

Rubén Caivi  
6/3/03.

ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PROCESOS DE SOLDADURA  
MIG Y TIG EN LA PRODUCCION DE CILINDROS DE ALUMINIO  
PARA GAS LICUADO DE PETROLEO (LPG)

TESIS DE GRADO  
Previo a la obtención del Título de  
INGENIERO MECANICO

Presentada por:  
PEDRO H. RIZZO PASTOR

Guayaquil - Ecuador

1981

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. ANTONIO VITERI M.,  
Director de Tesis, por su  
ayuda y colaboración para  
la realización de este tra-  
bajo.

DEDICATORIA

A mis Padres

A mis Hermanos

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom. The signature is positioned above a dotted horizontal line.

ING. ANTONIO VITERI M.

Director de Tesis

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la  
ESPOL).

A handwritten signature in cursive script, reading "Pedro H. Rizzo Pastor", written over a dotted horizontal line.

PEDRO H. RIZZO PASTOR

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis técnico-económico comparativo de los procesos de soldadura MIG y TIG en las uniones soldadas de láminas de aluminio de baja aleación (aleación 1.100) con láminas de alta resistencia (aleación 5.086) con el objetivo de estudiar las propiedades de las uniones soldadas en cilindros de aluminio para gas licuado de petróleo (LPG).

Para ello se obtuvieron probetas soldadas en planta y en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPOL, luego se realizaron los ensayos destructivos y no destructivos en cada una de ellas, lo cual hizo posible la formación de ciertos criterios prácticos y económicos que sirvieron de base para finalmente revelar las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos.

### III

## INDICE GENERAL

	Pág.
Resumen.....	II
Indice General.....	III
Indice de Figuras.....	IV
Indice de Tablas.....	V
<b>CAPITULO I</b>	
Introducción.....	1
<b>CAPITULO II</b>	
2.1 Justificación Técnico-Económica del Proyecto....	4
2.2 Estudio en Planta del Proceso Actual Aplicado ....	5
2.2.1 Tipo de Proceso.....	5
2.2.2 Equipo Utilizado.....	6
2.2.3 Control de Calidad.....	6
2.2.3.1 Ensayo de Presión Hidrostática....	6
2.2.3.2 Ensayo de Estanqueidad.....	11
2.2.4 Defectos de Uniones Soldadas.....	15
2.2.5 Costo de Electrodo.....	16
2.2.5.1 Exigencias Técnicas.....	19
2.2.5.2 Rendimiento Específico de Fusión..	19
2.2.6 Costo de Máquinas.....	20
2.2.7 Rendimiento Eléctrico de Soldadura.....	21
2.2.8 Costo de Material de Aportación y Gas de Protección.....	22

## CAPITULO III

## SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

3.1 Generalidades.....	24
3.2 Clasificación de los Elementos Aleantes.....	26
3.3 Efectos de Elementos Aleantes.....	29

## CAPITULO IV

## PROCESOS DE SOLDADURA PARA ALUMINIO

4.1 Generalidades.....	31
4.2 Procesos de Soldadura Aplicables.....	32
4.3 Variables que Influyen en el Proceso.....	38
4.4 Selección de Procesos.....	44

## CAPITULO V

## TRABAJO EXPERIMENTAL

5.1 Análisis de Materiales a Usarse.....	49
5.2 Proceso MIG.....	55
5.2.1 Equipo de Soldadura.....	55
5.2.2 Selección del Electrodo.....	59
5.2.3 Selección de Variables del Proceso.....	61
5.2.4 Obtención de Uniones Soldadas.....	65
5.3 Proceso TIG.....	72
5.3.1 Equipo de Soldadura.....	72
5.3.2 Selección del Electrodo y Material de Apor- tación.....	79
5.3.3 Selección de Variables del Proceso.....	82
5.3.4 Obtención de Uniones Soldadas.....	91

5.4 Ensayos Destructivos y No Destructivos.....	100
5.4.1 Análisis Metalográfico.....	100
5.4.2 Análisis de Dureza.....	112
5.4.3 Ensayo de Tracción.....	114
5.4.4 Ensayo de Doblado.....	122
5.4.5 Ensayo Radiográfico.....	136
5.4.6 Ensayo de Caída.....	145
CAPITULO VI	
ANALISIS DE RESULTADOS.....	155
CAPITULO VII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	159
TABLAS.....	165
BIBLIOGRAFIA.....	188

## IV

### INDICE DE FIGURAS

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
1	Uniones Soldadas del Protector de Válvula, Base y Casquetes del Cilindro.....	7
2	Cilindro de Aluminio para Gas Licuado de Petróleo (LPG), elaborado en Planta.....	8
3	Fuente de Corriente con sistema de alimentación durante el proceso de Soldadura MIG.....	10
4	Banco de Prueba Hidrostática.....	13
5	Estanque para Prueba de Estanqueidad de los Ci- lindros.....	14
6	Defectos de Soldadura (Proc. MIG).....	17
7	Defectos de Soldadura (Proc. MIG).....	17
8	Defectos de Soldadura (Proc. MIG).....	18
9	Defectos de Soldadura (Proc. MIG).....	18
10	Representación Esquemática de un proceso MIG.....	36
11	Representación Esquemática de un proceso TIG....	37
12	Influencia de las Variaciones de Voltaje y Gas Protector.....	41
13	Variaciones de la forma del cordón de soldadura con el gas empleado.....	46
14	Vista frontal del protector de válvula y base del cilindro.....	51

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
15	Protector y Válvula utilizados en Cilindros de Aluminio.....	52
16	Gráfico característico, voltios-amperios para un potencial constante de la fuente de poder....	58
17	Pistola de soldadura MIG.....	60
18	Movimiento de los electrones según la polaridad.	63
19	Tipos de transferencia de metal de aporte.....	64
20	Operario ejecutando el proceso MIG en planta....	68
21	Uniones soldadas mediante Proceso MIG.....	69
22	Unión soldada mediante Proceso MIG.....	69
23	Uniones soldadas mediante Proceso MIG.....	70
24	Unión soldada mediante Proceso MIG.....	70
25	Unión soldada mediante Proceso MIG.....	71
26	Características estáticas para corrientes convencionales de la operación de la fuente de poder..	75
27	Fuente de Poder utilizada en el Proceso de Soldadura TIG.....	76
28	Pistola para Soldadura TIG.....	78
29	Equipo de Soldadura Semi-Automático TIG.....	81
30	Preparación de puntas de electrodos según la corriente utilizada.....	83
31	Efecto de la polaridad sobre el arco eléctrico..	87
32	Efecto del tipo de corriente y polaridad sobre la penetración.....	88

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
33	Influencia del Gas empleado en la característica del arco.....	90
34	Ejecución del Proceso TIG.....	92
35	Posiciones angulares de la pistola y material de aportación con respecto al cuerpo del cilindro en el procedimiento de soldadura TIG.....	93
36	Unión soldada mediante Proceso TIG.....	96
37	Unión soldada mediante Proceso TIG.....	96
38	Uniones soldadas mediante Proceso TIG.....	97
39	Unión soldada mediante Proceso TIG.....	97
40	Unión soldada mediante Proceso TIG.....	98
41	Unión soldada mediante Proceso TIG.....	98
42	Unión soldada mediante Proceso TIG.....	99
43	Macrofotografía del cordón de soldadura obtenido por Proceso MIG.....	105
44	Macrofotografía del cordón de soldadura obtenido por Proceso TIG.....	106
45	Microfotografía de la línea de fusión (Proc.MIG).	110
46	Microfotografía de la línea de fusión (Proc.TIG).	111
47	Macrofotografía del cordón de soldadura obtenido por Proceso MIG.....	115
48	Macrofotografía del cordón de soldadura obtenido por Proceso TIG.....	116

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
49	Variación de la dureza en las secciones transversales de las uniones soldadas mediante procedimientos MIG y TIG.....	117
50	Dimensiones de probetas de tracción.....	118
51	Montaje de probetas de tracción en la mordaza fabricada para tal efecto.....	121
52	Curvas comparativas del ensayo de tracción de probetas obtenidas por procesos MIG y TIG.....	124
53	Dibujo esquemático de las probetas de doblado....	132
54	Ensayo de doblado de probetas .....	133
55	Ensayo de doblado, etapa final en el Tornillo de Banco.....	134
56	Angulos de doblados de probetas obtenidas del proceso MIG en primer plano y proceso TIG al fondo.....	135
57	Diagrama de exposición del aluminio a los rayos X	140

INDICE DE TABLAS

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
I	Punto de fusión del aluminio comparado con otros elementos.....	165
II	Calor de Fusión del aluminio comparado con otro elementos.....	166
III	Conductividad térmica del aluminio comparada con otros elementos.....	167
IV	Dilatación térmica lineal del aluminio comparada con otros elementos.....	168
V	Designación numérica para el aluminio y sus aleaciones.....	169
VI	Soldabilidad del aluminio-selección de procesos.	170
VII	Metales de aportación recomendados para la soldadura de aluminio-MIG y TIG.....	171
VIII	Selección de variables en la soldabilidad del protector de válvula y base en cilindros de aluminio (Proc. MIG).....	172
IX	Relación de diámetros entre electrodos y boquilla del maneral.....	173
X	Clasificación de electrodos, identificación, composición química y usos recomendados.....	174
XI	Rangos de corriente para electrodos de tungsteno.....	175

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
XIII	Selección de Variables en la soldabilidad de protector de válvula y base en cilindro de aluminio (Proc. TIG).....	176
XIII	Dimensiones de la geometría de la soldadura depositada mediante procesos MIG y TIG.....	177
XIV	Resultado del análisis de microdureza KNOOP...178	178
XV	Resultado de los ensayos de tracción.....	179
XVI	Resultado de los ángulos de doblado para protectores y bases - Procesos MIG y TIG.....	180
XVII	Calentamiento del equipo.....	181
XVIII	Codificación de las pruebas radiográficas.....	182
XIX	Guía para la selección de películas radiográficas para exposición con equipos de Rayos X...183	183
XX	Control de parámetros de la radiografía industrial.....	184
XXI	Análisis económico de las operaciones de soldadura para protectores y bases de cilindros de aluminio mediante Procesos MIG y TIG.....	185
XXII	Análisis comparativo técnico-económico de las uniones soldadas de los protectores y bases mediante Procesos MIG y TIG elaborados en planta y en ESPOL, respectivamente.....	186

CAPITULO I

## CAPITULO I

### I N T R O D U C C I O N

Los procesos de soldadura por arco MIG (metal inert gas) y TIG (tungsten inert gas) que son ampliamente utilizados en la actualidad para obtener estructuras soldadas de aluminio, son en el presente estudio objeto de un análisis técnico comparativo.

Siendo el procedimiento MIG de una mayor sencillez operativa y alta productividad, en los últimos años el desarrollo del procedimiento TIG ha despertado un gran interés en las construcciones soldadas por sus grandes mejoras que lo hacen más competitivo.

El estudio comparativo entre los procesos de soldadura por arco MIG y TIG en la producción de cilindros de aluminio consiste en establecer relaciones de las propiedades mecánicas en la soldabilidad de láminas de aluminio, bases y protectores de válvulas, de baja aleación (1100) con láminas de alta resistencia, casquetes hemisféricos del cilindro, aleación (5086).

Se procedió en primer lugar, a realizar los estudios de los procesos MIG y TIG. A continuación se seleccionaron

las variables involucradas en los procesos de acuerdo a las características y composiciones químicas de las aleaciones, para ello, en el Laboratorio de Metalurgia de la Escuela Superior Politécnica del Litoral se realizaron ensayos de Soldadura mediante procedimiento TIG sobre los casquetes hemisféricos de los cilindros hasta obtener una apariencia aceptable de los cordones de soldadura en las juntas soldadas. Las uniones soldadas mediante el procedimiento MIG fueron obtenidas en una planta productora de cilindros de aluminio para gas licuado de petróleo de la localidad.

Además, se efectuaron análisis metalográficos y de dureza, ensayos de tracción, doblado, caída y radiográficos de las juntas soldadas.

Los resultados y conclusiones de los ensayos destructivos y no destructivos han servido para realizar un análisis comparativo de las ventajas y desventajas que ofrecen los procesos, tanto en las propiedades mecánicas así como también desde el punto de vista técnico y económico.

Además, han servido como base para fijar las variables de soldadura en cilindros de aluminio a presión por medio del procedimiento TIG, y, en el procedimiento MIG en el desarrollo de las recomendaciones para el mejoramiento de la calidad

y presentación de las uniones soldadas y disminuir el número de piezas rechazadas por defectos de esta soldadura.

CAPITULO II

## CAPITULO II

### 2.1 JUSTIFICACION TECNICO-ECONOMICA DEL PROYECTO

Las consideraciones primarias para cualquier proceso de soldadura es el de producir uniones soldadas con las mismas propiedades y calidades óptimas a un mínimo costo.

Los procesos de soldadura de arco MIG y TIG con gas protector producen soldaduras con buena penetración y relativamente libres de atmósferas contaminantes. Sin embargo, ambos procesos presentan técnicamente diferentes ventajas en cuanto a la versatilidad de operaciones, disponibilidad de equipos, tolerancias que se pueden admitir en la preparación de los bordes, calidad requerida de las juntas soldadas, velocidad de trabajo, espesor de las juntas soldadas, familiarización del proceso y pruebas mecánicas.

Económicamente, los factores incidentes que hacen un proceso más ventajoso son: costos de producir la soldadura que está básicamente relacionado con los costos.

de material y operación, disponibilidad de equipos, posibilidad de inversión de equipos de alta productividad, facilidad de materiales de aportación más convenientes para la aplicación del método elegido.

En consecuencia, se tratará de caracterizar los procesos, analizando sus límites de capacidad, en la maniobrabilidad de los cilindros de acuerdo a las variables elegidas que influyen en los procesos aplicados en el presente estudio en base a los datos obtenidos de los análisis y ensayos mecánicos.

## 2.2 ESTUDIO EN PLANTA DEL PROCESO ACTUAL APLICADO

### 2.2.1 TIPO DE PROCESO

Actualmente, en planta se utiliza el proceso de soldadura semi-automático MIG, para la soldabilidad de las bases y protectores de válvulas con los casquetes hemisféricos de los cilindros. La figura N° 1 nos muestra un dibujo esquemático de las uniones soldadas del protector de válvula, base y casquete del cilindro.

La figura N° 2 nos ilustra un cilindro con su protector, casquetes y base de aluminio para

gas licuado de petróleo (LPG).

### 2.2.2 EQUIPO UTILIZADO

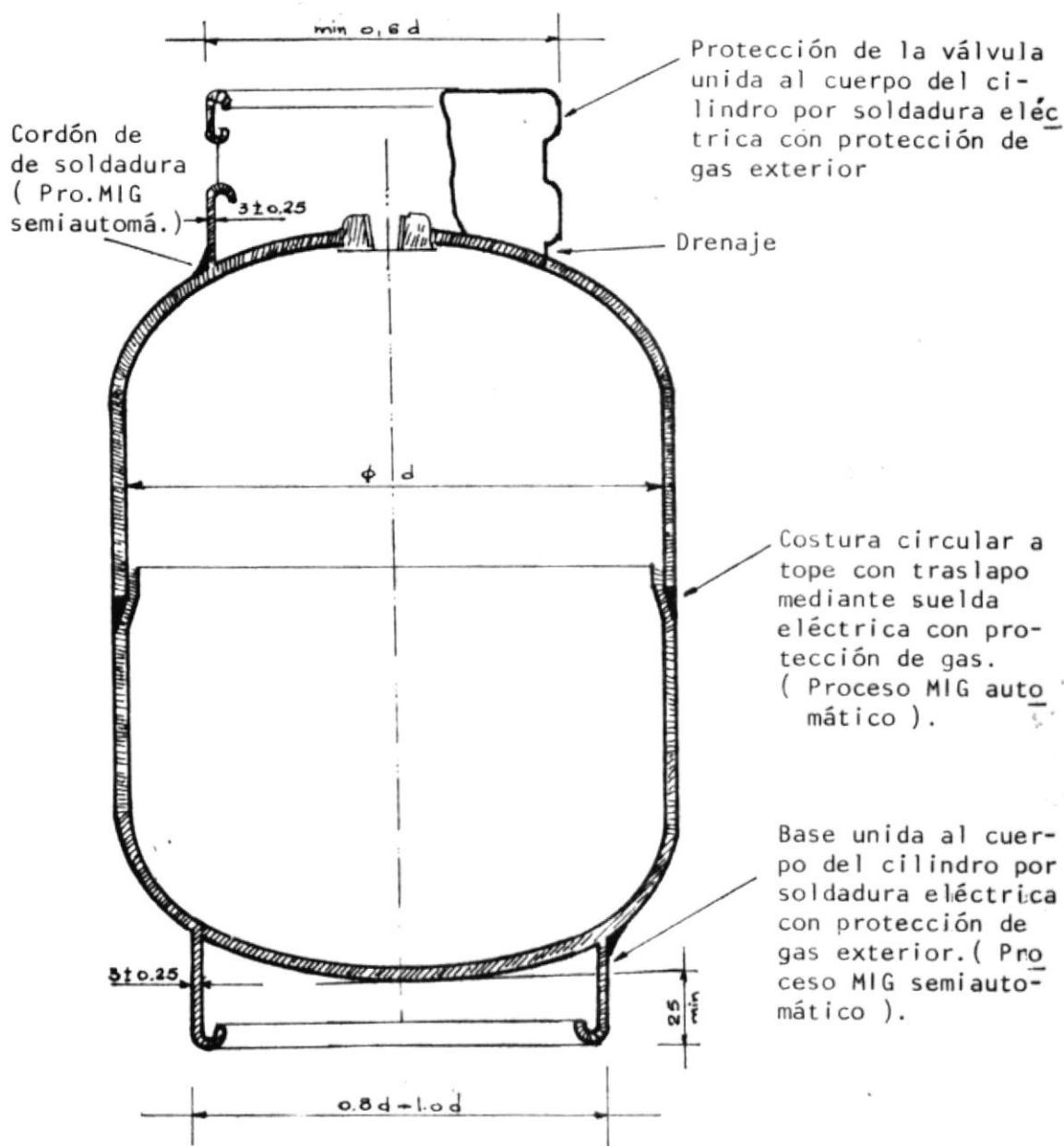
La unidad de soldeo, Air Product, utilizada en planta consta de un transformador-rectificador, 220 voltios, trifásico, con capacidad de hasta 250 amperios, acoplado a un equipo de alimentación de material de aporte, marca Cobra Matic.

El rango de operación durante el trabajo de soldeo es de 150 a 170 amperios, con un caudal de 40 pies cúbicos por hora de gas protector argón. La figura N<sup>o</sup> 3 ilustra la fuente de poder de soldadura acoplada al equipo de alimentación durante el proceso de soldadura con su amperímetro y voltímetro marcando los valores utilizados.

### 2.2.3 CONTROL DE CALIDAD

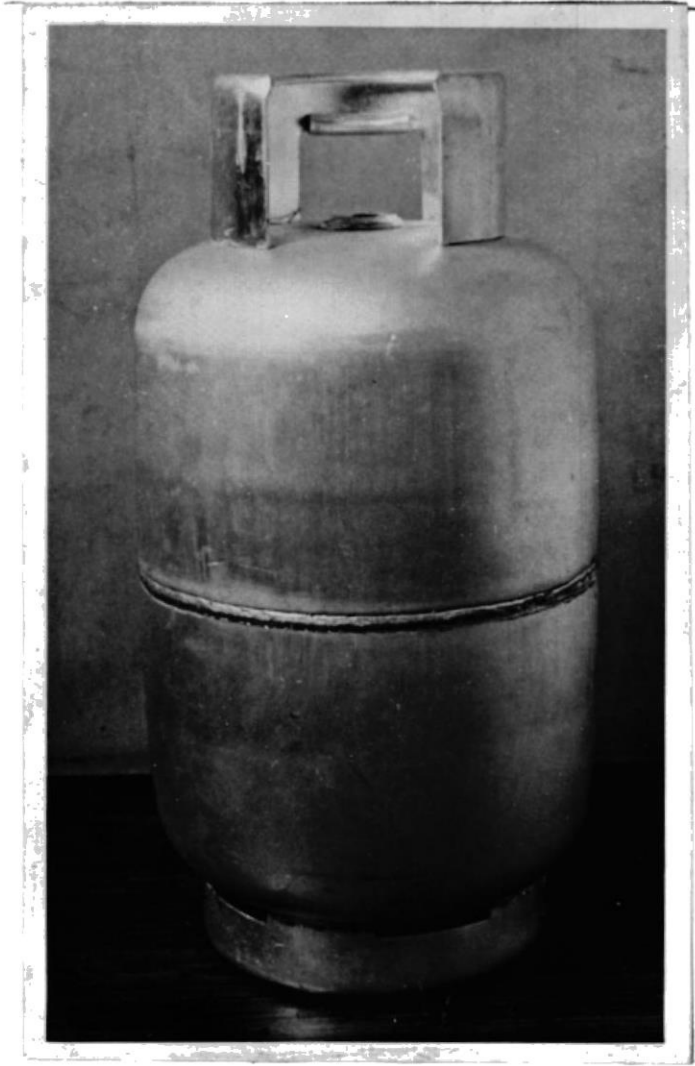
#### 2.2.3.1 ENSAYO DE PRESION HIDROSTATICA

Objetivos: Observar el comportamiento de los cilindros cuando son sometidos a una presión hidrostática igual a dos veces la presión de servicio  $31,3 \text{ Kg./cm}^2$ ,



UNIONES SOLDADAS DEL PROTECTOR DE VALVULA, BASE Y CASQUETES DEL CILINDRO

Figura N° 1



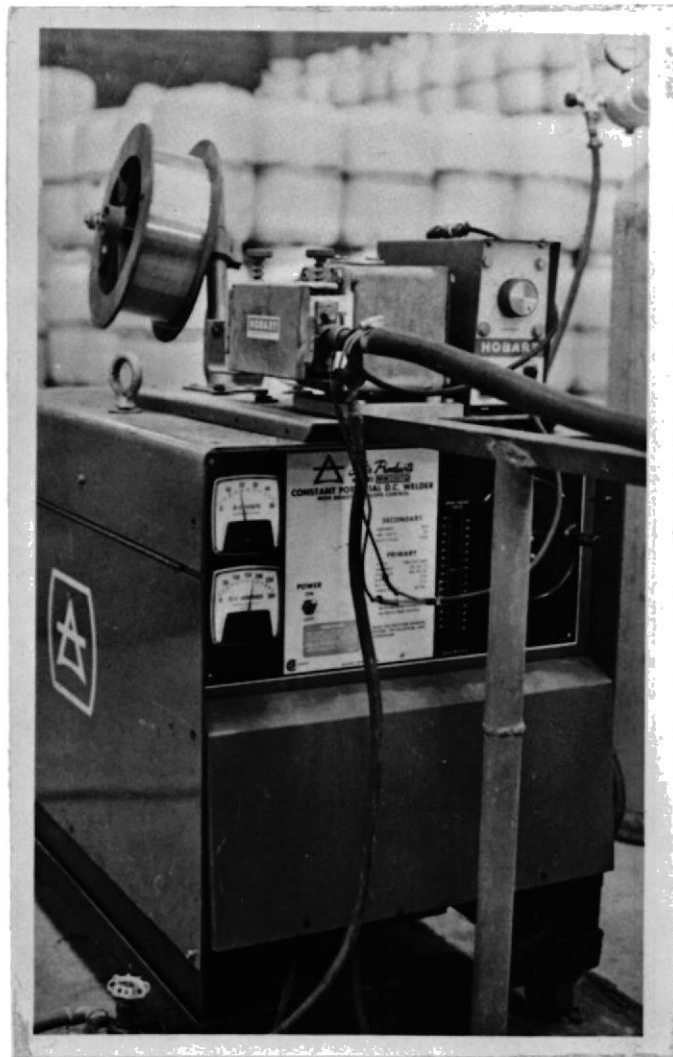
CILINDRO DE ALUMINIO PARA GAS LICUADO DE PETROLEO (LPG)  
ELABORADO EN PLANTA  
Figura N° 2

según norma del INEN 291, y verificar la ausencia de fallas.

Instrumental: Equipo para ensayar cinco cilindros al mismo tiempo, con manómetros indicadores y bombas de presión.

Procedimiento: Se colocan los cinco cilindros sin válvulas en el equipo probador y se ajustan los cilindros con las tomas de agua. Luego se enciende la bomba de agua hasta que el manómetro indique  $31.3 \text{ Kg./cm}^2$ . Se mantienen los cilindros a esta presión durante un tiempo mínimo de 30 segundos. Durante este tiempo se observa detenidamente cada uno de los cilindros, tratando de detectar posibles fugas de agua. Cualquier fuga detectada determina el rechazo del cilindro.

Terminado el ensayo se descarga la presión previo al retiro de los cilindros, los cuales son volteados para evacuar el agua desde su interior. Todo cilindro rechazado es anotado en el reporte diario, indicándose el número del cilindro y defecto observado. Los cilindros defectuo-



FUENTE DE CORRIENTE CON SISTEMA DE ALIMENTACION  
DURANTE EL PROCESO DE SOLDADURA MIG

Figura N° 3

Los cilindros son marcados en una forma visible en el punto en que se presentó la fuga.

Frecuencia: Esta es una inspección al 100% de la producción, esto es, todos los cilindros son sometidos a esta prueba.

La figura N° 4 nos ilustra el banco para la prueba hidrostática en posición de ensayo.

#### 2.2.3.2 ENSAYO DE ESTANQUEIDAD

Objetivos: Mediante este ensayo se determina la estanqueidad de los cilindros, sumergiendo los mismos en agua, llenos de aire a la presión de ensayo  $10,90 \text{ Kg/cm}^2$  según norma INEN 291. Además, se purga el agua del interior del cilindro.

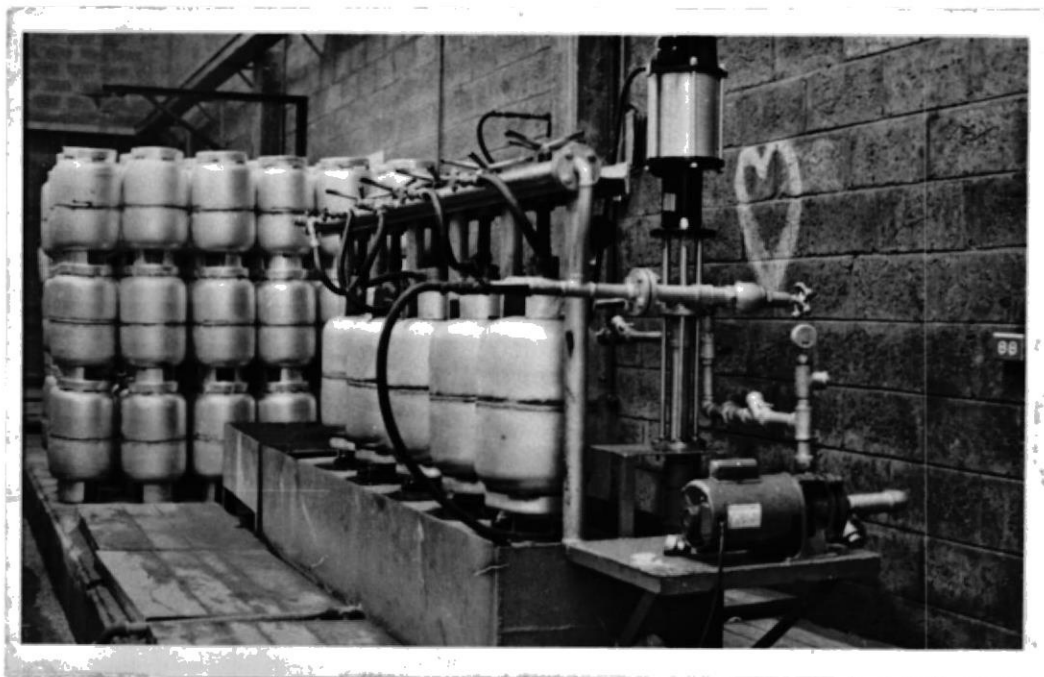
Instrumental: Equipos de toma de aire desde el compresor, que permite inyectar aire en el cilindro a la presión de ensayo; recipiente transparente para agua que permite sumergir completamente el cilindro; manómetros instalados en cada una de las tomas de aire, instrumentos para

desalojo de aire.

Procedimientos para el ensayo: Se calibrán las salidas de aire para una presión de  $10,90 \text{ Kg/cm}^2$ , se ajustan las tomas de aire en la válvula del cilindro y se abren las llaves de paso del aire hasta que el cilindro esté completamente lleno a la presión de  $10,90 \text{ Kg/cm}^2$ , el cual luego de ser desconectado, es colocado en el recipiente lleno de agua que asciende a la presión de ensayo mediante un sistema neumático, entonces el cilindro es observado cuidadosamente buscando si existe alguna fuga de aire que se manifieste en forma de burbujas, poniendo especial atención en los siguientes puntos:

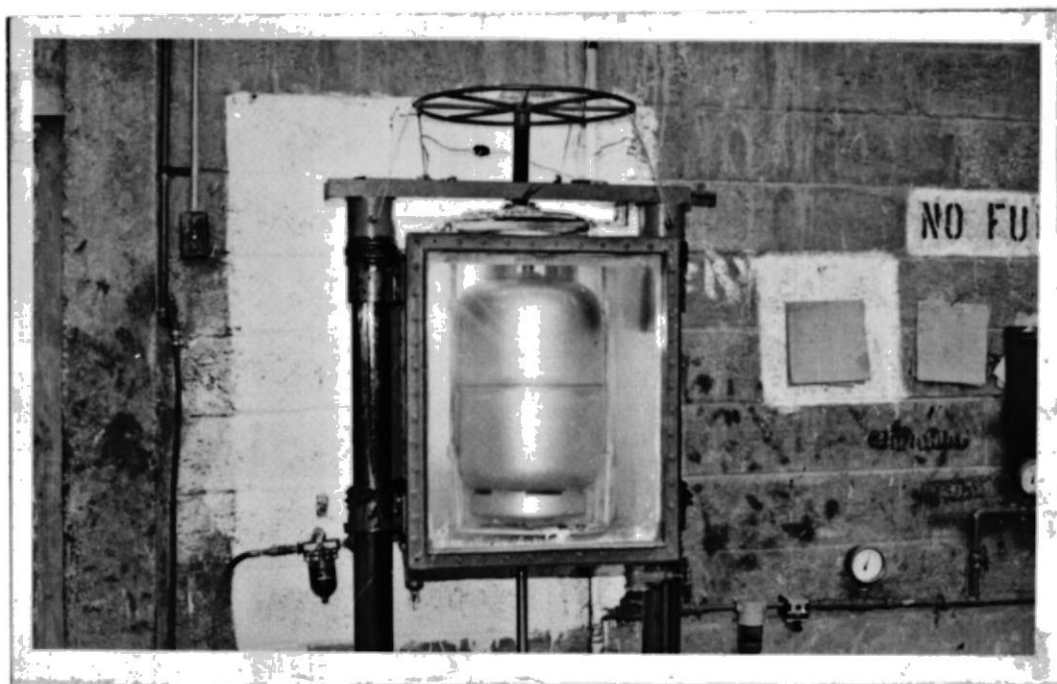
- cordón de soldadura de la base,
- cordón de soldadura circunferencial,
- cordones de soldadura del protector,
- cordones de soldadura del portaválvula,
- rosca del portaválvula y válvula.

Cualquier fuga que se observe, determina el rechazo del cilindro; en la hoja de



BANCO DE PRUEBA HIDROSTATICA

Figura N° 4



ESTANQUE PARA PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD  
DE LOS CILINDROS

Figura N<sup>o</sup> 5

control diario se anota el número del cilindro y el defecto detectado.

Frecuencia: esta es una inspección al 100% de la producción, ésto es, todos los cilindros pasan por esta prueba.

La figura N<sup>o</sup> 5 nos ilustra el banco para la prueba de estanqueidad en posición de ensayo.

#### 2.2.4 DEFECTOS DE UNIONES SOLDADAS

La revisión de defectos de uniones soldadas se reduce a una inspección visual del cordón de soldadura y del material base en los productos defectuosos que se han originado en planta.

La inspección visual es probablemente el ensayo no destructivo más importante y rápido usado, que nos permite obtener una información muy valiosa revelándonos los defectos en las piezas soldadas tales como: roturas, grietas, agujeros, burbujas, en general, muchas discontinuidades presentes en los trabajos de soldadura.

En una inspección visual, el instrumental requerido es el de una iluminación adecuada, ésto quiere decir que para piezas opacas y oscuras conviene

una iluminación puntual y brillante; por el contrario si la pieza es brillante y clara conviene que la iluminación sea menos intensa y como condición casi siempre muy útil, que sea difusa.

Se escogieron cuatro cilindros de la planta al azar, a continuación fueron limpiados y desengrasados, luego inspeccionados, detectando y analizando las discontinuidades. Posteriormente, tomas fotográficas permitieron tener un registro permanente del evento.

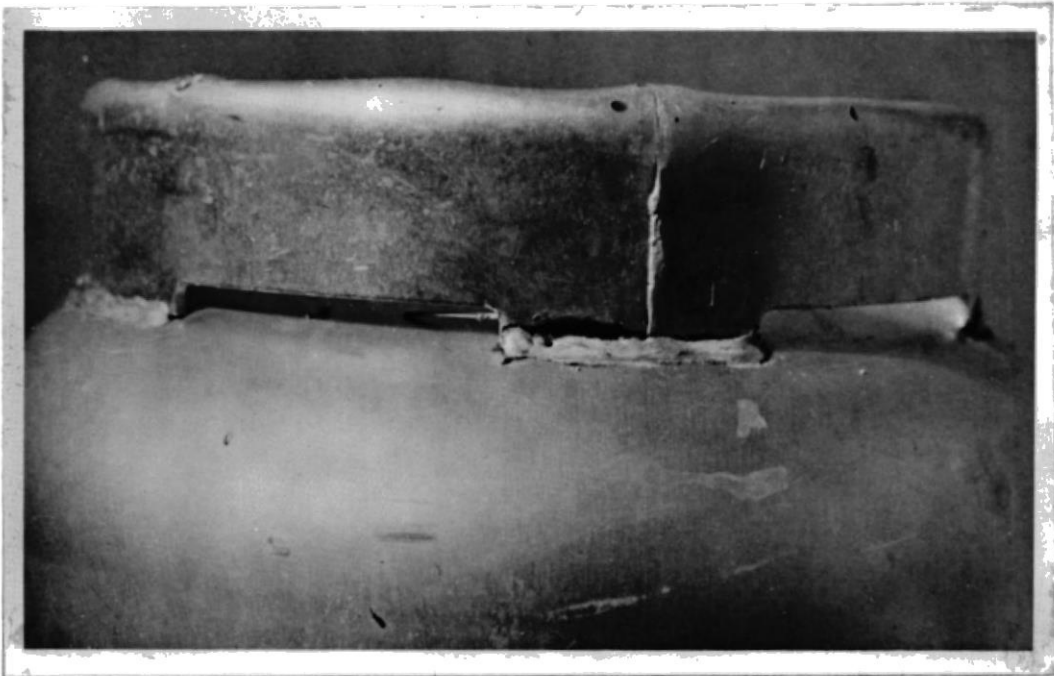
El más común de los defectos detectados es el de las porosidades superficiales esferoidales. Las figuras 6, 7 y 8 muestran estos defectos que a menudo son causados por la excesiva velocidad del arco o insuficiente protección del gas. En la figura N<sup>o</sup> 9 son observadas gotas del material de soldadura, expelidos durante la finalización de la operación de soldadura sobre el metal base o sobre el cordón de soldadura. En el metal base se observa la marca que deja el arco eléctrico al ser retirado por el soldador.

#### 2.2.5 COSTO DE ELECTRODOS

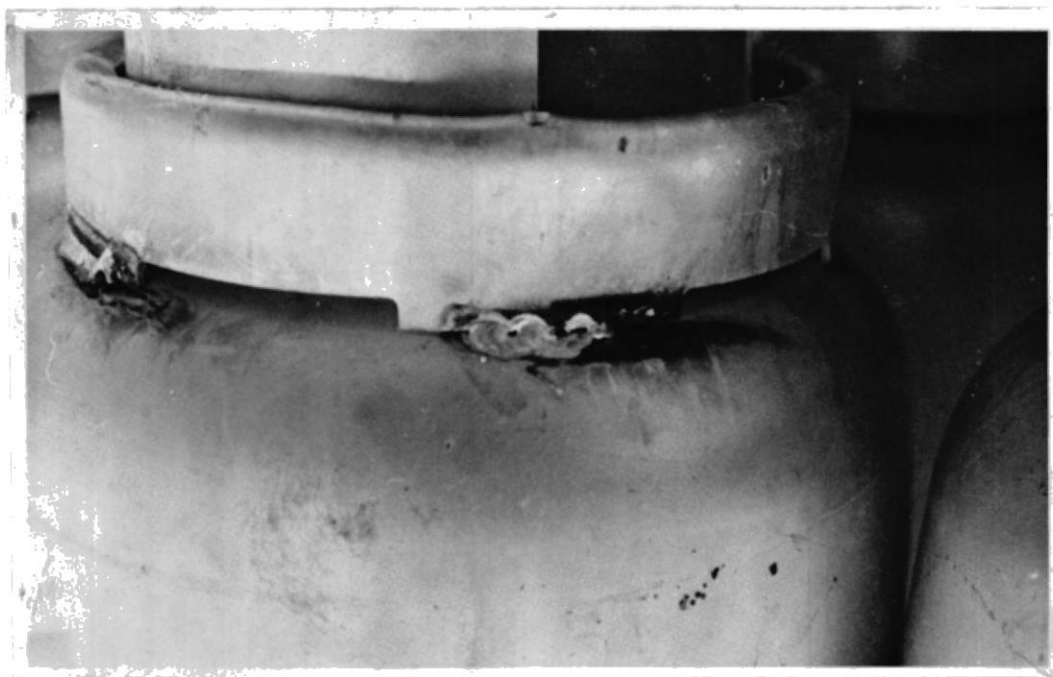
El costo de electrodos supone una notable parte



DEFECTOS DE SOLDADURA (PROCESO MIG)  
Figura N° 6



DEFECTOS DE SOLDADURA (PROCESO MIG)  
Figura N° 7



DEFECTOS DE SOLDADURA (PROCESO MIG)

Figura N° 8



DEFECTOS DE SOLDADURA (PROCESO MIG)

Figura N° 9

del costo del proceso de soldadura y está influido por los siguientes factores:

#### 2.2.5.1 EXIGENCIAS TECNICAS

El electrodo tiene que ser perfectamente soldable con el metal base y producir unas características mecánicas que correspondan a los esfuerzos en la obra y tienen que poderse soldar satisfactoriamente en circunstancias dadas en la pieza. Especificaciones demasiado elevadas, comparadas con los requerimientos del producto elevan los costos de los electrodos y por lo tanto aumentan innecesariamente los costos de producción.

