



D-5382

T
671.5212
L 544

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

Departamento De Ingeniería Mecánica

**“Fabricación de Electrodo para Soldadura
Al Arco por el Método de Extrusión”**

TESIS DE GRADO
Prevía a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR:

VICTOR LEMA ABARCA

Guayaquil - Ecuador

1983

DEDICATORIA

A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

A ROSA ELENA: MI MADRE, QUE CON SU AMOR, ESFUERZO Y
SACRIFICIO, HA LOGRADO ESTE SU TRIUNFO

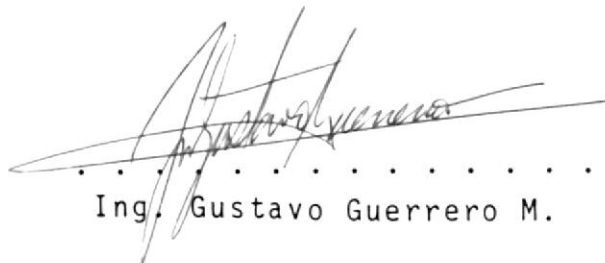
A MARIA: MI QUERIDA ESPOSA

A MIS PEQUEÑOS HIJOS: CRISTHIAN
CHARITO, Y
SUSAN

A G R A D E C I M I E N T O

El presente tema de Tesis fue sugerido por el Ing. Gustavo Guerrero, profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a quien agradezco por su valiosa ayuda.

Agradezco también a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en forma desinteresada con sus sugerencias para la elaboración de esta Tesis.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Gustavo Guerrero", is written over a horizontal dotted line.

Ing. Gustavo Guerrero 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 Politécnica del Litoral."

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



.....

VIC TOR MANUEL LEMA ABARCA

R E S U M E N

La tecnología moderna exige que los electrodos de soldadura al arco cumplan con las especificaciones y normas dadas por la AWS, ASTM, DIN, etc. Es decir las condiciones que deben reunir los electrodos para ser aceptados, su composición química, tanto en los aceros, como en el revestimiento, pruebas de validez, uso y mecánicas, los tamaños y longitudes, su identificación y certificación.

En esta Tesis se ha realizado el estudio teórico y práctico de la fabricación de electrodos utilizando el método de extrusión, que consiste en "La aplicación del revestimiento a un núcleo de acero por la aplicación de elevadas presiones utilizando una prensa hidráulica". Consiguiéndose uniformidad absoluta en la capa de revestimiento, concentricidad perfecta entre el núcleo y revestimiento, con lo cual se consiguen características de trabajo muy parejas de los electrodos.

Se realiza un estudio de los pasos de fabricación de electrodos que son básicamente: Trefilación, Corte y Preparación del Núcleo, preparación de la pasta de revestimiento,

VII

extrusión, secado, embalaje y almacenamiento.

Se describe la maquinaria empleada en cada uno de los pasos de fabricación y su operación.

Los ingredientes que forman el revestimiento son analizados y descritos en cada una de sus funciones.

Partiendo de la práctica se analizan las variables de extrusión. Se prepararon probetas de los electrodos fabricados ajustándose a las normas requeridas para someterlas a pruebas de validez, usabilidad, propiedades mecánicas.

Los electrodos terminados son analizados en un estricto control de calidad encontrándose que los factores que optimizan al electrodo revestido son: estructura del núcleo, excentricidad, revestimiento, humedad y soldabilidad.

De los ensayos mecánicos y metalográficos que se realizaron en la ESPOL se ha obtenido fotos, gráficos y tablas que sirven para verificar la calidad de la soldadura.

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN.	VI
INDICE GENERAL.	VIII
INDICE DE FIGURAS.	XI
INDICE DE TABLAS	XIV
INDICE DE GRAFICOS	XVI
NOMENCLATURA.	XVII
INTRODUCCION.	20
I FUNDAMENTO TEORICO.	22
1.1 Descripción del Método de Extrusión en la fabricación de Electrodo	22
1.2 Procesamiento de Acero.	23
1.3 Trefilación.	28
1.3.1 Defectos y Tolerancias del Alambrón	37
1.3.2 Lubricantes empleados.	38
1.4 Enderezado y Corte.	39
1.5 Revestimiento.	45
1.5.1 Característica del Revestimiento.	46
1.5.2 Funciones del Revestimiento.	49
1.6 Extrusión.	53

	<u>Pág.</u>
1.6.1 Variables de Extrusión.	55
1.6.2 Defectos de Extrusión	66
1.7 Secado y Envasado.	66
1.7.1 Encendido del Intercambiador.	69
1.7.2 Temperaturas utilizadas.	71
1.7.3 Velocidad de Transportadores.	72
1.7.4 Regulación de Humedad.	72
II TRABAJO EXPERIMENTAL.	74
2.1 Materiales utilizados.	74
2.1.1 Aceros.	74
2.1.2 Mezclas	75
2.2 Equipos utilizados.	80
2.2.1 Mezclador de Pasta.	81
2.2.2 Prensa de Panes de Pasta.	84
2.2.3 Alimentador de Varilla.	87
2.2.4 Prensa de Extrusión.	88
2.2.5 Probador de Excentricidad	98
2.3 Técnica Operativa.	100
2.3.1 Operación del Equipo	101
2.3.2 Obtención de Muestras para estudio. . .	104
III CALCULO DE LAS VARIABLES DE EXTRUSION.	108
3.1 Relación de Extrusión.	108
3.2 Límite Elástico.	110
3.3 Coeficiente de Fricción	110

3.4 Velocidad.	112
3.5 Temperatura.	114
IV ENSAYOS Y CONTROL DE CALIDAD DE ELECTRODOS	116
4.1 Ensayos Mecánicos.	116
4.1.1 Ensayo de Tracción	117
4.1.2 Ensayo de Doblado.	124
4.1.3 Ensayo de Impacto.	126
4.1.4 Prueba de Humedad.	132
4.2 Ensayo Metalográfico	136
4.3 Control de Calidad.	144
4.3.1 Diámetro del Núcleo.	144
4.3.2 Excentricidad.	149
4.3.3 Longitud de los Extremos	153
4.3.4 Superficie del Revestimiento	159
V ANALISIS DE RESULTADOS.	164
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
TABLAS.	172
GRAFICOS	192
BIBLIOGRAFIA.	200

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Clases de Extrusión.	24
2	Esquema del decapado químico	27
3	Decalaminadora.	29
4	Sección Transversal de una Hilera.	31
5	Tensiones que actúan sobre un elemento de alambre.	35
6	Máquina de Enderezado y Corte.	41
7	Mecanismo de Operación de Corte.	44
8	Presión de Extrusión en función del recorrido del Vástago (Extrusión directa).	57
9	Horno Túnel con mecanismo Carrocel de paso de electrodos.	70
10	Salida del horno sección de control de marca, peso y embalaje del electrodo.	70
11	Mezclador de Pasta.	82
12	Prensa Hidráulica para Fabricación de Panes de Mezcla.	85
13	Alimentador de Núcleos: a) parte posterior, b) Parte Frontal	89
14	Cabezal de la Prensa de Extrusión.	93

XII

<u>N-º</u>	<u>Pág.</u>
15 Prensa de Extrusión.	93
16 Máquina utilizada en el escobillado de electrodos.	95
17 Utilajes empleados en la Prensa de Extrusión. . . .	97
18 Medidor de Concentricidad.	99
19 Pistón Hidráulico y Cilindro Recipiente de la Prensa de Extrusión.	106
20 Detalles en preparación de Probetas para Ensayos Mecánicos.	118
21 Probeta de Metal de Soldadura para Ensayos de Tracción.	119
22 Probeta de Soldadura E6011 ϕ 3.175 mm. (1/8") des- pués del Ensayo de Tracción.	122
23 Esquema del Ensayo de Doblado.	125
24 Probeta con metal de Soldadura en el centro para Prueba de Doblado.	127
25 Probetas después del Ensayo de Doblado: a) Vista Su- perior; b) Vista Frontal.	128
26 Dimensiones y Especificaciones para Probetas de Impacto.	129
27 Dibujo Esquemático del Equipo utilizado para el Ensayo de Impacto.	131
28 Probador de Humedad.	134
29 Probeta de Soldadura para Ensayo Metalográfico . .	137

XIII

<u>N-º</u>	<u>Pág.</u>
30 Zona de Fusión con Material de Aporte E6011 Inten- sidad 200 amp. (x 200).	139
31 Línea de Fusión (x200)	140
32 Zona de Transformación afectada por el Calor (x 200).	141
33 Línea de Zona de Transformación afectada por el Calor (x 200).	142
34 Metal Base no afectado por el Calor (x 200). . . .	143
35 Electrodo recubierto terminado, en el cual se muestran los lugares donde se va a realizar el control de calidad.	157

INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Rebajes más Usados en Alambrón para la fabricación de Soldadura.	173
2	Tolerancias permitidas para cada tipo de diámetro.	174
3	Tamaños Standard y Longitudes de Electrodo.	175
4	Contenido de Humedad recomendada para Revestimiento, Almacenamiento y Condiciones de Resecado para Electrodo recubiertos de soldadura al Arco.	176
5	Composición Química del Alambrón de Acero dulce, en comparación con los diferentes tipos de alambrón que se encuentran en el mercado.	177
6	Propiedades Mecánicas del Alambrón trefilado en 4 pasos.	178
7	Cuadro de fórmulas y tiempo de mezclado para formación de Pasta de Electrodo.	179
8	Aglomerantes a utilizarse en electrodos.	180
9	Claros entre Dados y Pistón para Prensa de Panes de Mezcla.	181
10	Tolerancia de los Dados para Fabricación de Electrodo en milímetros	182

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
11 Composición Química media del Acero utilizado para fabricación de Electrodo.	183
12 Ensayo de Impacto para 5 probetas de material de Soldadura E6011 ϕ 3.175 mm (1/8").	184
13 Tamaños y Longitudes Standards AWS.	185
14 Mediciones para Control en Diámetro del Núcleo . .	186
15 Diámetro Total y Tolerancias para la Excentrici- dad del Electrodo AWS.	187
16 Datos tomados en medidor de excentricidad en E 6011 ϕ 3.175 mm (1/8").	188
17 Rangos Máximos y Mínimos en Extremos de Electrodo AWS.	189
18 Datos para Control de los Extremos de E6011 ϕ 3.175 mm. (1/8")	190
19 Funciones Típicas y Rango de Composición de Constituyentes de Revestimiento para Electrodo de Soldadura al Arco para Aceros Dulces.	191

INDICE DE GRAFICOS

<u>N °</u>		<u>Pág.</u>
1	Curva de Tracción de la Probeta de Soldadura. . .	193
2	Gráfico de Control de Calidad en Diámetro del Núcleo.	194
3	Gráfico de Control de Calidad en Excentricidad del Electrodo Revestido.	195
4	Gráfico de Control para el Extremo $\overline{B}$	196
5	Gráfico de Control para el Extremo $\overline{C}$	197
6	Gráfico de Control para el Extremo $\overline{D}$	198
7	Sistema Hidráulico de la Prensa de Extrusión. . .	199

NOMENCLATURA

β	= Semiángulo de entrada de la hilera
α	= Semiángulo de ataque de la hilera
γ	= Semiángulo de salida de la hilera
d_1	= Diámetro de calibre de la hilera
d_2	= Diámetro de núcleo (d)
d_3	= Diámetro de portaherramienta
f_1	= Longitud de calibre
h_1	= Altura de Reducción
h_2	= Altura del núcleo
h_3	= Altura del portaherramienta
τ_{xf}	= Tracción de estirado
τ_0	= Tracción inicial
d_f	= Diámetro final del alambre
d_0	= Diámetro inicial del alambre
τ_{xb}	= Retrotracción
q	= Porcentaje de reducción ideal en trefilado
F_c	= Fuerza de corte
K	= Resistencia al cizallamiento
P	= Presión de extrusión
F	= Fuerza de extrusión
A	= Sección transversal del pan de mezcla

XVIII

R	= Relación de extrusión
D_0	= Diámetro inicial del pan de mezcla
D_f	= Diámetro final del pan de mezcla
A_2	= Area de la varilla revestida
A_1	= Area de la varilla
A_f	= Area final del pan de mezcla en el electrodo
d	= Diámetro de la varilla revestida
W	= Trabajo por unidad de área
L_0	= Longitud inicial del pan de mezcla
L_f	= Longitud final del pan de mezcla
ρ	= Factor de forma para tomar en cuenta trabajo superfluo.
B	= Relación entre coeficiente de frotamiento y la $\tan \alpha$
P_e	= Carga de límite elástico
P_f	= Carga de fluencia
P_t	= Carga de tracción
P_r	= Carga de rotura
τ_e	= Resistencia al límite elástico
τ_f	= Resistencia a la fluencia
τ_t	= Resistencia a la tracción
τ_r	= Resistencia a la rotura
f	= Coeficiente de Fricción
P_0	= Presión de Estirado en Trefilación
τ	= Límite Elástico en Extrusión
A_0	= Area inicial de la probeta

XIX

Q	= Caudal entregado por la bomba
V	= Velocidad de Avance del Pistón
A_c	= Area del cilindro cuando el pistón avanza adelante
V'	= Volumen del cilindro cuando el pistón avanza en vacío.
V''	= Volumen del cilindro cuando el pistón avanza con carga.
h	= Altura del cilindro
A_r	= Area del cilindro con pistón en retorno
V_r	= Velocidad de retorno del pistón
ℓ_{ic}	= Límite de control inferior según producción
ℓ_{sc}	= Límite de Control superior según producción
LIC	= Límite de Control inferior según AWS
LSC	= Límite de control superior según AWS

INTRODUCCION

En los últimos años la Tecnología de la Soldadura ha evolucionado de tal forma, que para cada uno de los diferentes procesos de soldadura es necesario un tipo especial de electrodos.

Según el uso al que se lo destina, los electrodos deben cumplir especificaciones tales que el depósito de la soldadura tenga cierta composición química y propiedades mecánicas pre-establecidas, de aquí la importancia de un adecuado proceso de fabricación de los mismos.

La fabricación puede realizarse por dos métodos: Inmersión y Extrusión. En el método de Inmersión la varilla metálica se sumerge en un baño líquido, que al solidificarse por calor constituye el revestimiento del electrodo así formado.

En el método de Extrusión el revestimiento en forma de pasta es forzado a fluir alrededor de la varilla, a través de un orificio mediante presiones elevadas, utilizando una prensa hidráulica.

Este proceso se lo utiliza también para obtener barras o tubos y perfiles con seccionados de forma complicada.

Los objetivos principales del presente trabajo son:

- 1.- Realizar un estudio del proceso de fabricación de electrodos para soldadura al arco por el método de extrusión; las normas y especificaciones que se deben cumplir, variables que intervienen durante el proceso de extrusión, tipos de utilajes aceptados y maquinaria utilizada.
- 2.- Realizar un control de calidad del producto fabricado para comprobar si los electrodos cumplen con las especificaciones anotadas en el primer objetivo y para la optimización del producto terminado.

Para sacar conclusiones del primer objetivo se realizaron ensayos experimentales en los laboratorios de la ESPOL y en una compañía de la localidad dedicada a la fabricación de electrodos por extrusión.

Para el segundo objetivo, el trabajo de control de calidad se lo realizó en la misma compañía.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEORICO

1.1 DESCRIPCION DEL METODO DE EXTRUSION PARA LA FABRICACION DE ELECTRODOS.

El método de fabricación de electrodos para soldadura por extrusión, consiste en la aplicación del revestimiento a un núcleo de acero por medio de grandes presiones. La ventaja de este método consiste en la uniformidad absoluta de la capa de revestimiento con el que se consiguen características de trabajo muy parejas de los electrodos y la eliminación de arcos erráticos que producen depósitos defectuosos.

Para el revestimiento de electrodos se usa la extrusión en frío ya que de otra forma la reacción del material extrusado contra el cuerpo de extrusión y la matriz, origina altas temperaturas y tensiones de compresión, lo cual no es aconsejable. El proceso en frío resulta así muy eficaz para evitar el agrietamiento del material, utilizando para este fin chaque-

tas de enfriamiento por agua para mantener una temperatura adecuada.

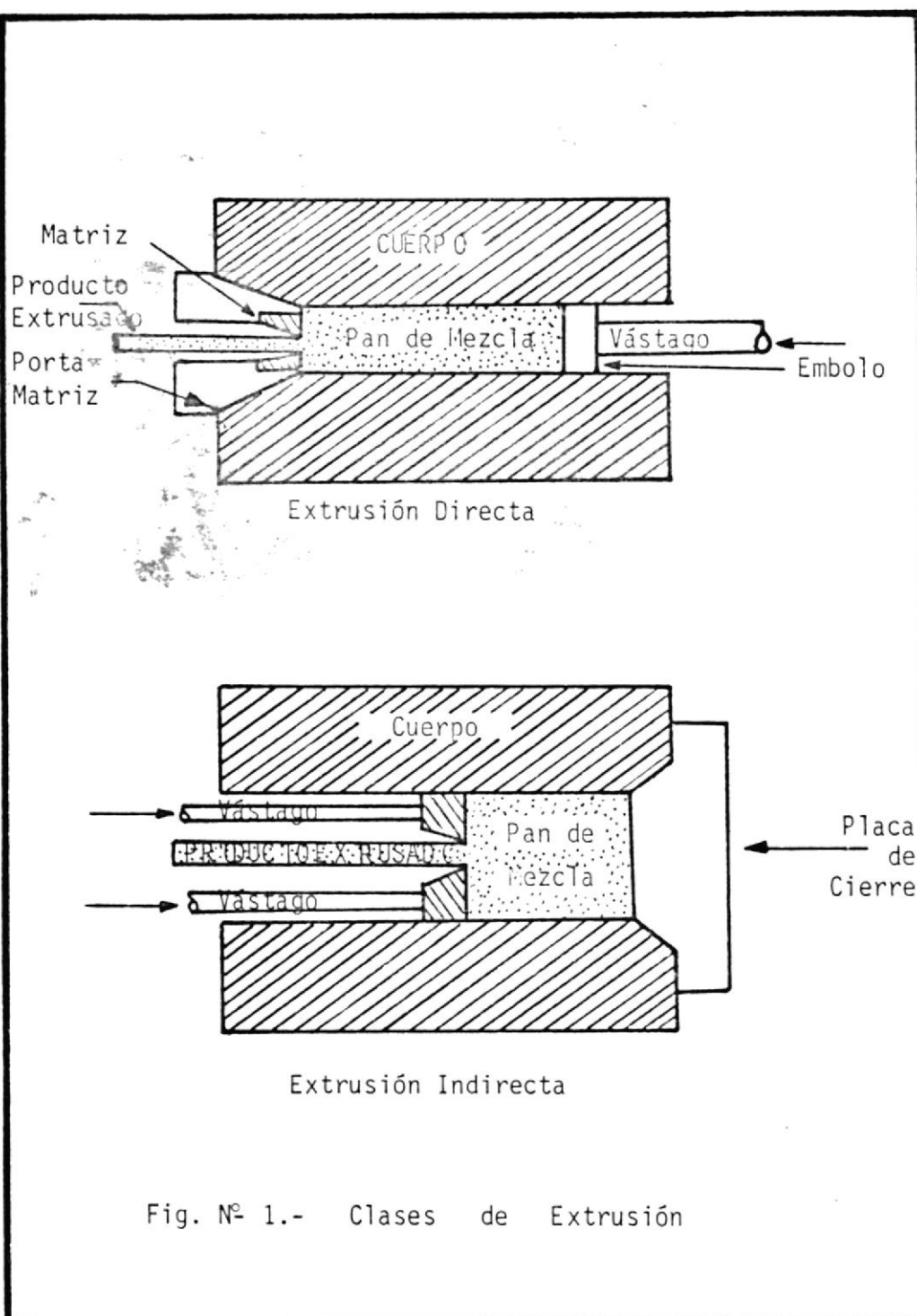
Debe recordarse que los procesos de extrusión son dos: Extrusión directa y Extrusión indirecta, cuyos elementos principales se ilustran en la Fig. N° 1.

En el primer caso el material a extruirse se coloca en un cuerpo o cámara de extrusión y se empuja contra la matriz o dado mediante un émbolo empujado por un vástago. El émbolo o placa de extrusión se coloca en el extremo del vástago y en contacto con el material.

En la extrusión indirecta se emplea un vástago hueco que empuja a la matriz, mientras el extremo opuesto del cuerpo de extrusión está cerrado con una placa. Como no hay movimiento relativo del material con relación al cuerpo en la extrusión indirecta, son menores las fuerzas de fricción y se necesita menos potencia que para la directa.

1.2 PROCESAMIENTO DEL ACERO

El alambión utilizado en la fabricación de electrodos para soldadura es importado y fabricado según normas



y pedidos de cada fabricante ajustándose de esta manera a un estricto control de calidad en su composición química y propiedades mecánicas. El diámetro del alambre varía de acuerdo con el pedido del fabricante de la soldadura, normalmente los pedidos se efectúan con un diámetro de por lo menos 2.4 mm mayor que el mayor diámetro del electrodo que se va a fabricar, esta diferencia de diámetro en el alambre que va a servir de materia prima, es la que se rebajará en trefilado.

El alambre viene en forma de bobinas con un peso que oscila entre 850 Kg y 950 Kg. Para ser utilizado como alma del electrodo debe soportar algunos procesos que se detallan a continuación:

DECAPADO: En este proceso al alambre se le elimina la capa superficial llamada cascarilla que se forma cuando éste es sometido en la acería al proceso de laminado en caliente. Como este material superficial tiene propiedades diferentes al alambre, es necesario eliminarlo, lo cual puede lograrse de dos maneras: Mediante (a) Decapado Químico, y (b) Decapado Mecánico.

a.- Decapado Químico: Mediante el uso de Acido Sulfúrico (SO_4H_2) o ácido clorhídrico (ClH) diluidos se

consigue eliminar por disolución la cascarilla y el óxido del alambrón; en el caso de ser Acido Sulfúrico se procede de la siguiente manera:

Se tiene tres tanques, el primero contiene Acido Sulfúrico, el segundo agua natural y el tercero cal.

En el primero se introducen los rollos de alambrón con la ayuda de un tecla eléctrico que se desliza sobre rieles en la parte superior de los tanques, luego de un tiempo de reposo se forma una coloración rosa o roja debido a que los iones Fe^{++} quedan retenidos en los iones $SO_4^{=}$ esta reacción se la realiza a una temperatura de $70^{\circ}C$; esta temperatura se consigue pasando vapor a través de un intercambiador de calor, formado por tubos que están en contacto con la solución de SO_4H_2 Fig. 2. Cuando se ha eliminado la cascarilla se pasan los rollos al segundo tanque para enjuagar el ácido hasta que el alambrón tome color plomo, indicación de que está limpio, pasándose al tercer tanque donde el alambrón queda recubierto de una capa protectora de cal, la que actúa como protector contra la humedad y corrosión, al mismo tiempo como absorbente, portador de lubricante y neutralizante de cualquier resto de ácido. Similar resultado se obtiene utilizando un baño de ClH .

b.- Decapado Mecánico: Este proceso consiste en doblar el alambrón con curvaturas no mayores de 90° con el propósito de romper el límite elástico de la cascarilla, ya que el % límite elástico de ésta es mucho más bajo que el límite elástico del alambrón; el objetivo de no usar curvaturas mayores de 90° es para no afectar el límite elástico del alambre (7).

En el caso de la preparación del alambre para la producción de electrodos, el alambrón es obligado a pasar por poleas de acero orientadas en diferentes planos utilizando una máquina decalaminadora como se indica en la Fig. N° 3, con la finalidad de que la cascarilla sea eliminada en forma pareja a través de todo el contorno de la superficie externa del alambre, en su salida atraviesa por un tambor que contiene bolas de rodamiento y que tienen por objeto eliminar los polvos y residuos de cascarillas más óxidos que pueden haber quedado en la superficie del alambre.

1.3 TREFILACION

Una vez efectuado el proceso de Decapado en el alambrón se lo somete al proceso de Trefilación, éste es un proceso de fabricación de alambres por estirado y

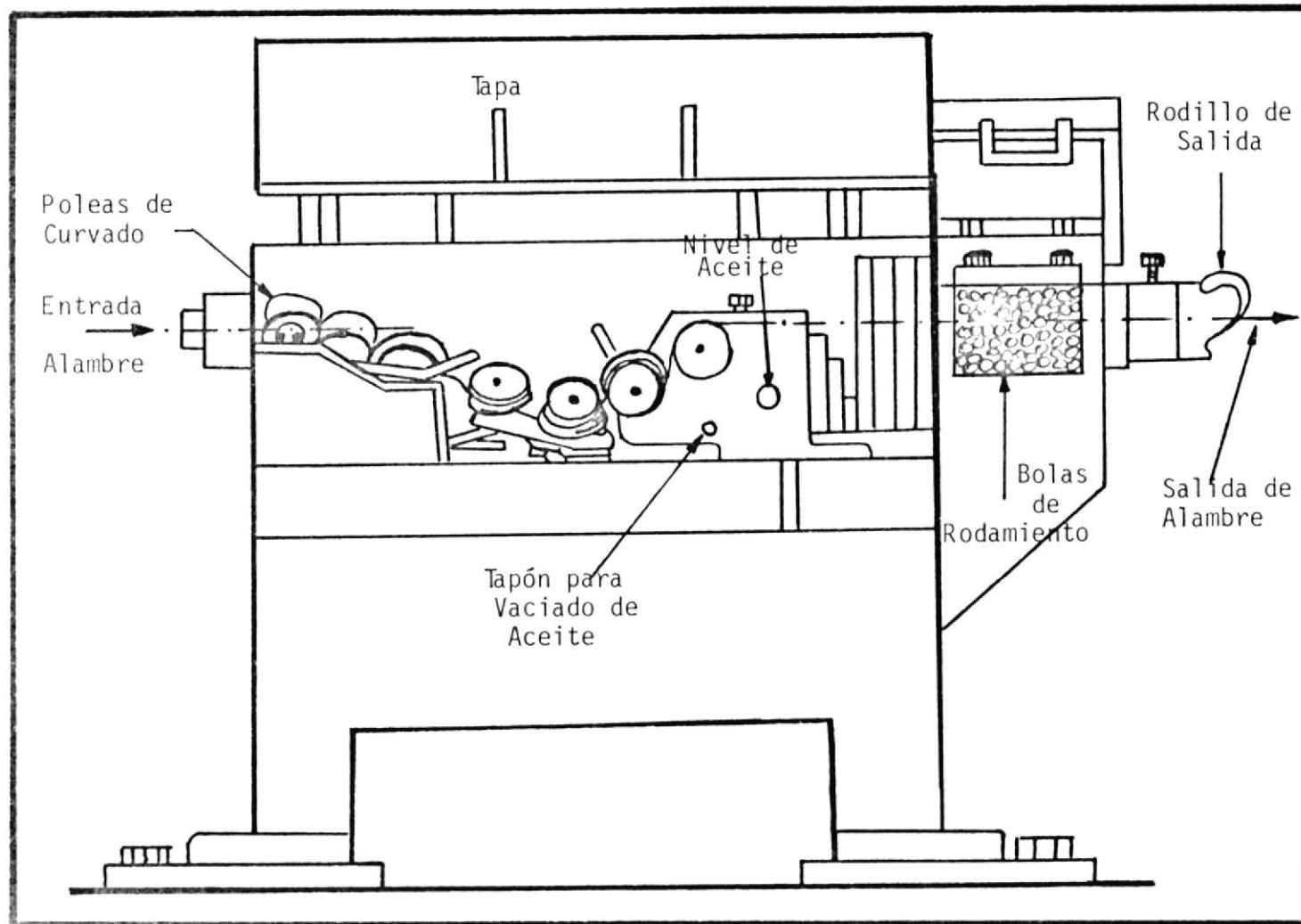


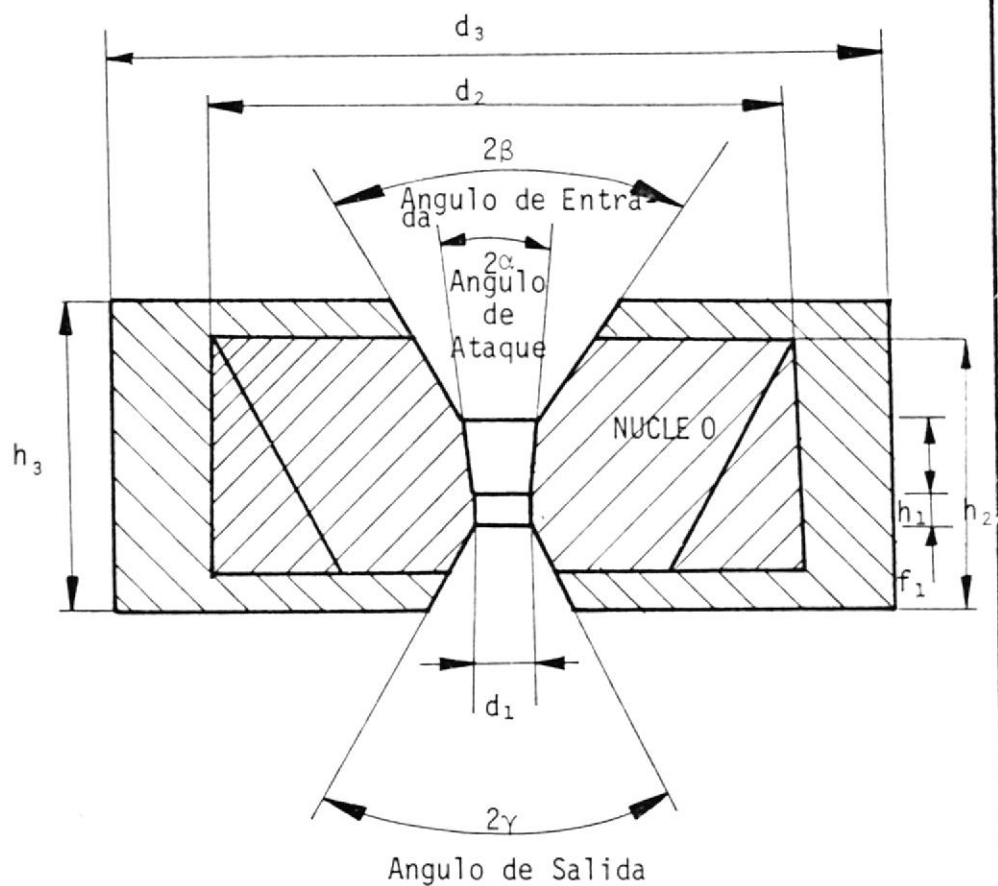
Fig. N° 3.- DECALAMINADORA

se lo realiza a temperatura ambiente forzándolo a pasar a través de una matriz o hilera de diámetro constante. En la operación se producen elevaciones de temperatura en el alambre, debido a la deformación y fricción que se produce entre las paredes de la hilera y la superficie del alambrón.

Se toma el extremo del alambrón se le saca punta en una máquina de forja rotativa, se lo agarra con una mordaza con cabeza de estirar y entra a conectarse con el portabobinas de un banco de trefilar. Las tracciones que se ejercen en los bancos de trefilar son variadas según el alambre que se procese, igualmente sucede con las velocidades de estirado que varían 10 m/min, a 1.500 m/min.

En la Fig. N° 4 se muestra la sección longitudinal de una hilera, el ángulo de entrada es lo suficientemente grande para que exista buena lubricación.

