las obtenidas cuando placas del mismo acero son soldadas empleando el fundente T usando la misma técnica.

2.- La inspección de las placas de acero AISI-1025 soldadas con arco sumergido, empleando el fundente B, mostró porosidad superficial en el cordón de soldadura, una apariencia burda y opaca del mismo, y una baja fluidez. Aunque mecánicamente los valores se asemejan a los reportados por las placas soldadas empleando el fundente A, éstos se encuentran muy por debajo de los que se obtuvieron cuando el fundente T fué utilizado.

3.- Las placas de acero AISI-1025 soldadas empleando la técnica de arco sumergido, utilizando el fundente C, presentaron propiedades mecánicas muy similares a las que se obtuvieron cuando se empleó el fundente T. La constitución microestructural de las zonas de la soldadura fué la misma que cuando el fundente T es empleado.

De las conclusiones anteriores emana la propuesta de intentar la aplicación del fundente C a otros tipos de acero cambiando los electrodos y ampliar su uso.

## BIBLIOGRAFIA

1. Henry Horwitz P. E., Soldadura: Aplicaciones y Práctica, Editorial Alfaomega, (1990).
2. N. Bailey, Submerged Arc Welding Ferritic Steel with Alloyed Metal Powder, Welding Research Supplement, 8, (1991) 187.
3. A Joarder, S. C. Saha et al. Study of Submerged Arc Weld Metals and Heat-Affected Zone Microestructure of plain carbon steel, welding Research Supplement, 6, (1991), 141.
4. Metals Handbook, Metallography and Microstructures, American Society for Metals, ninth edition, 9, (1989).
5. B.G. Renwick and B.M. Patchett, Operating Characteristics of the Submerged Arc Process, Welding Research Supplement, 69.
6. Clarence E. Jackson, Submerged Arc Welding Fluxes and Relation Among Process Variables, 73.
7. J. E. Indacochea, M. Blauder and S. Shah, Sumerged Arc Welding: Evidence for electrochemical effect on the weld pool, Welding Research Supplement, (1989), 77.
8. T.A. Siewert and G.L. Franke. Analysis and Characterization of Comercial Welding Fluxes, Welding Research Supplement, 7, (1990) 247.
9. Metals Handbook, Welding and Brazing, American Society for Metals, 8 th. edition 6, (1971).
10. J.H. Kim, R.H. Frost, D.L. Olson and M. Blander, Effect of electro chemical Reaction on Submerged Arc Weld Metal Composition, Welding Research Supplement, 12, (1990) 446.
11. Dieter George E. Mechanical Metallurgy, McGraw Hill, 2 th. edition, (1976).