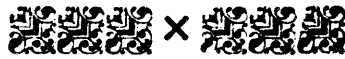


DJRe  
C.2



# Escuela Superior Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE  
LA PRODUCCION



“Soldabilidad del Acero Astm a 36  
con el Acero Aisi 304 Mediante el  
Proceso de Arco Sumergido”

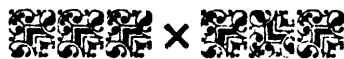
**TESIS DE GRADO**

Previa la **Obtención** del **Título** de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

**MARCELA AMERICA DURAN CAMACHO**



Guayaquil - Ecuador

Año . 1998



# **AGRADECIMIENTO**

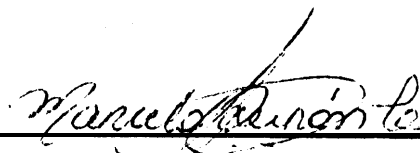
Al Sr. Ing. Omar **Serrano V.**  
Director de Tesis por su  
apoyo y colaboración para  
la realización de este trabajo.

# **DEDICATORIA**

**A Dios  
A mis padres.  
A mis hermanos.**

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad **del** contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”



---

MARCELA AMÉRICA DURAN CAMACHO

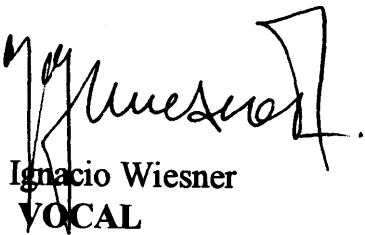
## TRIBUNAL DE GRADUACION



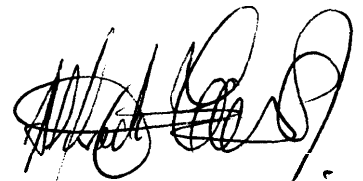
Ing. Eduardo Rivadeneira  
**DECANO DE LA FIMCP**



Ing. Omar Serrano V.  
**DIRECTOR DE TESIS**



Ing. Ignacio Wiesner  
**VOCAL**



Ing. Alfredo Torres  
**VOCAL**

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo **fundamental** el estudio del efecto de los parámetros de soldadura sobre la unión de dos materiales diferentes en sus propiedades: el acero ASTM A36 y el acero AISI 304, mediante el proceso de soldadura de arco sumergido.

Se analizará todo el proceso de soldadura y se desarrollarán las pruebas de soldadura para determinar la calidad de las uniones soldadas, mediante métodos de inspección **radiográfica**, ensayos de tracción y doblado, metalografía y dureza.

Finalmente en el desarrollo de este proyecto, se analizará todos los resultados obtenidos a través de los datos proporcionados en las pruebas de soldadura, para así evaluar la soldabilidad de los dos aceros, las características del cordón en la unión soldada, de como influye este proceso de soldadura de arco sumergido en las propiedades de los metales soldados y las aplicaciones de esta unión soldada en obras de ingeniería mecánica.

# INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	5
INDICE GENERAL .....	6
INDICE DE FIGURAS .....	8
INDICE DE TABLAS .....	10
INDICE DE ABREVIATURAS .....	11
INTRODUCCION .....	13
1. PROCESO DE SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO. ....	14
1.1 Soldabilidad del acero ASTM A36 .....	14
1.2 Soldabilidad del acero AISI 304 .....	17
1.3 Soldadura de arco sumergido.- Proceso. ....	20
1.4 Fundamentos de Soldadura de Arco Sumergido. ....	21
1.4.1 Efectos de los parámetros de soldadura en la unión soldada..	27
1.4.2 Fuentes de Poder. ....	36
1.4.3 Electrodo y fhdentes. ....	43
1.5 Soldadura de aceros inoxidable con aceros no <b>aleados</b> . ....	52
II .EXPERIMENTACION. ....	57
2.1 Materiales a utilizarse. ....	57
2.2 Equipo utilizado. ....	60
2.3 Efectos de los Parámetros de Soldadura sobre: .....	66



2.3.1	Microestructura.	66
2.3.2	Dilución.	70
2.3.3	Penetración.	75
2.3.4	Ancho del cordón de soldadura.....	79
2.3.5	Zona afectada por el calor.	79
2.4	Pruebas de Soldadura.	80
2.4.1	Inspección Radiográfica.	80
2.4.2	Ensayos de Tracción.	83
2.4.3	Ensayos de Doblado.	86
2.4.4	Metalografía.	88
2.4.5	Dureza.	96
III.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b>	100
Iv.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	105
	<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	107



## INDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1.1	Esquema del proceso de Soldadura por arco	
	Sumergido. ....	24
Figura 1.2	Efecto de variar el amperaje sobre la forma y penetración del cordón de soldadura. ....	30
Figura 1.3	Efecto de variar el voltaje del arco sobre la forma y penetración del cordón de soldadura. ....	31
Figura 1.4	Efecto de variar la velocidad de soldadura sobre la forma y penetración del cordón....,.....	34
Figura 1.5	Diferencia entre las formas de onda de ca convencionales y de onda cuadrada.....	42
Figura 1.6	Soldadura de una unión en V de un acero no aleado C-MN a un acero inoxidable.....	55
Figura 1.7	Esquema de soldadura del acero ASTM A36 y del acero AISI 304 en acueductos.....	56
Figura 2.1	Fuente de poder utilizada en la experimentación.. ....	63
Figura 2.2	<b>Máquina</b> de SAW utilizada en la experimentación.. ....	64
Figura 2.3	Equipo puesto en marcha.....	65
Figura 2.4	Zonas representativas del cordón de soldadura.....	72
Figura 2.5	Método para calcular la dilución en una soldadura.. ....	73

Figura 2.6 Curva de Dilución **versus** Calor Suministrado..... 74

Figura 2.7 Curva de Penetración **versus** Corriente..... 76

Figura 2.8 Curva de Penetración **versus** Voltaje..... 77

Figura 2.9 Curva de Penetración **versus** Calor Suministrado..... 78

Figura 2.10 Probetas para ensayo de tracción y doblado..... 85

Figura 2.11 Curva de Dureza **versus** Posición. Muestra #4..... 98

Figura 2.12 Curva de Dureza **versus** Pociión. Muestra #7..... 99

## INDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 2.1 Parámetros de Soldadura. ....	68
Tabla 2.2 Características del Material Depositado.....	69
Tabla 2.3 Resultados del Ensayo de Dureza.....	97

## INDICE DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Amperios, unidad de corriente.
<b>A/dm<sup>3</sup></b>	Amperios por decímetro cúbico.
<b>AISI</b>	Instituto Americano del hierro y el acero.
<b>Al</b>	Aluminio
<b>A/mm<sup>2</sup></b>	Amperio por milímetro cuadrado
<b>A/pulg<sup>2</sup></b>	Amperio por pulgada cuadrada
<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales
<b>AWS</b>	Sociedad Americana de Soldadura
<b>C</b>	Carbono
<b>°C</b>	Grados centígrados, unidad de temperatura
<b>ca</b>	Corriente alterna
<b>CaO</b>	Monóxido de Carbono
<b>CC</b>	Corriente continua
<b>cd</b>	Corriente directa
<b>Cu</b>	Cobre
<b>Cr</b>	Cromo
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit, unidad de temperatura
<b>FCAW</b>	Soldadura por arco con núcleo de fundente
<b>Fe</b>	Hierro
<b>Fig.</b>	Figura
<b>FUNASA</b>	Fundiciones Nacionales S.A.
<b>GMAW</b>	Soldadura por arco de metal y gas
<b>GTAW</b>	Soldadura por arco de tungsteno y gas
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua

# INTRODUCCION

El tema de estudio **escogido** para el desarrollo de esta tesis, tiene como objetivo primordial estudiar el efecto de los parámetros que actúan en el proceso de soldadura de arco sumergido ( SAW) en la unión de los aceros ASTM A36 y AISI 304.

Se procedió a tomar nueve muestras de acero ASTM A36 y de acero AISI 304, para luego ser unidos por medio de la soldadura de arco sumergido, definiendo previamente todos los diferentes parámetros de la máquina. Las muestras se dividieron en tres grupos, el primer grupo fue analizado manteniendo constante el voltaje y la velocidad de soldadura, pero variando la corriente; el segundo grupo se analizó manteniendo constante la corriente y la velocidad de soldadura y se varió el voltaje, y por último el tercer grupo se analizó manteniendo la corriente y el voltaje constante, con la velocidad de soldadura variable.

Por último, se realizaron pruebas de ensayos no destructivos, **tales** como pruebas metalográficas, radiográficas y mecánicas; además realizándose también un estudio de la aplicación de este tipo de soldadura en la unión de **tuberías** para acueductos.

# CAPITULO 1

## PROCESO DE SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO.

### 1.1 Soldabilidad del acero ASTM A36.

La soldabilidad es la propiedad que tienen los metales para establecer si tienen compatibilidad metalúrgica para ser soldados, el concepto de soldabilidad es fundamental para cualquier discusión de metales que están unidos ( metales bases) ya que la soldadura es un método de unión entre éstos. Esencialmente, el acero es una aleación de dos elementos: el hierro y el carbono, con éste último en una proporción que varía 0.01% hasta 2%.

Todos los aceros contienen porciones variables de manganeso y silicio, lo mismo que pequeñas cantidades de fósforo y azufre. Pueden también contener cantidades variables de otros elementos de aleación, que imparten ciertas propiedades **tales** como la resistencia a la tracción **según** el porcentaje que tengan de cobre, cromo, níquel, molibdeno. Como el carbono es el regulador principal o actor de potencia del acero, las clasificaciones del acero al carbono varían de lo que **son** aceros dulces o blandos homogéneos, que contienen 0,1 % de **carbono**.



los aceros duros o templados, que contienen hasta 2% de carbono. Las **modificaciones** de los aceros al carbono, para fines especiales, se efectúan por la adición de cantidades variables de manganeso, azufre, fósforo y silicio. ( Ref. 1)

El acero ASTM A36 entra en la clasificación de los aceros dulces o blandos, por tener un porcentaje de carbono del 0.14, tiene un punto mínimo de **fluencia** de 36.000 psi (248 Mpa) y una resistencia a la tracción que varía de 58.000 a 80.000 psi ( 400-552 Mpa) y es en extremo dúctil. Cuando están listos para el servicio, estos aceros contienen por lo general sólo dos elementos constitutivos, ferrita y carburo. La única manera en que un elemento de aleación puede afectar a las propiedades del acero es modificando la dispersión de carburo en la ferrita, variando las propiedades de esta última o cambiando las propiedades del carburo. ( Ref. 2)

Los aceros de esta clase pueden soldarse con facilidad mediante la mayor parte de los procesos con gas y de arco. No se necesita **pre**-calentar, salvo que las piezas sean muy gruesas o que la soldadura se haga a una temperatura ambiente menor de 32°F ( 0°C). El **post**-calentamiento solo se necesita para estructuras importantes como

calderas, recipientes a presión y tubería, se logra una soldadura de buena resistencia siempre y cuando el contenido de carbono sea inferior al 0.2%, si es más alto, se necesita tratamiento térmico para hacer más lento el enfriamiento y evitar endurecimiento. Esta clase de acero se puede soldar por los procesos de arco, por resistencia y gas, debido a que el enfriamiento rápido del metal en la zona soldada produce una estructura más dura. ( Ref. 3)

Las principales impurezas que tiene el acero ASTM A36 son el azufre y el fósforo, ya que el azufre aminora la forjabilidad y soldabilidad del acero, y lo vuelve quebradizo en caliente y el fósforo hace que el acero sea quebradizo tanto en caliente como en frío. Los porcentajes de silicio y de níquel que tiene este acero son de 0.04 y 0.03 respectivamente, por tener este porcentaje bajo hace que el acero no tenga buena resistencia, tenacidad y dureza. La presencia del molibdeno, vanadio, cromo y otros, mejoran un poco las propiedades del acero, pero no mucho ya que los porcentajes en que se encuentran estos elementos es relativamente bajo. ( Ref. 1)





## 1.2 Soldabilidad del acero AISI 304.

La soldabilidad de este material es básicamente el estudio que se realiza a las propiedades y composición química, para conocer así que tan bueno es para ser soldado con otro material. El término acero inoxidable caracteriza al alto nivel de resistencia a la corrosión que ofrecen las aleaciones de este grupo, para ser clasificado un material como inoxidable la aleación debe tener al menos 10% de contenido de cromo. En este caso el acero AISI 304 tiene un contenido del 19% de cromo en su composición, lo cual lo hace un acero inoxidable del tipo austenítico. ( Ref. 2)

Este tipo de acero tiene un contenido de carbono bajo ( 0.08%) para minimizar la precipitación de carburos. Estas aleaciones se pueden endurecer por trabajo; pero el tratamiento térmico no causa endurecimiento. Estos aceros no son fáciles de maquinar, se endurecen por trabajo y se raspan; sin embargo la soldadura se realiza con facilidad, aunque el calor de soldadura puede causar la precipitación del carburo de cromo, que agota el cromo de la aleación y reduce su resistencia a la corrosión. En el grupo inoxidable, el níquel mejora considerablemente la resistencia a la corrosión por encima de los aceros inoxidables de **cromo, estos aceros tienen una resistencia excelente al**

condiciones de superficie. En la soldadura de resistencia del acero inoxidable el calor puede ser controlado cuidadosamente, pero poco calor no es suficiente para obtener una buena penetración. Todos los aceros inoxidables son susceptibles a la decoloración a temperaturas mayores de los 400°F. ( Ref. 4)

### **Procedimiento de Soldadura para Aceros Inoxidables.**

Una vez que se ha establecido el diseño de la junta o unión y se ha seleccionado el proceso de soldadura y el material de aporte, puede desarrollarse un procedimiento de soldadura. Para cualquier proceso es importante que los bordes de la unión y los materiales de aporte estén limpios y libres de cualquier óxido, material orgánico u otra contaminación. Los bordes o filos de cortes técnicos deben ser limpiados para remover la película de óxido, las superficies maquinadas rugosas en la preparación de la juntas, deben ser evitadas para impedir los contaminantes. El ingreso de entrada de calor para aceros inoxidables en soldaduras por arco deben ser minimizados para disminuir la distorsión y para minimizar la posibilidad de sensibilidad de la zona afectada por el calor. Esto es particularmente importante para aceros inoxidables estándares o aceros inoxidables **austeníticos** no estabilizados. ( Ref. 5)

### 1.3 Soldadura de arco sumergido.- Proceso.

En la soldadura con arco sumergido (SAW), se emplea el calor de un arco entre un electrodo de metal desnudo, alimentado mecánicamente, y la pieza de trabajo. La soldadura y el arco se protegen por una cubierta de un material pulverizado llamado *fundente*. Por lo tanto, el arco queda “sumergido”, es decir, no visible. La energía para soldar puede ser de corriente alterna o continua con cualquier polaridad y las densidades de corriente son elevadas. Las corrientes van desde 250 A para alambre de 3/32 pulg (2.4mm) hasta 2000 A para alambre de 3/8 pulg (9.5mm). Debido al empleo de estas corrientes tan altas, una soldadura con arco sumergido se caracteriza por una fusión profunda del metal base y altas velocidades de soldar. La calidad de la soldadura es alta y cumple con facilidad los requisitos de los ASME Boiler and Pressure Vessel Code y Piping Code (Código para calderas y recipientes a presión y Código para tubería de ASME). Esta soldadura se emplea para aceros dulces y de bajo contenido de aleación, aceros inoxidable, cobre y níquel y aleaciones de estos metales. El proceso es automático y se pueden mover la pieza de trabajo o el arco. Se puede efectuar sólo en las posiciones plana y horizontal; no se puede efectuar en otras posiciones pues la envoltura de fundente se cae y ya no cubre el metal fundido.

