

671.5212
A324



CIB-ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



Wladimir A.
06-03-03

Estudio del Efecto del Cambio de Variables
sobre la calidad de Soldaduras por Arco,
mediante ensayos no Destructivos.

TESIS DE GRADO
Previa a la Obtención del Título de
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

FREDDY ALAVA ALPRECHT



CIB-ESPOL

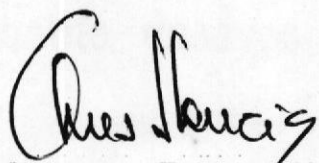
Guayaquil - Ecuador

1981

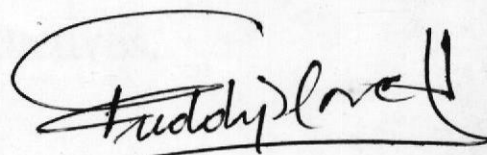
"ESTUDIO DEL EFECTO DEL CAMBIO DE VARIABLES SOBRE
LA CALIDAD DE SOLDADURAS POR ARCO, MEDIANTE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS"

DIRECTOR DE TESIS

A U T O R



ING. ALBERTO TORRES V.



FREDDY ALAVA ALPRECHT



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

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



CIB-ESPOL

DEDICATORIA

A la Escuela Superior
Politécnica del Litoral.

A mis queridos padres,
sin cuyo sacrificio y
apoyo no hubiera sido
posible este triunfo.

A mi esposa, por su
abnegada ayuda.

A mis hijos
Lourdes, Soraya
y Freddy.

INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCION	11
II. DESCRIPCION DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DISPONIBLES	14
2.1. Introducción	14
2.2. Tipos de ensayos no destructivos	15
2.2.1. Rayos X	18
2.2.2. Efectos de la variación del voltaje y la corriente de anodo.	22
2.2.3. Rayos Gamma	23
2.2.4. El proceso radiográfico	27
2.2.5. Características de las películas radiográficas.	30
2.2.6. Técnicas para el revelado	32
2.2.7. El objeto a radiografiar	32
2.2.8. Técnica para radiografiar	33
2.2.9. Consideraciones generales	39
2.2.10. Recomendaciones en la práctica radiográfica.	42
2.2.11. Interpretación de los resultados.	44
2.3.1. Partículas magnéticas	46
2.3.2. Características de la corriente de magnetización.	50
2.3.3. Procedimientos para la aplicación de este ensayo.	52
2.3.4. Técnica seca	55
2.3.5. Técnica húmeda	55
2.3.6. Aplicaciones	56
2.4.1. Tintas penetrantes	57
2.4.2. Limpieza de la superficie	60
2.4.3. Aplicación del penetrante	61

	Pág.
2.4.4. Remoción del exceso de penetrante.	63
2.4.5. Aplicación del revelador	65
2.4.6. Inspección e interpretación	67
2.4.7. Tipos de penetrantes	68
2.4.8. Penetrantes fluorescentes lavables con agua tipo A-1.	69
2.4.9. Penetrantes fluorescentes lavables con agua con emulsificación posterior.	70
2.4.10. Penetrantes fluorescentes removibles con solventes tipo A-3.	73
2.4.11. Penetrantes colorantes removibles con agua tipo B-1.	73
2.4.12. Penetrantes colorantes con emulsificación posterior tipo B-2.	74
2.4.13. Penetrantes con colorantes - removibles con solventes tipo B-3.	74
2.4.13. Penetrantes con colorantes - removibles con solventes tipo B-3.	74
2.5.1. Método del Ultrasonido	75
2.5.2. Fundamentos del ensayo	81
2.5.3. Tipos de ensayos de ultrasonido.	83
2.5.4. Condición de superficie	83
2.5.5. Estructura interna	86
2.5.6. Geometría del espécimen	86
2.5.7. Ventajas y desventajas del método.	87
2.5.8. Aplicaciones	88
III. TEORIA DE LA SOLDADURA POR ARCO	90
3.1. Introducción	90
3.2. Naturaleza del arco	91

	Pág.
3.3. Clasificación y descripción de métodos.	96
3.3.1. Soldadura al arco con <u>e</u> lectrodo sin revestir.	98
3.3.2. Soldadura al arco con <u>e</u> lectrodo revestido.	99
3.3.3. Soldaduras al arco con gas protector.	101
3.3.4. Soldadura al arco <u>s</u> umer <u>g</u> ido.	105
3.4. Efecto del cambio de variables en la soldadura al arco.	110
3.4.1. Efecto de las técnicas de soldadura al arco.	111
3.4.2. Efecto de la corriente de soldadura.	111
3.4.3. Efecto de la variación del voltaje.	112
3.4.4. Efecto de la velocidad de viaje.	112
3.4.5. Efecto de la técnica de soldadura en la razón de enfriamiento.	115
IV. DISCONTINUIDADES EN LA SOLDADURA POR ARCO.	117
4.1. Introducción	117
4.2. Clasificación de las discontinu <u>i</u> dades.	118
4.2.1. Discontinuidades inherentes.	118
4.2.2. Discontinuidades en proce <u>s</u> o.	118
4.2.3. Discontinuidades en servi <u>c</u> io.	119
4.3. Clasificación de las discontinu <u>i</u> dades por su forma.	119
4.3.1. Discontinuidades tridimen <u>s</u> ionales con forma geomé <u>t</u> rica definida.	119



CIB-ESPOL

	Pág.
4.3.2. Discontinuidades tridimensionales con forma geométrica no <u>de</u> finida.	120
4.3.3. Discontinuidades bidimensionales planas.	120
4.3.4. Discontinuidades lineales.	120
4.4. Clasificación de las discontinuidades por su constitución.	124
4.4.1. Fisuras superficiales	124
4.4.2. Huecos internos	124
4.4.3. Variaciones metalúrgicas	131
4.4.3.1. Segregaciones	131
4.4.3.2. Inclusiones	132
4.5. Incidencia de las discontinuidades sobre las propiedades mecánicas.	133
4.5.1. Falta de fusión	134
4.5.2. Falta de penetración	134
4.5.3. Rajaduras	136
4.5.4. Sovacación	139
4.5.5. Chisporroteo	139
 V. TRABAJO EXPERIMENTAL	 141
5.1. Introducción	141
5.2. Materiales utilizados	142
5.3. Equipo utilizado	146
5.4. Técnica operativa	151
5.4.1. Preparación de probetas	151
5.5. Cambio de variables en el proceso de soldadura al arco sumergido	155
5.5.1. Preparación de probetas para análisis radiográfico.	158
5.6. Aplicación del método radiográfico y procedimiento para tomas radiográficas.	160

	Pág.
VI. INTERPRETACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS	178
6.1. Introducción	178
6.2. Huellas en la interpretación	180
6.3. Determinación de la posición de un defecto.	181
6.4. Apariencia de los defectos en cordones de soldadura.	183
6.5. Resultados obtenidos.	183
6.6. Discusion de los resultados obtenidos.	185
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	193
7.1. Introducción	193
7.2. Conclusiones	194
7.2.1. Calor de entrada	194
7.2.2. Material con el que se trabaja.	197
APENDICE "A": RADIOGRAFIAS DE STANDARDS BRITANICO.	206
APENDICE "B": RADIOGRAFIAS OBTENIDAS EN ESTA TESIS.	236
APENDICE "C": LISTA DE FIGURAS	263
APENDICE "D": LISTA DE TABLAS	265
APENDICE "E": LISTA DE SIMBOLOS	266
REFERENCIAS	268

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El interés existente en el mundo por optimizar cada uno de los procesos de soldadura con la finalidad de obtener los mas altos porcentajes de confiabilidad en uniones soldadas, ha hecho de esta rama de la Metalurgia una verdadera ciencia en la que día a día muchos investigadores se dedican a estudiar y encontrar nuevas técnicas, equipos sofisticados y métodos de operación que satisfagan no solamente en lo que respecta a calidad al usuario, sino también que el producto final sea rentable.

En el caso de soldaduras al arco se han desarrollado equipos mas estables, fáciles de operar y cada fabricante se ha preocupado de suministrar al público, catálogos, cartillas y panfletos sobre la bondad de sus equipos, manera de seleccionar el electrodo correspondiente y recomienda además las condiciones de voltaje, corriente, etc. para dicho equipo, de acuerdo a las características físico-químicas de los materiales que se desean unir, así como también de la geometría de los mismos.

El desarrollo industrial de nuestra época ha restringido el uso de equipos de soldadura manuales en los que el arte del operador decidían la calidad de un proceso; en la actualidad

máquinas automáticas, que proporcionan atmósferas propicias para evitar la presencia del oxígeno e hidrógeno del aire - en el lugar donde se va a efectuar el arco y capaces de man tener una velocidad de viaje y consumo de electrodo constan tes, son las que tienen una gran demanda.

Estos equipos a mas de mantener estables sus condiciones de operación durante el proceso de soldadura, son diseñadas con el propósito de generar mas calor por unidad de tiempo y con seguir que la mayor parte de esta energía ingrese al sitio - de la unión, consiguiendo de esta manera procesos mas eficien tes.

La soldadura por arco sumergido es uno de los mas eficientes procesos y por lo tanto mayormente difundidos, su aceptación en la industria se ha debido no solamente por estar sus equipos dotados de una serie de controles que mantienen constan tes sus condiciones de operación, sinó también por la gran cantidad de calor generado en base al empleo de altas corrientes, el uso de fundente granulado que cubre en todo momento el ar co, restringiendo por consiguiente las pérdidas de calor y por la formación de una gruesa capa de escoria sobre el cor dón, consiguiendo un enfriamiento paulatino del cordón soldado.

El estudio del efecto del cambio de variables sobre la cali-

dad de soldaduras al arco mediante ensayos no destructivos, no es posible desarrollarlo sin el auxilio de un equipo de soldadura en el que se puedan registrar los valores de éstos parámetros, ya que los mismos servirán para llegar a resultados ciertos y de aplicación práctica.

El tipo de ensayo no destructivo que se usará en el presente trabajo es el de la radiografía industrial porque se considera que es el método más apropiado para detectar fallas e imperfecciones sub-superficiales e internos en costuras - de soldadura y porque además dichos defectos quedan registrados en la película radiográfica.

Una exposición sencilla de los fundamentos de la soldadura por arco, así como de los defectos y discontinuidades que pueden presentarse en todo proceso de soldadura se la hace en los próximos capítulos con el ánimo de refrescar los conocimientos del lector antes de entrar a la parte experimental.

Finalmente las conclusiones y resultados obtenidos en este trabajo servirán para que cualquier interesado tenga un punto de partida para resolver cualquier caso de soldadura en particular.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

2.1. INTRODUCCION

Los ensayos no destructivos constituyen una disciplina - tecnológica que comprende una amplia variedad de métodos reunidos en torno a una filosofía de aplicación determinada por el concepto de asegurar la calidad de los materiales, piezas o productos condicionada por los factores económicos inherentes a toda actividad industrial y por aquellos que hacen a la seguridad humana.

Si bien desde épocas remotas se conocen algunos métodos para ensayar materiales o productos sin modificar sus condiciones de usos, el desarrollo de los mismos como disciplina tecnológica es reciente, su iniciación es a principios de este siglo con la incorporación de métodos basados en la aplicación de los principios físico-químicos (1), posteriormente viene el uso exitoso y rentable de los rayos X y de las partículas magnéticas sumándose por último el método del ultrasonido.

Ciertamente que el conocimiento de los principios físico-químicos facilitan la selección de un determinado método, pero solamente un profundo estudio y experiencia pueden

definir la solución conveniente para cada caso en particular.

2.2. TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Dada la extensa gama de los principios físico-químicos de que se vale la metalurgia para detectar defectos en los materiales se han derivado diversos tipos de ensayos no destructivos, todos ellos importantes según sea el fin que se busca y el material que se trata, pero - para los propósitos de este trabajo solo se describirán los más usados:

1. Radiografía industrial
2. Partículas magnéticas
3. Tintas penetrantes
4. Método del ultrasonido



CIB-ESPOL

1. RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

Esta clase de ensayo permite detectar discontinuidades internas en los materiales mediante la aplicación de ondas electromagnéticas de energía apropiada, las cuales atraviesan la pieza con mayor o menor intensidad dependiendo de la densidad del material, sensibilizando una película que es la que revelará la existencia de una discontinuidad.

Las ondas electromagnéticas de energía apropiada son los rayos X y gamma, los primeros provienen de la excitación de la envoltura electrónica del átomo por medio del bombardeo de electrones acelerados o por desaceleraciones de los mismos debido a atracciones nucleares, mientras que los segundos tienen su origen en el seno del núcleo atómico de los radioisótopos, siendo también de frecuencia mas elevada (2). La película que recibe estos rayos contiene sales de plata que se ennegrecen mas o menos dependiendo de la densidad del material que absorbe a estos rayos en relación directa. Por lo tanto una discontinuidad que es una zona de baja densidad ennegrecerá mas la placa radiográfica, denunciando así su presencia.

Los rayos X y gamma a pesar de su diferente procedencia tienen similares propiedades (2):

- Se propagan en línea recta y no se desvían por la existencia de campos eléctricos o magnéticos.
- Ionizan los gases
- Excitan radiación fuorescente en ciertos compuestos químicos.
- Sensibilizan las emulsiones fotográficas
- Dañan los tejidos humanos y no son detectados por los sentidos corporales.

- Atraviesan todos los materiales incluso a los opacos a la radiación luminosa, sufriendo una absorción o pérdida de energía en relación con los espesores y densidad del materia atravesado.
- La pérdida de energía al atravesar un material se cumple siguiendo una ley exponencial de absorción, cuya expresión general es la siguiente(2):

$$I_f = I_o e^{-ux} \quad (1)$$

siendo:

I_f = Intensidad de radiación emergente luego de atravesar un espesor x .

I_o = Intensidad de radiación incidente

u = Coeficiente de absorción, constante que depende de la naturaleza del material y de la energía de radiación incidente.

x = Espesor atravesado.

- El fenómeno de absorción de los rayos X o gamma por la materia, se produce por cualquiera de los tres procesos siguientes (2):
 1. Efecto fotoeléctrico
 2. Efecto Compton
 3. Producción de pares de electrones

- Dentro del rango usual de energías aplicadas en este ensayo, las sustancias de bajo peso atómico como agua, plásticos, madera, etc. atenúan la radiación principalmente por efecto Compton, produciendo gran cantidad de radiación dispersa o radiación secundaria, mientras que las sustancias de elevado peso atómico como los metales atenúan la radiación principalmente por efecto fotoeléctrico, es decir existirá poca producción de radiación electromagnética dispersa.

2.2.1. Rayos X

Los rayos X se obtienen por bombardeo de un blanco metálico que constituye el ánodo, para tal efecto se usa un tubo o válvula electrónica en la cual los electrones que salen del cátodo son acelerados hacia el ánodo debido a una diferencia de potencial aplicado entre estos dos. Los electrones chocan contra el ánodo o blanco originándose una emisión de rayos X de dos tipos:

- a. Emisión de espectro continuo al incidir bruscamente los electrones en el blanco (2).
- b. Emisión de un espectro de rayos (discontinuo) producido por la recaptura de los electrones que se desprenden de los átomos del ánodo o

blanco como emisión secundaria ocasionados por la incidencia del haz de electrones que llegan al blanco.

Los tubos de rayos X constan de un cátodo metálico que es calentado por medio de un filamento, un ánodo o blanco que es el que recibe los electrones que emite el cátodo al calentarse; este conjunto va encerrado en una ampolla de vidrio al vacío.

El ánodo o blanco es usualmente un bloque de cobre con sus extremos biselados en un ángulo de 70° respecto al eje del tubo. Sobre el ánodo se encuentra una lámina delgada de tungsteno que constituye el blanco, el cual muchas veces hay que refrigerarlo para disipar el intenso calor originado por el impacto de los electrones. La emisión de electrones será mayor cuanto mayor sea el kilovoltaje se aplique entre cátodo y ánodo; la figura 1 muestra el blanco biselado a 70° . El área que cubre los electrones que salen del cátodo y llegan al blanco se llama foco actual; este tamaño queda determinado por la forma del filamento y la focalización lograda sobre el haz de electrones.

La corriente del tubo constituye el flujo de electrones que salen del cátodo hacia el ánodo, esta es del orden de los 3 a 15 miliamperios se la regula variando el voltaje de filamento. La energía cinética de los electrones se la regula variando el kilovoltaje entre cátodo y ánodo.