#### 2.2.5.2 RENDIMIENTO ESPECIFICO DE FUSION ( $\eta$ )

Se refiere al peso en gramos de material de soldadura depositado por amperios-horas:

$$\eta = \frac{g}{A.H} \quad (15)$$

En la soldabilidad de los protectores y bases con los casquetes de los cilindros por medio del procedimiento MIG actualmen-

te utilizado en planta son depositados 10 gramos de soldadura por cilindro y con un tiempo de 3 segundos por cada cordón de soldadura de dos pasadas, resultando un tiempo total de 27 segundos y una intensidad de soldeo de 150 amperios.

Por lo tanto, el rendimiento específico de fusión es:

$$\frac{10 \text{ gramos}}{150 \text{ amp.} \times 27 \text{ segs.}} = 0.00247 \frac{\text{gramos}}{\text{amps.segs.}}$$

#### 2.2.6 COSTO DE MAQUINAS

El costo de máquinas es sólo una pequeña parte del costo total en la soldadura por arco, el cual se va amortizando durante la producción; su selección se determina frecuentemente por las exigencias técnicas del trabajo a realizarse.

El transformador de corriente alterna de costo aproximado a la mitad del costo del convertidor tiene un consumo al vacío muy bajo, un alto rendimiento y no necesita entrenamiento alguno, y con la ventaja de que no hay elección de polaridad.

Los rectificadores, de gran utilidad, permiten la

soldadura de todo electrodo con libre elección de la polaridad y es especialmente apropiado para la soldadura de chapas finas.

En el cálculo de costo hay que conocer el costo de máquinas por unidad de tiempo y se puede calcular con el siguiente esquema:

$$\begin{array}{l}
 \text{Precio de adquisición} \\
 + \text{ Trabajos de instalación} \\
 + \text{ Cable de soldar} \\
 + \text{ Porta-electrodos} \\
 + \text{ otros equipos de soldar} \\
 \hline
 = \text{ COSTO DE INSTALACION}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Gastos de entrenamiento por año} \\
 + \text{ Gastos de repuestos por desgaste} \\
 + \text{ Interés por amortización} \\
 \hline
 = \text{ COSTO ANUAL DE MAQUINAS}
 \end{array}$$

El costo anual de máquinas se divide por el número de horas de elaboración y se obtiene el costo por horas (15)

### 2.2.7 RENDIMIENTO ELECTRICO DE SOLDADURA

Este valor en kilogramos por kilowatios y su valor recíproco (consumo de energía en kilogramos por ki-

lo de material de soldadura depositado) permiten sacar conclusiones sobre el aprovechamiento económico de la energía. Sin embargo, como el costo de la energía es sólo 3 a 8% del costo total en la soldadura con diferente electrodo, no influye de modo esencial (15).

#### 2.2.8 COSTO DE MATERIAL DE APORTACION Y GAS DE PROTECCION

Especificaciones.....bobina de 13 lbs.  
 Aleación.....5356  
 Dimensiones (diámetro)....1/16" - 3/64"  
 Costos (kilogramo).....S/.167,50-S/.179,70  
 Costo (bobina) .....S/.1.062,00  
 Costo del gas de protección.  
                   ARGON, (m<sup>3</sup>)           S/.360,00

El costo del material de aportación y gas de protección por cilindro es:

Material de aportación por cilindro (gr.).....10  
 Costo de material de aportación, 3/64" (gr.) .S/.0,179  
 Total costo de material de aportación depositado por cilindro..... 1,79  
 Flujo del gas de protección, Argón, en la operación de soldadura por cilindro (pies<sup>3</sup>/hora) 40  
 Volumen del Gas de Protección, por cilindro, (pies<sup>3</sup>)... 0.30

Costo del gas de protección (pies<sup>3</sup>).....S/. 10.27

Total costo de gas de protección por cilindro..... S/. 3.08

CAPITULO III

## CAPITULO III

### SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

#### 3.1 GENERALIDADES

El aluminio y sus aleaciones son usados principalmente en aplicaciones que demandan gran resistencia mecánica, bajo peso, conductividad térmica y eléctrica altas y resistencia a la corrosión, además son considerados entre los materiales fácilmente soldables (13).

Sin embargo, antes de iniciar un proceso de soldadura, es necesario un adiestramiento previo para el control de importantes características individuales del proceso.

Tal es así, que a pesar de su bajo punto de fusión, 658 grados centígrados (15), se necesita aproximadamente la misma cantidad de calor que el acero, a causa de la alta conductividad térmica y el alto calor de fusión.

La conductividad térmica 3 a 5 veces la del acero exige precalentamiento, especialmente en la soldadura a gas

de piezas de aluminio gruesas (15).

La dilatación térmica, aproximadamente doble que la del acero y su gran contracción, puede conducir a fuertes deformaciones y grietas, si no se exige una secuencia de soldadura conveniente y de acuerdo a la construcción soldada (15). En las tablas N<sup>o</sup> 1, 2, 3 y 4 se indican algunas propiedades físicas del aluminio comparado con otros metales.

El problema de la soldabilidad del aluminio y sus aleaciones, está regido por dos fenómenos fundamentales, que son los siguientes:

- A. Formación de alúmina  $Al_2O_3$  menos fusibles que el aluminio ( $2.030^{\circ}C$  en vez de  $655-660^{\circ}C$ ), y de mayor densidad. La formación de alúmina es la causa de la insolubilidad operatoria del metal y sus aleaciones, su presencia se opone a la interpenetración de las gotas fundidas que aseguran la continuidad del cordón de soldadura. La dificultad desaparece utilizando un flujo especial que produce por disolución de la alúmina una escoria ligera, fácil de eliminar.
- B. En el caso de algunas aleaciones, el ciclo térmico de soldadura provoca en el metal base y zona fundida la precipitación de compuestos definidos de la solu-

ción sólida madre, originando la disminución por una parte de las características mecánicas y por otra de la resistencia a los agentes químicos. (19).

El aluminio y muchas de sus aleaciones son débiles cuando se los ha calentado, es quebradizo en caliente, esto quiere decir que mientras se hagan soldaduras de piezas de aluminio, todas aquellas zonas cuya temperatura tengan que elevarse en forma apreciable habrá que contar con un sostén adecuado.

A éste respecto es oportuno recordar que la conductividad térmica o calórica del aluminio es elevada de manera que, cuando se aplica calor a los bordes que han de soldarse, el mismo se difunde rápidamente por toda la masa del metal (22).

Como el aluminio no exhibe un cambio de calor en la fusión (de que esté acercándose a la temperatura propia de soldadura), es necesario que el operador observe un cambio aparente de humedad en la superficie para indicar la fusión del metal.

### 3.2 CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS ALEANTES

El aluminio se encuentra clasificado en tres grupos principales:

#### A. Aluminio comercialmente puro

Identificado con la serie lxxx, indica que contiene .

un mínimo del 99% de aluminio y el 1% restante consiste de de pequeñas cantidades de hierro y silicio que en realidad son impurezas, aunque surten algunos efectos en las propiedades del metal. Este aluminio se encuentra prácticamente en todas las formas utilizadas en la industria metalúrgica.

B. Aluminio con bajo porcentaje de elementos aleantes

El aluminio se encuentra frecuentemente aleado con silicio y magnesio, también existe con aleaciones de zinc, hierro y cobre. Estas aleaciones pueden haber recibido tratamientos térmicos o fríos. Las aleaciones tratadas térmicamente son aquellas que han sido elaboradas mediante procesos térmicos para obtener mayores rendimientos mecánicos.

Las aleaciones tratadas mediante procesos en frío son aquellas en que el trabajo de deformación o endurecimiento no ha sido realizado por medio de ningún proceso térmico.

C. Aluminio con altos porcentajes de elementos aleantes

Este aluminio es producto de procesos de colado o fundición. La adición de elementos aleantes durante el proceso involucran grandes mejoras en las propiedades mecánicas del aluminio, que podrían ser minimizadas si

no se tiene extrema precaución durante la operación de soldeo. En general, estas aleaciones son bien soldables y sus principales elementos aleantes son: cobre, silicio y hierro (11), (13).

En la serie lxxx, los dos últimos dígitos indican el contenido mínimo específico de aluminio en centésimas de 1%. El segundo dígito indica, el número de impurezas individuales sujetas a control. Ejemplo, la serie 1075 tendría 99,75% mínimo de aluminio, el segundo dígito indicaría el número de impurezas individuales sujetas a control.

En las series 2xxx a 8xxx, los dos últimos dígitos numéricos sirven para identificar las diferentes aleaciones específicas del grupo, y el segundo dígito indica modificaciones de la aleación.

Las aleaciones de las series 1000, 3000 y 5000, no son tratadas termicamente, son endurecidas en frío y presentan facilidades para su soldabilidad. Debido a que las aleaciones de la serie 1000 no presentan una aceptable resistencia a la tensión, pero si una buena resistencia a la corrosión, se prefiere la mayoría de las veces las aleaciones de la serie 3000.

Entre las aleaciones del aluminio que presentan una

alta resistencia a la tensión son las que corresponden a la serie 5000.

Las aleaciones de la serie: 2000, 4000, 6000 y 7000, son tratadas térmicamente y pueden ser soldables por la mayoría de los procedimientos, excepto la serie 2000, que no es recomendada para oxi-acetileno y serie 7000 para arco metálico con electrodo protegido.

En la mayoría de los casos, las aleaciones 2000 son usadas extensamente para estructuras muy livianas.

### 3.3. EFFECTOS DE ELEMENTOS ALEANTES

Una de las grandes cualidades del aluminio comercialmente puro, con pequeñas cantidades de hierro y silicio, es la ductilidad, que en consecuencia, permite una mejor maquinabilidad del material. La adición de elementos aleantes como el cobre y el zinc bajo procesos térmicos mejoran la resistencia del material hasta el punto que podría ser comparable a la del acero.

La aleación del aluminio y manganeso contiene 1,2% aproximadamente de manganeso y un mínimo de 97% de aluminio que lo hace algo más fuerte que el aluminio comercialmente puro y por consiguiente menos fácil de trabajar.

La aleación de aluminio-silicio-magnesio-cromo-manganeso y zinc, es susceptible de ser trabajada térmicamente y gran parte de los efectos del tratamiento térmico como son su buena maquinabilidad e incremento de la resistencia a la tensión, desaparecen en la zona contigua a la soldadura.

La aleación de aluminio-cobre-magnesio y manganeso es tratada térmicamente y útil para ligeras estructuras soldables.

En las aleaciones del aluminio mediante proceso de colado o fundición, el cobre es el principal elemento que mejora la dureza del material.

La aleación aluminio y silicio contiene 5% de silicio, que es usado en las arenas de moldeo para prevenir la resistencia a la corrosión y además es frecuentemente utilizado por su excelente cualidad para los procesos de colado o fundición.

CAPITULO IV

## CAPITULO IV

### PROCESOS DE SOLDADURA PARA ALUMINIO

#### 4.1 GENERALIDADES

Los procesos de soldadura empleados en las aleaciones de aluminio dependen de varios factores que deben ser tomados en cuenta en un proceso de fabricación. El proceso mediante el cual fueron obtenidas las partes a soldarse es determinante, siendo diferente el proceso de soldadura para piezas obtenidas por algún proceso de deformación.

La selección del material, depende de la composición química del material base que en la mayoría de los casos son materiales de bajo porcentaje de elementos aleantes pero con mayor ductilidad que el material de aporte. Igualmente, la selección de parámetros de soldadura debe hacerse tomando en cuenta el estado inicial del metal base y cuáles deben ser sus propiedades después del proceso de soldadura. Durante el trabajo de soldadura, el calor del arco tiende a ablandar o recocer el metal base de aleaciones tratadas térmicamente o endurecidas en frío.

lo que significaría una restitución de las resistencias, en la zona afectada por el calor, de tal modo, quedaría suponer que algún tipo de fisura extensible se originaría probablemente en el metal de menor ductilidad.

Por lo tanto, la soldabilidad del aluminio y sus aleaciones requieren de una adecuada selección de procesos y procedimientos para minimizar en tal forma los efectos de las altas temperaturas desarrolladas y las consecuentes pérdidas de propiedades mecánicas.

#### 4.2 PROCESOS DE SOLDADURA APLICABLES

Los procesos de soldadura utilizados actualmente en la soldabilidad del aluminio y sus aleaciones son los siguientes: arco metálico bajo protección gaseosa (MIG, TIG), arco metálico con electrodo protegido, oxi-acetileno, resistencia y arco de carbono.

El aluminio puede ser soldado con arco metálico con protección gaseosa, usando los métodos MIG y TIG. Estos dos métodos presentan su similitud en el gas utilizado para la protección del arco y el baño de soldadura.

En la actualidad, los procesos MIG y TIG tienen mayor uso que los procesos de soldadura por arco metálico sin protección gaseosa, debido a una superior calidad de los

cordones de soldadura, facilidad de operación de las maquinarias e incremento de la velocidad de soldadura y con la conveniencia de encontrar procesos automatizados; además, por cuanto el gas protector es transparente, el operador puede seguir claramente la operación de soldadura. Estos procesos que son universalmente aceptados, pueden realizar uniones de todo tipo de materiales.

El proceso MIG es utilizado en una amplia gama de espesores, prácticamente desde 1.5mm. y sin límites superiores; espesores de gran tamaño pueden ser soldados con pasadas múltiples. El poder de penetración del arco y su estabilidad a grandes intensidades da un amplio margen de soldadura. Debido a la facilidad de operación del proceso semiautomático MIG y en particular a la rapidez de producción de uniones soldadas a gran escala, hacen que esta técnica predomine en la mayoría de las industrias (5).

El proceso TIG, es muy utilizado para el soldeo de espesores pequeños y medios del aluminio y aleaciones ligeras; la soldadura con corriente alterna es la técnica más extendida y pueden obtenerse soldaduras de excelentes calidades, en algunas ocasiones, sin embargo, presentan las siguientes desventajas: velocidad de soldadura relativamente baja, considerable anchura del cordón de soldadura, baja penetración y riesgo de inclusiones

de tungsteno en la soldadura. Los recientes desarrollos de nuevos procedimientos de esta técnica permiten obtener una alta calidad de las juntas soldadas y al mismo tiempo la velocidad de trabajo se incrementa considerablemente. En las figuras N° 10 y N° 11 se ilustran los procesos MIG y TIG respectivamente.

Para la soldadura por arco metálico sin protección gaseosa, los electrodos a emplearse deben ser revestidos con substancias que al ser sometidas al calor produzcan vapores que sirvan para proteger la atmósfera. Las substancias que se emplean como revestimiento deben además actuar como ionizantes de la trayectoria del arco y como fundentes para óxidos metálicos, que inevitablemente están presentes en toda pieza a soldar y más todavía en el aluminio. El revestimiento suele emplearse también para introducir en el metal fundido elementos de aleación y para facilitar el arranque y mantenimiento del arco.

Condicionado por las propiedades químicas y físicas del aluminio, la soldadura oxi-acetileno es utilizada en algunas circunstancias especiales de operaciones de soldadura. En este proceso, la fusión del material se logra mediante la energía térmica proveniente de la combustión en oxígeno de algunas substancias de alto poder calorífico; la substancia más convenientemente empleada es el

acetileno; otro gas empleado con cierta frecuencia en este proceso es el hidrógeno que mediante la reacción siguiente:

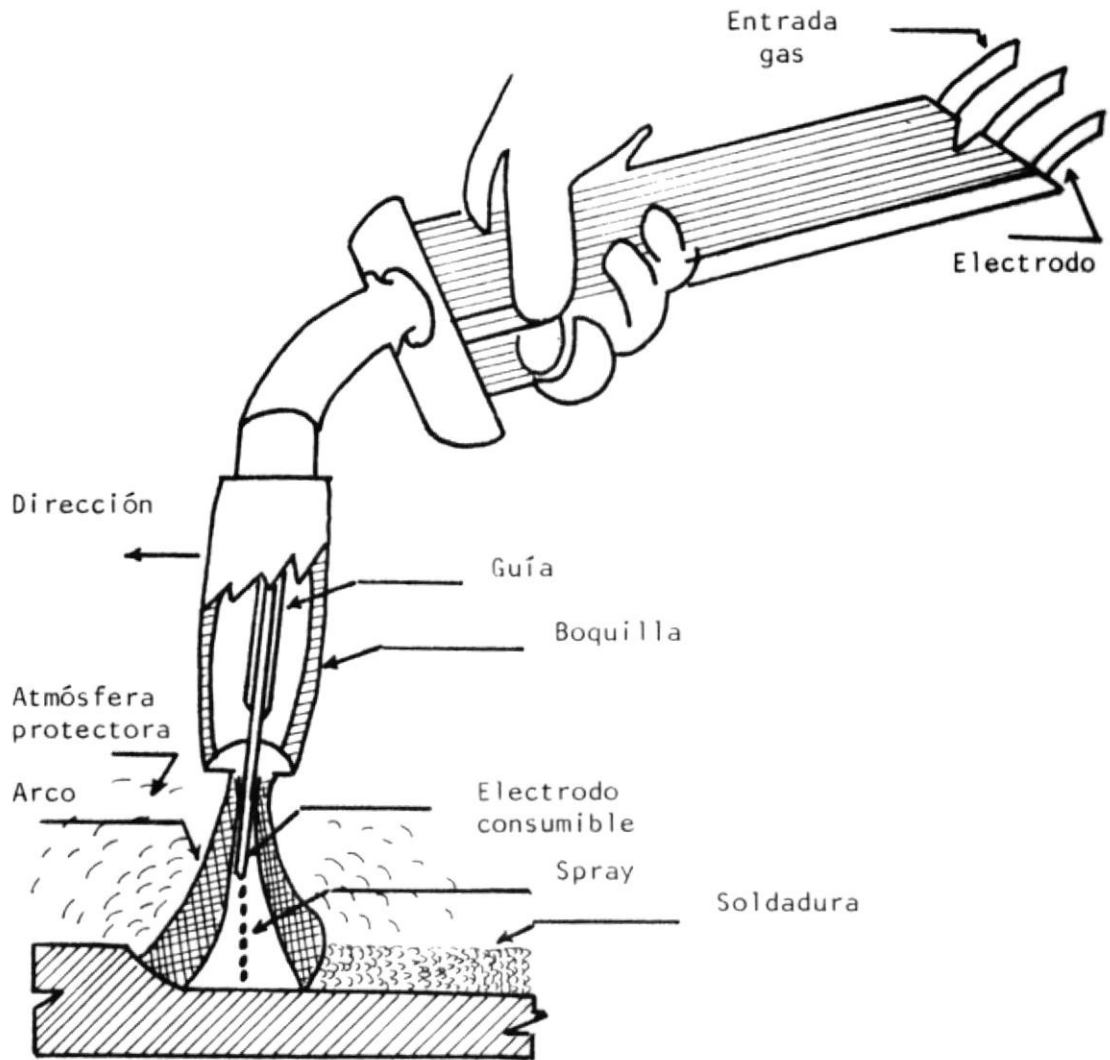


produce una temperatura de llama de aproximadamente 2.650 grados centígrados. El uso del hidrógeno es a veces preferido para la soldadura debido a su característica reductora.

En la soldadura por arco de carbón, la fusión se logra por el calor producido de un arco eléctrico entre el electrodo de carbón (grafito) y el metal base. El electrodo de carbón sirve solamente como fuente de calor y no realiza función de transferencia de metal. Durante el proceso puede ser introducido al arco, metal de aportación con las mismas características que el metal base.

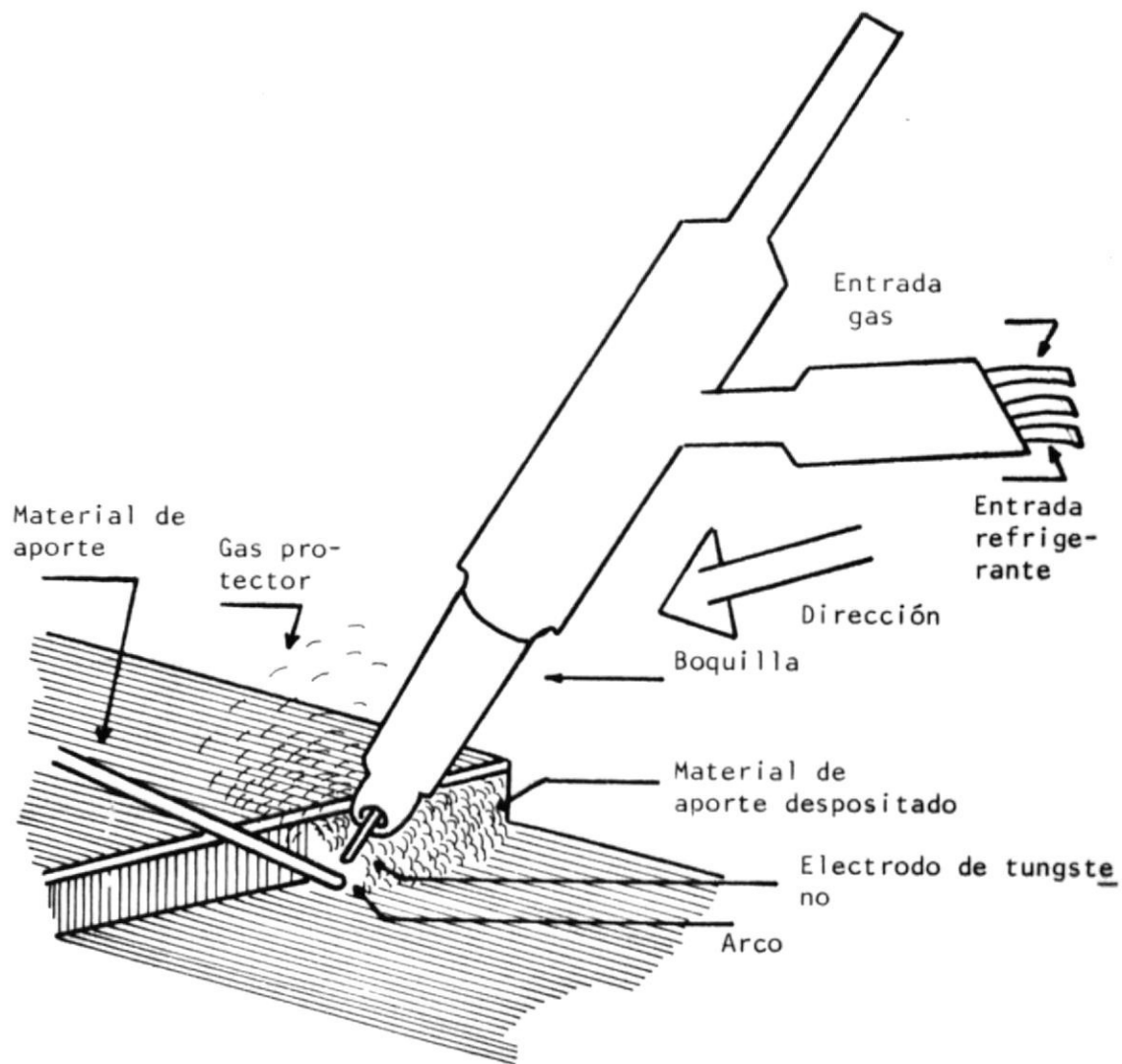
En el procedimiento de soldadura de fusión por resistencia, el material a ser soldado es colocado entre dos electrodos de cobre, por los cuales la corriente eléctrica circular con intensidad suficientemente elevada, generando un alto calor que permite la fusión de las piezas.

Actualmente se ha desarrollado un método más conveniente en base de una pistola que incorpora tungsteno, que



REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN PROCESO MIG

Figura N<sup>o</sup> 10



REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN PROCESO TIG

Figura N° 11

hace posible producir fusiones localizadas, similar al procedimiento de fusión por resistencia, sin que se requiera aplicar alta presión a ambos lados de las piezas a soldar.

#### 4.3 VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

Los resultados obtenidos de un proceso de soldadura dependen de la selección correcta de las variables que influyen en el proceso, en concordancia con las propiedades mecánicas deseables.

Tipo de corriente, voltaje, amperaje, velocidad de soldadura, caudal del gas protector, tipo de electrodo y gases protectores, se ajustan lo convenientemente posible de acuerdo al espesor y propiedades físico-químicas del material base.

##### CORRIENTE DE SOLDAR

Para la soldadura con gas protector, pueden emplearse tres clases de corrientes distintas: corriente alterna de alta frecuencia, corriente continua con polaridad negativa (electrodo al polo negativo), y corriente continua con polaridad positiva (electrodo al polo positivo).

El empleo de corriente alterna, como es el caso más frecuente en la soldadura del aluminio y sus aleaciones, el

gas argón como gas protector permite conseguir una buena estabilidad del arco durante el proceso de soldeo, obteniéndose por lo tanto, soldaduras de excelentes calidades.

En el proceso TIG, con corriente continua y polaridad inversa, la penetración de soldadura en el material base es superficial, mientras que con polaridad directa, la penetración es muy superior. Exactamente lo contrario ocurre en el proceso MIG (11).

Los resultados obtenidos con cada una de estas clases de corriente, son diferentes según el procedimiento y el material a soldar.

#### AMPERAJE

La regulación del amperaje tiene efectos considerables en la penetración de la soldadura y depende en la mayoría de los casos, del espesor de las juntas a soldar (11).

La adecuada corriente a usarse para un trabajo en particular es determinada previamente por la realización de ensayos y pruebas. La corriente seleccionada puede ser suficientemente alta, para obtener una deseada penetración sin causar fisuras o suficientemente baja, como para evitar fundir exageradamente el metal. Una amplia gama de corrientes pueden ser utilizadas sin modificar la

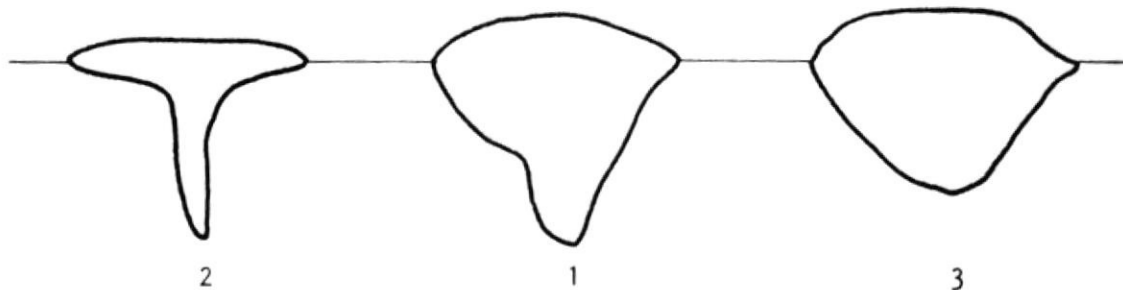
forma del cordón de soldadura, siempre que haya una mezcla aproximada del 30% de Argón y 70% de Helio. La figura N° 12 ilustra los efectos del voltaje sobre una corriente de 310 Amp.

#### VELOCIDAD DE SOLDADURA

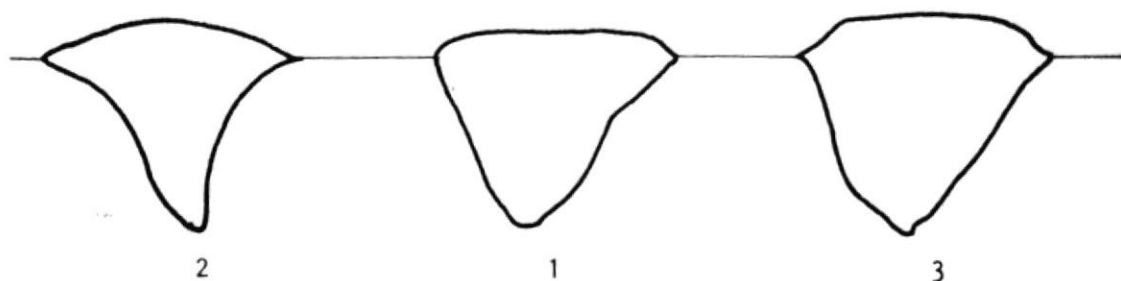
Existen limitados rangos de velocidad de soldadura, debido al amperaje seleccionado, pero es posible reformar estos rangos sin considerar el amperaje. Para específicos amperajes seleccionados se obtienen altos rangos de velocidad, acortando la distancia del arco, en consecuencia, a distancia mayores del arco corresponden bajos rangos de velocidad, y a distancias menores del arco corresponden altos rangos de velocidad. Además, la posición utilizada durante un proceso de soldadura afecta a la velocidad de soldadura. (13).

#### TIPOS DE ELECTRODOS

Dependiendo de las medidas, formas, composición química de electrodos, se obtienen resultados variables en las juntas soldadas, que influyen en la profundidad de penetración, en la soldabilidad con corriente alterna, capacidad de superposición de los cordones de soldadura y en la densidad de corriente que atraviesa el electrodo.



A. Argón



B. 30% Argón + 70% Helio

1.  $U$  ( voltaje correcto )
2.  $U + 3V$
3.  $U - 3V$

INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE  
Y DE GAS PROTECTOR (10)

Figura N° 12

En el proceso MIG, se han obtenido mejores resultados usando diámetros de electrodos apropiados para determinados espesores de materiales a soldarse. Generalmente, diámetros de: 0.5mm. (0.020 pulg.); 0.75 mm. (0.030 pulg.); 0.87 mm. (0,035 pulg.); 1.12 mm. (0.045 pulg.); 1.56 mm. (1/16 pulg.); 3.12 mm. (1/8 pulg.) son los más usados en este procedimiento. (11).

En el proceso TIG con corriente continua y polaridad inversa, el empleo de electrodos de diámetros grandes trae como consecuencia un aumento de la anchura de la zona afectada por el calor del arco y una disminución en la penetración. En polaridad directa, el diámetro de los electrodos a emplearse son mucho más pequeños, lo que involucra un aumento notable en la velocidad de soldadura. (5).

#### GASES PROTECTORES

En cualquier proceso de soldadura bajo protección gaseosa, el gas protector tiene efectos considerables sobre las propiedades del cordón de soldadura depositado. Los gases empleados para soldar el aluminio y sus aleaciones son el argón, el helio o la mezcla de ambos, ya que presentan las ventajas de ser completamente inertes, casi insolubles en el metal depositado. Los gases inertes de protección utilizados, deberán estar ionizados para permitir la circulación de los electrones hacia el polo po-

sitivo y los iones positivos hacia el polo negativo.

Estos gases originan una atmósfera protectora necesaria para evitar la contaminación de la soldadura con gases nocivos permitiendo a la vez una acción limpiadora de capas de óxidos, formadas en el metal base.

Las características mecánicas con helio, así como los análisis químicos del metal depositado, son análogos a los obtenidos con el empleo del argón, aunque con el primero se puede soldar en aluminio y sus aleaciones a tope espesores de 12 mm. en una sola pasada y 20 mm. con dos, una por cada lado, sin precalentamiento, mientras que con el segundo se fija en 8 mm. el espesor a soldar en una pasada. El argón es el gas más comúnmente utilizado y presenta las ventajas de mantener un arco más suave y tranquilo, su consumo es menor, lo que supone una considerable economía en las uniones soldadas, una tensión de arco más baja para cualquier valor de la intensidad utilizada. El helio es un gas muy ligero, con una conductividad térmica elevada y que al necesitar una tensión de arco superior, la potencia liberada en el arco es muy considerable. (10).

Respecto a la forma de los cordones depositados y, por tanto, de la penetración conseguida, el gas empleado tiene una gran importancia, resultando ser más estrecho

con el argón, lo que puede dificultar la obtención de penetraciones totales en uniones realizadas por ambos lados en dos pasadas. La figura N° 13 ilustra la forma del cordón según el gas empleado.

Un inadecuado volúmen del gas protector en el arco de la soldadura, causará una turbulencia difícil de controlar en la zona del arco, lo que impedirá el contacto de las uniones a soldar con el material de aportación o por el contrario contribuirá a la formación de atmósferas oxidantes, lo que causará uniones defectuosas.

#### 4.4 SELECCION DE PROCESOS

Al seleccionar los procesos de soldadura hay que tener en cuenta los siguientes factores:

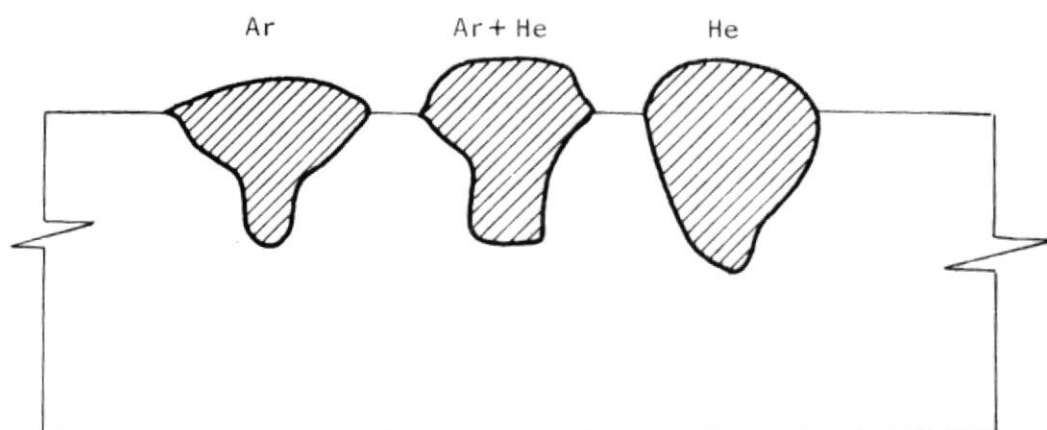
- A. Calidad requerida de las juntas soldadas.
- B. Proceso de soldadura que puede aplicarse al material en cuestión y al tipo de junta seleccionada.
- C. Facilidad de adquisición del material de aporte más conveniente para la aplicación del método elegido.
- D. Disponibilidad de equipos de soldadura, posicionadores, bancos, grúas, etc.
- E. Lugar de trabajo: taller o a pié de obra; en relación con un manejo satisfactorio de los diferentes equipos en los diversos ambientes: exterior o inte -

- rior; facilidad de transporte de dichos equipos.
- F. Número de unidades a soldar.
  - G. Posibilidades de inversión en equipos de alta productividad.
  - H. Procesos con los que el personal está más familiarizado.
  - I. Costo del proceso.

El aluminio comercialmente puro, serie 1100 y aleaciones de aluminio-manganeso, serie 3000 tienen buena soldabilidad usando los procedimientos de soldadura bajo gas protector, arco metálico con electrodo revestido y por resistencia. Sin embargo, esas aleaciones en estado recocido presentan cierta dificultad por el método por resistencia.

Las aleaciones de aluminio-magnesio, serie 5000, cubren un alto rango de propiedades; aquellas aleaciones que contienen más del 2,5% de magnesio son comúnmente usadas en todo tipo de construcciones soldadas por su alto valor de resistencia a la tensión y por contrarrestar los efectos del calor del arco, los procesos MIG y TIG, son recomendados para estas aleaciones.

Estas aleaciones, con alto contenido de magnesio no pueden ser soldadas por el método de oxi-gas, arco metálico con electrodo revestido ni por resistencia.



VARIACION DE LA FORMA DEL CORDON DE SOLDADURA  
CON EL GAS EMPLEADO (5).

Figura N<sup>o</sup> 13

Las aleaciones tratadas térmicamente, que pertenecen a las series: 2000, 4000, 7000, presentan grandes dificultades para la soldabilidad; se requieren de altas temperaturas para obtener una aceptable penetración, son aplicables los procesos por arco metálico con electrodo revestido, controlando ciertos parámetros, pero se prefiere generalmente el método por resistencia.

La aleación aluminio-magnesio-silicio, serie 6000, tiene buena soldabilidad para cualquier proceso de soldadura, excepto por resistencia.

Durante el proceso de soldadura del aluminio y sus aleaciones, es aconsejable un control estricto del calor del arco sobre el metal base y se prefiere mantener una alta velocidad de soldadura.

El método arco metálico con electrodo protegido es usado en la mayoría de los casos, para operaciones de reparaciones pero no es aconsejable para producir soldaduras a gran escala.

El método oxi-gas es usado en general para mantenimiento de equipos y en reparaciones en menor escala donde otro proceso de soldadura sería costoso.

La soldadura por resistencia es universalmente aceptada por sus convenientes propiedades mecánicas, pero desde

el punto de vista de la apariencia de soldadura, este proceso es descartado por la decoloración del material.