Una versión manual conserva todas las características esenciales, pero el arco se guía a mano. ( Ref. 6)

#### 1.4 Fundamentos de Soldadura de Arco Sumergido.

La soldadura por arco sumergido produce la coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y el trabajo. El arco y el metal derretido están “**sumergidos**” en un manto de fundente granular fusible sobre el trabajo. No se aplica presión, y el metal de aporte se obtiene del electrodo y en ocasiones de un suministro complementario como una varilla para soldar o gránulos metálicos.

En la soldadura por arco sumergido, el arco está cubierto por fundente, el cual desempeña un papel preponderante porque (1) la estabilidad del arco depende del fundente, (2) las propiedades mecánicas y químicas del depósito de soldadura **final** se pueden controlar con el fundente y (3) la calidad de la soldadura puede ser afectada por la forma como se maneje el fundente.

La soldadura por arco sumergido es un proceso de soldadura de producción versátil capaz de soldar con corrientes de hasta 2000 amperios de corriente alterna (ca) o corriente continua (CC), empleando uno o varios alambres o tiras de metal de aporte. Es posible usar fuentes de potencia tanto de ca como de CC en la misma soldadura a la vez.

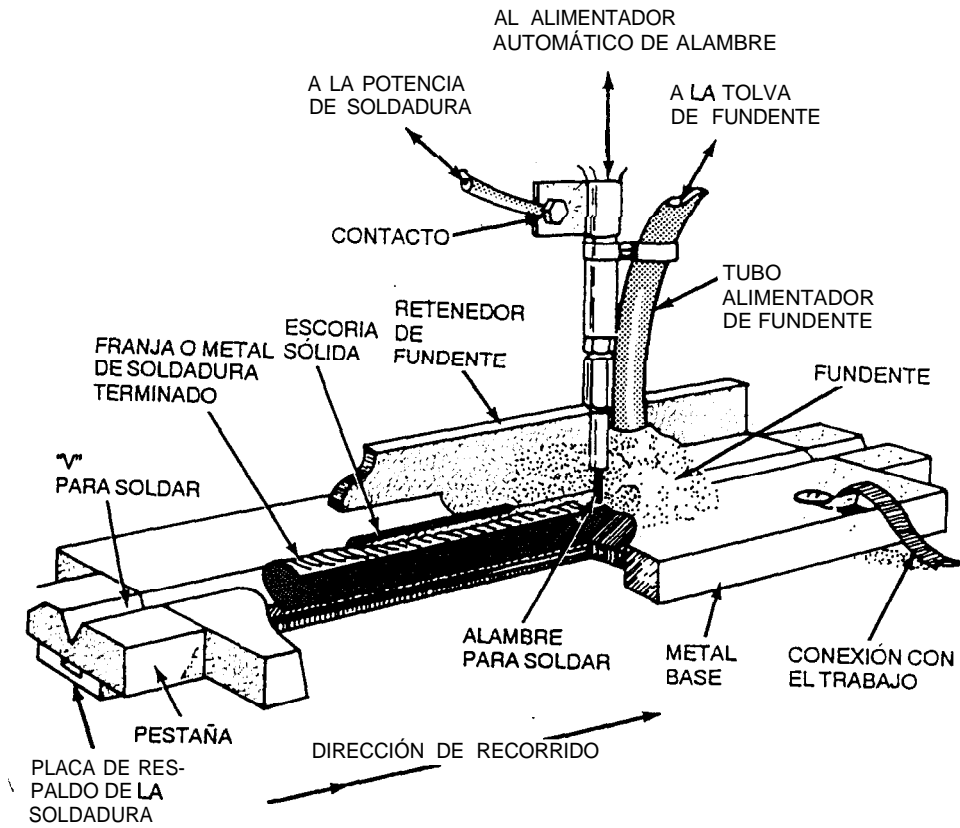
### **Principio de Funcionamiento.**

En la soldadura por arco sumergido, el extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se va a soldar. Se enciende un arco empleando uno de seis métodos de iniciación del arco. A continuación un mecanismo alimentador de alambre comienza a introducir el electrodo en la unión a una velocidad controlada, y el alimentador se desplaza manual o automáticamente a lo largo de la soldadura. En la soldadura mecanizada o automática, el trabajo puede desplazarse debajo de un alimentador de alambre estacionario.

En todo momento, se alimenta fundente adicional adelante del electrodo y a su alrededor, y se distribuye continuamente sobre la unión. El calor producido por el arco eléctrico derrite progresivamente parte del fundente, el extremo del alambre y los bordes adyacentes del metal base, creando un charco de metal fundido debajo de una capa de escoria líquida. El baño fundido cerca del arco presenta mucha turbulencia, y burbujas de gas asciende rápidamente a la superficie del charco. El fundente flota sobre el metal derretido y protege por completo de la atmósfera la zona de soldadura.

El fundente líquido puede conducir algo de corriente eléctrica entre el alambre y el metal base, pero el arco eléctrico es la fuente de calor predominante. El manto de fundente que flota sobre el charco de soldadura evita que los gases **atmosféricos** contaminen el metal de soldadura y disuelve las impurezas del metal base y del electrodo, que entonces flotan sobre un charco. Además, el fundente puede agregar ciertos elementos de aleación al metal de soldadura, o extraerlos de él.

Al avanzar la zona de soldadura a lo largo de la unión, el metal de soldadura primero y luego el fundente líquido se enfría y se solidifica, formando una franja de soldadura con una capa protectora de escoria encima. Es importante eliminar por completo la escoria antes de efectuar otra pasada de soldadura. El proceso de arco sumergido se ilustra en la figura 1.1. ( Ref. 7)



**FIG. 1.1 ESQUEMA DEL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.**

**Ref. 7**

Entre los factores que determinan si conviene o no usar soldadura por arco sumergido están:

- (1) La composición química y las propiedades mecánicas que debe tener el depósito final.
- (2) El espesor del metal base que se va a soldar.
- (3) La accesibilidad de la unión.
- (4) La posición en que se va a soldar.
- (5) La frecuencia o la cantidad de soldaduras que se van a efectuar.

### **Métodos Generales.**

La soldadura por arco sumergido se puede aplicar en tres modos distintos: automático, semiautomático y mecanizado. En todos ellos es preciso colocar el trabajo de modo que el fundente y el charco de soldadura permanezcan en su sitio hasta la solidificación. Ya existen o pueden construirse muchos tipos de fijaciones y equipos de posicionamiento para satisfacer este requisito.

#### Soldadura semiautomática.

La soldadura semiautomática se realiza con una pistola soldadura de mano que suministra tanto el fundente como el electrodo. El electrodo es impulsado por un alimentador de alambre; el fundente puede



suministrarse mediante una tolva de gravedad montada en la pistola o alimentarse a presión a través de una manguera. Este método requiere conducción manual empleando electrodos de diámetro relativamente pequeño y velocidades de recorrido moderadas. El desplazamiento puede ser manual o impulsado por un motor pequeño montado en la pistola.

### Soldadura automática.

La soldadura automática se efectúa con equipo que realiza la operación de soldadura sin que un operador tenga que vigilar y ajustar continuamente los controles. El costoso equipo de autorregulación se puede justificar si se desea alcanzar tasas de producción elevadas.

### Soldadura mecanizada.

En la soldadura mecanizada se emplea equipo que realiza toda la operación de soldadura, pero bajo vigilancia de un operador que coloca el trabajo en su posición, inicia y detiene la soldadura, ajusta los controles y fija la velocidad de cada soldadura. ( Ref. 7)



### **1.4.1 Efectos de los parámetros de soldadura en la unión soldada.**

El control de las variables de operación en la soldadura por arco sumergido es indispensable para obtener tasas de producción elevadas y soldaduras de buena calidad. Estas variables, en orden aproximado de importancia, son las siguientes.

- (1) Amperaje de soldadura.
- (2) Tipo de fundente y distribución de partículas.
- (3) Voltaje de soldadura.
- (4) Velocidad de soldadura.
- (5) Tamaño del electrodo.
- (6) Extensión del electrodo.
- (7) Tipo del electrodo.
- (8) Anchura y espesor de la capa del fundente.

El operador debe saber qué efecto tienen las variables sobre la acción de soldadura, y cómo deben ajustarse. A continuación detallaremos tres de las variables de operación más importantes.

#### Amperaje de Soldadura.

La corriente de soldadura es la variable más influyente porque controla la rapidez con que se funde el electrodo, y por lo tanto la tasa de deposición, la profundidad de penetración y la cantidad de metal base fundido. Si la corriente es demasiado alta a una velocidad de desplazamiento determinada, la profundidad de fusión o penetración será excesiva.

La soldadura resultante puede tender a atravesar de lado a lado el metal base que se está uniendo. Una corriente alta también propicia el desperdicio de electrodos al reforzar demasiado la soldadura, lo que incrementa la contracción de la soldadura y causa mayores distorsiones.

Si la corriente es demasiado baja, el resultado puede ser una penetración insuficiente o una fusión incompleta. El efecto de las variaciones de corriente se muestran en la figura 1.2 a continuación. Tres reglas relativas a la corriente de soldadura son:

- (1) Si se incrementa la corriente aumenta la penetración y la tasa de fusión.

- (2) Una corriente demasiado alta produce un arco excavador y socavamiento, o un cordón de soldadura alto y angosto.
- (3) Una corriente de soldadura demasiado baja produce un arco inestable.

### Voltaje de Soldadura.

El ajuste del voltaje de soldadura hace variar la longitud del arco entre el electrodo y el metal de soldadura fundido. Si se incrementa el voltaje global, la longitud del arco aumentará; si se reduce el voltaje global, el arco se hará más corto.

El voltaje casi no afecta la tasa de deposición del electrodo, que depende de la corriente de soldadura. El voltaje determina sobre todo la forma de la sección transversal del cordón de soldadura y el extremo de este último. En la figura 1.3 se ilustra este efecto.

SOLDADURA SEMIAUTOMÁTICA  
ALAMBRE DE 2.4 mm (3/32 pulg), 35 V,  
10 mm/s (24 pulg/min)

SOLOADURA TOTALMENTE AUTOMÁTICA  
ALAMBRE DE 5.6 mm (7/32 pulg), 34 V,  
13 mm/s (30 pulg/min)



350  
A

500  
A

650  
A

700  
A

1000  
A

850  
A

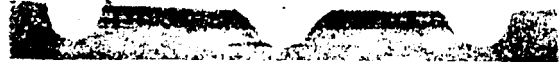


**FIG.1.2 EFECTO DE VARIAR EL AMPERAJE SOBRE LA FORMA Y PENETRACION DEL CORDON DE SOLDADURA.**

Ref. 7

SOLDADURA SEMIAUTOMÁTICA  
ALAMBRE DE 2.4 mm (3/32 pulg), 500 A,  
10 mm/s (24 pulg/min)

SOLDADURA TOTALMENTE AUTOMÁTICA  
ALAMBRE DE 5.6 mm (7/32 pulg), 850 A,  
13 mm/s (30 pulg/min)



25  
V

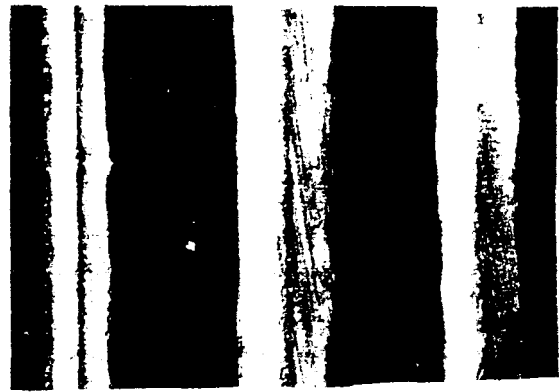
35  
V

45  
V

27  
V

45  
V

34  
V



**FIG. 1.3 EFECTO DE VARIAR EL VOLTAJE DEL ARCO SOBRE LA FORMA Y PENETRACION DEL CORDON DE SOLDADURA.**

Ref. 7

Las consecuencias de incrementar el voltaje de soldadura manteniendo constantes la corriente de soldadura y la velocidad de desplazamiento son:

- (1) Un cordón de soldadura más plano y ancho.
- (2) Mayor consumo de fundente.
- (3) Tendencia a reducir la porosidad causada por orín o incrustaciones en el acero.
- (4) Se tapa mejor una abertura de raíz excesiva cuando el embonamiento es deficiente.
- (5) Mayor absorción de elementos de aleación de un fundente de aleación.

Las consecuencias de un voltaje de arco excesivo son:

- (1) Cordón de soldadura ancho propenso al agrietamiento.
- (2) Problemas para eliminar la escoria en la soldaduras de surco.
- (3) Soldadura cóncava que puede ser propensa al agrietamiento.
- (4) Mayor socavamiento en los bordes de las soldaduras de filete.

Si se reduce el voltaje se obtiene un arco más “rígido”, con lo que se mejora la penetración en surcos de soldadura profundos y se reduce la tendencia al golpe de arco. Un voltaje demasiado bajo

produce un cordón de soldadura alto y angosto que dificulta la eliminación de la escoria a lo largo de sus bordes.

### Velocidad de Desplazamiento.

Con cualquier combinación de corriente y voltaje de soldadura, los efectos de alterar la velocidad de desplazamiento se ajustan a un patrón general. Si se aumenta la velocidad, (1) se reduce el aporte de potencia o calor por unidad de longitud de la soldadura y (2) se deposita menos metal de aporte por unidad de longitud de la soldadura, con lo que se reduce el refuerzo de esta última. Así, el cordón de soldadura se hace más pequeña, como se aprecia en la figura 1.4.

La penetración de la soldadura acusa más efectos por la velocidad de desplazamiento que por cualquier otra variable excepto la corriente. Esto no sucede a velocidades excesivamente bajas, cuando el charco de soldadura queda debajo del electrodo.



SOLDADURA SEMIAUTOMÁTICA  
ALAMBRE DE 2.4 mm (3/32 pulg), 500 A, 35 V



SOLDADURA TOTALMENTE AUTOMÁTICA  
ALAMBRE DE 5.6 mm (7/32 pulg), 850 A, 34 v



5 mm/s (12 pulg/min)    10 mm/s (24 pulg/min)    20 mm/s (48 pulg/min)



25 mm/s (60 pulg/min)    6 mm/s (15 pulg/min)    13 mm/s (30 pulg/min)



**FIG.1.4 EFECTO DE VARIAR LA VELOCIDAD DE SOLDADURA SOBRE LA FORMA Y PENETRACIÓN DEL CORDON.**

Ref. 7

En este caso la fuerza de penetración del arco es amortiguada por el metal fundido. Una velocidad excesiva puede causar socavamiento.