El ángulo de ataque corresponde a la sección de la hilera donde se produce la reducción real del diámetro, la superficie de apoyo sirve de guía cuando el alambre sale de la hilera. Como el estirado es en seco los lubricantes que aquí se usan son sólidos o polvo de ja-



d_1 = diámetro de la hilera h_1 = altura de reducción
 d_2 = diámetro del núcleo h_2 = altura del núcleo
 d_3 = diámetro de porta-herramienta h_3 = altura de porta-herramienta.
 f_1 = Longitud del calibre

FIG. N° 4.- SECCION TRANSVERSAL DE UNA HILERA

bón.

La hilera es el medio que permnite la deformación del alambrón que se va a trefilar.

Está formada de un núcleo que está compuesto de Carbu-
ro de Tungsteno, comercialmente llamado WIDIA, este
material tiene una elevada dureza de aproximadamente
64 a 68 Rockwell C.

La hilera está compuesta de las siguientes partes:
Refiriéndose a la Fig. N° 4.

2β = Angulo de entrada (60°)

2α = Angulo de Reducción (12° a 14°)

d_1 = Diámetro de calibre

2γ = Angulo de Salida (60°)

d_2 = Diámetro del núcleo

d_3 = Diámetro de la montura o portaherramienta

f_1 = Longitud del calibre

En la fabricación de soldadura normalmente se usan
dos tipos de hilera: Pepa larga y Pepa corta.

Los rebajes permitidos en el alambre son hasta de un

40% por reducción de área en cada pase, este dato es sacado de la práctica para un material ideal el máximo porcentaje de reducción es de 63%, con un material utilizado para fabricación de soldadura se producen defectos si nos excedemos del 40% de reducción de área. Los rebajes utilizados en alambre para fabricación de soldadura se dan en la Tabla 1; estos datos son suministrados por el fabricante.

Cuando se trata de alambre grueso de más de 12 mm. se emplea una sola bobina y reducciones de 20 al 50% por pasada.

Para alambre fino se utiliza un número grande de bobinas y reducciones del 15 al 25% por pasada.

El diámetro del alambre se produce en diferentes medidas según el tipo de electrodos que se vayan a fabricar.

La tolerancia máxima permitida para cada tipo de diámetro es la que se indica en la Tabla 2.

Las fuerzas que intervienen en el estirado del alambre a través de una hilera son: la que produce una disminución uniforme del diámetro; la que produce la defor-

mación de cizallamiento no uniforme de las capas superficiales a la entrada y salida de la hilera, la fuerza que supera a la fuerza de fricción entre el alambre y la hilera, la suma de todas estas fuerzas nos da la fuerza total requerida para producir el alambre trefilado y esta fuerza también dependerá de factores como el ángulo de la hilera porcentaje de reducción, límite elástico del material, la fricción de la hilera que a su vez depende de la lubricación, velocidad de estirado y material de que está constituido la hilera.

La fuerza de fricción en cualquier punto de la hilera se supone que es la normal en ese punto y actúa en sentido opuesto al movimiento relativo entre la hilera y alambre. Como se muestra en la Fig. N° 5.

Considerando el coeficiente de rozamiento constante entre la hilera, el metal y admitiendo un estado cilíndrico de tensiones a través del alambre, se consiguen las expresiones para la presión y la tracción de estirado que están representadas en las ecuaciones de Sachs.

$$P_0 = \frac{T_0}{B} \left[1 + (1+B) \left(\frac{D^2 f}{D_0^2} \right)^B \right] - \frac{\tau_{xb}}{\tau_0} \left(\frac{D^2 f}{D_0^2} \right)^B \quad (1.1)$$

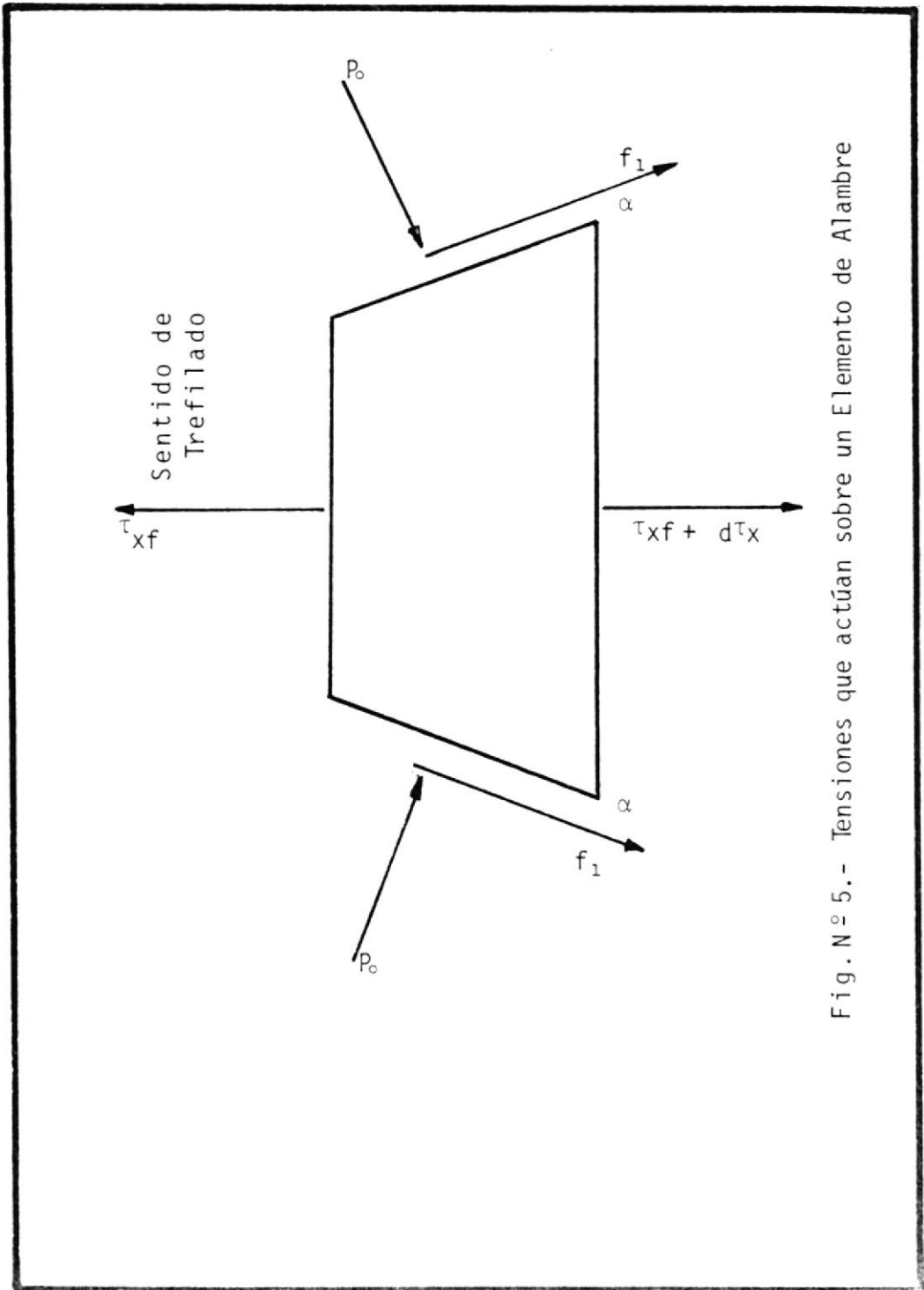


Fig. N° 5.- Tensiones que actúan sobre un Elemento de Alambre

$$\tau_{xf} = \tau_o \frac{1+B}{B} [1 - (\frac{d^2 f}{d_o^2})^B] + \tau_{xb} (\frac{d^2 f}{d_o^2})^B \quad (1.2)$$

donde:

P_o = presión de estirado

τ_{xf} = Fuerza de tracción de estirado

τ_o = Tracción inicial

B = $f/\text{tg}\alpha$

f = Coeficiente de fricción

d_f = Diámetro final del alambre

d_o = Diámetro inicial del alambre

τ_{xb} = Retrotracción

Cuando los ángulos de la hilera son comprendidos entre 6° a 20° la ecuación (1.1) de Sachs da diferencias de $\pm 10\%$ con los resultados experimentales.

Cuando las reducciones están entre 10 - 50 % y ángulos entre 5 a 25° se puede calcular la tracción de estirado por medio de la fórmula empírica de WHITTON representado en la ecuación:

$$\tau_{xf} = \tau_o \frac{1+B}{B} [1 - (\frac{df^2}{d_o^2})^B] + \frac{2}{3} (\frac{\pi}{4} df^2) \tau_o \frac{\alpha^2 (1-q)}{q} \quad (1.3)$$

Las variables son las mismas analizadas en el caso an-

terior, con la diferencia que se incluye q, que es el porcentaje de reducción ideal de trefilado (3)

$$q = \left(1 - \frac{d_f^2}{d_0^2}\right) 100 \quad (1.4)$$

1.3.1 Defectos y Tolerancias en Trefilado del Alambrón

Los defectos en trefilado del alambrón son:

- a) Cortadura o grietas en capa
- b) Rayadura
- c) Fuera de medida por la hilera

a.- Los defectos de cortadura o grietas en capa son defectos internos debidos a pliegues o rechupes del material inicial, cuando éste es sometido al proceso de laminado en caliente ocasionando la rotura del centro del alambre cuando se somete a tracción en el trefilado.

b.- Los defectos de rayadura son producidos debido a una mala lubricación o por hileras defectuosas o también por partículas abrasivas arrastradas por el alambre hasta la hilera.

c.- Las superficies manchadas y con óxido incrustado provienen de una preparación defectuosa de la superficie del hilo de máquina ocasionando el desgaste y deformación rápida de la hilera.

1.3.2 Lubricantes empleados

La lubricación en el proceso de trefilación es importante porque ayuda a eliminar la fuerza de fricción, da una vida prolongada de la hilera y en especial a obtener un alambre trefilado de óptima calidad, es decir, exento de rayaduras, con brillo no excesivo, sin abolladuras, además ayuda a que no se produzca la deformación de grietas en copa.

El lubricante debe estar exento de humedad, su temperatura debe ser igual o mayor que la del ambiente para que pueda desarrollar la función del lubricante sólido, el primer porta hilera debe tenerlo en forma abundante, cuidando que no se formen grumos y cambiarlo cuando sea necesario. Es importante que no se rompa la película de lubricante verificando el alambre siempre a la salida de la hilera; si el lubricante está de-

masiado húmedo, es necesario secarlo para lo cual se coloca en una bandeja de hierro o lata y con una antorcha se empieza a secar, luego se lo cierra para el uso.

El uso de lubricante sólido debe ser el 75% del depósito del lubricante en el porta-hileras, hay que renovarlo de vez en cuando y seguir agregando lubricante según se vaya gastando o sea necesario, ésto es con el fin de mantener la jabonera con el lubricante necesario.

La formación de terrones debido a la humedad hay que evitarla.

El lubricante empleado para la trefilación de alambre utilizado en la fabricación de la soldadura está compuesto básicamente por: Estearato de sodio 50%, Super hidróxido de Calcio 50%. La formulación generalmente varía según el fabricante.

1.4 ENDEREZADO Y CORTE

La operación de enderezamiento se realiza por medio de

rodillos parabólicos ajustables, montados en un portarodillos, el cual es fijado a una estructura rectangular; para ajustar el espesor alrededor del eje del alambre se controla la inclinación de los portarodillos.

El ajuste preciso y alineamiento de estos rodillos dan un perfecto enderezamiento y una superficie de corte suave. La inclinación de los rodillos impulsores en la estructura permiten la alimentación del alambre, entonces el alambre es entregado a la cizalla cortadora, donde se lo corta en medidas estandarizadas para los diferentes electrodos que se van a fabricar; en la Tabla 3 se dan las longitudes estandar del núcleo del electrodo.

Existen máquinas (Fig. 6) donde el enderezamiento se efectúa por unos manguitos ajustables, los que están montados sobre una estructura que rota a alta velocidad, dando como resultado un buen enderezado.

El corte del alambre se realiza por cizallamiento, mediante cuchilla rotatoria en una cizalla, en la operación el alambre se deforma con elevada intensidad plásticamente, llegando a romperse en la superficie de

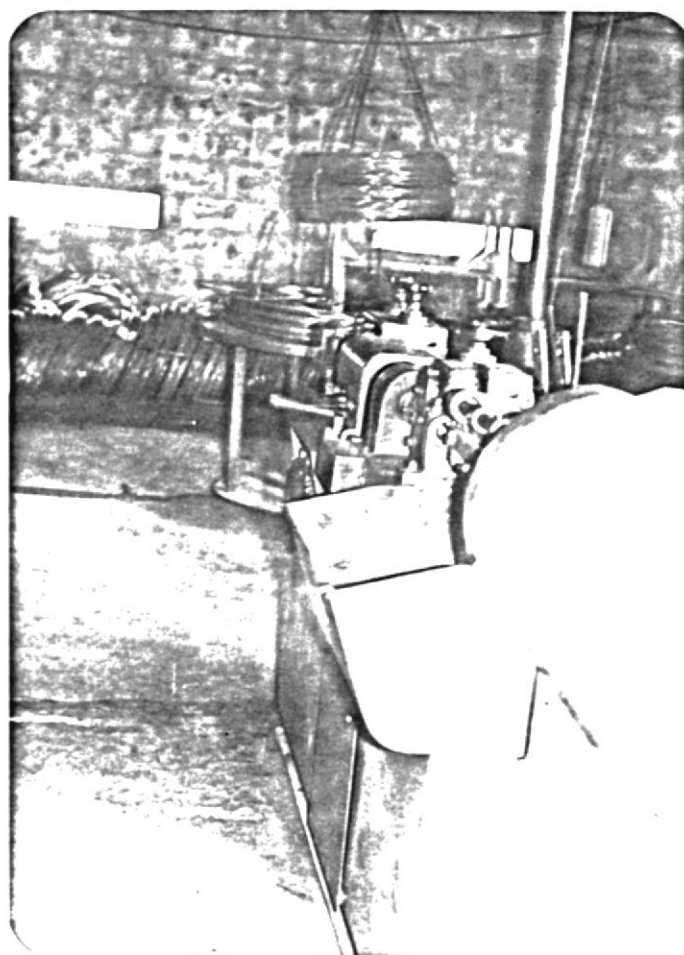


Fig. N° 6.- Máquina de Enderezado y Corte

contacto con la cuchilla, la fractura iniciada se prolonga hacia el interior hasta producir el corte completo. La profundidad hasta la que debe penetrar la cuchilla para completar el cizallamiento está directamente relacionada con la ductilidad del alambre. El juego entre la cuchilla y el dado de salida es muy importante para la operación de cizallamiento; cuando la cuchilla está bien afilada y el juego es normal se produce una superficie de fractura limpia. En la práctica siempre se tendrá una pequeña distorsión del borde de corte. Si la cuchilla está gastada el corte no es regular ni bueno, sino que se produce una fractura rasgada y la energía necesaria para efectuar el corte es mayor; si el juego es excesivo hay una distorsión en el borde y la energía es mayor ya que será necesario deformar plásticamente más volumen de alambre antes que se produzca la fractura; cuando el juego es grande se produce con frecuencia rebabas o proyecciones agudas en el borde del corte. Si la cuchilla tiene el filo mellado hay tendencia a que se formen rebabas. El juego entre la cuchilla y el dado porta-alambre debe ser controlado.

Si se desprecia la fricción, la fuerza requerida para cortar un alambre metálico es función de: longitud del

corte, diámetro del alambre y la resistencia al cizallamiento del metal (1)

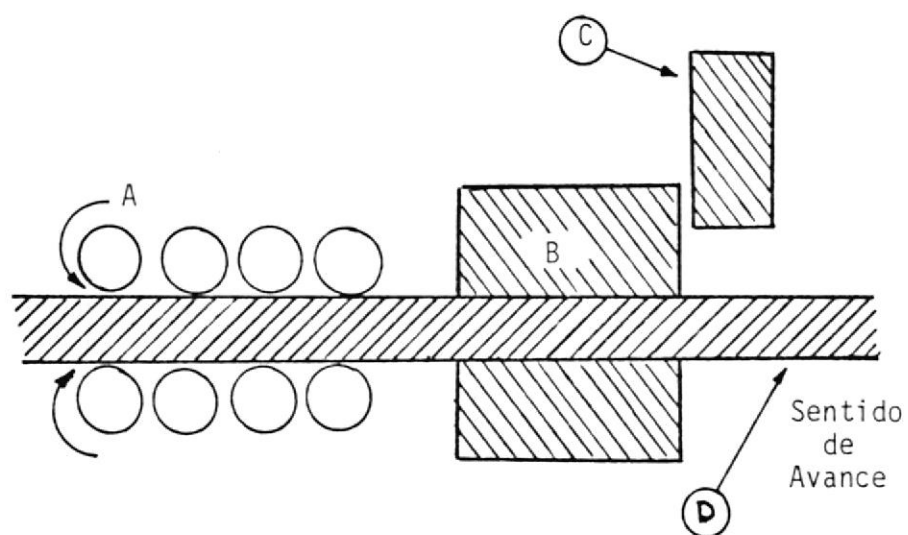
$$F_c = d_f^2 K \quad (1.5)$$

d_f = Diámetro del alambre

K = Resistencia al cizallamiento

El mecanismo de operación de corte se ilustra en la Fig. 7. Conforme se aplica la presión al alambre por medio de una cuchilla, se presentan concentraciones máximas de esfuerzo en los puntos en que el filo de la cuchilla hace contacto con el metal; en un corte defectuoso, cuando el claro es excesivo, se tiene mayor cantidad de metal bajo la influencia de la deformación plástica antes que tenga lugar la fractura. El claro permitido entre la cuchilla y el dado, depende principalmente del diámetro del alambre que se va a cortar, generalmente varía del 5 al 10% del espesor. Las aleaciones duras y frágiles tienden a agrietarse, después que ha tenido lugar la deformación plástica. En este caso se requiere un claro menor.

En cambio las aleaciones dúctiles sufren más deformación plástica antes que ocurra la fractura, se requie-



A = Rodillo de Enderezado

B = Guía porta-Alambre

C = Cuchilla

D = Alambre

Fig. N° 7.- Mecanismo de Operación de Corte

re un claro mayor.

La fuerza requerida para cortar materiales duros es mayor, la cantidad total de energía es generalmente menor, debido a que la carrera de trabajo es corta. Los filos de las cuchillas se distorsionan menos en caso de un metal duro. Para el corte de alambre es necesario que las cuchillas y el dado tengan las caras planas.

1.5 REVESTIMIENTO

La mezcla que constituye el revestimiento de electrodos sirve para mejorar la calidad de la soldadura. Las temperaturas que alcanza el arco son altas de modo que las reacciones, entre los gases presentes y el metal fundido son intensas. Dada la acción perjudicial de estos gases sobre las propiedades mecánicas resultantes, es evidente la conveniencia de proveer sobre la zona donde se efectúa la soldadura de una atmósfera protectora que evite o al menos minimice dichas reacciones.

La técnica usual para obtener la atmósfera protectora consiste en revestir la varilla metálica empleada como electrodo con sustancias que al ser sometidas al calor del arco produzcan vapores que sirvan para el fin men-

cionado (11).

1.5.1 Características del Revestimiento

Las sustancias que se emplean en la mezcla que constituye el revestimiento del electrodo deben poseer una o varias de las siguientes características:

- Proveer una atmósfera protectora
- Actuar como fundentes de los óxidos metálicos que están presentes en las piezas de soldar.
- Introducir en el metal fundido, vía escoria, elementos de aleación.
- Facilitar el arranque y mantenimiento del arco.
- Que se logre gran penetración.
- Para soldar en todas las posiciones.

Dependiendo del tipo de soldadura que se desea obtener algunos de los productos químicos usados corrientemente son: la celulosa (pulpa de algodón o de madera), que sirve de protección gaseosa y se utiliza en electrodos para soldadura de penetración profunda que resulta de la enérgica acción del arco que forma un chorro de material pulveri-

zados. Este tipo de revestimiento contiene un 30% o más de contenido celulósico (10).

El dióxido de titanio (TiO_2) o dióxido de rutilo (RuO_2) que sirve de protección para la escoria; el ferromanganeso que actúa como agente reductor o desoxidante; el asbesto para dar fuerza al arco y producir escoria; silicatos de sodio y potasio para ligar a los varios productos químicos y actuar como mordiente.

El revestimiento determina en gran parte las características de operación del electrodo, el mismo núcleo de alambre es usado para muchos electrodos ferrosos de bajo carbono. Es el agregado de los metales de aleación en el revestimiento lo que diferencia las propiedades físicas del metal depositado.

El revestimiento químico se llama fundente porque tiene el efecto de limpiar y mezclar la soldadura, parte del revestimiento se derrite y vaporiza por fusión del arco, formando un humo o cubierta de gas que protege del contacto con el aire a las finas gotas de metal proyectadas por

el arco, como al metal fundido; el aire contiene oxígeno y nitrógeno los que se combinan con el acero fundido formando óxidos y nitruros, la soldadura resulta debilitada por porosidad y fragilidad quedando reducida su resistencia a la tensión y al impacto.

Productos del fundente se mezclan y se derriten con el metal de soldadura, recogen las impurezas y las hacen flotar a la superficie del metal en fusión para formar la escoria, ésta protege el metal caliente del aire, retarda su solidificación para que los gases tengan tiempo de escapar y contribuye a darle forma al cordón. Luego que ha solidificado y enfriado el cordón la escoria se quita por su fragilidad dejando el cordón liso y brillante.

Estabiliza y dirige la fuerza del arco y las gotas de metal de relleno fundido, por tanto estabiliza el arco y facilita el soldar.

El revestimiento ha hecho posible la fabricación de electrodos para operar con corriente alterna en la soldadura, el arco formado por la corrien-

te alterna de 60 ciclos se apaga 120 veces por segundo, este problema se soluciona agregando algunos productos químicos al revestimiento, los que producen gases especiales ionizados que mantienen la continuidad del arco.

Sin la protección del fundente, la soldadura resulta con una resistencia a la tensión, una tercera parte más débil y con resistencia al impacto más baja debido a las impurezas y porosidades.

En forma general podemos decir que:

La composición del revestimiento es muy complicada ya que se trata de mezclas de materias orgánicas y materiales que van a desempeñar un papel determinado, bien durante la fusión o bien durante la solidificación.

1.5.2 Funciones del Revestimiento

Las funciones específicas que debe desempeñar el revestimiento son:

a) Función Eléctrica:

Los arcos eléctricos son inestables por efecto de su característica negativa debido al hecho de que la resistencia disminuye cuando la intensidad del arco aumenta, para conseguir estabilidad en el funcionamiento es preciso introducir en el circuito del arco una resistencia o mejor una autoinducción con una resistencia que se opone a las variaciones rápidas de la corriente por eso es imprescindible un medio fuertemente ionizado y por ello se agregan al revestimiento sales de sodio y de potasio, silicatos, carbonos, óxidos de hierro, óxidos de titanio, óxido de torio, etc., que son favorables para el cebado y mantenimiento del arco.

b) Función Física en cuanto a escoria

El revestimiento debe facilitar el soldeo en las diversas posiciones operativas, vertical, horizontal, sobrecabeza y proporcionar según sea su naturaleza un cordón reforzado o aligerado, por esta razón los electrodos volátiles o semi-volátiles son eficaces para realizar soldaduras

en diversas posiciones gracias a la formación de anhídrido carbónico por descomposición de los carbonatos.

La viscosidad de las esorias en la soldadura ejerce una clarísima influencia no solo en la obtención fácil de depósito en todas las posiciones, sino también en la protección total del metal fundido. Una escoria fluida facilita la velocidad de las reacciones y los intercambios entre escoria y metal. Por todas estas razones es necesario buscar, para la fijación del manganeso o de elementos especiales en un baño fundido así como para la desulfuración y la desfosforización de la soldadura, escorias poco viscosas como las producidas por los revestimientos básicos.

c) Función Metalúrgica

Los revestimientos contienen elementos estabilizadores y productos químicos que forman escorias metalúrgicas, tienen elementos reductores y ciertos elementos útiles que se fijan en el metal fundido con el objeto de mejorar las características mecánicas del depósito metálico.

Por esta razón para la preparación de la pasta de revestimiento para electrodos recubiertos 6010, 6011, 6013, 7018 que se fabrican por el proceso de extrusión, motivo de esta Tesis, se utilizan diferentes fórmulas de mezclado, tiempos empleados, proporciones de constituyentes, de aglomerantes teniendo en cuenta que hay que considerar la naturaleza del revestimiento y los propósitos para las cuales se van a utilizar estos electrodos (2).

Así tenemos que la pasta para los electrodos mencionados está compuesta por óxidos naturales (óxido de hierro, rutilo, sílice).

Silicatos naturales: (Caolín, talco, mica, feldespato).

Productos químicos: (Carbonatos, óxidos, etc.)

Productos volátiles: (Celulosas, serrín, etc.)

Fundentes: (Aglutinantes)

Ferroaleaciones: (Manganeso, silicio, titanio, etc.).

Aglomerantes: (Silicato de potasio, silicato de sodio, Asbestos, celulosas, etc.).

Todos estos compuestos adecuadamente combinados hacen que los electrodos den un arco estable, se pueda soldar en toda posición, la escoria sea poco voluminosa, también se adquiere gran penetración y una gran resistencia a la rotura.

1.6 EXTRUSION

Al comienzo del capítulo habíamos dicho que el proceso de extrusión consistía en la reducción de sección de un bloque de metal pasta, plástico, etc. mediante la aplicación de presiones elevadas que forzan a fluir a estos bloques o cilindros de material a través de un orificio o matriz.

En nuestro caso la extrusión nos va a servir para poder revestir a la varilla de acero con el material de revestimiento que se le da forma de cilindro y se lo denomina "pan de mezcla" en fabricación de soldadura.

Como la extrusión es directa se coloca el pan de mezcla preconformado en forma cilíndrica en una matriz y se hace incidir sobre ésta, un émbolo con su mandril de diámetro igual al del pan. La superficie anular formada entre la sección del émbolo y la del mandril

comprime al pan y lo extrusa para formar el revestimiento del alma o varilla de soldadura.

La varilla es alimentada desde una tolva, a través de un transportador alimentador.

La mayoría de procesos de extrusión se llevan a cabo en prensas hidráulicas que pueden ser horizontales o verticales según la dirección que se mueve al vástago.

Las matrices y utilajes deben resistir las más rigurosas condiciones de tensiones elevadas, choque térmico y oxidación.

Para la fabricación se emplean aceros de herramientas de alta aleación que tengan resistencia mecánica a las temperaturas elevadas.

La determinación del ángulo óptimo de extrusión en la matriz es un problema a resolver empíricamente ya que se han establecido pocas reglas generales; una vez que el electrodo está revestido pasará por medio de un transportador magnético, al proceso de escobillado para quitarle la mezcla en los dos extremos, el un extremo servirá para hacer contacto con el material a

soldar y el otro extremo hará contacto con el porta - electrodos.

Luego de pasar por el proceso de escobillado el electrodo así revestido pasará al horno de secado el cual está compuesto por diferentes secciones o túneles que están a diferentes temperaturas ascendentes para luego pasar por el último túnel que está a temperatura ambiente.

1.6.1 Variables de Extrusión

Las principales variables que determinan la fuerza necesaria para producir la extrusión son:

a) Presión de Extrusión

La presión de extrusión que se produce durante el proceso es la relación entre la fuerza de extrusión y la sección transversal del cilindro (pan de mezcla).

$$P = \frac{F}{A} \quad (1.5)$$

La elevación rápida de la presión, al principio

del recorrido del vástago (Fig. 8), se debe a la compresión inicial del pan hasta llenar el cuerpo de extrusión. En la extrusión directa la pasta empieza a fluir a través de la matriz al alcanzarse el valor máximo de la presión y luego, a medida que la extrusión prosigue, decrece la presión porque disminuye la fuerza de fricción al ser menor la longitud del pan que va quedando dentro del cuerpo. Cuando la longitud del pan se aproxima a cero, la curva se vuelve brusca - mente hacia arriba, al final del recorrido del vástago, si se intenta extrusar el disco delgado de pan que queda en la matriz.

Como no es económico desarrollar las elevadas presiones que serían necesarias para extrusar totalmente el pan de mezcla, se deja en el interior del cilindro un pequeño despunte o tope que se unirá con las siguientes extrusiones.

La curva de la extrusión directa variará con la longitud del pan y con la eficacia de la lubricación en la intercara entre el pan y el cuerpo.

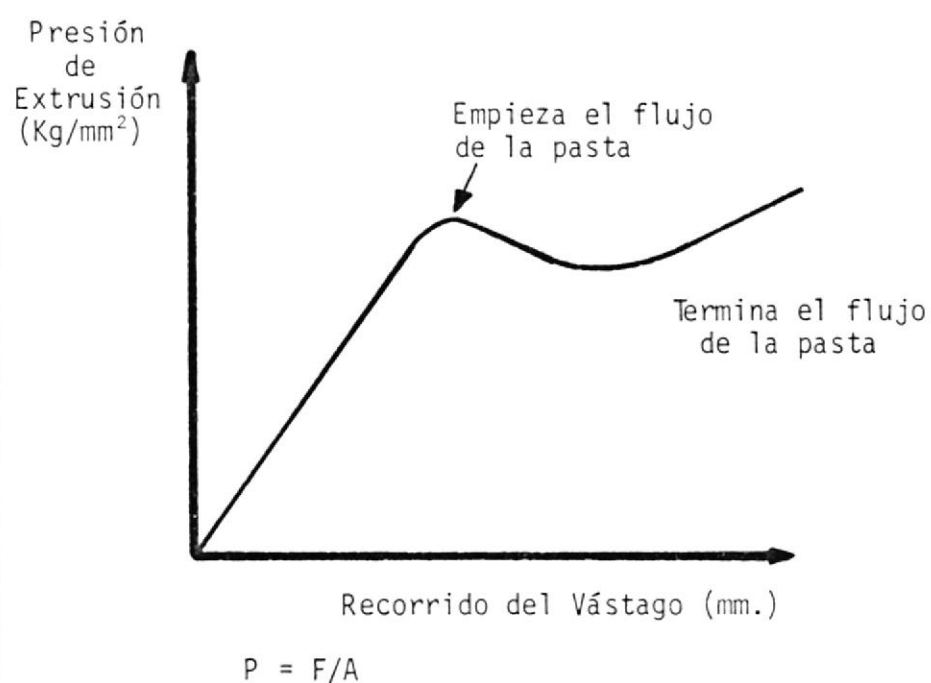


Fig. N° 8.- Presión de Extrusión en Función del
Recorrido del Vástago (Extrusión Directa)

b) Relación de Extrusión

Es la existente entre la sección transversal inicial del pan de mezcla y la que queda después de la extrusión.

$$R = \frac{A}{A_f} \quad (1.7)$$

La relación de extrusión para el electrodo será

$$A = \frac{\pi D_o^2}{4} \quad (1.8) \quad \text{Area inicial del pan de mezcla}$$

$$A_f = \frac{\pi D_f^2}{4} \quad (1.9) \quad \text{Area final del pan después de extrusión.}$$

pero el área final del revestimiento en el electrodo es:

$$A_f = A_2 - A_1 \quad (1.10)$$

$$A_f = \pi/4 (d^2 - d_f^2)$$

donde d, es diámetro de la varilla revestida, y reemplazando en la ecuación (1.7) de la relación de extrusión

$$R = \frac{D_o^2}{d^2 - d_f^2} \quad (1.11)$$

donde d_f , diámetro interior de la varilla, corresponde al diámetro final del alambre trefilado, la presión de extrusión es una función aproximadamente lineal del logaritmo natural de la relación de extrusión $P = \tau_o \ln A_o/A_f$ (1.12) con la hipótesis de que no hay fricción y que la deformación es uniforme, siendo:

τ_o = Límite elástico en las condiciones de temperatura y velocidad de deformación empleadas en la extrusión, (kg/mm²)

Esta ecuación predice una fuerza de extrusión que es por lo menos un 50% más bajo que la realmente observada. Esto ocurre porque la ecuación no tiene en cuenta factores como la deformación no homogénea del pan, la fricción en la matriz y la fricción entre el pan y el cuerpo.