Al chocar los electrones en el blanco ceden su energía convirtiéndose un 99% en calor y el 1% restante en emisión de rayos X; es por esta razón que los blancos son hechos de tungsteno, material que permite una mejor eficiencia de conversión de rayos X por su elevado número atómico y por su elevado punto de fusión. La desventaja que presenta este elemento es la baja conductividad térmica por lo cual hay que refrigerarlo con agua o aceite.

Las limitaciones de potencia que tienen los tubos de rayos X están dadas por el tamaño del foco y la disipación de calor. Una referencia buena es que un tubo excitado con un voltaje de 200 KV, con una corriente de 5 miliamperios y un área focal de 5 mm^2 tiene una carga calórica en el blanco de 200 Watts/mm^2 (2).

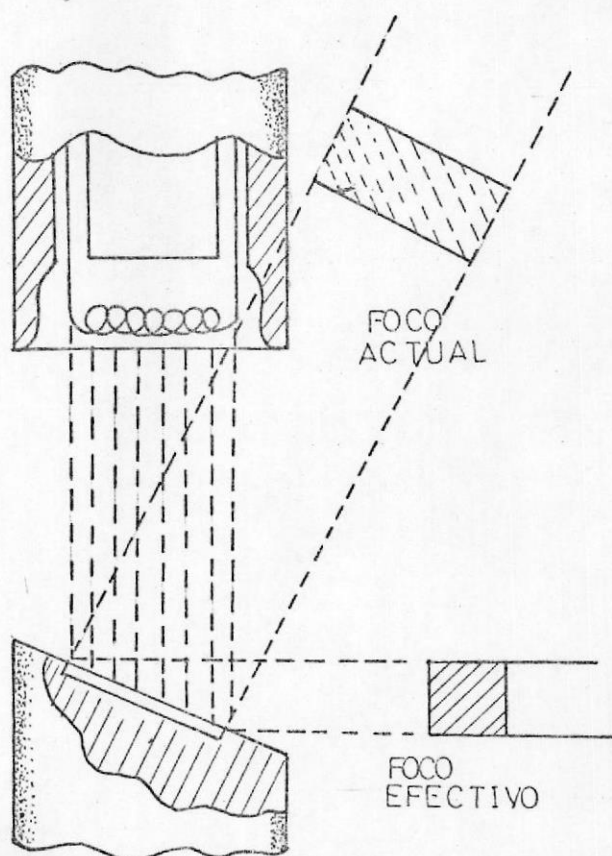


Fig 1 TUBO DE RAYOS X (.2)

El equipo de rayos X para uso industrial consta de un panel de control y un cabezal de irradiación; en el primero se encuentra la fuente de poder y potenciómetros para variar la tensión y corriente, un temporizador para fijar la duración de cada exposición. En el segundo se encuentra el transformador y rectificador de alto voltaje, el tubo de rayos X y un sistema de refrigeración.

2.2.2. Efectos de la variación del voltaje y corriente de ánodo

La emisión de rayos X puede ser controlada en su cantidad y calidad variando el voltaje y la corriente anódica; mientras mayor es la tensión o kilovoltaje, mayor es la energía a la que se inicia el espectro (2). Un aumento de kilovoltaje produce también un aumento de intensidad en todas las longitudes de onda, siendo mayor este aumento para las menores longitudes de onda; por lo tanto la variación en la tensión del blanco modifica la calidad de la emisión.

La variación de la corriente anódica es proporcional al voltaje de filamento; el aumento de

la corriente anódica solo produce un aumento en la intensidad de la radiación emitida. Al aumentar el voltaje de filamento se aumenta el flujo de electrones pero su velocidad se mantiene constante y por lo tanto se produce mas cantidad de radiación X por mm^2 .

2.2.3. Rayos gamma

Estas radiaciones provienen de la estructura interna del núcleo y tienen una energía y comportamiento similar a los rayos X. Para entender la mecánica de la radiación gamma se hace necesario una introducción a la física nuclear.

Existen en la naturaleza elementos cuyos átomos tienen igual número atómico pero distinto peso atómico, estos se deben a que en el núcleo están presentes partículas de carga eléctrica neutra llamados neutrones; a estos elementos se los denomina isótopos.

Se encuentran además átomos cuyos núcleos contienen mas neutrones de los que establemente pueden mantener, tales núcleos comienzan a emitir energía cada vez en menor proporción, llamandose los

radioisótopos y la emisión descendente decaimiento radioactivo. Estos radiosótopos pueden provenir de la fisión nuclear o por bombardeos de neutrones a los nucleos estables en los reactores nucleares. Los radioisótopos usados en este tipo de ensayo son los que tienen un neutrón en exceso.

La desintegración de los átomos en un elemento radioactivo ocurre simultáneamente, cada átomo tiene una determinada probabilidad de emitir energía siendo constante el valor de fracción que se desintegra por unidad de tiempo. La ley que obedece a este fenómeno de decaimiento radioactivo se la expresa así (2):

$$A = A_0 e^{-t0,69/T^{1/2}} \quad (2)$$

Donde:

A = Cantidad de radiosótopo que queda al cabo de un tiempo t.

A_0 = Cantidad de radioisótopo existente en el instante inicial.

$T^{1/2}$ = Período de semidesintegración, indica el tiempo en el cual la cantidad inicial se ha reducido a la mitad.

El valor de $T^{1/2}$ es usado por los radiólogos los cuales lo llaman simplemente vida del radiosótomo.

Los radiosótopos usados en este tipo de ensayos - tienen un período de semidesintegración o vida que va desde algunas semanas hasta varios años, dependiendo del elemento. La velocidad con que se desintegran los nucleos en una fuente radiactiva es usada como una medida de la potencia o actividad de la misma; ésta velocidad lógicamente disminuye con el tiempo siendo necesario conocer la actividad actual de la fuente para cada exposición. La figura 2 muestra un ejemplo con el iridio 192.

Si bien es cierto que todo radioisótomo emisor de radiación gamma puede ser usado para la radiografía, en la práctica solo cinco de ellos reúnen características que se usan para este tipo de ensayo; la tabla 1 muestra los radioisótopos para este tipo de ensayo no destructivo.

Un equipo de gammagrafía consta de: la pastilla o fuente de radiación, la cual varía desde 0.5 x 0.5mm hasta 6 x 6 mm. El portador de la fuente debe ser blindado a prueba de agua, fácil de manipular y debe ser provisto de cerradura para asegurar la fuente.

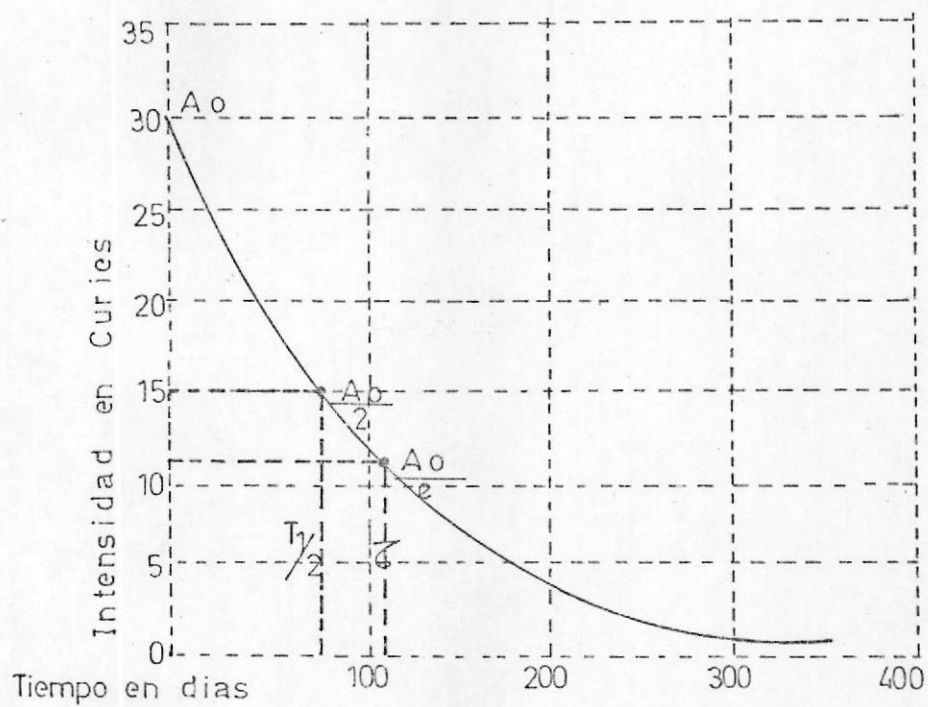


Fig. 2.- CURVA DE DECAIMIENTO DEL IPIDIO 192 (2)

te en posición de depósito; en estas condiciones se aconseja, según los organismos internacionales de seguridad (2), que el nivel de radiación a 5 cm. de su superficie no sea mayor que 20 miliroentgens/hora, o que a un metro de distancia no sea mayor que 2 miliR/hr.

2.2.4. El proceso radiográfico

La radiografía es el registro sobre una película fotográfica de la imagen radiante de un objeto - producido por el paso de radiación X o gamma a través de él; la película consiste de un soporte - transparente cubierto por ambos lados de una capa de gelatina, este soporte tiene en su interior granos muy pequeños de haluro de plata (2), los cuales son excitados con radiación X, gamma, ultravioleta o luz visible. Estos granos excitados pueden ser reducidos a partículas negras de plata metálica por medio de un proceso químico llamado revelado. Terminado este proceso los granos de haluro de plata que no fueron excitados se los puede remover por medio del fijado y lavado, técnica que elimina además todos los agentes químicos introducidos en las operaciones anteriores; una vez realizado todo esto se procede a se

TABLA N^o 1
 CARACTERISTICAS DE LOS RADIOISOTOPOS USADOS EN RADIOGRAFIA
 INDUSTRIAL (2).

RADIOISOTOPO	COBALTO 60	CESIO 134	CESIO 137	IRIDIO 192	THULIUM 170
Período de se- midesintegra- ción ($T^{1/2}$)	5,26 años	2,1 años	30 años	74 días	127 días
Energías (Me V)	1,17 1,33	0,48 1,4	0,66	0,30 a 0,61	0,052* a 0,084
Rango de apli- cación: acero (cm) aluminio (cm)	5-15 15-45	5-10 15-30	5-10 15-30	1-7 3-20	0,25-1,25 0,75-3,75
Factor de ex- posición (Roent- gens/hora por Curie a 1 m. de distancia).	1,3	0,87	0,33	0,48	0,0025

NOTA: * emite una pequeña cantidad de rayos X por frenamiento de los electrones de radiación beta.

car la película para su observación por transparencia.

Al observar una película radiográfica se debe tener en cuenta tres características fundamentales:

Densidad.- Es la cualidad que expresa el grado de ennegrecimiento alcanzado por la película; cuantitativamente se lo puede describir como el logaritmo vulgar de la relación entre la luz incidente sobre la película y la luz que atraviesa la misma (2).

$$D = \log \frac{I_o}{I_t} \quad (3)$$

Contraste.- Es la diferencia en intensidad luminosa entre dos áreas adyacentes.

Definición.- Es el grado de nitidez de los bordes o límites entre dos áreas de diferente densidad; cuando el foco de la fuente no es puntual se puede apreciar una zona de mayor transición entre dos áreas adyacentes. A esta zona se la conoce como penumbra y es una medida inversa a la definición.

Hay además un factor muy importante en el proceso de la radiografía que todo radiólogo debe tener muy en cuenta, este factor es la condición geométrica existente. Existen normas que deben ser cumplidas fielmente para la obtención de una buena radiografía (2):

- a. La fuente de radiación debe ser lo mas puntual posible.
- b. La distancia entre la fuente película debe ser la mayor posible.
- c. El objeto debe estar lo mas cerca de la película.
- d. La radiación debe ser dirigida perpendicularmente a la película.
- e. El plano del objeto y el de la película deben ser paralelos.

2.2.5. Características de la película radiográficas

Las características mas importantes de las películas radiográficas son: el tamaño del grano, la velocidad o sensibilidad de la radiación, el contraste y la latitud de exposición.

En el comercio existe una amplia variedad de pe-

lículas radiográficas que pueden reagruparse en dos tipos: las de exposición directa a los rayos X o gamma, que pueden usarse con pantallas metálicas y aquellas que se usan con pantallas salinas que actúan como convertoras de la radiación X o gamma en presencia de la radiación fluorescente.

De las características mencionadas anteriormente se concluye que un tamaño grueso de grano da una pobre definición; la velocidad o sensibilidad de radiación es mayor si se usan radiografías utilizando pantallas salinas. Estas pantallas son metálicas también pero en sus dos caras llevan una fina capa de tungstato de calcio, lo cual tiene la propiedad de producir fluorescencia bajo la excitación X o gamma, propiedad que se la aprovecha para acelerar el proceso radiográfico de la película que se encuentra entre estas dos placas, reduciendo de esta manera el tiempo de exposición.

La latitud de exposición es el rango dentro del cual debe permanecer expuesta la película; es obvio que si se tiene poco tiempo de exposición no habrán muchos contrastes y si se tiene un excesi

vo tiempo de exposición no habrá una imagen definida, saliendo agrandada y difusa.

2.2.6. Técnicas para el revelado

El procesado de la película tiene gran importancia, un revelado excesivo ocasionará una definición pobre (2), existiendo zonas anchas de penumbra; se recomienda por lo tanto usar para cada película el revelador indicado por el fabricante.

Revelada la película se pasa al baño de detención, el cual es una solución de ácido acético al 2%, luego al fijador que solubiliza las sales de plata no reducidas y finalmente al lavado para extraer todas las sales y reactivos.

2.2.7. El objeto a radiografiar

La absorción en un material depende de su espesor, densidad y número atómico de los elementos presentes; lógicamente que entre dos objetos iguales pero de diferente espesor el mas grueso abosrverá mayor cantidad de radiación y para obo

tener el mismo ennegrecimiento se hace necesario aumentar el tiempo de exposición o el kilovoltaje.

La tabla 2 da una relación del tiempo de exposición necesario para un determinado metal usando radiación X o gamma.

2.2.8. Técnica para radiografiar

En las películas radiográficas que normalmente se expenden en el comercio se encuentran los diagramas de exposición en los cuales, sea el caso de rayos X, las abscisas indican el espesor del material y las ordenadas la exposición en miliamperios-minutos. La figura 3 da un ejemplo del diagrama de una película Structuris D4, en este se encuentran graficadas curvas con distintos parámetros dependiendo del kilovoltaje de placa, el mencionado diagrama da además información de: tipo de película, distancia fuente-película, pañtallas usadas, procesado y densidad de la radiografía.

Por razones prácticas la exposición (ordenadas)

TABLA N^o 2
 FACTOR APROXIMADO DE EQUIVALENCIA RADIOGRAFICA (2)

METALES	RAYOS X (KV)				RAYOS GAMMA			
	50	100	150	220	400	Ir 192	Cs 137	Co 60
Magnesio	0.6	0.6	0.05	0.08		0.35	0.35	0.40
Aluminio	1.0	1.0	0.12	0.18		0.35	0.35	
Acero		12.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ac. Inox. 18-8		12.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Cobre		18.0	1.6	1.40	1.4	1.1	1.1	1.1
Zinc			1.4	1.3	1.3	1.1	1.0	1.0
Latón			1.4	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1
Plomo			14.0	12.0		4.0	3.2	2.3



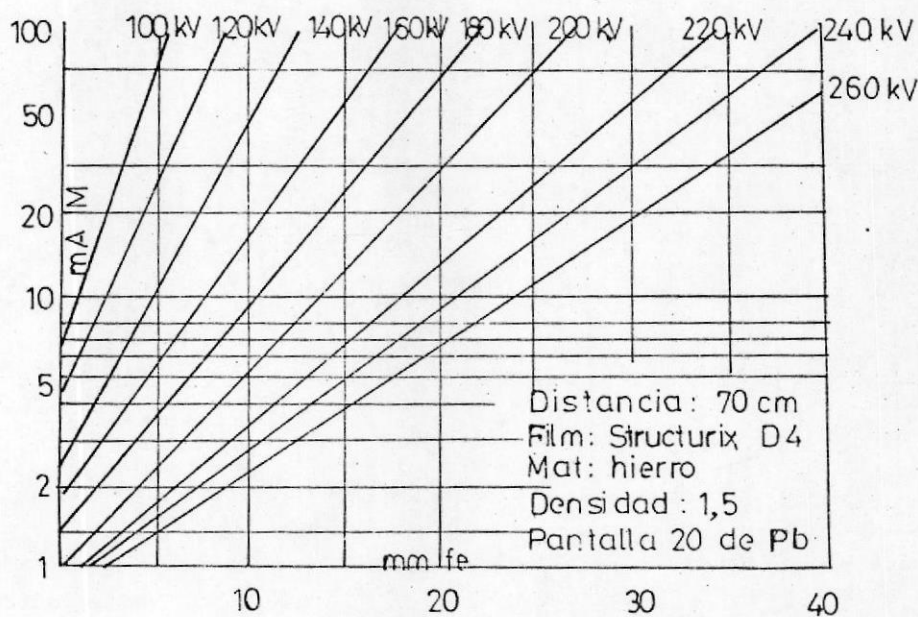


Fig 3- Diagrama de exposición para rayos X (2)

viene en escala logarítmica. Cuando se quiere trabajar a una distancia distinta a la mencionada en el diagrama se aplica la ley del cuadrado de la distancia para corregir el tiempo de exposición.