Dentro de ciertos límites, la velocidad de recorrido puede ajustarse para controlar el tamaño y la penetración de la soldadura. En este sentido, está relacionada con la corriente y el tipo de fundente. Una velocidad de desplazamiento excesiva promueve el socavamiento, el golpe de arco, la porosidad y la irregularidad en la forma del cordón. Si la velocidad es relativamente baja, los gases tienen tiempo de escapar del metal fundido y se reduce la porosidad.

Una velocidad demasiado alta produce (1)un cordón de soldadura de forma convexo propenso al agrietamiento, (2)una exposición excesiva del arco, lo que resulta molesto para el operador y (3)en charco de soldadura grande que fluye alrededor del arco y produce un cordón de soldadura áspero con inclusiones de escoria. ( Ref. 7)

### **1.4.2 Fuentes de Poder.**

La elección de la fuente de potencia para un sistema de soldadura por arco sumergido desempeña un papel operativo muy importante. Hay varios tipos de fuentes de potencia adecuadas para la soldadura por arco sumergido. Las fuentes de potencia de CC pueden ser del tipo de transformadores-rectificador de motor-generador, y proporcionar salida de voltaje constante (CV), corriente constante (CC) o salida cv/cc seleccionable. Las fuentes de potencia de ca por lo general son del tipo de transformadores, y pueden suministrar una salida de CC o bien de CV de onda cuadrada. Como en general el proceso SAW es de corriente elevada con ciclo de trabajo alto, se recomienda una fuente de potencia capaz de suministrar un amperaje alto con ciclo de trabajo del 100%.

#### **Fuentes de potencia de CC de voltaje constante.**

En el mercado hay fuentes de potencia de CC de voltaje constante en modelos de transformador-rectificador y de motor-generador. Su capacidad varía de 400 a 1500 A. Las fuentes más pequeñas también pueden servir para GMAW o FCAW. Estas fuentes de potencia se usan para SAW semiautomática con corrientes de 300

a 600 A. con electrodos de 1.6, 2.0, y 2.4 mm ( 1/16, 5/64 y 3/32 pulg.) de diámetro. La soldadura automática se efectúa con corrientes de 300 a más de 1000 A, generalmente con diámetros de alambre entre 2.4 y 6.4 mm (3/32 y 1/4 pulg.) Sin embargo, las aplicaciones de la soldadura con CC a más de 1000 A son limitadas porque a niveles de corriente altos el golpe de arco puede ser severo.

Con algunas fuentes de CV antiguas, la densidad de corriente mínima útil es de unos  $62 \text{ A/mm}^2$  (  $40.000 \text{ A/pulg}^2$  ), con base en el diámetro del electrodo. Por debajo de esta densidad de corriente, el arco se vuelve inestable. Este problema se ha resuelto en las fuentes de potencia más modernas que permiten mantener un arco estable con densidades de corriente tan bajas como  $23 \text{ A/mm}^2$  (  $15.000 \text{ A/pulg}^2$  ).

Las fuentes de potencia de voltaje constante cuentan con autor-regulación, de modo que puedan usarse con un alimentador de alambre de velocidad constante. No es necesario detectar el voltaje o la corriente para mantener un arco estable, así que se puede usar controles de velocidad de alimentación del alambre y

el diámetro del mismo controlan la corriente del arco, y la fuente de potencia controla el voltaje del arco.

Las fuentes de potencia de CC de voltaje constante son las fuentes de uso más común para soldadura por arco sumergido. Funcionan bien en la mayor parte de las aplicaciones en que la corriente de arco no rebasa los 1000 A, y es probable que trabajen sin problemas a corrientes aun más altas. La fuente de potencia de CC de voltaje constante es la mejor opción para soldar acero delgado a alta velocidad.

### **Fuentes de potencia de CC de corriente constante.**

Es posible conseguir fuentes de potencia de CC de corriente constante en modelos tanto de transformador-rectificador como de motor-generador, con salidas especificadas de hasta 1500 A. Algunas fuentes de CC de corriente constante también pueden usarse para GTAW, SMAW y corte con arco de carbono. Con excepción de la soldadura a alta velocidad de acero delgado, las fuentes de CC de corriente constante se pueden usar para el mismo intervalo de aplicaciones que las fuentes de CC de voltaje constante.

Las fuentes de corriente constante no tienen autor-regulación, así que deben usarse con un control de alimentación variable del alambre que detecte el voltaje. Este tipo de control ajusta la velocidad de alimentación del alambre en respuesta a variaciones en el voltaje del arco. El voltaje se vigila a fin de mantener un arco de longitud constante. Con este sistema, el voltaje del arco depende de la velocidad de alimentación del alambre y del diámetro del mismo. La fuente de potencia controla la corriente del arco. Como los controles de alimentación variable de alambre con detección de voltaje son más complejos, también son más costosos que los alimentadores de velocidad constante que se pueden usar con los sistemas de CV.

### **Fuentes de potencia cv/cc combinadas.**

También están disponibles fuentes de potencia que pueden conmutarse entre los modos CV y CC. Hay fuentes con especificaciones de hasta 1500 A, pero las máquinas con especificaciones de 650 A o menos son mucho más comunes. La valía de estas fuentes de potencia radica en su versatilidad, ya que pueden usarse para SMAW, GMAW, GTAW, FCAW, corte con

arco de carbono y soldadura de pernos, además de la soldadura por arco sumergido.

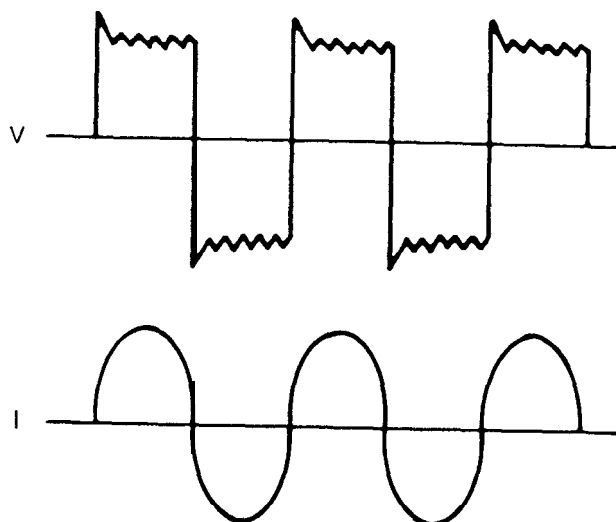
### **Fuentes de potencia de corriente alterna.**

Las fuentes de potencia para soldadura con ca por lo regular son transformadores. Hay fuentes con especificación entre 800 y 1500 A con ciclo de trabajo de 100%. Si se requieren amperajes más altos, es posible conectar estas máquinas en paralelo.

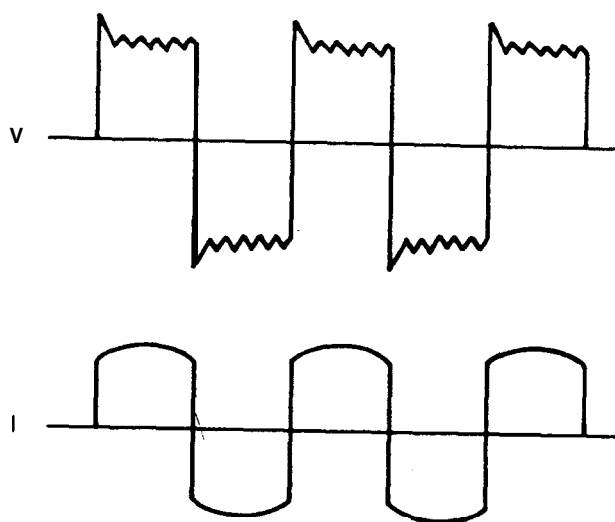
Las fuentes de potencia de ca convencionales son del tipo de corriente constante. El voltaje de salida de éstas máquinas se aproxima a una onda cuadrada, y la corriente de salida, a una onda senoidal, como se muestra en la figura 1.5(A). La salida de estas máquinas decae a cero cada vez que se invierte la polaridad, por lo que se requiere un voltaje de circuito abierto alto ( mayor que 80V ) para asegurar que el arco se volverá a encender. Incluso con un voltaje de circuito abierto tan alto, pueden haber problemas de reignición del arco cuando se usan ciertos fundentes. Como estas fuentes de potencia son del tipo de corriente constante, el control de alimentación del alambre debe ser del tipo de velocidad variable con detección de voltaje.

La fuente de potencia de CC de onda cuadrada y voltaje constante es un tipo relativamente nuevo. Tanto la corriente de salida como el voltaje de salida de estas fuentes se aproxima a ondas cuadradas. Dado que en las fuentes de onda cuadrada las inversiones de polaridad son instantáneas, como se aprecia en la figura 1.5(B), los problemas de reignición del arco no son tan severos como los que se presentan con las fuentes de potencia de ca convencionales sí lo hacen con una fuente de potencia de ca de onda cuadrada. Si se emplea este tipo de fuentes, el control de alimentación del alambre puede ser bastante sencillo y de velocidad constante, ya que el voltaje suministrado es constante. Los usos más comunes de potencia de ca para SAW son las aplicaciones de corriente elevada, las de múltiples alambres, la soldadura de uniones con separación angosta y las aplicaciones en las que el golpe del arco es un problema. ( Ref. 7)





(A) FORMAS DE ONDA DE CA CONVENCIONALES



(B) FORMAS DE ONDA DE CA DE ONDA CUADRADA

**FIG.1.5 DIFERENCIA ENTRE LAS FORMAS DE ONDA DE CA CONVENCIONALES Y DE ONDA CUADRADA.**

Ref. 7

### 1.4.3 Electrodo y fundentes.

La soldadura por arco sumergido se emplea para fabricar ensambles de casi todos los materiales empleados en la actualidad, desde los aceros al carbono “ordinarios” hasta aleaciones exóticas con base de níquel. La mayor parte de los aceros y aleaciones se pueden soldar fácilmente con alambres y fundentes comerciales, aunque algunos metales requieran alambres de electrodo especiales de composición química precisa y fundente especiales diseñados para conferir a la unión soldada propiedades **específicas**.

#### **Metal Base.**

Las que siguen son clases generales de metales base que se puedan soldar:

- (1) Aceros al carbono con contenido de carbono hasta 0.29%.
- (2) Aceros de baja aleación [ con resistencia al vencimiento de hasta 1 00 ksi ( 690 Mpa)].
- (3) Aceros al cromo-molibdeno ( 0.5 a 9% de Cr y 1% de Mo).
- (4) Aceros inoxidable.
- (5) Aleaciones con base de níquel.

La gama de composiciones de las aleaciones que pueden soldarse por arco sumergido se ha expandido al aparecer electrodos y fundentes apropiados. Las combinaciones electrodo-fundente por lo regular pueden clasificarse según las especificaciones de un código. Los datos de combinaciones alambre-fundente especiales para metales base de uso menos extendido se pueden obtener de los fabricantes de fundentes.

### **Electrodos.**

Los electrodos para arco sumergido producen depósitos de soldadura que coinciden con los metales base de acero al carbono, acero de baja aleación, aceros de alto carbono, aceros de aleación especiales, aceros inoxidable, aleaciones de níquel y aleaciones especiales para aplicaciones de recubrimiento. Estos electrodos se suministran como alambre sólido desnudo y como electrodos compuestos con núcleo metálico ( similares a los electrodos para soldadura por arco con núcleo de fundente).

Los fabricantes de electrodos preparan electrodos compuestos que duplican aleaciones complejas encerrando los elementos de aleación requeridos en un tubo de metal de una composición más

ordinaria ( acero inoxidable u otros metales). Los electrodos normalmente se empaacan en carretes o bobinas cuyo peso va de 11 a 454 kg ( 25 a 1000 lb). Los paquetes de electrodo grandes resultan económicos: aumentan la eficiencia de operación y eliminan el desperdicio de fm de rollo.

Los electrodos de acero suelen estar recubiertos de cobre, excepto los destinados a materiales resistentes a la corrosión o a ciertas aplicaciones nucleares. El recubrimiento de cobre prolonga la vida de almacenamiento, reduce el desgaste por rozamiento con el tubo de contacto y mejora la conductividad eléctrica. Los electrodos se empaacan de manera que duren mucho tiempo almacenados en interiores en condiciones normales. El diámetro de los electrodos para soldadura por arco sumergido varía de 1.6 a 6.4 mm ( 1/16 a 1/4 pulg).

### **Fundentes.**

Los fundentes protegen el charco de soldadura de la atmósfera al cubrir el metal con escoria fundida ( fundente fusionado). Los fundentes limpian el charco de soldadura e influyen en la forma que adquirirá la franja de soldadura y en las propiedades

mecánicas que tendrá. Los fundentes son compuestos minerales granulares que se mezclan de acuerdo con diversas formulaciones. Dependiendo del método de fabricación elegido, los diferentes tipos de fundentes se fusionan, aglomeran o mezclan por medios mecánicos.

### **Fundentes fusionados.**

Para fabricar un fundente fusionado, las materias primas se mezclan en seco y se funden en un horno eléctrico. Una vez fundida y después de agregarse cualquier ingrediente final, la carga del horno se vacía y enfría. El enfriamiento puede efectuarse disparando la mezcla a través de un chorro de agua o vaciándola sobre grandes bloques refrigerados. El resultado es un producto de aspecto vidrioso que se tritura, se pasa por mallas para iniformar su tamaño y se empaca.

Los fundentes fusionados tienen las siguientes ventajas:

- (1) Buena homogeneidad química.
- (2) Fácil **eliminación** de polvos finos sin afectar **la** composición del fundente.

- (3) Normalmente no son higroscópicos, lo que simplifica el manejo y el almacenamiento, y evita problemas al soldar.
- (4) Se recicla fácilmente mediante sistemas de alimentación y recuperación sin que cambie significativamente el tamaño de las partículas o su composición.

Su desventaja principal es la dificultad para añadir desoxidantes y ferroaleaciones durante la fabricación sin segregación ni pérdidas muy elevadas. Las temperaturas tan altas necesarias para fundir los ingredientes limitan la gama de composiciones de los fundentes.

### **Fundentes aglomerados.**

Para fabricar fundente aglomerado, las materias primas se pulverizan, se mezclan en seco y se aglomeran con silicato de potasio, silicato de sodio o una mezcla de ambos. Ya aglomerada, la mezcla húmeda se convierte en esferas y se cuecen a una temperatura menor que la empleada con los fundentes fusionados. Las esferas se disgregan, se pasan por mallas para uniformar el tamaño y se empacan

Entre sus ventajas están las siguientes:

- (1) Es fácil añadir desoxidantes y elementos de aleación; estos últimos se agregan como ferroaleaciones o como metales elementales para producir aleaciones que no están fácilmente disponibles como electrodos, o para ajustar la composición del metal de soldadura.
- (2) Se puede usar una capa de fundente más gruesa al soldar.
- (3) Se pueden identificar por su color.