El tratamiento analítico completo de estos factores es muy difícil e imposibilita el cálculo exacto de la fuerza de extrusión y la presión (un método gráfico basado en la teoría de los

campos de deslizamiento (3), para estimar el límite superior de la fuerza de extrusión ha sido propuesto por W. JOHNSON Proc. Inst. Mech. Engineers (Londres), Vol. 173, págs. 61-72, 1959).

Es frecuente que el límite elástico efectivo, o constante de extrusión se calcule a partir de la presión observada y la relación de extrusión, empleando la ecuación (1.12), asumiendo un tamaño dado del cilindro de mezcla, y condiciones de extrusión conocidas (prensa de capacidad fija).

Los panes de mezcla son de fácil extrusión, y se puede trabajar con porcentajes de relación de extrusión mayores de 100 mientras que aleaciones difíciles de extrusar no pueden extrusarse a relaciones mayores de $R = 20$ (3).

Si la variación de dimensión se expresa en % de reducción, se ve enseguida que pequeños incrementos en el tanto de reducción en la región del 90% van acompañados de grandes aumentos de la presión de extrusión. Por ejemplo casi se duplica la presión de extrusión cuando se aumenta el porcentaje de reducción del 95 al 99% lo cual equivale a un

aumento de la relación de extrusión de un 20%.

Las elevadas tensiones de compresión aminoran la posibilidad de agrietamiento. A pesar de ello se pueden producir grietas en la extrusión de formas no simétricas, como consecuencia del flujo desigual en las diferentes secciones.

c) Velocidad de Deformación

Si la velocidad del vástago aumenta, la presión de extrusión también aumentará. Si aumentamos aproximadamente diez veces la velocidad del vástago el incremento de presión será en un 50%, por eso la selección de las velocidades de extrusión y temperatura adecuada ha de hacerse por tanteos para cada mezcla y dimensiones del pan.

d) Temperatura de Trabajo

Para una temperatura determinada, es posible conseguir una mayor relación de extrusión, trabajando a una presión más alta.

La temperatura máxima del pan de mezcla en el supuesto caso que no existan limitaciones debidas a la resistencia mecánica de las herramientas y la matriz, debe ser inferior a la temperatura a que se puedan producir fusión incipiente o fragilidad en caliente durante la extrusión.

La elevación de temperatura en la extrusión estará determinada por la velocidad de extrusión y la magnitud de deformación.

e) Condiciones de Fricción en la Matriz y las Paredes del Cuerpo de Extrusión.

Las matrices y el utilaje empleados en la extrusión deben resistir las más rigurosas condiciones de tensión elevada, choque térmico, oxidación, abrasión, etc.

Para el proceso de extrusión se utilizan matrices planas con semi-ángulos de 90° . Este tipo de matriz es muy empleado, pero no es el óptimo; el ángulo óptimo es el resultado de un compromiso para lograr las presiones de extrusión más bajas y máxima duración de la matriz.

En matrices cónicas se emplean semi-ángulos menores de 45° .

Según las características del pan de mezcla, la determinación del ángulo óptimo es un problema a resolver empíricamente.

Hay que considerar también que la presión necesaria para producir extrusión depende de la forma en que la pasta fluya en el cuerpo de extrusión y en la matriz. Esto es importante ya que la deformación de la mezcla durante el proceso puede ocasionar algunos defectos en las piezas extrusadas.

Cuando la fricción entre el pan de mezcla y el cuerpo de extrusión es elevada, se produce intenso cizallamiento tanto en el pan de mezcla como en flujo de la mezcla a través de la matriz y si el pan tiene una resistencia al cizallamiento a lo largo de las paredes, quedará una película de pasta en el cuerpo de extrusión. A esto se le conoce como defecto de extrusión y produce un agrietamiento superficial en el primer pan que se extrusa debido al agarramiento instantáneo de

la mezcla en el campo de la matriz.

Considerando todas las variables anotadas en el proceso de extrusión, puede apreciarse que el flujo de la pasta durante el mismo en condiciones reales es demasiado complicado para que sea posible una solución analítica exacta respecto a dicho fenómeno.

Considerando el comportamiento en la extrusión de una palanquilla, se ha encontrado una expresión para la presión de extrusión a través de una matriz plana considerando el efecto de fricción entre la palanquilla y el cuerpo de extrusión (2).

$$P = \tau_0 \left[(\phi \ln R - 1) \exp \frac{4fL}{D} + 1 \right] \quad (1.13)$$

En la que :

R = Relación de extrusión

f = Coeficiente de frotamiento entre la palanquilla y el cuerpo de diámetro D.

L = Longitud de la palanquilla sin extrusar.

$\phi \approx 1.5$ = Factor de forma para tomar en cuenta el trabajo superfluo.

La ecuación (1.13) es aplicable a la extrusión de revestimiento de conductores eléctricos y electrodos revestidos.

En el caso nuestro la extrusión se realiza por medio de matrices cónicas, aquí el flujo se hace más uniforme a medida que los ángulos empleados son más pequeños para éste caso el coeficiente de frotamiento se calcula mediante la fórmula de Sachs.

$$\left(\frac{p}{\tau_0}\right) = \frac{1}{B} \left[1 + (1 + B) \left(\frac{D_f^2}{D_0^2} \right)^B \right] - \frac{\tau_{xb}}{\tau_0} \left(\frac{D_f^2}{D_0^2} \right)^B \quad (1.1)$$

donde:

p = Presión longitudinal de la prensa

τ_0 = Límite elástico (lbf/pie²)

$B = f/\tan \alpha$

siendo f = coeficiente de frotamiento y

α = ángulo del dado de extrusión

D_f = Diámetro final del pan de mezcla

D_0 = Diámetro inicial del pan de mezcla

τ_{xb} = Retrotracción entre el pan de mezcla y el cuerpo donde se extrusa el pan, que en nuestro caso es igual a cero, ya que no hay tracción sino compresión.

Por lo tanto, la fórmula de Sachs nos quedaría

$$\frac{P}{\tau_0} = \frac{1}{B} [1 + (1 + B) \left(\frac{D^2 f}{D_0^2} \right)^B] \quad (1.14)$$

1.6.2 Defectos de Extrusión

Debido a la deformación heterogénea en la extrusión directa el centro del pan de mezcla se mueve más rápidamente que la periferia y el resultado es una zona muerta que se extiende a lo largo de la superficie externa. El tipo indicado de flujo origina rechupes internos que se denomina defecto de extrusión. Esto sucede especialmente cuando se termina de extrusar un pan y se comienza con otro.

1.7 SECADO Y ENVASADO

El secado de electrodos se efectúa conforme a las especificaciones de cada fabricante, controlándose continuamente el grado de humedad el cual tiene gran importancia en las características de operación.

Los electrodos revestidos que salen de la prensa de extrusión pasan a transportadores que los conducen hacia

unos hornos para su secado definitivo.

Estos hornos continuos están diseñados para cocción de la pasta que cubre los electrodos. Normalmente están compuestos por varios túneles formando secciones, más un túnel adicional que es conocido como la sección libre para enfriamiento. Estas secciones están unidas por medio de cadenas de eslabones planos formando dos franjas sobre una superficie lisa continua para aproximar y colocar los electrodos en su lugar, los cuales son alimentados por dos bandas de goma con movimientos suaves de la máquina cepilladora. La transferencia de electrodos de una sección a otra tiene lugar fuera del túnel por medio de un mecanismo carrousel.

El secado es efectuado por un intercambiador de calor, el tiro de gases pasa por los departamentos del horno continuo para secar los electrodos por medio del calentamiento del aire interior.

Este aire se lo calienta hasta la temperatura adecuada por medio de ventiladores eléctricos combinados con generadores de calor.

El número y la longitud de las secciones puede ser fi-

jado de acuerdo con las necesidades del fabricante, cada sección consiste de un engranaje reductor de cabeza, un elemento de cabeza del horno (medidor de longitud) un segundo elemento de cabeza con cerca de 15 elementos y un sobrante o cabeza de mando.

El engranaje reductor y el cabezal de mando no están en los departamentos ni en los túneles por el tiro de aire caliente.

El cabezal de mando de la primera sección está conectado con el reductor de la segunda sección por medio del anillo del carrousel el cual transfiere los electrodos. Fig. 9.

Las otras secciones son similares a la primera.

En el transportador que se encuentra a la salida del último túnel. Fig. 10, se encuentra una máquina que tiene la función de colocar la marca y el tipo de electrodo, que servirá para su identificación. Los electrodos son recogidos y colocados en fundas plásticas con pesos estandard de 5 Kgs, luego se colocan en cajas de cartón las que son debidamente selladas para poder ser almacenados y transportados en condiciones

normales. El peso del paquete puede ser de acuerdo entre el comprador y el fabricante.

Los paquetes deben tener en su parte exterior una marca legible con la siguiente información: número de especificación, característica del electrodo, clasificación, tamaño standard y peso neto.

1.7.1 Encendido del Intercambiador

Para el encendido del intercambiador de calor del horno debemos considerar lo siguiente:

Activar el control eléctrico, el mismo que se encuentra a un costado del intercambiador, en la parte superior de este control se encuentra un botón que da paso a la corriente, y un botón que servirá para el encendido del motor eléctrico del quemador, una vez hecha esta operación procedemos a graduar el paso del gas que va a pasar a encender el horno, el paso de este gas debe ser cuidadosamente graduado para poder así obtener la temperatura propia de secado para cada tipo de electrodo.

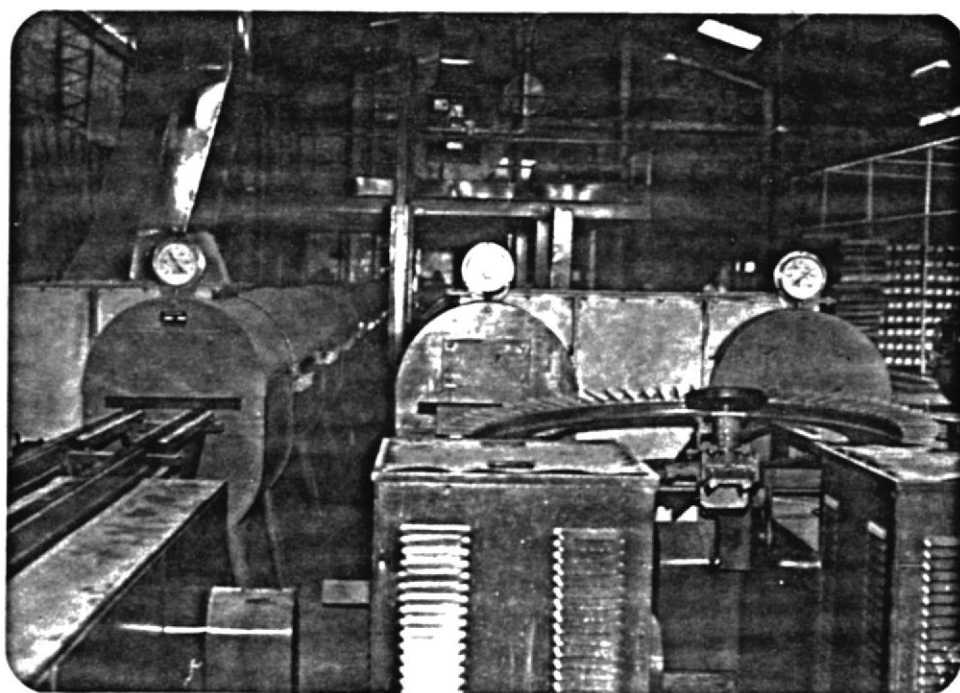


Fig. N° 9.- Horno Túnel con Mecanismo Carrosel para paso de Electrodo.



Fig. N° 10.- Salida del Horno, Sección Control de Marca, Peso y Embalaje del Electrodo.

1.7.2 Temperaturas utilizadas

El control de temperatura es realizado automáticamente por un presostato, que regula la entrada aire-combustible hacia el quemador, ubicado a la salida del aire caliente que se distribuye a través de los ductos del horno. En esta parte se encuentra un termómetro que indica la temperatura del aire que fluctúa entre 23°C mínimo a 340°C máximo para los electrodos que tienen una temperatura de secado de 200°C. y que regula la entrada aire-combustible al quemador. Cuando el horno ha alcanzado la temperatura normal de secado el aire que entra al intercambiador está a mayor temperatura lo cual significa que el presostato disminuye la entrada aire-combustible.

La regulación de temperatura en cada túnel se efectúa por unas compuertas de regulación de tres posiciones, controlando la temperatura en los termómetros colocados en la salida y entrada.

Para el secado del electrodo 7018, las temperaturas son distintas a las anteriores porque este electrodo es de bajo contenido de hidrógeno, por

lo tanto se necesita una temperatura de 450°C en el horno eléctrico.

Este electrodo una vez que sale de la prensa y pasa por el primer túnel es secado en bandejas para que seque en el medio ambiente por el lapso de 24 horas, para luego ser secado en un horno eléctrico a la temperatura de 450°C.

1.7.3 Velocidad de Transportadores

La velocidad de la cadenas es regulada por un reostato y ésta se efectúa por medio de un volante que va ubicado en el tablero de mando. Cada paso tiene su propio volante de regulación, permitiéndose con ésto una variación independiente para cada paso. Con la velocidad máxima el tiempo de recorrido por paso es mínimo. Es importante el control de humedad en cada uno de los pasos y la temperatura en cada túnel, de tal forma que se obtenga los electrodos dentro de las normas especificadas por la AWS.

1.7.4 Regulación de Humedad

La humedad en la fabricación de electrodos es

muy importante y afecta las características de soldabilidad (estabilidad del arco).

La Tabla 4 muestra los porcentajes de humedad recomendados para electrodos revestidos para soldadura.

Antes del envasado se controla la humedad y el revestimiento. Los datos que se tomaron para realizar estas pruebas se dan el Capítulo III.

CAPITULO II

TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 MATERIALES UTILIZADOS

En esta parte se incluyen los materiales empleados para la fabricación de electrodos 6010-6011-6013-7018, que son los que se producen en las fábricas de nuestro país; en la primera parte se da la composición química y propiedades mecánicas del acero empleado para formar el alma o núcleo, en la segunda parte se anotan los tipos de polvos y aglomerantes que constituyen la mezcla, así como fórmulas y tiempos de preparación para cada tipo de electrodo.

2.1.1 Aceros

Los aceros utilizados en la fabricación del alma o núcleo del electrodo deben cumplir los requisitos y especificaciones dadas por la AWS y ASTM, en el primer caso para la composición química y en el segundo caso para las propiedades

mecánicas.

El alambre utilizado en este trabajo tiene una composición parecida a un acero estructural SAE 1010 , para lo cual la composición química fue suministrada por uno de los fabricantes de soldadura del país y se describe en la Tabla 5, la misma que incluye un estudio comparativo entre los diferentes tipos de alambre que se encuentran en el mercado.

Las propiedades mecánicas del alambre, una vez que ha sido sometido al proceso de trefilado en 4 pasos (9). Para obtener un núcleo de 3.175 mm. (1/8") se dan en la Tabla 6.

2.1.2 Mezclas

Las sustancias que se emplean en la mezcla que constituyen el revestimiento del electrodo tienen las características siguientes: Proveer una atmósfera protectora; actuar como fundente de los óxidos metálicos que están presentes en las piezas de soldar; introducir en el metal fundido vía escoria, elementos de aleación; facilitar el

arranque y mantenimiento del arco; lograr gran penetración para soldar en todas las posiciones.

Por esta razón para la preparación de la pasta de revestimiento de los electrodos recubiertos que se han tomado como patrón para el desarrollo de esta Tesis, se utilizan diferentes fórmulas de mezclado, tiempos empleados, proporciones de aglomerantes teniendo en cuenta los propósitos para los que van a ser utilizados los electodos.

La materia prima que se utiliza en la preparación de la pasta es la siguiente:

Oxidos naturales como son, óxido de hierro (Fe_2O_3), Oxido de Silicio (SiO_2).

Silicatos naturales: Caolín, talco, mica, feldespato, cuarzo, bentonita, mármol, asbesto.

Productos químicos varios como: Cromato de Sodio, Fluorospato ácido, Carbonato de Calcio, Wollastonita (mezcla de $\text{SiO}_2 + \text{CaO}$), Carbonato de Potasio, Oxido de Rutenio, Titanato de Potasio, Bióxido de Titanio, Titanato de Sodio.

Productos Volátiles como: Celulosa, Serrín, Iduosil celuloso, Hidrocetil Celuloso.

Aglomerantes, como: Silicato de Sodio, Silicato de Potasio.

Además se utilizan los siguientes elementos: Rutilo fino, Rutilo granulado.

La función que cumplen los componentes descritos anteriormente es la siguiente:

Oxido de Silicio, Oxido de Rutilo y Oxido de Hierro se combinan con los óxidos metálicos presentes para formar una escoria fusible.

Sirve para protección del metal fundido. La escoria absorbe gran cantidad de Oxígeno y Nitrógeno evitando la formación de nitruros en la soldadura.

Los Silicatos naturales sirven para dar fuerza al arco y producir escoria.

Los productos químicos varios tienen diferentes funciones: Sirven para protección de la escoria, como desoxidantes, controlan el ritmo de fusión

del electrodo.

Los productos volátiles sirven para protección gaseosa y se utilizan en electrodos para protección de la enérgica acción del arco formando un chorro de material pulverizado.

Las ferroaleaciones actúan como agentes reductores o desoxidantes.

Los aglomerantes sirven para ligar los varios productos químicos y actúan como mordiente.

Habiendo descrito los elementos que constituyen la pasta, el revestimiento (polvos + aglomerantes), se pasa a describir la preparación de las fórmulas y mezclado para cada tipo de electrodo.

Para la fabricación del electrodo 6011 se procede de la siguiente manera: Polvo 177,2 Kg., Silicato de Sodio 11,14 Kg. + 3 Kgs. H_2O .

Tiempo de Mezclado.- Mezcla seca 10 minutos, adición del Silicato 10 minutos, Mezclado húmedo 20 minutos, Prueba Hidráulica 1600 a 1800 libras por

pulgada² (112,5 a 126,5 Kg/cm²).

Se deben mezclar los polvos antes de prensarlos para asegurar uniformidad en el compactado, para este fin se utiliza un molino mezclador de modo que trabaje como una molienda, hay que tener en cuenta que los polvos tienen que ser muy finos, por lo tanto, menos denso ya que si los polvos son pesados y de densidades diferentes tienden a segregarse hacia el fondo.

El tiempo de mezclado de los polvos es de 10 minutos; en ese tiempo se va depositando el silicato de sodio en un recipiente por medio de un tambor pequeño que se va pesando hasta completar la cantidad de 11,14 Kg, luego abrimos la llave para dejar caer el silicato en un tiempo de 10 minutos, cumplido este tiempo de adición se cierra la llave y se procede a dar un tiempo de mezclado en húmedo de 20 minutos. (Este mezclado húmedo ayuda a lograr una buena homogeneización). Estando los tiempos de seco, de adición y de humedad listos, procedemos a sacar un puñado de pasta y colocarlo en un cilindro de hierro, éste se coloca encima de un pistón hidráulico y se

aplica presión hasta que nos va botando la pasta que se encuentra en su interior en forma de espagueti, se controla la presión por medio de un manómetro acoplado a este aparato que debe alcanzar de 112,5 - 119,5 Kg/cm² (1600 - 1800 Lbs/pul²) que nos indica que la pasta se encuentra en buen estado para seguir los demás procesos; esta pasta fabricada es puesta luego en la máquina para prensar panes, que tiene la función de prensar la pasta en forma de cilindro llamado pan, éste se coloca en la máquina de extrusar para proceder a realizar el revestimiento a la varilla o núcleo por medio de extrusión.

El mismo procedimiento se sigue para la elaboración de los panes para la fabricación de electrodos 6010, 6013, 7018 con la diferencia en las fórmulas y tiempos de mezclado. En la Tabla 7 se muestran las diferentes fórmulas para cada tipo de electrodo y en la Tabla 8 los distintos aglomerantes.

2.2 EQUIPOS UTILIZADOS

En esta sección se incluyen los equipos que forman par-

te directa en la fabricación propiamente dicha como son: Molino mezclador de pasta, Prensa de hacer panes de mezcla, Alimentador de varillas, Prensa de extrusión y como parte complementaria del equipo se incluye un controlador de concentricidad de electrodos.

2.2.1 Mezclador de Pasta

Los componentes de la pasta de recubrimiento de electrodos son normalmente mezclados por medio de un mezclador, en el que se deposita los polvos componentes de la pasta, los terrones que pueden contener los polvos son finamente triturados por medio de una rueda trituradora diseñada para este propósito.

El mezclador de pasta que se describe a continuación es el que se utiliza en este trabajo, producido por una fábrica italiana líder en equipos para fabricación de electrodos:

Consta de una rueda trituradora de acero y unos rodillos giratorios ajustados en el asiento de la base.

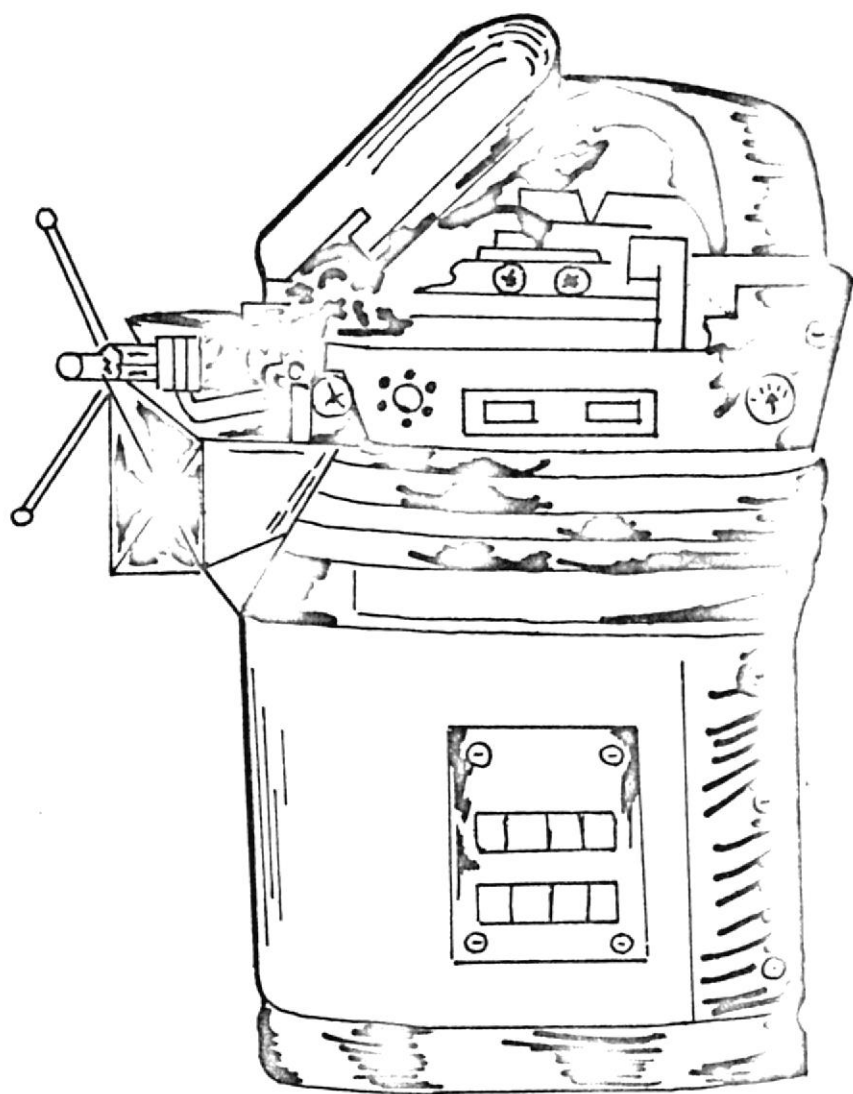


Fig. N° 11.- Mezclador de Pasta

La máquina consiste de una estructura compacta, cuerpo que descansa sobre bases formadas por soportes de hierro. Fig. 11. En un extremo tiene incorporada la unidad de control.

Por medio de una sección larga en forma de U, están conectados dos anillos con barras cruzadas de tal forma que protegen los mecanismos internos. Las coberturas son removibles para efectuar mantenimiento, dos de éstas son provistas con piezas tipo parrilla para efectuar control en la unidad neumática de la rueda.

El enfriamiento de la máquina se efectúa por chaquetas mediante flujo de agua.

La compuerta de descarga de pasta puede ser abierta fácilmente por medio de la operación manual de un volante, una vez abierta la puerta, la pasta es empujada por unos cuchillos empujadores y cae en un recipiente colocado bajo la puerta..

Esta pasta es fácilmente transportada a la prensa de hacer panes de mezcla.

La máquina está equipada con sistemas de seguridad de tal forma que cuando se haga una operación en la parte interna no funciona mientras no está asegurada y en función de servicio.

2.2.2 Prensa de Panes de Mezcla

La prensa hidráulica utilizada en el prensado de pasta para la fabricación de electrodos, es de accionamiento individual, y su accionamiento hidráulico consta de 2 bombas alta y baja presión, válvulas de circulación, depósito de aceite, distribuidores unidos a los cilindros principal y expulsor.

El cilindro principal es del tipo descendente. (Fig.12) y se utiliza principalmente para el moldeo abierto por compresión.

El prensado de la mezcla se usa para darle la forma deseada al cilindro o pan; el proceso se realiza en frío. La técnica más común de prensado en frío es la forma cilíndrica, tanto del punto de vista de la operación de prensado en sí, como en el aspecto de la manufactura del dado.



Fig. N° 12.- Prensa Hidráulica para Fabricación de
Pan de Mezcla.

El prensado de la mezcla se efectúa usando el principio del pistón de doble acción; es posible así obtener una densidad de prensado más uniforme.

Esta acción doble se obtiene permitiendo que el pistón del fondo se proyecte a través del fondo del dado, así el cuerpo del dado está "rotando" sobre los pistones. Como en este caso, tanto el pistón del fondo como el de la parte superior se mueven con respecto al dado, la mezcla estará igualmente compactada tanto en el fondo como en la parte superior y, por tanto, la altura del compactado podrá ser hasta el doble del diámetro.

De todas formas, aún empleando esta técnica, la parte central del prensado es menos densa que los extremos.

La relación de la altura de llenado a la de prensado se conoce como relación de compresión. Obviamente esta relación depende de la densidad del bulto de polvo y de la presión de compactación empleada. En la mayoría de trabajos se acostumbra a tener una relación de compresión que va de 2-3

a 1.

El dado de prensado en frío debe construirse con un acero de herramientas endurecido en aceite y del tipo no deformable, con una dureza Rockwell C de 40-50, sin embargo, es aconsejable usar dados con dureza menor que la máxima, para evitar posibles fracturas frágiles. El acabado se efectúa con una operación de pulido.

Las partes del dado deberán limpiarse cuidadosamente antes de realizar otro prensado de modo que se evite apretar mezcla suelta entre el dado y el pistón. Se aumenta la resistencia al desgaste y protege de la corrosión, revistiendo las partes del dado con un recubrimiento electrolítico de Cromo, para dados que se van a utilizar con polvos abrasivos, se puede emplear un acero de alto carbono y alto cromo. Ver Tabla # 9.

2.2.3 Alimentador de Varillas

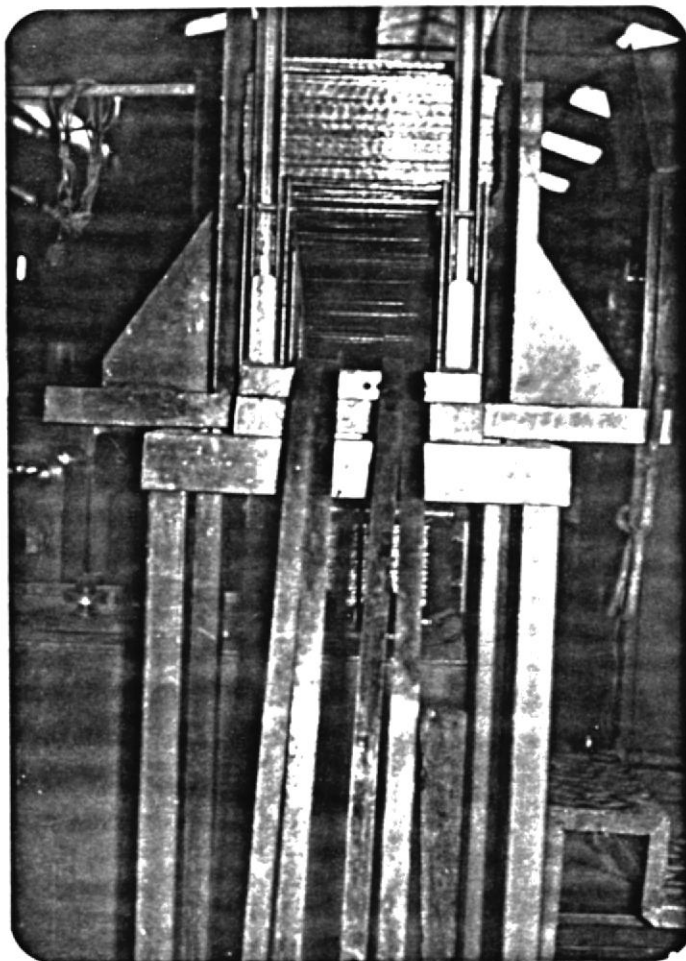
Está constituido por una tolva cuyo fondo es un plano inclinado, en la parte inferior tiene un orificio de forma rectangular. En esta tolva se

colocan las varillas, las que al caer a través del orificio se van alineando en forma de esterilla por medio de 2 rodillos guías alineadores, al llegar estas varillas al fondo son impulsadas por 4 rodillos de regulación de alimentación. (Fig. 13). Estos rodillos son accionados por un motor que mueve una excéntrica, las varillas impulsadas pasan a través de un platino guía hasta que entra al cabezal de la prensa de extrusión y salen revestidos.