En los diagramas de radiación gamma cada radioisótopo tiene uno en particular, en dichos diagramas las ordenadas contienen el tiempo de exposición en Curie-horas también en escala logarítmica, las abcisas el espesor del material. Los parámetros de cada curva pueden corresponder a distintas distancias o bien a distintas películas; cada diagrama además trae información sobre pantallas a usarse, procesado, densidad, clase de radiación, etc. La figura 4 muestra dos típicos ejemplos de diagramas para una película Structuris D7 para usarse con Iridio 192 y otra D10 para usarse con Cobalto 60.

Para películas Kodak del tipo KK, AA y M, la figura 5 muestra una serie de curvas que corresponden a diferentes radioisótopos y para cada espesor de piezas de acero da un factor

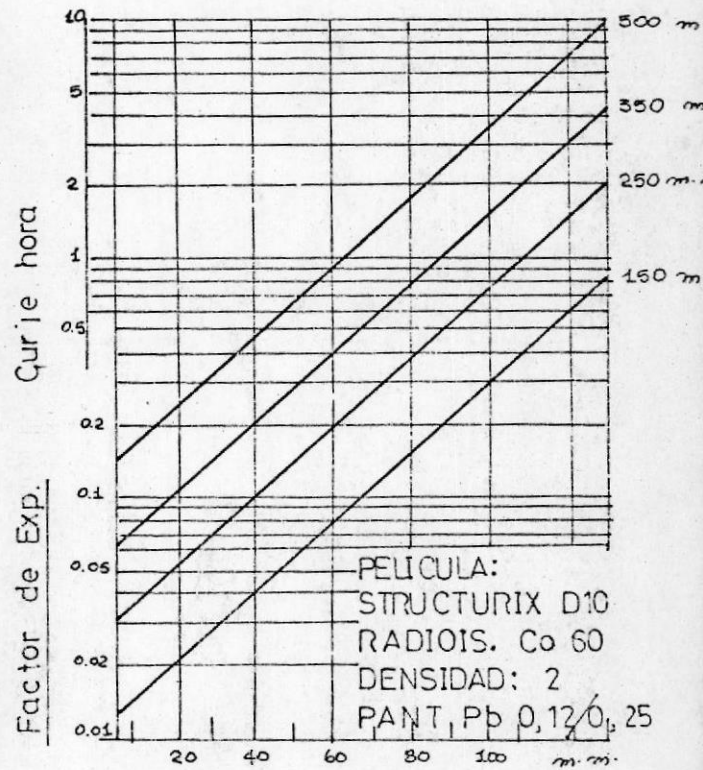
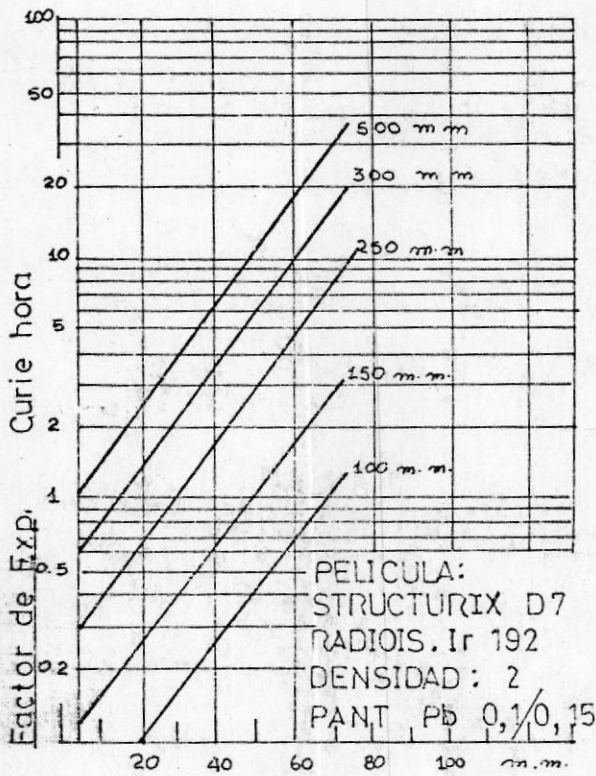


Fig 4. DIAGRAMAS DE EXPOSICION PARA RADIOGRAFIAS CON FUENTE DE IRIDIO 192 Y DE COBATO 60. PELICULAS "AGFA GEVAERT." (2)

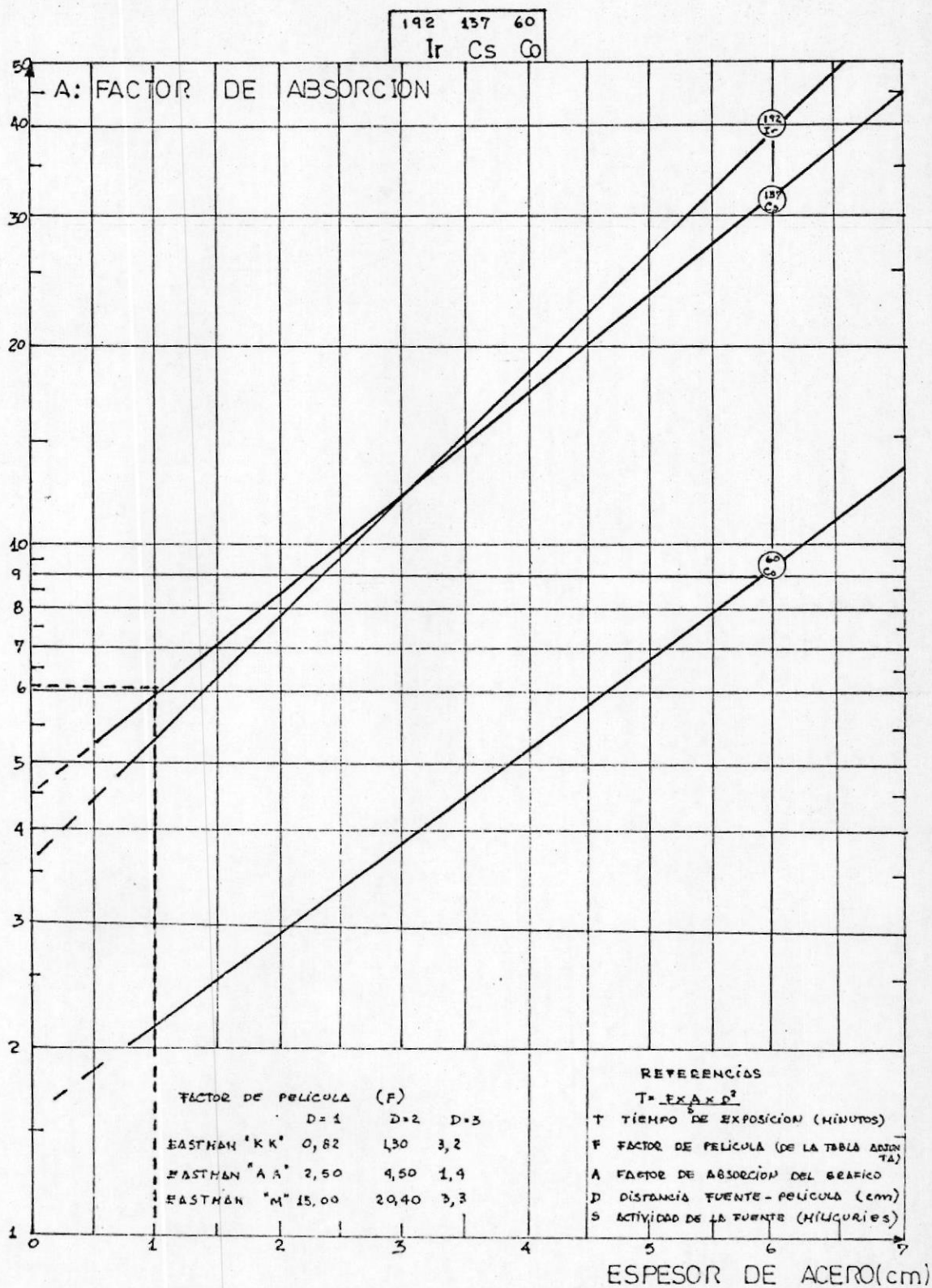


FIG. 5.- CURVAS PARA CALCULAR EL TIEMPO DE EXPOSICION. PELICULAS MARCA KOLAK TIPO "KK" "AA" y "M" (2).

de observación.

Para encontrar el tiempo de exposición se utiliza la fórmula (2):

$$T = \frac{F \times A \times D^2}{S_a} \quad (4)$$

que generalmente viene en los diagramas, donde:

T = Tiempo de exposición en minutos

F = Factor de película (ver fig. 5)

A_F = Factor de absorción (Ver fig. 5)

D = Distancia fuente película (cm)

S_a = Actividad de la fuente (milicuries)

2.2.9. Consideraciones generales

La detección de defectos en un material depende de la diferencia de absorción de la radiación - entre la parte buena y la defectuosa; el que aparezca o no un defecto, cualquiera que este sea, depende de la técnica empleada, si la técnica a plicada permite encontrar discontinuidades mayo res que un 3% quiere decir que una falla de menor espesor no se la puede encontrar. Por otro lado si en vez de existir una discontinuidad hay una inclusión ligeramente menos densa que el ma

terial a ensayarse y un poco mayor que el 3% del espesor, tampoco será detectada porque la diferencia de absorción va a ser la misma.

Esta mayor o menor diferencia de absorción no solo depende de la clase de falla o discontinuidad sino también de la clase de radiación utilizada y sobre todo de la orientación del defecto con respecto a la fuente, por lo que se deduce que realmente no hay una certeza en detectar una discontinuidad por el hecho de aplicar una determinada técnica de absorción.

Sería óptimo definir la sensibilidad del defecto con la siguiente fórmula (2):

$$S_e = \frac{D_i}{X} \times 100 \quad (5)$$

donde:

S_e = Sensibilidad de defecto

D_i = Dimensión del menor defecto de cierto tipo

X = Espesor del objeto.

pero resulta imposible llevarlo a la práctica.

En vista de la imposibilidad de evaluar objetivamente la sensibilidad de detección de defectos a una radiografía se recurre al uso de indicadores que sirven de referencia para medir la calidad de una imagen radiográfica. Estos consisten de plaquetas escalonadas o alambres del mismo

material a radiografiarse cuyos espesores son un porcentaje de este, ya sea el 1, 2, 3%, etc. que colocados sobre la cara del objeto que se enfrenta a la radiación, en la parte de mayor espesor y mas alejada del punto en que la radiación incide normalmente, es decir en las condiciones mas desfavorables, dan una magnífica referencia para evaluar la calidad de la técnica radiográfica empleada; para hacer una evaluación de esta calidad se tiene la fórmula (2):

$$\text{ICI} \% = \frac{E (\text{mm})}{X (\text{mm})} \times 100 \quad (6)$$

donde:

ICI : Sensibilidad de indicador de calidad de imagen.

E : Espesor del indicador que aun puede ser visto.

X : Espesor del objeto radiografiado

Cuanto mayor sea el porcentaje ICI, peor será la calidad radiográfica.

Es importante conocer que ni la imagen del indicador en la radiografía, ni el valor de la sensibilidad calculada pueden usarse para asegurar

el tamaño mínimo de defecto detectable, pero en todo caso permite hacer una evaluación de la imagen radiográfica.

Dependiendo del tipo de indicador usado se puede obtener información del contraste y de la definición lograda (2).

El uso del ICI está normalizado en muchos Países siendo los principales o mas comunes el ICI AFNOR usado en Francia, el ICI ASTM usado en USA, el ICI DIN usado en Alemania.

El mas usual para América es el ICI ASTM; la norma ASTM-E 142 establece el espesor y los orificios que contiene.

2.2.10. Recomendaciones en la práctica radiográfica

Para la selección de la radiación a usarse se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Con rayos X, mientras mayor sea el kilovoltaje usado, se obtendrá menor contraste. Para obtener mejor sensibilidad deberá usarse el mínimo kilovoltaje compatible con el tiempo de

exposición práctico y tomando en cuenta el contraste (variaciones de espesor de la pieza).

Esta clase de radiación es apropiada para radiografiar materiales de baja densidad, de poco espesor y aleaciones livianas tales como el bronce y latón, así como también materiales ferrosos de 1/2 pulgada de espesor como máximo; para materiales ferrosos entre 5/8 y 2", la mejor sensibilidad se la obtiene con rayos X. Para trabajos de campo se prefiere usar el equipo de radiación gamma por cuanto no necesita energía exterior.

Cuando el material a radiografiarse es fundición se debe observar lo siguiente:

- a. Tratar de penetrar el menor espesor posible
- b. La película debe estar lo mas cerca de la superficie.
- c. Usar máscaras de borde, especialmente al usar rayos X.
- d. La densidad del film debe ser la mayor aceptable para la parte mas delgada en el caso de elevados contrastes del objeto y técnica de un solo film.

- e. Para objetos de gran contraste se puede efectuar la exposición simultánea sobre dos películas de distinta velocidad o usar un sistema de filtrado de la radiación para disminuir el contraste.
- f. Tomar especial cuidado para cubrir ángulos y bordes mediante el uso del ángulo apropiado para el haz de radiación.

Cuando se use soldaduras se recomienda:

- a. Si se trata de tanques o cilindros y si hay acceso de ambos lados, colocar la fuente de rayos X adentro y la película afuera.
- b. Usar respaldo de plomo de aproximadamente 1 mm. de espesor en chasises no metálicos, cuando no se usan pantallas de plomo.
- c. Usar máscaras en la radiografía de los extremos de la soldadura.

2.2.11. Interpretación de los resultados

Una vez efectuada la toma radiográfica y pasado el proceso de revelado se debe tener presente lo siguiente:

- a. Las zonas de menor densidad óptica correspon

den a mayor espesor y/o mayor densidad en la zona correspondiente del objeto.

- b. Excepto cuando se usen equipos muy caros, la imagen de los defectos aparece aumentada en aproximadamente un 10%.
- c. La forma de la imagen de un defecto es la proyección geométrica del defecto tridimensional en el plano de la película.
- d. Un defecto de tamaño determinado dará imágenes cada vez menos visibles al aumentar el espesor de la pieza en que se encuentran y los pequeños defectos pueden desaparecer en la película.
- e. La imagen del defecto depende también del tipo de radiación usada; a mas alta energía menor contraste y menor definición.
- f. La detección de los defectos planos depende de su orientación y estos pueden ser: falta de fusión, falta de penetración, etc. Cuando exista cierta duda de haber encontrado un defecto plano, se debe variar el ángulo de inspección.

2.3.1. Partículas magnéticas

Es un método para localizar discontinuidades superficiales y subsuperficiales; la técnica se basa en el hecho de que cuando un material a ensayarse está magnetizado, las discontinuidades que existan y que están transversalmente dispuestas a la dirección de dicho campo magnético, causarán la formación de un campo de fuga sobre la superficie del material, el cual puede ser detectado con la aplicación de finas partículas ferromagnéticas, que se agruparán u ordenarán en toda la extensión de la discontinuidad revelando su localización, tamaño y forma.