Por lo tanto, en lo que se refiere a la calidad requerida de las juntas soldadas, accesibilidad y posición de las juntas y el número de unidades a soldar, que es a nivel de producción industrial, con perspectivas de economía rentable, los procesos de soldadura MIG y TIG son los más recomendados.

CAPITULO V

## CAPITULO V

### TRABAJO EXPERIMENTAL

#### 5.1 ANALISIS DE MATERIALES A USARSE

Las propiedades de los materiales en general son características por medio de las cuales nosotros podemos identificarlos y determinar sus límites de uso. Todos los metales tienen las mismas propiedades, pero no en el mismo grado.

Un análisis previo de los materiales a usarse en un proceso de soldadura, nos evitaría la mayoría de dificultades que se presentan como consecuencia de usar procedimientos o técnicas equivocadas y que estarían relacionadas con la obtención de óptimas propiedades mecánicas impuestas.

#### PROTECTOR DE VALVULA

Es una corona circular de dimensiones convenientes situada de manera que asegure la correcta protección de la válvula y que sirve al mismo tiempo como elemento para manipulación de los cilindros. Figura N°14.

### BASE

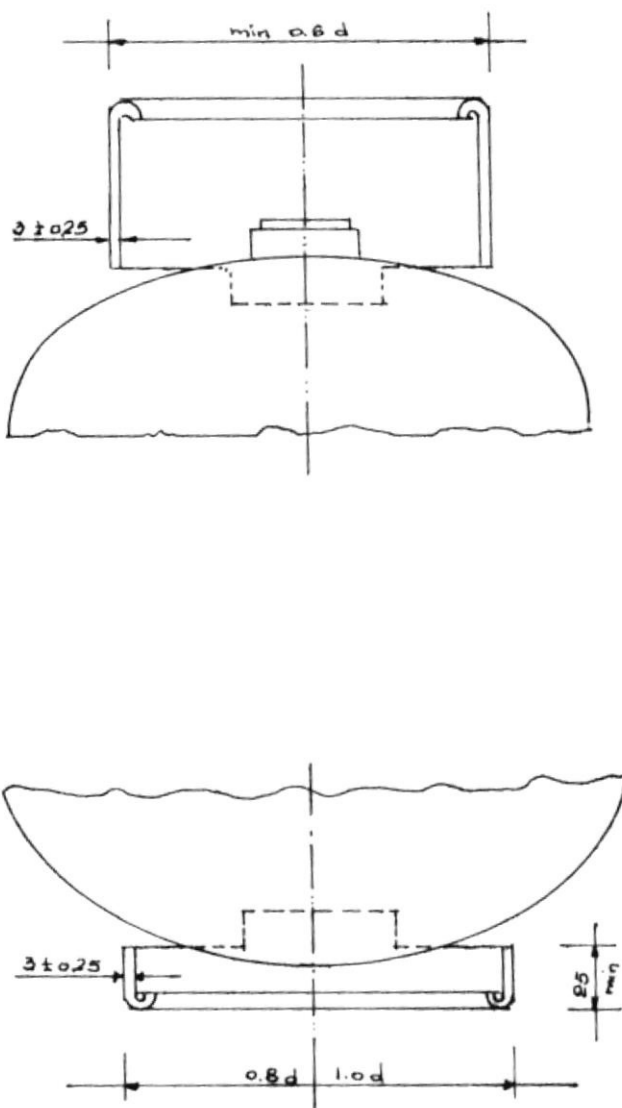
Es un anillo circular situado en la parte inferior del cilindro para asegurarlo en la posición vertical y protegerlo del contacto con el piso. Figura N° 14.

El material del protector de la válvula y la base, son de la serie 1100, aleaciones comercialmente puras, 99% de aluminio, con especial control de impurezas que no son tratadas térmicamente, endurecidas en frío, con gran resistencia a la corrosión. Presentan buena soldabilidad para operaciones de soldadura bajo gas protector. La figura N° 15 nos muestra los dos elementos mencionados.

### CASQUETES DEL CILINDRO

Los casquetes hemisféricos superior e inferior forman el cuerpo del cilindro acoplados mediante soldadura de cintura por medio del procedimiento automático MIG. Pertenecen a la serie 5086 con aleación que no es tratada térmicamente, endurecida en frío, alta resistencia a la tensión, y presenta facilidades para su soldabilidad.

Los siguientes elementos son los componentes de la aleación del aluminio que corresponde a la serie 5086 (2).



VISTA FRONTAL DEL PROTECTOR DE VALVULA Y BASE  
DEL CILINDRO

Figura N<sup>o</sup> 14



PROTECTOR Y VALVULA UTILIZADOS EN  
CILINDROS DE ALUMINIO

Figura N<sup>o</sup> 15

<u>ELEMENTOS ALEANTES</u>	<u>PORCENTAJE MINIMO (%)</u>
Mg	3.5 - 4.5
Mn	0.20- 0.70
Cr	0.05- 0.25
Cu	0.10 máx.
Fe	0.50 máx.
Si	0.40 máx.
Ti	0.15 máx.
Zn	0.25 máx.
Otros elementos	0.05

#### ELECTRODO Y MATERIAL DE APORTACION

En el proceso MIG, el electrodo es consumible y material de aporte correspondiente a la serie 5356, usados generalmente para procesos de soldadura por fusión.

Los siguientes elementos son los componentes de la aleación del aluminio que corresponde a la serie 5356: (2)

<u>ELEMENTOS ALEANTES</u>	<u>PORCENTAJE MINIMO (%)</u>
Si + Fe	0.50
Cu	0.10
Mn	0.05 - 0.20
Mg	4.5 - 5.5
Cr	0.05 - 0.20
Zn	0.10
Ti	0.06 - 0.20

En el proceso TIG, el electrodo es de tungsteno puro teóricamente no consumible. El material de aportación es de la serie 5456, aleaciones trabajadas en frío. Los siguientes elementos son los componentes de la aleación que corresponden a la serie 5456: (2)

<u>ELEMENTOS ALEANTES</u>	<u>PORCENTAJE MINIMO (%)</u>
Mg	4.7 - 5.5
Mn	0.5 - 1.0
Cu	0.10 Máx.
Cr	0.05 - 0.20
Si + Fe	0.40
Zn	0.25
Ti	0.20

La soldabilidad de las aleaciones no tratadas térmicamente, series 1000, 3000 y 5000; el calor del arco variaría las propiedades de resistencia del material que fueron adquiridas durante su trabajado en frío, pero en ningún caso esta variabilidad alteraría los resultados óptimos a conseguir.

En cualquier caso, los procedimientos a seguir durante la operación de soldadura tendrían la finalidad de minimizar el calor del arco y las pérdidas de propiedades.

## 5.2 PROCESO MIG

El proceso de soldadura de arco bajo gas protector, MIG, el electrodo es continuo de alambre desnudo, aportado automáticamente hacia la pistola y funde a la misma velocidad que se aporte, para proveer el material necesario en la soldadura.

La pistola posee una conexión por la cual, un chorro de gas inerte llega hasta el punto donde se efectúa la soldadura. Como la pistola es operada manualmente, el procedimiento aplicado en nuestro estudio es semi-automático. La velocidad de aportación, voltaje de arco y flujo de gas son controlados por el operador.

### 5.2.1 EQUIPO DE SOLDADURA

El equipo de soldadura utilizado, se constituye de 4 unidades: fuente de poder, alimentador automático de material de aportación, pistola de soldar y cilindro de gas.

#### Fuente de poder

La máquina soldadora es transformador rectificador, supliendo una variabilidad de corriente de hasta un máximo de 250 amperios, disponiendo en corriente

continua de dos polaridades: directa e inversa. En el proceso MIG, el calor es generado por el flujo de corriente atravesando el espacio entre el material de aportación y el metal base, al mismo tiempo un voltaje de arco es formado en esta sección, el cual varía con la longitud del arco.

Con la finalidad de obtener una buena soldadura, se debe mantener el voltaje y la longitud de arco con valores constantes. Con la necesidad de un mejor control del arco, indistintamente en la actualidad se utiliza una fuente de poder con voltaje constante (potencial).

Para una corriente convencional de operación de la máquina, la fuente de poder con potencial constante mantiene un voltaje de arco constante. Esto significa que la fuente de poder automáticamente regula el control del nivel del voltaje del arco con respecto a la longitud del arco; es decir, que la longitud del arco puede ser controlada por la fuente de poder y cualquier variación de la distancia de la pistola a la soldadura no producirá cambio en la longitud del arco, es decir, si el electrodo es continuo, cualquier variación en la longitud del arco ocasionada por alguna irregularidad en la pieza o

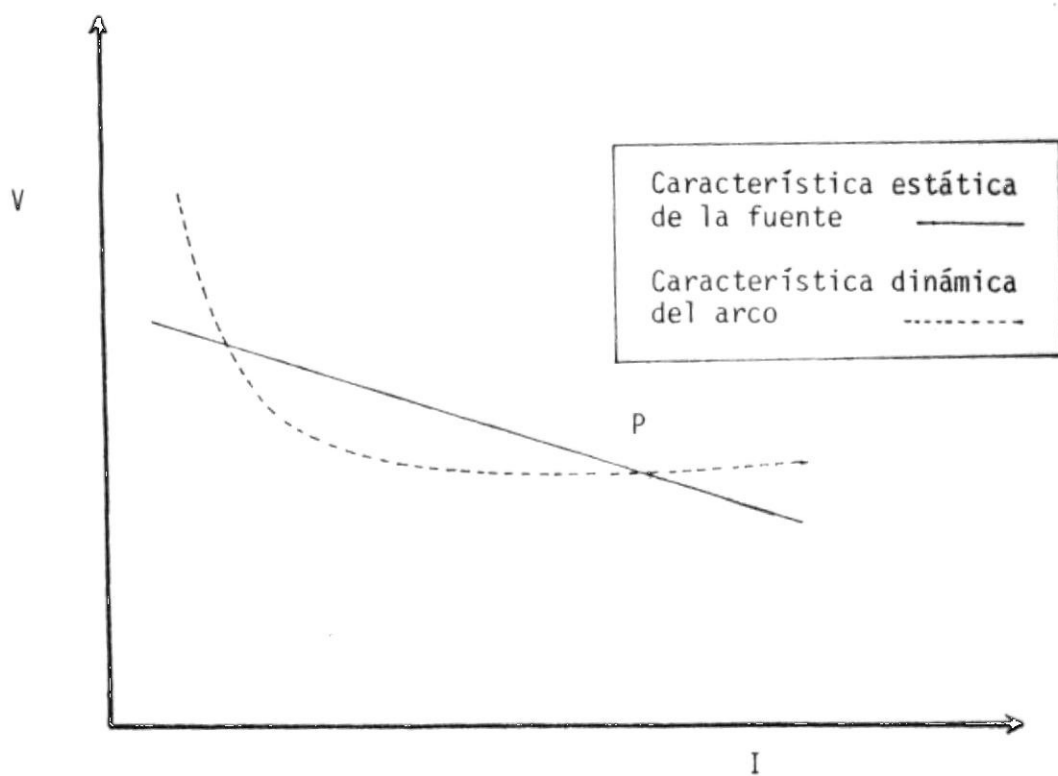
alguna perturbación en el mecanismo de alimentación de alambre, será automáticamente compensado por la fuente de poder. En estos casos la corriente disminuirá o aumentará sensiblemente, por lo que la velocidad de fusión del electrodo también disminuirá o aumentará, en forma respectiva.

Cuando un arco es alimentado por una fuente, el punto de trabajo estará dado por la intersección de las curvas características que lo representan. De esta manera, si consideramos una fuente de voltaje constante, el punto de trabajo estará representado por el punto P de la figura N° 16.

La figura N° 16 nos ilustra el gráfico característico voltios-amperios para un potencial constante de la fuente de poder.

#### ALIMENTADOR

El alimentador consiste principalmente de rodillos que empujan al alambre de soldar por medio de contacto a fricción. Estos rodillos son accionados por medio de un motor eléctrico que obtiene su energía de la máquina soldadora y el cual tiene su control diseñado a mantener la misma velocidad, además cuenta con un panel de control.



GRAFICA VOLTIOS-AMPERIOS  
PARA UN POTENCIAL CONSTANTE DE LA FUENTE DE PODER (24)

Figura N° 16

### Pistola de Soldar

La pistola de soldar tiene una forma tubular por cuyo interior pasa el alambre que está siendo alimentado, así como el gas y el agua (en caso que la pistola necesite ser enfriada por este método). La salida de la pistola contiene normalmente una boquilla cuyo propósito es distribuir el gas para mejor protección del arco.

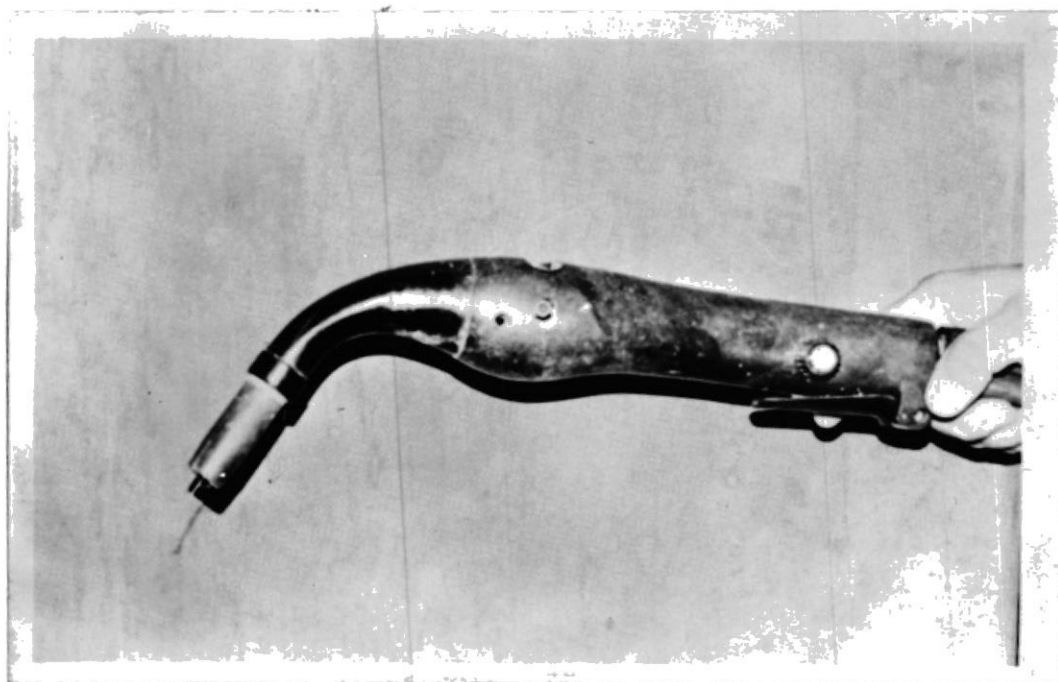
El contacto eléctrico del alambre está muy cercano al extremo de la pistola para evitar de esta manera la pérdida de potencia eléctrica que aparecería, si el contacto fuese hecho en el alimentador. La figura N° 17 ilustra la pistola de soldadura del proceso semi-automático MIG.

### Cilindro de Gas

El cilindro de gas provee mediante un medidor de flujo el caudal necesario en la protección del arco para los diferentes procesos de soldadura bajo gas protector.

## 5.2.2 SELECCION DEL ELECTRODO

En el proceso MIG, el electrodo (material de aporte).



PISTOLA PARA SOLDADURA MIG

Figura N<sup>o</sup> 17

es generalmente de la misma composición química que el material base. Para obtener mejores resultados, se usan diámetros apropiados de alambre con relación al espesor del material base, a la posición de soldadura, al tipo de polaridad y al diseño de las juntas.

Básicamente, electrodos de 0.5 mm. (0.020 pulg.), 0.7 mm. (0.030 pulg.) y 0.87 mm. (0.035 pulg.) usados para materiales delgados que requieren altas velocidades de soldeo y una aceptable calidad de soldadura. Para espesores medios y gruesos normalmente se requieren electrodos de espesores de 1.12 mm. (0,045 pulg.) y 3.12 mm. (0.125 pulg.), respectivamente (8).

El tipo de electrodo seleccionado para el proceso MIG es de la serie 5356, de diámetro 0,046", cuya composición química se muestra en la página

### 5.2.3 SELECCION DE VARIABLES DEL PROCESO

Factores como espesor de las juntas a soldar, aleaciones y el equipo utilizado, sirven como base para seleccionar las variables del proceso.

Previo a la producción de gran escala de estructuras soldadas de aluminio en un procedimiento deter-

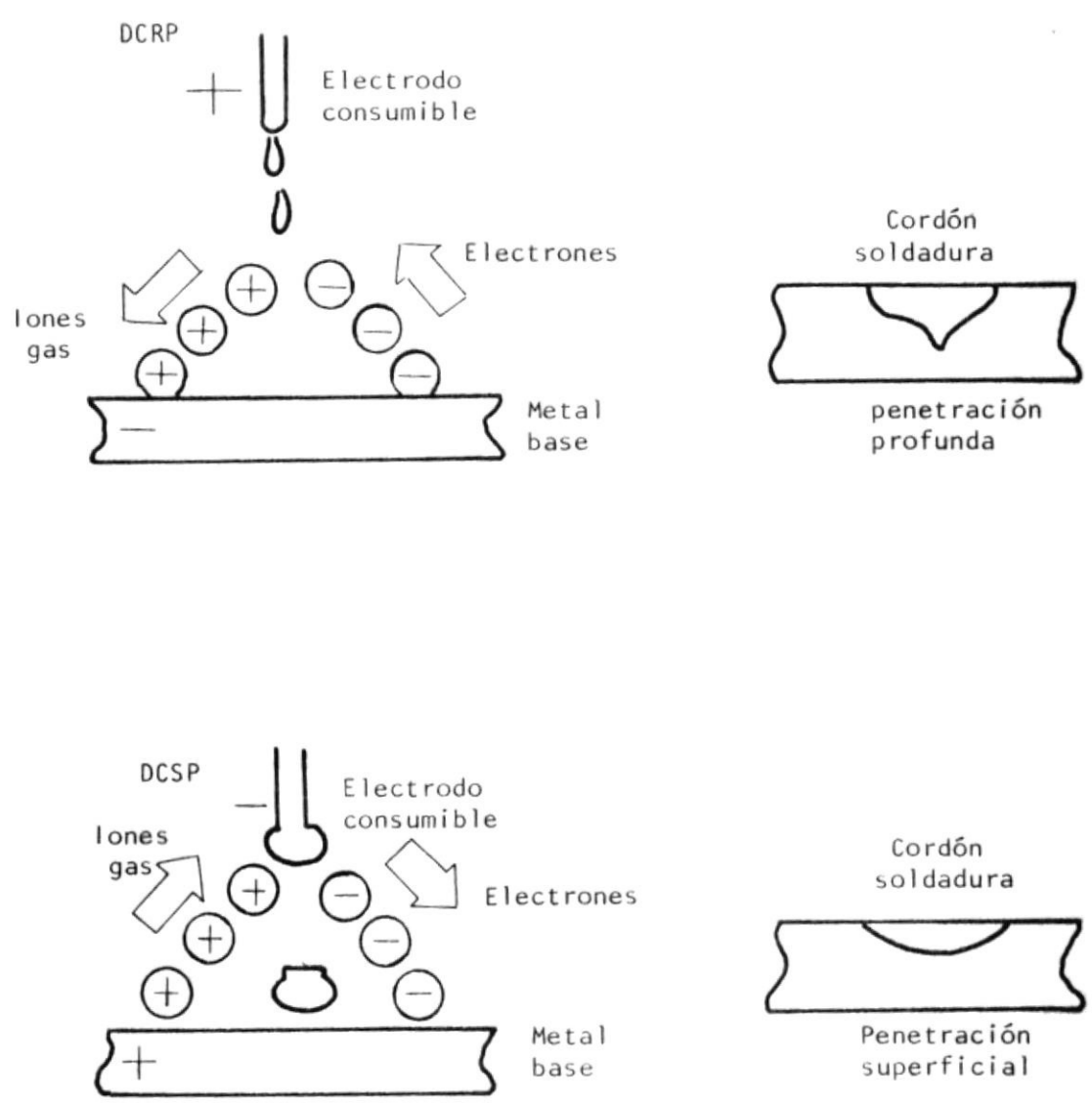
minado es aconsejable la preparación de un prototipo de soldadura de acuerdo a los requerimientos propuestos.

#### Tipo de Corriente

En la corriente continua polaridad inversa (DCRP), el electrodo consumible en el polo positivo permite una emisión de electrones desde el material base al electrodo, efectuándose una transferencia metálica en forma de muy pequeñas gotas (spray). Se adquiere la máxima eficiencia y profunda penetración de la soldadura a causa del calor desarrollado por el arco.

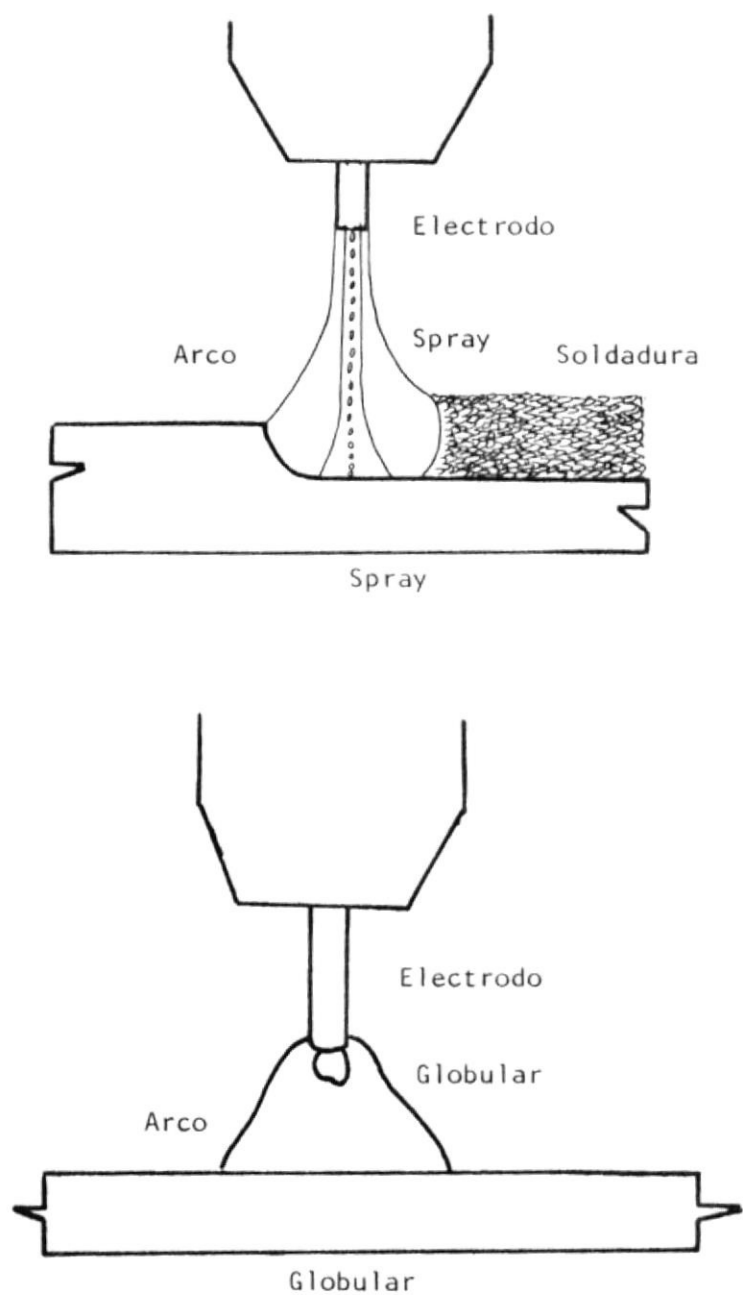
En la corriente continua polaridad directa (DCSP), la emisión de electrones se realiza desde el electrodo consumible en el polo negativo, efectuándose una transferencia metálica en forma de gotas muy grandes (globular), con lo que se logra una penetración superficial y una acción desoxidante no muy eficaz, lo que hace que este método no sea muy usual en el procedimiento MIG.

Las figuras N<sup>o</sup> 18, y N<sup>o</sup> 19 ilustran los efectos de polaridad y tipos de transferencia de metal en



MOVIMIENTO DE LOS ELECTRONES SEGUN LA POLARIDAD (11)

Figura N° 18



TIPOS DE TRANSFERENCIA DE METAL DE APORTE (11)

Figura N<sup>o</sup> 19

el procedimiento MIG respectivamente. En este proceso se emplea la polaridad inversa, con el objeto de tener una mejor penetración del cordón de soldadura.

#### Tipo de Gas

El poder de penetración del arco y su estabilidad a grandes intensidades, depende del gas de protección.

Se utiliza gas argón por cuanto mantiene la estabilidad del arco sin producir gases nocivos, además es más económico en su costo y en el proceso, es 10 veces más pesado que el Helio y 14 veces más pesado que el aire lo cual permite un fácil encendido del arco y tensión del arco más baja para cualquier valor de la intensidad utilizada.

#### 5.2.4 OBTENCION DE UNIONES SOLDADAS

##### Preparación de las Juntas

Los protectores de válvulas, las bases y los casquetes superior e inferior son introducidos durante un tiempo establecido en soluciones de lavado cáustico y ácido con la finalidad de:

- A. Eliminar el lubricante utilizado para realizar la embutición.
- B. Eliminar el óxido de aluminio y así evitar problemas en el proceso de soldadura.
- C. Mejorar la presencia del producto.

A continuación, las juntas soldadas se secan al aire libre por un tiempo determinado.

Posteriormente el operador de la planta fija las variables seleccionadas en los equipos de soldadura, seguidamente se coloca los dos casquetes unidos mediante procedimiento MIG automático en abrazaderas adecuadas, que sujetan en forma apropiada de tal manera que facilita la operación de soldadura. Se procede luego a acoplar y soldar el protector y la base.

Las fotografías mostradas en las figuras N<sup>o</sup> 21, 22, 23 y 24 obtenidas de cuatro cilindros tomados al azar en la planta de producción, nos ilustran los diferentes cordones de soldadura realizados en los protectores y bases con el cuerpo de los cilindros.

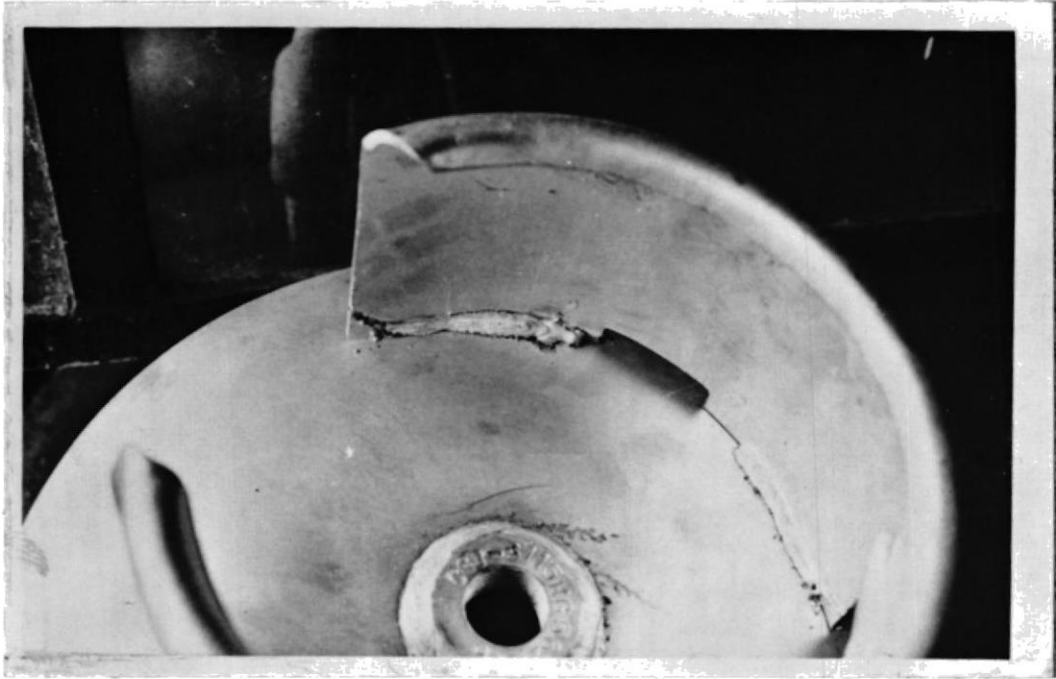
La fotografía mostrada en la figura N<sup>o</sup> 25 nos ilustra la longitud aproximada de cinco centímetros de material de soldadura depositado, además nos permi-

te observar su forma, apariencia y uno de los más .  
comunes defectos como son las discontinuidades.



OPERARIO EJECUTANDO EL PROCESO MIG EN PLANTA

Figura N° 20



UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCESO MIG

Figura N° 21



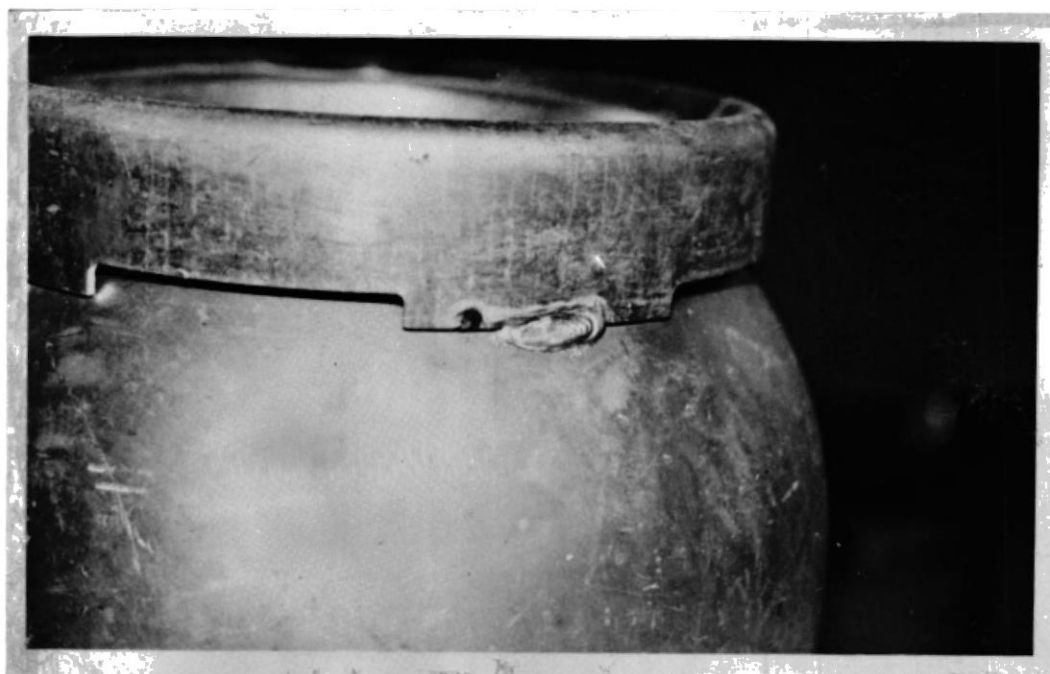
UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO MIG

Figura N° 22



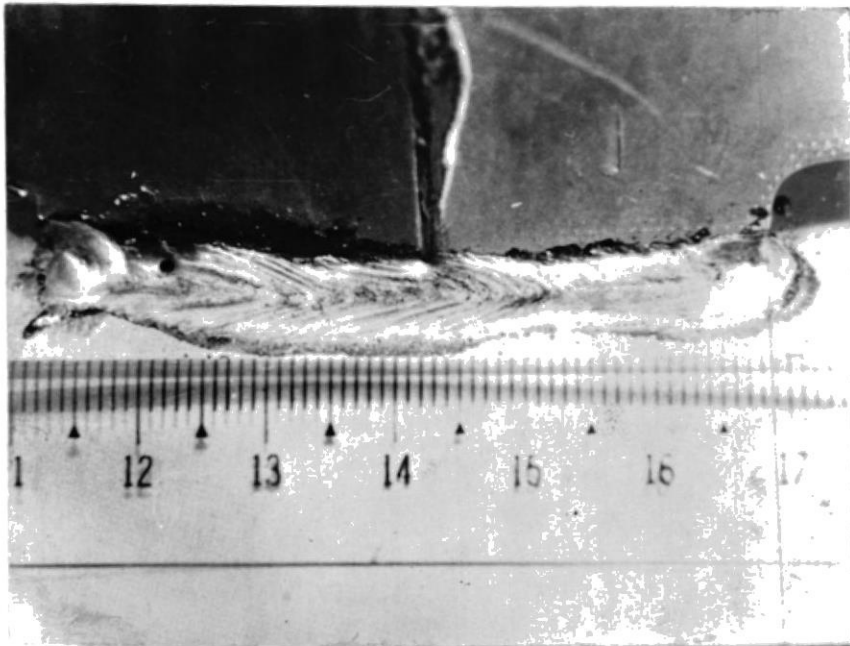
UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCESO MIG

Figura N° 23



UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO MIG

Figura N° 24



UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO MIG

Figura N° 25

### 5.3 PROCESO TIG

La soldadura TIG es una abreviatura de "gas inerte tungsteno", donde el calor necesario para la fusión es producido por un arco eléctrico (con protección gaseosa inerte) mantenido entre un electrodo no consumible (tungsteno) y la pieza a soldar.

El calor producido por este arco permite que el metal en las partes que va a unirse se derritan y se fundan juntas. Esto, por supuesto significa que no hay necesidad de tener un electrodo para que provea el metal que sirve de unión, pero en algunos casos, dependiendo del espesor de las juntas a soldar es necesario el material de aportación.

En los últimos años el desarrollo del procedimiento TIG ha despertado gran interés en las construcciones soldadas, por sus grandes mejoras que lo hacen más competitivo, especialmente para la soldadura de espesores débiles y medios de aluminio y aleaciones ligeras.

#### 5.3.1 EQUIPO DE SOLDADURA

El equipo de soldadura utilizado en el proceso TIG se constituye de: fuente de poder, pistola,

de soldar, cilindro de gas y sistema de refrigeración.

#### Fuente de Poder

Presenta características estáticas con caídas bruscas para corrientes convencionales de operación de la máquina, que permite utilizar intensidades sin variaciones importantes cuando se modifica la longitud del arco dentro de ciertos límites que resultan inevitables en el procedimiento manual.

La intersección de la características estática escogida del equipo de soldadura con la característica propia del arco, en la que influye de forma considerable el gas de protección empleado constituye el punto de funcionamiento y por lo tanto queda perfectamente determinado el valor de la intensidad y de la tensión utilizada en la soldadura.

En la figura N° 26 se ilustra la variación de los parámetros anteriores con el aumento o disminución de la longitud del arco.

La fuente de poder utilizada es un transformador-rectificador, trifásico, 220 voltios con capacidad de hasta 310 amperios, marca Miller, modelo DIALARC, HF-P, Serie HH0722378.

Con un generador de alta frecuencia que acondicionará una gran diferencia de voltaje entre el electrodo y el metal base, lo cual causará que el gas protector se ionice y provea de esta manera un flujo de corriente confiable y al mismo tiempo estabilice el arco.

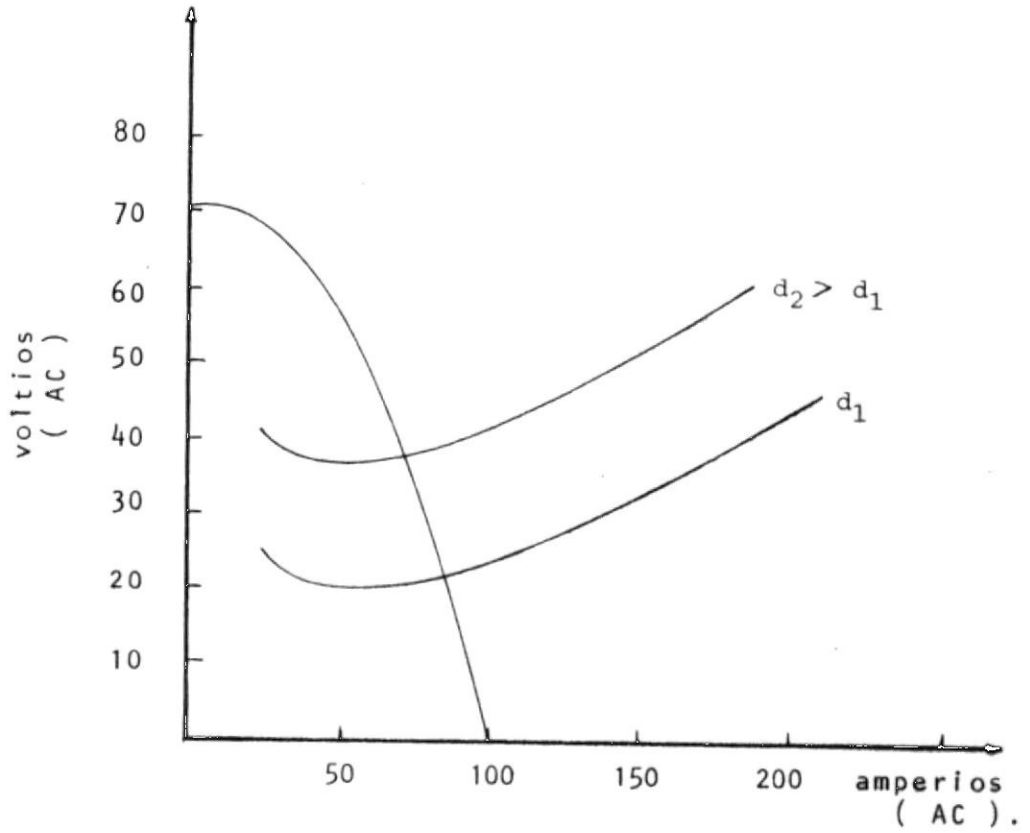
La figura N° 27 ilustra la fuente de poder utilizada en procedimiento de soldadura TIG.