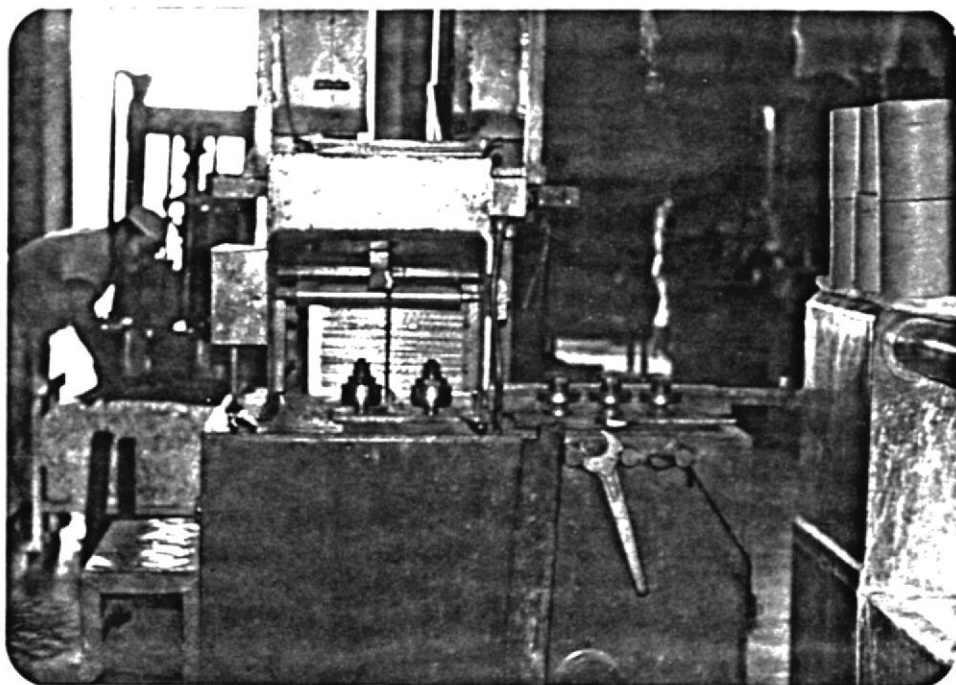
2.2.4 Prensa de Extrusión

El equipo utilizado en el recubrimiento del núcleo es una prensa hidráulica de extrusión.

Para mejor comprensión del equipo lo dividiremos en varios grupos que son los siguientes: La base de la máquina está constituida por una estructura de planchas soldadas sobre la cual están colocadas el grupo cilindro, el grupo recipiente o cabezal que está a la salida, donde se encuentran los accesorios (utilajes) para extrusión de la pasta; el grupo hidráulico con sus accesorios de control y regulación que se encuentran en la



a) Parte Posterior



b) Parte Frontal

Fig. N° 13.- Alimentador de Núcleos

parte posterior de la máquina. Unos descansos hechos en la estructura permiten que la pasta que queda pegada en las paredes del émbolo y el cuerpo salga del cilindro durante la presión y se colecciona en un recipiente ajustado a la base de la máquina que tiene una abertura especial. El grupo de control y mando eléctrico se encuentra en la parte exterior para el control de operación. El soporte de apoyo del cilindro es hecho con planchas de acero soldadas unas a otras. El cilindro hecho de acero forjado y la camisa del cilindro tiene una capa de durocromado de 0.3 mm. de espesor para dar mayor resistencia al desgaste, el cilindro es ajustado a la máquina a través de un hueco de control hecho en el cuerpo. En el interior del cilindro hay un pistón provisto de rines sellantes de aceite, son de caucho resistentes a la acción del aceite o de pasta, estos retenes garantizan hermeticidad, reducen notablemente las pérdidas provocadas por la fricción cuando se trabaja con presión baja.

El pistón cuyo vástago está recubierto por una capa de duro-cromado de 0,3 mm. que lo protege para un mejor funcionamiento de entrada y salida.

La pasta es empujada y comprimida por el pistón el cual corre horizontalmente presionado por la alta presión de la unidad hidráulica. Los controles de alimentación y retorno del pistón son operadas por micro switches de inicio y fin de carrera. Sobre el lado opuesto del cilindro hay un plato de asiento con un resorte de seguridad. En el final del vástago el cual sobresale fuera del cilindro está el cabezal hecho de hierro dulce con grafito esferoidal. Cuando el pistón entra en el cilindro recipiente, éste empuja la pasta hacia el cabezal distribuidor.

Al final del recipiente hay un buje con una brida y una tapa, que son parte de los accesorios del cabezal y todos los utilajes conectan con el paso de la posición del alambre, de manera que los espesores de la pasta son a todo lo largo de la circunferencia repartidos por igual, lo que se consigue centrando el plato portadado por 4 pernos. El grupo propulsor hidráulico consta de un depósito de aceite cuya capacidad es de 350 lts., una doble bomba de presión de aceite, un motor de 30 HP y su correspondiente equipo de mando hidráulico compuesto por válvulas de alta

presión (AP) para regulación de presión del cilindro, válvulas de restricción fija, check, válvula de tres posiciones, 4 vías accionadas por válvula solenoide, un enfriador de aceite cuyo líquido refrigerante es el agua, un filtro y el pistón con su respectiva camisa cuyas dimensiones son 222 x 125 x 800 mm. Los instrumentos de control están compuestos por un manómetro 0-350 Bar, un termómetro para medir la temperatura del aceite de 0-100°C dos micro switch que son los que controlan el inicio y fin de carrera, una perilla de graduación de presión. En la Fig. 14 se muestra el cabezal del equipo para extrusión, y en la Fig. 15 la prensa utilizada en este estudio. Además de las partes descritas que constituyen la máquina tenemos: Un tablero general de mando donde se encuentra el sistema eléctrico, compuesto de relays, contactores, temporizadores, tapones, fusibles, etc. Un tablero de control para cada máquina, el mismo que está compuesto por botones de accionamiento de cada máquina. La función de cada botón es como sigue:

Perilla de control paso general de energía eléctrica para energizar el tablero eléctrico, donde

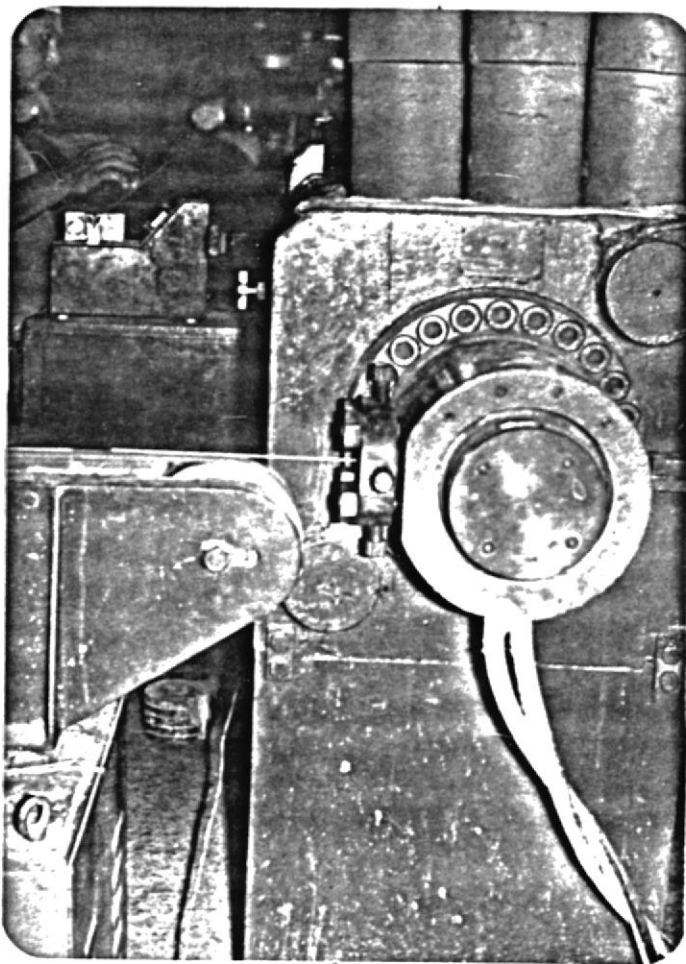


Fig. N° 14.- Cabezal de la Prensa de Extrusión



Fig. N° 15.- Prensa de Extrusión

se encuentran todos los botones del funcionamiento de la prensa. Botón de encendido de motor que acciona el escobillado, que comprende el funcionamiento de las escobillas de pelo de acero, que son los que sacan la pasta del extremo de la varilla que va al portaelectrodo, y del rodillo moleteado que elimina el exceso de pasta del otro extremo del electrodo para facilitar su contacto con la pieza a soldar. En la Fig. 16 se muestra la maquinaria utilizada en el escobillado.

Botón para encendido de motores de transportadores de bandas de goma, magnética y oruga.

Botón de encendido del alimentador de varilla, que es lanzado por medio de rodillos cónicos.

Botón de encendido de la bomba de aceite y hace funcionar el sistema hidráulico de la prensa.

Botón de encendido de avance del pistón cuando se carga el cilindro con la pasta.

Botón de encendido del paso al horno, hace fun-

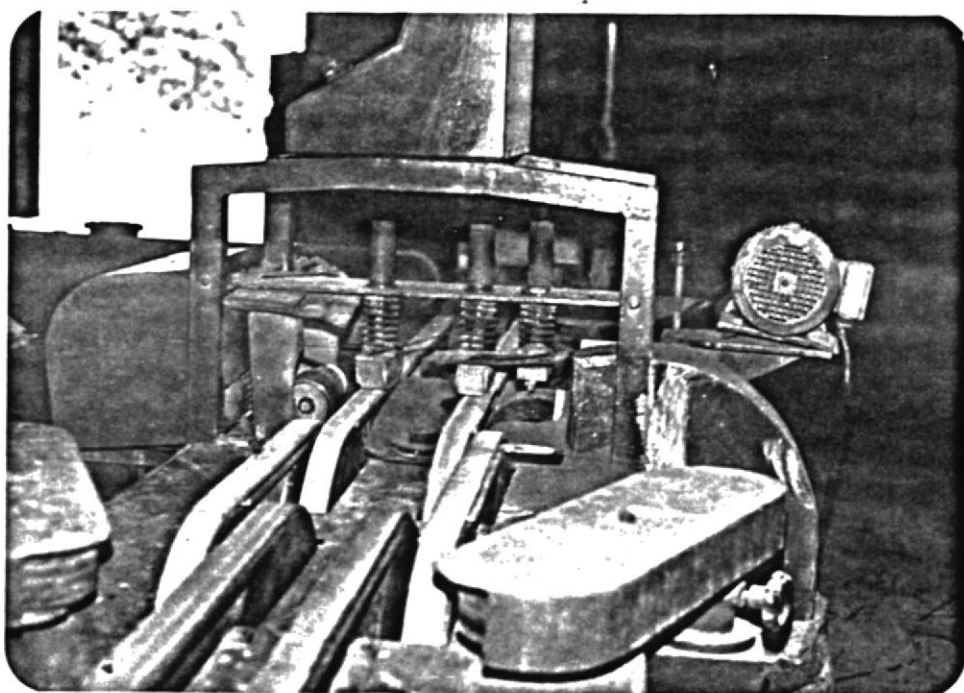


Fig. N^o 16.- Máquina Utilizada en el Escobillado de Electrodo.

cionar al transportador que pasa por el horno.

En la parte superior del tablero de control tiene unos botones de graduación de las velocidades de las bandas de goma, magnética, del escobillado y transportador de varilla.

Los utilajes que se emplean en la máquina de extrusión son los accesorios componentes del cabezal a la salida del recipiente. Fig. 17 , algunas de estas partes son cambiables según el electrodo que se está fabricando, y las otras son sometidas a desgastes por el poder abrasivo de la pasta y también hay que cambiarlas o rellenarlas cuando tiene desgaste mayor de lo normal.

Estos utilajes son los siguientes:

Doble cono

Boquilla corta

Cono Recto

Porta-boquilla delgado

Boquilla de salida

Guía con Widia

Guía larga de entrada

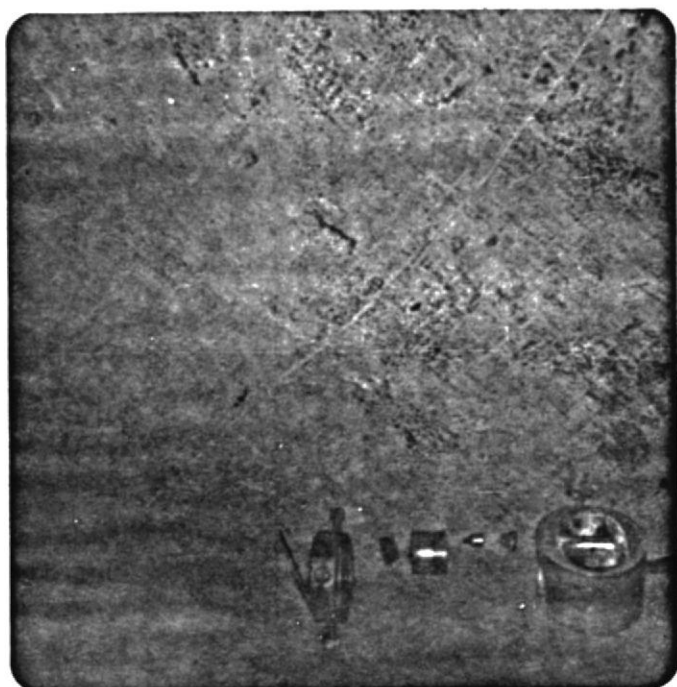


Fig. N° 17.- Utilajes empleados en la Prensa de Extrusión

Guía de bajada
Guía larga de salida
Rolletes rectos
Tuercas porta-dado
Guía alimentadora
Dados de Widia
Plato portadado
Nariz
Cabezal
Tuerca del Cabezal
Pistón de hierro fundido

En la Tabla 10 se dan los rangos entre los cuales los dados de Widia son utilizados.

2.2.5 Probador de Concentricidad de Electrodo

La medición de concentricidad del electrodo se realiza en un campo magnético entre dos bobinas de inducción, sin destruir el recubrimiento, las pruebas son realizadas en un par de dados provistos de asientos electromagnéticos (Fig. 18).

Para cada electrodo el punto cero debe ser ajustado normalmente. Para obtener una indicación si-

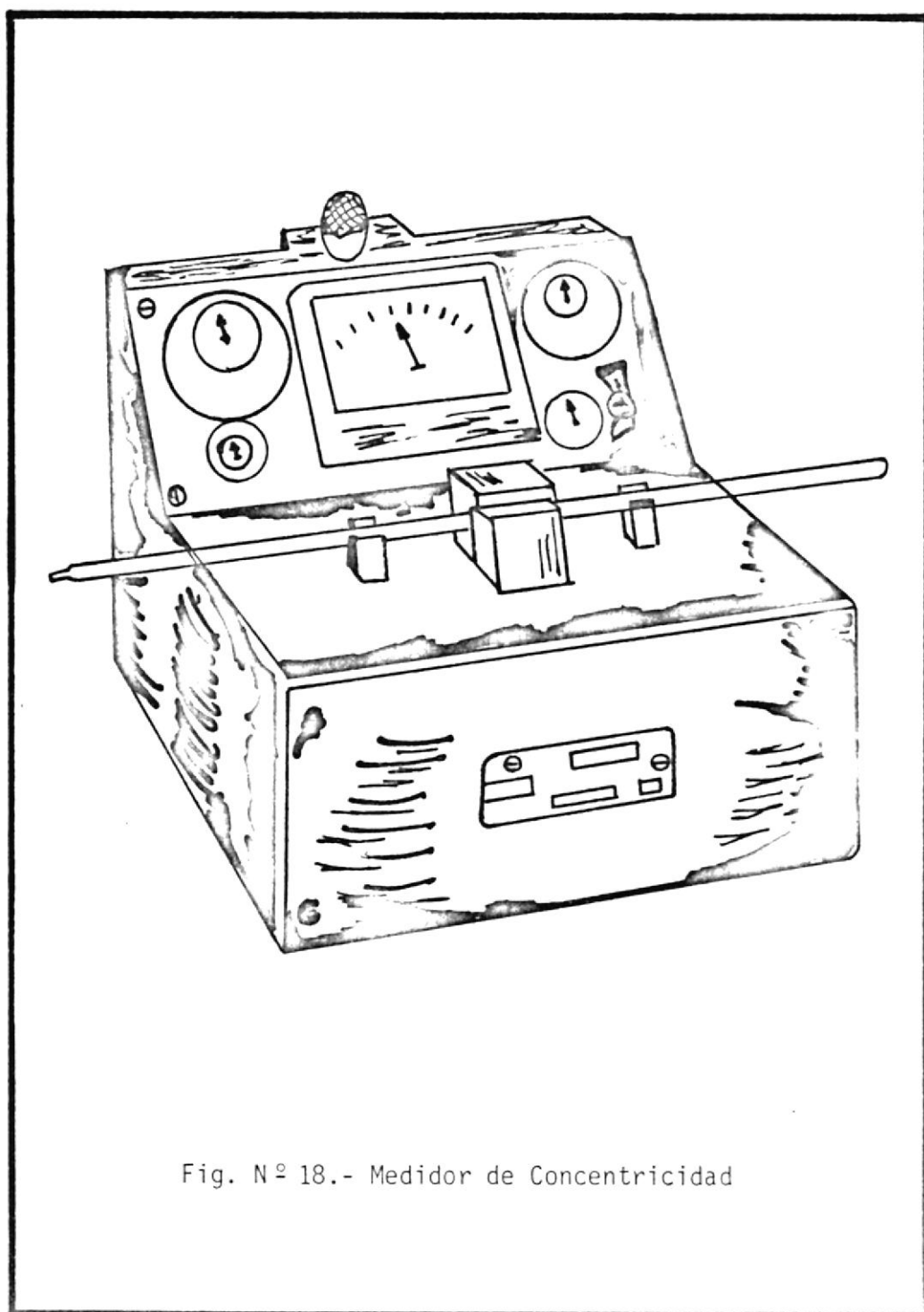


Fig. N° 18.- Medidor de Concentricidad

métrica en la lectura del medidor el probador está provisto de dos guías colocadas a los extremos de los dados electromagnéticos, lo cual asegura un perfecto alineamiento. El electrodo gira a través de una polea para probar la concentricidad.

La capacidad del probador es tal, que puede medir electrodos hasta de 12 mm. La escala del indicador está dividida en 1/100 mm. (1/1000 pulg.).

2.3 TECNICA OPERATIVA

La importancia que se obtiene en los resultados al realizar un estudio, radica en la forma como se realizan los trabajos y las pruebas, es decir, la técnica operativa que se emplea. A continuación se describen ciertos puntos que permitirán entender claramente la forma cómo se han realizado cada una de las secuencias del proceso. Para el caso del análisis de las variables que intervienen en la extrusión, se analizará sólo la obtención de electrodos 6011 de 1/8". Para obtención de electrodos 6010, 6013, 7018 con diferentes diámetros se procederá en forma similar.

2.3.1 Operación del Equipo

Para operar la prensa de extrusión se procede de la manera siguiente:

- 1) Los utilajes empleados en el cabezal de extrusión, deben estar de acuerdo con la varilla y electrodo que se va a revestir.
- 2) Chequear que el dado de Widia sea el apropiado para electrodos de $1/8"$ (3,175 mm), y que esté dentro de las tolerancias indicadas en la Tabla 10 de este Capítulo, Sección 2.2.4.
- 3) Chequear el alineamiento entre alimentador de varillas, cabezal, y transportador magnético.
- 4) Chequear que en la tolva del alimentador de varillas hay suficiente carga para un trabajo continuo.
- 5) Chequear que no haya fuga de aceite del sistema hidráulico.
- 6) Poner en funcionamiento el circuito de agua para enfriamiento.

- 7) Operar el pistón varias veces en vacío para operación de las válvulas de drenaje y eliminar el aire que contiene las líneas.
- 8) Prender el transportador de cadena que va hacia el horno continuo.
- 9) Prender el transportador de oruga.
- 10) Prender los motores que accionan el escobillado.
- 11) Prender el transportador magnético que está a la salida del cabezal.
- 12) Llenar el cilindro recipiente con tres panes de pasta.
- 13) Prender la carrera del pistón hacia adelante, graduando la presión a $224,4 \text{ Kg/cm}^2$.
- 14) Prender el motor que acciona la alimentación de varillas.
- 15) Una vez que han salido las primeras varillas

revestidas se comprueba la concéntrica del electrodo colocando en marcha lenta la alimentación de varillas. Si está correcto se pasa a marcha rápida, de lo contrario se detiene el trabajo para centrar correctamente el dado de widia.

16) Se pone velocidad normal al alimentador de varilla y se hacen otras pruebas de concéntrica del electrodo para asegurar que no presente fallas en el revestimiento y salga completamente liso.

17) Al momento que pasa el electrodo por el escombillado se controla que las bandas de alimentación centren correctamente al electrodo para que la eliminación de pasta en las puntas sea correcta.

18) Se mira el avance del pistón que indica el momento que la pasta está por terminarse y chequear cuando llega al micro de fin de carrera que automáticamente apague el alimentador de varilla.

19) Una vez que sale el pistón del cilindro, el

recipiente se carga nuevamente y se repite el proceso.

2.3.2 Obtención de Datos para el Estudio

La obtención de datos para el control de calidad están anotados en el Capítulo V, considerando los siguientes puntos:

- 1.- Cuidadosa preparación del equipo de utilajes empleados a la salida de varillas en la línea de corte; en la preparación de los panes de mezcla; salida de electrodos revestidos de la prensa extrusora y salida de electrodos terminados del horno continuo.
- 2.- Adecuado alineamiento de electrodos con respecto a los cepillos que eliminan la pasta en las puntas del electrodo.
- 3.- Controlando la presión hidráulica y temperatura para que el electrodo salga sin defectos.
- 4.- Controlando las velocidades de transportado-

res, temperatura a la entrada y salida del horno continuo.

5.- Control de humedad y pruebas de electrodos en la práctica.

Para el cálculo de las variables de extrusión a partir del trabajo experimental es necesario efectuar las siguientes consideraciones y tomar datos:

1.- Tipo de extrusión directa, se utilizan las fórmulas del primer capítulo (1 - 1).

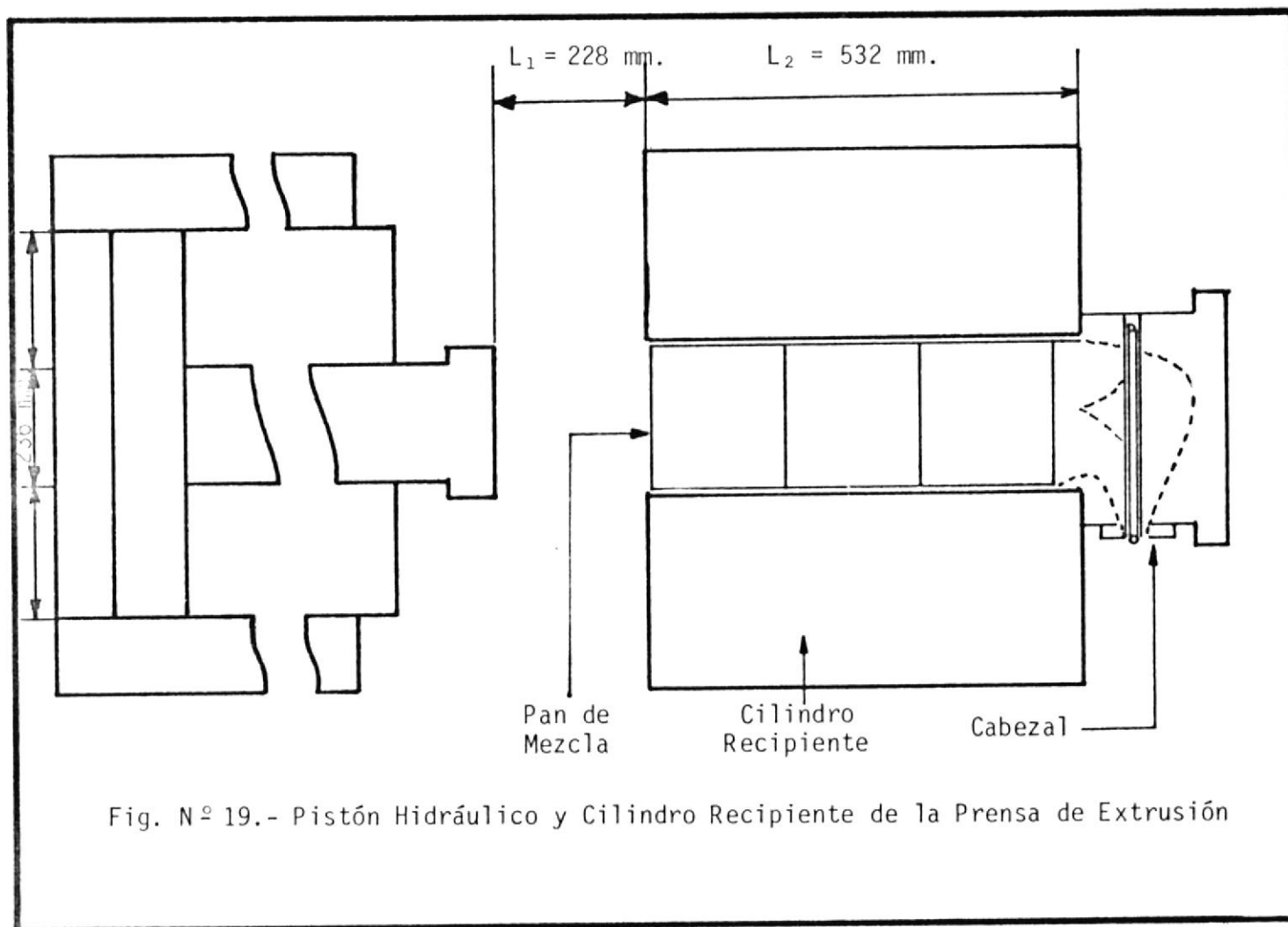
2.- Presión que trabaja la prensa = 220 BAR =
224, 4 Kg/cm².

3.- Distancia que avanza el pistón en vacío =
228 mm.

Distancia que avanza el pistón con carga
 $L_2 = 532$ mm. (Ver Fig. 19).

4.- Tiempo que demora en extrusar tres panes de mezcla.

Tiempo que avanza el pistón en vacío $T_1 = 4$ seg.



Tiempo que avanza el pistón con carga

$$T_2 = 4 \text{ min.}$$

5.- Diámetro del electrodo revestido $d = 0.184$
pulg. (4,67 mm.)

6.- Diámetro de la varilla
 $d_f = 0.125$ pulg. (3.175 mm).

7.- Temperatura de trabajo 56°C

8.- Dimensiones del cilindro de mezcla

$$L_p = 175 \text{ mm.}$$

$$D_o = 147 \text{ mm.}$$

$$W_p = 4.5 \text{ Kg.}$$

9.- Caudales de las bombas

$$Q_1 = 120 \text{ lts/min}$$

$$Q_2 = 30 \text{ lts/min.}$$

10.- Diámetro del cilindro hidráulico ϕ 236 mm.

CAPITULO III

CALCULO DE LAS VARIABLES DE EXTRUSION

Los cálculos de las variables de extrusión que intervienen en la prensa extrusora serán para la fabricación de electrodos E6011 de 3,175 mm. (1/8") de diámetro; para efectuar los cálculos de estas variables en electrodos E6010, E6013, E7018 se deberá proceder de igual forma, dependiendo del diámetro que se está fabricando.

3.1 RELACION DE EXTRUSION

Habíamos dicho en el Capítulo I que la relación de extrusión es la relación que existe entre el área inicial transversal del pan de mezcla y el área después de la extrusión. Por tanto:

$$R = \frac{A}{A_f}$$

donde: A es el área inicial del pan de mezcla

Af es el área final del revestimiento de la varilla.

El pan que entra en la prensa es de forma cilíndrica y tiene un diámetro de 147 mm.; la prensa extrusa el pan y reviste a un alambre de 3,175 mm. (1/8 pulg.) de diámetro, quedando el alambre con un diámetro final promedio de 4,67 mm. entonces el área final de extrusión del pan es:

$$A_f = \frac{\pi (D_o^2 - d^2)}{4}$$

$$A_f = \frac{\pi [(4.67)^2 - (3.17)^2]}{4} \text{ mm}^2$$

$$A_f = 9.23 \text{ mm}^2$$

El área inicial antes de la extrusión es:

$$A = \frac{\pi D_o^2}{4} = \frac{\pi (147)^2}{4} \text{ mm}^2$$

$$A = 16971 \text{ mm}^2$$

La relación de extrusión será

$$R = \frac{16971}{9.23} \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2}$$

$$R = 1838,6$$

3.2 LIMITE ELASTICO

El límite elástico está dado por la fórmula

$$\tau_0 = \frac{F}{A \ln A / A_f}$$

Siendo F la fuerza que ejerce el pistón sobre el pan, como

$$F = P \cdot A ; \text{ entonces}$$

$$P \times A = \tau_0 A \ln \frac{A}{A_f}$$

$$P = \tau_0 \ln A / A_f$$

$$\tau_0 = P / \ln \frac{A}{A_f}$$

donde: p = presión de la prensa = 224.4 Kg/cm²

$$R = \frac{A}{A_f} = 1838,6$$

Por lo tanto el límite elástico será:

$$\tau_0 = 29,87 \text{ Kg/cm}^2$$

3.3 COEFICIENTE DE FRICCION

El cálculo del Coeficiente de Fricción se lo realiza

mediante el empleo de la fórmula de Sachs descrita en el Capítulo I, en la que

$$\frac{P}{\tau_0} = \frac{1}{B} [1 + (1 + B) \left(\frac{D_f^2}{D_0^2}\right)^B]$$

p = Presión de la prensa = 224.4 Kg/cm²

τ_0 = Límite elástico = 29,87 Kg/cm²

$B = f/\text{tg}\alpha$ siendo f = coeficiente de fricción

α = ángulo del dado = 14°

D_f = Diámetro final (varilla + pasta) = 4.67 mm.

D_0 = Diámetro inicial = 147 mm.

Reemplazando tenemos

$$\frac{224.4}{29.87} = \frac{1}{B} [1 + (1 + B) \left(\frac{(4.67)^2}{(147)^2}\right)^B]$$

$$B = 0.1815$$

Como $B = f/\text{tg}\alpha$ entonces

$$f = B \text{ tg } \alpha$$

$$f = 0.1815 \text{ tg } 14^\circ$$

$$f = 0.1815 (0.25)$$

$$f = 0.0453$$

3.4 VELOCIDAD

La velocidad de avance del pistón está dada por el volumen del espacio que es llenado el cilindro y el caudal entregado por la bomba.

La fórmula $Q = V_p \times A_c$ nos relaciona:

Q = Caudal entregado por la bomba

V_p = Velocidad de avance del pistón

A_c = Area del cilindro

Del Gráfico # 7 que se refiere al sistema hidráulico de la prensa de extrusión, las dos bombas trabajan al mismo tiempo, cuando el pistón avanza al cilindro recipiente, luego los caudales Q_1 y Q_2 se suman

$$Q_1 = 120 \text{ lt/min}$$

$$Q_2 = 30 \text{ lt/min}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 150 \text{ lt/min} = 2500 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

El volumen del cilindro que entregan las bombas cuando avanza el pistón en vacío es:

$$V' = A_{cx} h = 438.43 \times 22.8 = 9.997 \text{ cm}^3$$

El tiempo que demora en entregar este volumen las bombas es de 4 seg.

El caudal real que entregan las bombas es:

$$Q_3 = \frac{V'}{t_1} = \frac{9.997 \text{ cm}^3}{4 \text{ seg}} = 2.499,25 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

La velocidad V_1 cuando el pistón avanza en vacío es

$$V_1 = \frac{Q_3}{A_C} = \frac{2.499,25}{438.43} = 5.7 \text{ cm/seg}$$

$$V_1 = 5.7 \text{ cm/seg}$$

El volumen del cilindro que entregan las bombas, cuando el pistón está con carga es:

$$V'' = A_C \times h_2 = 438.43 \times 53.2 = 23.324,5 \text{ cm}^3$$

El tiempo que demora en entregar este volumen las bombas es de 240 seg.