CIB ESPOL

Este método es uno de los mas sencillos y de fácil aplicación, pudiendo usarse en piezas terminadas provenientes de distintos procesos de fabricación como laminación, forja, extrusión, etc.

Los principios del magnetismo pueden encontrarse en cualquier tratado de física, sin embargo para comprender de una manera sencilla el fundamento de este método se expone lo siguiente:

- El cuerpo que tiene la propiedad de atraer al

hierro y a otras sustancias se lo denomina imán o magneto, estos imanes se caracterizan por tener un polo sur y otro norte y atraen a los elementos por sus correspondientes polos opuestos.

Cuando un imán atrae a otro cuerpo se admite que por inducción el cuerpo atraído se ha convertido en imán; los efectos de atracción e inducción es tán vinculados entre sí, formándose a su alrededor una zona de influencia que se conoce como campo magnético, es lógico comprender que la intensidad de este campo varíe con la distancia, comprobándose que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y que existen unas líneas de fuerza que saliendo del polo norte entran al polo sur; en general las líneas de inducción coinciden con las líneas de fuerza.

Cuando un imán es dividido en dos, cada segmento se comporta como un magneto; si se los une nuevamente, existirá una zona de interrupción que se denomina campo de fuga. Este mismo efecto se lo nota cuando la barra es cortada parcialmente. La figura 6a muestra la distribución de las líneas de fuerza cuando un imán es cortado en dos partes.

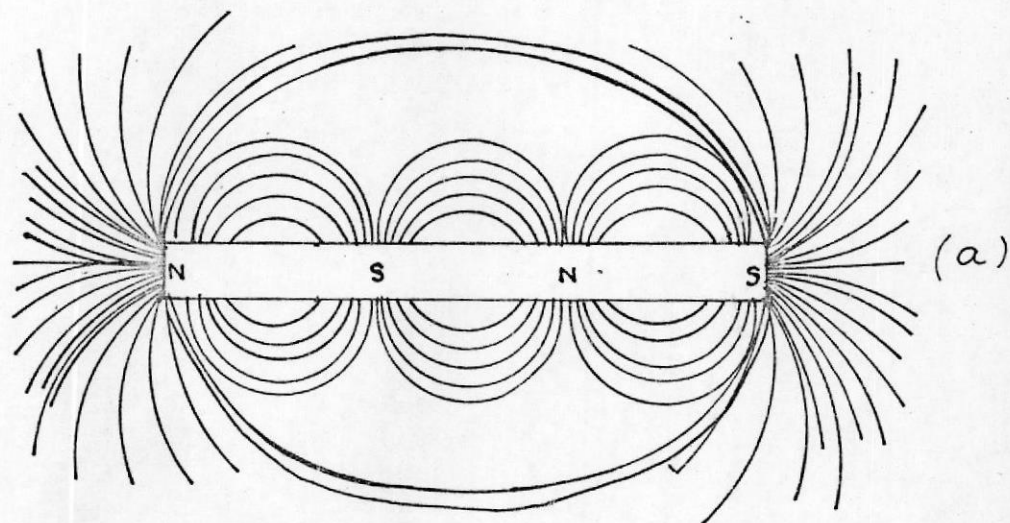


Fig 6a .-- Polos consecuentes en una barra magnetica (3)

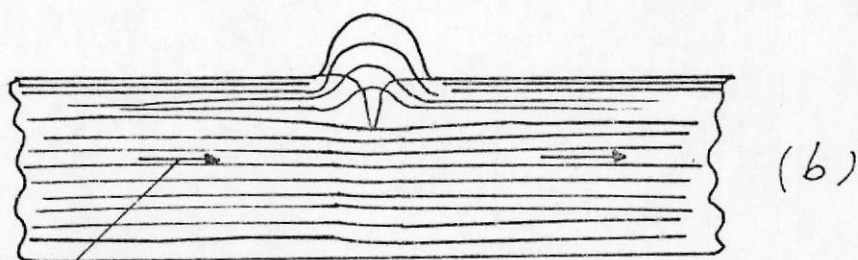


Fig 6b.- Lineas de flujo en una probeta (3)

La figura 6b muestra las líneas de fuerza que salen de la barra hacia el aire desde un polo hacia el otro en un campo de fuga.

En base a este efecto producido, es decir por la interrupción de las líneas de fuerza y la formación de pequeños campos de fuga cuando existen dos polos opuestos al haber una fisura, se puede detectar la discontinuidad presente.

Para encontrar estas discontinuidades se debe tener presente dos cosas: disponer de un polvo ferromagnético, que va a ser atraído por ese campo de fuga y que la discontinuidad que se quiere encontrar debe estar ubicada transversalmente a las líneas de fuerza.

Es casi todos los casos en los que se aplica este método los materiales no son imanes permanentes y por lo tanto se los induce este campo por medios eléctricos. Conviene recordar que mientras mayor es la corriente que fluye por un conductor mayor será el campo magnético que se induzca.

2.3.2. Características de la corriente de magnetización

Por el tipo de corriente utilizada en este ensayo para magnetizar los materiales se clasifican en:

- a. Corriente continua
- b. Corriente alterna
- c. Corriente de media onda

El ensayo con corriente continua se lo utiliza - cuando se dispone de aparatos que tienen en su interior bobinas o solenoides (3). Los voltajes de operación pueden ser de 110, 220 y 440V.

Cuando se necesita variar el voltaje se prefiere el ensayo con corriente alterna y la rectificadora de media onda. Este método se lo usa para piezas largas; la corriente alterna puede detectar mejor las fallas superficiales por su efecto pelicular y la rectificadora de media onda para localizar fallas subsuperficiales.

Se debe tener presente que cuando se aplica una gran corriente se genera un gran campo magnético, el cual puede, al colocarle el polvo ferromagnético, mostrar rugosidades y discontinuidades que no

son las buscadas.

El valor óptimo de la corriente es función de los siguientes factores (3):

- a. Características magnéticas de la pieza
- b. Forma de la pieza
- c. Tipos de fallas que se quieren determinar

La mejor guía para la elección de la corriente eléctrica en este ensayo es la experiencia sobre piezas con fallas previamente establecidas; por regla general es aceptable usar de 800 a 1.000 amperios por pulgada cuadrada en corriente directa y de 500 a 600 amperios para corriente alterna.

En el caso de magnetización longitudinal producida por el paso de la corriente eléctrica en bobinas, debe establecerse en primer lugar la relación longitud a diámetro de la pieza; lo óptimo es que la probeta tenga por lo menos dos a tres veces su longitud con respecto a su diámetro.

Para la formación de campos magnéticos longitudinales se puede encontrar la cantidad de co-

rriente que debe pasar por una bobina utilizando la siguiente fórmula (3):

$$\text{Amp. x No. espiras} = \frac{45.000}{L/d} \quad (7)$$

Con el objeto de aplicar correctamente la fórmula anteriormente descrita, deben ser cumplidas las siguientes condiciones:

- a. La sección de la pieza debe ser menor que 1/10 de la sección de la bobina.
- b. Las piezas o parte de ella no deben ser mayores que 46 cm.
- c. La pieza debe reposar en la pared interna de la bobina.
- d. La relación L/d en las piezas no debe ser menor que 2 ni mayor que 15.
- e. Las piezas deben colocarse en el interior de la bobina con sus ejes mayores paralelos a las líneas del campo magnético o eje de la bobina.

2.3.3. Procedimientos para la aplicación de este ensayo

El éxito de este ensayo depende mas que nada del medio y método usado. El medio es el elemento mediante el cual las fuerzas actúan instrumentalmen

te, es decir mediante el cual el campo de fuga causado por una discontinuidad es detectado; el medio que comunmente se emplea es el de partículas magnéticas; este se presenta en dos formas: en polvo o en pasta, si se aplica el polvo el ensayo debe realizarse por vía seca, si se utiliza la pasta el ensayo es por vía húmeda mezclandose la con aceite o kerosene para aplicarla como baño atomizado.

Cuatro condiciones existen en esta clase de ensayo para que salga satisfactorio; propiedades magnéticas, propiedades geométricas, movilidad y visibilidad.

- Propiedades magnéticas.- Alta permeabilidad y baja retentividad son las cualidades que deben poseer las partículas del medio; la primera es la facilidad con que las partículas pueden ser magnetizadas y la segunda es el grado de retención de magnetismo residual.
- Propiedades geométricas.- Se encuentran en el comercio dos tipos de partículas: la esférica y la alargada; la primera tiene mejor permeabi-lidad, mientras mas pequeña es la partícula se

ubicará o reordenará mejor en el campo de fuga.

- Movilidad.- Una vez expuestas las partículas a un campo de fuga deben tener libertad de reordenarse y formar las indicaciones de la discontinuidad; esta movilidad es afectada por la condición, forma y aplicación de dichas partículas.

En el método de la vía seca se logra un mejor reordenamiento moviendo la pieza materia de este ensayo una vez que fueron aplicadas. En el método de la vía húmeda se presenta la ventaja de un buen reordenamiento porque las partículas se encuentran en suspensión; mientras menos viscoso sea el líquido, mejores resultados se obtendrán.

- Visibilidad.- Una indicación debe ser lo mas visible posible, esto se obtiene haciendo un buen contraste entre la pieza y las partículas además de existir una buena luz. Los colores que más se usan son el rojo, gris y negro; a menudo se usan polvos fluorescentes, tratándose en lo posible que no sean tóxicos y libres de contaminación.

2.3.4. Técnica seca

Esta se la utiliza para detectar discontinuidades subsuperficiales y en piezas de difícil manejo, es recomendable usarla también en equipos pequeños portátiles; es fundamental que la pieza esté limpia y bien seca, se la emplea generalmente con la magnetización circular pasando corriente a través de la pieza, siendo de mucha importancia mantener la distancia entre contactos. Cuando este último no es posible se debe ceñir a la norma ASTM E-108, la cual establece una relación entre contactos, espesor de la acción y las intensidades de corriente (3).

Se debe tener en cuenta también la correcta colocación de los contactos a la pieza y que para el caso de magnetización circular estos irán paralelos a la dirección de las supuestas discontinuidades.

2.3.5. Técnica húmeda

Se las usa generalmente para detectar discontinuidades en piezas pequeñas; el líquido que lleva las partículas en suspensión debe ser agitado cons

tantemente para darle al baño una distribución homogénea.

En la preparación del baño es importante mantener la relación entre el volumen de las partículas y el volumen del líquido; el nivel de esta concentración viene dado en la norma ASTM E-138-63 (3).

En este tipo de técnica se debe tener cuidado de no depositar fuertemente el baño, ya que posteriormente hay que pasar la corriente eléctrica con una duración de medio segundo, corriendo el riesgo de lavar o mover las partículas - que estén mostrando alguna discontinuidad.

2.3.6. Aplicaciones

El uso principal de este ensayo es el campo industrial, en las inspecciones de recepción, control de calidad e inspección final; es usado ampliamente en las compañías de transporte, para detectar fisuras ocasionadas por fatiga. Las compañías constructoras los usan a menudo para encontrar posibles fisuras en elementos estructurales solicitados a cargas cíclicas.

La norma ASTM E 125-63 (3) da fotografías de patrones de referencia de indicaciones por partículas magnéticas sobre piezas de materiales ferrosos, sin las cuales el principiante tendría muchos problemas de interpretación.

En la actualidad existen una gama muy variada de equipos para el ensayo de partículas magnéticas unos son estacionarios y otros portátiles.

2.4.1. Tintas penetrantes

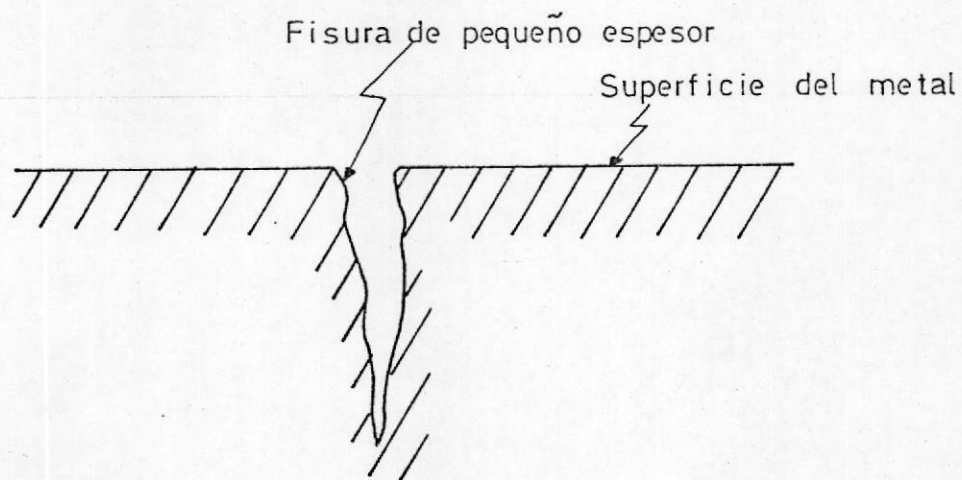
Es un método ampliamente usado en la industria para detectar grietas o hendiduras en ejes de cualquier tipo, barra de levas, cigueñales, rieles, ruedas, cabezotes, álabes de turbina, etc. El uso de éste método se restringe a la capacidad de encontrar defectos solo en partes superficiales.

Este ensayo es consecuencia de uno muy antiguo llamado de aceite y blanqueo, en el cual la superficie a ensayarse se la limpiaba con agua y jabón y una vez seca se la sumergía en una so-

lución de aceite y kerosene por un período que duraba desde una hora hasta algunos días, se lo secaba y se le aplicaba tiza en polvo con alcohol; esta mezcla era absorbida por el aceite y kerosene que quedaban en los intersticios o grietas revelando de esta manera su localización y forma. La sensibilidad de este procedimiento era muy pobre y por lo tanto no se podían detectar fisuras muy finas, constituyendo esto una limitación.

Los pasos que se siguen para el empleo de este método son: limpiar previamente la superficie de la pieza, luego aplicar el líquido penetrante sobre la superficie de la pieza en la que se presume existe una discontinuidad, se espera un tiempo prudencial para que el penetrante ingrese en las fisuras por capilaridad y luego se limpia o se quita el exceso de penetrante; el líquido penetrante no saldrá de la fisura debido a la resistencia que ofrecen las fuerzas capilares y a la tensión superficial.

Una vez limpia la superficie se coloca una fina capa de talco, la cual absorberá parte del



Líquido coloreado con características especiales sobre la superficie.

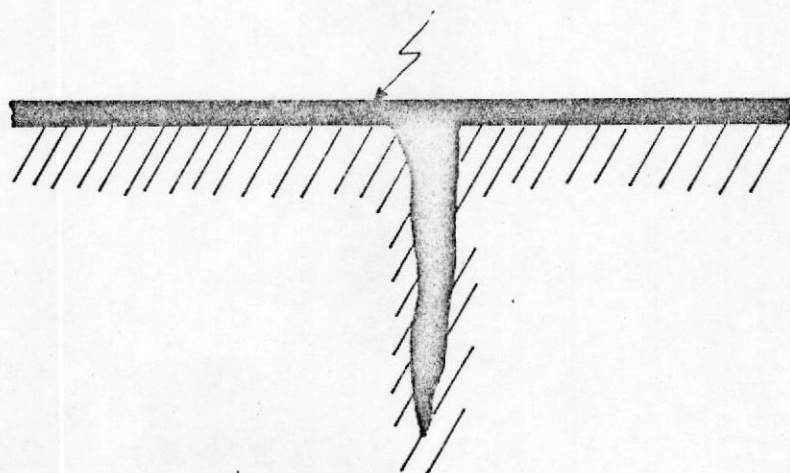


FIG. 7.-- CAPILARIDAD EN UNA FISURA (4)

penetrante que quedó retenido en la fisura, des cubriendo su presencia.

La figura 7 muestra el desarrollo de esta técni ca. Para aumentar la visibilidad a menudo se u- tilizan colorantes; es importante señalar que la discontinuidad existente es mas delgada que la señal que aparece en el talco.

2.4.2. Limpieza de la superficie

Es obvio que las discontinuidades asomarán a la superficie cuando esta esté limpia sin material extraño como grasas, óxidos, ácidos, aceites, etc. no es recomendable limpiar las superficies con chorros de arena a presión, esmeril, lija o algún otro método abrasivo por la tendencia de estos a deformar la superficie sellando o tapando las discontinuidades.