Sus desventajas son las siguientes:

- (1) Tendencia de algunos fundentes a absorber humedad como lo hacen los recubrimientos de algunos electrodos para soldadura de arco de metal protegido.
- (2) Posible generación de gases a partir de la escoria fundida.
- (3) Posibles cambios en la composición del fundente debido a segregación o eliminación de partículas de grano **fino**.

### **Fundentes mezclados mecánicamente.**

Para producir un fundente de mezcla mecánica, dos o más fundentes fusionados o aglomerados se mezclan en la proporción necesaria para producir los resultados deseados. La ventaja de

los fundentes mezclados mecánicamente es la posibilidad de combinar varios fundentes comerciales para operaciones de soldadura extremadamente críticas o patentadas.

Los fundentes producidos por mezcla mecánica tienen las siguientes desventajas:

- (1) Segregación de los fundentes combinados durante el embarque, el almacenamiento y el manejo.
- (2) Segregación dentro de los sistemas de alimentación y recuperación durante la operación de soldadura.
- (3) Inconsistencia del fundente combinado de una mezcla a otra.

### **Utilización del fundente.**

Si el fundente es demasiado fino, se apretará y no podrá alimentarse debidamente. Si un fundente **fino** o fundente con cantidades pequeñas de partículas finas se recupera mediante un sistema de vacío, las partículas **finas** pueden quedar atrapadas en el sistema. **Sólo** las partículas gruesas volverán al sistema de alimentación para reutilizarse, lo que puede causar problemas de soldadura. En aplicaciones en las que es importante la ausencia de hidrógeno, los fundentes deben mantenerse secos. Los fundentes fusionados no contienen **H<sub>2</sub>O** unida químicamente (



agua de hidratación), pero las partículas pueden tener humedad superficial. Los fundentes aglomerados deben protegerse como se hace con los electrodos para arco de metal protegido bajos de hidrógeno. El usuario debe seguir las instrucciones del fabricante en cuanto a los procedimientos de **estufado** específicos.

Si se usan fundentes que contienen aleaciones, es necesario mantener una proporción fija entre las cantidades de fundente y de electrodo que se funden, a fin de obtener un metal de soldadura de composición consistente. Esta proporción la determinan realmente las variables de procedimiento de soldadura. Por ejemplo, si el proceso se aparta de una relación volt-ampere establecida, cambiará el contenido de aleación del metal de soldadura al cambiar la proporción de fusión del fundente y el electrodo. Los fundentes también se identifican como químicamente básicos, químicamente ácidos o químicamente neutros. La basicidad o acidez de un fundente tiene que ver con la facilidad con que los óxidos componentes del fundente se disocian para dar un catión metálico y un anión de oxígeno. Los fundentes químicamente básicos generalmente tienen un contenido elevado de  $MgO$  o  $CaO$ , en tanto que los

fundentes químicamente ácidos por lo regular tienen un contenido considerable de  $\text{SiO}_2$ .

La basicidad o acidez de un fundente muchas veces se expresa como la proporción entre  $\text{CaO}$  o  $\text{MgO}$  y  $\text{SiO}_2$ . Los fundentes con proporciones mayores que uno se denominan *químicamente básicos*; aquellos en que la proporción se acerca a la unidad son *químicamente neutros*, y los que tienen una proporción menor que la unidad son *químicamente ácidos*.

En fechas recientes, los fundentes básicos se han convertido en los fundentes principales para soldar aplicaciones críticas que requieren un control estricto de las propiedades y la química del depósito. La mayor parte de los fundentes de esta clase se formulan para depósitos específicos; fundentes que estabilizan la pérdida de cromo o de carbono. Estos fundentes limitan la transferencia de silicio/manganeso/oxígeno de la escoria al metal de soldadura. Es posible conseguir fundentes básicos apropiados para cualquier material que pueda soldarse por arco sumergido. (Ref. 7)



## 1.5 Soldadura de aceros inoxidables con aceros no aleados.

La unión de aceros inoxidables *austeníticos a aceros C-Mn no aleados* no causa normalmente ningún tipo de problemas, cuidando la elección de un adecuado material inoxidable de aportación. En esta elección hay que tener siempre presente la influencia del acero no aleado en la composición del metal soldado como consecuencia de la dilución. A mayor fusión del material no aleado, mayor **dilución** de los elementos de aleación del material de aportación.

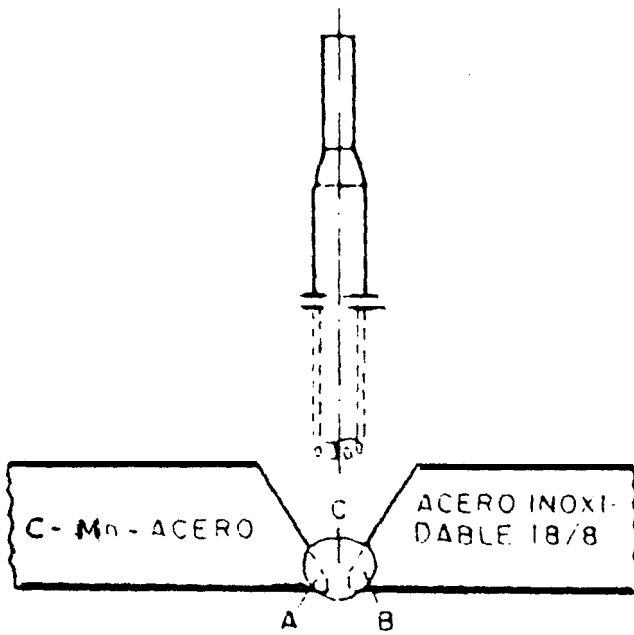
En soldadura manual con electrodo revestido el porcentaje de dilución oscila normalmente entre un 25 y un 40% en una sola pasada o en la pasada raíz de una unión que va a ser completada con varias pasadas. El porcentaje de dilución aumenta cuando aumenta el nivel de energía de soldadura ( heat input). La figura 1.6 muestra qué es lo que ocurre en una unión en V cuando se suelda un acero no aleado C-Mn a un acero inoxidable 18/8. ( Ref. 8)

Una de las aplicaciones importantes, en la soldadura de un acero inoxidable con un acero no aleado, como lo son el acero ASTM A36 con el acero AISI 304, es en la unión de tuberías para transportación de **flúidos** ( en este caso específico agua) en la empresa C.N.O. (

Constructora Norberto Odebrech), la cual usó esta técnica de soldadura de arco sumergido para unir a la tubería de acero ASTM A36 al acero AISI 304, esta a su vez está ajustada con una brida que utiliza un empaque de amianto **grafitado**, esta brida sirve de unión entre las tuberías la cual deja un espacio libre entre ellas; pues al variar la temperatura ambiente las tuberías pueden expandirse o dilatarse, produciendo fallas en las uniones de las tuberías, principalmente en el cordón de soldadura. Se utilizó este tipo de material es decir el acero inoxidable 304, ya que cumplía con las características requeridas, como son resistencia al impacto, a la corrosión y a las vibraciones. Para la soldadura de arco sumergido, se utilizó según la norma AWS como material de aporte el ER309, que es un producto Blue Max S309/309L, que sirve para unir aceros inoxidables austeníticos con mayor contenido de aleación y como fundente se utilizó Blue Max 2000, el cual produce soldaduras de calidad con excelente apariencia y remoción de escoria con los aceros inoxidables AISI 300 y 400 y metales de aporte de aleación similar y con muchos metales de aporte **aleados** a base de níquel. ( Ref. 9).

Este tipo de soldadura, se la realizó en el lado exterior como en el interior de la tubería; dicha técnica se la efectuó muy bien, excepto al

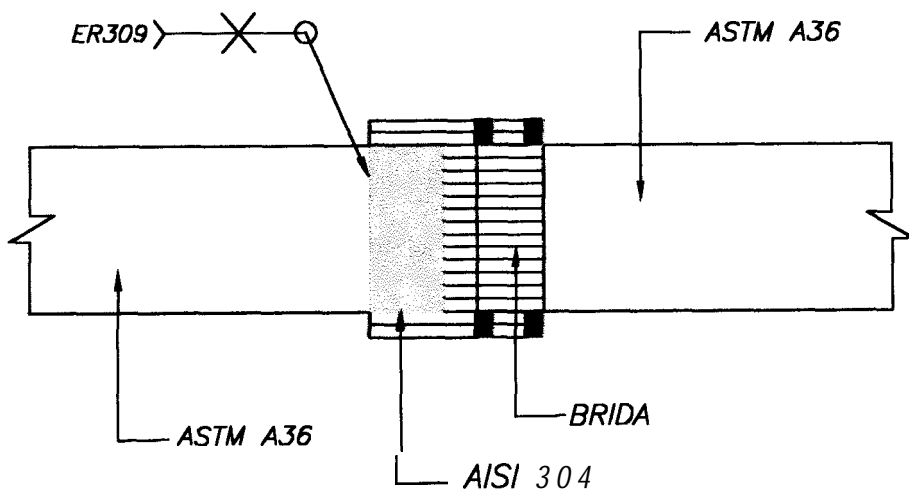
realizarse la soldadura sobre cabeza, pues ahí se produjo fallas, ya que el material se precipitaba y caía, por lo cual se optó utilizar en esa posición electrodo revestido, para culminar la soldadura. En la **fig. 1.7** se detallada el esquema de la unión de la brida con las tuberías



$$\% \text{ DILUCION} = \frac{A + B}{A + B + c} \cdot 100$$

**FIG.1.6 SOLDADURA DE UNA UNION EN V DE UN ACERO NO ALEADO C-Mn A UN ACERO INOXIDABLE.**

**Ref. 8**



**FIG. 1.7 ESQUEMA DE SOLDADURA DEL ACERO ASTM A36 Y DEL ACERO AISI 304 EN ACUEDUCTOS.**

## CAPITULO II

### **EXPERIMENTACION.**

#### **2.1 Materiales a utilizarse.**

Los materiales a utilizarse, para esta experimentación fueron el acero AISI 304 y el acero ASTM A36, cuyas características las diremos a continuación. El acero AISI 304, tiene una resistencia a la tracción de 85 Ksi (586 Mpa), una resistencia al punto de fluencia de 35 Ksi (241 Mpa) y una ductibilidad de 60%, el acero ASTM A36, tiene una resistencia a la tracción de 58 Ksi (400 Mpa), una resistencia al punto de fluencia de 36 Ksi ( 248 Mpa) y una ductibilidad de 20%.

Para una buena seguridad en el tipo de materiales con los que trabajaríamos, realizamos la prueba de la composición química en el laboratorio químico de FUNASA, para verificar de esta manera los materiales a utilizarse. Se llevó entonces dos probetas, una de cada material para realizarles la prueba correspondiente, cuyos resultados los podemos observar a continuación:



## Laboratorio de Metalurgia de FUNASA.

Ensayo: Análisis Químico

Material: Muestra Metálica #1 – Muestra Metálica #2

Equipo Utilizado: Espectrofotómetro de Absorción Atómica

### RESULTADOS OBTENIDOS : En porcentajes (%)

#### Muestra # 1

Fe 99.09	c <b>0.14</b>	Mn 0.47	Si 0.099	P 0.010
s 0.019	<b>Cu 0.057</b>	<b>Cr 0.03</b>	Ni 0.04	Mo 0.02
Sn 0.0044	Al 0.0039	Pb 0.015	v 0.010	Zn $\approx$ 0.000

#### Muestra #2

Fe 69.41	C <b>0.06</b>	Mn 2.23	Si 0.813	P 0.049
s <b>0.036</b>	<b>Cu 0.251</b>	Cr > 6.00	Ni > 1.50	Mo 0.1
Sn 0.0251	Al 0.0279	Pb 0.025	v <b>0.164</b>	Zn > <b>0.03</b>

**Análisis de resultados.-** Al comparar los resultados obtenidos con la composición química dada en las normas, la misma se ajusta a la de un acero ASTM A36, correspondiente a los valores de la tabla uno y a un acero AISI 304 correspondientes a los valores de la tabla dos.

Con los datos proporcionados por la prueba podemos estar seguros de los materiales a utilizarse, pues comparándolos con las tablas respectivas los valores corresponden a los determinados aceros.

Esto es correspondiente a los materiales que van a ser soldados, ahora los materiales que vamos a utilizar para el proceso de soldadura de arco sumergido son el material de aporte y el fundente, que se utilizó en la máquina de soldadura.

Debido a la alta característica de dilución de este tipo de soldadura las características mecánicas de soldadura son altamente dependientes de la química de las placas. Todos los materiales de soldadura y todos los procedimientos deben ser aprobados o ensayados bajo condiciones de campo, para determinar su uso, los flujos recomendados. El fundente que se utilizó fue fundente Flux /Lincoln Weld 761 con variante LNS 143, de acuerdo a la AWS norma A517 / A5.23. El alambre es de tipo L-60, el cual funciona desde  $-20^{\circ}\text{C}$  ( se puede trabajar en la costa como en la Sierra). Esta aplicación del fundente *con* el material de aporte nos permite una combinación de bajo costo, para juntas de plano, filetes y grandes rellenos. El flux nos permite poner altos amperajes hasta 1.200



A, funciona con ca y CC al polo positivo, trabaja con escoria de basicidad 1.0, la velocidad de solidificación es baja porque es una escoria viscosa, la densidad del fundente es  $1.25 \text{ Kg/dm}^3$  . Los empaques de este fundente vienen en tarros de 250 kilos y también es sacos de 25 kilos, el primer empaque fue el que utilizó en las pruebas,

## 2.2 Equipo Utilizado.

1) Fuente de poder que se utilizó, es de la Lincoln Electric Modelo R3S-325 de 600 amperios, trifásica de 220/440, puede funcionar con voltaje constante o voltaje variable y genera corriente directa cd. Opera en aplicaciones manuales, semiautomáticas y automáticas, además está diseñada para procesos de soldadura con arco revestido, TIG, MIG y arco sumergido. En la figura 2.1 podemos apreciar la fuente de poder utilizada en el proceso.

2) El equipo de soldadura de arco sumergido; utilizado en la experimentación es The Lincoln Electric, sus componentes principales son:

- Ensamble de cabeza con tolva para el flujo.
- Caja de control, el cual a su vez consta de un control de poder para el encendido de la máquina y apagado de **la máquina**, botones de movimiento lento para la salida o entrada del

electrodo con un movimiento determinado de velocidad de alimentación, un botón (STOP) y ( START) el primero detiene el arco con el recorrido y el segundo es para comenzar el arco con el recorrido, también consta de un botón el cual sirve para determinar en que sentido arrancará la máquina si es delante o reversa, y por último un panel en el cual se podrá fijar el voltaje, el amperaje y la velocidad de la máquina sucesivamente. En la figura 2.2 podremos apreciar de una mejor manera la máquina de SAW utilizada; y en la figura 2.3, podemos apreciar la máquina ya efectuando el proceso de soldadura.