El caudal real que entregan las bombas

$$Q_3 = \frac{V''}{t_2} = \frac{23.324,5}{240} = 97.18 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

La Velocidad V_2 cuando el pistón avanza con carga es:

$$V_2 = \frac{Q_4}{A_C} = \frac{97.18}{438.43} = 0.221 \text{ cm/seg.}$$

$$V_2 = 0.221 \text{ cm/seg}$$

Análisis de la velocidad cuando el pistón retorna:

$$Q = 2500 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$A_R = 0.7854 (D^2 - d^2)$$

$$V_R = \frac{Q}{A_R} = \frac{2500}{328.1} = 7.61 \text{ cm/seg}$$

$$V_R = 7.61 \text{ cm/seg}$$

3.5 TEMPERATURA

La temperatura del fluido (aceite) es importante controlar para evitar cambios en la viscosidad y determinar con precisión la viscosidad de trabajo del líquido a fin de que la bomba funcione con elevada lubricación y rendimiento volumétrico. Si la presión aumenta, la temperatura del fluido será más alta y mayor será el cambio de viscosidad.

Los cambios de viscosidad en el aceite influyen en el

rendimiento y funcionamiento de una máquina. El deterioro de un aceite por oxidación se debe al exceso de calor generado en algún punto del sistema.

La diferencia entre la energía que entra al sistema hidráulico y la que éste suministra en forma de potencia mecánica representa la energía transformada en calor.

En la prensa hidráulica se usa un intercambiador de calor por agua a contracorriente, este dispositivo enfría al aceite según las condiciones que se requieran. Las condiciones en que trabaja el intercambiador son:

Temperatura máxima del agua: 20 °C

Temperatura máxima del aceite: 60 °C

Presión del Agua de: 1-3 Kg/cm²

Presión máxima del aceite: 340 Kg/cm²

Luego en el sistema del circuito de aceite está instalado un termómetro para controlar la temperatura y de esta forma regular el flujo de agua hacia el intercambiador manteniéndose siempre la temperatura entre los 50-55 °C.

CAPITULO IV

ENSAYOS Y CONTROL DE CALIDAD DE ELECTRODOS

4.1 ENSAYOS MECANICOS

Para someter a prueba el metal depositado mediante arco eléctrico, y realizar los ensayos experimentales se utilizaron probetas longitudinales confeccionadas de electrodos, E6011 de 3,175 mm. (1/8") de diámetro, fabricados en una empresa local; el alambre utilizado en la fabricación de estos electrodos tiene un contenido de carbón bajo. La composición química media puede verse en la Tabla 11.

Las pruebas a que fueron sometidas estas probetas, Fig. 20. fueron con el propósito de encontrar las propiedades mecánicas adquiridas por el metal depositado mediante arco eléctrico, eliminando algunas variables, tales como diseño de juntas y análisis del metal base. etc.

Estos ensayos mecánicos fueron realizados en los ta -

lles y laboratorios de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

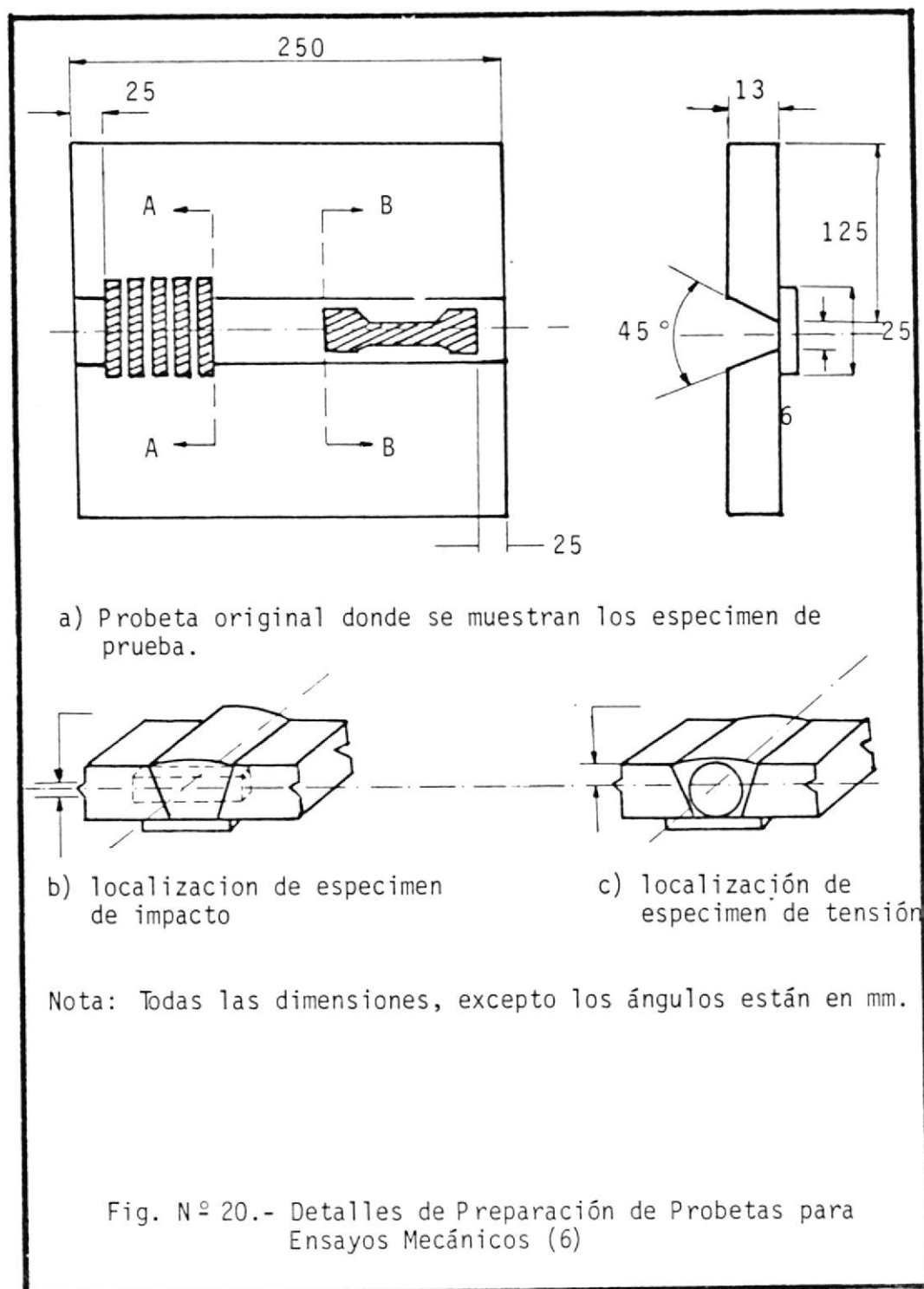
4.1.1 Ensayos de Tracción

El ensayo de tracción consiste en someter una probeta a carga axial de tracción creciente, la cual va pasando por los diferentes límites mecánicos hasta que se produzca la rotura.

Con este ensayo de tracción obtenemos información sobre la resistencia mecánica del material como son: el punto de fluencia, resistencia a la tracción, porcentaje de alargamiento y reducción de área que son factores muy importantes para poder seleccionar el electrodo adecuado para la unión de piezas que requieran estas condiciones.

Para realizar este ensayo maquinamos las probetas de tal manera que adquieran la forma y medición requerida por las normas de la AWS. Ver Fig.24.

Las probetas elaboradas con material depositado



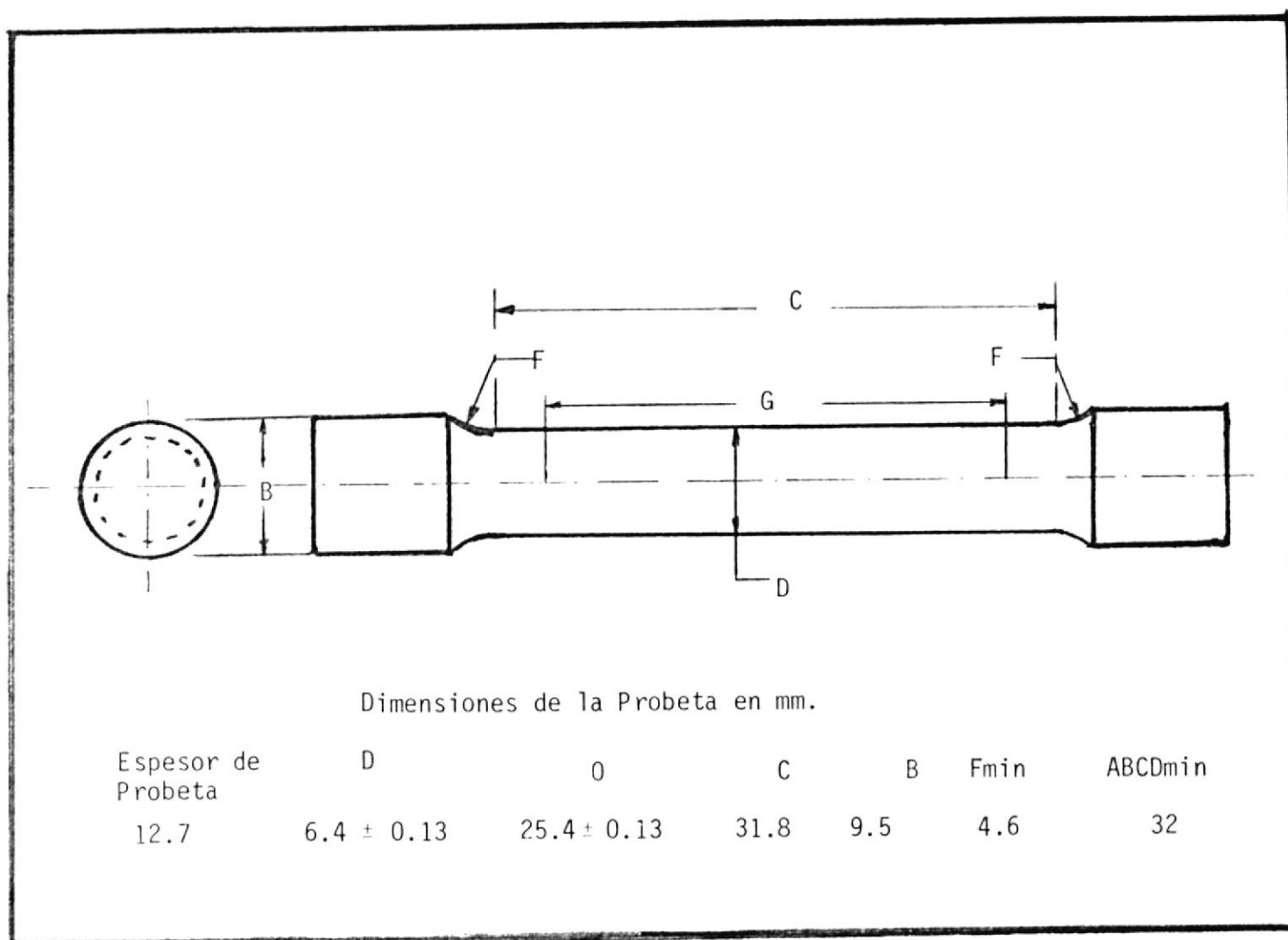


Fig. N° 21.- Probeta de Metal de Soldadura para ensayo de Tracción

E6011, por tratarse de electrodos que no son de bajo contenido de hidrógeno, se las sometió a un proceso de envejecimiento a 94°C - 105°C durante 48 ± 2 horas, con el propósito de liberar este gas.

La máquina en que se realizó el ensayo de tracción que posee la Escuela Superior Politécnica del Litoral se denomina "Máquina Universal de Ensayos" INSTRON 1230. El rango de aplicación de carga es de 100 hasta 50.000 Kg. El rango del papel que hemos escogido para el ensayo es de 5.000 , o sea que cada cuadro del papel que usa la máquina equivale a 50 Kg.

La velocidad de ensayo del material es de 10 mm/min. La velocidad de carta (del papel) es de 50 mm/min.

Los valores que la máquina nos grafica son de carga en Kg.

Para poder medir el alargamiento de la probeta después del ensayo, marcamos en la probeta (antes del ensayo) distancias equivalentes a 5 veces el

diámetro de la misma, después de producida la rotura del material (Fig. 22) volvemos a medir la probeta y por diferencia entre la longitud inicial y la final obtenemos el alargamiento producido.

En la curva de tracción que se grafica durante la prueba podemos observar los puntos o límites de las cargas de fluencia (P_e), cargas de tracción (P_t) y cargas de rotura (P_r). Ver Gráfico 1.

Para el cálculo de estos puntos o límites empleamos la fórmula

$$\tau = \frac{P}{A_0}$$

dond : P = carga aplicada a la probeta en Kg.

A_0 = Area inicial de la probeta

Cálculo del límite elástico.- Se lo define al Límite Elástico como la tensión máxima que al cesar de actuar no produce deformaciones permanentes en el material; para nuestro caso este punto sería en

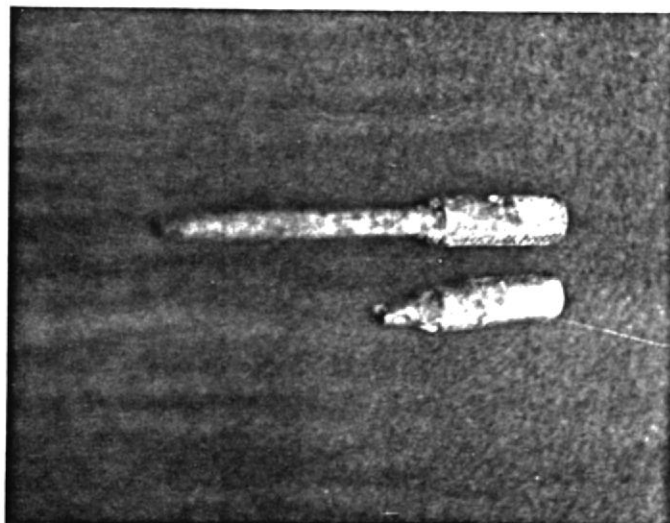


Fig. N° 22.- Probeta de Soldadura E 6011
 $\phi 3.175$ (1/8") después del
Ensayo de Tracción

$$\tau_e = \frac{P_e}{A_0} = \frac{1150}{33,79} = 34,03 \text{ Kg/mm}^2$$

Cálculo del límite de Fluencia.- Es la tensión superior al límite elástico a partir de la cual el alargamiento crece sin que haya un aumento de la carga:

$$\tau_f = \frac{P_f}{A_0} = \frac{1250}{33,79} = 36,99 \text{ Kg/mm}^2$$

Cálculo de la Resistencia de Tracción.- Conforme aumenta la carga aplicada sobre la probeta, el esfuerzo y la deformación se incrementa

$$\tau_t = \frac{P_t}{A_0} = \frac{1700}{33,79} = 50,31 \text{ Kg/mm}^2$$

Cálculo de la Resistencia a la Rotura para E6011

$$\tau_r = \frac{P_r}{A_0} = \frac{1200}{33,79} = 35,51 \text{ Kg/mm}^2$$

Cálculo del alargamiento para la probeta de E6011.- El porcentaje de alargamiento es la relación entre el aumento de longitud de la distancia entre dos puntos de la probeta y la longitud original de estos dos puntos multiplicados por 100.

$$\text{Alargamiento } \% = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

Donde: L_f = Distancia entre los dos puntos después de producirse la fractura.

L_o = Distancia original entre los puntos

Por lo tanto, para el alargamiento de la probeta a base de soldadura tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Alargamiento } \% &= \frac{58.90 - 48.00}{48.00} \times 100 \\ &= 22.7\% \end{aligned}$$

4.1.2 Ensayo de Doblado

Para realizar los ensayos de doblado es conveniente que la operación se efectúe permitiendo el escurrimiento libre del material, para lo cual, las normas AWS recomiendan efectuar el doblado sobre los nervios longitudinales, debiendo las barras soportar un ángulo de doblado de 180° , se deberá usar un diámetro de mandril determinado para cada dimensión de la probeta como se observa en la Fig. 23.

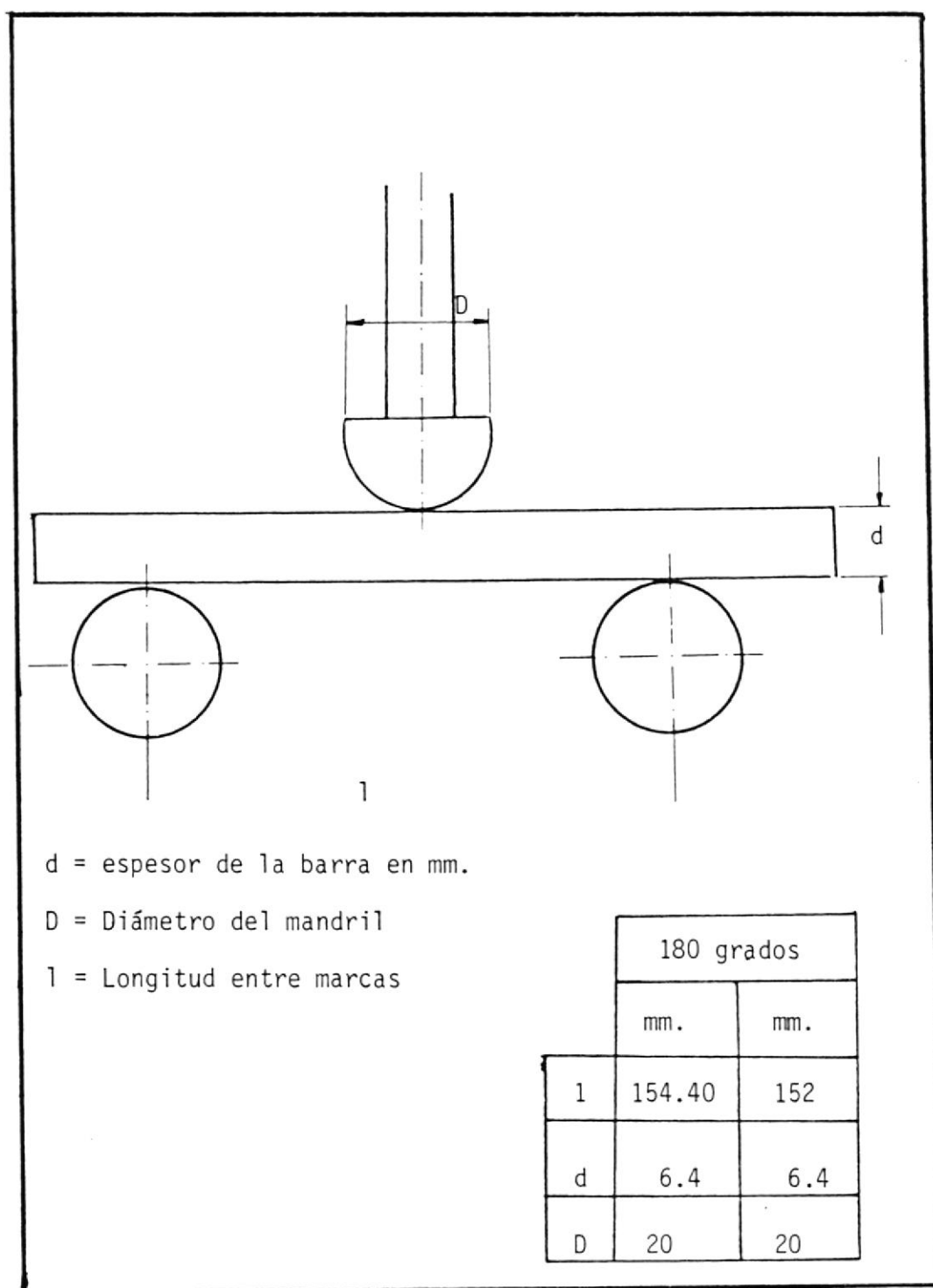


Fig. N° 23.- Esquema del Ensayo de Doblado (2 Pruebas)

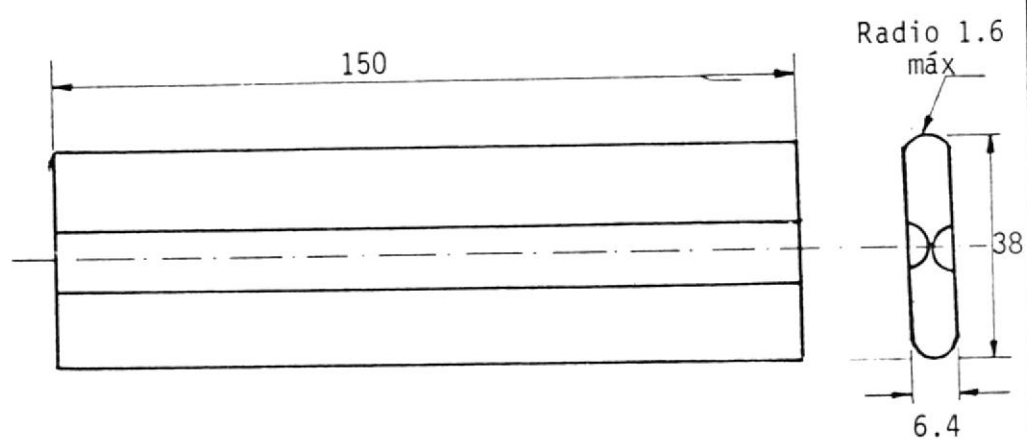
El propósito de efectuar el ensayo de doblado es para verificar la homogeneidad de la soldadura, así como también los poros e inclusión de escoria que se traducen en agrietaduras del depósito.

El diámetro de mandril que se utiliza es de 20 mm. La temperatura de ensayo 27°C. La velocidad de ensayo es de 10 mm/min. y Presión 12.50 lbs de compresión.

Para extraer las probetas para esta prueba se siguieron los detalles dados por la AWS según se muestra en la Fig. 24. Los extremos deberán ser maquinados levemente, las superficies pulidas y las marcas tienen que ser paralelas a la longitud de la soldadura. En la Fig. 25 se muestran las probetas después del doblado.

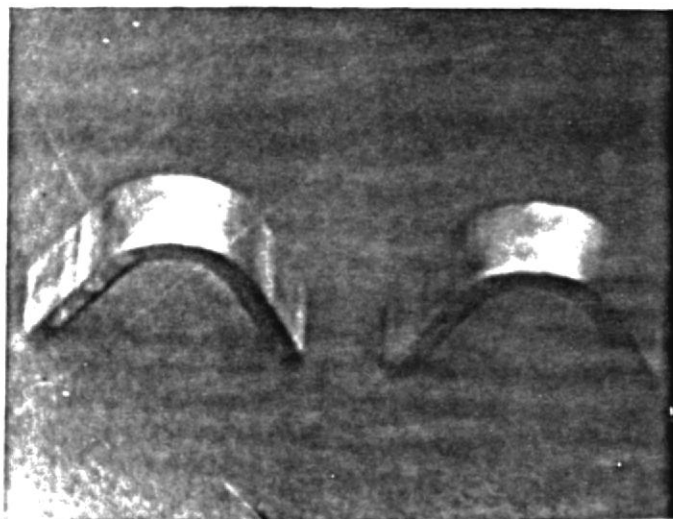
4.1.3 Ensayo de Impacto

Aunque la tenacidad de un material puede obtenerse calculando el área bajo la curva en el diagrama esfuerzo-deformación, la prueba de impacto indica la tenacidad relativa, la probeta se construyó como se indica en la Fig. 26 y fue colocada en la máquina de ensayo para determinar tenacidad

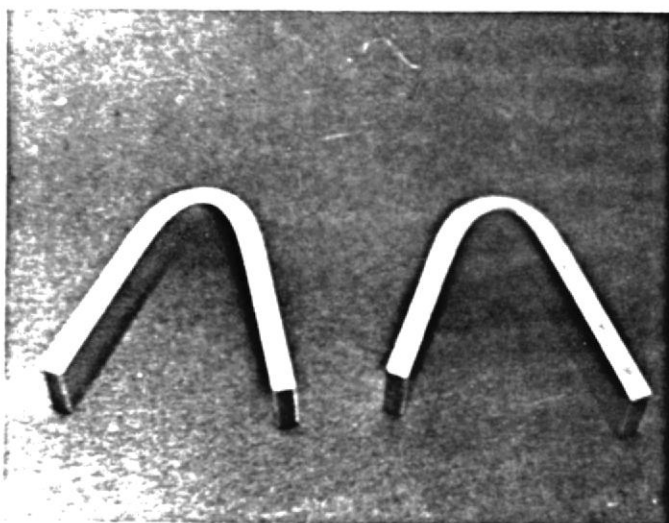


SI EQUIVALENTE	
mm	Pulg
1.6	1/16
6.4	1/4
38	1 1/2
150	6
200	8

Fig. N° 24.- Probeta con Metal de Soldadura en el Centro para Prueba de Doblado.



a) Vista Superior



b) Vista Frontal

Fig. N° 25.- Probetas después del Ensayo de Doblado

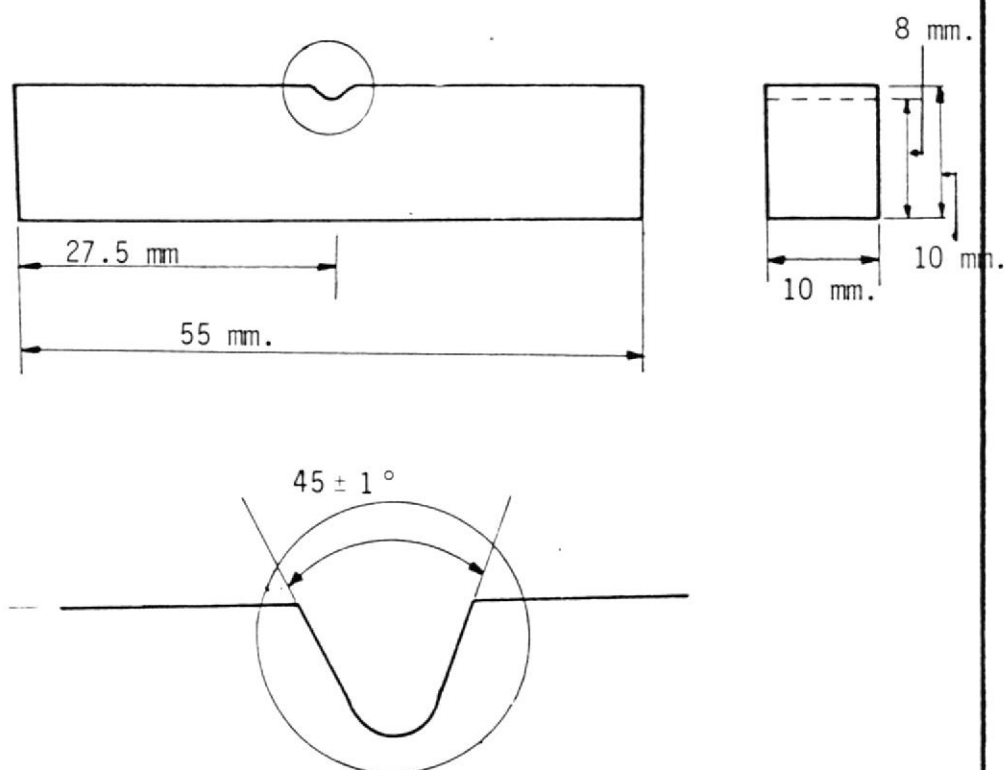


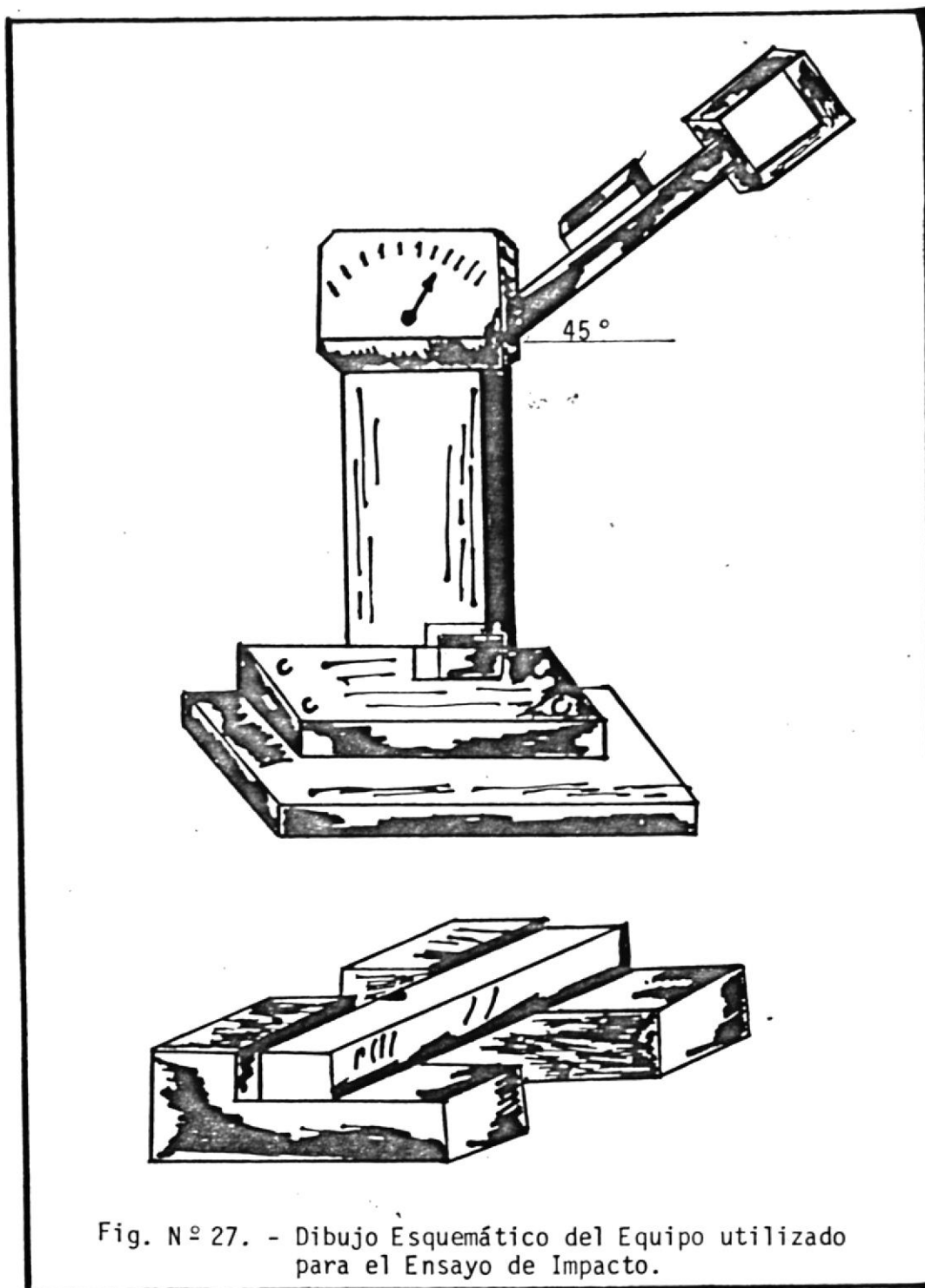
Fig. N-º 26.- Dimensiones y Especificaciones para Probetas de Impacto

por el método Charpy.