La norma ASTM 165-63 (4) que se refiere a esta técnica dice que el resultado de una inspección es enormemente influenciada por el estado y la forma como debe limpiarse la superficie de la - pieza que se quiere investigar antes de aplicarlo el penetrante.

La limpieza normalmente se la realiza con:

- a. Detergente
- b. Solventes
- c. Chorro de vapor
- d. Baños de decapado
- e. Ultrasónica



El líquido que se use para esta limpieza no debe tener acción corrosiva.

2.4.3. Aplicación del penetrante

Una vez seca la superficie se aplica la tinta penetrante ya sea por inmersión o por pulverización y por pincel.

Cada procedimiento anteriormente mencionado tiene su aplicación específica por ejemplo: para la inspección de grandes equipos, aviones y piezas en servicio se aplica el sistema de spray o pulverización; para piezas pequeñas o que estén fuera de servicio tales como cabezotes, álabes de turbina, se emplea el pincel, usándose baños de decapado - para piezas pequeñas cuando la producción es grande.

Conviene, siempre que no afecte al material, calentar la pieza antes de la aplicación del penetrante con el fin de abrir más las fisuras y facilitar la introducción del líquido. Todos los penetrantes tienen una temperatura ideal de aplicación.

El tiempo necesario para conseguir la penetración es muy variable, puede ser desde pocos minutos hasta horas, dependiendo de la profundidad de la fisura, de la tensión superficial y de la viscosidad del líquido penetrante, pudiendo calcularse por medio de la siguiente fórmula (4):

$$l^2 = \frac{t \times \sigma \times \cos \theta}{2 \eta} \quad (8)$$

donde:

l = profundidad alcanzada por el líquido en el interior de la fisura durante el tiempo t .

σ = Tensión superficial del líquido penetrante

θ = Angulo de equilibrio del líquido y la superficie de la fisura.

η - Viscosidad del líquido penetrante.

Se denomina coeficiente de penetración CP de un

líquido penetrante a la expresión (4):

$$CP = \frac{\gamma'}{2\eta} \quad (9)$$

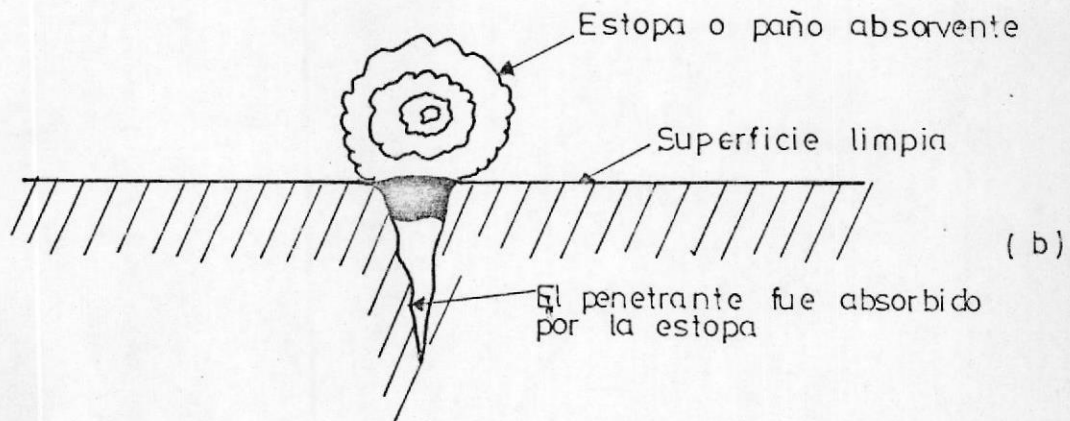
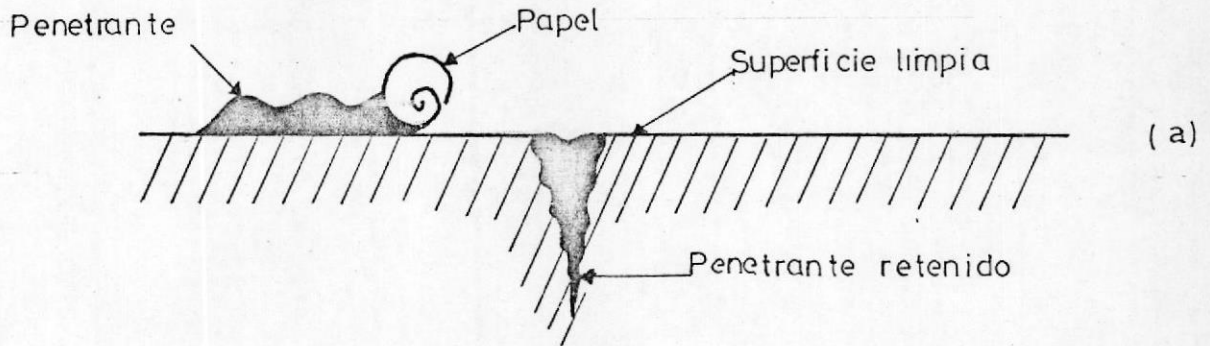
En la fórmula (9) se deduce que mientras más alto es el valor de CP, mayor será su velocidad de penetración.

Por un buen penetrante se entiende a aquel líquido que reúna las siguientes propiedades (4):

- a. Facilidad de penetración en fisuras
- b. No se evapore rápidamente
- c. Que pueda ser quitado de la superficie del metal con facilidad.
- d. Que sea inerte
- e. Que pueda ser empleado en la superficie del metal en capas o películas muy finas.
- f. Que pueda ser absorbida rápidamente por una fina película de talco.
- g. Que en lo posible no sea tóxico ni inflamable.

2.4.4. Remoción del exceso de penetrante

Es una operación también importante, ya que aplicada incorrectamente el ensayo puede fracasar.

Fig 8a.- PROCEDIMIENTO CORRECTO (4)Fig 8b.- PROCEDIMIENTO INCORRECTO (4)

C. H. B. S. P. U.

Colocado el penetrante en la superficie de la pieza se debe remover el exceso con un trapo o paño que no sea muy absorbente con el fin de no provocar la salida de la tinta que está en la fisura; la figura 8a muestra el procedimiento correcto, mientras que la figura 8b muestra el incorrecto.

2.4.5. Aplicación del revelador

El revelador es un polvo o talco muy fino el cual se lo ha aplicado después de haber quitado el exceso de penetrante; su función es la de absorber el líquido que ha quedado atrapado en las fisuras, expandiéndose al lado de ellas. La figura 9 muestra un sinnúmero de discontinuidades las que por acción del revelador amplían su indicación; el revelador puede ser seco, húmedo, en suspensión y en líquidos de secado rápido.

Con el revelador seco la pieza es sumergida dentro del polvo; para usar el revelador en suspensión se debe valer de atomizadores o sprays y para usar los líquidos se utiliza el pincel. Todos ellos tienen aproximadamente la misma sensi

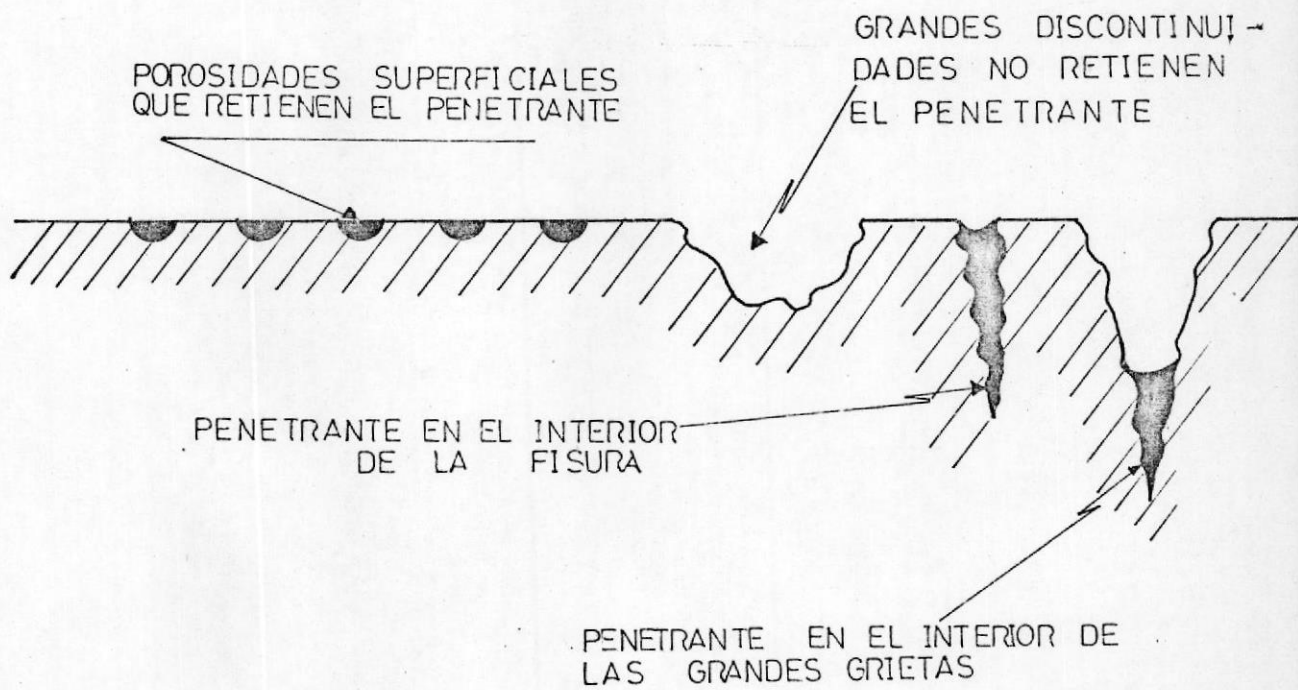


FIG. 9.- DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES AGRUPADAS (4)

bilidad, pero es importante indicar que mientras mas delgada es la película del revelador mayor - será la sensibilidad alcanzada.

2.4.6. Inspección e interpretación

Después de un tiempo adecuado de haberse aplicado el revelador comienza la absorción, la que puede durar cinco minutos o más para comprobar la existencia o no de defectos; puede ocurrir además que no se haya removido el exceso de penetrante y la superficie por consiguiente esté húmeda y al aplicar el revelador nos detecta erróneamente una fisura, en este caso se debe proceder a limpiar nuevamente la superficie.

La diferencia entre una fisura real y otra aparente (superficie húmeda) es que ésta última aparece antes de los cinco minutos. En general una indicación de una fisura aparece y crece a lo largo y ancho a medida de que el revelador se va secando y absorbiendo el líquido penetrante; se necesita tener gran experiencia para tener una idea de la profundidad de la fisura.

2.4.7. Tipos de penetrantes

Los penetrantes empleados actualmente admiten se gún sus peculiaridades la siguiente clasificación:

- a. La manera de indicar la discontinuidad.
- b. La manera de como es removido de la superficie.

En cuanto a la primera pueden ser por medio de sustancias colorantes o fluorescentes, éstas úl timas detectadas con luz ultravioleta o negra.

Con respecto a la clasificación b) puede dar lu gar a las siguientes técnicas:

1. Remoción con agua
2. Remoción con agua después de la emulsificación.
3. Remoción con solventes especiales.

La norma ASTM 165-63 clasificó a los líquidos pe netrantes mas comunes de la siguiente forma (4):

1. Penetrantes tipo A fluorescentes (visibles con luz negra):

A-1 Removibles con agua

A-2 Removible con agua después de la emulsificación.

A-3 Removibles con solventes especiales.

2. Penetrantes tipo B con colorantes (visibles a la luz natural):

B-1 Removible con agua

B-2 Removible con agua después de la emulsificación.

B-3 Removibles con solventes especiales.

2.4.8. Penetrantes fluorescentes lavables con agua tipo A-1.

Son de base oleosa conteniendo un emulsificador, permiten que sean removibles con agua; poseen excelentes propiedades de penetración en lo que atañe a pequeñas discontinuidades, pero son considerados de sensibilidad media por la presencia de emulsificador. Son los suficientemente estables y mantienen sus propiedades de penetración durante mucho tiempo, pero debido al emulsificador producen generalmente irritaciones en la epidermis sino se tienen precauciones al trabajar con ellos. El tiempo de penetración viene dado -

en la tabla N^o 3.

2.4.9. Penetrantes fluorescentes lavables con agua con emulsificación posterior

Al no constituir mezcla con ningún emulsificador no pueden ser removidos con agua y para serlo ne cesitan ser emulsionados, estos es después de ser tratados con el penetrante y antes de ser lavada para remover este.

Presentan las siguientes ventajas con respecto a los del tipo A-1:

- Mayor sensibilidad
- Mayor poder de penetración
- Facilidad de detección de discontinuidades poco profundas, Ej: Marcas en herramientas.
- Mejores resultados en piezas reinspeccionadas sometidas a ensayos anteriores por tintas penetrantes.

El resto del proceso es similar al tipo anterior; los tiempos de penetración recomendados son mucho menores encontrándolos en la tabla 4 para metales y aleaciones más comunes.

TABLA N° 3

TIEMPOS DE PENETRACION PARA LOS PENETRANTES REMOVIBLES
 CON AGUA (Técnicas A-1 y B-1 (ASTM E-165-63) Volumen 31
 Mayo 1965 (4)

MATERIAL	TIPO DE PROCESAMIENTO	DISCONTINUIDADES	TIEMPOS DE PENE TRACION (min.)
ALUMINIO	Fundidos	Porosidad	5-15
	Extruídos y forjados	Falta de estan- queidad.	5-15
		Pliegues	30
	Soldaduras	Falta de fusión	30
	Todos los tipos	Porosidad	30
Grietas o fisuras		30	
MAGNESIO	Fundidos	Porosidad	15
		Falta de estan- queidad.	15
	Extruídos y forjados	Pliegues	30
		Falta de fusión	30
	Soldaduras	Porosidad	30
Todos los tipos	Grietas o fisuras	30	
ACEROS	Fundidos	porosidad	30
		Falta de estan- queidad	30
	Extruídos y forjados	Pliegues	60
		Falta de fusión	60
	Soldaduras	Porosidad	60
Todos los tipos	Grietas o fisuras	30	
BRONCES Y LATONES	Fundidos	Porosidad	10
		Falta de estan- queidad.	10
	Extruídos y forjados	Pliegues	30
		Falta de fusión	15
	Soldaduras	Porosidad	15
Todos los tipos	Grietas o fisuras	30	

TABLA N° 4

TIEMPOS DE PENETRACION PARA PENETRANTES DE EMULSIFICACION POSTERIOR Y DE LOS PENETRANTES REMOVIBLES CON SOLVENTE (4)

Técnicas: A-2; A-3; B-2; B-3 Norma A.S.T.M. E.165-63 Vol.31

MATERIAL	TIPO DE PROCESAMIENTO	DISCONTINUIDADES	TIEMPOS DE PENETRACION (minutos)
ALUMINIO	Fundido	Porosidad	5
	Extruídos y forjados	Falta de estanqueidad	4
		Pliegues	10
	Soldaduras	Falta de fusión	5
	Todos los tipos	Porosidad	5
		Grietas o fisuras	10
MAGNESIO	Fundido	Porosidad	5
	Extruídos y forjados.	Falta de estanqueidad	5
		Pliegues	10
	Soldaduras	Falta de fusión	10
	Todos los tipos	Porosidad	10
		Grietas o fisuras	10
ACERO	Fundido	Porosidad	10
	Extruídos y forjados	Falta de estanqueidad	10
		Pliegues	10
	Soldaduras	Falta de fusión	20
	Todos los tipos	Porosidad	20
		Grietas o fisuras	20
HERRAMIENTAS PASTILLAS		Falta de fusión	5
		Porosidad	5
		Grietas o fisuras	20
BRONCES Y LATONES	Fundido	Porosidad	5
	Extrusión y forja	Falta de estanqueidad	5
		Pliegues	10
TITANIO Y ALEACIONES DE ALTA TEMPERATURA	Falta de fusión (Brogin)	Falta de fusión	15
	Todos los tipos	Falta de fusión	15
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	10
	Todos los tipos		20-30

2.4.10. Penetrantes fluorescentes removibles con solventes Tipo A-3

Son utilizados en los equipos portátiles y vienen generalmente en sprays, la remoción del penetrante se lo hace pulverizando el solvente sobre la superficie de la pieza cubierta por el penetrante y limpiando rápidamente con un paño de absorbente; conviene tener cierta experiencia en utilizar la cantidad correcta de solvente para la remoción porque si se coloca demasiado - se puede extraer el penetrante retenido en las discontinuidades.