- Ensamble de la cabeza de montaje.
  - Ensamble de la guía frontal.
- 3) Equipo de ensayo de tracción de la ESPOL marca INSTRON 1128.
  - 4) Equipo de ensayo de doblado de la ESPOL marca Versatester 30M. de 13.600 Kg a 27300 Kg.
  - 5) Equipo de Rayos X de 300 Kv, marca ERESKO ES2.
  - 6) Durómetro Rockwell, marca Wilson modelo 1 JR.
  - 7) Neaatoscopio S&S marca X Ray Products, para la observación de las radiografías.
  - 8) Microscopio metalográfico para realizar la microfotografías marca PME OLYMPUS serie 202827

9) Microscopio metalográfico para realizar las macrofotografías modelo M400.

10) Equipo de pulido, para las muestras. Este equipo consta de un banco de papel abrasivo de grano grueso #200 hasta llegar a papel abrasivo de grano **fino** #600, aquí se lijan cada una de las muestras; luego para el pulido fino se hace uso de la pulidora de disco marca DAP 8 que cuenta con un paño abrasivo fino y con este se usa la pasta alúmina APF.

## 2.3 Efectos de los Parámetros de Soldadura sobre:

### 2.3.1 Microestructura.

Para la aplicación de este proceso de soldadura por arco sumergido se ajustaron los parámetros como se muestran a continuación en la tabla 2.1. En la tabla 2.2 se muestra los valores de la Penetración, el Calor Suministrado, Dilución y Ancho del Cordón, para el proceso de soldadura empleado con las muestras del acero ASTM A36 y el acero AISI 304.

Luego que hemos determinado las características de la unión soldada podemos determinar como se encuentran relacionados y como varían los parámetros de soldadura, para lo cual se realizaron una serie de curvas que permiten identificar como la corriente, el voltaje y la velocidad de avance se relacionan con los parámetros de soldadura.

Estas soldaduras tienen resistencia a la corrosión aceptable y excelente resistencia mecánica a temperatura tanto altas como bajas, y se caracterizan por un alto grado de tenacidad incluso en la condición recién soldada. La mayor expansión térmica puede

causar deformación o distorsión, sobre todo en secciones delgadas, lo cual sugiere una mayor necesidad de guías para mantenerse el control dimensional.

La estructura de estos metales de soldadura varía desde totalmente austenítico hasta austenítica-ferrítica de fase doble, en los aceros inoxidable. Es deseable un poco de ferrita en **tales** soldamentos a fin de mejorar la resistencia al agrietamiento. El número de ferrita deberá ser mayor que 7 para garantizar una resistencia al agrietamiento adecuada y una buena resistencia al impacto a bajas temperaturas, pero no puede ser mayor que 10 el número de ferrita si se desea evitar la formación de una fase sigma quebradiza cuando el ensamble soldado se expone a temperaturas dentro del intervalo de 900 a 1.700°F.

TABLA 2.1

PARAMETROS DE SOLDADURA.

# Muestra	I ( Amp)	v ( Volt)	S velocidad ( mm/seg)	Número de Pases
1	200	25	6.4	1
2	250	25	6.4	1
3	300	25	6.4	1
4	250	18	4.2	1
5	250	21	4.2	1
6	250	24	4.2	1
7	350	25	6.4	1
8	350	25	7.6	1
9	350	25	8.5	1



**TABLA 2.2**

**CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DEPOSITADO.**

# Muestra	I ( Amp)	V (Volt)	S velocidad ( mm/seg)	H calor Suministrado ( J/mm)	Dilución %	P penetración (mm)	A ( mm <sup>2</sup> )	B ( mm <sup>2</sup> )	W ( mm) ancho de cordón
1	200	25	≤4	781	13	5	20	3	8
2	250	25	≤4	977	9	4	20	2	7
3	300	25	≤4	1172	8	5	22	2	8
4	250	18	4.2	1071	15	≤	33	≤	10
5	250	21	4.2	1250	29	3	15	6	9
6	250	24	4.2	1429	36	3	18	10	11
7	350	25	6.1	1367	8	6	33	3	10
8	350	25	7.≤	1151	10	6	26	3	10
9	350	25	8.5	1029	7	4	28	2	10

### 2.3.2 Dilución.

La dilución es un parámetro que nos permite cuantificar el porcentaje de fusión, permite también determinar la composición química del metal depositado en la soldadura, aquí la cantidad de ferrita es muy importante para disolver ciertas impurezas como el fósforo y azufre “ hasta un 15% se recomienda la cantidad de ferrita”, para evitar el fisuramiento en caliente. Sin embargo la ferrita al aumentar el 15%, hace que el grano crezca y baje la tenacidad y ductibilidad de la soldadura.

El proceso de soldadura se debe controlar cuidadosamente para obtener resultados satisfactorios y consistentes. Para cualquier composición de metal de aporte dada, los cambios en el procedimiento de soldadura pueden causar variaciones en la dilución. Las dimensiones geométricas de los cordones de soldadura, tal como la penetración, el área del cordón fueron directamente obtenidas midiéndolas sobre cada una de las muestras, como lo podemos observar en la **fig. 2.4**, donde están representadas las zonas en el cordón de soldadura.

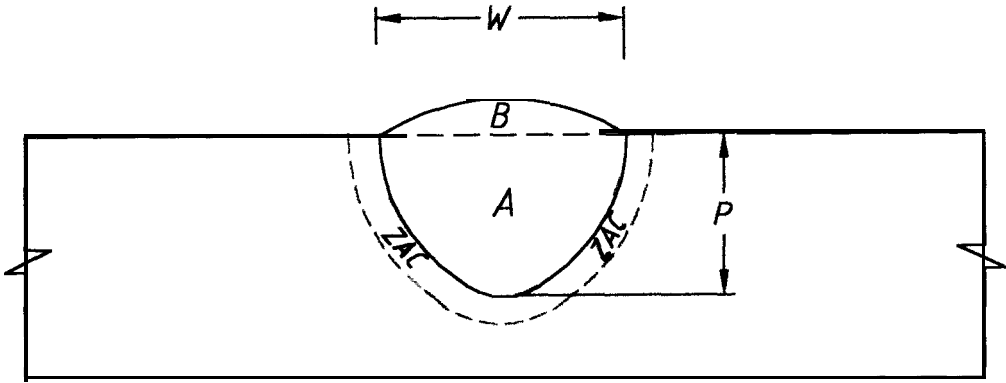
El cálculo de la dilución, lo podemos representar por medio de la siguiente ecuación, ayudándonos con el gráfico de la fig. 2.5 para una mayor comprensión.

A continuación, se muestra en la fig. 2.6 la curva de la dilución medida en porcentajes **versus** el calor suministrado medida en joules por milímetro, o en cualquier otra unidad de energía por unidad de longitud, realizando claro está las conversiones adecuadas. El ingreso o entrada de calor es descrita o relacionada con la expresión que dice:

$$H = \frac{V \cdot I}{s} \quad \text{donde; } H \text{ es el calor suministrado ( J/mm )}$$

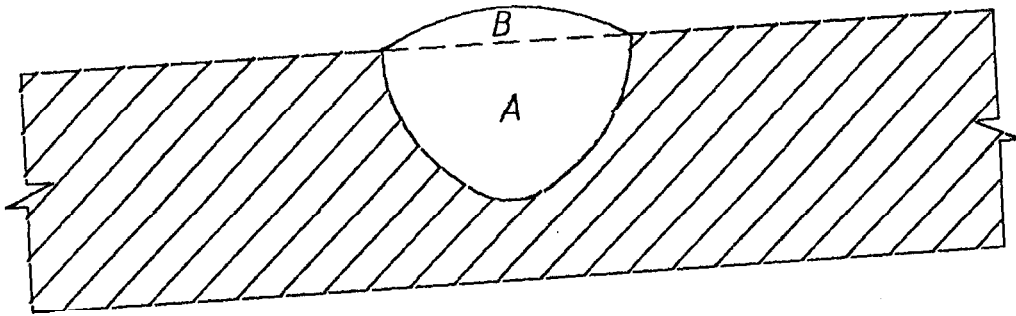
V es el voltaje (Volt ).  
I es la corriente ( Amp ).  
s es la **veloc.** de soldadura (mm/seg ).

$$H = \frac{\text{(volt)} \cdot \text{( amp)}}{\text{(mm/seg)}} = \frac{\text{W} \cdot \text{seg}}{\text{mm}} = \frac{\text{J}}{\text{mm}}$$



- $A, B$  : Zona de metal de aporte y metal base fundido  
 $w$  : Ancho del cordón de soldadura  
 $P$  : Penetración  
 $ZAC$  : Zona afectada por el calor.

**FIG. 2.4 ZONAS REPRESENTATIVAS DEL CORDON DE SOLDADURA.**

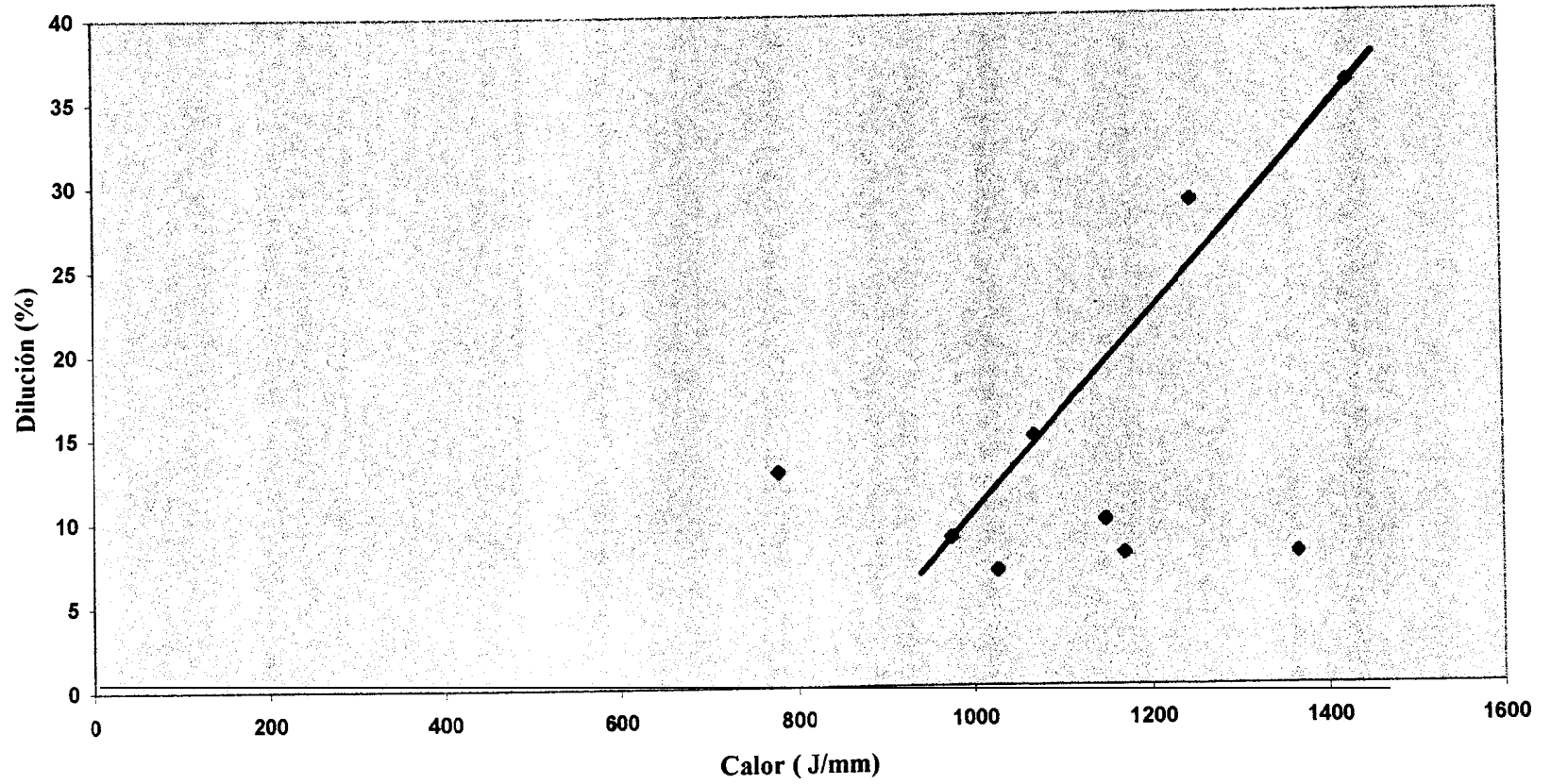


$$\% \text{ Dilución} = \frac{B}{A + B} * 100 = \frac{\text{Peso Metal Base Fundido} * 100}{\text{Peso Total Fundido}}$$

**FIG. 2.5 METODO PARA CALCULAR LA DILUCION EN UNA SOLDADURA-**

Ref. 7

**FIG. 2.6**  
**Dilución Vs Calor Suministrado**



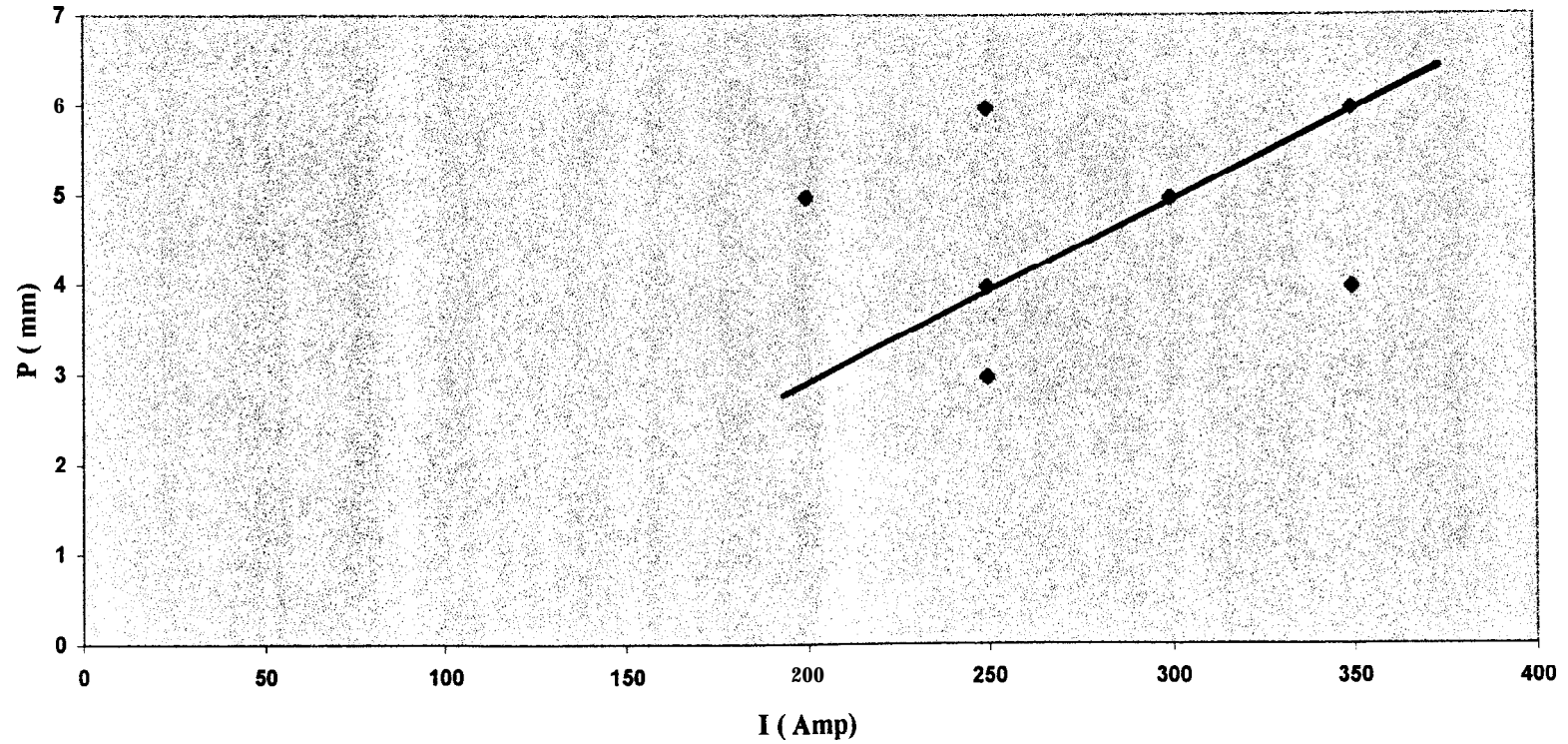
### 2.3.3 Penetración.