La máquina utilizada para este ensayo tiene un péndulo con una cantidad de energía interna retenida, cuando se libera el péndulo, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea a la probeta, una parte de la energía se utilizará para romper la probeta y la energía restante hará subir el péndulo, la diferencia de altura entre la posición inicial y final del péndulo, estará determinada por la energía absorbida por la probeta en el momento de la fractura, la cual está dada en una escala graduada. Fig. 27.

El Ensayo de Impacto no entrega la tenacidad verdadera sino su comportamiento en función de una ranura en particular, sin embargo los resultados son útiles para propósitos de comparación. Una probeta con alta resistencia al impacto generalmente garantizará un servicio satisfactorio de las piezas expuestas a carga de choque o impacto.

La energía absorbida por la probeta en el momento de la fractura está dada por la fórmula



$$\Delta E = mgl(\text{Sen}\alpha_1 + \text{Cos}\alpha_2)$$

m = masa del péndulo

g = aceleración de la gravedad

l = longitud del brazo

α_1 = ángulo inicial del equipo

α_2 = ángulo medido en la escala después del choque.

Se sometieron a este ensayo 5 probetas, los resultados se dan en la Tabla 12.

4.1.4 Prueba de Humedad

El propósito de este ensayo consiste en determinar el porcentaje de humedad que tiene el revestimiento de un electrodo terminado.

Con este ensayo de humedad obtenemos información necesaria para determinar si la estabilidad del arco será buena o mala y la cantidad de escoria que se producirá en el cordón de soldadura, ya que si está húmedo se producirá mucha escoria y si está reseco poca escoria.

Este ensayo de humedad se lo realizó en los labo-

ratorios de una empresa local utilizando el siguiente equipo y material:

Equipo: MATRAZ COMPROBADOR DE HUMEDAD

Líquido que se utiliza: TOLUOL O TOLUENE

Cantidad de Pasta de Revestimiento: 25 grs.

Un Mechero a gas BUNSEN

Una vez que tenemos el material procedemos de la siguiente manera:

Cogemos los electrodos terminados y descascaramos su revestimiento (pasta), no utilizando el revestimiento que se encuentra en los extremos del electrodo ya que el horno seca más en esas partes.

Una vez obtenido los 25 grs. de pasta se la vacía en la probeta que contiene el TOLUOL, colocándose seguidamente la probeta en el comprobador de humedad que consiste en un tubo de enfriamiento y un tubo medidor de humedad. Fig. 28.

Debajo de la probeta se coloca un mechero BUNSEN se lo enciende hasta que empieza la ebullición

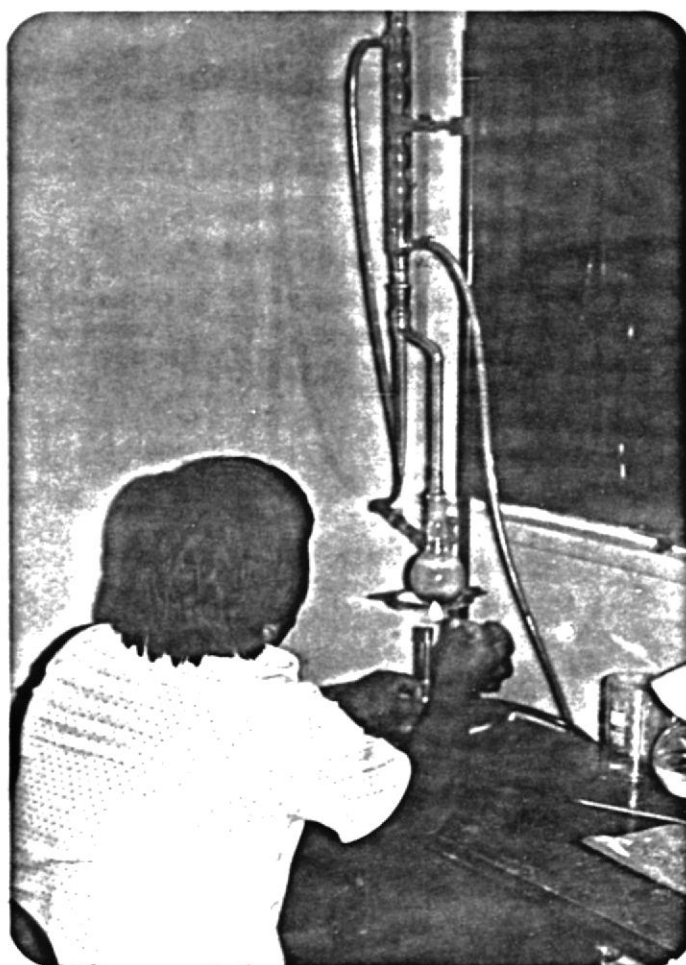


Fig. N° 28.- Probador de Humedad

del Toluol que es a 90°C .

El tiempo de ebullición es aproximadamente de 10 -15 minutos.

El vapor que se produce sube por el tubo medidor de humedad, condensándose éste, debido al tubo de enfriamiento que está concéntrico al del medidor de humedad.

La pasta al entrar en ebullición con el Toluol le cede su humedad al líquido por lo tanto el vapor que sube lleva consigo la humedad de la pasta que al condensarse en el medidor de humedad, el agua (humedad) por ser más pesada que el Toluol se deposita en el fondo en forma de gotas midiéndose de esta manera el porcentaje de humedad que tiene el electrodo en una escala establecida. Si en el medidor no hay residuos de agua, el electrodo está reseco.

El porcentaje de humedad que debe tener un electrodo está dado en la Tabla 4.

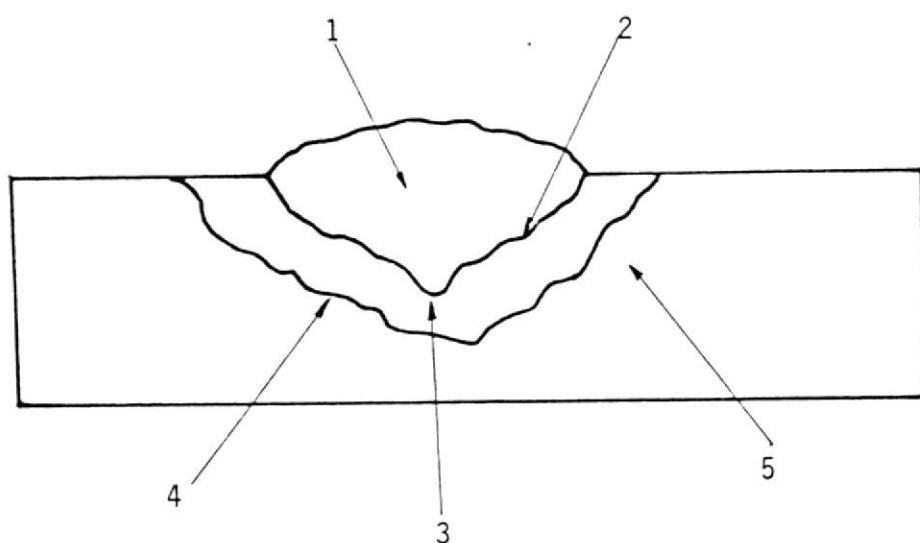
En nuestra prueba el porcentaje de humedad dió 2%.

4.2 ENSAYO METALOGRAFICO

El propósito de efectuar un ensayo metalográfico, es hacer un análisis de las características estructurales de un metal o aleación que tiene gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal de soldadura. Este ensayo pone de manifiesto la estructura cristalina de los metales y aleaciones y permite reconocer la naturaleza de diferentes elementos cristalinos y su influencia, además su forma, etc., para lo cual se prepara una probeta del material que se va a analizar. Para nuestro caso, hemos utilizado un electrodo 6011 (1/8", $I = 200$ Amp., $na = 0.394 \text{ cm}^2$, como se muestra en la Fig. 29.

Al preparar la muestra de donde se extrae la probeta, debe tenerse extremo cuidado para que la soldadura no salga porosa, además debe ser sometida a un proceso de pulido, primero con lija gruesa y fina, para luego pasarlo a un pulido en paño de piel de gamusa impregnada con un abrasivo fino, hasta obtener una superficie plana sin rayaduras, semejantes a la de un espejo.

Cuando se ha conseguido la probeta con las características anotadas, se procede al ataque con reactivos



- 1.- Zona Fundida con material de aporte (E6011) 3.2 mm. (1/8")
Intensidad = 200 Amp.; $na = 0.394 \text{ cm}^2$.
- 2.- Línea de Fusión
- 3.- Zona de Transformación
- 4.- Línea de zona de transformación
- 5.- Metal Base

Fig. N° 29.- Probeta de Soldadura para Ensayo Metalográfico.

químicos, los cuales corroen los cristales en diferentes medidas; en nuestro ensayo utilizamos Nitral 2%.

Para el análisis microestructural, se utilizó un microscopio que posee un lente que nos aumenta 200 veces, y se escogieron en la probeta, cinco posiciones a lo largo de la unión soldada, como las analizamos a continuación:

- 1.- Zona fundida que tiene tres pasadas de soldadura, muestra una estructura de ferrita afinada, Fig.30.
- 2.- Línea de fusión, presenta una estructura granular afinada. Fig.31.
- 3.- Zona de transformación, presenta una estructura granular afinada, Fig.32.
- 4.- Línea de zona de transformación, presenta una estructura de coalescencia de perlita, Fig. 33.
- 5.- Metal base no afectado, presenta estructura homogénea de perlita y ferrita, Fig.34.

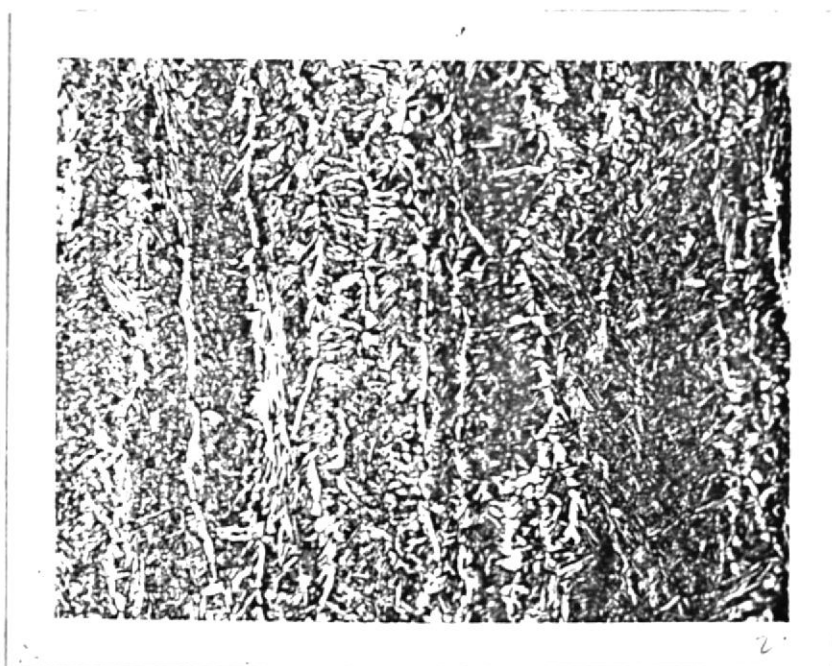


Fig. N° 30.- Zona de Fusión con Material de
Aporte E 6011 .
Intensidad = 200 amp. (x 200)

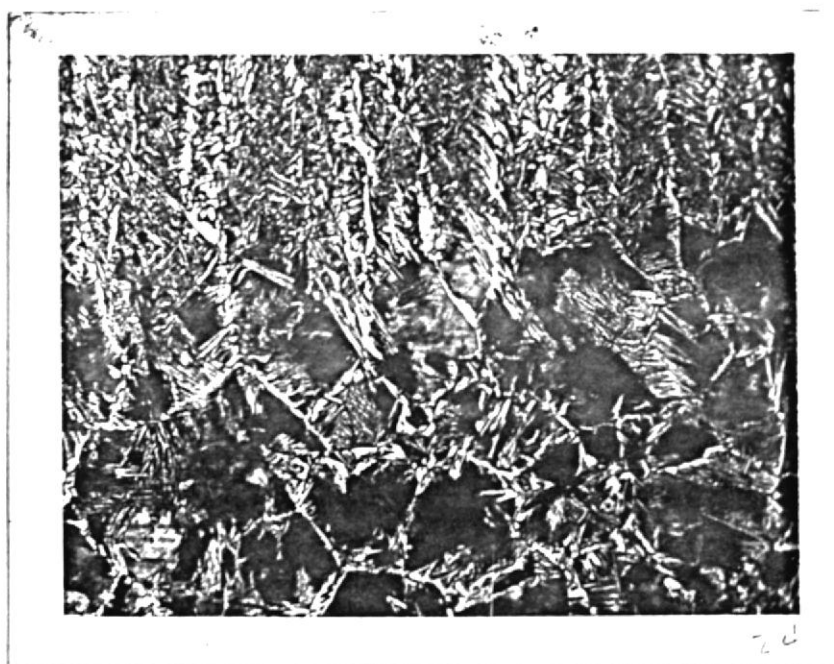


Fig. N° 31.- Línea de Fusión

(x 200)

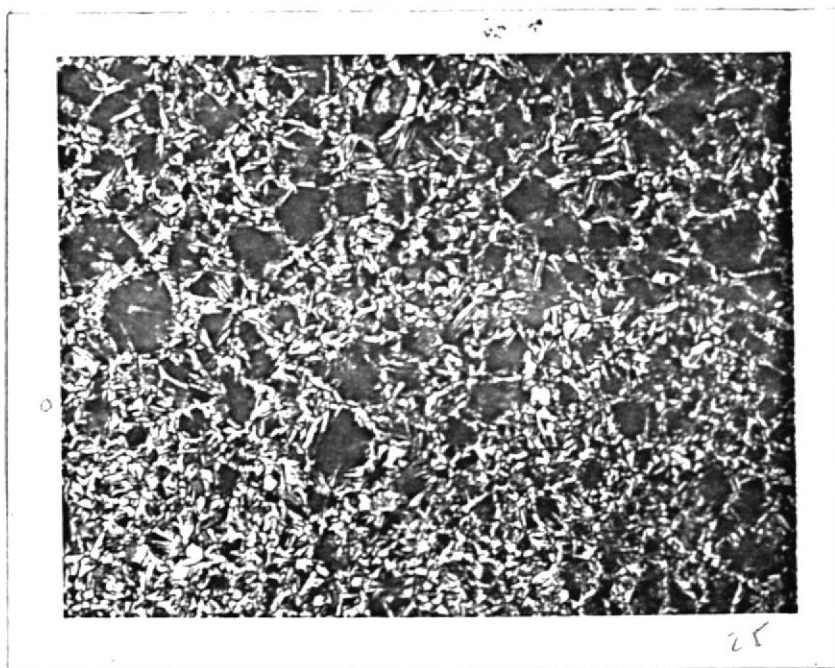


Fig. N° 32.- Zona de Transformación
Afectada por el Calor
(x 200)

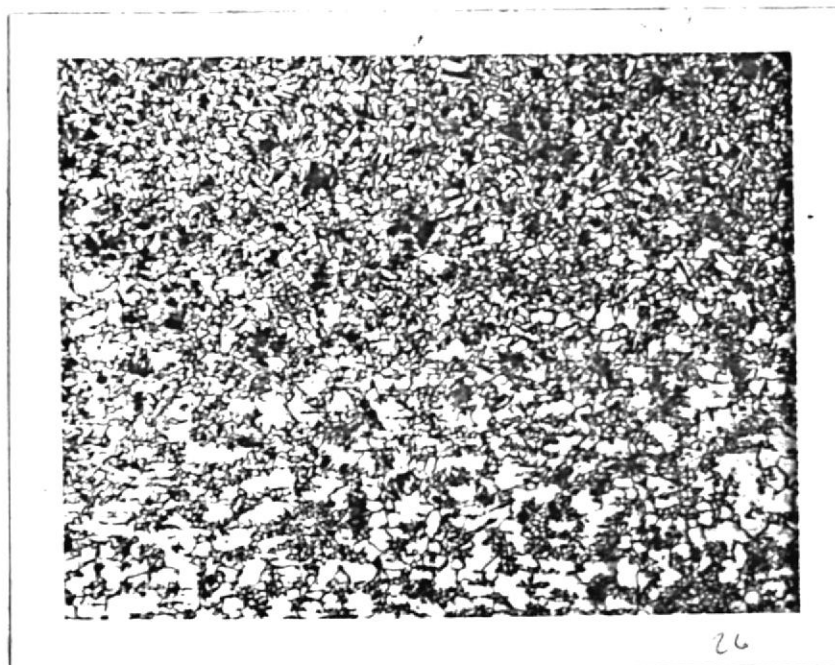


Fig. N° 33.- Línea de Zona de Transformación
Afectada por el Calor
(x 200)

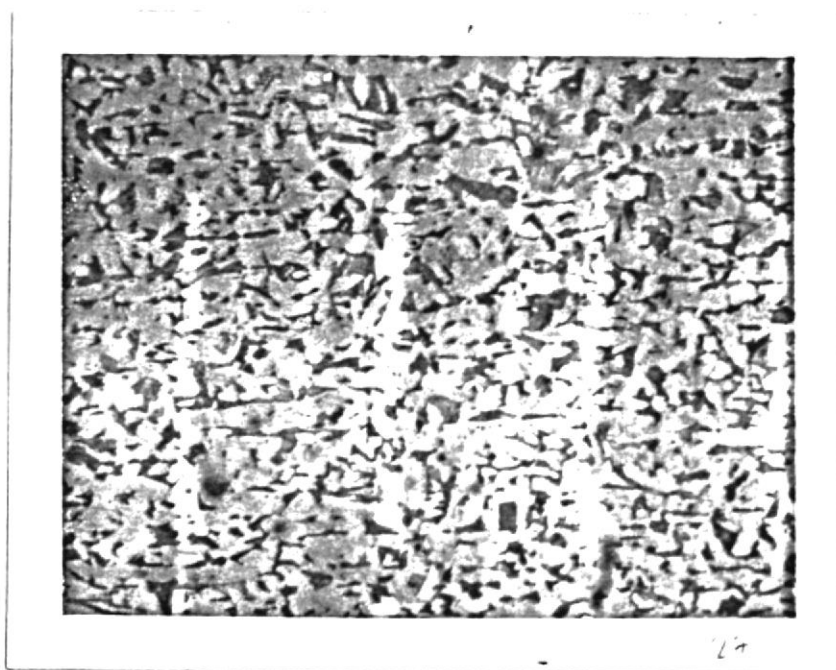


Fig. N° 34.- Metal Base no Afectado
por el Calor.
(x 200)

4.3 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad es sumamente importante para la fabricación misma de los electrodos por el proceso de extrusión, concentrándose en los siguientes aspectos:

El diámetro del alambre que sirve de núcleo al electrodo revestido.

La excentricidad del electrodo revestido después de la extrusión.

La longitud en los extremos del electrodo recubierto (ARCO y TOMA).

La superficie del recubrimiento del electrodo.

4.3.1 Diámetro del Núcleo

El producto que se va a probar es el alambre que va a servir como núcleo al electrodo revestido. Las muestras que se tomarán para las pruebas de control serán tomadas en la salida de la línea de corte, y se procederá de la siguiente manera:

Se toma de la línea de corte un núcleo al azar y con un micrómetro se mide su diámetro lo más cerca de 0.001 mm., la medición se hace en varios lugares por la circunferencia para determinar el diámetro máximo.

El equipo que se va a utilizar es un micrómetro FMQC. Los límites con los cuales nos vamos a regir serán los dados por la AWS, en la Tabla # 13.

Las mediciones anotadas en la Tabla # 14 se efectuaron durante el corte del alambre de ϕ 3.175 mm. cada 10 minutos vamos a comprobar si el producto está de acuerdo con las normas requeridas. Aplicando las fórmulas para el control de calidad.

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{31.6815}{10}$$

$$\bar{X} = 3.16815 \text{ mm.}$$

donde: $\bar{X}$ = media aritmética de las mediciones de muestras (Diámetro medio).

N = Número de muestras

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{8.835 \times 10^{-4}}{10 - 1}}$$

$$S = 0.0099$$

$$S = 9.90 \times 10^{-3} \text{ mm.}$$

donde: S = desviación típica (desviación en las mediciones el diámetro de alambre).

Cuando una máquina opera con una eficiencia mayor del 95% su rango de tolerancia se lo calcula mediante la fórmula llamada de los 3 sigmas $\mu_x \pm 3 \tau$ donde μ_x es la media observada.

Como la máquina cortadora tiene una confianza del 99.73% se puede decir que la media muestral debe estar dentro del intervalo.

$$(\mu_x - 3\tau_x) \quad \text{a} \quad (\mu_x + 3\tau_x) \quad (4.1)$$

Donde $\mu_x = \bar{X}$ = diámetro medio

$$\tau_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Reemplazando en 4.1

$$(\bar{X} - \frac{3S}{\sqrt{n}}) \quad \text{a} \quad (\bar{X} + \frac{3S}{\sqrt{n}}) \quad (4.2)$$

Reemplazando los valores

$$3.15875 \quad \text{a} \quad 3.17755$$

La máquina cortadora de alambres para electrodos en este momento tiene una media muestral de corte de aproximadamente 3,16815 con una tolerancia de 0.0094 y que está laborando en una forma óptima, dentro de las especificaciones requeridas por los organismos encargados de estudiar y dar las normas ideales para la fabricación de electrodos revestidos, y que éstos cumplan la labor para los cuales son creados.

Lo anterior se visualiza en el Gráfico de Control 2.

En dicho gráfico podemos observar los rangos máximos y mínimos que deben tener los diámetros de los alambres según la AWS y que las mediciones efectuadas en los diámetros de los alambres es -

tán dentro de las especificaciones o sea están bajo control.

En el supuesto caso de que alguna medición esté fuera de las especificaciones (fuera de control) se debe tomar de inmediato la siguiente decisión:

- a) La (s) muestra (s) se rechazará (n)
- b) El operador de la línea o el supervisor de pruebas de control de calidad comunicará el Jefe de Producción que hay una medición fuera de norma.
- c) Se clasificará las últimas unidades producidas y se efectuarán los cambios que sean necesarios hasta que se observen unidades dentro de las especificaciones.
- d) La (s) inspección (es) se repetirá (n) en las unidades siguientes que se produzcan hasta que estén bajo control.

Otro propósito de efectuar un control de calidad en el diámetro del núcleo es para que corresponda

con la guía del alambre de la prensa de extrusión o con el tamaño de la matriz y también de que la dimensión del diámetro del alambre influye en el costo del electrodo ya que éste también es un factor de venta.

4.3.2 Excentricidad del Electrodo Revestido

Para hacer el control de excentricidad del electrodo tomaremos un electrodo al azar cada 10 minutos desde el transportador una vez que ha salido del horno y lo ponemos en el medidor de concentricidad de tal forma que la mitad de la longitud de la barra descansa en el sujetador, se hacen los ajustes en el medidor para el tipo y tamaño del electrodo que se prueba.

La barra se gira en el sujetador una vuelta entera, la deflexión máxima de la aguja se observará acercándose a 0.00127 mm. (aproximadamente 1/2 división del medidor) después que se anota la deflexión máxima, se gira la barra en 180° para tomar la lectura en el lado opuesto del electrodo.

El espacio entre las dos lecturas es la excentricidad total. Como la una lectura es positiva y la otra negativa se combinan las dos en sus valores absolutos para obtener la lectura de la excentricidad se divide para dos para obtener el centro verdadero.

El equipo que se va a utilizar en esta prueba es un medidor de concentricidad magnética, las especificaciones que van a regir en esta prueba serán las dadas por la AWS, Ver Tabla 15.

En la Tabla 16 se anotan los datos de medición de excentricidad que se efectuó en electrodos E6011 de ϕ 3.175 mm. (1/8 pulg.) se va a verificar si estos electrodos revestidos están de acuerdo con las normas de excentricidad requeridas.

$$\bar{e} = \frac{\sum e}{n}$$

donde: $\bar{e}$ = media aritmética de excentricidad del electrodo revestido.

$$\bar{e} = \frac{0.2350}{10}$$

$$\bar{e} = 0.02358$$

La desviación típica para estas mediciones será

$$S = \sqrt{\frac{\sum (e - \bar{e})^2}{N - 1}} \quad S = \sqrt{\frac{6.79 \times 10^{-4}}{9}}$$

$$S = 0.00868$$

En este caso el medidor de concentricidad magnética también tiene una confianza de 99.73 % por lo tanto el intervalo en que debe estar la tolerancia será:

$$(\mu_x - 3\tau_x) \text{ a } (\mu_x + 3\tau_x)$$

$$\text{donde } \mu_x = \bar{e} \quad \tau_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Reemplazando valores tenemos una variación

$$0.01536 \text{ a } 0.03181$$

Lo que nos dice analíticamente que la excentricidad del electrodo E 6011 que usamos para las pruebas de control tienen una excentricidad mínima de 0.01536 y una máxima de 0.03181, en otras palabras están bajo control ya que la AWS nos da una tolerancia para la excentricidad de 0,08 para los

E 6011 ϕ 3.175 mm. Gráficamente lo podemos expresar en el gráfico de Control 3.

Del Gráfico 3 podemos sacar como conclusión que la medición tomada a las 8:50 horas y a las 9:20 horas se sale de los rangos de tolerancia de excentricidad dados para la máquina pero se sigue manteniendo dentro de los límites dados por la AWS, por lo tanto podemos decir en forma segura que durante la producción de los electrodos E6011 su calidad en cuanto a la excentricidad está bajo control.

En caso de que alguna medida esté fuera de las especificaciones se debe tomar las mismas decisiones enunciadas en el control de calidad efectuado para el diámetro del alambre que sirve de núcleo al electrodo revestido.

El propósito de efectuar un control de calidad en la excentricidad del electrodo revestido es que una excentricidad inaceptable o inadecuada hará que la acción del aro sea irregular y por lo tanto el cordón de soldadura será defectuoso y no estará entonces cumpliendo con las normas

para lo cual fue fabricado este electrodo.

El mismo procedimiento efectuado para el control de calidad de la excentricidad del electrodo revestido E 6011 se aplica para el control de los electrodos E 6011 - E 6013 y E 7018.

4.3.3 Longitud de los Extremos (Arco y Toma)

Otros factores importantes en la calidad del electrodo son las longitudes de los extremos de los mismos; en la parte del porta-electrodos y en la parte donde se produce el arco.

El producto que se va a probar son los electrodos recubiertos luego de la salida del horno.

El procedimiento que se va a seguir será el siguiente:

Los extremos del arco y toma se los mide con una regla lo más aproximado a 1.59 mm. (1/16").

En la medición del extremo de toma se mide tanto C como D (Ver Fig. 34) pero antes de efectuar la

medición se examina visualmente el extremo del arco con un monitor que está a la salida del horno para ver si hay virutas o muescas, la frecuencia de inspección es de por lo menos una prueba para cada extrusión que comprende 3 panes de pasta.

Aplicando $\bar{X} = \frac{\sum x}{N}$;

para hallar mas medias aritméticas de B, C, D nos dá:

$$\bar{B} = 1.397 \text{ mm.}$$

$$\bar{C} = 22.19 \text{ mm.}$$

$$\bar{D} = 29.160 \text{ mm.}$$

Para hallar las desviaciones típicas de las mediciones de B, C, D usamos:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{y tenemos que}$$

$$S_B = 5.84 \times 10^{-4} \text{ mm.}$$

$$S_C = 5.13 \times 10^{-2} \text{ mm.}$$

$$S_D = 5.05 \times 10^{-2} \text{ mm.}$$

La media muestral de B, C, D debe estar entre los rangos de

$$(\mu_x - 3\tau_x) \text{ a } (\mu_x + 3\tau_x)$$

$$\text{donde } \mu_x = \bar{x} \quad \text{y} \quad \tau_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

reemplazando

PARA B

$$1.397 - \frac{(3)(5.83 \times 10^{-4})}{4} \text{ a } 1.397 + \frac{(3)(5.83 \times 10^{-4})}{10}$$

$$(1.397 - 5.5 \times 10^{-4}) \text{ a } (1.397 + 5.5 \times 10^{-4})$$

$$1.3945 \quad \text{a} \quad 1.3975$$

Que nos da el rango normal para B según mediciones.

PARA C

$$22.19 - \frac{(3)(5.2 \times 10^{-2})}{10} \text{ a } 22.1 + \frac{3(5.2 \times 10^{-2})}{10}$$

$$(22.1 - 0.0485) \quad \text{a} \quad (22.1 + 0.04851)$$

22.14 a 22.25

Que es el rango normal de variación de C según las mediciones.

PARA D

$$29.16 - \frac{3(5.05 \times 10^{-2})}{10} \text{ a } 29.16 + \frac{3(5.05 \times 10^{-2})}{10}$$

$$(29.16 - 0.0477) \text{ a } (29.16 + 0.0477)$$

29.1 mm. a 29.2 mm.

Que es el rango normal de variación de D según las mediciones.

Las respuestas obtenidas en los análisis de B, C, D nos indican que los extremos de los electrodos hasta este momento estarán en óptimas condiciones y que la máquina extrusora y el escobillado están bien, en otras palabras esta parte de la producción está bajo control.

En el Gráfico de Control 4 para los extremos de los electrodos se analiza los resultados de la

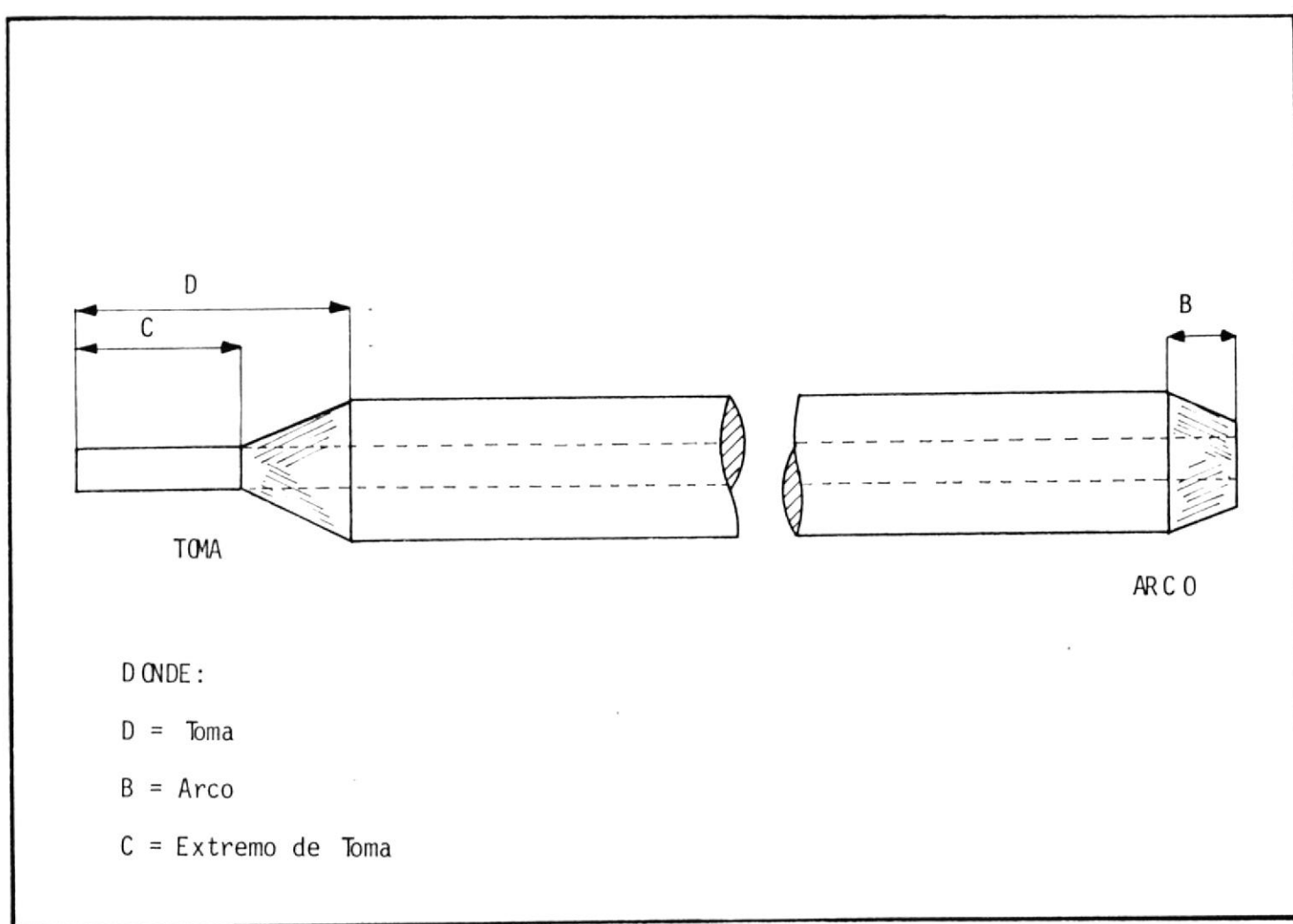


Fig. N° 35.- Electrodo recubierto terminado, en el cual se muestra los lugares donde se va a hacer el control de calidad.