2.4.11. Penetrantes colorantes removibles con agua tipo B-1.

Estos son visibles a la luz natural y en general el colorante usado suele ser rojo bermellón; si se usa la técnica de inmersión se debe asegurar que no habrá formación de burbujas de aire en la parte a ensayarse, ya que éstas impiden el contacto del penetrante con la superficie, si las hubiere habría que rotar suavemente la pieza para hacerlas desaparecer. Los tiempos de penetración están dados en la tabla 3.

2.4.12. Penetrantes colorantes con emulsificación posterior tipo B-2.

Son visibles a la luz natural y tienen solventes de alto poder de penetración; la diferencia que existe con los del tipo B-1 es que los del B-2 no son removibles con agua sino se los emulsifica previamente.

Estos penetrantes son los mas sensibles que existen dentro del grupo de los visibles a la luz natural; la aplicación del emulsificador puede ser realizado por cualquier medio existente.

Una vez aplicado el emulsificador sobre la superficie de la pieza se debe realizar el lavado con chorro de agua a presión que no exceda a 30 psi con el objeto de no eliminar el penetrante retenido en las discontinuidades; el tiempo de penetración está dado en la tabla 4.

2.4.13. Penetrantes con colorantes removibles con solventes tipo B-3.

Son visibles a la luz natural y no se los puede remover con agua pero si con solvente; los penetrantes de este tipo se aplican en todos los ca-

sos en donde no se puede usar los demás, ya sea por falta de agua o porque el tamaño y la configuración de las piezas no lo permiten. Se expenden en el comercio en sprays y la remoción se la efectúa con solvente después de haber transcurrido el tiempo de penetración dado en la tabla 4.

Las tablas 5, 6, 7 y 8 muestran las ventajas y desventajas que tienen los diversos tipos de penetrantes. La tabla 9 muestra las recomendaciones para usar las técnicas correctas.

2.5.1. Método del ultrasonido

Este método de ensayo se lo usar para detectar discontinuidades en soldaduras, fundiciones, productos forjados, etc.; el equipo básico consta de un generador de ondas que pueden ser desde bajas hasta extremadamente altas frecuencias el que se conecta a un transductor, elemento piezoeléctrico que se encuentra en contacto con la pieza a ensayarse. Este elemento es un cristal que convierte los impulsos eléctricos en ondas o vibraciones mecánicas de igual frecuencia. Al

TABLA N^o 5

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA A-1(4)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Indicaciones brillantes por efecto de la fluorescencia.	1) No es bueno para detectar rayos o discontinuidades poco profundas.
2. Fácilmente removibles con agua.	2) Sufre la acción de los ácidos y cromatos.
3. Rápido. Economía de tiempo	3) Las superficies metálicas anodizadas pueden afectar la sensibilidad.
4. Fácilmente adaptables a gran número de piezas.	4) La re-inspección baja la sensibilidad.
5. Buen comportamiento para superficies rugosas.	5) Muy susceptibles de salir del interior de las discontinuidades con el super lavado.
6. Bueno para roscas y chaveteros	6) Necesita ser inspeccionado bajo luz
7. Económico.	7) Necesita largos tiempos de penetración.



CIB-ESPOL

TABLA N^o 6

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA A-2(4)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Indicaciones más brillantes que los anteriores.	1. Operación de emulsificación posterior a la aplicación del penetrante.
2. La fluorescencia garantiza la visibilidad.	2. Equipo adicional para el emulsificador.
3. Alta sensibilidad para pequeñas discontinuidades.	3. No es muy buena cuando es aplicada a roscas, chaveteros o superficies rugosas.
4. Buena para discontinuidades poco profundas.	4. Materiales más caros.
5. Fácilmente lavable con agua después de la emulsificación.	5. Materiales (algunos) inflamables.
6. Alto rendimiento	
7. Cortos tiempos de penetración.	
8. No son en general afectados por los ácidos, cromatos y superficies anodizadas.	
9. Las piezas pueden ser fácilmente reinspeccionadas.	
10. No son tan vulnerables a una operación de super-lavado.	

TABLA Nº 8

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA B-2 (4)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. No hay necesidad de luz negra.	1. La operación de emulsificación es una operación separada.
2. Portátil	2. La emulsificación <u>ulterior</u> exige equipo <u>adicional</u> .
3. Muy buena sensibilidad, mayor que las técnicas B-1 y menor que las técnicas A-1 y A-2.	3. No es tan buena como la técnica A-1, cuando es realizada sobre roscas, chaveteros y superficies rugosas.
4. Buena para detectar <u>discontinuidades</u> poco profundas.	4. Es más caro que B-1
5. Fácilmente lavable con agua después de la emulsificación.	5. Algunos penetrantes son inflamables.
6. Buen rendimiento, <u>especialmente</u> para piezas grandes.	
7. En general no son afectados - por los ácidos y superficies anodizadas.	
8. Las piezas pueden ser fácilmente reinspeccionadas.	
9. No son tan vulnerables a una operación de super-lavado.	

TABLA N^o 7

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA B-1(4)

VENTAJAS

1. No hay necesidad de "luz negra".
2. Muy portátil.
3. Muy bueno para inspección de pequeñas zonas en piezas o mantenimiento de equipos.
4. Las piezas pueden ser reinspeccionadas.
5. No sufre influencias cuando se inspeccionan superficies metálicas anodizadas.
6. Pueden acompañar la reparación de piezas a la luz natural.

DESVENTAJAS

1. No tiene sensibilidad para discontinuidades muy cerradas o pequeñas.
2. Las indicaciones tienen visibilidad limitada, menor que las técnicas A.
3. Algunos materiales son inflamables.
4. Exige más número de horas-hombre.
5. Hay ciertas dificultades en usarlos sobre superficies rugosas.
6. Los penetrantes no deben ser usados en tanques abiertos.
7. Tiempo de penetración largo.

TABLA N° 9

RECOMENDACION PARA ELECCION DE LA TECNICA CORRECTA (4)

PROBLEMA ESPECIFICO DE INSPECCION	TECNICA RECOMENDADA	OBSERVACIONES
Producción de gran número de piezas pequeñas	A-1	Operación con cestos metálicos
Producción de gran número de piezas grandes.	A-2 o B-1	Piezas forjadas o extruídas, etc.
Gran sensibilidad o discontinuidad mínima	A-2	Indicaciones muy claras y visibles
Discontinuidad poco profundas. Rayos	A-2	Cuidado en el proceso de emulsificación
Piezas con superficies rugosas	A-1	Deberá estudiarse la técnica de lavado.
Roscas. Chaveteras. etc,	A-1 y B-3	-
Piezas con superficie medianamente rugosa.	A-1 y A-2	La elección depende del número de piezas a inspeccionar y de la sensibilidad deseada.
Inspecciones locales en piezas grandes	A-3 o B-3	Depende la elección de las condiciones locales y de la sensibilidad deseada.
Piezas anodizadas, Rayadas	A-1, A-2 o B-2	-
Inspección en locales sin energía ni agua.	B-3	-
Ensayos en recipientes de paredes finas	A-3 o B-3	-

chocar la onda contra la superficie de la pieza parte de ella se refleja (5), mientras que el resto viaja a través del elemento hasta la superficie opuesta reflejándose nuevamente; a su regreso las ondas son amplificadas y llevadas a la pantalla de un osciloscopio.

La primera onda reflejada será de mayor amplitud que la segunda; si en el interior de la pieza existe una discontinuidad, saldrá como una onda de menor amplitud y estará localizada entre las dos anteriores. Es lógico comprender que la distancia entre las dos ondas principales será espesor de la pieza.

2.5.2. Fundamentos del ensayo

Dentro del campo audible existen dos tipos de ondas que pueden viajar a través de la materia(5): unas longitudinales o de compresión donde las partículas se mueven en la misma dirección que el movimiento del sonido y otras corte o transversales donde las partículas del medio se mueven en sentido perpendicular al desplazamiento del sonido; las longitudes de onda en las emisiones de

extremadamente alta frecuencia son del orden de la longitud de onda de la luz y por lo tanto se comportan como ellas, es decir se reflejan y se refractan, propiedades sin las cuales no fuera posible la existencia de este ensayo.

Uno de los problemas que surgen en este tipo de ensayo es el de transmitir la energía ultrasónica desde la fuente hasta el material, si bien - es cierto que este tipo de onda posee una alta energía, 200.000 a 25'000.000 ciclos/seg., la resistencia acústica o impedancia que presenta el medio que separa el transductor del material puede ser tan alta que quizás alcance a regresar la primera onda reflejada, atenuándose completamente la que debe viajar a través de la pieza que se ensaya y regresar una vez que tope la superficie opuesta, por lo que es de mucha importancia interponer entre el transductor y la pieza un medio que tenga una mínima impedancia.

El aceite para transformadores, el agua, glicerina, benceno, espuma de jabón, etc. presentan - óptimas propiedades conductoras y por lo tanto son ampliamente usadas como medio entre el elemento piezoeléctrico y la superficie de la pieza.

2.5.3. Tipos de ensayos de ultrasonido

Existen dos tipos de ensayos por ultrasonido: el de contacto y el de inmersión; en el primero es necesario topar el transductor con la superficie de la pieza, mientras que en el segundo topa la superficie de la pieza pero si está sumergido en el agua. Las figuras 10 y 11 muestran el tipo de ensayo de contacto y el de inmersión respectivamente.

Para efectuar esta clase de ensayos hay que tomar en cuenta ciertas consideraciones técnicas:

2.5.4. Condición de superficie

Para que las ondas ultrasónicas sean introducidas de una manera efectiva en la pieza, es necesario que exista un íntimo contacto entre el transductor y el material a ensayarse, es de importancia que la superficie de la probeta sea lisa, sin embargo ésta situación muchas veces no se la puede encontrar y a menudo es necesario practicar el ensayo en materiales con superficies rugosas, con moño u oxidadas; la so

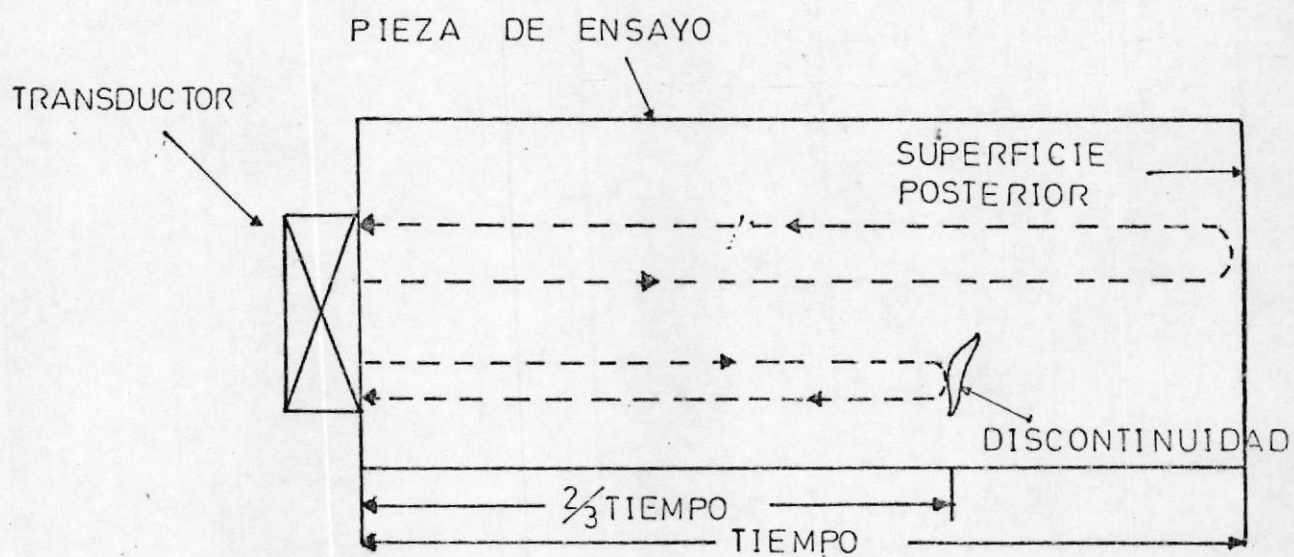
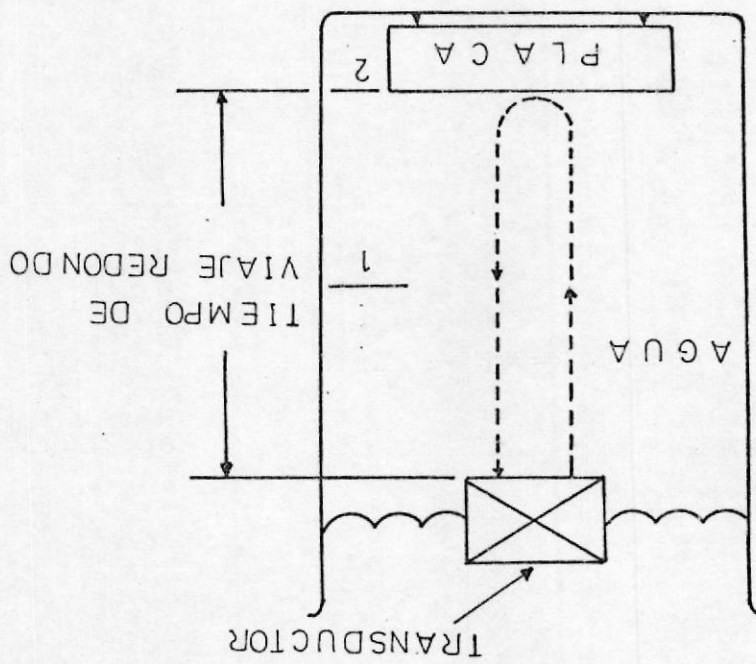


FIG. 10.- TIPO DE ENSAYO ULTRASONICO POR CONTACTO (5)



115-5371

FIG. 11.- TIPO DE ENSAYO ULTRASONICO POR INMERSION (5)



CIB-ESPOL



lución para esto es limpiar la superficie y si no es posible se aconseja usar un rayo ultrasónico de baja frecuencia para minimizar la dispersión que pueda ocurrir.

2.5.5. Estructura interna

El operador del ultrasonido debe estar enterado no solo de que las propiedades acústicas de los diferentes materiales varía, sino también de que las ondas pueden dispersarse y perder reflexión cuando el tamaño del grano es aproximadamente igual a la longitud de onda ultrasónica; cuando la longitud de onda es mayor que el tamaño del grano se reducen las pérdidas por dispersión aunque también se reduce la sensibilidad. La orientación del grano con respecto a la dirección del rayo ultrasónico da una mayor atenuación ya sea que el rayo atraviese de lleno o parcialmente a estos (5).

2.5.6. Geometría del especimen

Una forma irregular de la pieza hará que la onda que la atraviesa sufra reflexiones internas múltiples atenuándose completamente con

el agravante de que el rayo es dispersado lo -
suficientemente para dar unas pocas señales dé-
biles que confunden las indicaciones.

2.5.7. Ventajas y desventajas del método

Existen una variedad de detalles que contribu-
yen a darle a este tipo de ensayo una marcada
importancia, entre otros pueden citarse las si-
guientes:

- Alta sensibilidad, permitiendo la detección de pequeños defectos.
- Habilidad para penetrar materiales de gran espesor.
- Exactitud en la determinación de la posición del defecto.
- Fácil lectura de los resultados, permitiendo un ensayo rápido y automático.
- Necesidad de acceso a una sola superficie de la pieza a ensayarse.
- Uso seguro sin protección, riesgos sin impor-
tancia para el personal.

Las desventajas que presenta este ensayo son muy

pocas entre las cuales merecen citarse las siguientes:

- Geometría inconveniente del espécimen de ensayo.
- Estructura interna inconveniente en el material.
- No queda el registro de las novedades encontradas a menos que se use un equipo de grabación.

2.5.8. Aplicaciones

La técnica de inmersión se la usa bastante en líneas de producción automatizada como: barras, tuberías y secciones curvas de piezas forjadas. Cuando se emplea esta técnica en piezas fundidas se recomienda el uso de bajas frecuencias con el objeto de evitar que el rayo sonoro se disperse en presencia del grano grueso.