#### Pistola de Soldar:

Debido a su diseño, la pistola o maneral TIG admite el paso de un gas inerte o protector a través de sí mismo y lo dirige por medio de una boquilla al lugar donde va a producirse el arco.

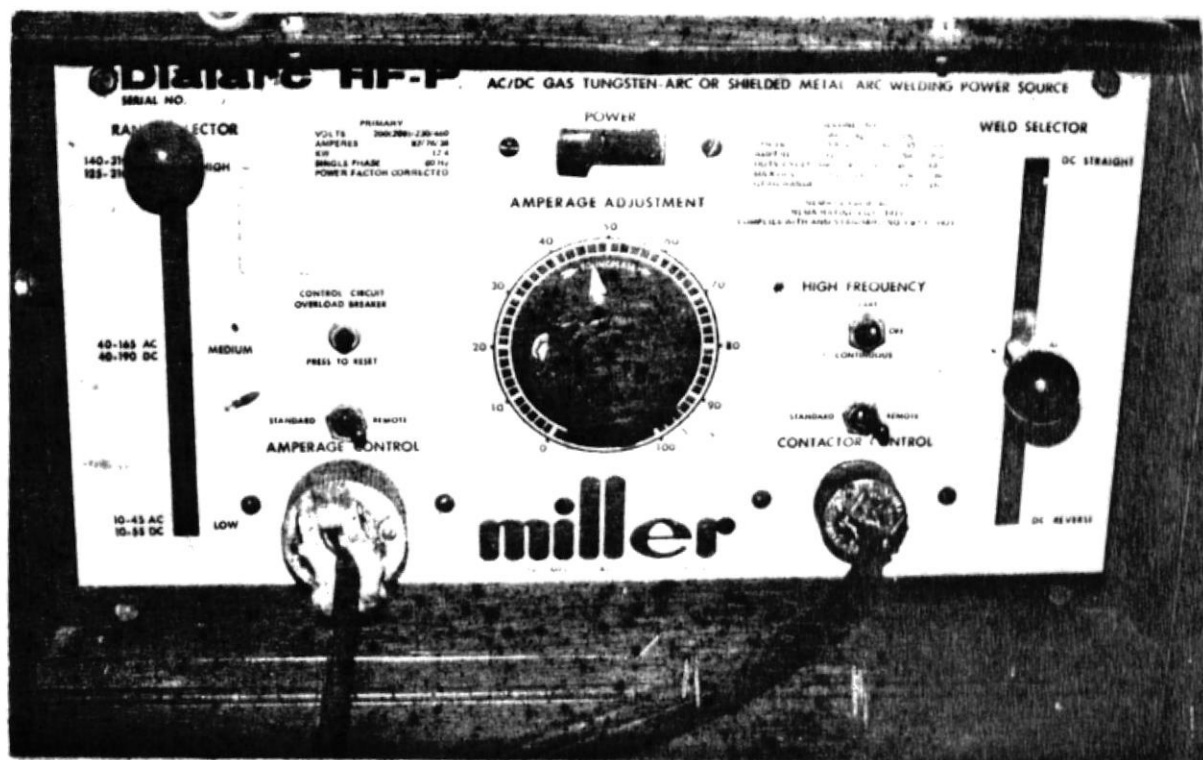
Este maneral también está diseñado para sostener un electrodo de tungsteno y acondicionar un espacio convenientemente reservado para la refrigeración del electrodo por medio del agua.

Presionando el switch de la pistola, los flujos



CARACTERISTICA ESTATICA PARA CORRIENTES CONVENCIONALES  
DE OPERACION DE LA FUENTE DE PODER (11)

Figura N° 26



FUENTE DE PODER UTILIZADA EN EL PROCESO DE SOLDADURA TIG

Figura N° 27

de: corriente, gas y líquido refrigerante son energizados al mismo tiempo para cumplir funciones específicas. La figura N°28 ilustra la pistola de soldadura del Proceso semi-automático TIG.

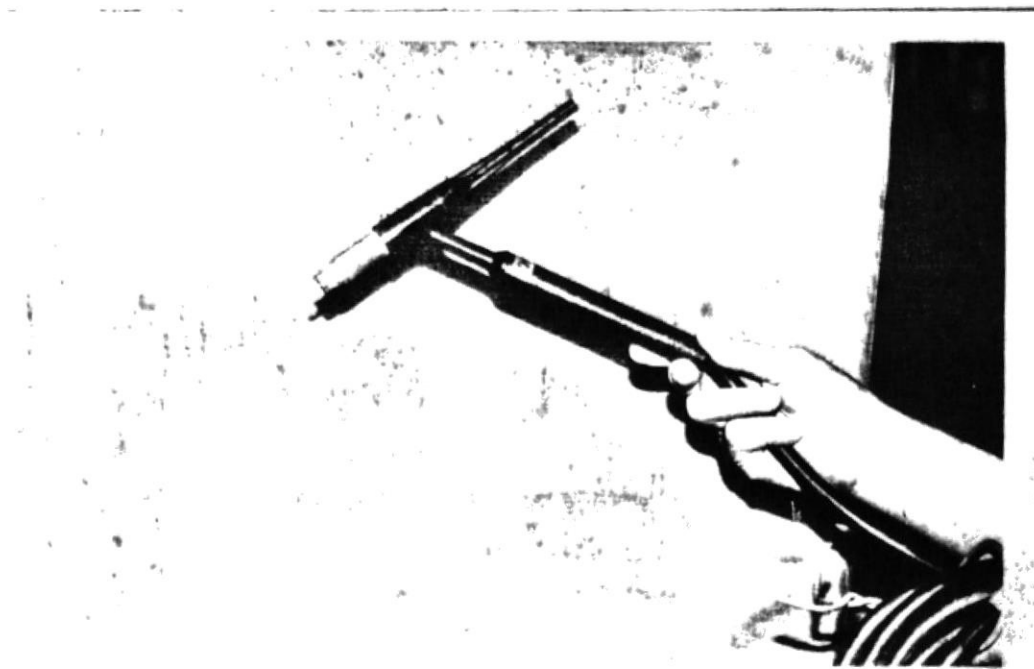
Se ajusta lo más convenientemente posible el electrodo a la boquilla del maneral de acuerdo a las relaciones entre diámetros, según la Tabla N° 9. Existen varias medidas del diámetro de la boquilla, dependiendo del tipo y medida de la pistola y el diámetro del electrodo. Es una práctica muy recomendable seguir los datos de la tabla con la finalidad de obtener una distribución adecuada del gas protector en la operación de soldadura.

#### Cilindro de Gas

El cilindro de gas conteniendo Argón, al igual que el proceso MIG, provee mediante el medidor de flujo el caudal necesario para la protección del arco.

#### Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración OCD1 es una moderna unidad utilizada para los procesos de soldadura TIG, MIG. Tiene como finalidad mantener en con-



PISTOLA PARA SOLDADURA TIG

Figura N° 28

diciones óptimas de servicio el electrodo. La capacidad de enfriamiento satisface a los requerimientos exigidos durante la operación de soldadura.

Los principales elementos de esta unidad son: bomba y tanque que almacena el líquido refrigerante, ambos se hallan protegidos de polietileno, la bomba se encuentra instalada en la parte superior del tanque.

#### DATOS TECNICOS DE LA BOMBA

Razón de flujo	l/min.	:	1.0
Máxima presión	Kpa	:	200
Voltaje	V	:	220
Frecuencia	Hz	:	50 - 60
Potencia	W	:	30
Capacidad tanque	l	:	40
Temperatura Refrig.	°C	:	25

La figura N° 29 ilustra el equipo de soldadura semi-automático TIG.

#### 5.3.2 SELECCION DEL ELECTRODO Y MATERIAL DE APORTACION

Los electrodos son de material refractario, siendo de tungsteno puro o con adición de pe -

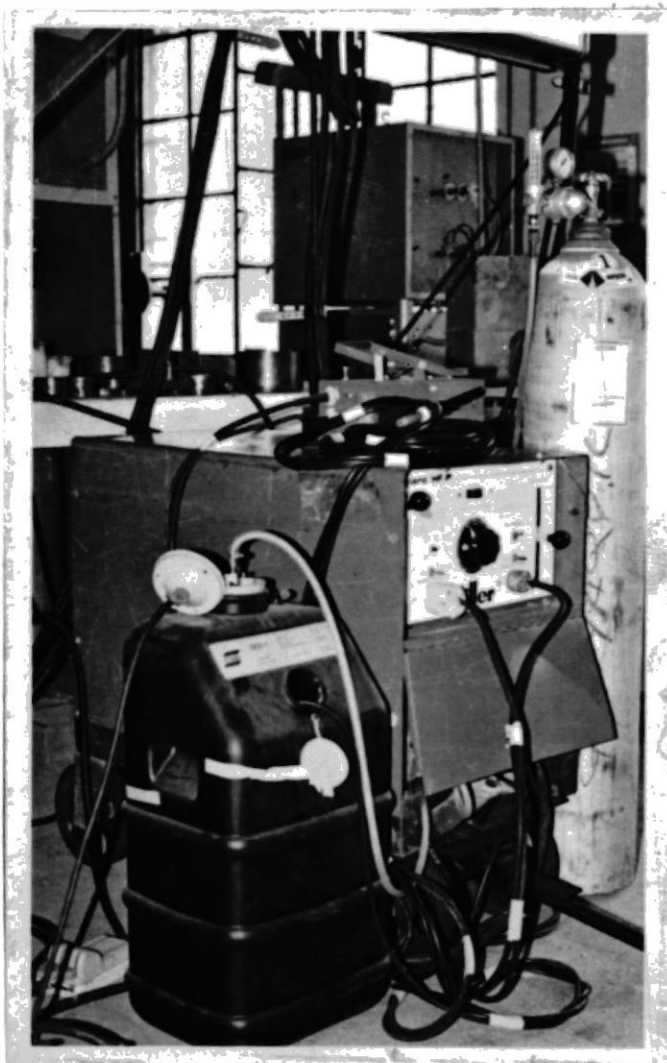
queñas proporciones de Torio (1 ó 2%) o de Zirconio (0,3 ó 0,5%), así como de materiales con alto punto de fusión como el grafito aunque su empleo está totalmente desplazado por los anteriores.

La utilización de los electrodos de tungsteno con torio son aptos para soldar con grandes amperajes y facilita la emisión electrónica. Pero en corriente alterna origina un efecto de dosimetría en el arco.

Los electrodos aleados que presentan la gran ventaja de ser empleados con intensidades superiores consiguen un arco más estable si se emplean con intensidades moderadas logrando un tiempo en servicio superior.

Los electrodos de tungsteno puro se utilizan generalmente con corriente alterna en la soldadura del aluminio y el efecto de dosimetría es menos acusado que con los de tungsteno con torio. Eventualmente, se consume debido, principalmente a contaminación con el metal base derretido, entonces tiene que ser pulido y esmerilado. Además, debido a las altas temperaturas producidas, un pequeño porcentaje se evapora.

Cuando se trabaja con corriente alterna y para



EQUIPO DE SOLDADURA SEMI-AUTOMATICO TIG

Figura N<sup>o</sup> 29

producir un buen cordón de soldadura es importante preparar la punta del electrodo en forma esferoidal. (11). La figura N° 30 ilustra esta preparación.

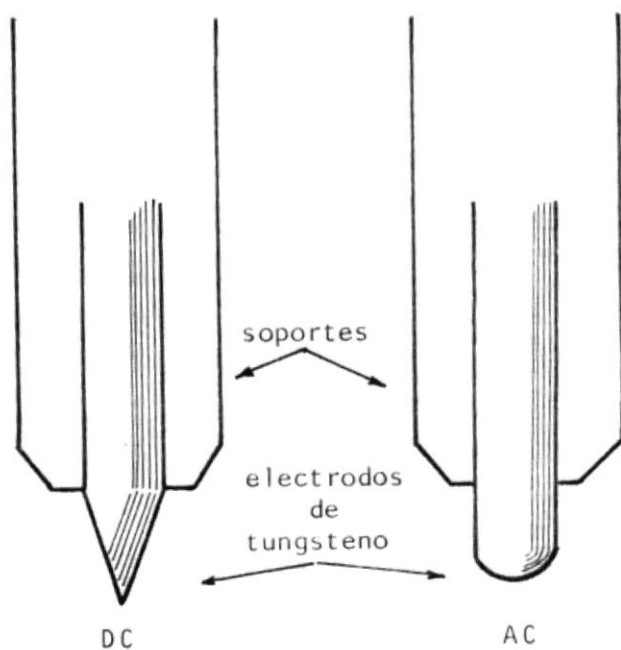
Los diámetros de los electrodos seleccionados dependen de la corriente a ser usada. Hemos utilizado en nuestro estudio, electrodo de tungsteno puro correspondiente a la siguiente identificación:

Clase:	EWP
Especificación:	AWS A5. 12-69
Diámetro:	3/32" (2.34 mm.)
Longitud:	7" (175 mm.)

El material de aportación debe ser de la misma composición que el metal base y contener un gran porcentaje de desoxidantes. En este trabajo se ha utilizado uno de la serie 5456 con 3 mm. de diámetro.

### 5.3.3 SELECCION DE VARIABLES DEL PROCESO

Es importante destacar la influencia de la alimentación eléctrica del arco en relación con la zona fundida. En la soldadura de aluminio y sus aleaciones es totalmente necesaria la elimina -



PREPARACION DE PUNTAS DE ELECTRODO

SEGUN LA CORRIENTE UTILIZADA (11)

Figura N° 30

ción de la capa de óxido refractaria que rodea tanto el metal base como el de aportación, si es que se emplea, y que impide la perfecta unión del material.

Se ha comprobado que el propio arco de soldadura puede romper y dispersar esta capa de óxido.

#### Tipo de Corriente

En corriente continua, polaridad inversa (DCRP) (electrodo al polo positivo del generador), se considera que el efecto del golpeteo de los iones positivos procedentes del arco en su camino hacia la pieza tienen un efecto preponderante y la emisión de electrones a partir de la pieza a soldar provoca un desprendimiento del óxido superficial.

Sin embargo, los electrones golpean el electrodo originando un fuerte calentamiento en el mismo, sumándose a esto, que los dos tercios del calor total del arco se desarrollan en el polo positivo, por lo que es necesario utilizar en espesores relativamente delgados electrodos de grueso diámetro, esto da lugar a un aumento de

anchura de la zona afectada por el arco, a una disminución de la penetración y dificulta el control del punto de ataque del arco en la pieza a soldar.

Si se utiliza la polaridad directa (DCSP) electrodo al polo negativo del generador), los electrones procedentes del electrodo y en gran número así como los procedentes de la ionización del gas, se dirigen hacia la pieza a una gran velocidad, mientras que los iones positivos se desplazan hacia el electrodo a velocidad relativamente baja, por lo que la pieza a soldar se calienta, en este caso, mucho más que el electrodo y la penetración que se consigue es muy superior al caso anterior, localizándose perfectamente el lugar en que se debe atacar el arco y por otra parte los diámetros de los electrodos a emplearse son mucho más pequeños que si se utilizara en polaridad inversa.

Como las ventajas que presenta esta polaridad no pueden utilizarse para el aluminio y sus aleaciones a causa de la capa de óxido refractario, es necesario recurrir a la corriente alterna, que es un término medio entre los dos casos de corrien -

te continúa, para aprovechar el efecto compuesto de las dos polaridades, es decir, penetración intermedia y el decapado de la junta que se produce es suficiente. (10)

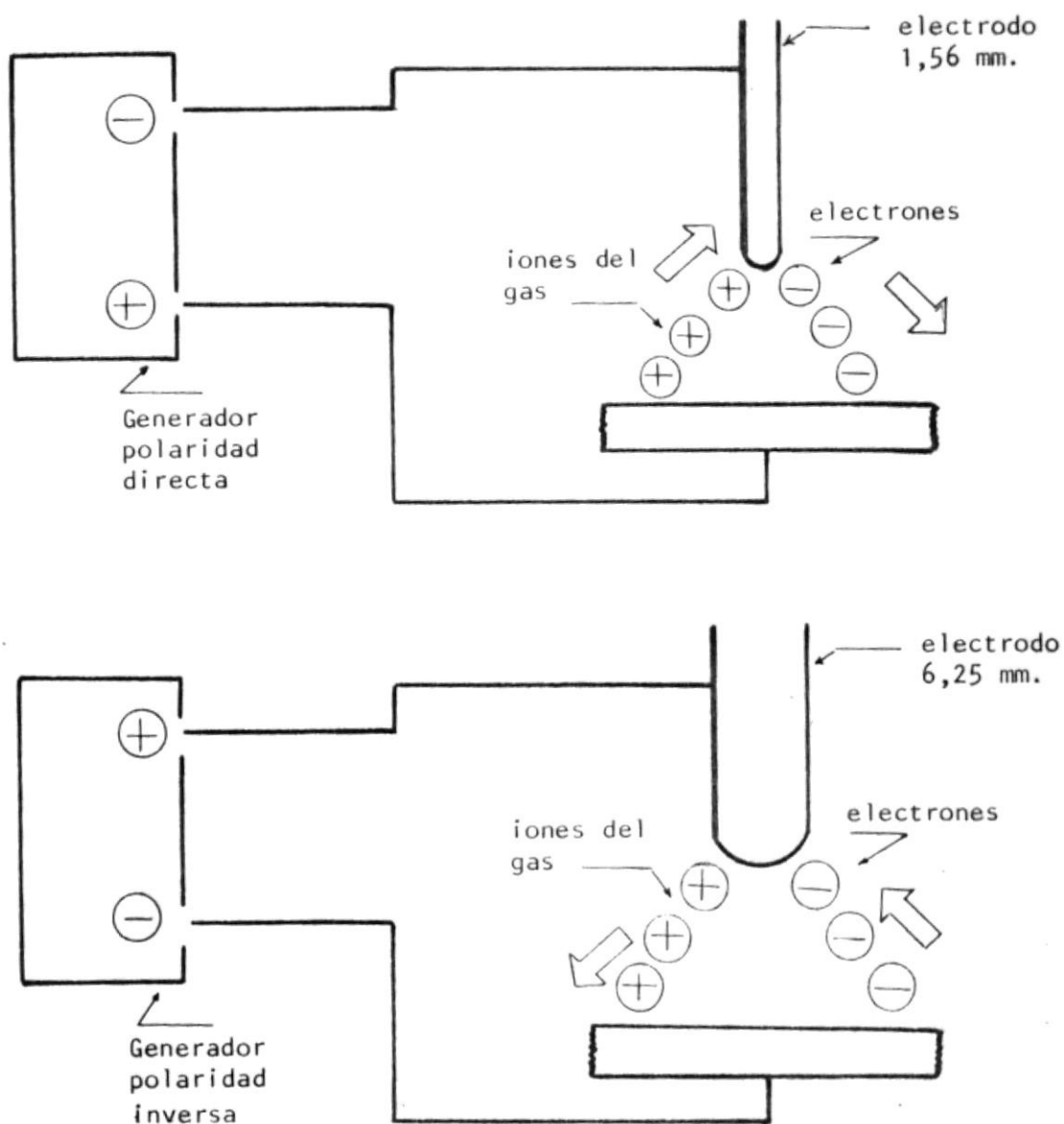
El empleo de la corriente alterna es la técnica mas extendida para la soldadura de espesores bajos de aluminio y aleaciones ligeras, donde el límite inferior por debajo del cual su aplicación se hace muy difícil puede ser fijado en 1mm, en lo que concierne al límite superior depende del número de pasadas y utilización de precalentamiento.

Las figuras N<sup>o</sup> 31 y N<sup>o</sup> 32 ilustran las dos polaridades para DC y su efecto en la emisión electrónica en el arco y en las penetraciones, comparándola además con la corriente A.C.

En la soldadura de láminas de aluminio de 3mm. de espesor, según el tipo de la junta a soldar (fillet) y con posición plana se empleó un rango de operación de 170 a 190 amperios.

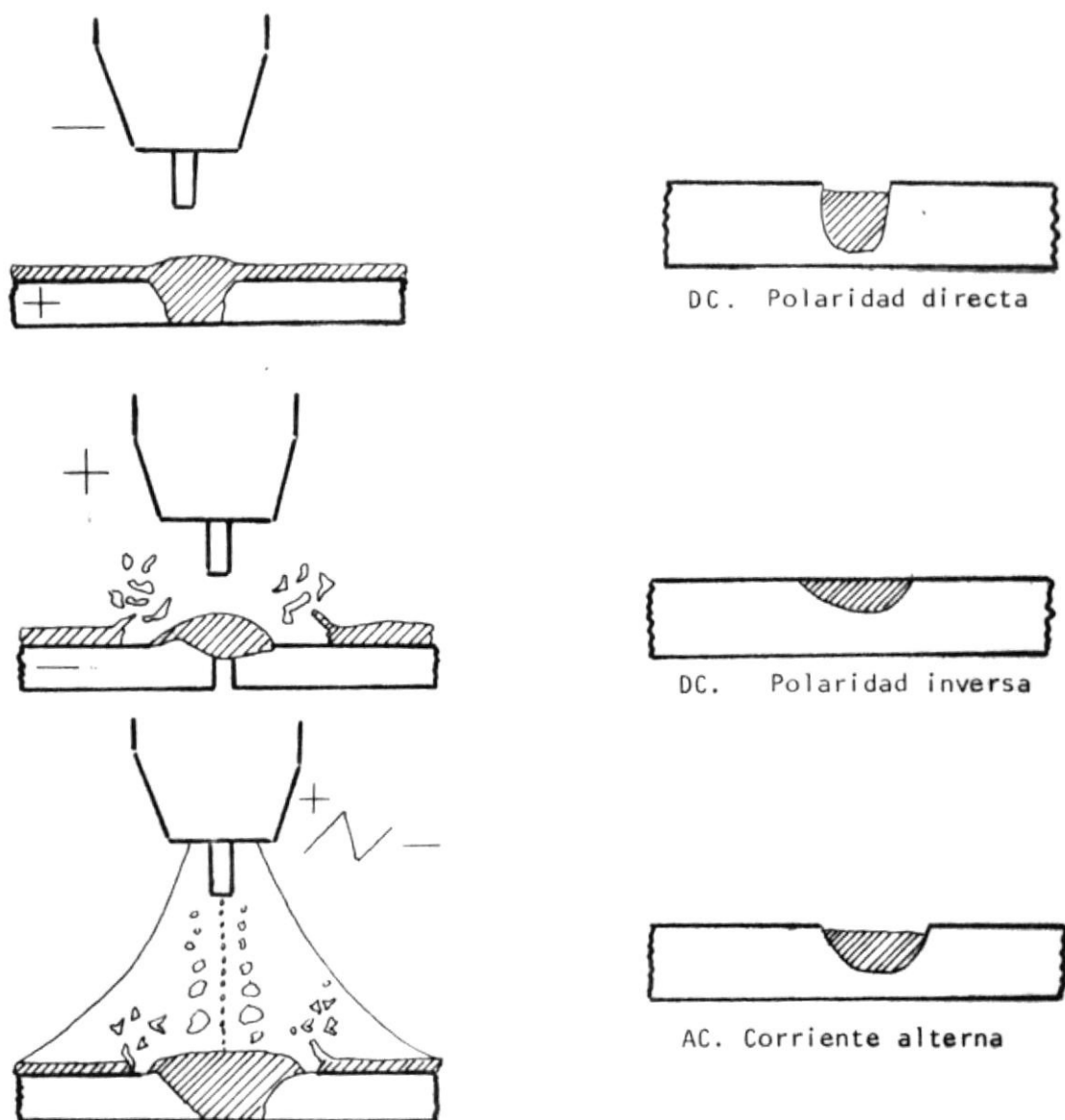
#### Tipo de Gas

Los gases empleados para la protección del



EFECTO DE LA POLARIDAD SOBRE EL ARCO ELECTRICO (11)

Figura N<sup>o</sup> 31



EFFECTO DEL TIPO DE CORRIENTE Y POLARIDAD  
SOBRE LA PENETRACION (11)

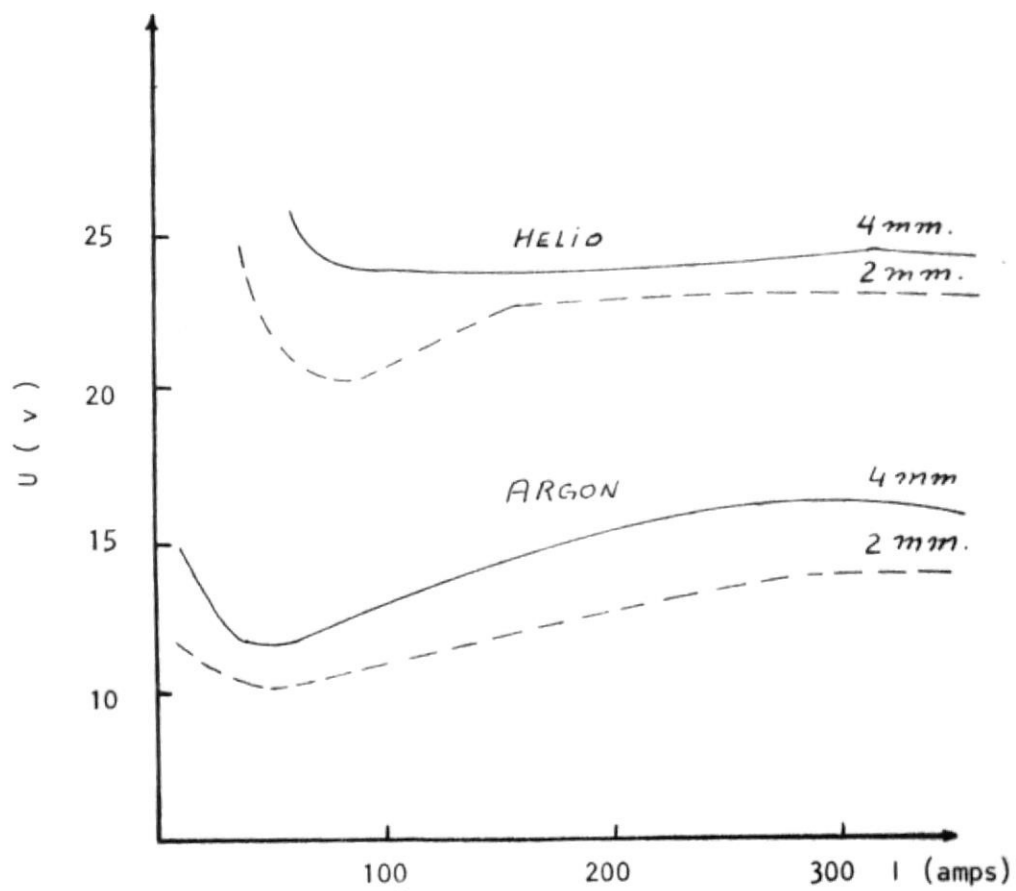
Figura N<sup>o</sup> 32

arco son: el argón, el helio o la mezcla de ambos, ya que presentan las ventajas de ser completamente inertes, casi insolubles en el metal depositado, disponer de unas características de arco convenientes y tener un precio razonable.

El argón es el más convenientemente utilizado, es 1.4 veces más pesado que el aire y 10 veces más pesado que el helio, presenta las ventajas de mantener un arco mucho más suave y tranquilo, una tensión de arco más baja para cualquier valor de la intensidad utilizada, acción decapante muy superior, como consecuencia de su mayor peso atómico, fácil encendido del arco y su consumo es menor, lo que supone una considerable economía de las uniones soldadas. Con un caudal de 22 pies<sup>3</sup>/hora se consiguió una aceptable estabilidad del arco.

El helio es un gas muy ligero con una conductividad térmica elevada y que al necesitar una tensión de arco superior la potencia liberada en el arco es muy considerable.

La figura N° 33 ilustra las características de los arcos TIG para aluminio utilizando argón o helio como gas de protección y su variación con



INFLUENCIA DEL GAS EMPLEADO EN LA  
CARACTERISTICA DEL ARCO (5)

Figura N° 33

la longitud del arco, donde se resalta que para fuentes de poder con potencial constante, las características que presenta el argón es muy conveniente para espesores delgados, al ser la curva aproximadamente plana, y que el helio presenta ventajas considerables para espesores mayores.

La figura N<sup>o</sup> 34 ilustra la ejecución del proceso TIG.

La figura N<sup>o</sup> 35 ilustra posiciones angulares de la pistola y material de aportación con respecto al cuerpo del cilindro en el procedimiento de soldadura TIG.

#### 5.3.4 OBTENCION DE UNIONES SOLDADAS

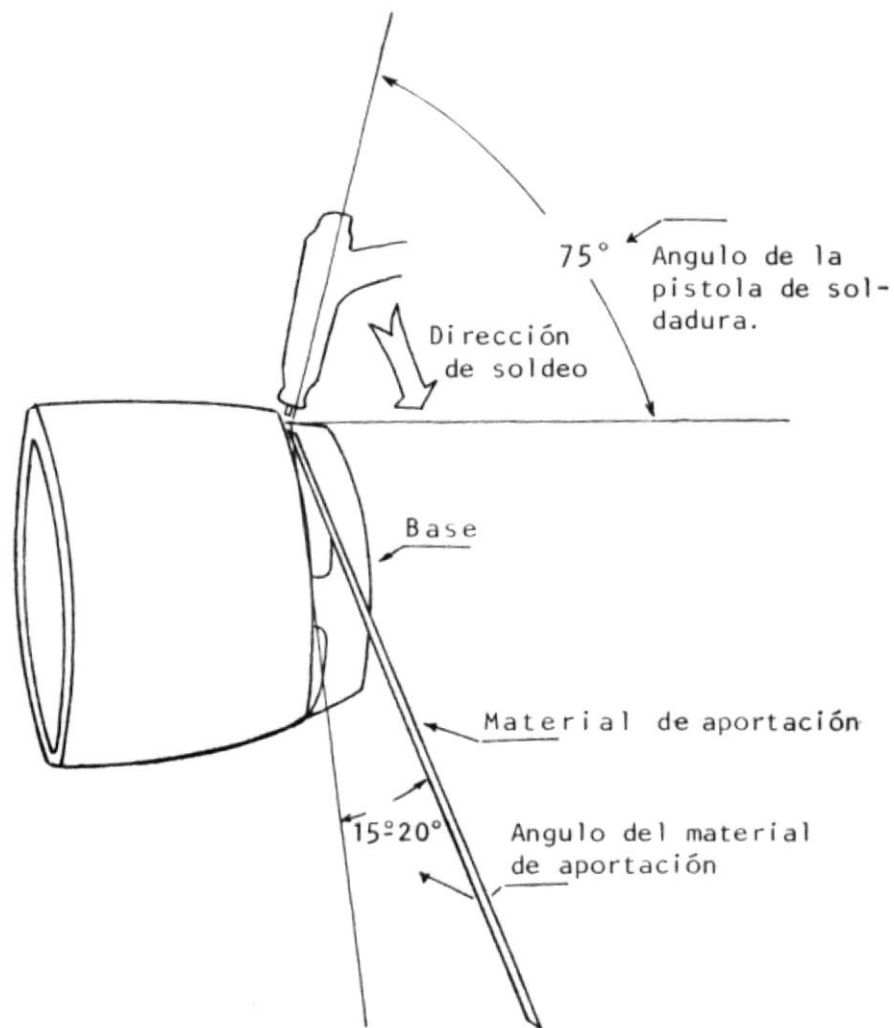
Se realizaron ensayos de cordones de soldadura en cilindros de aluminio tratando de seleccionar las variables más óptimas de soldadura en base a las apariencias y formas de las uniones soldadas.

Habiendo controlado las variables en el procedimiento de soldadura TIG, se procedió a obtener las uniones soldadas acoplando el protector



EJECUCION DEL PROCESO TIG

Figura N° 34



POSICIONES ANGULARES DE LA PISTOLA Y MATERIAL DE APORTACION  
CON RESPECTO AL CUERPO DEL CILINDRO EN EL  
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA TIG

Figura N° 35

de la válvula con el casquete hemisférico superior y luego la base con el casquete hemisférico inferior.

Es dificultoso sin embargo, obtener un buen trabajo de soldadura sobre aluminio si no se tiene la precaución de poseer una buena preparación de las juntas a soldar. Uno de los mejores métodos de limpieza de las impurezas superficiales es el de realizar un baño de inmersión de las juntas en un recipiente conteniendo una solución de soda cáustica y luego un lavado ácido tal como se hizo en el procedimiento MIG.

### Rendimiento Específico de Fusión

#### Barra de aportación

antes de soldar	después de soldar
PESO; 20,8 gr.	PESO: 19,0 gr.

Longitud del cordón: 5 cm.

Número de cordones: 9

Número de pasadas: 1

Amperaje: 170-190 amps.

Peso del material de aporte depositado  $1,8 \times 9 = 16,2$  gr.

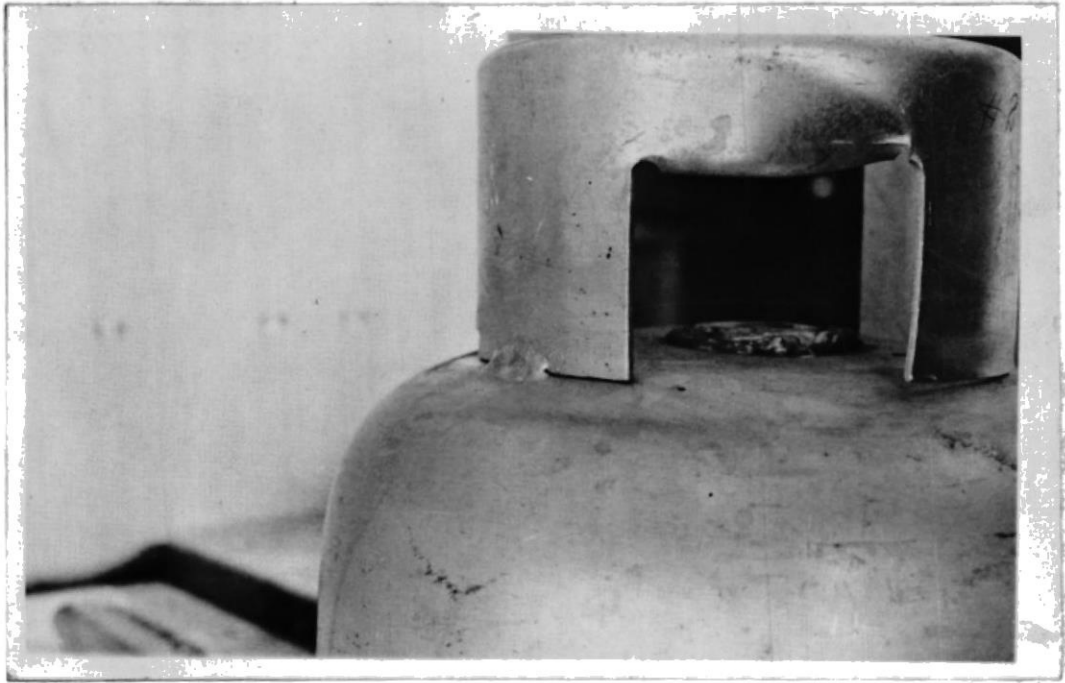
Rendimiento específico de fusión :  $\frac{16.2 \text{ gramos}}{170 \text{ amps.} \times \text{segs.}} = 0,00176 \frac{\text{gramos}}{\text{amps.} \times \text{segs.}}$

Costo de Material de Aportación y Gas de Protección:

Aleación.....	5456
Dimensiones (diámetro).....	3 mm.
Dimensiones (longitud).....	987,50 mm.
Costo (kilogramos).....	S/. 1.245,00
Material de aporte depositado por cordón de soldadura (gramos).....	1,8
Costo de material de aportación por cor- dón de soldadura.....	S/. 2,24
Costo total del material de aportación por cilindro.....	S/. 20,16
Flujo del Gas de protección durante la operación de soldadura (pies <sup>3</sup> /hora).....	22
Volumen del Gas de Protección en la opera- ción de soldadura por cilindro (pies <sup>3</sup> )....	0.33
Costo del gas de protección (m <sup>3</sup> ).....	S/. 360,00
Costo del gas de protección (pies <sup>3</sup> )....	S/. 10,27
Costo total del gas de protección por cilindro.....	S/. 3.50

Las figuras N<sup>o</sup> 36 a 41 ilustran uniones soldadas de protectores y bases con los casquetes hemisféricos.