Tabla 18.

Si se observa que una medida está fuera del gráfico de control o sea fuera de especificación, éste producto estará defectuoso y por lo tanto debe seguirse los siguientes pasos:

- a) Los electrodos se rechazan de acuerdo a FMQC 0.08 y los electrodos con el extremo del arco sin rectificar, pueden dejarse pendientes y rectificarse más tarde.
- b) En base a la experiencia se notificará al supervisor de producción si se estima necesario.
- c) Debe separarse el último material producido (probado) hasta que se observe que las piezas salen dentro de especificación. El material fuera de especificación se rechaza de acuerdo a la FMQC 0.08.
- d) La inspección puede repetirse en el material que sale seguidamente para asegurarse de que el problema se solucionó.

- e) En base a la experiencia, se notificará al supervisor de inspección si no se ha tomado la acción correctiva o si se estima necesario.

El propósito de efectuar este control es de que un largo inaceptable en el extremo del arco puede causar una mala formación del arco y el cordón o punto de soldadura será poroso y lleno de escorias.

Un largo inaceptable en el extremo de toma producirá un mal contacto con la sujeción o portaelectrodos y en lo que respecta a la calidad del electrodo son dos características que afectan a las ventas del producto.

4.3.4 Superficie de Revestimiento

Otros de los factores que inciden para que el electrodo sea de óptima calidad y cumpla la función para la cual fue creado es la superficie de recubrimiento del electrodo.

Por esa razón vamos a hacer un control de esta superficie y para este propósito cogeremos los

electrodos recubiertos ya terminados y que se encuentran listos para ser empacados, el procedimiento de inspección será el siguiente:

Se examina visualmente los electrodos para ver si hay alguna apariencia superficial inaceptable o defectos en el recubrimiento que pudieran interferir con la soldabilidad del electrodo, éstos es trizaduras, pedazos menos del recubrimiento, acumulaciones o depresiones en el recubrimiento, etc.

El equipo y materiales que se va a usar en estas inspecciones no será máquinas o herramientas sino que será en forma visual por simple inspección y razonamiento lógico.

Los tipos de defectos que deben ser visualizados durante la inspección en los electrodos son los siguientes:

1. TRIZADURAS (Partiduras)
2. RECUBRIMIENTO DURO.- Se lo detecta debido al recubrimiento acumulado o canales en el recu-

brimiento causado por un conglomerado demasiado grande de piezas fundentes.

3. DAÑO EN LA UNIDAD ESCOBILLADORA.- Se lo detecta debido al recubrimiento arañado o desprendido.
4. DAÑO EN EL HORNO.- Se lo detecta debido al recubrimiento arañado o desprendido.
5. BAJA PRESION.- Se lo detecta debido al recubrimiento no parejo y denso como es el normal.
6. MEZCLA POBRE.- Se lo detecta debido a pedazos sin recubrir, debido a polvo seco, no mezclado con la liga líquida.
7. RODILLADOS.- Se lo detecta debido al recubrimiento arañado o desprendido.
8. TRAZOS GRUESOS DE RECUBRIMIENTO.- Se lo detecta debido a pequeñas acumulaciones o combaduras en el recubrimiento.
9. FALTA DE MATERIAL ALIMENTADOR.- Se lo detecta

por pequeñas acumulaciones o combaduras en el recubrimiento.

10. MEZCLA BLANDA.- Se lo detecta por el recubrimiento disparejo y con combaduras o muescas en la capa.

Estas inspecciones deben ser continuas e ininterrumpidas durante toda la producción.

Si durante la inspección visual de la superficie se observara algo fuera de especificación, debe seguirse los pasos siguientes:

- a) Estos electrodos defectuosos serán rechazados
- b) El inspector de la línea o el soldador de pruebas notificará al supervisor de producción de inmediato sobre los rechazos excesivos en la línea.
- c) Se tomarán medidas correctivas y soluciones al problema presentado.
- d) El inspector de línea deberá pesar los elec-

trodos rechazados por cada tipo de categoría rechazada ya que esta pérdida de material deberá ser analizada y el costo total del electrodo que sale al mercado.

El propósito para efectuar este control es de que los defectos del recubrimiento son inaceptables ya que pueden causar una mala estabilidad del arco y capas indeseables de escorias.

La estabilidad del arco y las capas de escoria son características que influyen grandemente en las ventas ya que el consumidor no comprará electrodos con arco inestable y que dejen grandes capas de escoria porque les representa una pérdida de tiempo, dinero y obtiene malos resultados.

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS

Los ensayos que se han realizado en la presente tesis han sido con E 6011 de $\phi 3.175$ mm. (1/8").

Los resultados obtenidos son:

Electrodo E 6011 con Núcleo

Diámetro del Núcleo:	3.175 mm.
ϕ Revestido:	0.13 mm.
Color:	Gris
Excentricidad:	Aceptable
Apariencia Núcleo:	Aceptable
Humedad:	2 %
Soldabilidad:	Buena en toda posición

Propiedades Mecánicas

Resistencia a la tracción:	71.407,5 PSI (50.31 Kg/mm ²)
Fluencia:	52:501 PSI (36.99 Kg/mm ²)
Alargamiento en 2"	22.7%

RESULTADOS:

Al realizarse las pruebas para obtener las propiedades mecánicas del material depositado éstas salieron con excelentes resultados porque la soldabilidad y la estabilidad del arco eran óptimas debido a la calidad misma del electrodo.

Por lo tanto, es aconsejable llevar un control de calidad riguroso en la fabricación de electrodos.

También se realizaron ensayos de doblado y de impacto Charpy, en probeta E 6011 sin defectos.

En el ensayo de doblado se obtuvo un ángulo de doblado de 180° sin que ocurra la presencia de fisuras o agrietamientos como indica la Fig. N° 24 que nos indica que la ductilidad del material deposito es satisfactoria para posteriores trabajos.

En el ensayo de impacto nos damos cuenta que el material de depósito ofrece una alta resistencia al choque, lo cual garantiza un servicio satisfactorio de las piezas que van a ser unidas por medio de electrodos revestidos para soldadura por arco eléctrico y que van a soportar impactos o choques.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de realizados los correspondientes análisis, tanto teóricos como experimentales, se pueden establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- a) Que la extrusión es un proceso que consiste básicamente en la reducción de diámetros mediante grandes presiones.
- b) Que para el presente caso se utiliza la estrusión para recubrir electrodos desnudos.
- c) El recubrimiento tiene por objeto aislar a la soldadura del contacto con el aire en presencia del arco y formar una escoria protectora sobre el cordón de soldadura que permita un enfriamiento más lento ayudando además a estabilizar el arco determinando las características de soldabilidad del electrodo.
- d) Que el revestimiento celulósico produce una atmósfera gaseosa neutra que protege al metal durante la fundición y al mismo tiempo produce escoria suficiente para eliminar las impurezas.

- e) Los cordones depositados por estos electrodos dan radiografías óptimas indicando un mínimo de inclusiones.
- f) Que las variables fundamentales que intervienen en este proceso son pocas y fácilmente medibles experimentalmente.
- g) Los factores que optimizan al electrodo revestido y que hacen que las propiedades para el trabajo sean óptimas son cuatro:

- 1.- Excentricidad
- 2.- Estructura del núcleo y revestimiento
- 3.- Humedad del revestimiento
- 4.- Soldabilidad

- 1.- Excentricidad.- Un electrodo cuando no está concéntrico hace que la acción del arco sea irregular y por lo tanto el cordón de soldadura será defectuoso formando una uña (rechupe) que desvía el arco y hace muy difícil soldar en filete horizontal y vertical ascendente se produce también muchas salpicaduras y chisporroteos.

Por esta razón es recomendable un control constante

en la calibración de los dados de WIDEA, que es el lugar donde se produce la extrusión del electrodo ya que éstos se desgastan rápidamente debido a la abrasividad de la pasta.

- 2.- Estructura del Núcleo y Revestimiento.- Cuando el núcleo de un electrodo está torcido la excentricidad queda muy variable y se produce los mismos problemas que cuando el electrodo está excéntrico.

El revestimiento inadecuado hace que haya una mala estabilidad del arco y capas indeseables de escoria y porosidades, por lo tanto se debe eliminar las torceduras del núcleo en su longitud, ver que todos los electrodos que salen al mercado tengan un perfecto recubrimiento.

Es recomendable hacer un estudio sobre la pasta una vez seca, para tratar de recuperar la pasta que se desperdicia debido a fallas en el revestimiento ya que el porcentaje de pérdidas es significativo.

- 3.- Humedad del Revestimiento.- Un electrodo con un elevado o bajo contenido de humedad hace que éste sea inservible ya que tendrá falta de fusión y penetra-

ción y no podrá lograr el trabajo para el cual fue creado; por ésta razón el secado debe ser según las normas pre-establecidas. El almacenamiento de los electrodos no debe ser muy prolongado ya que los electrodos se resecarán y la pasta perderá su característica y propiedades, por esa razón es recomendable que la producción esté sobre los límites de la demanda del producto en el mercado, de esa forma se eliminaría las pérdidas debido al ressecamiento del electrodo por el almacenaje.

4.- La Soldabilidad.- Es la característica que adquiere el electrodo debido a la calidad de la pasta que se le ha extrusado, permitiendo de esta manera que se pueda soldar, en toda posición, teniendo un arco estable.

h) En los ensayos mecánicos se comprobó que por las propiedades (puntos de fluencia, tracción y resistencia a la rotura) que adquiere el material de depósito en una unión soldada con electrodos revestidos, éstos son recomendables para unir acero dulce al carbono o piezas de acero en reparaciones generales de producción.

i) Que para diferentes tipos de materiales hay un electrodo

revestido con una pasta especial que hace que al soldar el lugar soldado adquiera las mismas características de tracción, resistencia a la rotura, etc., que el material base.

Para finalizar, diremos que para escoger el electrodo adecuado es materia de analizar las condiciones del trabajo en particular, y luego determinar el tipo y diámetro del electrodo que más se adapte a estas condiciones. Este análisis es relativamente simple si el operador se habitúa a considerar primero los siguientes factores:

- 1) Naturaleza del metal base
- 2) Dimensiones de la sección a soldar
- 3) Qué tipo de corriente entrega su máquina soldadora
- 4) En qué posición o posiciones se soldará
- 5) Tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza
- 6) Si el depósito debe poseer alguna característica especial como su resistencia a la corrosión, gran resistencia a la tracción, ductilidad, etc.

- 7) Si la soldadura debe cumplir condiciones de algunas normas o especificaciones especiales.

Si el operador sigue estas indicaciones él obtendrá un electrodo que le dará un arco estable, depósito parejo, escoria fácil de sacar y un mínimo de salpicaduras, condiciones esenciales para obtener un trabajo con máxima eficiencia.

TABLAS

TABLA 1

REBAJES MAS UTILIZADOS EN ALAMBRON
PARA LA FABRICACION DE SOLDADURA

DIAMETRO INICIAL (do)		DIAMETRO FINAL (df)	
pulg.	mm.	pulg.	mm.
9/32	7	3/16	4,76
3/16	4,76	5/32	3,96
5/32	3,96	1/8	3,175
1/8	3,175	7/64	2,76
7/64	2,76	3/32	2,36
3/32	2,36	5/64	2,00
5/64	2,00	1/16	1,60

TABLA 2

TOLERANCIAS PERMITIDAS PARA CADA TIPO
DE DIAMETRO DE NUCLEO EN TREFILACION

Diámetro Nominal Pulg. mm.		Tolerancia mm.	Diámetro en mm. min. máx.	
3/32	2,36	± 0.02	2,34	2,38
1/8	3,175	± 0.03	3,145	3,20
5/32	3,96	± 0.03	3,93	3,99
3/16	4,76	± 0.03	4,73	4,79
7/32	5,56	± 0.04	5,52	5,60
1/4	6,35	± 0.04	6,31	6,39

TABLA 3

TAMAÑOS STANDARD Y LONGITUDES DE ELECTRODOS (6)

TAMAÑOS STANDARD		E6010, E6011, E6012		E6020, E6027, E7024	
Diámetro de la Varilla		E6013, E6022, E7014		E7027, E7028	
		E7015, E7016, E7018			
Pulg.	mm.	lg. pulg.	lg. mm.	lg. pulg.	lg. mm.
1/16	1.6	9	230		
5/64	2.0	9 a 12	230 a 300		
3/32	2.4	12 a 14	300 a 350	12 a 14	300 a 350
1/8	3.18	14	350	14	350
5/32	4.0	14	350	14	350
3/16	4.8	14	350 a 450	14	350 a 450
7/32	5.6	14 a 18	350 a 450	18	450 a 700
1/4	6.4	18	450	18	450 a 700
5/16	8.0	18	450	18	450 a 700

TABLA 4

CONTENIDO DE HUMEDAD RECOMENDADA PARA REVESTIMIENTO, ALMACENAMIENTO
Y CONDICIONES DE RESECADO PARA ELECTRODOS RECUBIERTOS DE SOLDADURA AL ARCO (11)

Clases de Electrodos	Contenido de % humedad de Revestimiento	% Humedad relativa para almacenamiento a temperatura nor - mal de 26,6°C 6,6°C	Temperatura de Resecado °C
E6010	3.0 a 5.0	20 - 60	seguir recomen- daciones del fabricante
E6011	2.0 a 4.0	20 - 60	
E6012-E6013	menor de 1	60 máx.	
E7018-E7028	menor de 0.6	50 máx.	

TABLA 5

COMPOSICION QUIMICA DEL ALAMBRON DE ACERO DULCE, EN COMPARACION CON LOS DIFERENTES
TIPOS DE ALAMBRON QUE SE ENCUENTRAN EN EL MERCADO

ELEMENTOS	COMPOSICION DESEADA %	CLAVOS GUAYAS %	MACISA %	GAVI %
C	0.08 - 0.13	0.06	0.034	0.06
Mn	0.40 - 0.60	0.25	0.96	0.50
P	0.25 máx.	0.070	0.040	0.07
S	0.035 máx.	0.040	0.025	0.016
Si	0.04 máx.	no tiene	0.19	0.14
Cu	0.15 máx.	no tiene	no tiene	no tiene

TABLA 6

PROPIEDADES MECANICAS DEL ALAMBRON TREFILADO EN 4 PASOS

PROBETA	DIAMETROS DE LA MUESTRA	SECCION DE LA MUESTRA	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	LIMITE DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION	RESISTENCIA A LA ROTURA	ALARGA- MIENTO
	mm.	mm. ²	mm.	mm.	Kg/mm ²	Kg/mm ²	Kg/mm ²	%
Alambrón	5.5	23.76	27.50	40.42	25.25	35.48	23.99	47
Paso I	5.29	21.98	26.45	33.61	40.04	42.31	27.75	27.00
Paso II	4.49	15.83	22.45	25.48	52.43	56.22	38.53	13.00
Paso III	3.72	10.87	18.60	20.78	57.04	62.10	44.16	12.00
Paso IV	3.18	7.94	15.90	17.20	60.45	66.75	49.12	8.00

TABLA 7

CUADRO DE FORMULAS Y TIEMPO DE MEZCLADO
PARA FORMACION DE PASTA DE ELECTRODOS

	<u>6010</u>	<u>6011</u>	<u>6013</u>	<u>7018</u>
Polvo	6200	177.2	211 Kgs.	302.8
Silicato de Na (Kg)	154	11.14+	74	64
		3Kgs H ₂ O		
Tiempo de mezcla en seco (min.)	20	10	15	10
Tiempo de adición de aglomerante (min.)	10	10	10	10
Tiempo de mezclado húmedo (min.)	20	20	20	10
Prueba Hidráulica (lbs/pulg ²)	1600 a 1700	1600 a 1800	1800 a 2000	2100

TABLA 8

AGLOMERANTES A USARSE EN ELECTRODOS

ELECTRODOS	A G L O M E R A N T E S	VISCOSIDAD DEL SILICATO MEDIDOS A 20°C
6010	Silicato de Sodio	600 - 900 Cp
6011	Silicato de Sodio	
	+ 3 Kgs. agua natural	
6013	Silicato de sodio + Silicato de Potasio + Agua Blanda + Glicerina + Cromato normal de Sodio	
7018	Silicato de sodio + Agua Blanda + Potasio Cáustico + Carbonato de Potasio	

TABLA 9

CLAROS ENTRE DADOS Y PISTON PARA PRENSA DE PANES DE MEZCLA

ϕ del Dado en mm.	Claro en mm.
50	0.05 - 0.075
75	0.06 - 0.09
100	0.08 - 0.10
125	0.10 - 0.15
150	0.15 - 0.20

TABLA 10

TOLERANCIA DE DADOS PARA FABRICACION DE ELECTRODOS EN MILIMETROS

ELECTRODO	6010		6011		6013		7018	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
3/32"	3.429	3.556	3.429	3.5052	3.2512	3.3214	4.2524	4.3688
1/8"	4.445	4.5212	4.572	4.699	4.5466	4.6228	5.3594	5.461
5/32"	5.334	5.461	5.4102	5.5118	5.3848	5.4356	6.35	6.4576
3/16"	6.35	6.4516	6.477	6.5532	6.427	6.6040	7.493	7.62
7/32"	7.747	7.874	7.7724	7.874	7.7724	7.874	8.636	8.763
1/4"	8.89	9.017	8.7376	8.9408	8.7376	8.908	9.525	9.652

TABLA 11

COMPOSICION QUIMICA MEDIA DEL ACERO UTILIZADO
PARA FABRICACION DE ELECTRODOS

ELEMENTO	SIMBOLO	%
Carbono	C	0.10
Manganeso	Mn	0.50
Fósforo	P	0.020
Azufre	S	0.025
Silicio	Si	0,01
Cobre	Cu	0,08

TABLA 12

ENSAYO DE IMPACTO PARA 5 PROBETAS DE
MATERIAL DE SOLDADURA E 6011, 3.175 mm (1/8")

PROBETA N°	IMPACTO (Kg.m)	α_2	α_1	ΔE (Kg.m)
1	7.8	52°	32°	29.93
2	8.6	54°	32°	29.19
3	7.3	52°	32°	31.92
4	7.3	49°	32°	32.28
5	7.85	53°	32°	30.75

$$L = 0.86$$

$$mg = 27.216 \text{ Kg}$$

TABLA 13

TAMAÑO Y LONGITUDES STANDARDS AWS

TAMAÑO STANDARD CON TOLERANCIA DE ± 0.002 pulg (± 0.05 mm.)		E6010 - E6013 - E7015 -	E6011 - E6022 - E7016 -	E6012 E7014 E7018	E6020 - E7027 -	E6027 - E7028	E7024
Pulg.	mm.	Pulg.		mm.	Pulg.		mm.
1/16	1.6	9		230	--		--
5/64	2.0	9 a 12		230 a 300	--		--
3/32	2.4	12 a 14		300 a 350	12 a 14		300 a 350
1/8	3.2	14		350	14		350
5/32	4.0	14		350	14		350
3/16	4.8	14		350	14 a 18		350 a 450
7/32	5.6	14 a 18		350 a 450	18 a 28		450 a 700
1/4	6.4	18		450	18 a 28		450 a 700
5/16	8.0	18		450	18 a 28		450 a 700

Con la excepción del electrodo de $\phi 3.175$ mm.- cuya tolerancia es de ± 10 milésimas de mm.

TABLA 14

MEDICIONES PARA CONTROL EN DIAMETRO DEL NUCLEO DE 3.175 mm.

TIEMPO (minutos)	X (muestras) (mm.)	$X - \bar{X}$ (mm.)	$(X - \bar{X})^2$ (mm. ²)
8:00 a.m.	3.175	$+ 6.85 \times 10^{-3}$	4.69×10^{-5}
8:10 a.m.	3.175	$+ 6.85 \times 10^{-3}$	4.69×10^{-5}
8:20 a.m.	3.169	$+ 8.5 \times 10^{-4}$	0.72×10^{-5}
8.30 a.m.	3.175	$+ 6.5 \times 10^{-3}$	4.69×10^{-5}
8.40 a.m.	3.169	$+ 8.5 \times 10^{-4}$	0.72×10^{-5}
8.50 a.m.	3.1445	$- 2.365 \times 10^{-2}$	55.9×10^{-5}
9.00 a.m.	3.162	$- 6.15 \times 10^{-3}$	3.78225×10^{-5}
9.10 a.m.	3.175	$+ 6.85 \times 10^{-3}$	4.69×10^{-5}
9.20 a.m.	3.162	$- 6.15 \times 10^{-3}$	3.78×10^{-5}
9.30 a.m.	3.175	$+ 6.85 \times 10^{-3}$	4.69×10^{-5}
$\Sigma X = 31.6815$		$\Sigma (X - \bar{X})^2 = 88.35 \times 10^{-5}$	
$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{n} = 3.16815$			

TABLA 15

DIAMETRO TOTAL Y TOLERANCIAS
PARA LA EXCENTRICIDAD DE ELECTRODOS AWS

VARILLA		E6010		E6011		E6013		E7018	
Pulg.	mm.	ϕ_T	Te	ϕ_T	Te	ϕ_T	Te	ϕ_T	Te
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3/32	1.6	3.53	± 0.08	3.60	± 0.08	3.33	± 0.08	--	--
1/8	3.175	4.67	± 0.08	4.67	± 0.10	4.32	± 0.10	4.55	± 0.10
5/32	4.0	5.48	± 0.08	5.48	± 0.10	5.23	± 0.13	5.26	± 0.13
3/16	4.8	6.53	± 0.08	6.55	± 0.13	6.22	± 0.13	6.32	± 0.15

donde: ϕ = diámetro de la varilla

ϕ_T = diámetro del electrodo revestido

Te = Tolerancias máximas y mínimas de excentricidad

TABLA 16

DATOS TOMADOS EN MEDIDOR DE EXCENRICIDAD

EN E6011 $\phi = 3.175$ mm.

TIEMPO (minutos)	-e mm. izq.	+e mm. der.	e_{total} (mm.)	$(e_T - \bar{e})^2$ (mm.)
a.m.				
8:00	0.02286	0.01778	0.02032	10.6×10^{-6}
8:10	0.02413	0.01423	0.01918	19.3×10^{-6}
8:20	0.0254	0.01524	0.02032	10.6×10^{-6}
8:30	0.0254	0.01701	0.021205	5.6×10^{-6}
8:40	0.0381	0.01778	0.02794	19×10^{-6}
8:50	0.04318	0.01905	0.031915	56.5×10^{-6}
9:00	0.0381	0.01778	0.02794	19×10^{-6}
9:10	0.0568	0.00381	0.03030	45.2×10^{-6}
9:20	0.00381	0.00381	0.00381	390.8×10^{-6}
9:30	0.04381	0.02366	0.03373	102.4×10^{-6}

$$\Sigma e_T = 0.2358 \quad \Sigma = 679 \times 10^{-6}$$

$$e_T = \frac{-e + +e}{2}$$

$$\bar{e} = \frac{\Sigma e_T}{N} = 0.02358$$

$$\Sigma(e_T - \bar{e})^2 = 6.79 \times 10^{-6}$$

TABLA 17

RANGOS MAXIMOS Y MINIMOS EN EXTREMOS
DE LOS ELECTRODOS SEGUN AWS

DIAMETRO Pulg. mm.	B (mm.) máx.	C (mm.)		D (mm.)	
		mín.	máx.	mín.	máx.
1/16 1.6	1.6	15.9	22.2	25.4	31.75
3/32 2.4	1.6	15.9	22.2	25.4	31.75
1/8 3.175	1.6	15.9	25.4	25.4	31.75
5/32 3.4	1.6	15.9	25.4	25.4	31.75
3/16 4.8	3.175	15.9	25.4	25.4	31.75
7/32 5.6	3.175	28.575	31.75	25.4	38.1
1/4 6.35	3.175	28.575	38.1	25.4	38.1
5/16 8.00	3.175	28.575	38.1	25.4	38.1

Para efectuar este control de calidad se tomaron las siguientes medidas en los electrodos revestidos E6011 ϕ 3.175 mm. (1/8 Pulg.)
B, C, D (Verf. Fig. 35)

TABLA 18

DATOS PARA CONTROL DE LOS EXTREMOS
DE E6011 ϕ 3.175 ARCO Y TOMA

LOTE	B (mm.)	C (mm.)	D (mm.)
1	1.398	21.840	30.480
2	1.370	22.860	29.210
3	1.370	20.320	29.210
4	1.319	21.590	29.712
5	1.397	21.590	27.432
6	1.424	23.620	29.210
7	1.346	24.130	30.48
8	1.422	22.860	27.940
9	1.428	21.590	27.686
10	1.424	21.590	30.226
	= 1.397	= 22.1996	= 29.1592

TABLA 19

FUNCIONES TÍPICAS Y RANGO DE COMPOSICION DE CONSTITUYENTES
DE REVESTIMIENTO PARA ELECTRODOS DE SOLDADURA AL ARCO PARA ACEROS DULCES

Constituyentes de Revestimiento	Función de Constituyentes		% Composición de Revestimientos		
	Primario	Secundario	E-6010-6011	E-6013	E7018
Celulosa	Formación de Gas	-	25 - 40	2 - 12	
Carbonato de calcio	Formación de gas	Agente Fundidor		0 - 5	15 - 30
Fluorospato	Formador Escoria	Agente Fundidor			15 - 30
Dolomite	Formación de Gas	Agente Fundidor	10 - 20		
Dióxido de Titanio	Formador Escoria	Estabilizador Arco	10 - 20	30 - 55	0 - 5
Titanato de Potasio	Estabiliz. de Arco	Formador de Escoria		30 - 55	0 - 5
Feldepasto	Formador de escoria	Estabilizador		0 - 20	0 - 5
Mica	Extrusión	Estabilizador		0 - 15	
Arcilla	Extrusión	Formador Escoria		0 - 10	
Silica	Formador Escoria				
Asbestos	Formador Escoria	Extrusión	10 - 20		
Oxido Manganeso	Formador escoria	Ligar elementos			
Oxido Hierro	Formador escoria				
Polvo de Hierro	Depósito Adicional	Contacto Soldadura			25 - 40
Ferrosilicon	Desoxidante				5 - 10
Ferromanganeso	Ligar elementos	Desoxidantes	5 - 10	5 - 10	2 - 6
Silicato de Sodio	Aglomerante-Liga	Agente Fundidor	20 - 30	5 - 10	0 - 5
Silicato de Potasio	Estabilizador de Arco	Aglomerante-Liga	20 - 30	5 - 15	5 - 10

GRAFICOS

GRAFICO Nº 1

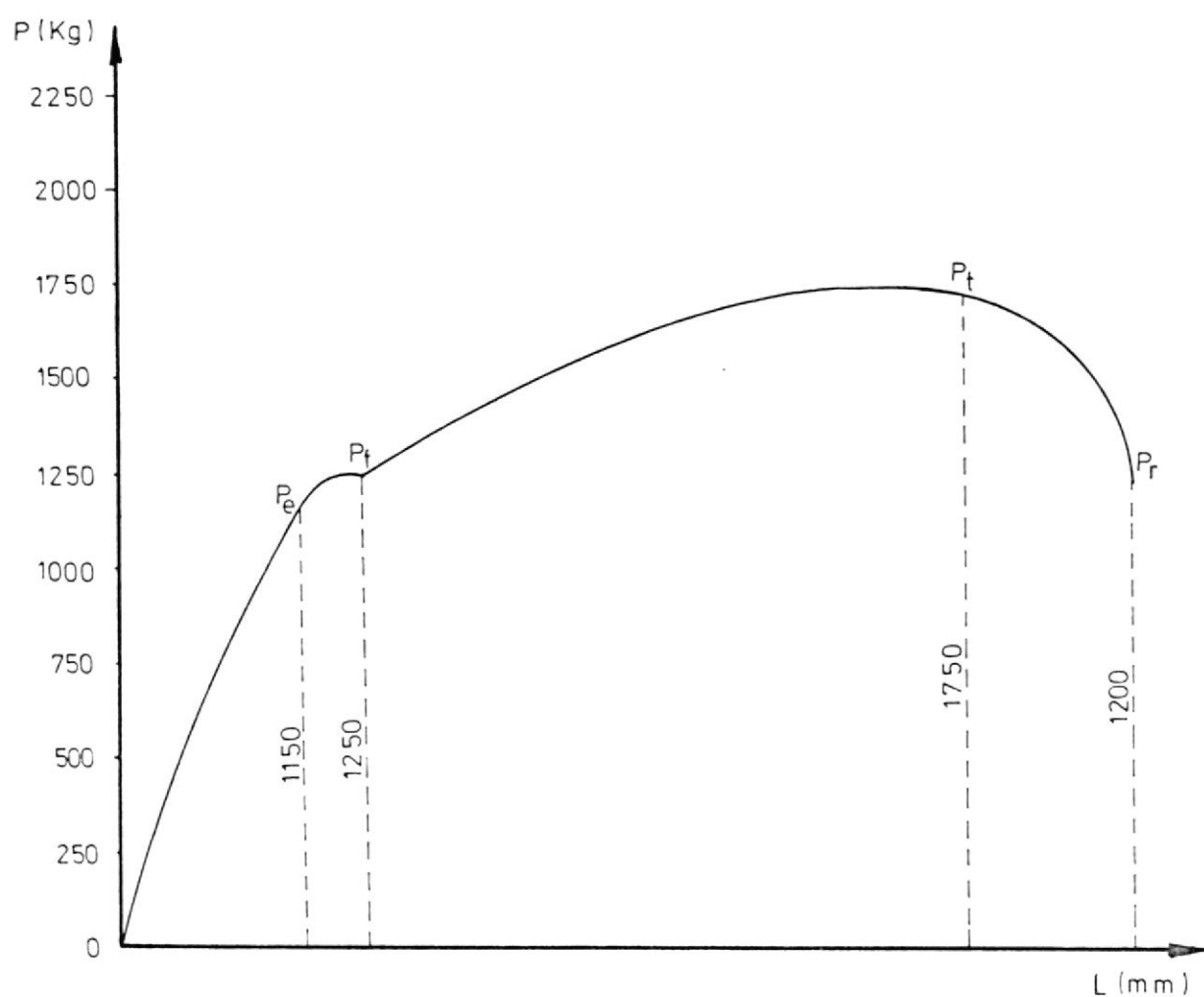
 P_e = Carga Elastica P_f = Limite de fluencia P_t = Limite de tracción P_r = Limite de rotura