La penetración, es otra de la **característica** representativa en la soldadura. Los valores obtenidos de la penetración, se los obtuvo midiendo directamente, sobre la geometría de la unión soldada.

Se realizó una serie de curvas, las cuales podemos apreciarlas en la figura 2.7, la cual corresponde a la curva donde representa la variación de la penetración respecto a la corriente ( manteniendo el voltaje constante); la **figura** 2.8, representa la variación de la penetración respecto al voltaje ( manteniendo la corriente constante) y la **figura** 2.9, que representa la variación de la penetración con respecto al calor suministrado.

Una vez determinada la característica de la penetración en la unión soldada, es posible determinar como varía y como se encuentra relacionada con los parámetros de soldadura. En el próximo capítulo se realizará el análisis de los resultados de dichas curvas.

FIG. 2.7  
Penetración Vs Corriente





**FIG. 2.8**  
**Penetración VS Voltaje**

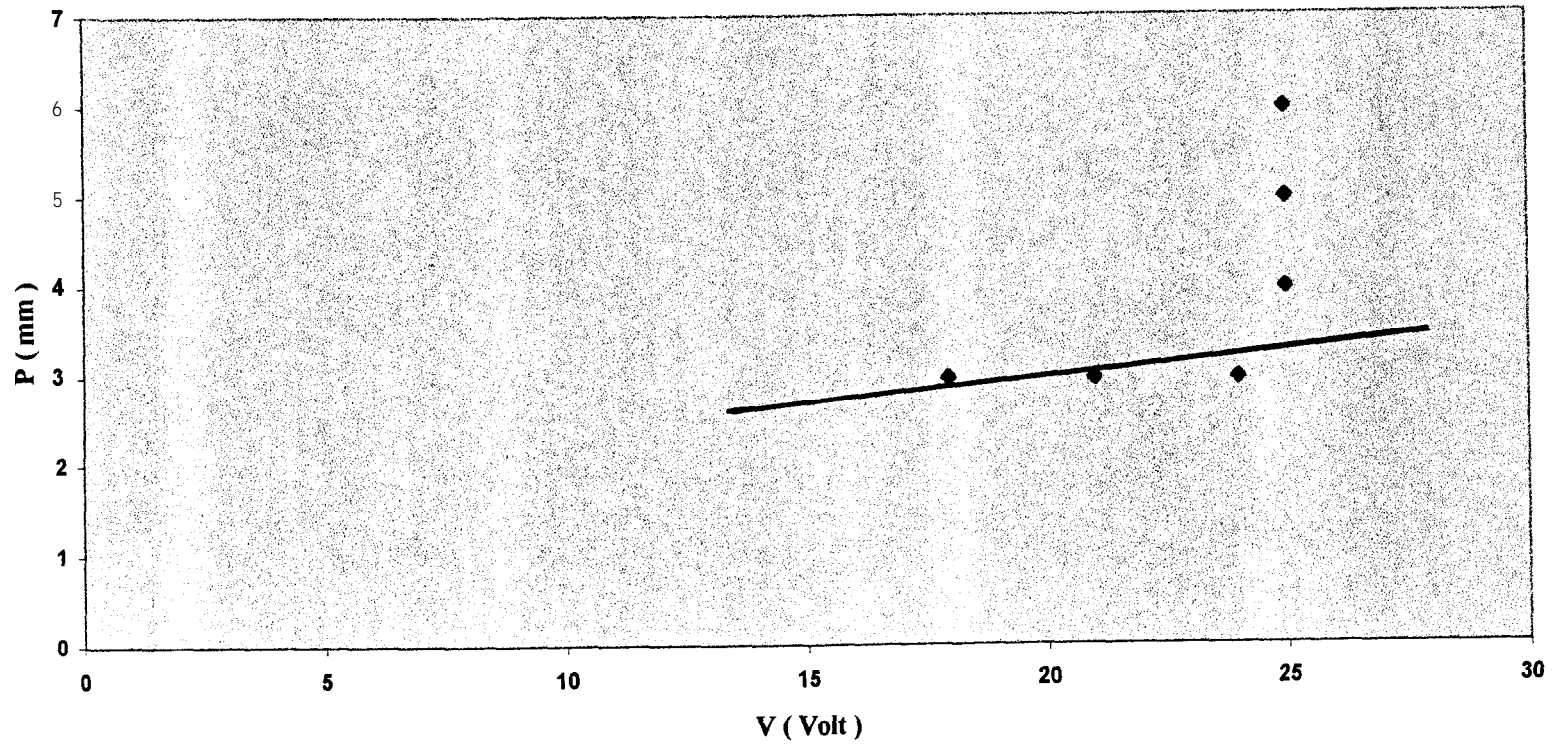
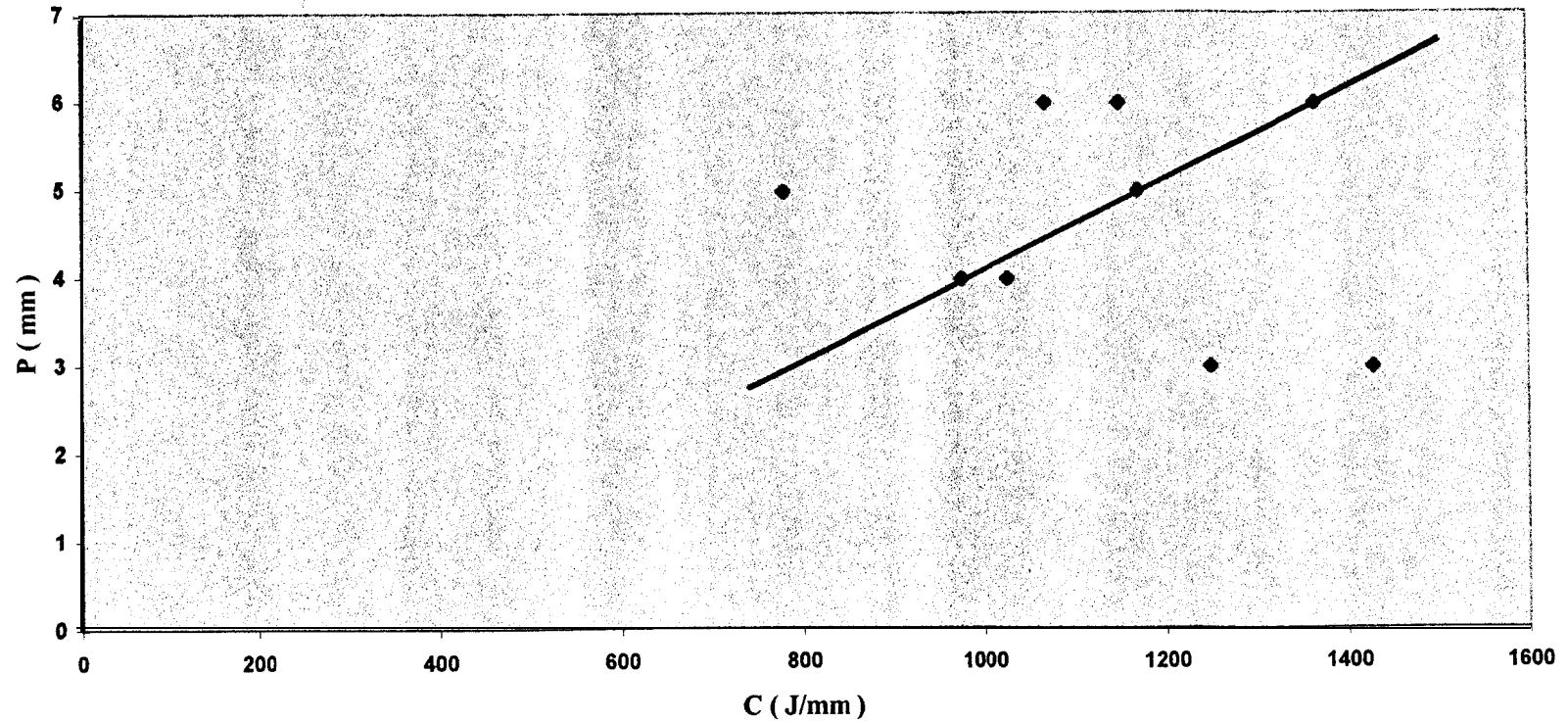


FIG. 2.9

Penetración Vs Calor



### **2.3.4 Ancho del cordón de soldadura.**

En la figura 2.4, se pudo observar como está representado el ancho del cordón en la soldadura, este se ve afectado directamente por la corriente, el voltaje y el calor suministrado, pues a medida que uno de estos parámetros se incrementa, también se incrementa el ancho del cordón, cuyos resultados se los puede apreciar en la tabla 2.2. El aumento del cordón de soldadura sucede, debido a que es capaz de fundir más material de aporte en la unión soldada si aumenta ya sea la corriente o la energía de entrada.

### **2.3.5 Zona afectada por el calor.**

La zona afectada por el calor, es muy difícil de visualizarla en las pruebas que hemos realizado, pues uno de los materiales a soldarse fue el acero inoxidable AISI 304, y como ya sabemos de sus propiedades mecánicas y de la soldabilidad del material es muy difícil su fusión, por ello es que en las macrofotografías de la unión soldada que se presentan más adelante no se puede identificar esta zona. Pero en un barrido de microfotografía que se realizó, si se puede observar la zona afectada por el calor, ya que se la hizo con un aumento considerable, y se puede verificar

que en la zona del cordón de soldadura una mínima parte corresponde a la ZAC.

De la zona afectada por el calor, podemos decir que tiene una relación directa con la entrada de calor, pues a mayor entrada de calor , la temperatura aumenta y existe una mayor expansión del metal base y la zona aumenta, es decir hay una relación directa y lógica.

## 2.4 Pruebas de Soldadura.

### 2.4.1 Inspección Radiográfica.

Para realizar las pruebas radiográficas, debemos tener en consideración que las películas varían en velocidad, contraste y tamaño de grano. Las películas lentas tienen por lo general tamaño de grano más pequeño y producen más contraste. Las películas lentas se usan cuando se desea claridad óptima y **máximo** contraste. Las películas rápidas se emplean cuando se van a radiografiar objetos con grandes diferencias de espesor y de exposición.

En este caso se utilizó la película radiográfica D5, para la utilización del equipo se tomó en consideración ciertos parámetros tratando de radiografiar las uniones soldadas con características óptimas. A continuación detallamos las características de cada muestra, que se pudo observar.

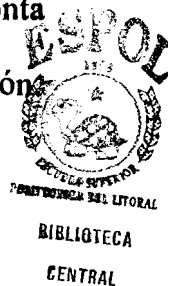
*Muestra #1.-* Se observó un cordón de soldadura con falta de penetración, y poca sobremonta.

*Muestra #2.-* Aquí se observó un cordón cóncavo y un poco nudoso, pero con falta de penetración.

*Muestra #3.-* El cordón resultó un poco más plano, pero más uniforme; falta de penetración.

*Muestra #4.-* Cordón plano, penetración incompleta, sobremonta pronunciada, y se observó depósitos de porosidad, debido a que el fundente por instante de segundos no pudo fluir correctamente.

*Muestra #5.-* Se observó un cordón ancho y con una sobremonta mayor a la de las demás muestras, así mismo falta de penetración.



**Muestra #6.-** Cordón con presencia de chisporroteo, esto se debió al choque que tuvo el electrodo con la pieza de trabajo sin la presencia del fundente; penetración incompleta y depósitos de porosidad.

**Muestra #7.-** Se observó un cordón más uniforme en lo que se refiere al ancho y a la sobremonta un poco más pronunciada.

**Muestra #8.-** Cordón uniforme, sobremonta poco pronunciada e igualmente se observó falta de penetración.

**Muestra #9.-** Cordón un poco irregular con una sobremonta un poco más plana que la anterior; falta de penetración.

De lo que pudimos determinar la muestra #7 cumple con los requisitos para una soldadura satisfactoria.

### 2.4.2 Ensayos de Tracción.

La resistencia a la tracción última es la carga máxima sostenida por la probeta dividida entre el área de la sección transversal original de la probeta. Para este ensayo se realizaron las probetas correspondientes normalizadas por la AWS, cuyas dimensiones son de 21.6\*6 mm, que equivale a un área nominal de 130 mm<sup>2</sup>, podemos apreciar en la figura 2.10 la forma de la probeta para el ensayo de tracción. Se obtuvo una probeta de las muestras #4 y #7, cuyos resultados los podemos verificar en la siguiente página. En las probetas ensayadas, pudimos observar que el cordón de soldadura no falla, es decir permanece intacto; falla en la parte del material del acero ASTM A36, ya que es por ahí donde la probeta se rompe, más no en el cordón ni en el otro material que es el acero AISI 304.

Los valores obtenidos de la prueba de tracción, se encuentran en un valor aproximado de 54,94 Kgf/mm<sup>2</sup> o 77.991 lb/pulg<sup>2</sup> para la probeta #4 y un valor de 56,12 Kgf/mm<sup>2</sup> o 79.662 lb/pulg<sup>2</sup> para la probeta #7, cuyos valores satisface los requerimientos del proceso.

Laboratorio de Mecánica de Sólidos.