En la figura N<sup>o</sup> 42, se aprecia con nitidez la forma y apariencia del cordón de soldadura así como uno de los defectos más frecuentes como es



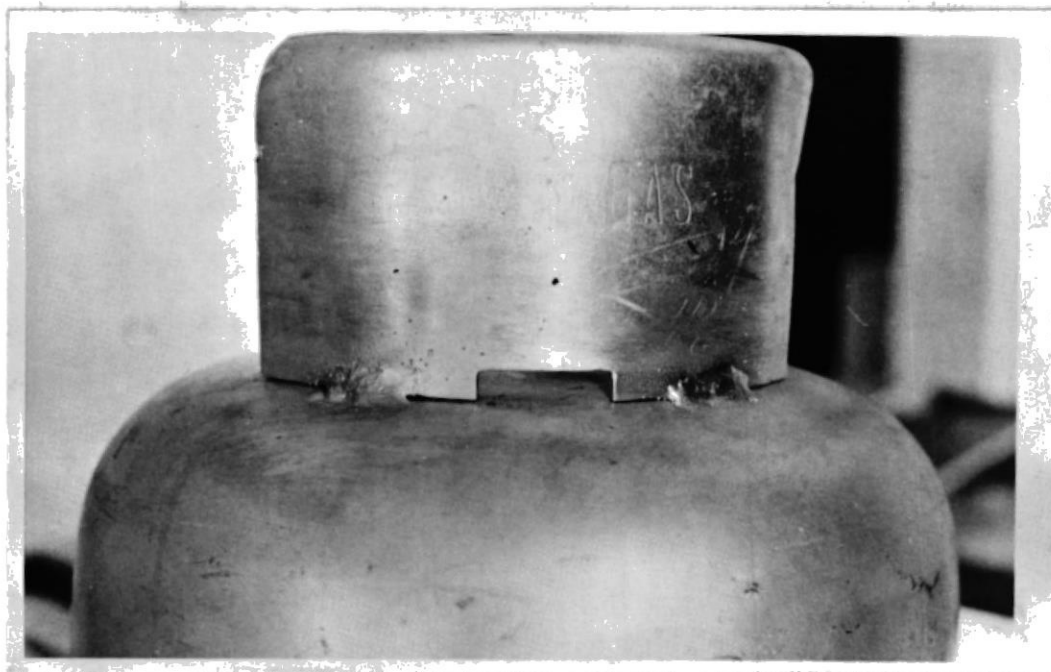
UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO TIG

Figura N° 36



UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO TIG

Figura N° 37



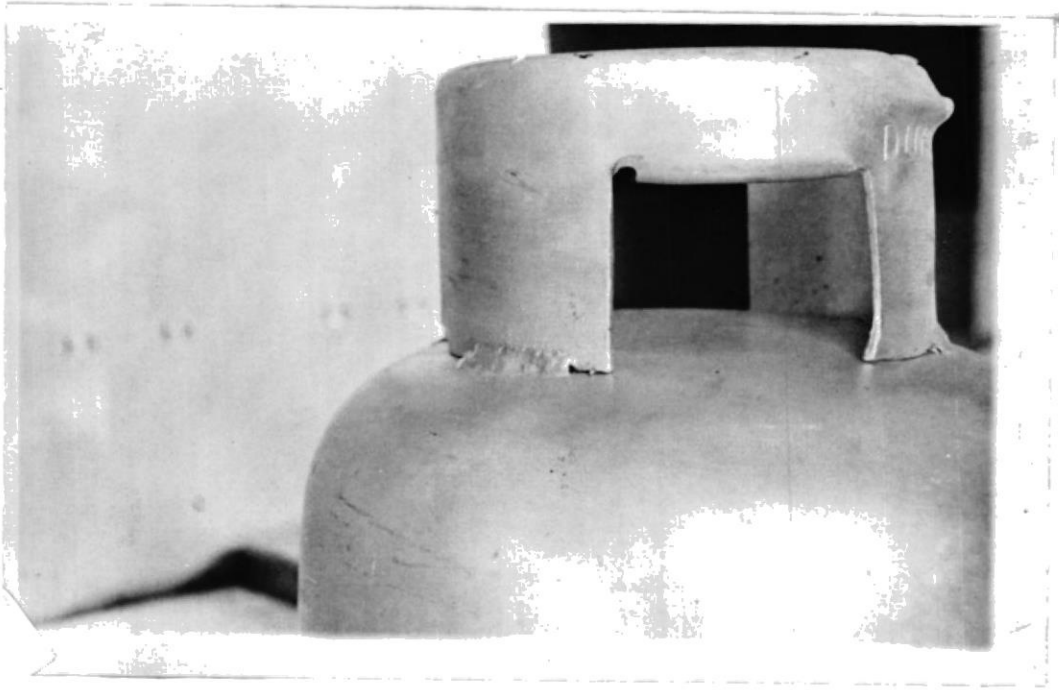
UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCESO TIG

Figura N° 38



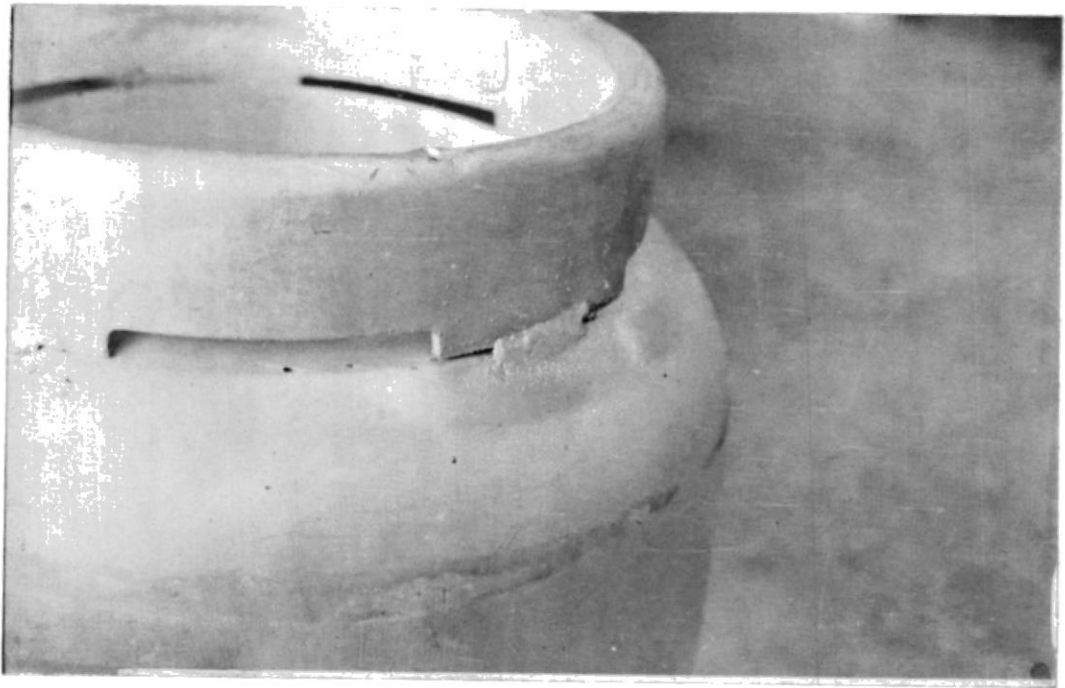
UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO TIG

Figura N° 39



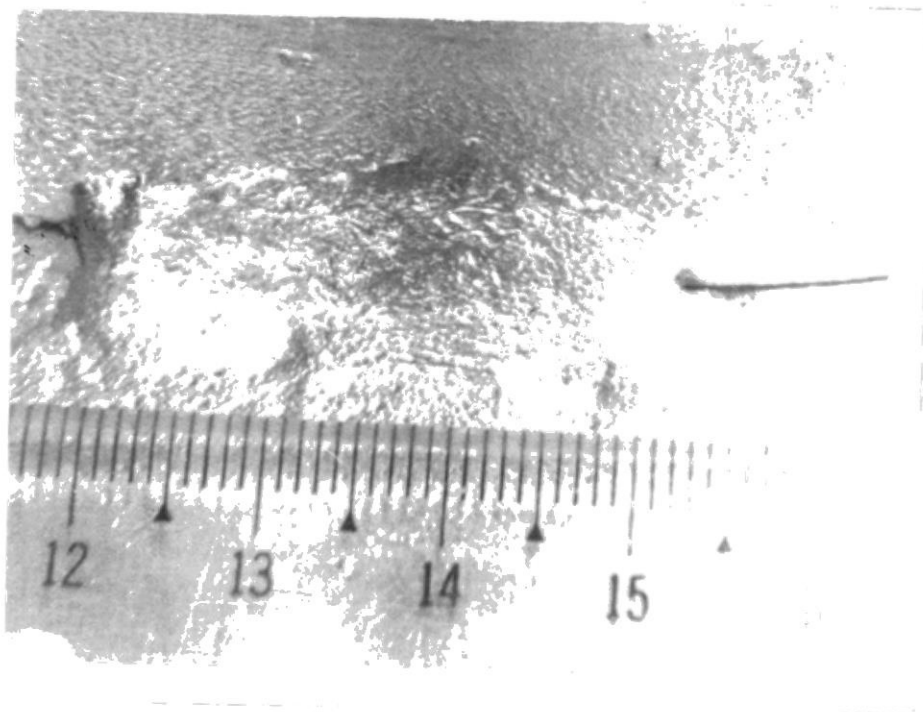
UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO TIG

Figura N° 40



UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO TIG

Figura N° 41



UNION SOLDADA MEDIANTE PROCESO TIG

Figura N° 42

el chisporroteo, causado por el desprendimiento globular del electrodo teóricamente no consumible de tungsteno.

#### 5.4 ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS

##### 5.4.1 ANALISIS METALOGRAFICO

El examen de la microestructura de los cordones de soldadura y metal base, se realizó en dos muestras de 25 mm. de longitud tomadas de los cilindros de aluminio, correspondiente a los protectores y bases soldados mediante procesos MIG y TIG, elaborados en planta y en el laboratorio respectivamente.

Las muestras fueron montadas en resinas para facilitar su preparación. A continuación las probetas fueron pulidas en una máquina pulidora de paño "Dynamatic" con control de velocidades hasta obtener una superficie pulida al paño, y luego fueron lavadas en agua y alcohol y secadas con aire caliente.

Posteriormente, las probetas fueron atacadas químicamente mediante el reactivo  $\text{HF} + \text{H}_2\text{O}$ , 0.5% de ácido fluorhídrico, durante dos minutos.

El análisis metalográfico realizado sobre las muestras comprendió observaciones macrocópicas y microscópicas de las uniones soldadas.

#### Estudio Macroscópico

En las macrofotografías mostradas en las figuras N° 43 y N° 44, se aprecian tres partes distintas: la zona fundida o metal de soldadura, zona afectada por el calor y zona del metal base.

El metal de soldadura es una mezcla de metal de aporte y metal base; que a partir de su estado líquido sufre durante la fusión transformaciones que son de tipo químico-físico estructural.

La zona afectada por el calor, es la región adyacente al cordón de soldadura donde existen zonas de transición y donde la orientación de la cristalización es menos definida, esta zona sufre un tratamiento térmico variable según el punto que se considere y por ello es asiento de transformaciones de tipo físico-químico. La importancia de esta transformación es función, por una parte, del ciclo térmico y por otra, de la misma naturaleza de la aleación que es sensible a los cambios de fase por precipitación.

La figura N<sup>o</sup> 43 ilustra una muestra obtenida mediante proceso MIG, donde se aprecian tres zonas claramente definidas: La zona de fusión localizada, que tiene un espesor de 2.70 mm. y contiene un cierto nivel de porosidades que podrían ser causadas por el inadecuado abastecimiento del gas protector o por absorciones de gases atmosféricos por parte del metal fundido, que ejercerían una influencia desfavorable sobre las propiedades mecánicas. El diámetro de la máxima porosidad mayor fue de 0,67 mm.

En la zona de fusión, además se observa, que la operación de soldadura se ha llevado a cabo en dos pasadas. La influencia térmica de las pasadas superiores normaliza las pasadas ya solidificadas (regiones claras) lo que conduce a un afinado de la estructura.

En la parte inferior del cordón de soldadura se observa la zona de transición (regiones oscuras). El espesor de la zona de transición y su distancia con respecto al cordón de soldadura varía : con los distintos procesos de soldadura, geometría de las uniones soldadas y la velocidad de soldadura. Debido a que las velocidades de soldadura son relativamente altas y por consiguiente

los efectos del calor del arco no son significativos, el aspecto de la zona de transición es menos acentuada en operaciones de soldadura, mediante proceso MIG, en comparación con el proceso TIG. El espesor de la zona de transición (zona afectada por el calor) es de 0.78 mm.

La profundidad de penetración de la soldadura en el proceso MIG considerando la primera pasada es de 1.25 mm., y considerando la segunda pasada es de 0.95 mm.

La figura N<sup>o</sup> 44, ilustra una muestra en probeta obtenida mediante el proceso TIG, donde se aprecian las tres zonas definidas:

La zona de fusión con presencia de inclusiones (puntos negros), provocado por desprendimientos de partículas microscópicas del electrodo de tungsteno dentro del baño de fusión a causa del alto amperaje utilizado durante la operación de soldadura. Las inclusiones de tungsteno tienen poco efecto sobre las propiedades mecánicas pero sin embargo, se prefiere que estas inclusiones estén en un mínimo porcentaje en esta zona (19). El espesor de la zona de fusión

es de 2.60 mm.

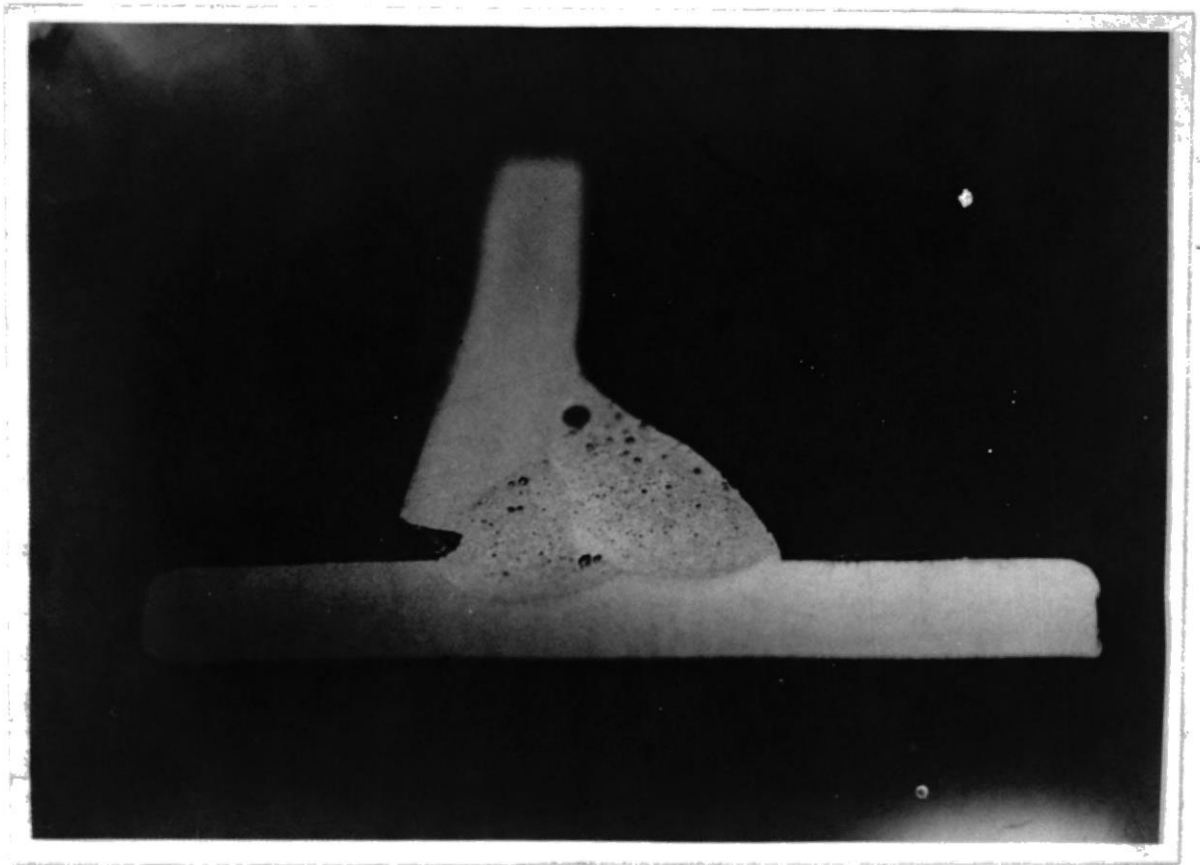
La zona influenciada por el calor tiene un espesor de 1.12 mm., es mayor que la del proceso MIG, debido al alto amperaje aplicado, con los cuales las probabilidades a la sensibilidad a la fisuración podrían aumentar en esa zona, pero de todas maneras no está excediendo de los límites del espesor máximo recomendado para esta zona (19).

La microestructura del metal base cerca de la zona afectada por el calor está más afectada que la del proceso MIG, debido a la mayor intensidad de soldeo. La operación de soldadura se llevó a cabo en una sola pasada y la profundidad de penetración es 0.56 mm., en consecuencia menor profundidad de penetración comparado con el proceso MIG.

La tabla N<sup>o</sup> 13 nos ilustra las dimensiones de la geometría de la soldadura depositada mediante procesos MIG y TIG.

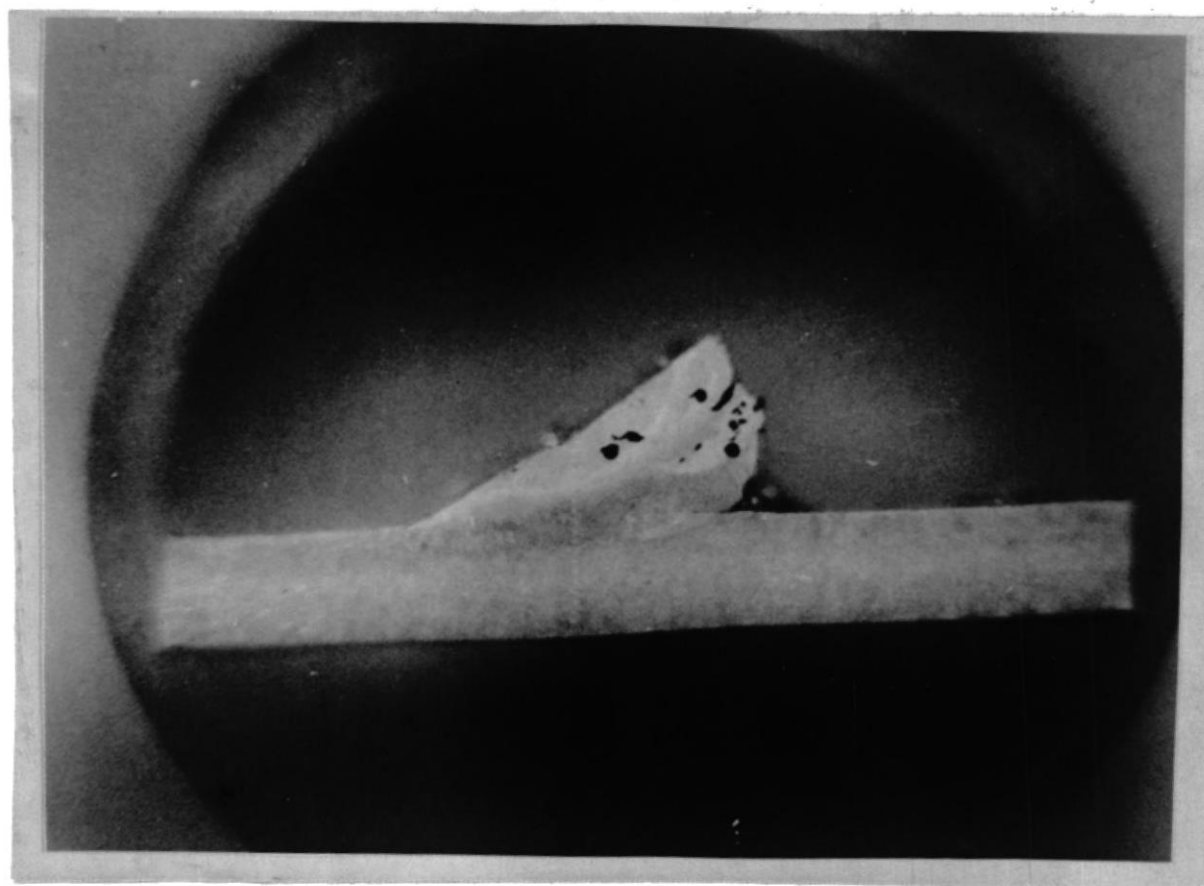
#### Estudio Microscópico

Para este análisis se tomaron las mismas muestras del estudio macroscópico y se obtuvieron



MACROFOTOGRAFIA DEL CORDON DE SOLDADURA  
OBTENIDO POR PROCESO MIG

Figura N° 43



MACROFOTOGRAFIA DEL CORDON DE SOLDADURA  
OBTENIDO POR PROCESO TIG

Figura N° 44

microfotografías con un aumento de 50x.

En los procesos de soldadura con protección gaseosa y en particular en la soldadura de aleaciones de aluminio con tratamientos térmicos, es usual observar tres zonas distintas, tal como se ilustra en las microfotografías compuestas de las figuras N<sup>o</sup> 45 y N<sup>o</sup> 46 de probetas metalográficas correspondientes al proceso MIG y TIG respectivamente.

En la figura N<sup>o</sup> 45 podemos observar de derecha a izquierda cambios microestructurales en las tres zonas distintas. En la localización de la fusión donde están participando los bordes a soldar y el metal de aporte se puede analizar una heterogeneidad térmica acentuada en el primer cordón de soldadura depositado confirmado por la presencia de granos columnares o interdendríticos de los componentes de la aleación aluminio-magnesio-silicio, alargados desde el metal base hacia el centro, características estructurales propias de la zona de fusión.

En la zona afectada por el calor se observa un matiz muy acentuado en comparación con las otras dos zonas, poniéndose de manifiesto el ciclo

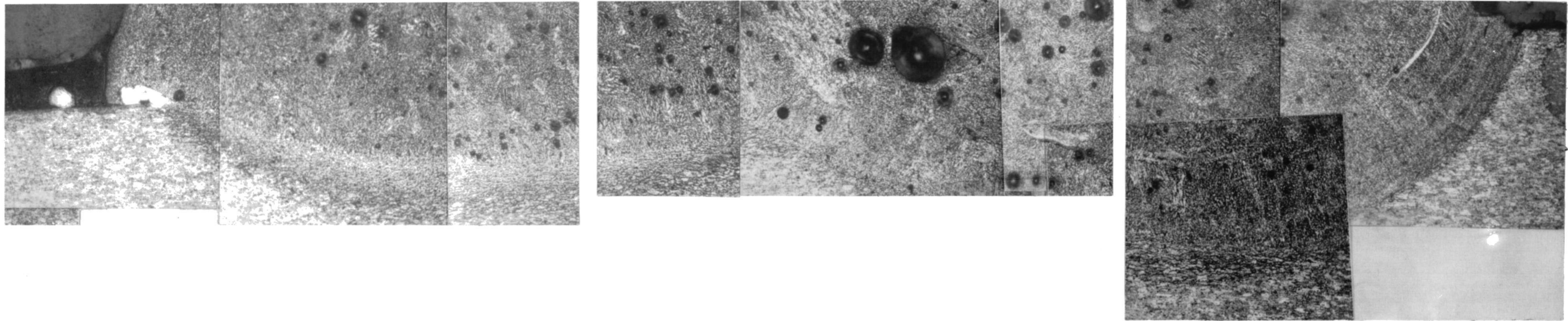
térmico que se desarrolla en las operaciones de soldadura por arco, los granos han crecido en la dirección de laminación por efecto del tratamiento térmico al que fueron sometidos durante el proceso de soldadura y también por efecto de la orientación existente en el metal base debido al proceso de laminación.

La zona de metal base se caracteriza por un matiz más claro que el de las otras dos zonas. Al comparar esta microestructura con la correspondiente a la referida en el Metal Handbook, edición N° 8, figura N° 2009, página N° 244, que nos ilustra una microfotografía del metal base 5086, observamos que no se han producido cambios en su microestructura, por lo que el calor suministrado durante la operación de soldadura no ha afectado a esta zona.

En la figura N° 46 se muestra una composición microfotográfica correspondiente a la línea de fusión del cordón de soldadura obtenido por el proceso TIG, en ella podemos observar algunas precipitaciones de compuestos intermetálicos de aluminio-magnesio,  $Mg_2Al_3$  (19). Este fenómeno de precipitación se debe al ciclo térmico que soporta la aleación durante el proceso de sol-

dadura. Dependiendo de la cantidad de precipitados y tomando en cuenta la alta fragilidad de los compuestos intermetálicos, éstos podrían afectar las características mecánicas y químicas de la unión soldada. En igual forma puede observarse que no hay presencia de porosidades a lo largo de la línea de fusión. Una observación microscópica general así como la macrofotografía mostrada en la figura N° 44 tampoco detecta porosidades en el cordón.

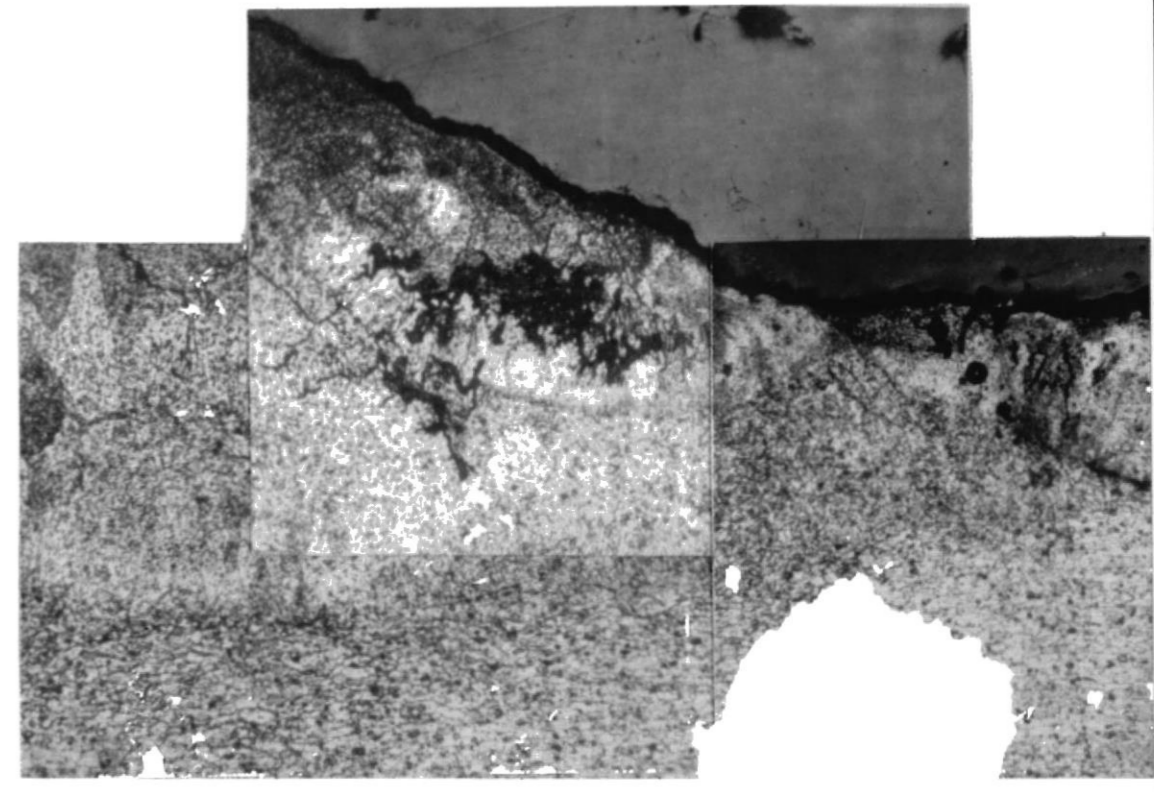
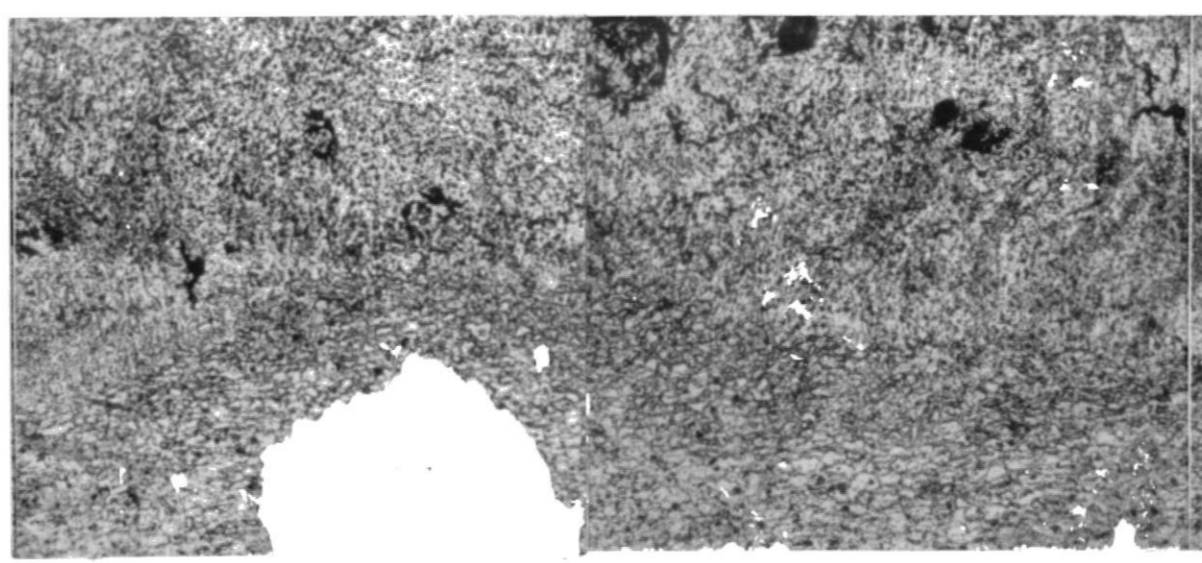
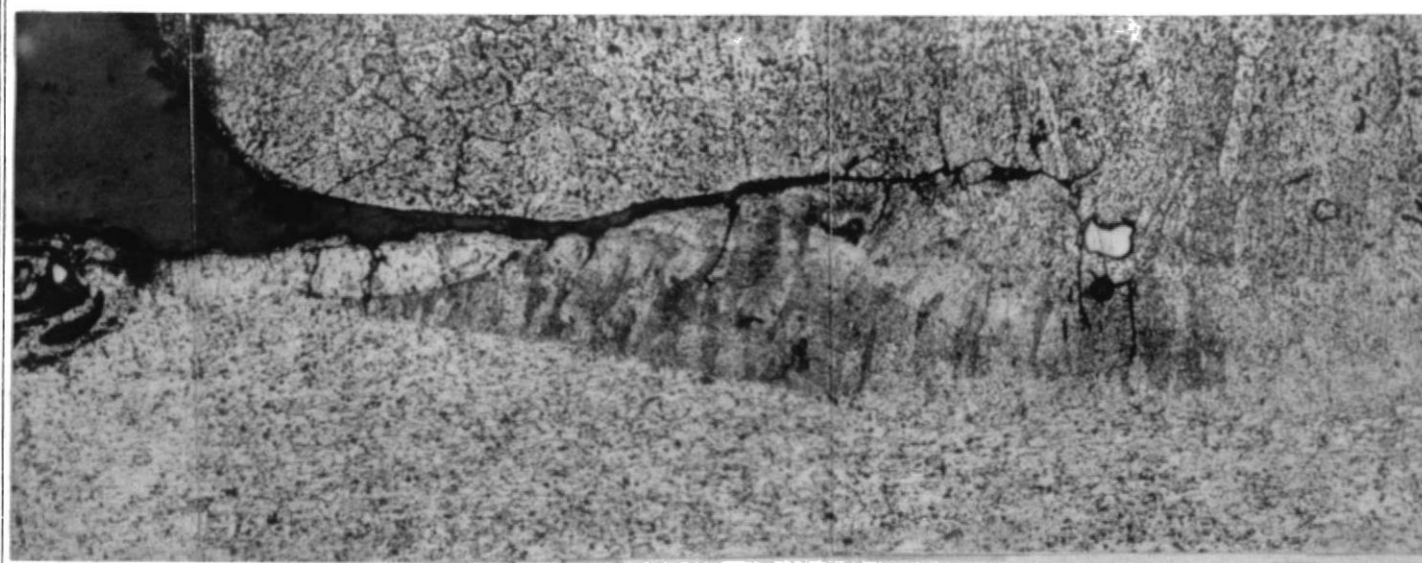
Continuando con el cordón de soldadura, se aprecia una gran zona de microestructuras afectadas por el calor desarrollado por el arco, además, precipitaciones localizadas en los límites de los granos interdendríticos, la zona afectada por el calor se extiende irregularmente a través de la zona de fusión donde existen granos columnares. A continuación se observa crecimiento de granos en la zona afectada por el calor bajo el cordón de soldadura con los mismos cambios microestructurales que la probeta metalográfica del proceso MIG.



MICROFOTOGRAFIA DE LA LINEA DE FUSION

Figura N<sup>o</sup> 45

Metal..... Aluminio  
 Proceso de Soldadura..... Proc. semi-automático MIG  
 Reactivo..... 0.5 % ácido fluorhídrico  
 Aumento..... 50 X



MICROFOTOGRAFIA DE LA LINEA DE FUSION

Figura N° 46

Metal..... Aluminio  
Proceso de Soldadura..... Proc. semi automatico TIG  
Reactivo..... 0,5 % acido fluorhidrico  
Aumento..... 50 x

#### 5.4.2 ANALISIS DE DUREZA

Las soldaduras por arco como presentan heterogeneidades a nivel microestructural y con la finalidad de obtener valores más representativos de la variación de dureza, se utilizará el tipo de dureza Knoop en este trabajo, el cual utilizando cargas pequeñas da impresiones del orden de las 100 micras . El ensayo de microdureza Knoop fue realizado sobre las mismas muestras de las probetas obtenidas para el análisis metalográfico y consiste en la marcación transversal de huellas sobre las tres diferentes zonas de las uniones soldadas con un penetrador Knoop, que es una pirámide de diamante, que produce huellas en forma de rombos, el cual tiene una diagonal mayor que es siete veces la longitud de la diagonal menor y la profundidad de la huella es aproximadamente igual a la trigésima parte de la longitud de la diagonal mayor, la impresión del indentador es medida mediante un microscopio.

La microdureza Knoop es expresada en función de la carga aplicada en kilogramos y la longitud de la diagonal mayor de la base de la pirá-

mide (rombo), en micras. El espacio entre indentaciones romboidales es de 9 milésimas de pulgada, la aplicación de la carga fue de 300 libras durante un tiempo de 20 segundos, la medición de la longitud de la diagonal mayor fue realizada en un lente de 10x aumentos.

La tabla N<sup>o</sup> 14 nos ilustra el resultado de la microdureza Knoop en uniones soldadas obtenidas mediante procedimiento MIG y TIG. En las figuras N<sup>o</sup> 47 y N<sup>o</sup> 48, se muestran probetas metalográficas con cortes transversales de las uniones soldadas ilustrando la distribución de las microdurezas en la zona de fusión, zona afectada por el calor, y metal base.

En la figura N<sup>o</sup> 49, se ilustran las variaciones de las durezas de las secciones transversales de las uniones soldadas mediante proceso MIG y TIG respectivamente. Como se puede apreciar las características de dureza se mantienen notablemente en el metal base con caídas bruscas y sensibles en las aproximaciones de la zona afectada por el calor. Finalmente, se observan ablandamientos en las zonas de fusión. La microdureza Knoop es ligeramente mayor en

uniones soldadas mediante procedimiento MIG.

La diferencia de dureza que se observa en la zona por debajo del cordón de soldadura de los procesos MIG y TIG, se estima que sea efecto de la mayor cantidad de calor aplicado durante el proceso TIG.

#### 5.4.3 ENSAYO DE TRACCION

El ensayo de tracción es uno de los requerimientos más importantes para obtener una información básica sobre la resistencia mecánica aplicada a las uniones soldadas, para ello, las muestras fueron sometidas a una fuerza de tracción que va aumentando de forma progresiva.