GRAFICO DE CONTROL DE CALIDAD EN DIAMETRO DEL NUCLEO
 PRODUCTO: Electrodo revestido INSPECCION: $\varnothing$ NUCLEO
 CARACTERISTICA : $\varnothing$ 3,175 $\pm$ 0,05 mm

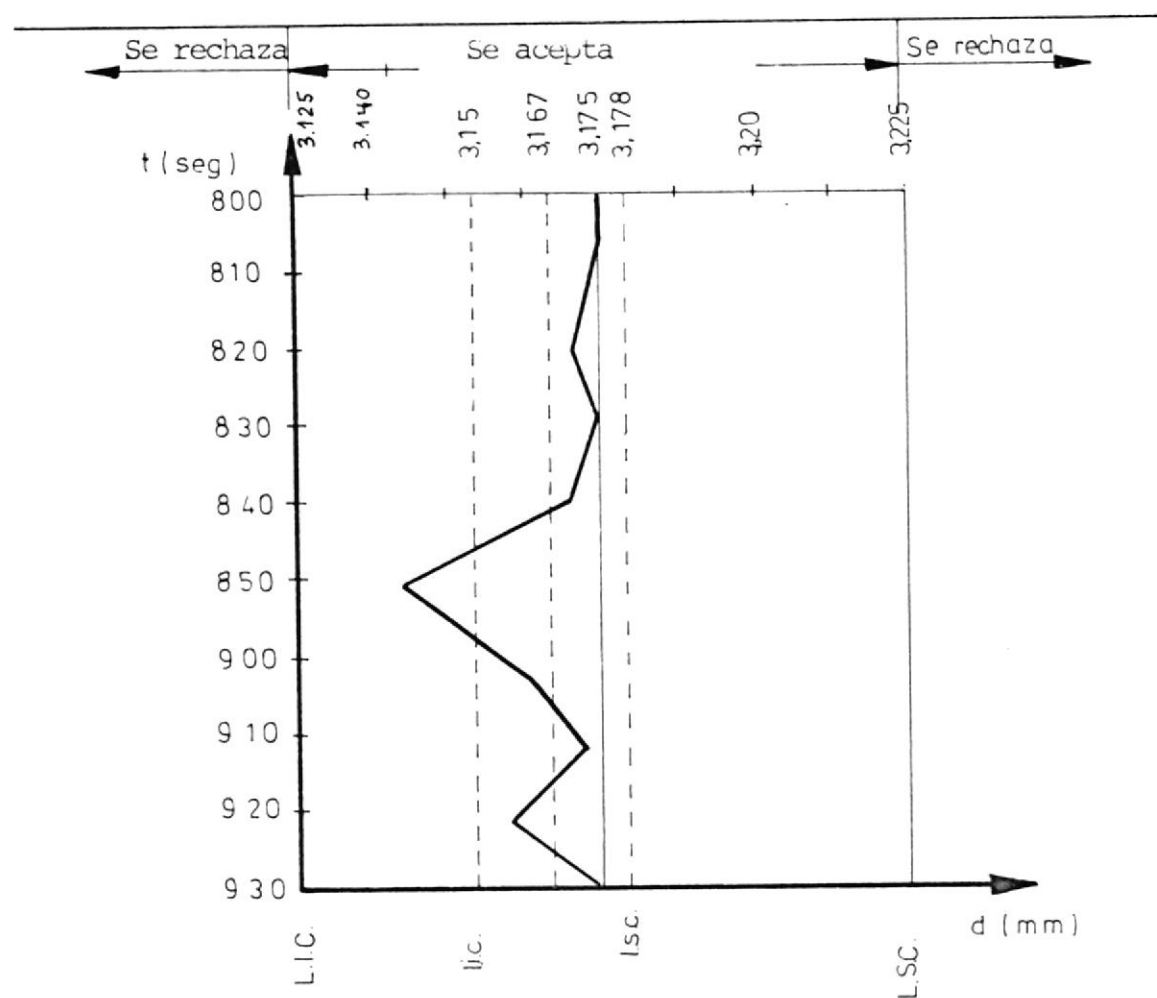
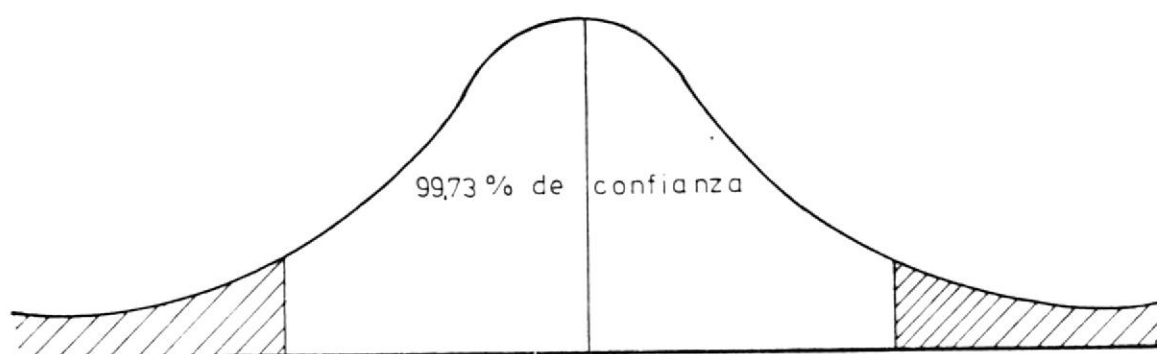


GRAFICO N° 2

GRAFICO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EXCENTRICIDAD
DEL ELECTRODO REVESTIDO

PRODUCTO: Electrodo revestido INSPECCION: Excentricidad

CARACTERISTICA $4,67 \pm 0,08$ mm

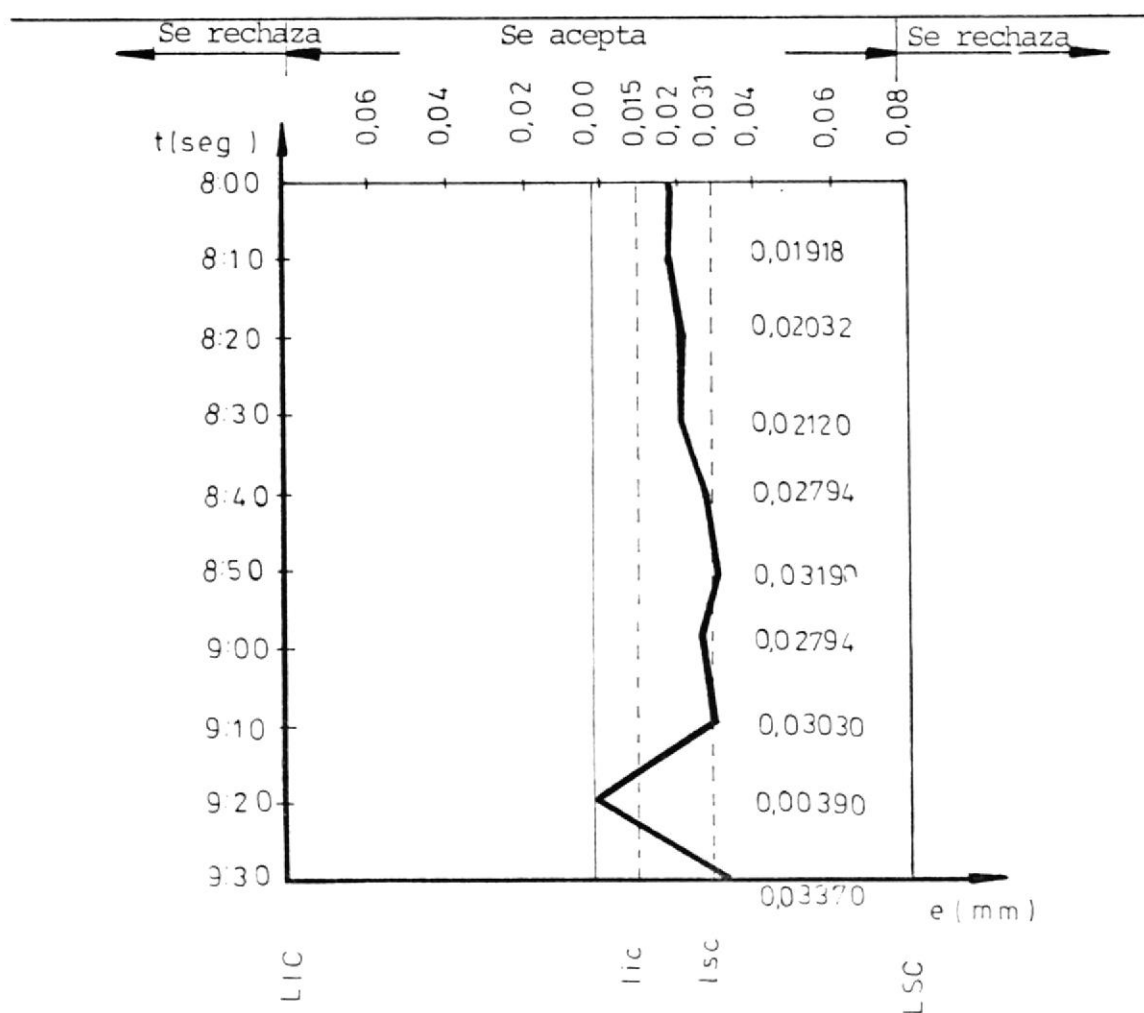
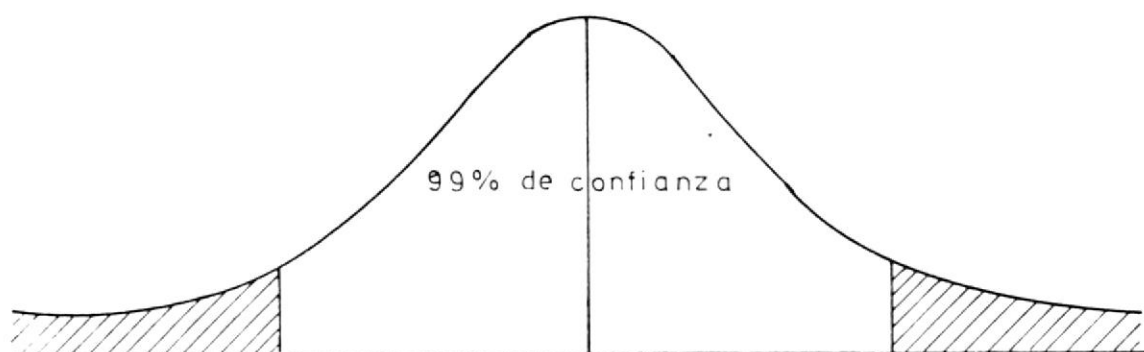


GRAFICO N° 3

GRAFICO DE CONTROL PARA EL EXTREMO "B"

PRODUCTO: Electrodo revestido INSPECCION: Arco

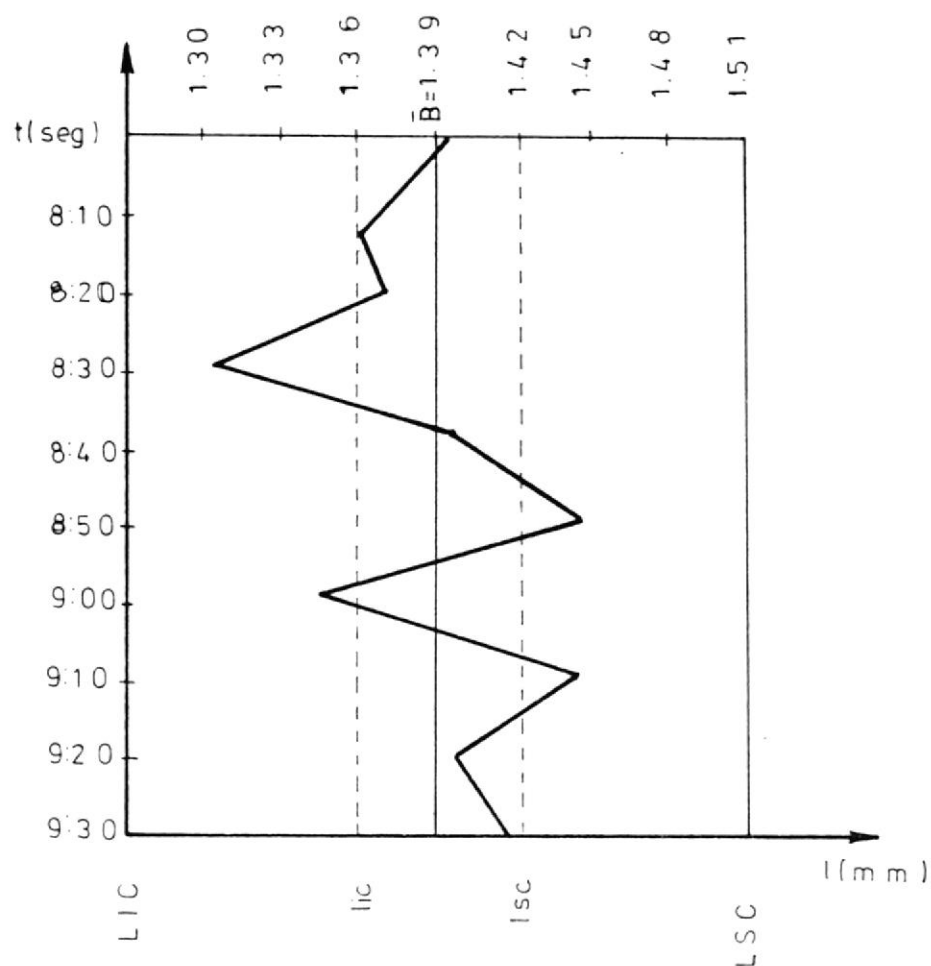
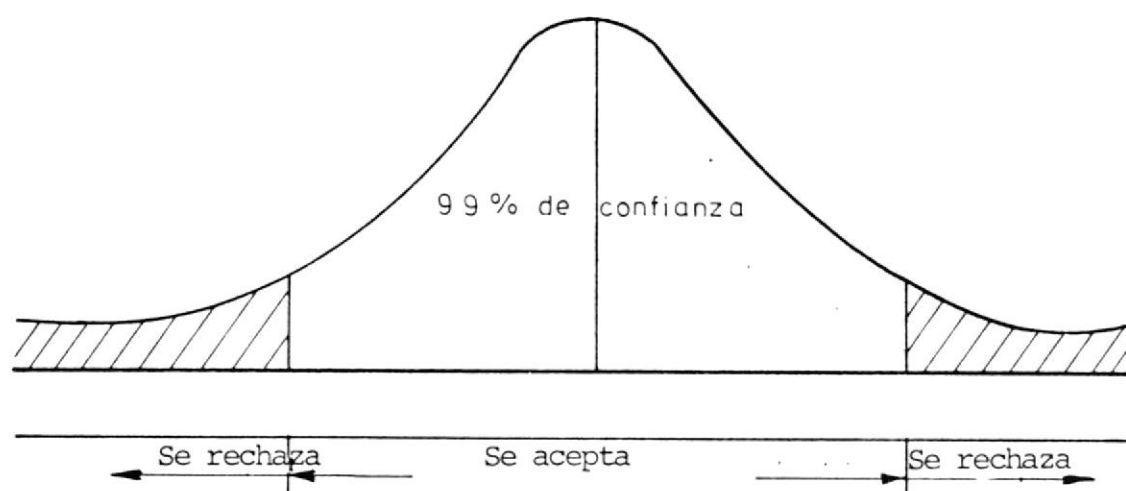
CARACTERISTICA : $\bar{B} = 1.39 \pm 0.03$ 

GRAFICO N° 4

GRAFICO DE CONTROL PARA EL EXTREMO "C" (TOMA)

PRODUCTO: Electro revestido INSPECCION: Toma

CARACTERISTICA: 22.19 ± 0.002

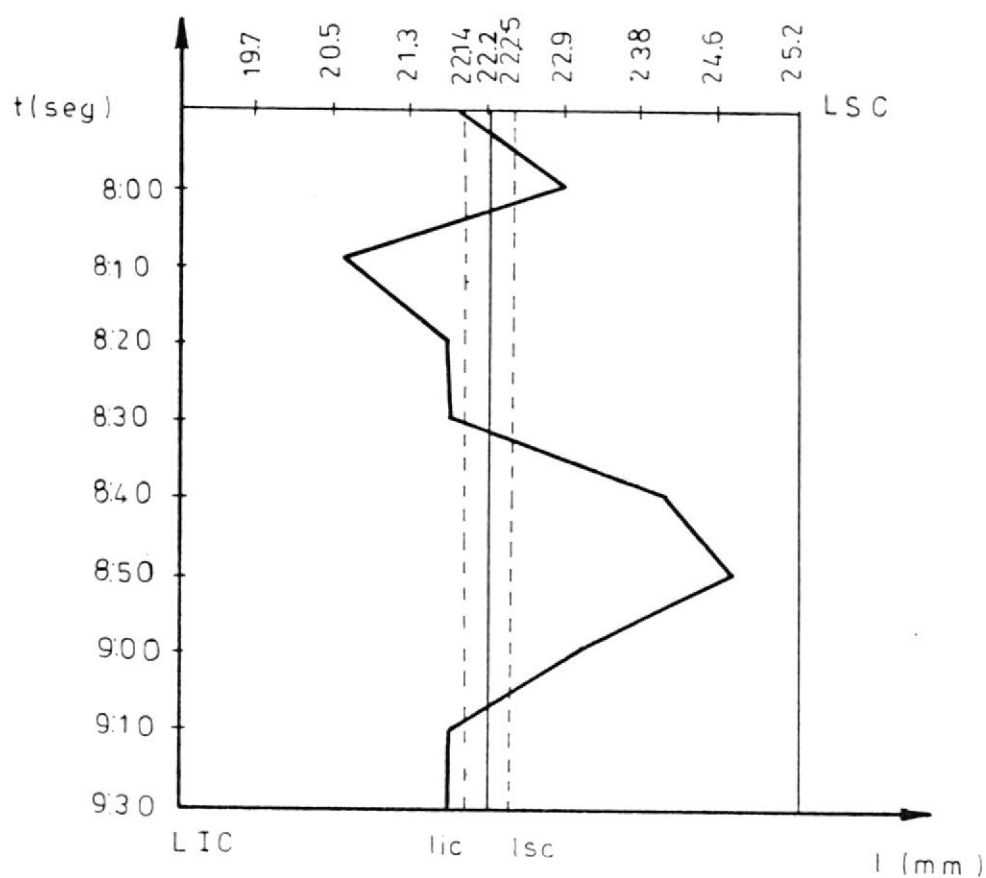
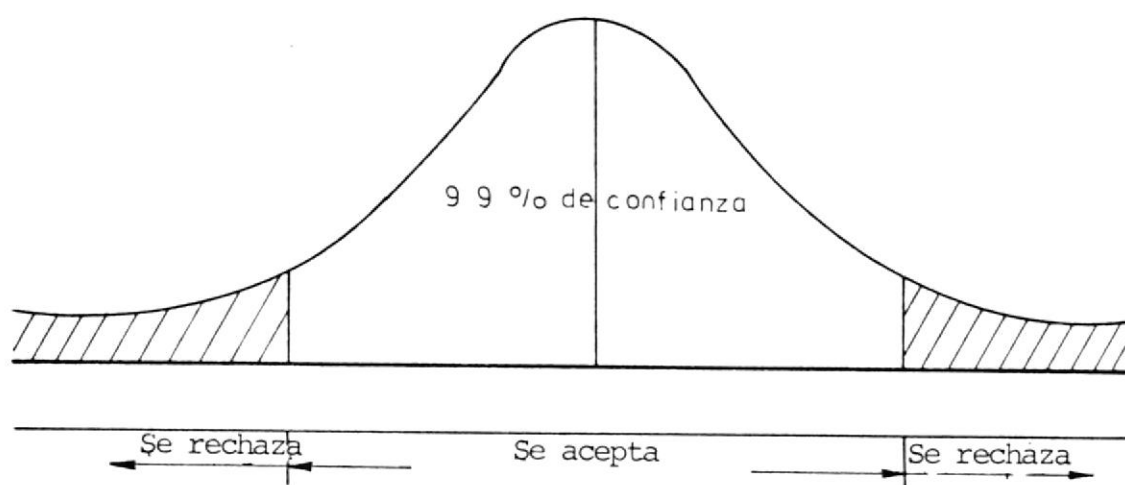


GRAFICO N° 5

GRAFICO DE CONTROL PARA EL EXTREMO "D"

PRODUCTO: Electrodo revestido INSPECCION: Toma

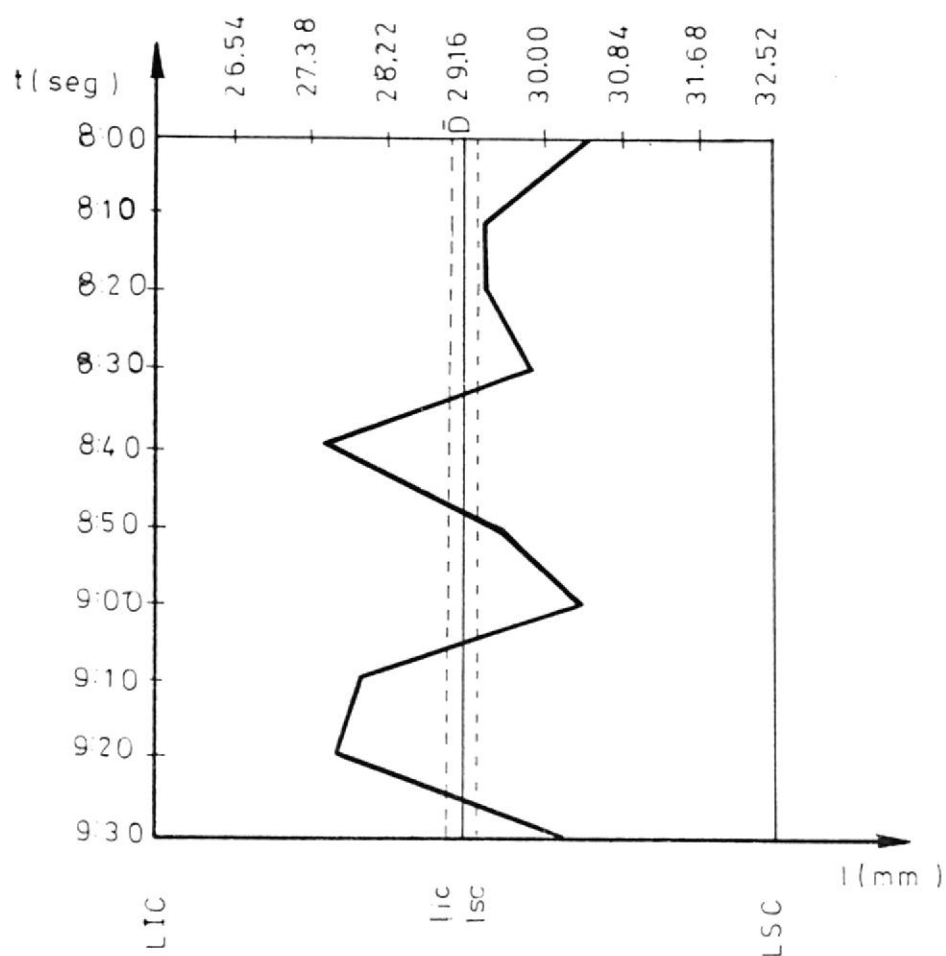
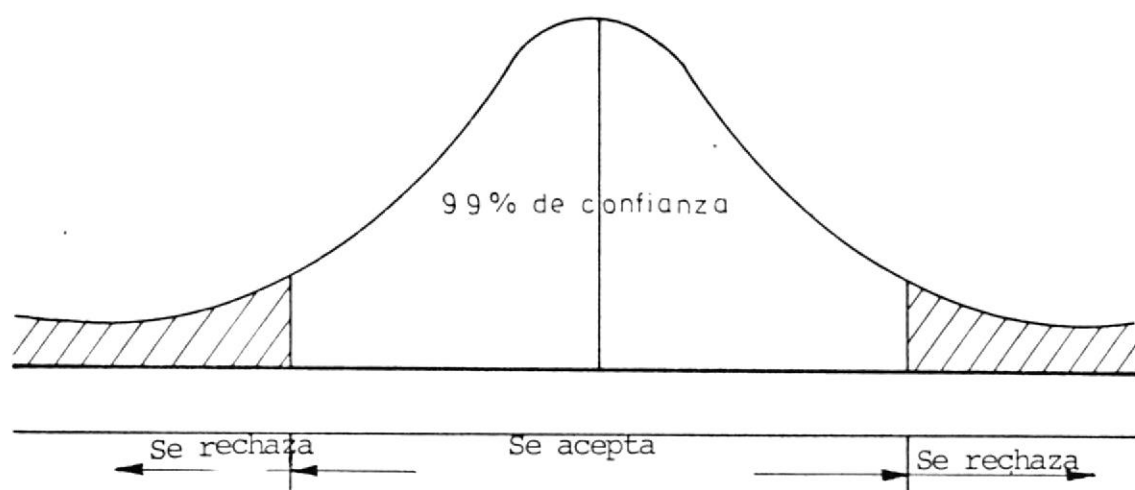
CARACTERISTICA 29.1 ± 0.1 

GRAFICO N° 6

SISTEMA HIDRAULICO DE LA PRENSA DE EXTRUSION

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1.- Motor | 7.- Filtro |
| 2.- Bomba de Pistones Axial | 8.- Válvula de 3 posiciones, 4 vías |
| 3.- Bomba de Doble estado | 9.- Enfriador de Aceite |
| 4.- Válvula de reductor de presión | 10.- Filtro |
| 5.- Válvula Check | 11.- Tanque |
| 6.- Válvula de Seguridad | 12.- Micro-Switch |

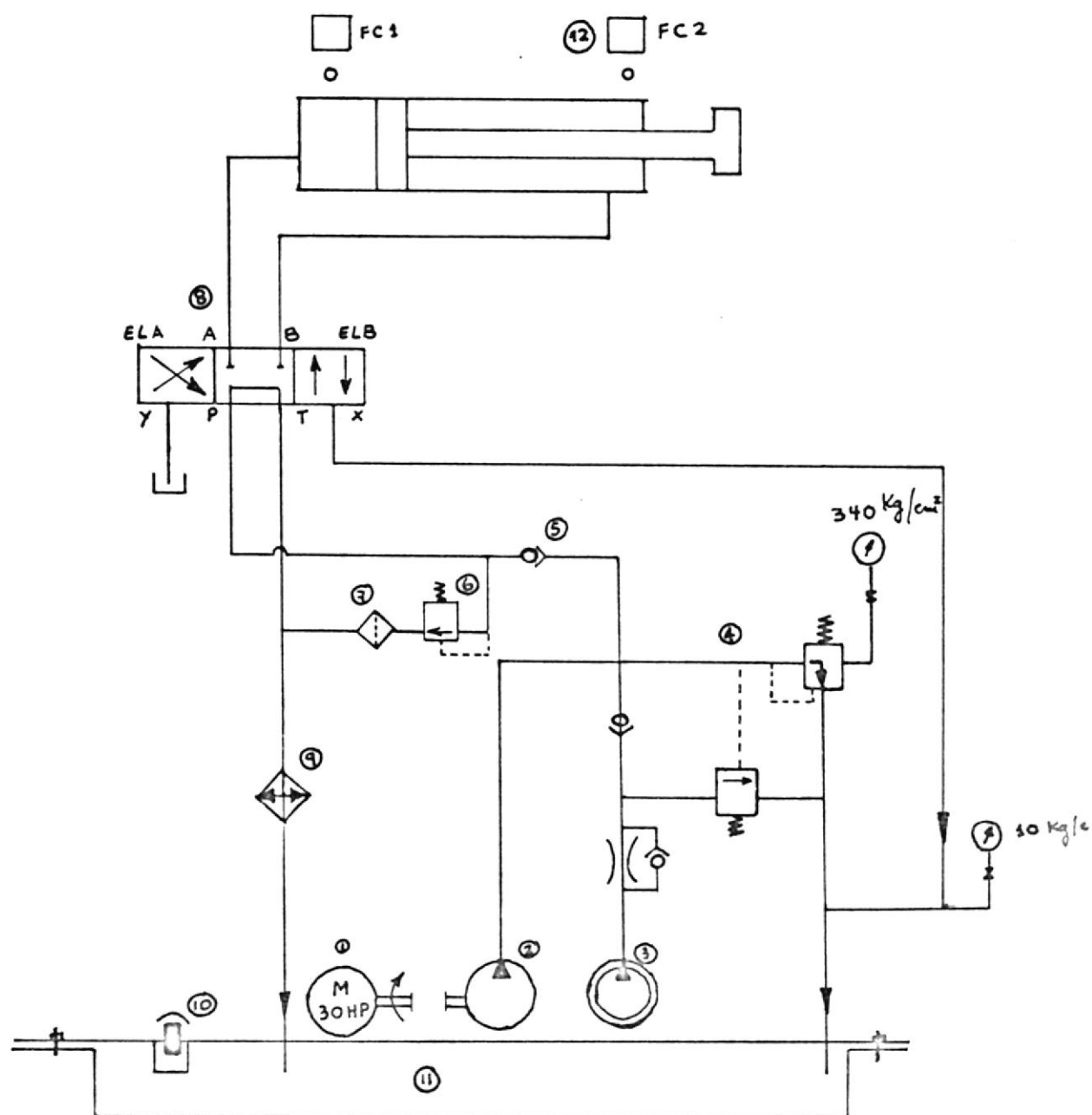


GRAFICO N ° 7

BIBLIOGRAFIA

- 1.- A. HIGGINS., Ingeniería Metalúrgica, Tomo II, 4a. Impresión, Continental S.A., México, 1976.
- 2.- METALURGIA DE LA SOLDADURA, Espol 1979.
- 3.- DIETER, Metalurgia Mecánica, Ed. Aguilar 1967 (ESPOL-1980).
- 4.- CATALOGUE GENERAL FOR INDUSTRIE OF SOLDADURA, ITALIA 1978
- 5.- A. FLORES, Curso de Soldadura en la Industria Chilena de Soldadura, Santiago, 1976.
- 6.- AWS, SPECIFICATION FOR CARBON STEEL COVERED ARC WELDING ELECTRODE, 1978.
- 7.- LINCOLN, Nuevas Lecciones de Soldadura, ESPOL 1979.
- 8.- MILL, Catálogo de Equipo de Trefilar, San Sebastián, España 1978.

- 9.- C. OLEAS, Estudio de un Sistema de Trefilación de Alambón para Soldadura, (Tesis de Grado), ESPOL 1981.
- 10.- DE VEDIA, Ing. L, Soldadura, Séptimo Curso Panamericano de Metalurgia, Buenos Aires, Argentina, 1971.
- 11.- SHIELDED METAL, Arc Welding, Apuntes
- 12.- A.V. FEIGEMBAUN, Control Total de la Calidad, Ingeniería y Administración, México, 1978.