Descripción del Trabajo:                      Ensayo de Tracción

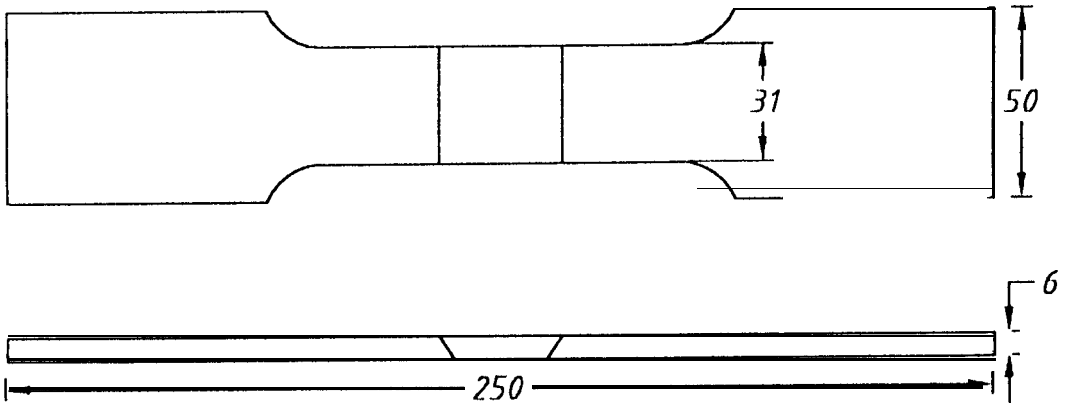
Equipo:    Instron 1128

Material:     Acero ASTM A36

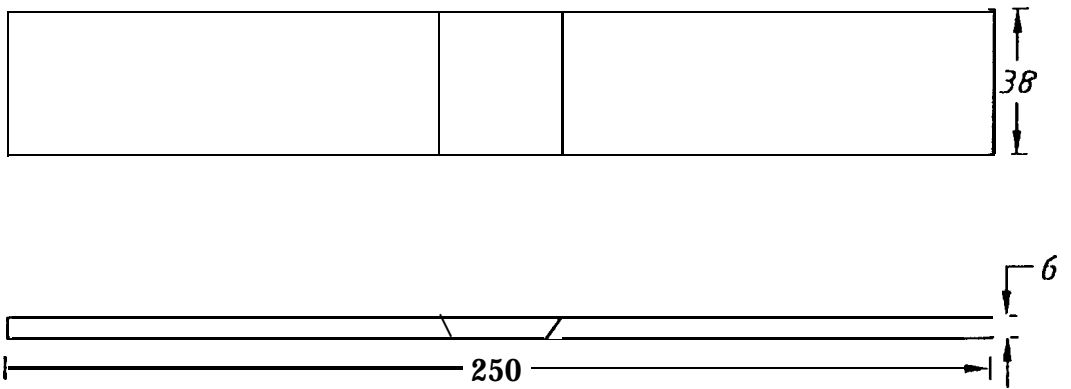
   Acero AISI 304

Probeta #	Espesor ( mm)	Ancho ( mm. )	Area ( mm. <sup>2</sup> )	Condición Probeta	Fuerza Máx. ( Kgf. )	Esfuerzo Máx. (Kgf./mm <sup>2</sup> )	Localización de falla
4	6	21.6	130	Soldada ( SAW )	7.142,2	54,94	Acero ASTM A36
7	6	21.6	130	Soldada ( SAW )	7.295,6	56,12	Acero ASTM A36





*a) Probeta para ensayo de Tracción*



*b) Probeta para ensayo de Doblado*

**FIG. 2.10 PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCION Y DOBLADO**  
(Dimensiones en mm)

### 2.4.3 Ensayos de Doblado.

Para la realización de esta prueba, también se realizaron probetas normalizadas por la AWS cuyas dimensiones podemos notarlas en las **fig. 2.10**, obteniéndose las probetas de la muestra #4 y dos probetas de la muestra #7, para el ensayo de doblado de cara y de raíz. La prueba de ensayo de doblado consiste en doblar la probeta a  $180^\circ$  en matrices estándares. Este tipo de ensayo no es cuantitativo sino cualitativo, ya que se pretende observar que las probetas no presenten ninguna fisura. Los resultados de la prueba se presentan a continuación:

## Laboratorio de Mecánica de Sólidos.

Descripción del Trabajo:	Ensayo de Doblado de Cara y de Raíz.
Angulo de Doblado:	180 GRADOS
Espesor:	6 mm
Condición:	Soldada-Proceso SAW
Material:	Acero ASTM A36 Acero AISI 304

### Resultados

<b>Probeta</b>	<b>Posición</b>	<b>Resultado</b>
4a	De cara	Cumple
4b	De raíz	Cumple
7a	De cara	Cumple
7b	De raíz	Cumple

#### 2.4.4 Metalografía.

La inspección metalográfica se aplica tanto al material base como a la soldadura de alta frecuencia; es una práctica común para evaluar la calidad de la soldadura. Siempre se usan secciones transversales de la soldadura. La inspección metalográfica también es valiosa para determinar la causa de una **falla** en pruebas mecánicas.

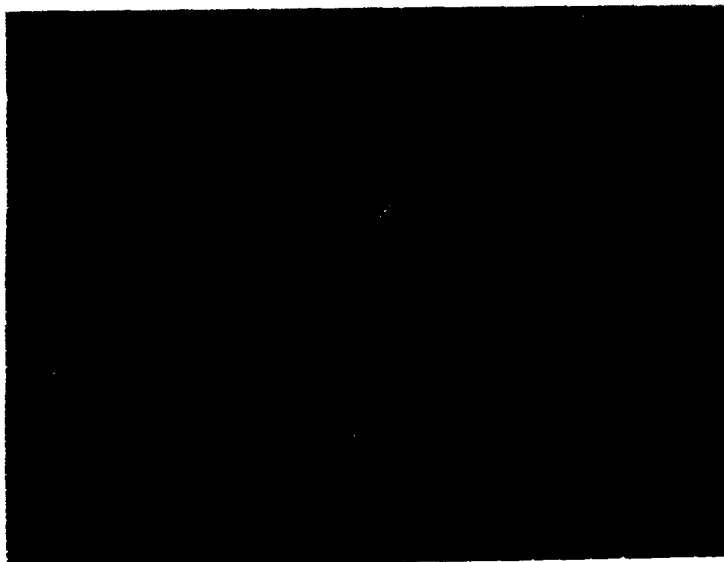
Una vez determinados los parámetros de soldadura se procedió a realizar los ensayos metalográficos, que nos permiten analizar las características del depósito y de la zona afectada por el calor. Esto consiste en preparar las probetas primeramente, cada una de estas para ser llevadas al microscopio tienen que pasar por un proceso de pulido, luego se las ataca químicamente con los reactivos correspondientes para el tipo de acero que estamos utilizando y por último viene el proceso de secado.

Una vez realizado este pre-proceso, ya están listas para ser llevadas al microscopio y tomarles las respectivas fotografías. A continuación detallamos las **macrofotografías** y el barrido de

fotografías realizado a la probeta #7. Para realizar las **macrofotografías** se utilizó un aumento de 8X y reactivo de **Nital** al 10% y para **la microfotografía** se utilizó un aumento de 56.5X y el reactivo que se utilizó fue Kalling's .



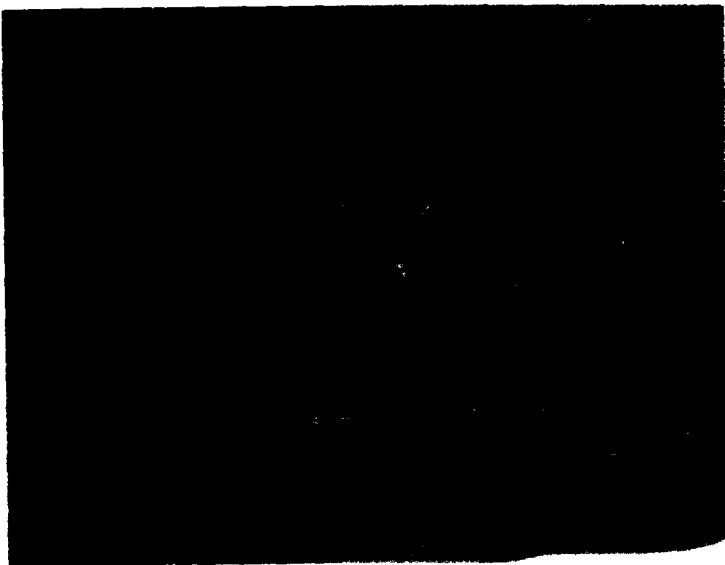
Muestra # 1. Parámetros: 200 Amp, 25V, 6.4 mm/s  
8X. Nital 10%  
**MACROFOTOGRAFIA 2.1**



Muestra #2. Parámetros: 250 Amp. 25V. 6.4 mm/s  
8X. Nital 10%  
**MACROFOTOGRAFIA 2.5**



Muestra #7. Parámetros 350 Amp, 25V, 6.4 mm/s  
8X. Nital 10%  
MACROFOTOGRAFIA 2.10



Muestra #8. Parámetros: 250 Amp. 25V, 7.6 mm/s  
8X. Nital 10%  
MACROFOTOGRAFIA 2.11



Muestra #9. Parámetros: 350 Amp, 25V, 8.5 mm/s  
8X. Nital 10%

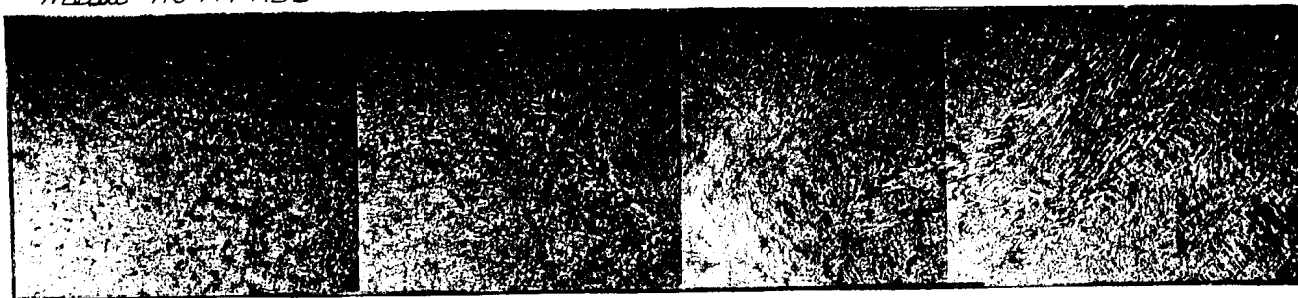
**MACROFOTOGRAFIA 2.12**



metal ASTM A36

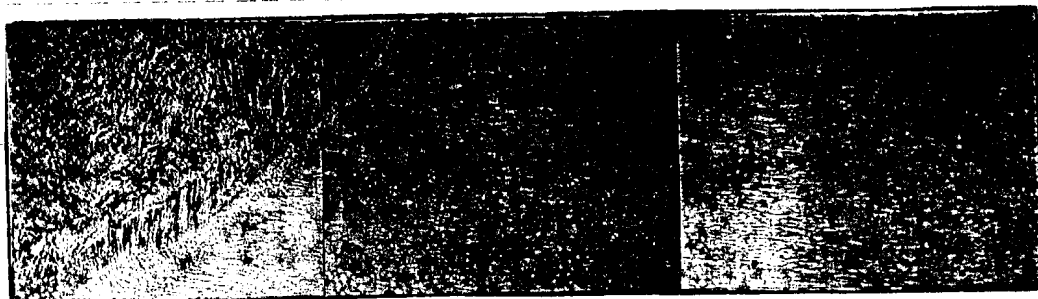
Zac

metal Fundido



metal Fundido Zac

metal AISI 304



Muestra #7. Parametros: 350 Amp, 25 V, 6.4 mm s

56.5X Kalling's

MICROFOTOGRAFIA 2.13

#### 2.4.5 Dureza.

La dureza se ha definido diversamente como la resistencia a la penetración local, al rayado, al maquinado, al desgaste o abrasión y a la **fluencia** del material. El método Rockwell de ensayo de dureza, se determina la profundidad de penetración de un indentador bajo ciertas condiciones arbitrarias de prueba, para esta prueba usamos el método Rockwell C, este método se lo aplicó a las probetas 4 y 7, ya que presentaban mejores características en la unión soldada. Los valores de dureza obtenidos, se los representa en la tabla 2.3 y en las figuras 2.11 y 2.12 se indica el **perfil** de dureza obtenido experimentalmente a lo largo de la distancia transversal del cordón de la unión soldada de las probetas. Podemos apreciar el comportamiento del perfil de dureza de las muestras ya que son similares, cuando se empieza a tomar las lecturas se las hace a partir del acero ASTM A36, siendo estos valores bajos, luego a medida que se le toman las lecturas al cordón de soldadura los valores aumentan llegando a un valor máximo de dureza y una vez que se le toman las lecturas al acero AISI 304 disminuyen un poco nada más y permanecen constantes los valores.