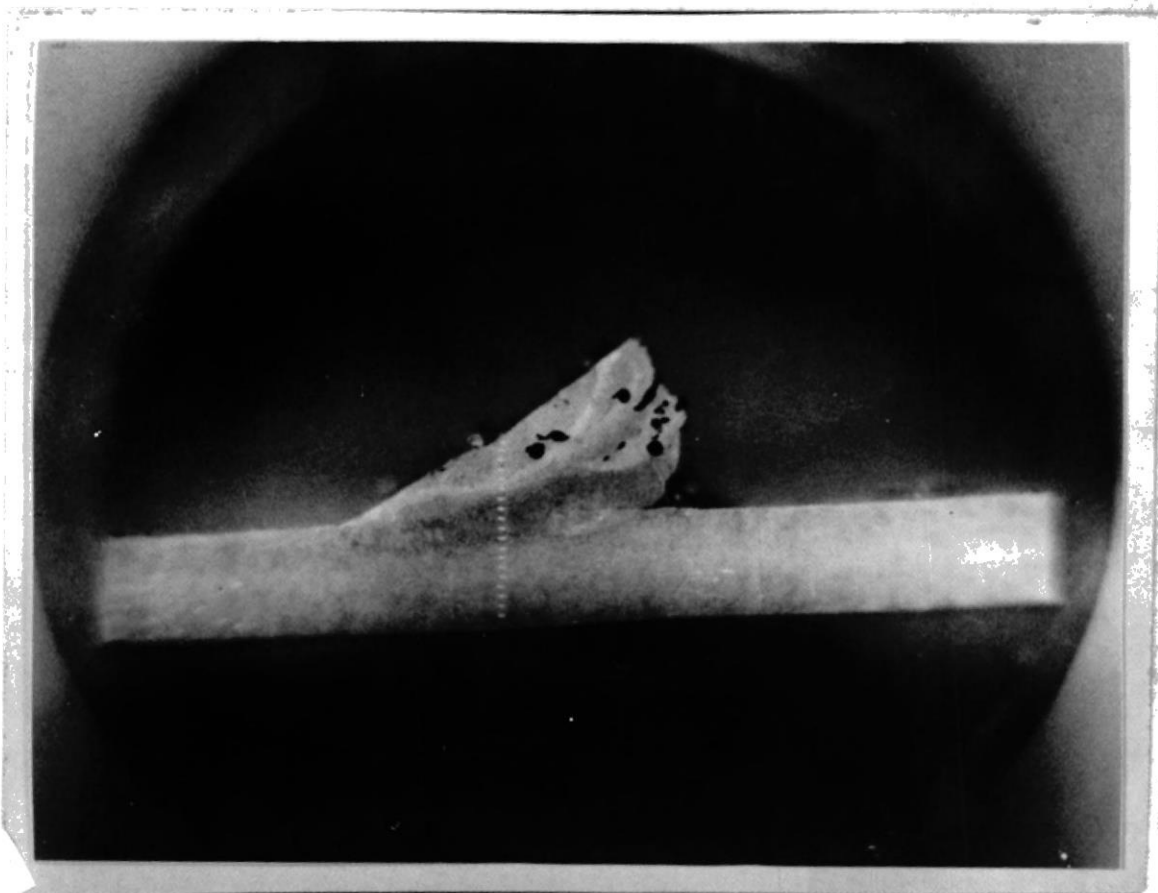
para tal efecto, se tomaron tres muestras al azar de uniones soldadas mediante procedimiento MIG y TIG obtenidas en planta y en el laboratorio, respectivamente. Las muestras fueron recortadas del cuerpo del cilindro y maquinadas posteriormente a baja velocidad hasta ser finalmente pulidas de acuerdo a las dimensiones descritas en la figura N° 50, manteniendo las mismas configuraciones como fueron cortadas de



MACROFOTOGRAFIA DEL CORDON DE SOLDADURA

OBTENIDO POR PROCESO MIG

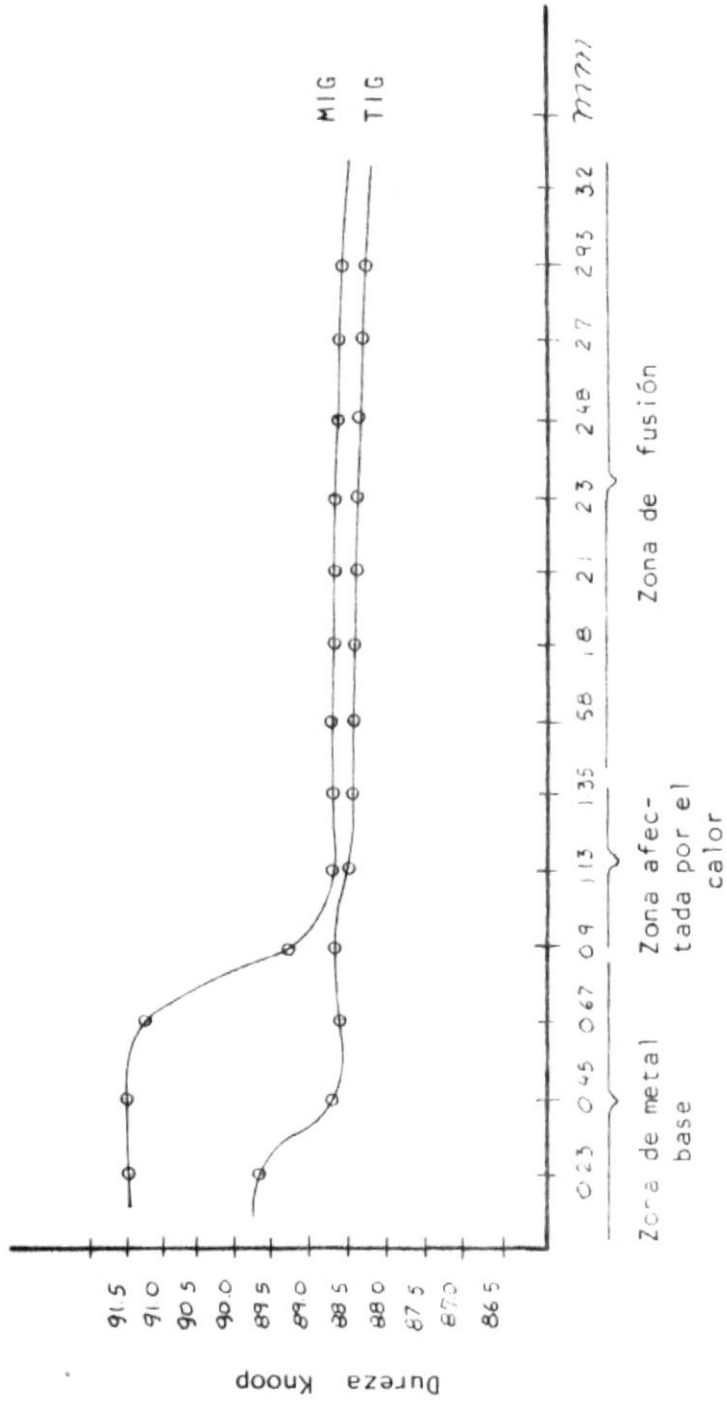
Figura N° 47



MACROFOTOGRAFIA DEL CORDON DE SOLDADURA

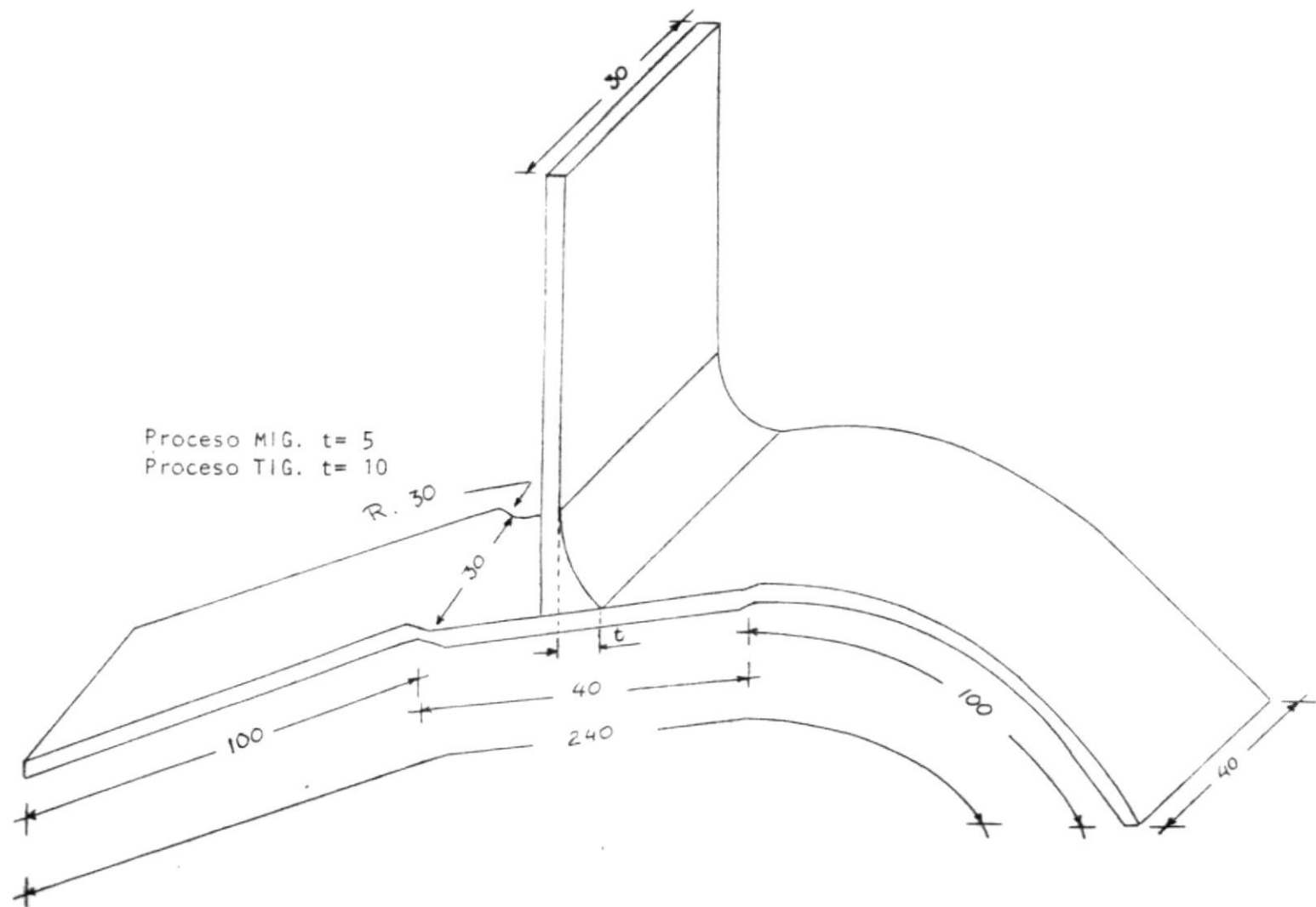
OBTENIDO POR PROCESO TIG

Figura N° 48



VARIACION DE LA DUREZA EN LAS SECCIONES TRANSVERSALES  
DE LAS UNIONES SOLDADAS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS MIG y TIG

FIGURA Nº 49



DIMENSIONES DE PROBETAS DE TRACCION

Figura N° 50

los cilindros, con el objeto de revelarnos datos representativos de la situación real, durante el ensayo.

Previo al ensayo, se procedió a elaborar mordazas especiales de tal manera que las muestras pudieran ser acopladas a la máquina de ensayo. Tal como se muestra en la figura N° 51. Los ensayos de tracción se llevaron a efecto en la máquina INSTRON, Modelo 1230, a temperatura ambiente y una velocidad constante de 5 mm./min.

La curva de tracción de la probeta N° 1 muestra los valores de carga de fluencia ( $F_e$ ), carga de rotura ( $F_r$ ), carga de tracción ( $F_t$ ), desde un nivel de cero hasta 2.000 kilogramos.

El cálculo del límite de fluencia, resistencia a la tracción, y resistencia a la rotura para la muestra N° 1, tomada como ejemplo es como sigue a continuación:

$$\text{Límite de fluencia: } F_e/A_0 = 330/90 = 3,67 \text{ Kg/mm}^2$$

donde,

$F_e$  = carga al límite elástico

$A_0$  = área de la sección transversal de la probeta.

- Resistencia a la tracción:

$$F_t/A_0 = 360/90 = 4,00 \text{ Kg/mm}^2$$

donde,

$F_t$  : carga de tracción

$A_0$  : área de la sección transversal de la probeta.

- Resistencia a la rotura:

$$F_r/A_0 = 300/90 = 3,33 \text{ Kg/mm}^2$$

donde,

$F_r$  : carga de rotura

$A_0$  : área de la sección transversal de la probeta.

El alargamiento de rotura en porcentaje, es la relación entre el aumento de la longitud de las distancias entre dos puntos de la probeta y su longitud original:

$$\text{Alargamiento (\%)} : \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

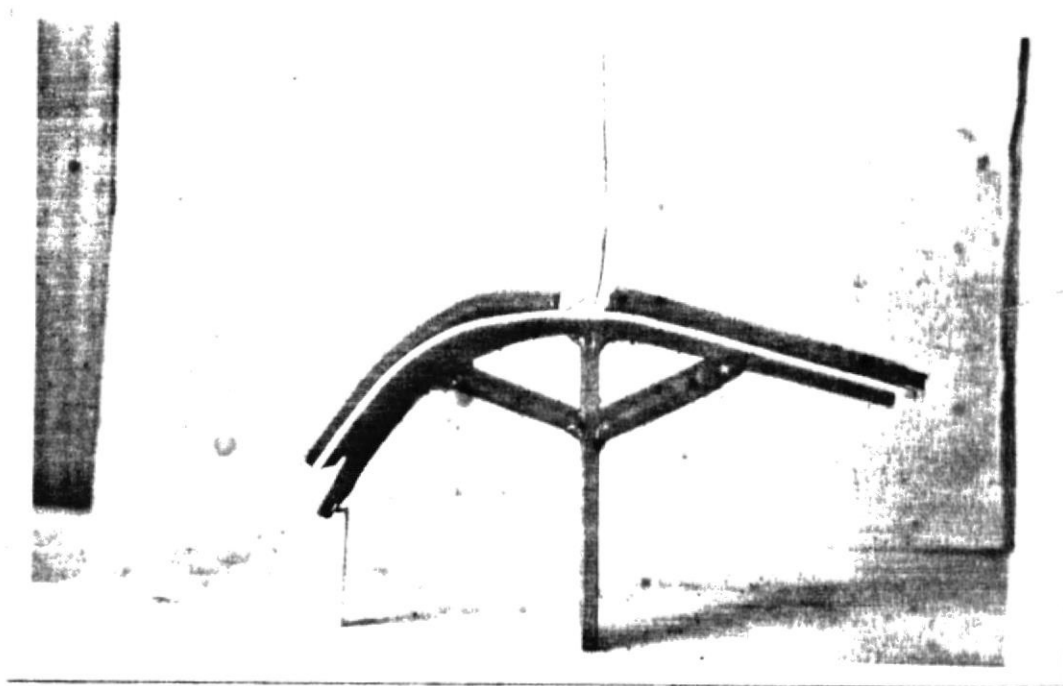
donde,

$L_f$  : distancia entre dos puntos al producirse la fractura.

$L_0$  : distancia entre puntos originales.

según la muestra N° 1 , tenemos:

$$\text{Alargamiento (\%)} : \frac{36 \text{ mm.} - 35 \text{ mm.}}{35 \text{ mm.}} \times 100 = 2,86\%$$



MONTAJE DE PROBETA DE TRACCION EN LA MORDAZA  
FABRICADA PARA EL EFECTO

Figura N<sup>o</sup> 51

La figura N<sup>o</sup> 52 ilustra un gráfico comparativo de los ensayos de tracción realizados en las probetas soldadas MIG y TIG.

#### 5.4.4 ENSAYO DE DOBLADO

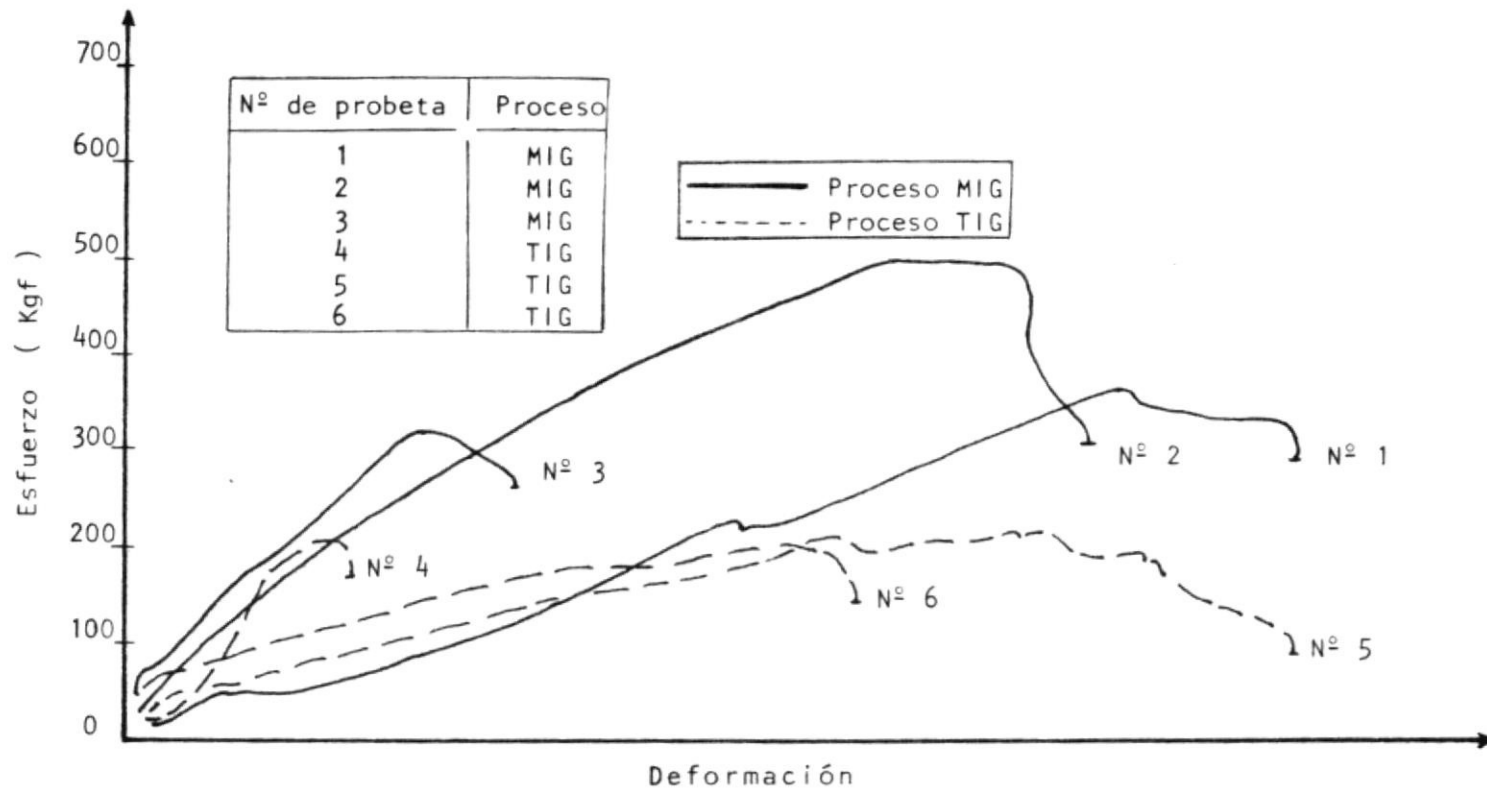
Cuando los metales soldados son identificados a simple vista como duros y resistentes, pueden en realidad encontrarse fracturados internamente, por lo tanto hay que tener cierta precaución en la utilidad del material. Pequeñas fracturas manifiestas en los inicios de los trabajos para los cuales el material fue diseñado podrían aumentar hasta que ocasionen la falla total en trabajo del mismo, por ésto, ha sido necesario someter al material soldado a ciertos ensayos específicos que probarían sus resistencia a determinadas propiedades mecánicas.

El ensayo de doblado es una de las pruebas más importantes generalmente aplicado a todos los materiales soldados, con el objetivo de conocer la habilidad que tiene el material a la resistencia de impacto o

de doblado, y de esta manera se investiga la ductilidad y dureza del mismo.

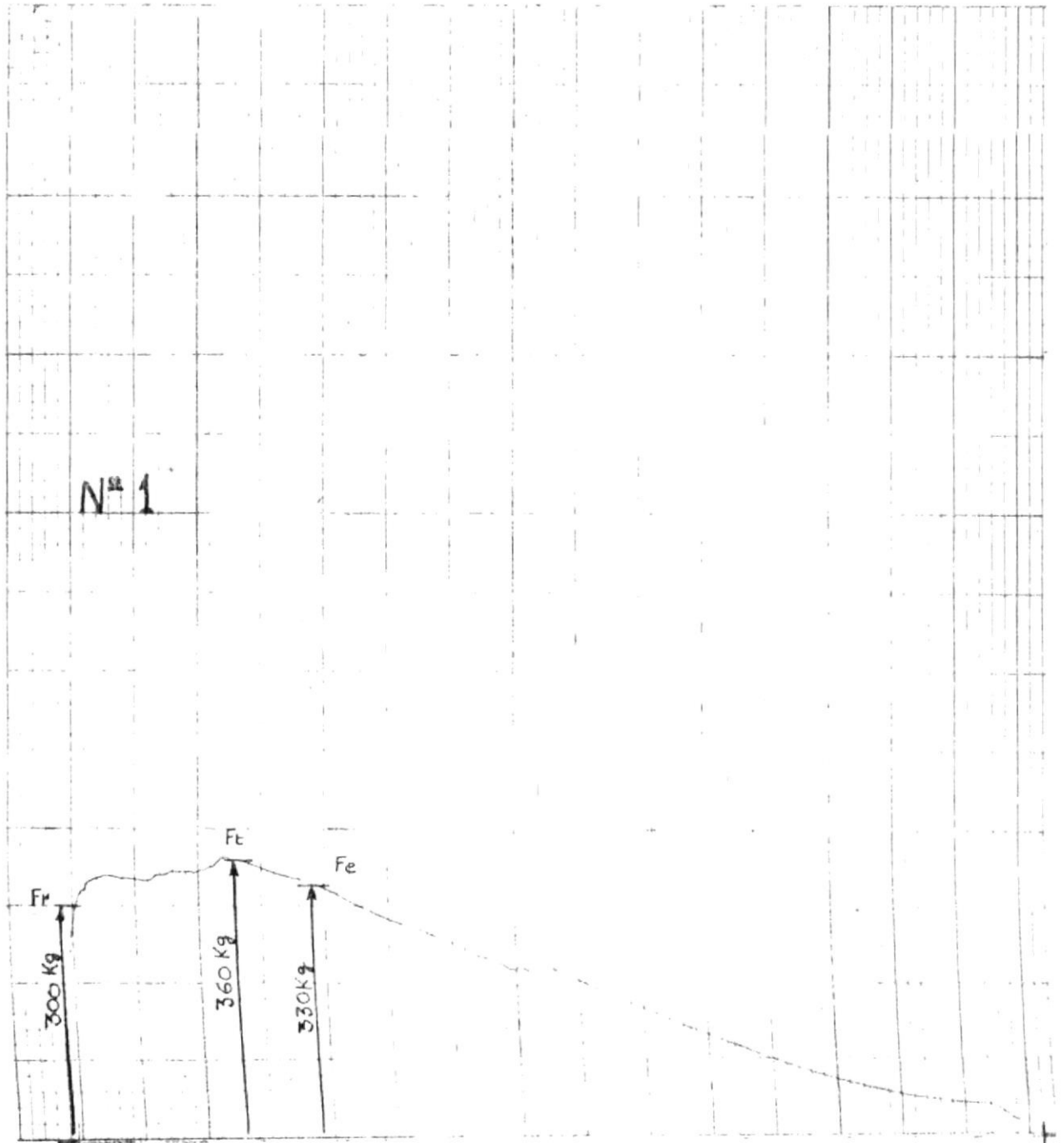
De dos cilindros tomados al azar se obtuvieron dos muestras correspondientes a base y protector soldados mediante proceso MIG en planta y dos muestras correspondientes a base y protector de otro cilindro soldado mediante proceso TIG en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPOL. Las muestras fueron preparadas a las dimensiones descritas en la figura N° 53, las muestras mantuvieron las mismas configuraciones como fueron recortadas de los cilindros, para que de esta manera revelaran datos representativos durante el ensayo.

El doblado de las muestras de las bases fue en sentido izquierdo hacia el lado opuesto del cordón de soldadura, debido a que en ese sentido fallarían las bases de los cilindros en servicio. El doblado de las muestras MIG de protectores, tendría que haber sido realizado nuevamente hacia el lado opuesto de la soldadura porque en ese sentido fallarían en servicio los protectores, pero se prefirió hacerlo hacia el lado de la soldadura, y para muestras.

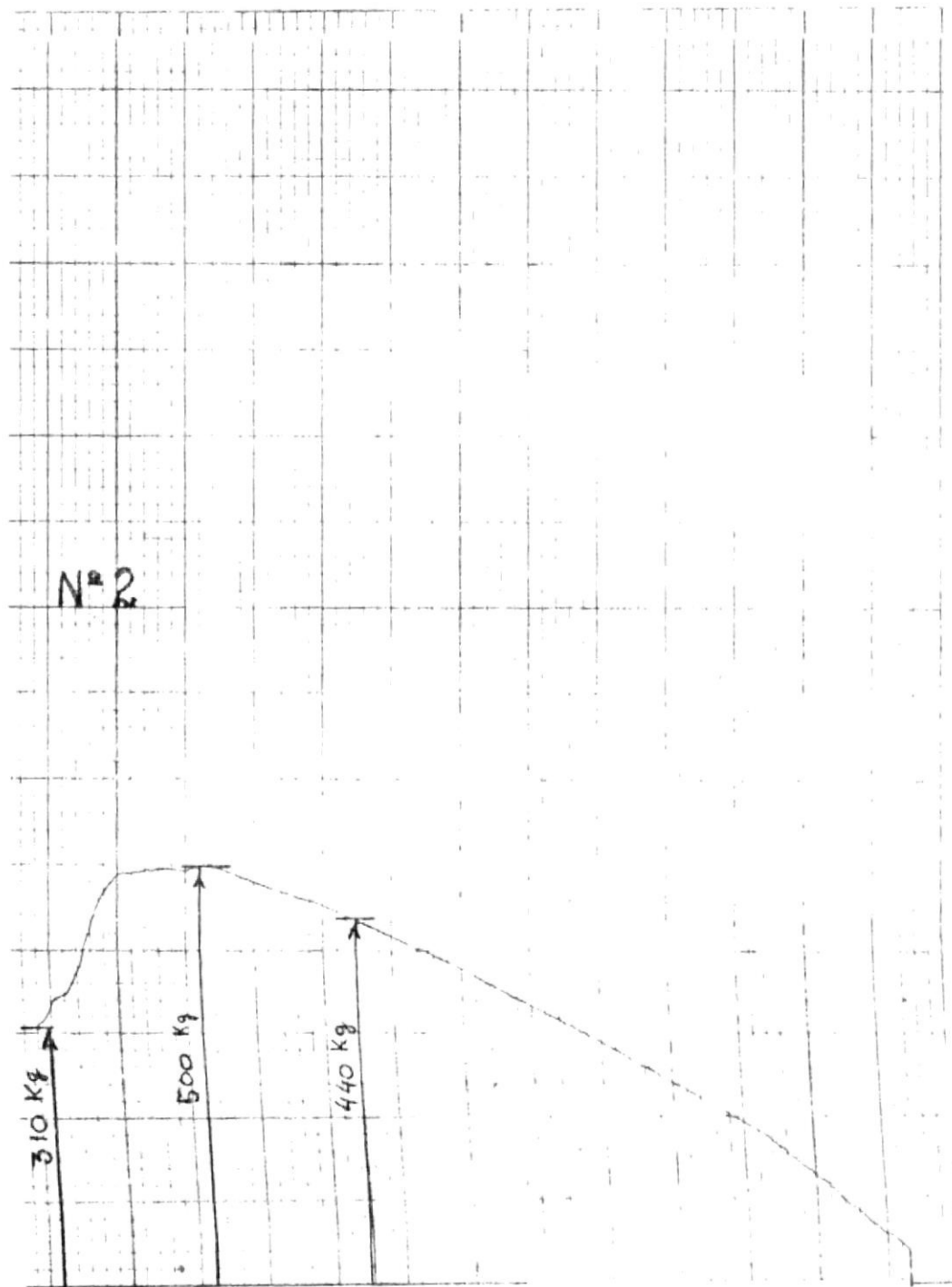


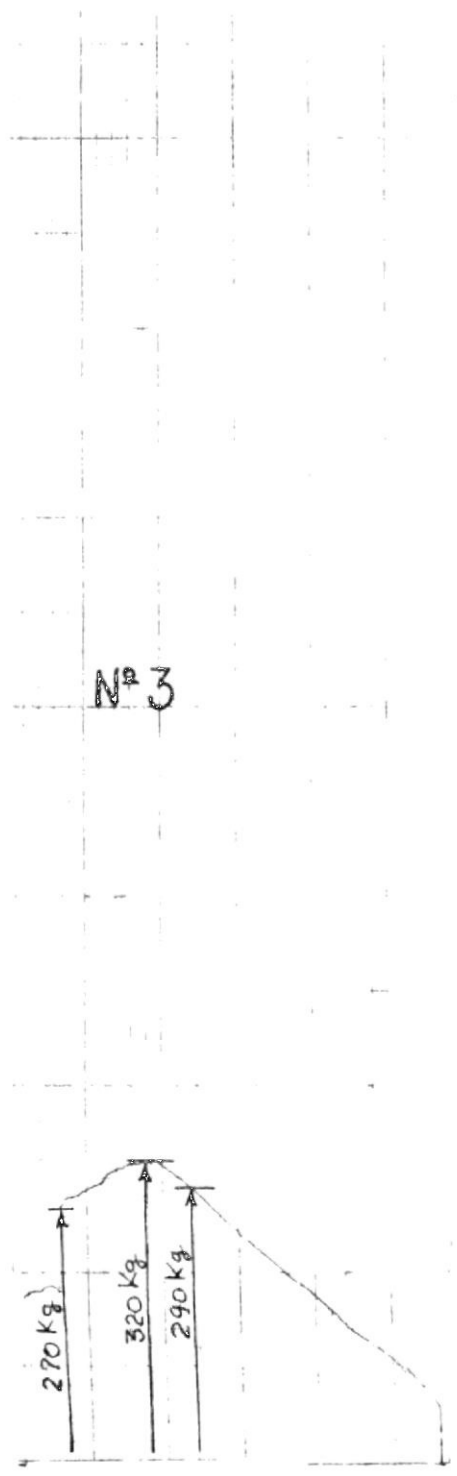
CURVAS COMPARATIVAS DEL ENSAYO DE TRACCION DE PROBETAS OBTENIDAS POR PROCESOS MIG Y TIG

Figura Nº 52

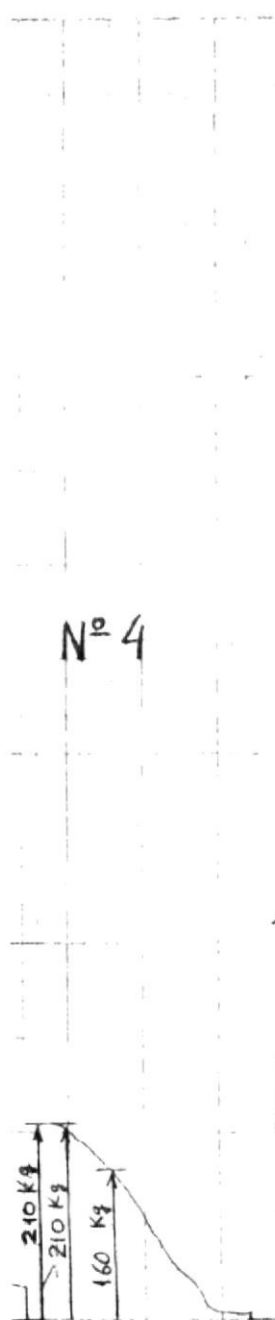


CURVA DE TRACCION DE LA PROBETA Nº 1

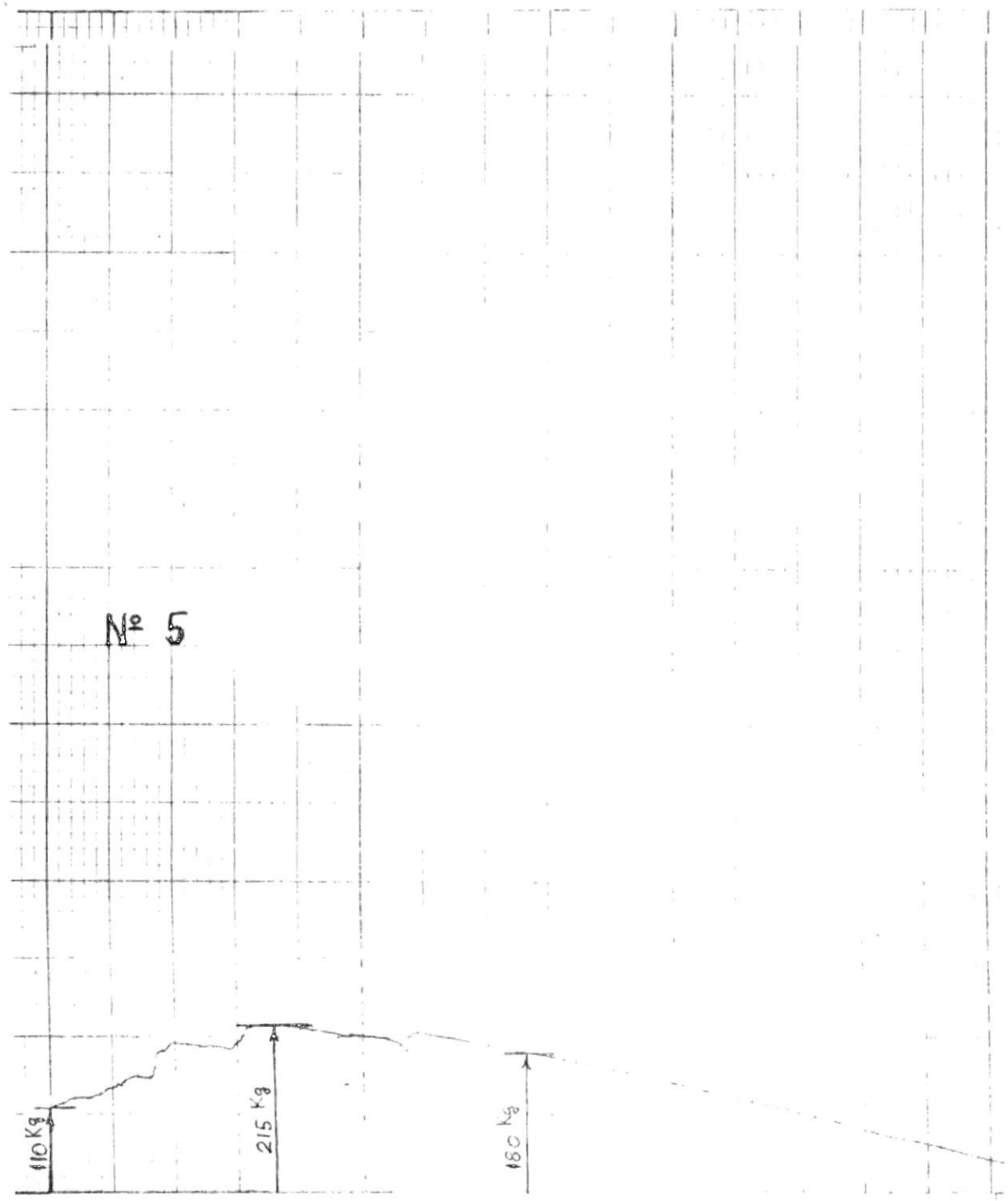
CURVA DE TRACCION DE LA PROBETA N<sup>o</sup> 2



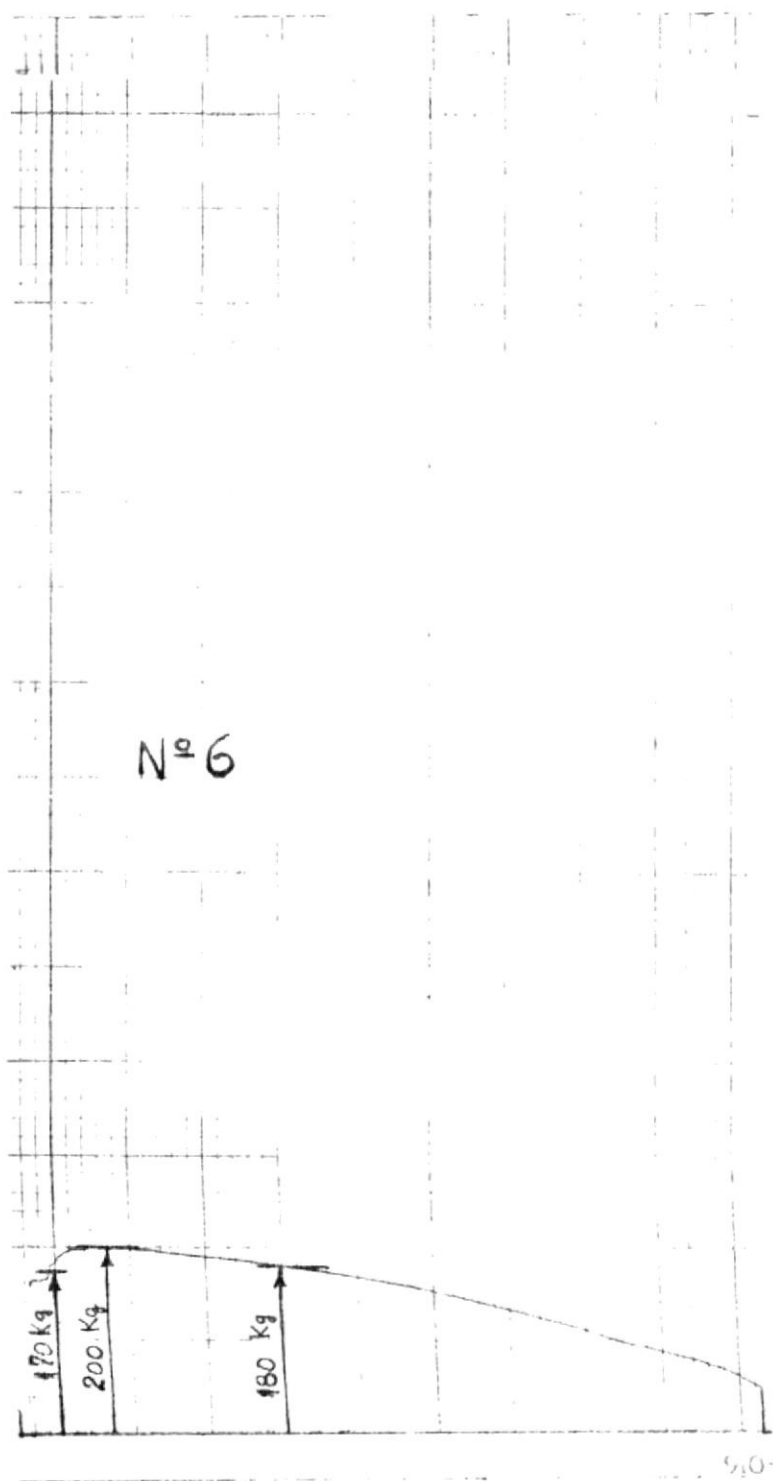
CURVA DE TRACCION DE LA PROBETA N° 3



CURVA DE TRACCION DE LA PROBETA Nº 4



CURVA DE TRACCION DE LA PROBETA Nº 5

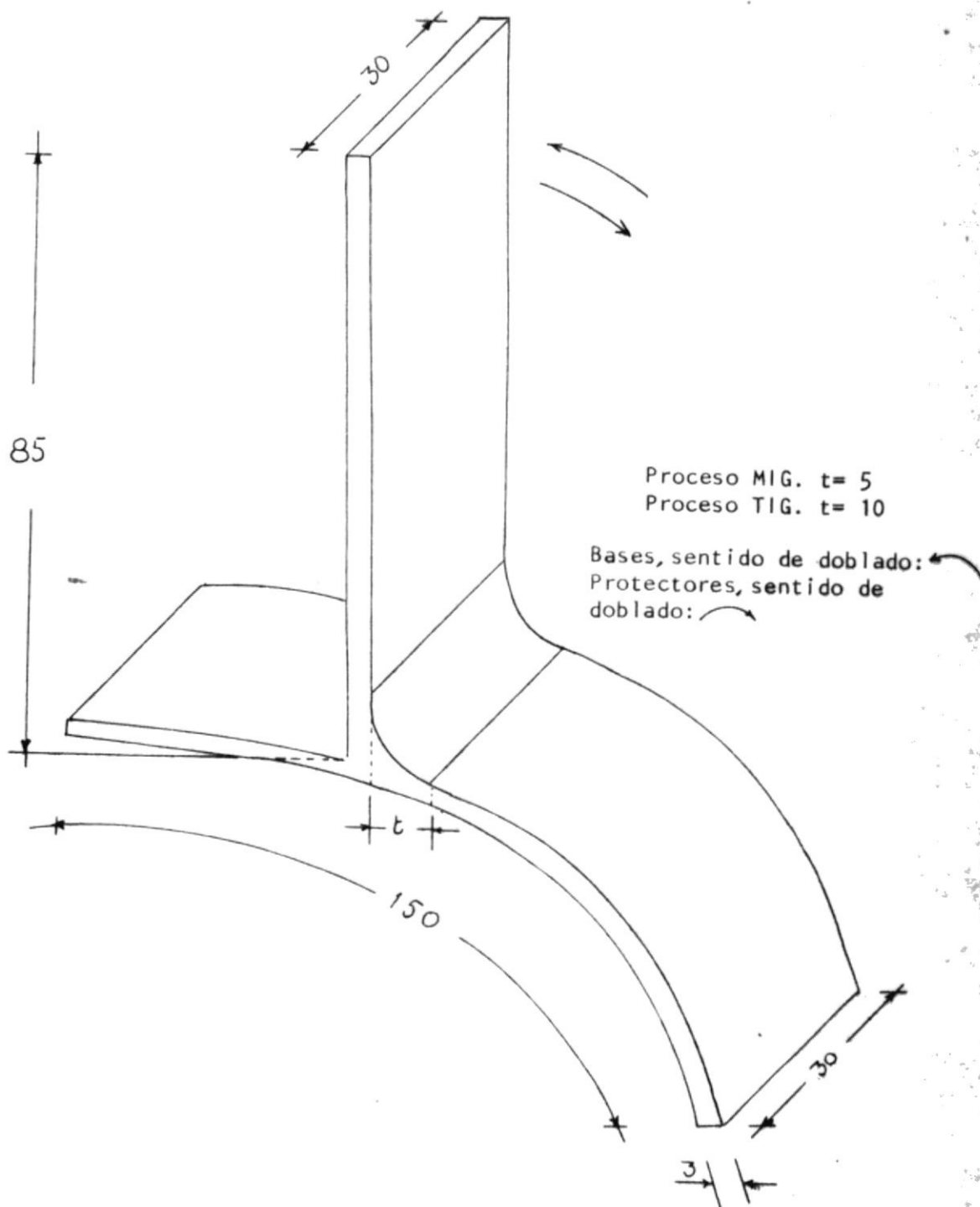


CURVA DE TRACCION DE LA PROBLETA Nº 6

TIG el sentido de doblado fue hacia el lado de la soldadura, por encontrarse el cordón de soldadura en la parte exterior del protector. La figura N° 53 ilustra los sentidos de doblado de protectores y bases soldados mediante procesos MIG y TIG.