Para piezas forjadas se emplean generalmente frecuencias de 1 a 5 megaciclos/seg. con el rayo normal a la superficie; para piezas de forma irregular se utiliza la técnica de inmersión.

En productos laminados las discontinuidades que proceden del techo o lingote, se transforman en defectos elongados y pliegues, los que pueden localizarse transmitiendo un rayo sonoro en forma longitudinal si se trata de una barra; si se obtiene una fuerte reflexión hay muy poca probabilidad de que exista una discontinuidad.

La plancha laminada puede ser ensayada con ondas longitudinales o transversales y las discontinuidades son fácilmente detectadas, sin embargo si la plancha es delgada no conviene el uso de la onda longitudinal. Para productos extruados se emplea la misma técnica que para las laminadas.

Las soldaduras pueden ser inspeccionadas con ultrasonido usando las técnicas de rayo recto o de rayo angular (5); se usa más el rayo angular porque el cordón de soldadura no presenta una superficie lisa; las frecuencias usadas en este tipo de ensayo son de: 1, 2, 35 o 5 megaciclos/seg., dependiendo de la naturaleza del material u de las discontinuidades supuestas.

CAPITULO 3

TEORIA DE LA SOLDADURA POR ARCO

3.1. INTRODUCCION

El arco eléctrico puede considerarse como una corriente eléctrica que pasa a través de una discontinuidad o separación de alta resistencia por medio de iones. Este arco fue estudiado por primera vez en Inglaterra durante el siglo pasado por Sir Humphry Davy, posteriormente, en el año de 1.900 fue patentada la primera soldadura de acero por Nicolas Von Bernardos y Stanislav.

El proceso de soldadura al arco se inició dentro del campo industrial a comienzos de este siglo y su desarrollo ha sido tan grande y tan necesario que en la actualidad no existe lugar dentro de los Países civilizados en donde no se haya usado esta clase de soldadura.

La mayoría de los procesos de soldadura requieren la aplicación de calor y/o calor y presión para unir dos metales; los que utilizan calor tratan de concentrar toda la energía precisamente en el sitio donde quieren conseguir la unión. Una de las maneras mas fáciles de hacerlo es valiéndose del arco eléctrico; la fricción o descarga

eléctrica que se origina al topar un electrodo de una determinada polaridad con una placa base de polaridad contraria es suficiente para que una alta corriente genere el calor necesario para ionizar el aire circundante (6), originándose una turbulencia de partículas a nivel atómico y subatómico. Este calor generado es capaz de derretir el material de aporte y el metal base formándose la unión soldada.

Día a día se tratan de encontrar fuentes de calor más intensas para que la soldadura sea mas rápida que la transferencia de calor por conducción al resto del metal base (7), habiéndose desarrollado procesos de soldadura tales como el haz de electrones, rayos laser, etc., con los cuales se han podido separar dos distintos procesos de transferencia de calor que se originan en toda soldadura; el primero desde la fuente a la superficie del metal base y el segundo desde la superficie hasta las zonas adyacentes mas frías.

3.2. NATURALEZA DEL ARCO

Como se mencionó anteriormente el arco eléctrico es una descarga eléctrica a través de un medio gaseoso ionizado. En la figura N° 12 se ve un arco de soldadura en el cual se puede destacar lo siguiente:

El plasma.- está formado por átomos ionizados y no ionizados de varios gases y sólidos vaporizados; los átomos ionizados que han perdido un electrón debido a los choques que produce la agitación térmica por la alta temperatura, son los portadores de la corriente entre el extremo del electrodo y la superficie del metal base; en este sitio se obtienen temperaturas alrededor de los 11.000 grados Fahrenheit: (6.090°C).

Es conocido que los vapores y gases, en condiciones normales, son malos conductores de la electricidad, pero una vez originado el arco la agitación térmica ioniza al gas circundante haciéndolo sumamente conductor.

La explicación de lo que realmente sucede en un proceso de soldadura al arco es la siguiente:

Suponiéndose que en la superficie del elemento que actúa como cátodo se produce una emisión de electrones los que por diferencia de potencial son atraídos por la pieza que hace de ánodo, estos electrones al chocar convierten su energía cinética en calórica formándose una agitación térmica que facilita el desprendimiento de los electrones - del gas existente entre el cátodo y el ánodo. Por otro lado los iones positivos generados por los átomos del gas

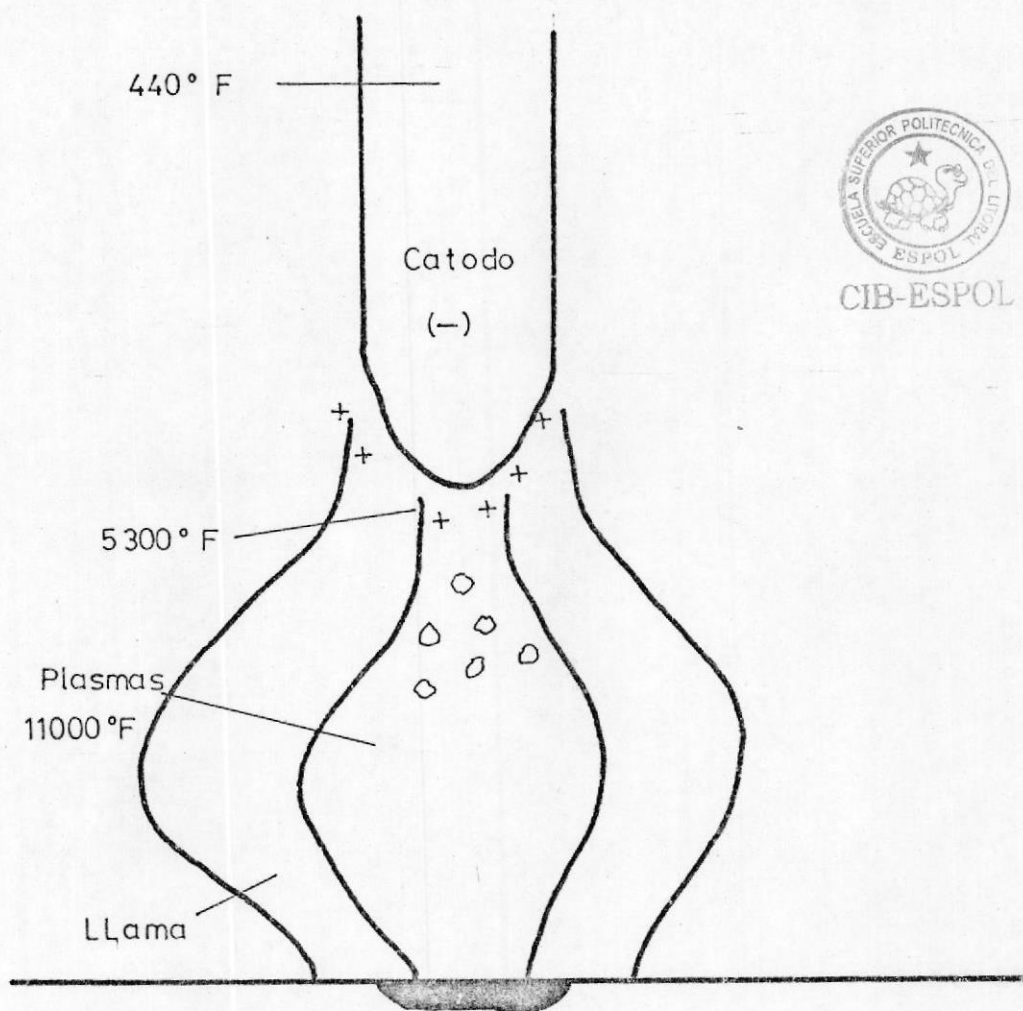


FIG. 12.- ARCO DE SOLDADURA ELECTRICO (6)

- * Electrones libres
- * Iones positivos
- * Atomos neutros excitados electricamente

cuyos electrones han sido arrancados de sus envolturas, viajan hacia el cátodo golpeándolo y originando calor - necesario para mantener la emisión de electrones.

El calor generado por un arco es la manifestación de la agitación de los iones dentro del plasma. La figura N^o 13 muestra las líneas isotérmicas formadas al ocurrir un arco eléctrico en tre un cátodo de tungsteno y un ánodo de cobre refrigerado por agua, al existir una diferencia de potencial de 12 voltios y 200 amp. en presencia del gas Argón.

La cantidad de energía calórica que se genera en el plasmas y que se pierde por conducción, convección y radiación está en balance con la potencia eléctrica de entrada. Dsde un punto de vista práctico resulta interesante analizar la energía de entrada en un proceso de soldadura al arco, la que fácilmente se la puede definir como la relación entre la potencia de entrada a la velocidad de viaje (8):

$$H = \frac{P}{V} \quad (10)$$

donde:

H = Energía de entrada en Joules por milímetro

P = Potencia de entrada de la fuente de calor expresada en Watts.



CIB-ESPOL

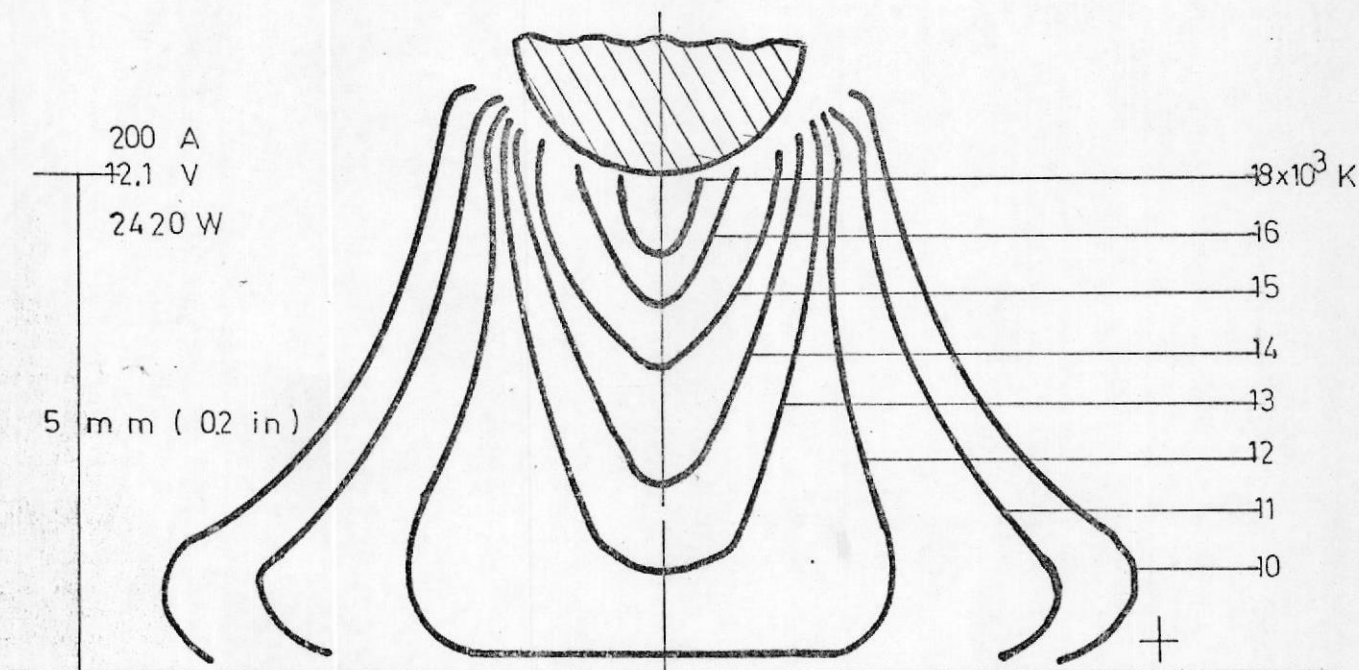


FIG. 13.- LINEAS ISOTERMICAS EN UN ARCO ELECTRICO ENTRE UN CATODO DE TUNGSTENO Y UN ANODO DE COBRE (7).



CIB-ESPOL

v = Velocidad de viaje de la fuente de calor en mm/seg.

Sin embargo, no toda la energía generada por la soldadura ingresa al metal base, siendo necesario introducir un factor de eficiencia en la ecuación (10) para calcular directamente la cantidad de energía que efectivamente entra en una soldadura depositada, modificándose la ecuación de la siguiente manera (7):

$$H_{net} = f \frac{E I}{v} \cdot 60 \text{ (Joules/mm.)} \quad (11)$$

donde:

f = Factor de eficiencia del calor transferido al metal base.

Este valor ha sido encontrado experimentalmente, dependiendo específicamente de la técnica usada en el proceso y es la relación existente entre el calor ganado por el metal base al calor generado por la fuente. Jackson y Shruball (8), encontraron que la energía utilizada en formar el depósito de soldadura variaba entre un 20 a un 50% del calor total generado por el arco de soldadura.

3.3. CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE METODOS

La soldadura por arco ocupa un gran campo dentro de los procesos de soldadura; la figura N° 14 detalla la variedad existente, los cuales se describen a continuación:

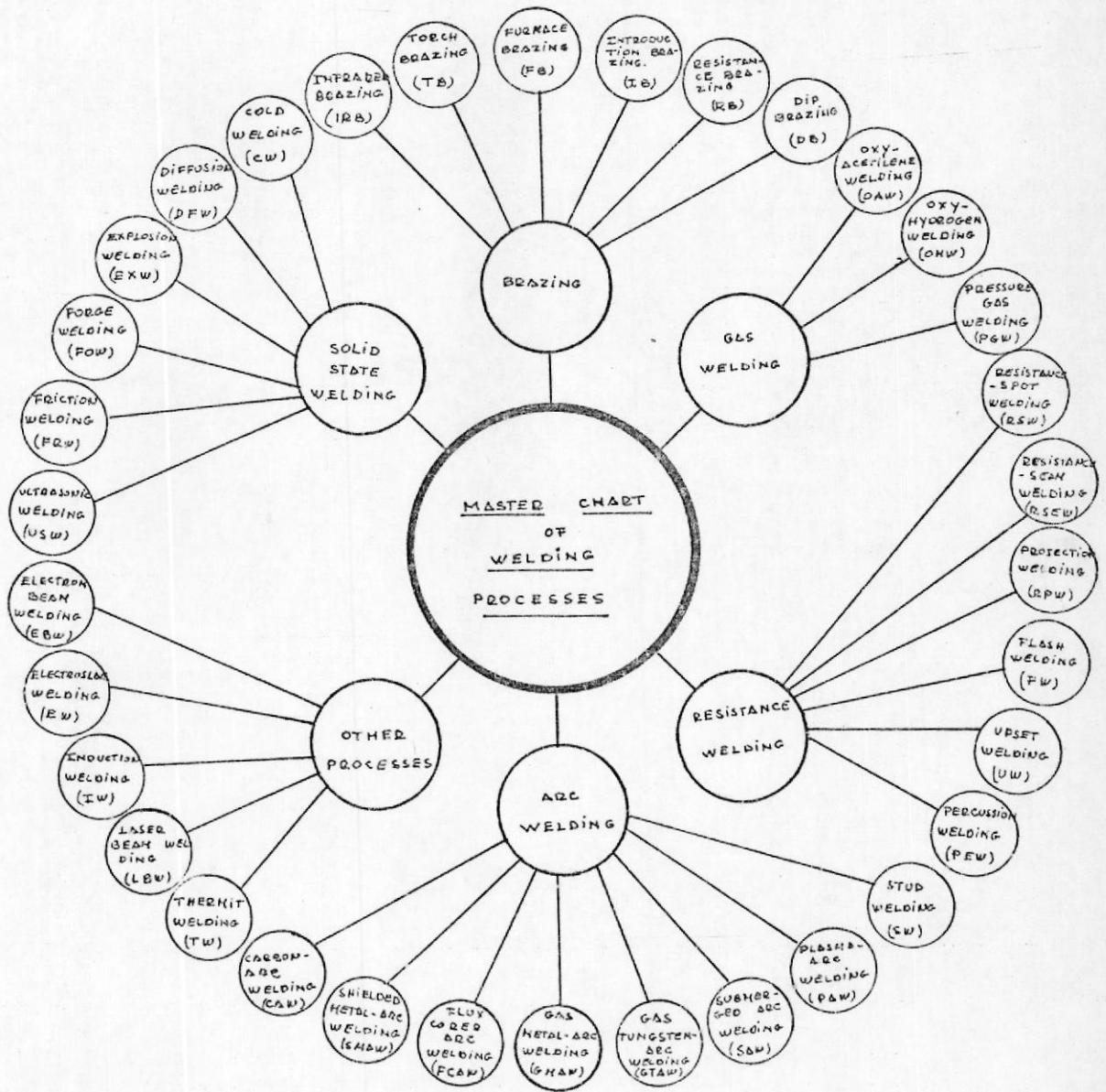


Fig 14.- CARTA GENERAL DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA (7)

3.3.1. Soldadura al arco con electrodo sin revestir

En este tipo de soldadura el electrodo sirve como polo eléctrico y como material de aporte por consiguiente se consume.