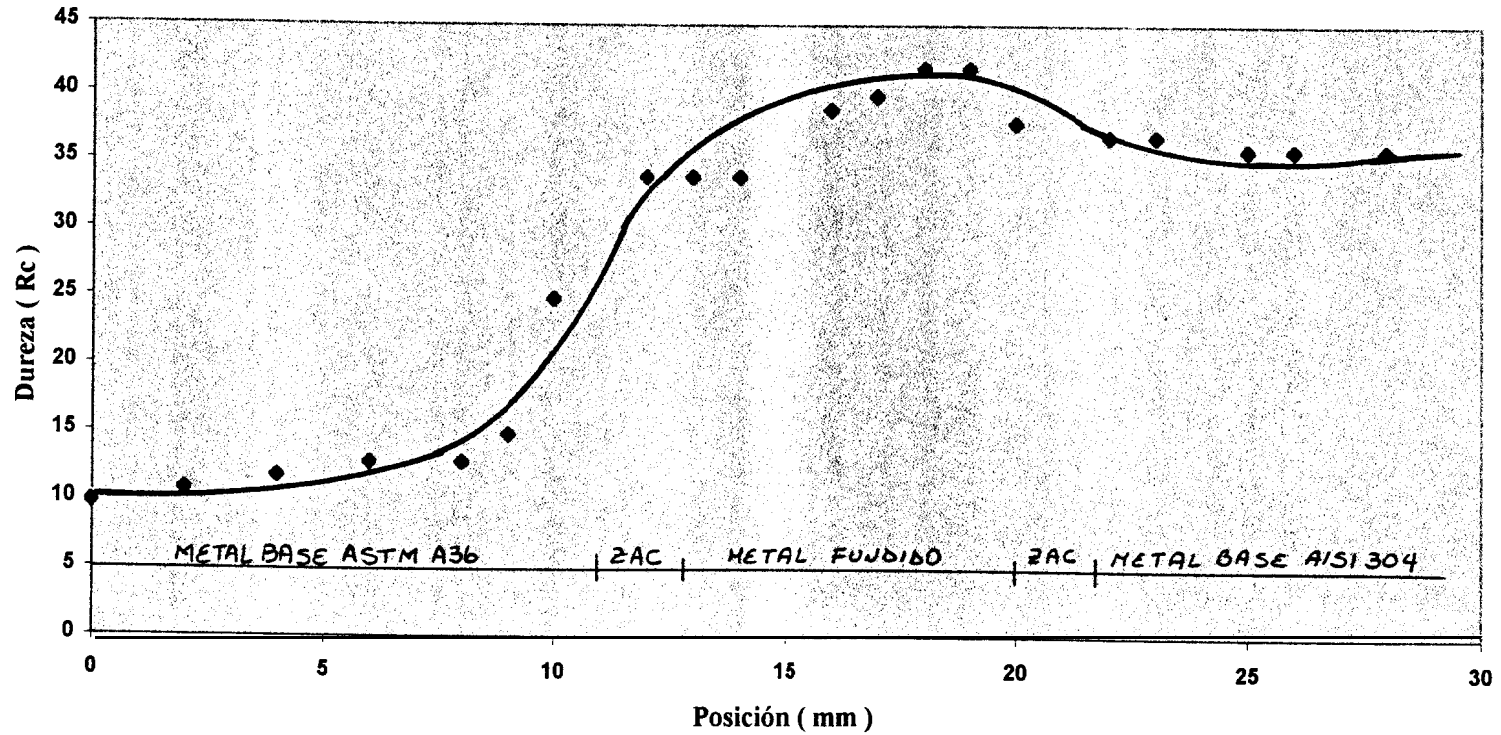
**TABLA 2.3****RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA****DUREZA Rc**

# Probeta	Metal Base ASTM A36	Metal Fundido	Metal Base AISI 304
1	13	36	37
2	30	36	35
3	20	44	40
4	37	46	47
5	18	31	32
<b>6 *</b>	----	---	mm---
7	11	33	37
8	22	43	34
9	24	46	42

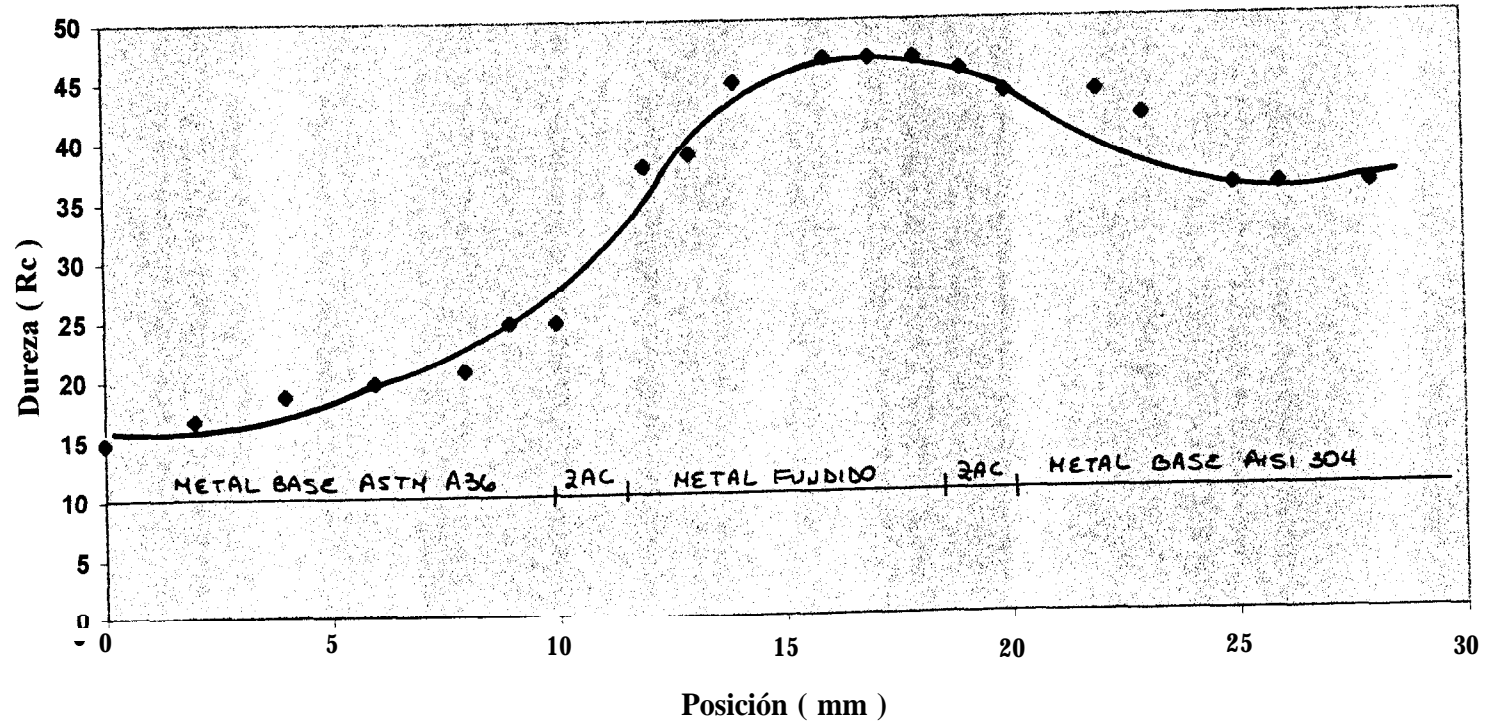
Nota: La muestra 6\* no se le pudo realizar las mediciones de dureza, ya que el cordón es irregular.

FIG. 2.11

Dureza Vs Posición



**FIG. 2.12**  
**Dureza VS Posición**



## CAPITULO III

### ANALISIS DE RESULTADOS.

A continuación analizaremos todos los resultados que se ha obtenido a lo largo de la experimentación, las curvas que se efectuaron para observar el comportamiento que tienen las variables de soldadura; su metalografía y los ensayos no destructivos y mecánicos que se realizaron.

El efecto que producen los parámetros de soldadura sobre la dilución; se presenta en la **fig.** 2.6, donde se indica la variación de la dilución medida en porcentaje, con el calor suministrado. A medida que el calor suministrado o la energía de entrada aumenta, la dilución también aumenta; por ello podemos darnos cuenta que la corriente juega un papel importante en esta relación, ya que incrementando la corriente el calor suministrado también aumenta.

El efecto de los parámetros de soldadura sobre la penetración , lo representamos también en curvas, la primera curva es representada por la **fig** 2.7, en la cual se indica como varía la penetración respecto a la corriente, ésta variación nos muestra la fuerte dependencia que tiene la corriente sobre la penetración, puesto que si la corriente se incrementa también se incrementa la

penetración . Analizando la penetración con respecto al voltaje, indicado en la **fig. 2.8**, esta es prácticamente constante, no existe una influencia significativa del voltaje con la penetración, es decir la dependencia entre el voltaje y la penetración es casi despreciable, La **fig. 2.9**, nos muestra la curva de variación de la penetración con respecto al calor suministrado, cuya gráfica es parecida a la **obtenida** en la figura 2.8, de lo cual podemos decir que el calor suministrado o energía de entrada varía de acuerdo al voltaje, corriente y velocidad de soldadura.

Tanto la corriente como la velocidad de soldadura, tienen mucho que ver en la forma del ancho del cordón, pues de estos dos parámetros depende la geometría del cordón, a una mayor velocidad de soldadura se notará un cordón delgado, pues la rapidez con la que se funde el electrodo aumenta dejando a su paso un cordón angosto, mientras que si la velocidad de soldadura disminuye se notará un cordón con una geometría uniforme.

La zona afectada por el calor, depende mucho del calor de entrada; pues si este aumenta, la zona afectada por el calor también aumenta, esta zona en la soldadura la podemos apreciar claramente en la **microfotografía 2.13**, que se le hizo a la probeta **#7**, en la cual se observa una estructura homogénea propia de la soldadura de un material.

La inspección radiográfica, se la realizó con el objetivo de visualizar mejor los cordones de soldadura obtenidos durante el proceso, de tal manera de darnos cuenta de la falta de penetración que se produjeron en algunas probetas ensayadas, pero por ejemplo en la probeta #7 se observó una penetración óptima. Esta prueba nos sirve además para comprobar si existen microfisuras en el cordón de soldadura, como también si existe porosidad en las mismas.

Las pruebas mecánicas se las realizó a la probeta #4 y a la probeta #7, dichos ensayos fueron de doblado y ensayo de tracción. El ensayo de doblado se lo realizó de cara y de raíz, según los resultados obtenidos el cordón de soldadura no sufrió alteración ninguna y la prueba fue aceptada, tanto en la probeta 4 como en la 7. En el ensayo de tracción realizado, se observó que el cordón de soldadura no falló, pues la probeta se rompió en la parte del acero ASTM A36, pues era de esperarse ya que es un acero poco resistente a comparación del AISI 304; la resistencia a la **tracción** del depósito se encuentra en un valor aproximado de **54,94 Kgf/mm<sup>2</sup>** o **77.991 lb/plg<sup>2</sup>** dicho valor se encuentra dentro del rango provisto por la AWS, confirmando que el proceso y el material de aporte han provisto resultados satisfactorios.

Las pruebas metalográficas, comprendió dos partes; la primera, fue tomarles fotografías a las nueve probetas ensayadas como se muestran en las **macro-**



fotografías desde la 2.4 hasta la 2.11, con el objetivo de observar mejor la unión de estos dos metales con el proceso de arco sumergido utilizado. Se pudo observar claramente en estas macrofotografías los dos metales, el lado más oscuro corresponde al acero ASTM A36 y el más claro al acero AISI 304, no se pudo observar la zona afectada por el calor ya que esta es mínima, por lo cual se realizó la segunda parte de esta prueba que fue realizarle una fotografía a la probeta siete, como lo podemos observar en la microfotografía 2.13, ya que esta **fué** la que obtuvo las mejores características; aquí se puede observar claramente los materiales de aporte, la unión soldada y la zona afectada por el calor. Esta prueba es de vital importancia en la determinación de la influencia de los parámetros de soldadura con la unión soldada.

Por último se realizó el ensayo de dureza, ya que este nos permite conocer los cambios metalúrgicos causados por la soldadura, en la **fig. 2.11** y la **fig. 2.12**, muestra como es el perfil de dureza en las probetas cuatro y siete, se puede observar las tres zonas que la constituyen, que son el metal base acero ASTM A36, la zona afectada por el calor, el metal fundido y el metal base acero AISI304. La curva empieza con un crecimiento en su dureza a medida que se acerca a la zona afectada por el calor y a la unión **soldada**, luego permanece en estas zonas constante y a medida que se acerca a la zona del metal base del acero AISI 304, disminuye un poco para luego permanecer constante a lo largo

El material; esto se debe a que el acero AISI 304 contiene un mayor porcentaje en sus componentes **aleantes** que el acero ASTM A36 y por ello es que la dureza aumenta, como lo podemos ver en las gráficas antes mencionadas.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Como resultado de este trabajo podemos concluir que el acero ASTM A36 presenta menor resistencia que el acero AISI 304 durante el ensayo de tracción que se realizó, pues la probeta falló en el metal base del ASTM A36, debido a que éste presenta en su composición química porcentajes menores en los elementos aleantes, como lo son el cromo, níquel, molibdeno, silicio, cobre y manganeso entre los mas importantes, puesto que estos son los que ayudan a mejorar las propiedades mecánicas del material.
2. La corriente es el parámetro de soldadura mas influyente, el cual controla la morfología de la soldadura; el ancho del cordón, la penetración y la **dilución**. Una corriente baja produce falta de penetración o fusión incompleta, pero una corriente relativamente alta mejora la penetración.
3. Al realizar el barrido de dureza a las muestras correspondientes se comprobó en la curva realizada, que la dureza del acero ASTM A36 es menor que la del cordón de soldadura y que la del acero AISI 304, esto se

debe al contenido de silicio y de cromo que tiene el acero inoxidable, ya que forma carburos muy duros y lo hace más resistente, por eso su dureza aumenta.

4. Al aplicar el proceso de soldadura de arco sumergido a dos materiales de características disímiles, como lo son el acero ASTM A36 y el acero AISI 304, podemos concluir que dicha unión cumple con los requisitos de una buena calidad de soldadura sabiendo escoger los parámetros adecuados; éste tipo de unión ya es utilizado en aplicaciones **tales** como acueductos.
5. Durante el desarrollo de este trabajo se observó que el metal base ASTM A36 se fundía más rápidamente que el acero AISI 304 dejando un cordón de soldadura con falta de fusión para el lado del acero inoxidable, esto ocurría debido a que el acero ASTM A36 presenta una menor resistencia que el acero AISI 304 y por eso se recomienda al soldar estos aceros un aumento en la corriente para que los dos metales se fundan correctamente.
6. Al realizar la soldadura de arco sumergido, se recomienda revisar todos los elementos de la máquina, principalmente verificar que el electrodo este libre de grasa, aceite y de material base, por ello es mejor siempre cortarle la punta del electrodo antes de volverlo a usar. Revisar que dentro de la

tolva de alimentación continua de fundente no tenga espacios vacíos, pues al faltar un poco de fundente en el proceso de soldadura aunque sea por unos segundos producirá porosidad en la unión soldada.

7. Por último se recomienda principalmente seguir estudiando procesos de soldadura en metales disímiles, ya que este es un tema nuevo en nuestro medio y por ser así hay una falta de documentación para su estudio y cada vez hay más aplicaciones en obras de ingeniería.

## **BIBLIOGRAFIA.**

1. Ing. A. Ernitz, Manual de Hierro y Aceros ( 4<sup>ta</sup>. Edición; Buenos Aires: Editorial Alsina, 1.989), pp. 5-8.
2. Manual del Ingeniero Mecánico, Tomo 1 ( México: Mc Graw-Hill, 1.995), pp. 5-2, 5-3, 5-13, 5-14, 6-12.
3. Biblioteca del Ingeniero Químico, Volumen 6 ( México: Mc Grw-Hill, 1.988), pp. 23-17; 23-18.
- 4.. Metal Handbook. Volumen 6 ( 9<sup>na</sup>. Edición; American Welding Society), pp. 364-367, 1076-1077.
5. Stainless Steels, Properties How to Weld Them ( Cleveland: Lincoln Electric Company, 1.990), pp. 19-20-22-23-27-28.
6. Manual del Ingeniero Mecánico, Tomo II ( México: Mc Graw-Hill, 1.995), pp. 13-36, 13-47, 13-49.
7. Manual de Soldadura, Tomo I ( 8<sup>va</sup>. Edición; México: American Welding Society, 1.996), pp. 192-229.
8. “ Soldadura heterogénea de diferentes aceros mediante electrodos de acero inoxidable”, Revista de Soldadura, Vol. 10, No. 2 ( Jun-Jul, 1.980), pp. 99-100.
9. Guía para Soldadura y Corte, ( 3<sup>ra</sup>. Edición; Miami: Lincoln Electric Company, 1.993), pp. 54-55.