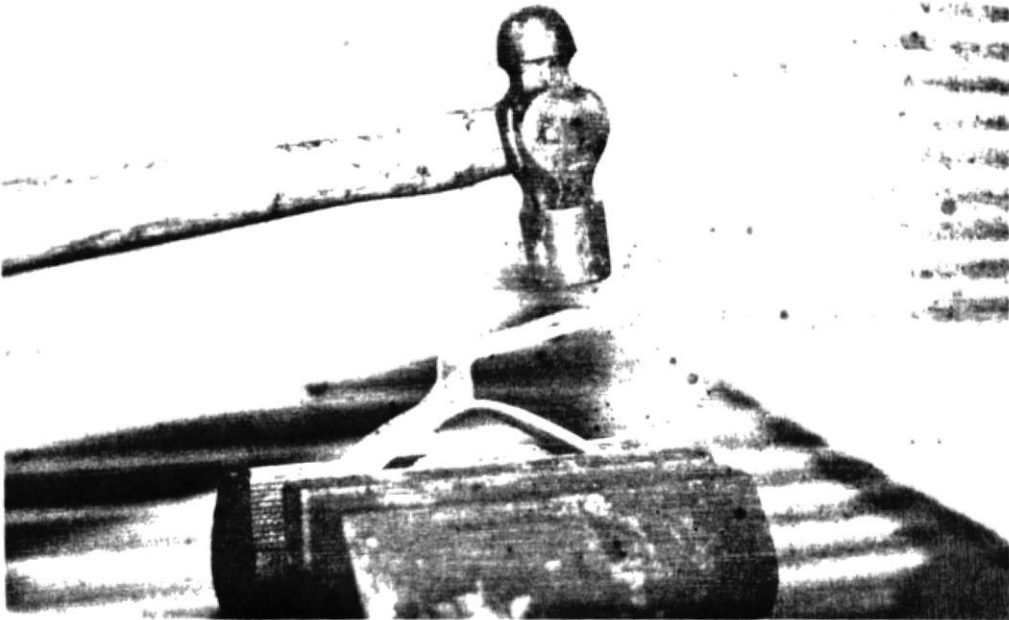
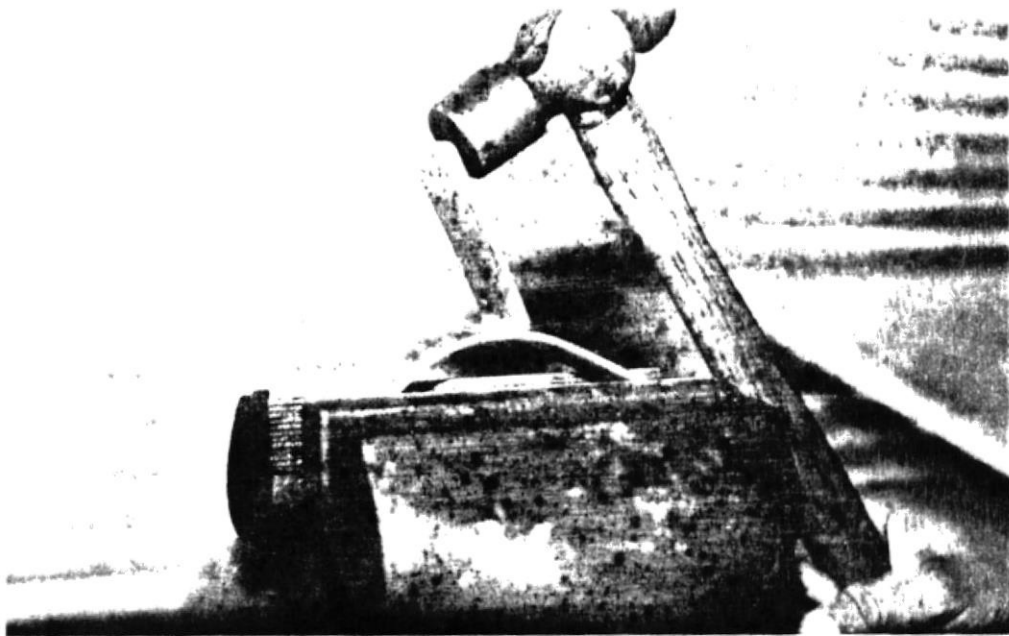
Inicialmente, las muestras fueron colocadas en tornillos de banco y con un martillo se procedió a la primera encorvadura hasta un ángulo determinado, demostrando para este efecto la resistencia de las muestras a impactos repetitivos hacia el lado del cordón de soldadura y hacia el lado opuesto del mismo, tal como se ilustra en la figura N° 54. Luego se colocaron las muestras como se ilustra en la figura N° 55, de esta manera se continuó el ensayo con el tornillo de banco hasta el instante en que se aparecieran las primeras fracturas en los cordones de soldadura.

A continuación se procedió a calcular los ángulos de doblado de cara, y doblado de raíz, de las probetas MIG y TIG, tal como se ilustra en la figura N° 56; en la tabla N° 16 se muestran los resultados de los ángulos de doblado para protectores y bases, procesos MIG y TIG.



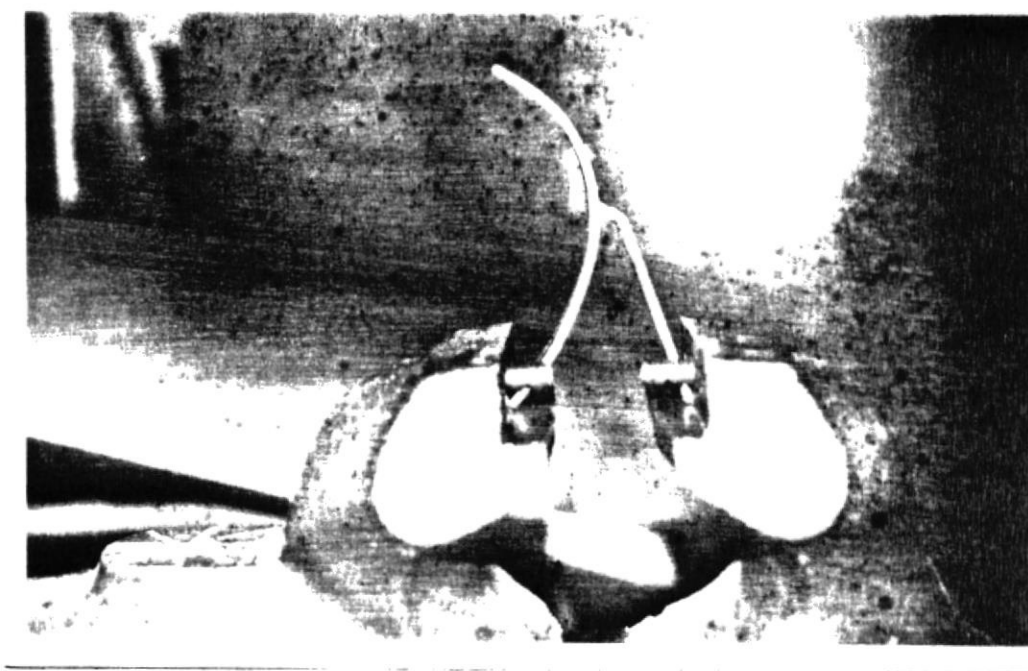
DIBUJO ESQUEMATICO DE LAS PROBETAS DE DOBLADO

Figura N° 53



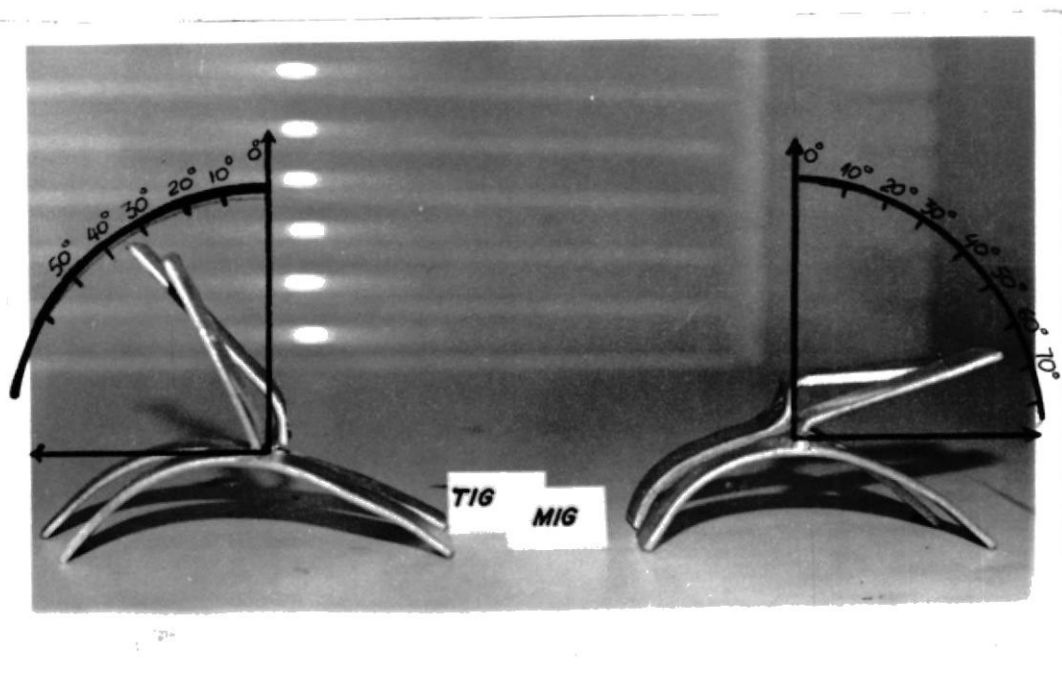
ENSAYO DE DOBLADO DE PROTECTORES Y BASES  
SOLDADOS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS MIG y TIG, RESPECTIVAMENTE

FIGURA Nº 54



ENSAYO DE DOBLADO, ETAPA FINAL  
EN EL TORNILLO DE BANCO

Figura N° 55



ANGULOS DE DOBLADO DE PROBETAS  
OBTENIDAS DE PROCESO MIG, EN PRIMER PLANO,  
Y PROCESO TIG AL FONDO

Figura N° 56

#### 5.4.5 ENSAYO RADIOGRAFICO

##### A. Fuente de Radiación

Como el equipo de Rayos X estuvo en desuso por más de 30 días, mediante la unidad de control se procedió a calentar el filamento (cátodo) del tubo emisor de Rayos X con la aplicación de 5 KV cada dos minutos desde 100 KV hasta 120 KV, requeridos según el espesor de 3 mm. del espécimen a radiografiarse. Siguiendo las indicaciones mostradas en la tabla N° 17

##### B. Espécimen Radiográfico

La interacción y transmisión de la radiación a través del espécimen depende de la energía de la radiación y de la densidad del espécimen. Estas condiciones sugieren que debe usarse alta energía de radiación para radiografiar espesores gruesos y densos. Por otro lado, energía de baja radiación debe usarse para radiografiar objetos delgados y de baja densidad.

Los especímenes radiográficos consistieron en cilindros cuyas bases y protectores fue-

ron soldados por los procesos MIG y TIG objeto de este estudio.

Para el efecto se utilizaron los cilindros seleccionados tomados al azar producidos en planta y los soldados en el laboratorio. Estos cilindros fueron radiografiados antes de realizar los ensayos destructivos, de observación metalográfica, dureza, doblado y resistencia a la tracción.

Por cuanto se radiografiaron diferentes cordones tanto en la base como en el protector, se necesitó una identificación adecuada la cual es mostrada en la tabla N° 18.

### C. Principio Geométrico

Puesto que los haces de radiación usados en radiografías se comportan como rayos de luz, ellos forman sombras de objetos así como lo hace dicha luz. La nitidez de una sombra depende del tamaño de la fuente y de la razón distancia fuente-objeto a la distancia objeto-película.

Para minimizar la difusión geométrica, el espécimen estuvo tan cerca de la película

como fue posible, y la fuente de radiación estuvo aproximadamente a 70 cm. del espécimen.

#### D. Película

Las películas fueron seleccionadas en función del espesor de la pieza, de los kilovoltios de operación, tamaño de grano y velocidad o sensibilidad de radiación de la película y latitud de exposición relativa requerida para obtener una determinada densidad radiográfica. Para el efecto se utilizó la tabla N<sup>o</sup> 19 de la cual se seleccionó la película Kodak tipo M de baja velocidad y alto contraste, con tamaño de grano de 0,55 a 0,68 granos extra finos (mayor grado de nitidez entre dos áreas de diferentes densidades). La figura N<sup>o</sup> 57 nos ilustra el diagrama de exposición del aluminio a los rayos X, de donde se obtuvo que la latitud de exposición requerida, que es el rango dentro del cual debe permanecer expuesta la película es de 2.0 mA.Min., calculado en base de los 120 KV., de la fuente de poder, espesor de la pieza y tipo de pe-

lícula.

Los penetrámetros o indicadores de calidad de imagen deben ser observados en toda radiografía para apreciar el grado de sensibilidad obtenido, que es la relación entre la diferencia de espesores más pequeños visibles en la radiografía y el espesor del material que se examina. Según la norma ASTM E-142, para espesores de piezas hasta 1/4 pulg., (6,2 mm.) , se usó penetrámetro N° 5 de aluminio de espesor 0,05 pulg. (0,125 mm.).

#### E. Revelado

Para el revelado de las radiografías, fueron quitadas todas las cubiertas protectoras contra la luz en el cuarto oscuro de revelado y se procedió de la siguiente manera:

##### 1.- Negativo (total oscuridad)

Se preparó el agente revelador "Rapid X-Ray developer" en un depósito de plástico en proporción de 1 de revelador y 8 de agua, luego se sumergieron las películas una a una agitándolas du-

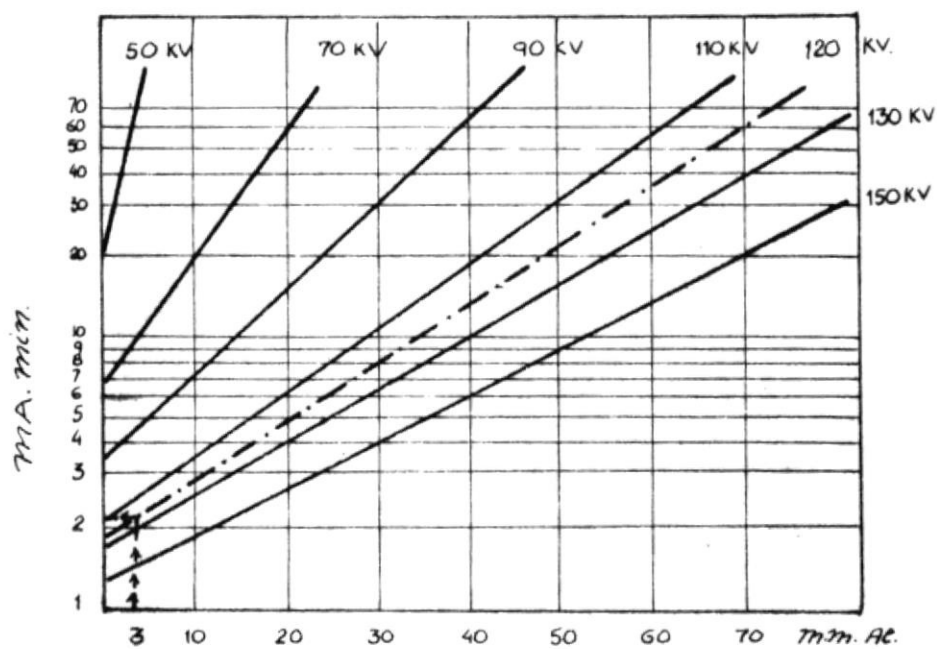


DIAGRAMA DE EXPOSICION DEL ALUMINIO  
A LOS RAYOS X

Figura N° 57

rante un minuto, en otro depósito de plástico se preparó el agente fijador "Kodak X-Ray fisear" donde las películas permanecieron por espacio de 4 minutos , luego fueron ubicadas en el secador "X-Ray drier products" donde estuvieron listas para ser observadas en el megatoscopio "X-Ray product".

## 2. Positivo (luz roja)

Los negativos y el papel fotográfico fueron iluminados con luz roja un corto tiempo, luego se preparó el agente revelador en un depósito de plástico en proporción de 1 de revelador y 1 de agua, donde los papeles fotográficos permanecieron de uno a dos minutos, a continuación fueron trasladados al fijador por espacio de 4 a 6 minutos, después de ser lavados en agua fresca se expusieron al ambiente para lograr obtener los positivos aptos para su observación.

## INTERPRETACION DE RADIOGRAFIAS

La inspección por medios radiográficos se usa

generalmente para determinar la presencia de discontinuidades en materiales o partes. Se debe tener en cuenta que la presencia de ciertos defectos o fallas no implican que el artículo no pueda servir a sus propósitos preconcebidos, debiendo siempre tenerse en cuenta el grado o porcentaje del defecto presente.

No existe sólo un nivel de calidad aplicable a toda la gran variedad productos y materiales que estén sujetos a inspecciones radiográficas. Cada nivel de calidad deberá ser evaluado e interpretado en relación con el servicio al que estará sometido el artículo y su contribución a la efectividad del producto terminado.

Los niveles de calidad tienen el propósito de establecer cierto tipo de estándar o norma para cada trabajo en particular. Si los fines de un producto requieren que sea perfecto, entonces el nivel de calidad estándar deberá establecerse como tal. Sin embargo, si los fines de un artículo no requieren perfección, mantener un nivel demasiado alto será innecesario y antieconómico.

El más común de los defectos que puede ser encon-

trado en un cordón de soldadura realizado por el procedimiento MIG es el de las porosidades internas.

Como inspección ilustrativa se ha tomado la positiva de la radiografía N° 59, de un cilindro tomado al azar, que nos representa la unión soldada de la base del cilindro. Generalmente, las porosidades son el resultado directo de la contaminación atmosférica como resultado de un control no adecuado del gas de protección y que aparece en la radiografía como pequeños poros circulares aislados o agrupados de tono oscuro en el negativo y claro en el positivo. Estas porosidades también pueden ser debido a presencia de humedad en el gas protector.

Si el caudal del gas protector es demasiado bajo, esto no es suficiente como para desplazar los contaminantes de la zona del arco de soldadura, si el caudal del gas es demasiado alto se crea turbulencia en la zona del arco la cual impide una completa protección del arco, aumenta el chisporroteo y el costo del proceso.

Diferentes niveles de porosidades como son observadas en las figuras N° 58, 59, 60, 61 y 62

pueden ser obtenidos de acuerdo a la cantidad más o menos de contaminantes atmosféricos introducidos en el arco durante el proceso de soldadura.

En la mayoría de los casos es necesario determinar la resistencia y servicialidad del artículo con ensayos mecánicos para saber si cierto tipo de falla o un nivel apreciable de porosidades pueden ser aceptables. Altos niveles de porosidades reducen notablemente el esfuerzo de tensión de la pieza.

Una de las mayores dificultades analizadas en una inspección radiográfica de una unión soldada por el procedimiento TIG es la de una penetración no uniforme, tal como se encuentra en la fotografía N° 63, causada por un abastecimiento débil de material de aportación y por un movimiento exagerado y rápido de la pistola de soldeo la cual no provee el calor necesario y suficiente a la unión soldada.

En las figuras N° 63, 64, 65 y 66, se observan materiales de mayor densidad que el material base, puntos claros en el negativo y oscuros en el positivo, que son aportaciones de partícu-

las de tungsteno al material de soldadura, que se producen por desprendimientos originados en los electrodos al no mantener una distancia adecuada del arco. Debido a la gran absorción de rayos por el tungsteno, estas partículas se ven en la imagen con manchas densas.

#### 5.4.6 ENSAYO DE CAIDA

Por los resultados obtenidos en los ensayos de tracción y de doblado y por cuanto el ensayo de caída no está especificado en las normas de control de calidad emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización para estos productos, se consideró la no necesidad de realizar el presente ensayo, además las pruebas realizadas demostraron que el cilindro al caer tiene mayores posibilidades de golpear el suelo en la parte correspondiente al material de casquete.



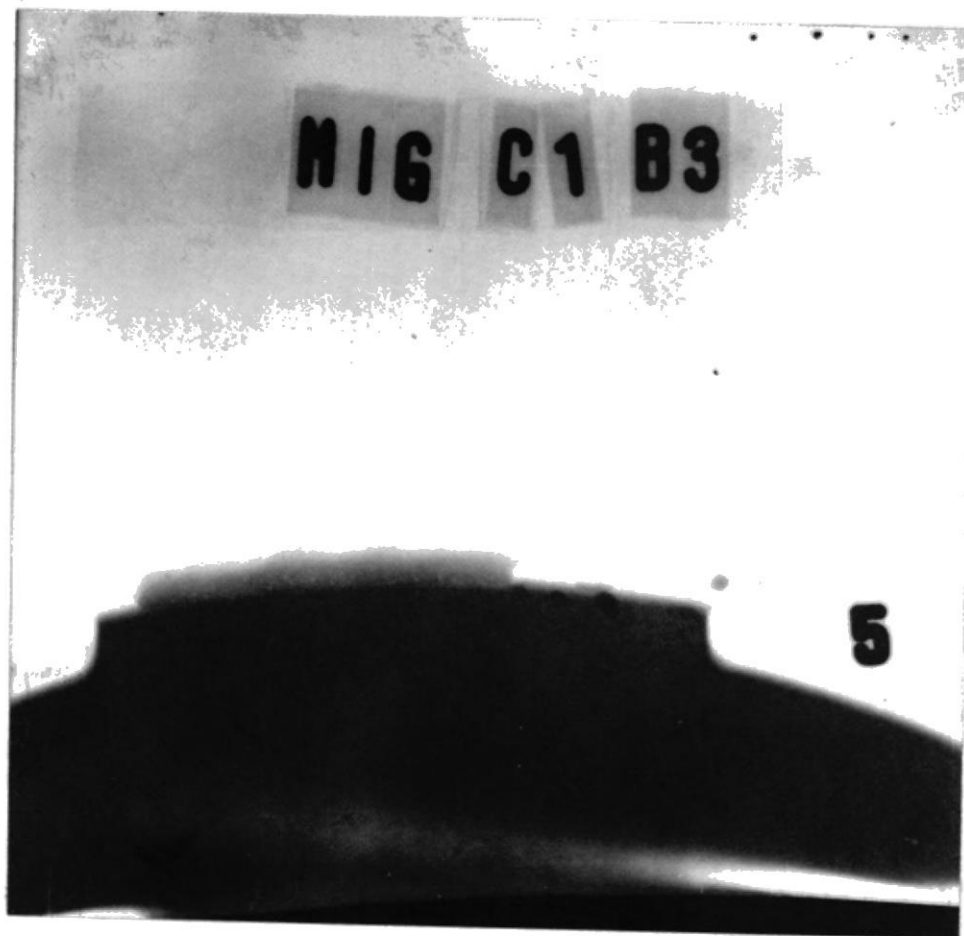
RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. MIG)

Figura N° 58



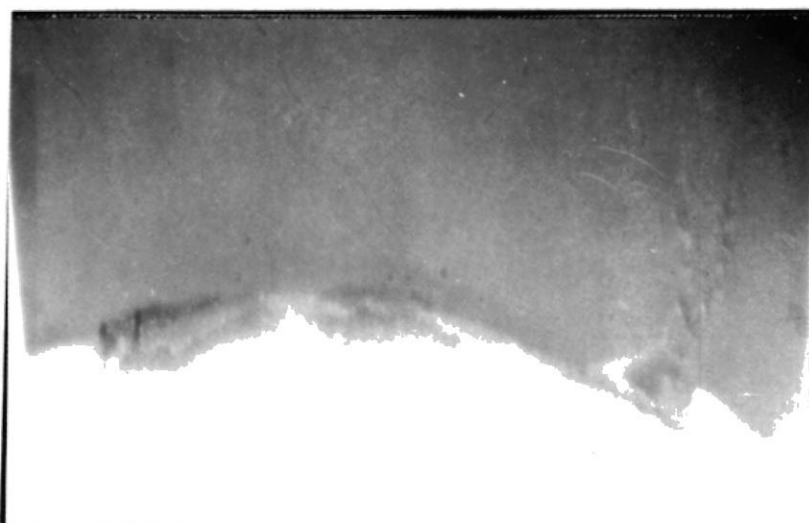
RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. MIG)

Figura Nº 59



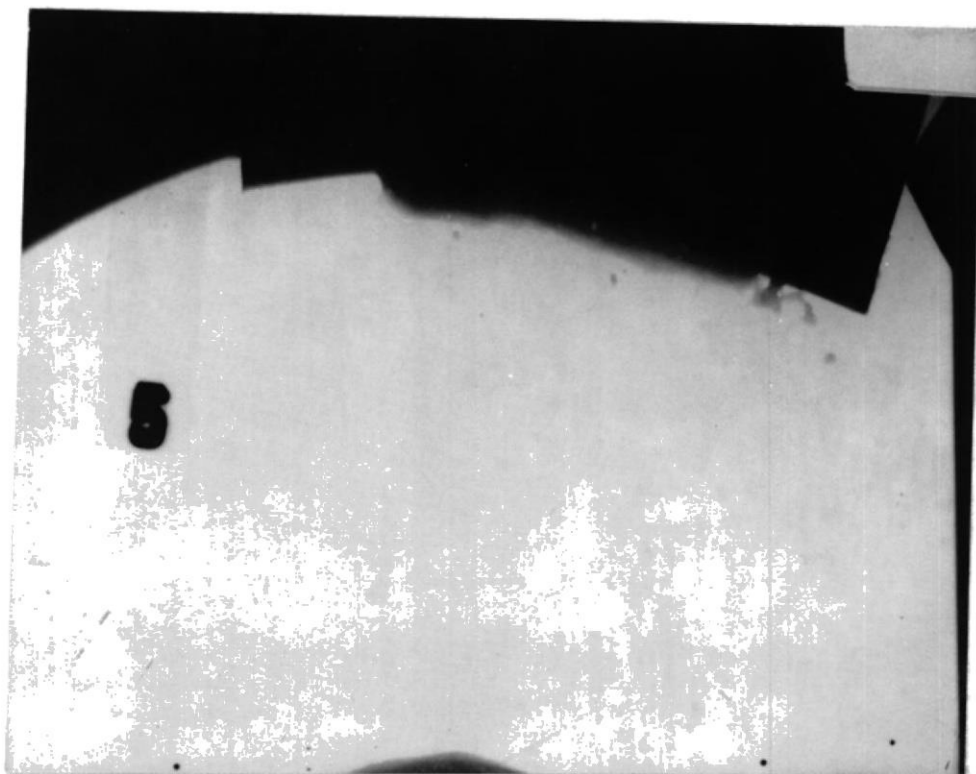
RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. MIG)

Figura N° 60



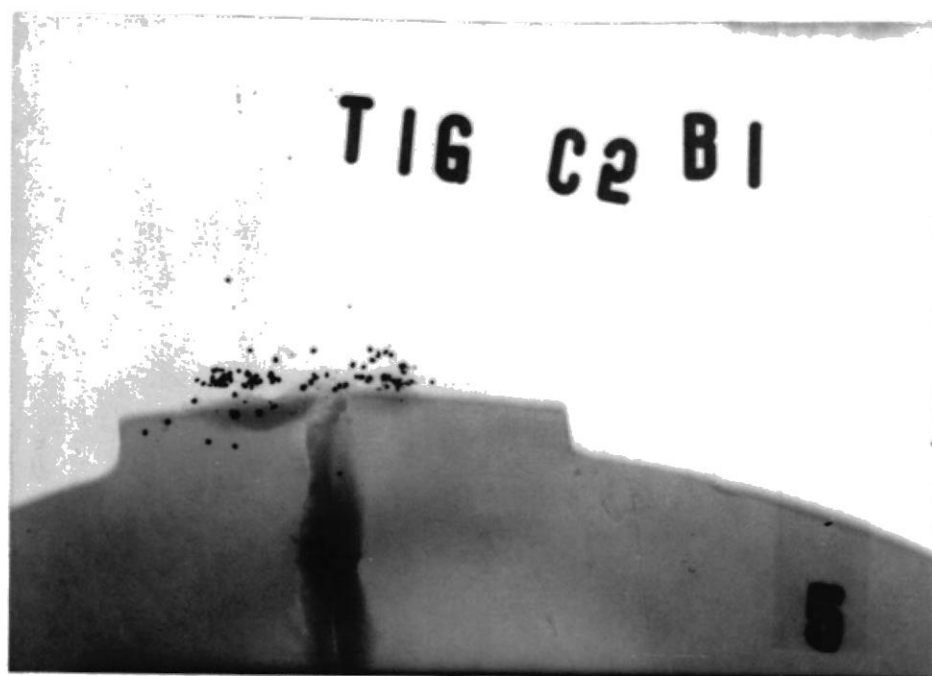
RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. MIG)

Figura N° 61



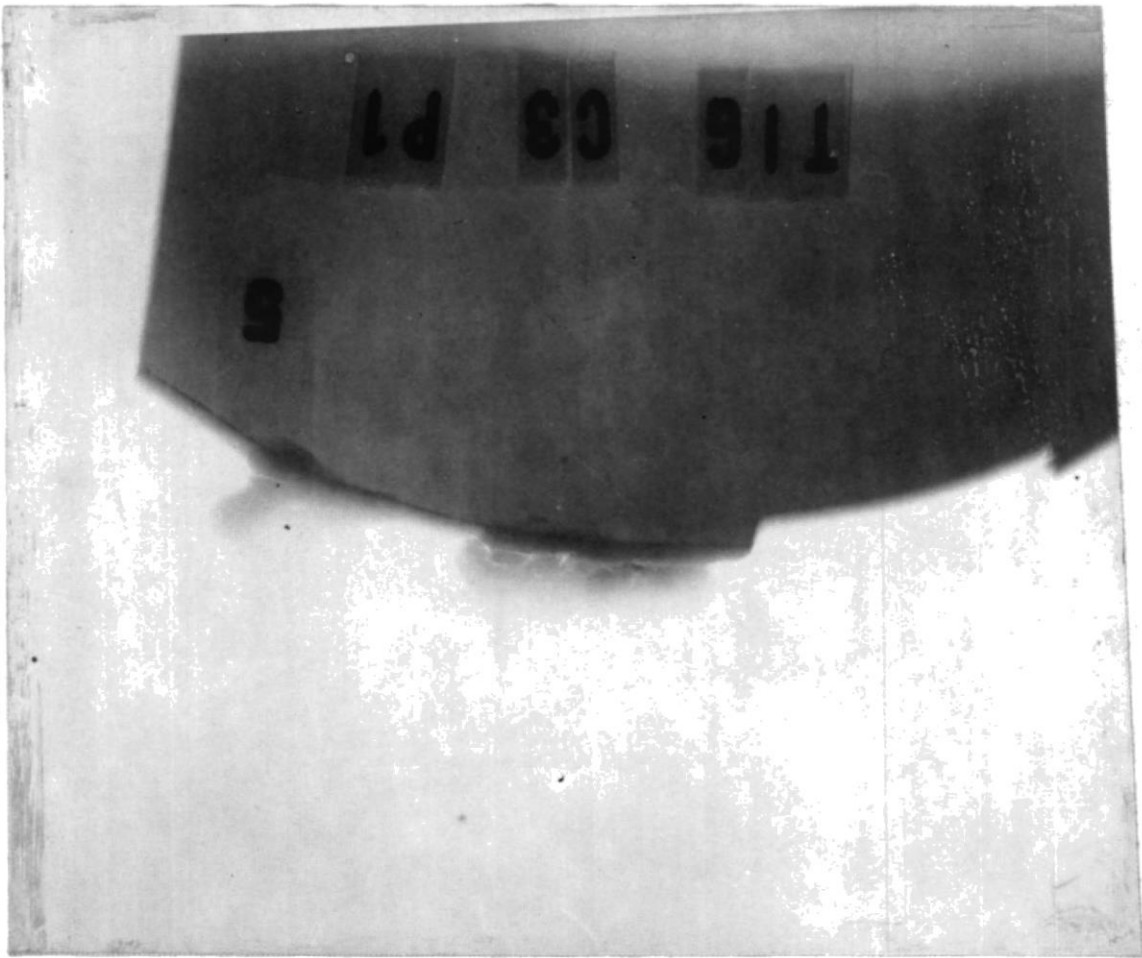
RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. MIG)

Figura Nº 62



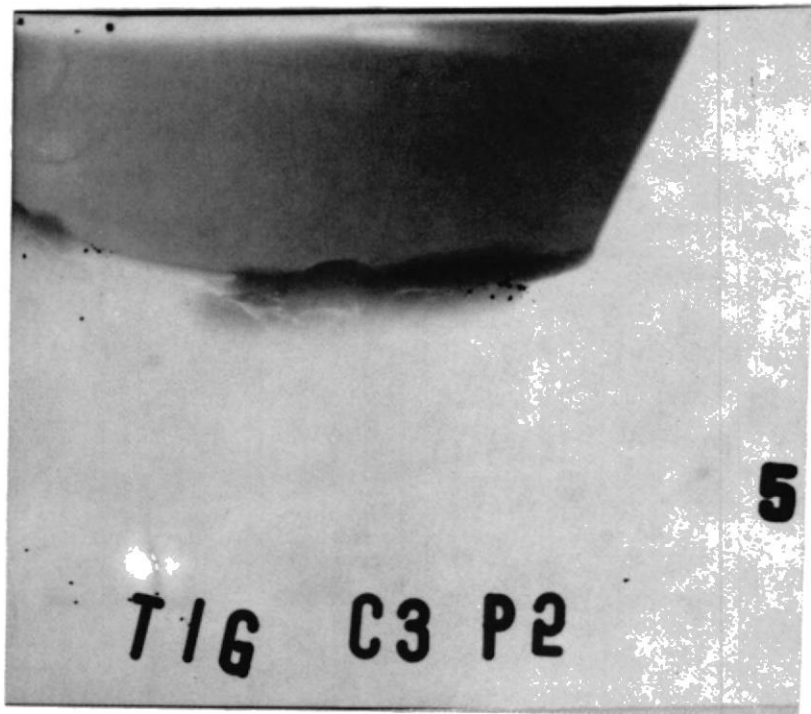
RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. TIG)

Figura N° 63



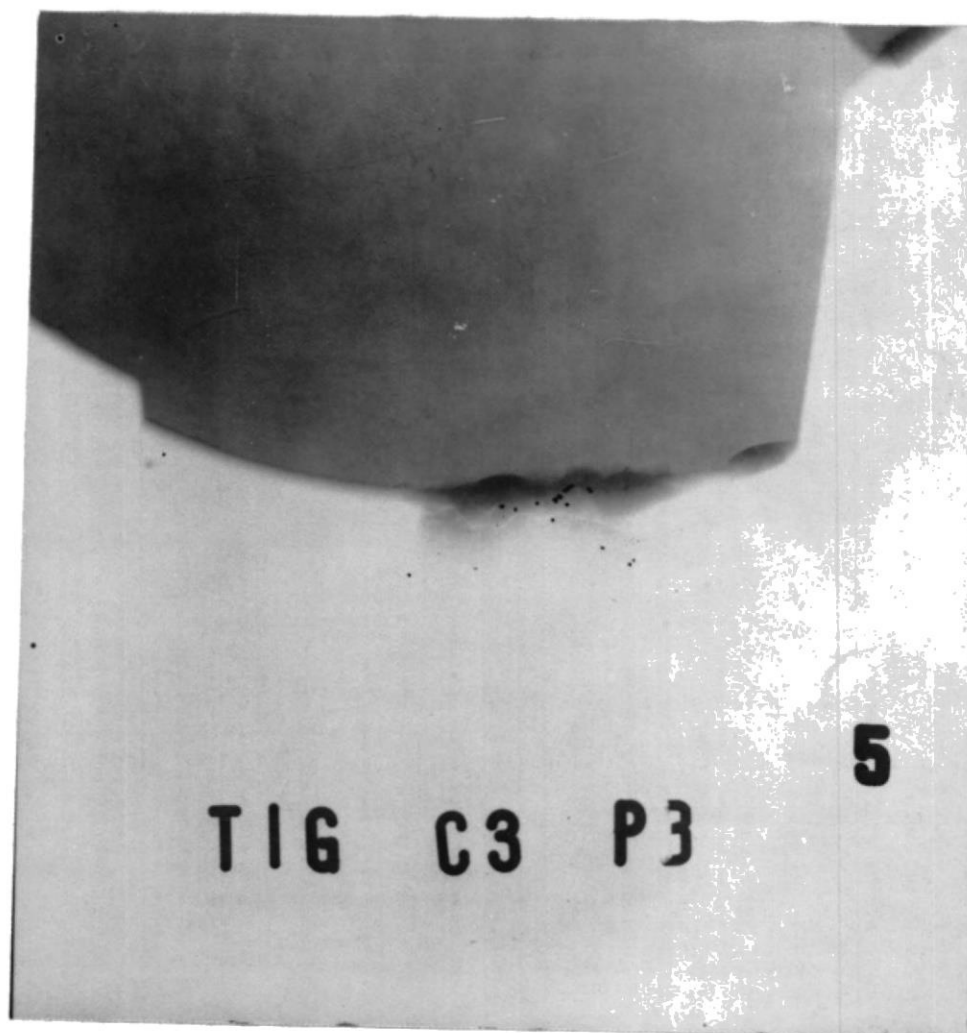
RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. TIG)

Figura N° 64



RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. TIG)

Figura N° 65



RADIOGRAFIA DE UNION SOLDADA (Proced. TIG)

Figura N° 66

CAPITULO VI

## CAPITULO VI

### ANALISIS DE RESULTADOS

De las operaciones de soldadura en cilindros de aluminio mediante proceso MIG y TIG realizados en Planta y en los laboratorios de Metalurgia de la ESPOL respectivamente, se han realizado estudios de las propiedades de las uniones soldadas y de tal manera, hacer un análisis técnico-económico comparativo de los dos procesos.

La selección de variables en ambos procesos, se efectuó en base de ensayos de soldadura previos a la obtención de cordones de soldadura aceptables mediante análisis visuales.

El rango de amperaje seleccionado en el proceso MIG es menor al del proceso TIG, lo que ha influenciado en las propiedades mecánicas de tracción en ambos procesos y en las condiciones metalográficas, distinguiéndose tres distintas zonas claramente identificadas en cada una de ellas, y habiéndose observado en las uniones soldadas mediante proceso TIG una notoria influencia del calor producido por el arco sobre las estructuras intergranulares y además un espesor mayor de la zona afectada por el calor.

Por otra parte, las modificaciones estructurales en las tres zonas, identificadas en los dos procesos y en especial al crecimiento de los granos en la zona afectada por el calor están ligadas invariablemente al ciclo térmico de la soldadura, temperatura y velocidades de enfriamiento que varían según la técnica usada en cada uno de los procesos.

En las uniones soldadas mediante proceso MIG, se han observado dos depósitos sucesivos del metal de soldadura con solidificaciones casi instantáneas.

En el análisis microestructural de las soldaduras TIG se observa el fenómeno de las precipitaciones de los compuestos de las aleaciones hacia los extremos de la soldadura y en los límites de los granos dendríticos como consecuencia de las altas temperaturas durante la operación de soldadura que podrían causar modificaciones de las estructuras mecánicas y darían origen a las microfisuras precoces. De la variación de la dureza en la sección transversal de las uniones soldadas MIG y TIG se deduce que las durezas obtenidas en soldadura TIG, varían modestamente desde el metal base a la zona afectada por el calor y zona de fusión, no así, la variación de durezas en soldadura MIG donde se observa un brusco descenso de las durezas desde el metal base hasta la zona de fusión probablemente debido a una influencia localizada del calor producido por el arco justamente en la unión sol-

dada, mientras que en la soldadura TIG la influencia del calor del arco se distribuye normalmente tanto en la parte del metal base como en el cordón de soldadura, de tal manera, que se obtuvo una distribución de durezas normalizadas, pero sin embargo se obtuvo un rango de durezas ligeramente menor en proceso MIG.

La profundidad de penetración en uniones soldadas mediante proceso MIG es mayor, lo que resulta en un mayor esfuerzo máximo de tracción.

Los resultados de la inspección radiográfica de uniones soldadas MIG, nos revelan diferentes niveles de porosidades originando en ciertos casos discontinuidades sin importancia. Además se observó distribución regular del material de aportación a lo largo del cordón de soldadura. La inspección radiográfica de uniones TIG nos revelaron la profundidad de penetración intermedia e irregular y en ciertos casos se aprecian minúsculas partículas de inclusiones de tungsteno como consecuencia de la mezcla del electro de tungsteno en el baño de soldadura, estos dos efectos son debido a la naturaleza manual del proceso que no permite mantener una distancia constante del arco de soldadura.

El ensayo de doblado hacia el lado opuesto del cordón de soldadura demostró que el ángulo de doblado para las muestras MIG y TIG fueron  $65^{\circ}$  y  $69^{\circ}$  respectivamente y hacia el

lado del cordón de soldadura fueron de 28° y 38° respectivamente, logrando las probetas TIG tener un mayor ángulo de doblado antes de presentar sus fisuras en el cordón de soldadura.

La tabla N<sup>o</sup> 21 nos ilustra un análisis económico del costo de las operaciones de soldadura para protectores y bases de cilindros de aluminio mediante procesos MIG y TIG.

En la tabla N<sup>o</sup> 22 se ilustra un análisis comparativo técnico-económico de las uniones soldadas de los protectores y bases mediante procesos MIG y TIG elaborados en planta y en laboratorio, respectivamente.

CAPITULO VII

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los análisis de las propiedades mecánicas de las muestras obtenidas, han hecho posible la formación de ciertos criterios prácticos y económicos que podrían colaborar con el desarrollo de las investigaciones a nivel de laboratorios industriales y control de calidad.

Las experiencias adquiridas durante la operación de soldadura mediante procedimientos MIG y TIG, en la variación de los diferentes parámetros de soldadura con la finalidad de obtener uniones soldadas aceptables en bases y protectores han servido de fundamento para obtener conclusiones, ventajas y desventajas que son expuestas a continuación:

- 1.- Es necesario una adecuada preparación de las juntas a soldar para obtener uniones soldadas aceptables. La preparación de las juntas con soda cáustica en la soldadura del aluminio y sus aleaciones facilitan la operación desengrasante y eliminan la capa superficial del óxido de aluminio haciendo factible la obtención de un

buen cordón de soldadura.

2. La selección de rangos de amperaje en la soldadura del aluminio varía de acuerdo al espesor de las juntas a soldar. La utilización de los altos rangos de amperaje en la soldadura de espesores pequeños afecta notoriamente en las estructuras intergranulares, desarrollando una amplia zona afectada por el calor en el lado del metal base, de tal manera que modifica las propiedades mecánicas de la unión soldada. En el ensayo de tracción de las probetas soldadas TIG, algunas demuestran un porcentaje mayor de elongación en comparación con las probetas MIG; el hecho de haber seleccionado mayores rangos de amperaje que trae consigo una aportación mayor del calor en el arco, podría haber generado un estado de recocido en la unión soldada y metal base, obteniéndose mayor ductilidad en las muestras TIG.
3. Modificaciones estructurales en las tres zonas identificadas en los dos procesos y en especial el crecimiento de los granos en el metal base, están ligadas invariablemente al ciclo térmico característico de cada uno de los procesos.
4. En la zona afectada por el calor se observa un agranda-

miento de los granos, mayor en proceso MIG, debido a la menor velocidad de enfriamiento como consecuencia del menor calor aportado a la soldadura.

5. Las muestras metalográficas obtenidas mediante procedimiento MIG presentan en el metal base tamaños de granos grandes y las muestras obtenidas mediante procedimiento TIG presentan tamaño de granos menores, lo que demuestra que ha habido una mayor velocidad de enfriamiento en proceso TIG y por lo tanto el calor suministrado ha sido mayor.
  
6. El examen radiográfico nos revela niveles de porosidades altos en las probetas MIG lo que podría ser debido a un exceso en el flujo de gas protector utilizado en el proceso en planta o a presencia de humedad en el metal base o en gas, sin dejar de considerar el efecto de la posible regeneración de la capa de óxido de aluminio en los casquetes que han permanecido mucho tiempo después del proceso de lavado. Todos estos factores introducen oxígeno en el metal de soldadura que queda atrapado si no logra salir durante el proceso de solidificación del cordón de soldadura afectando las propiedades mecánicas de las uniones soldadas.

7. La profundidad de penetración en soldadura MIG es mayor, lo que produce un mayor esfuerzo máximo de tracción.
8. La variación de dureza a través de la sección transversal de las uniones soldadas no presenta una diferencia pronunciada en los dos procesos, como consecuencia de haber utilizado materiales de aportación con aleaciones similares, y por el bajo punto de fusión del aluminio. Existe una discrepancia de valores en la zona afectada por el calor, el cual obedecería a un mayor rango de calor suministrado en esas regiones, especialmente en el proceso TIG. Esta discrepancia se atenúa en la zona de fusión donde los valores de dureza son similares.
9. En los cordones de soldadura obtenidos por los procesos MIG y TIG el ángulo de doblado de raíz es mayor que el ángulo de doblado de cara.
10. Las velocidades de soldadura son superiores en el proceso MIG, por su mayor sencillez operativa, al servir el mismo material de aportación como electrodo. Mientras que en el proceso TIG se requiere un electrodo de tungsteno para la producción del arco separadamente del material de aportación.

11. El espesor del cordón de soldadura en el proceso TIG es mayor que en el proceso MIG, como consecuencia del mayor diámetro del material de aportación que influye notoriamente en el costo de los electrodos y en el costo de la cantidad del material fundido, depositado durante la operación de soldadura.
12. El examen visual de los cordones de soldadura nos reveló una apariencia física aceptable de los mismos.

Las recomendaciones adoptadas en base al trabajo experimental realizado, son:

1. Lograr minimizar los rangos y amperajes utilizados en el procedimiento TIG para reevaluar las propiedades mecánicas de las juntas soldadas.
2. Evitar utilizar materiales de aportación con diámetros grandes, de tal manera de rebajar los espesores de los cordones de soldadura en las juntas soldadas en el proceso TIG.
3. Implementar un mejor control del gas protector en el arco y establecer nuevos rangos de velocidad de soldadura en el proceso MIG para evitar altos niveles de .

porosidades.

4. Minimizar el tiempo de espera de los casquetes después del lavado.
  
5. Recomendar análisis de propiedades mecánicas y establecer control de calidad en las juntas soldadas de los protectores y bases elaborados en planta, con la finalidad de disminuir el retorno a planta para reparación de los cilindros que han estado en uso.

T A B L A I  
PUNTO DE FUSION DEL ALUMINIO  
COMPARADO CON OTROS ELEMENTOS (13)

ELEMENTOS	CENT	FAHR	ELEMENTOS	CENT	FAHR
Hidrógeno	-259	-434	Cobre	1,083	1,981
Oxígeno	-218	-360	Uranio	1,132	2,070
Nitrógeno	-210	-346	Magnesio	1,260	2,300
Fósforo	44	111	Berilio	1,277	2,332
Sodio	97	207	Silicio	1,420	2,588
Sulfuro	113	236	Níquel	1,452	2,646
Selenio	218	424	Cobalto	1,480	2,696
Bismuto	271	520	Cromo	1,520	2,768
Cadmio	321	610	Hierro	1,530	2,786
Plomo	327	621	Titanio	1,668	3,035
Zinc	419	787	Torio	1,750	3,182
Antimonio	630	1,166	Zirconio	1,852	3,366
Magnesio	651	1,204	Vanadio	1,900	3,450
Aluminio	659	1,218	Boro	2,316	4,200
Calcio	810	1,490	Molibdeno	2,610	4,730
Bario	850	1,562	Tungsteno	3,410	6,170
Plata	960	1,761	Carbono	3,828	6,700

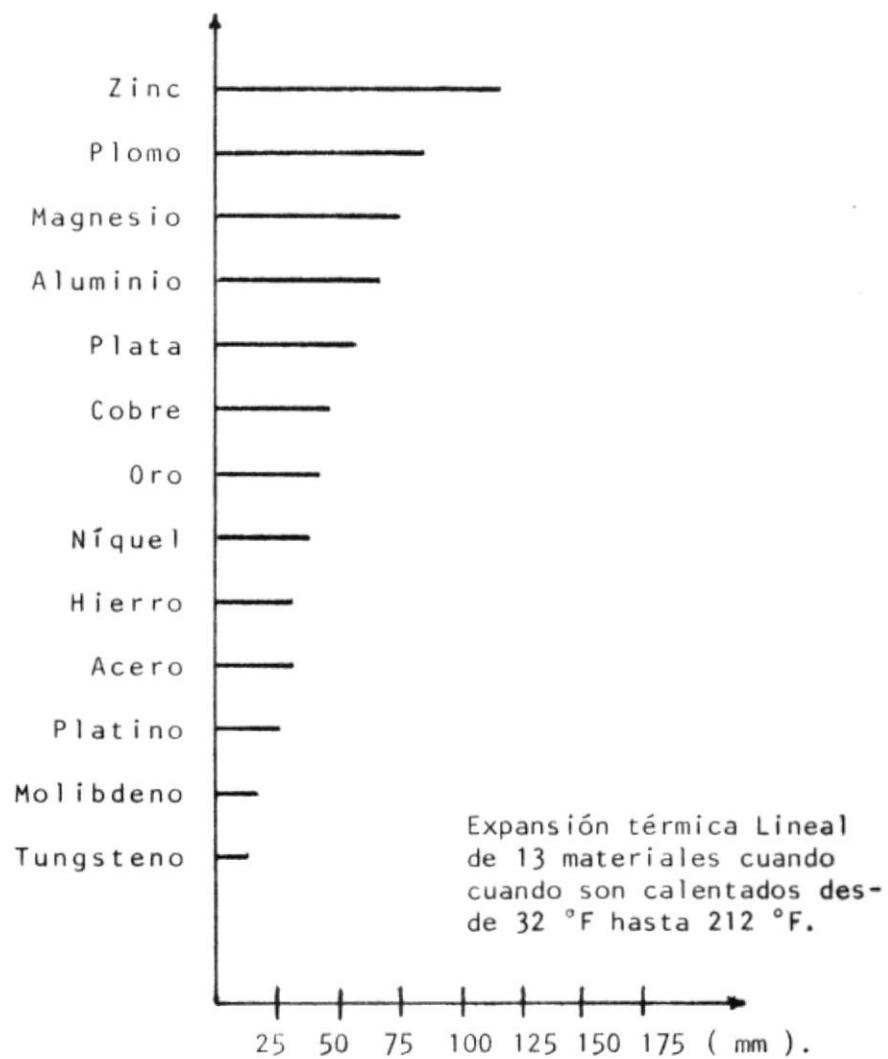
T A B L A II  
CALOR DE FUSION DEL ALUMINIO  
COMPARADO CON OTROS METALES (13)

Aluminio	170	Btu	por	lb	Cobre	91	Btu	por	lb
Magnesio	160	"	"	"	Tungsteno	79	"	"	"
Cromo	136	"	"	"	Plata	45	"	"	"
Níquel	133	"	"	"	Zinc	43	"	"	"
Molibdeno	126	"	"	"	Oro	29	"	"	"
Hierro	117	"	"	"	Plomo	11	"	"	"
Magnesio	115	"	"	"	Mercurio	5	"	"	"

T A B L A III  
CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL ALUMINIO  
COMPARADA CON OTROS ELEMENTOS (13)

METALES	SIMBOLO QUÍMICO	BTU/Sq ft/in./ hr/°F	CONDUCTIVIDAD RELATIVA BASADA EN LA PLATA 100 %
Aluminio	Al	1428	49.7 %
Cobre	Cu	2664	92.7
Oro	Au	2037	70.9
Hierro	Fe	467	16
Hierro- Acero		313	10.9
Plomo	Pb	241	8
Mercurio	Hg	476	17
Molibdeno	Mo	1004	34.9
Níquel	Ni	412	14.3
Platino	Pt	483	16.8
Plata	Ag	2873	100
Tungsteno	W	1381	48
Zinc	Zn	770	27

## T A B L A IV

DILATACION TERMICA LINEAL DEL ALUMINIO  
COMPARADO CON OTROS ELEMENTOS (13)

## T A B L A V

DESIGNACION NUMERICA PARA  
EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES (13)

NUMEROS DE SERIE	ELEMENTOS ALEANTES DEL ALUMINIO
1xxx	99%, mínimo de aluminio
2xxx	Cobre
3xxx	Manganeso
4xxx	Silicio
5xxx	Magnesio
6xxx	Magnesio y silicio
7xxx	Zinc
8xxx	Otros elementos

T A B L A VI

SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO  
SELECCION DE PROCESOS (11).-

SERIE	GAS	ARCO-METALICO	PROTECCION GASEOSA
1060	A	A	A
1100	A	A	A
3003	A	A	A
3004	A	A	A
5005	A	A	A
5050	A	A	A
5052	A	A	A
5086	A	A	A
2014	X	C	C
2017	X	C	C
2024	X	C	C
6061	A	A	A
6063	A	A	A
6070	C	B	A
6071	A	A	A
7070	X	X	A
7072	X	X	A
7075	X	X	C

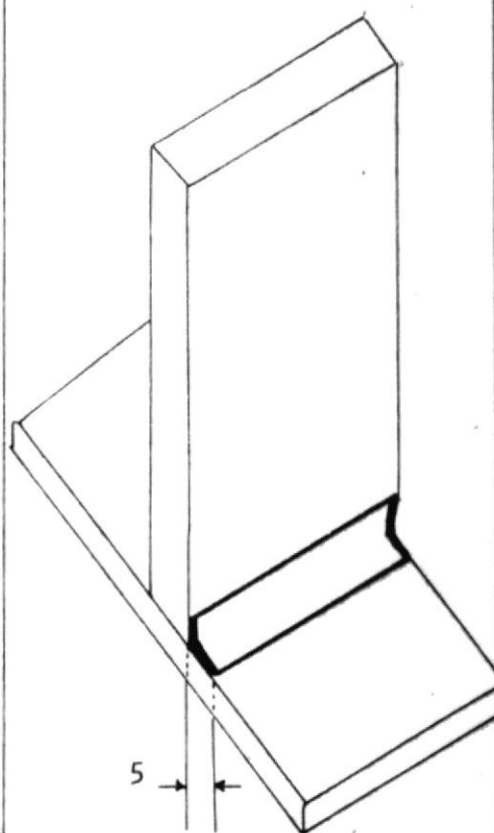
A. Realmente soldables  
 B. Soldables en mayoría de aplicaciones, con requerimientos técnicos especiales.  
 C. Soldabilidad limitada  
 X. Soldabilidad no recomendada



T A B L A VIII

SELECCION DE VARIABLES EN LA SOLDABILIDAD DE  
PROTECTOR DE VALVULA Y BASE  
EN CILINDROS DE ALUMINIO (PROCEDIMIENTO MIG).-

Proceso: .....	MIG (semi-automático)
Tipo de junta .....	Fillet
Posición del cilindro....	vertical
Posición de soldeo .....	Horizontal
Polaridad .....	DCRP
Espesor soldadura .....	5 ( mm )
No. de pasadas .....	2
Diámetro del Electrodo .....	1,15 ( mm )
Corriente .....	150-170 ( amp )
Gas Argón .....	40 ( piés <sup>3</sup> /hora )
Voltaje de arco .....	20 ( voltios )
Rendimiento Específico de Fusión ( gr/amp.segs ) ..	0,0024



T A B L A    I X  
RELACION DE DIAMETROS ENTRE ELECTRODOS  
Y  
BOQUILLA DEL MANERAL (11)

Electrodo de tungsteno diámetro ( mm )	Boquilla del maneral diámetro ( mm )
1,56	6,25 - 9,38
2,34	9,38 - 10,90
3,12	10,90 - 12,50
4,69	12,50 - 18,78

## T A B L A X

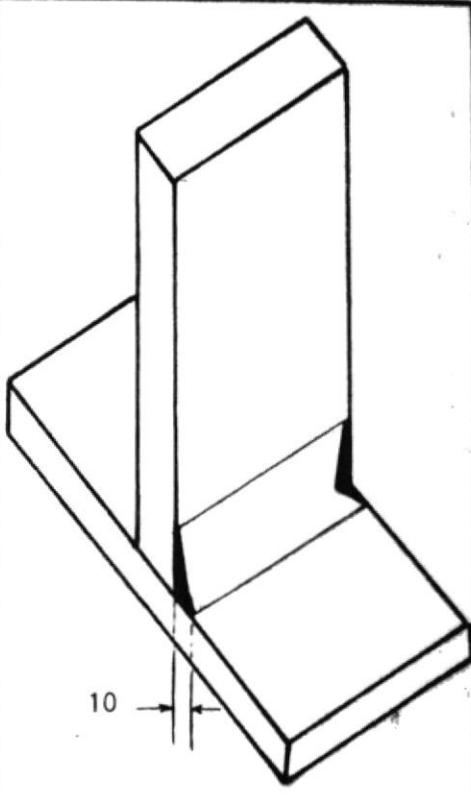
CLASIFICACION DE ELECTRODOS, IDENTIFICACION,  
COMPOSICION QUIMICA Y USOS RECOMENDADOS (12)

Clasificación AWS	Color ( código )	Requirimientos químicos en por centajes	usos recomendados
EWP	verde	tungsteno.. 99,5 otros elem.. 0,5	no ferrome- tales.
EWTh-1	amarillo	tungsteno.. 98,5 torio .... 1,5	ferro-metales
EWTh-2	rojo	tungsteno.. 98,0 torio .... 2,0	ferro-metales
EWZ	gris	tungsteno.. 99,6 zirconio... 1,4	no ferrome- tales.

## T A B L A XII

SELECCION DE VARIABLES EN LA SOLDABILIDAD DE  
PROTECTOR DE VALVULA Y BASE EN CILINDROS DE ALUMINIO

## PROCEDIMIENTO TIG

Proceso .....	TIG ( semiauto.)	
Tipo de junta .....	Fillet	
Posición del cilindro .....	Horizon.	
Posición de soldeo .....	Plana	
Tipo de corriente .....	ACHF	
Espesor de soldadura .....	10 ( mm )	
No. de pasadas .....	1	
Diámetro del electrodo no consumible ( mm ) .....	2	
Diámetro del material de aporte ( mm ) .....	3	
Corriente .....	170-190 ( amp )	
Gas Argón .....	20-23 ( pies <sup>3</sup> /hora )	
Rendimiento específico de fusión ( gr/amp.seg ) .....	0,00176	

T A B L A    X I I I

DIMENSIONES DE LA GEOMETRIA DE LA SOLDADURA DEPOSITADA  
MEDIANTE PROCESOS MIG Y TIG

Tipo de proceso	Número de pasadas	Ancho zona afectada por el calor ( mm )	Ancho zona de fusión ( mm )	Profundidad de penetración ( mm )
MIG	2	0,78	2,60	1. pasada...:1,25 2. pasada...:0,95
TIG	1	1,12	2,60	0,56

T A B L A   X I V

RESULTADO DEL ANALISIS DE MICRODUREZA KNOOP

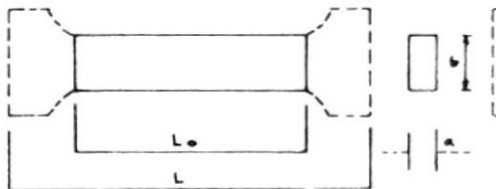
Número de lecturas	Tipo de proceso de soldadura		Número de dureza Knoop	
	MIG	TIG	MIG	TIG
	Longitud diagonal mayor ( $\mu$ )	Longitud diagonal menor ( $\mu$ )		
1	216	218	91,5	89,8
2	216	221	91,5	87,4
3	216	221	91,5	87,4
4	218	223	89,8	85,8
5	220	224	88,2	85,1
6	220	225	88,2	84,3
7	220	225	88,2	84,3
8	220	225	88,2	84,3
9	221	226	87,4	83,6
10	221	226	87,4	83,6
11	221	228	87,4	82,1
12	221	228	87,4	82,1
13	224	228	85,1	82,1
14	224	228	85,1	82,1

T A B L A   X V  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION



1076-1078

ENSAYOS DE



SIN SOLDADURA

PROBETA	DIMENSIONES DE PROBE		
	a(mm)	b(mm)	S <sub>0</sub> (mi)
N <sup>o</sup> 1	3	30	90
N <sup>o</sup> 2	3	30	90
N <sup>o</sup> 3	3	30	90
N <sup>o</sup> 4	3	30	90
N <sup>o</sup> 5	3	30	90
N <sup>o</sup> 6	3	30	90

T A B L A XVIRESULTADOS DE LOS ANGULOS DE DOBLADOPARA PROTECTORES Y BASES - PROCESOS MIG y TIG

Tipo de Proceso	Sentido del doblado	Angulo del Doblado (grados)
MIG	Sentido del cordón (doblado de cara)	28°
TIG	Sentido del cordón (doblado de cara)	38°
MIG	Sentido Opuesto (doblado de raíz)	65°
TIG	Sentido opuesto (doblado de raíz)	69°

T A B L A XVII  
CALENTAMIENTO DEL EQUIPO

Tiempo sin uso	Tiempo a 5 Mamp
4 - 8 horas	1 min. a 130 KV
8 - 16 horas	1 min. cada 30 KV desde 100 KV
16 - 72 horas	1 min. cada 20 KV desde 100 KV
72 hrs - 7 días	1 min. cada 10 KV desde 100 KV
7 - 30 días	1 min. cada 5 KV desde 100 KV
30 - días o más	2 min. cada 5 KV desde 100 KV

## T A B L A XVIII

## CODIFICACION DE LAS PRUEBAS RADIOGRAFICAS

Proceso	Código de identificación	Localización del cordón	Radiografía obtenida
MIG	MIG C1 B1	Cilindro # 1, cordón # 1 de la base	Fig. N° 58
	MIG C1 B2	Cilindro # 1, cordón # 2 de la base	Fig. N° 59
	MIG C1 B3	Cilindro # 1, cordón # 3 de la base	Fig. N° 60
	MIG C1 P1	Cilindro # 1, cordón # 1 del protector	Fig. N° 61
	MIG C1 P2	Cilindro # 1, cordón # 2 del protector	Fig. N° 62
TIG	TIG C2 B1	Cilindro # 2, cordón # 1 de la base	Fig. N° 63
	TIG C3 P1	Cilindro # 3, cordón # 1 del protector	Fig. N° 64
	TIG C3 P2	Cilindro # 3, cordón # 2 del protector	Fig. N° 65
	TIG C3 P3	Cilindro # 3, cordón # 3 del protector	Fig. N° 66

T A B L A   X I X  
GUIA PARA LA SELECCION DE PELICULAS RADIOGRAFICAS  
PARA EXPOSICION CON EQUIPOS DE RAYOS X

Espesor en milímetros	Kilovoltaje			
	50 - 80	80 - 120	120 - 150	150 - 250
Aluminio				
0 - 6,25	M	R:M	R	
6,25-12,5	T:AA	M:T	R:M	
12,25-25,0	T:AA	M:T	R:M	
25,0 -50,0	T:AA	M:T	M:T	R
50,0 -100	AA:NS	T:AA	M:T:AA	M

T A B L A XXCONTROL DE PARAMETROS DE LA RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

Material .....	: Aluminio	
Espesor .....	: 3 mm	
Forma .....	: Recipientes hemisféricos	
Calentamiento del equipo .....	: 120 Kilovoltios	
Película .....	: Kodak	
	{ Tipo .....	: M
	{ Tamaño de grano .....	: 0,55-0,68
Latitud de exposición .....	: 2 Mamp.min.	
No. de penetrámetro .....	: 5	

## T A B L A XXI

ANALISIS ECONOMICO DE LAS OPERACIONES DE SOLDADURA  
PARA PROTECTORES Y BASES DE CILINDROS DE ALUMINIO  
MEDIANTE PROCESOS MIG y TIG

	Tipo de proceso	
	MIG	TIG
Peso del material de aporte depositado por cilindro ( gramos ) .....	40	16,2
Número de pasadas .....	2	1
Costo del material de aporte depositado por cilindro ( s/. ) .....	1,79	20,16
Flujo del gas protector ( pies <sup>3</sup> / hora ) .....	40,0	22,0
Volúmen del gas protector por cilindro ( pies <sup>3</sup> ) .....	0,30	0,33
Tiempo en soldar nueve cordones ( segs.)...	27,0	54,0
Costo del gas protector por cilindro ( s/. ) .....	3,08	3,38

T A B L A    X X I I

ANALISIS COMPARATIVO TECNICO-ECONOMICO DE LAS UNIONES SOLDADAS  
DE LOS PROTECTORES Y BASES MEDIANTE PROCESOS MIG y TIG  
ELABORADOS EN PLANTA Y EN ESPOL, RESPECTIVAMENTE

	Tipo de proceso	
	MIG	TIG
Tipo de junta .....	Fillet	Fillet
Posición del cilindro .....	Vertical	Horizo.
Posición de la operación de soldadura.....	Horizon.	Plana
Polaridad .....	DCRP	ACHF
Espesor del cordón de soldadura ( mm ) .....	5	10
Nº de pasadas .....	2	1
Diámetro del electrodo ( mm ) .....	1,15	2
Diámetro del material de aportación ( mm ) .....	1,15	3
Corriente ( amps ) .....	150-170	170-190
Tipo de gas .....	Argón	Argón
Flujo de gas ( pies <sup>5</sup> / hora ) .....	40	22
Rendimiento específico de fusión ( gr/amp.seg ) .....	0,0024	0,0017
Peso del material de aporte depositado por cilindro ( gr ) .....	10,0	16,2
Costo del material de aporte depositado por cilindro ( s/. ) .....	1,79	20,16
Volumen del gas protector por cilindro ( pies <sup>3</sup> ) .....	0,30	0,33
Tiempo en soldar nueve cordones ( segs ) .....	27,0	54,0
Costo del gas protector por cilindro ( s/. ) .....	3,08	3,38
Profundidad de penetración, primera pasada ( mm ) .....	1,25	0,56

Cont. TABLA XXII

	Tipo de proceso	
	MIG	TIG
Profundidad de penetración, segunda pasada ( mm ) .....	0,95	--
Límita de fluencia ( Kg / mm <sup>2</sup> ) ( promedio ) .....	3,93	1,93
Resistencia a la tracción ( Kg / mm <sup>2</sup> ) ( promedio ) .....	4,38	2,32
Resistencia a la rotura ( Kg / mm <sup>2</sup> ) ( promedio ) .....	3,26	1,82
Alargamiento ( % ) ( promedio ) .....	5,38	3,58
Angulo de doblado, lado opuesto soldadura ( grados ) .....	65,0	69,0
Angulo de doblado, lado de soldadura ( grados ) .....	28,0	38,0
Nº de dureza Knoop, zona de material base ( promedio ) .....	91,5	88,9
Nº de dureza Knoop, zona de material fundido ( promedio ) .....	88,64	88,28
Nº de dureza Knoop, zona de material afecta. por el calor ( prome. ) .....	88,8	88,6
Inspección visual .....	acepta.	aceptab.

B I B L I O G R A F I A

1. ALUMINIUM COMPANY OF AMERICAN, Welding Alcoa Aluminum, Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A., 1972; 29-41 p.
2. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, Metals Handbook; Eight Edition; Ohio, U.S.A.; 1972; 244 p., vol. 7
3. AMERICAN WELDING SOCIETY, Welding Aluminum, sixth edition; Miami, U.S.A.; 1972; 94.35, 94.37 p.
4. AMERICAN WELDING SOCIETY, Welding Handbook; Sixth edition; Ohio, U.S.A.; 1973; 9.1-3, 9.1-4, 9.4-7 p.
5. AMO, FERNANDEZ DE PALENCIA, Recientes desarrollos en el procedimiento TIG en la soldadura de aluminio y sus aleaciones, Cenim, 1971; 38, 37, 40 p.
6. AVNER, Introducción a la Metalurgia Física; McGraw-Hill Inc., U.S.A.; 1964; 23, 44, 45 p.
7. BAEZ, BARMAN, CASTELLA, Ensayos No DEstructivos, Programa regional de desarrollo científico y tecnológico, OEA. Dpto. de Metalurgia; Buenos Aires; 1972; 20, 21, 22, 23 p.

8. CENIM, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Revista Metalúrgica; Ciudad Universitaria-Madrid 3, España; Volúmen 4, número 4,, 1968.
9. CHENETRON-WELDING PRODUCTS, Manual de Instrucciones y Catálogo; Chicago, U.S.A.; 1975; 93 p.
10. DOCUMENTO IIS/IIW-419-73, Elección del gas protector para la soldadura del arco bajo protección gaseosa del aluminio y sus aleaciones, elaborado por la Comisión XII; Vol. 4, N° 2, 1974.
11. GIACHINO, WEEKS, Welding skills and practices, American Technical Society; fifth edition; ,Michigan University; 1976; 161, 167, 168, 171, 197, 198, 199, 201, 202 pág.
12. HOBART SCHOOL OF WELDING TECHNOLOGY, Training in gas tungsten arc welding; Ohio,U.S.A. ; 1976 (folletos).
13. JEFFERSON, WOODS, Metals and How to Weld them, The James F. Lincoln arc welding foundation, second edition; Cleveland, Ohio, U.S.A.; 1978; 43, 44, 45, 69, 267, 270, 271, 273 p.
14. JOSTRZEBSKI, The Nature and properties of engineering materiales; John Wiley and Sons, Inc.; second edition, 1977.

15. KOCH, Manual de Tecnología de la Soldadura Eléctrica por Arco, editorial Reverté S.A.; 1965; 299 (costos), 291 (rendimiento específico de fusión); 682, 684 p.
16. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY, The procedure Handbook of arc Welding; Twelfth edition; Ohio,USA; 1973.
17. OCONER'S MANUAL, Miller Electric, AFG.Co; Wisconsin, U.S.A.; 1976.
18. SELTON, MATHEWS, Ac Welding, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation; Second Edition; Cleveland, Ohio, U.S.A.; 1979; 39, 40, 41, 42, 43 p.
19. SEFERIAN, Las Soldaduras, técnica-control; Urmo S.A. de ediciones; primera edición en español; 1974; 255, 307, 312, 313 p.
20. SERRANO, Curso de Ensayos No Destructivos para Ingenieros, dictado en la ESPOL, 1976.
21. SERRANO, ORTIZ, Ensayos No Destructivos, Método de Radiografía Industrial, ESPOL, 1977.
22. STIERY, Principios Fundamentales de la Soldadura, Cen-

- tro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el desarrollo Internacional AID; primera edición; México 1962.
23. TORRES, SERRANO, Tecnología de la soldadura y métodos de control no destructivo. Colegio de Ingenieros Mecánicos del Ecuador. Seminario 1980.
  24. VEDIA, Soldadura, Séptimo Curso Panamericano de Metalurgia, 1980.
  25. VITERI, Manual de Control de Calidad, planta CILGAS, Guayaquil, 1976.
  26. VITERI, Curso de Soldadura para Ingenieros dictado en la ESPOL, Guayaquil, 1976.