La transferencia de material desde el electrodo hacia el metal base no se realiza unicamente por gravedad sino que depende de fuerzas complejas - que actúan para este propósito (6), una de estas es producto de la expansión violenta de los gases en el electrodo, impulsando pequeñas gotas del metal hacia la placa base, haciéndose posible el proceso de soldadura al arco sobre cabeza.

En este tipo de soldadura se obtienen deposiciones de baja calidad, presentando las siguientes desventajas:

- Se pierden elementos aleantes
- Se produce una defectuosa geometría del depósito.
- Existe tendencia a la formación de porosidades
- Se obtienen soldaduras sumamente frágiles.

3.3.2. Soldadura al arco con electrodo revestido

Es también uno de los mas viejos procesos existentes, es simple y quizás el mas difundido para soldar piezas ferrosas. Este método utiliza un electrodo forrado que consiste de un alambre cubierto por una capa de silicato y otros materiales que entran en forma granulada (6), tales como: fluoratos, carbonatos, óxidos, aleaciones metálicas y celulosas.

Todos estos elementos son extruídos y horneados, produciendo una hermética cubierta concéntrica que sirve para estabilizar el arco, suministrar al mismo una atmósfera apropiada mediante la generación de gases, material de aporte y formación de escoria.

El electrodo es sujetado a un porta electrodo que está conectado a una fuente de poder por medio de un cable apropiado. El arco se lo inicia tocando con la punta del electrodo al metal base en la parte donde se quiere soldar. El calor del arco derrite la punta del electrodo, el fundente o revestimiento y el metal base, formando una aleación - que es el cordón de soldadura.

Los electrodos revestidos con fundente se los obtiene en el comercio en forma de palillos, cu yos diámetros varían desde 1/16" hasta 1/4". Los de menor calibre son usados con baja corriente - (40 - 80 Amp.) para soldar láminas delgadas en cualquier posición; los electrodos de diámetro mayor se los usa con corrientes mas altas (150 a 400 Amps) para soldar láminas de espesor grueso y preferible en posición plana.

Comercialmente se expenden diversos tipos de electrodos con mejores características para soldar en determinadas posiciones, con diversos tipos de corriente diferentes tipos demetales. El revestimiento le da al electrodo las siguientes ventajas:

- Protege al electrodo en su extremo caliente.
- Estabiliza el arco añadiendo al plasma substancias fácilmente ionizables
- Formación de atmósferas protectoras contra el oxígeno y el hidrógeno.
- La formación de escoria evita un templo severo del cordón.
- Provee a la soldadura de elementos aleantes
- Puede aportar con elementos desoxidantes.

La figura 15 muestra una costura de soldadura efectuada con electrodo revestido, sin embargo - las desventajas que presenta son: una costura - con trayectoria no uniforme y antieconómica pa- ra procesos continuos.

3.3.3. Soldaduras al arco con gas protector

Se conocen tres procesos: el TIG, el MIG y el MAG; el primero usa un electrodo de tungsteno no consumible que sirve solamente para establecer el arco, mientras que por otro lado se aplica el material de aporte en presencia de una atmósfera inerte compuesta de Argón y Helio. La figura N° 16 muestra la cabeza de un equipo para esta clase de soldadura.

Este método se lo usa para soldar aceros inoxidables y materiales no ferrosos, cuando se suelda láminas de poco espesor a menudo no se utiliza material de aporte, el tipo de energía que consume es el de corriente directa.

Se ha seleccionado el tungsteno como electrodo por su cualidad termoiónica, al emitir electrones fácilmente cuando está caliente y en presenu

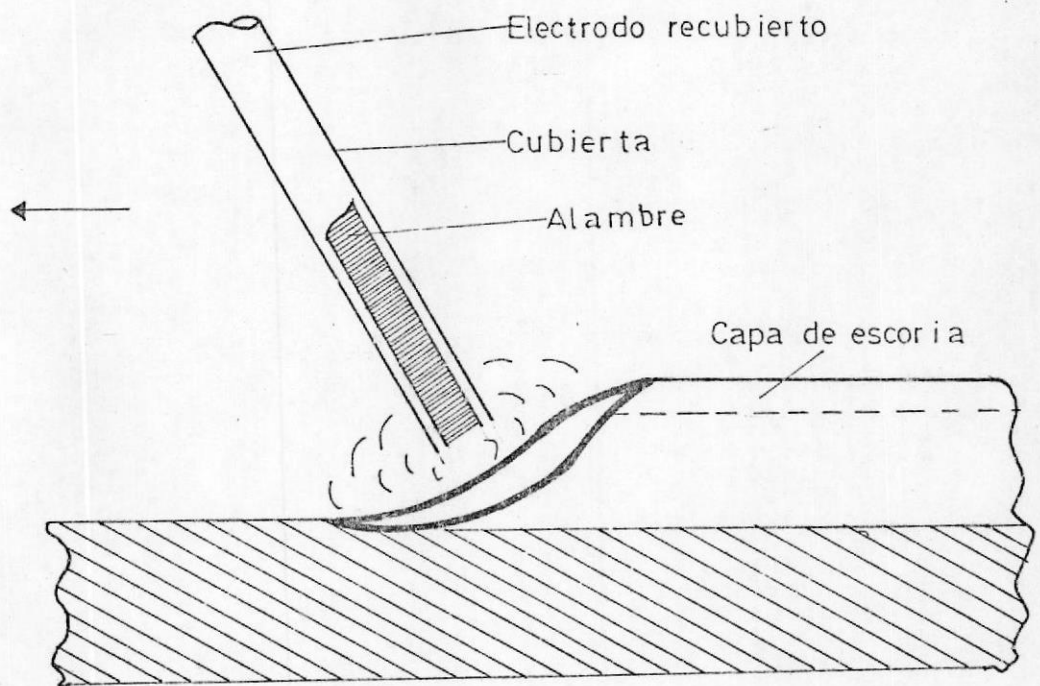


FIG. 15.- SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (6)

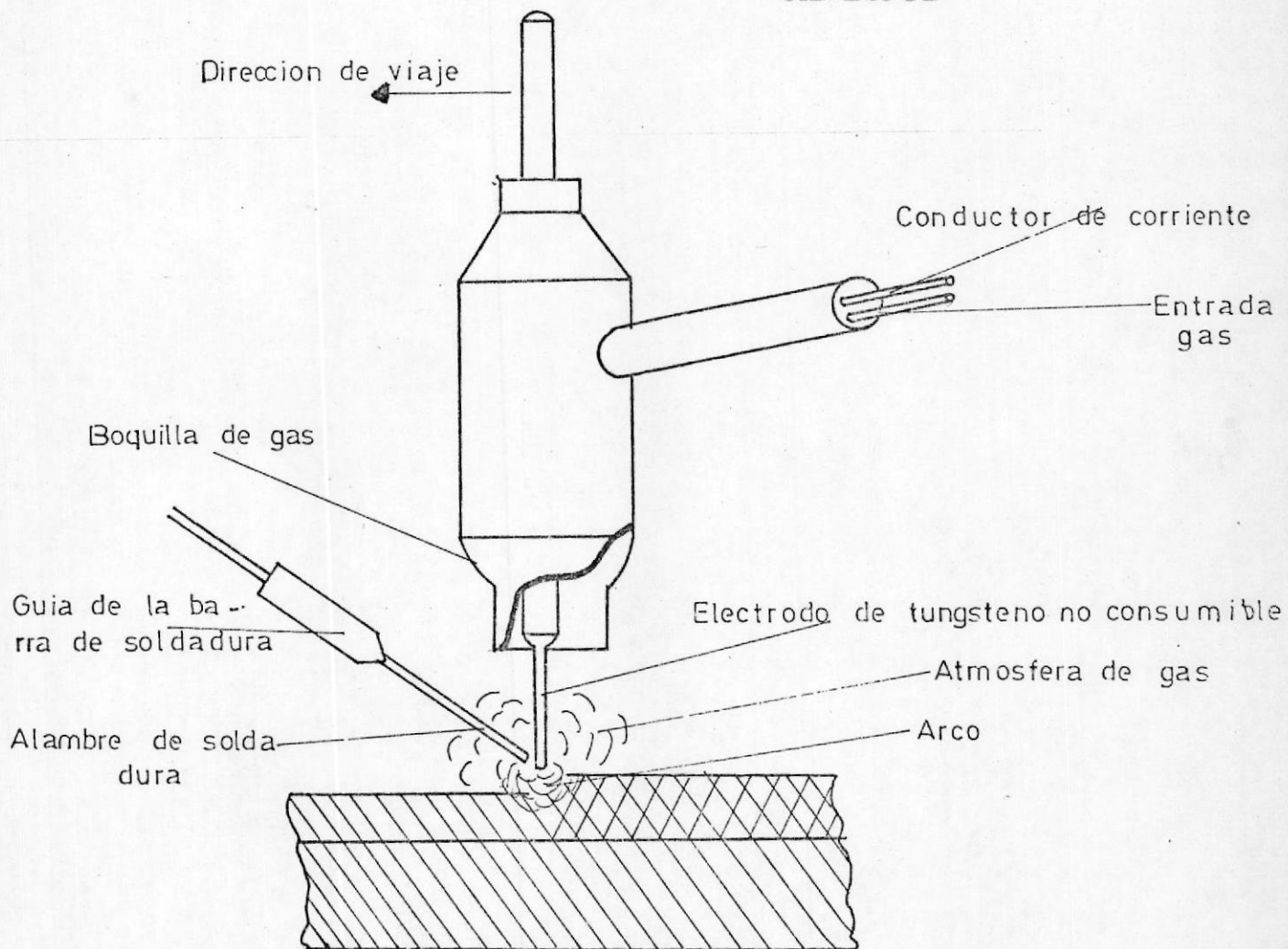


FIG. 16.- SOLDADURA AL ARCO CON GAS PROTECTOR (6)

cia de una diferencia de potencial.

En el comercio se expenden tres clases de electrodos de tungsteno para soldadura:

- Tungsteno puro
- Tungsteno con Torio
- Tungsteno con zirconio

Estos elementos aleantes mejoran la emisividad del tungsteno, lo que favorece el inicio y sostenimiento del arco; la desventaja de usar electrodo puro de Tungsteno es la tendencia a formar una esfera de metal fundido en la punta del electrodo, causando una baja penetración, aumento del grueso del cordón y dificulta el inicio del arco.

Como atmósfera inerte se usa el Argón y el Helio, el Argón es 1.4 veces mas pesado que el aire y 10 veces más pesado que el Helio, el Argón se lo prefiere en ocasiones para soldar manualmente debido a que ayuda a mantener el voltaje en forma estable a pesar de variar la longitud del arco; opera además con voltajes bajos y se lo usa a menudo para soldar planchas delgadas.

El Helio opera con voltajes mas elevados y produce cambios mas grandes por las variaciones en la longitud del arco, la ventaja que presenta es la obtención de velocidades de viaje mayores sin que aparezca defectos de mordedura; el proceso es limpio y de muy buena calidad.

El proceso MIG fue logrado con el fin de mejorar la soldadura TIG por traer como desventaja ésta última una excesiva deposición y ser mas compleja su boquilla. La figura N^o 17 muestra una boquilla típica de un equipo de soldadura MIG, diferenciándose el proceso en que ahora el electrodo si se consume, sirviendo de material de aporte.

El proceso MAG se diferencia de los anteriores por usar gas carbónico como atmósfera inerte.

3.3.4. Soldadura al arco sumergido

En este método se usa el fundente en forma granulada para proteger al arco contra la contaminación del oxígeno y nitrógeno del aire. La figura N^o 18 muestra la forma de un cordón de soldadura al arco sumergido, el extremo del electrodo está sumergido en un montón de fundente,

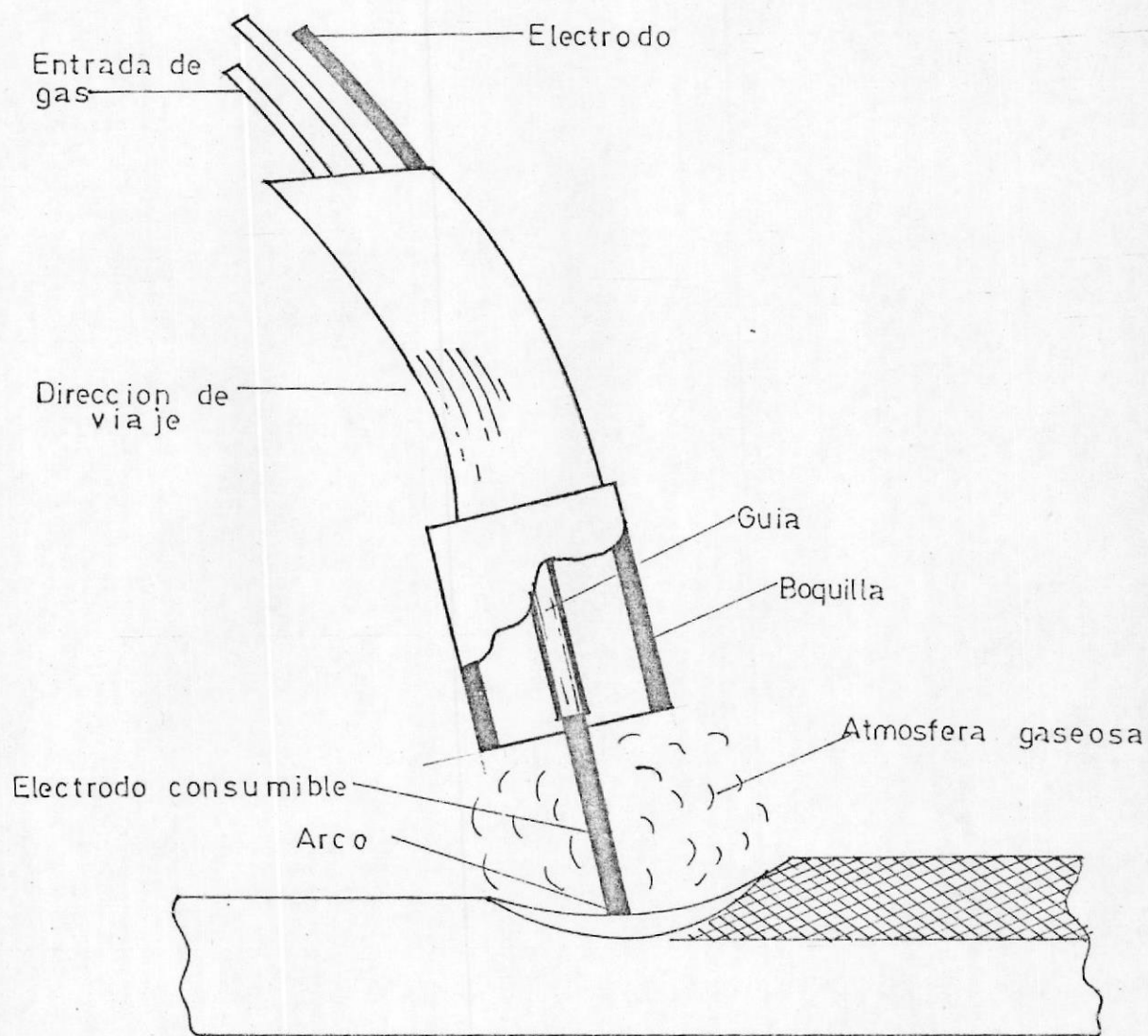


FIG. 17.- SOLDADURA AL ARCO EN UN PROCESO MIG (6).

parte del cual una vez establecido el arco se convierte en escoria formando una gruesa capa aislante entre el aire y el metal de soldadura, evitando de esta manera la fragilidad en la soldadura.

En este proceso se puede obtener corrientes muy altas de trabajo, usualmente 4 o 5 veces mayores que en los procesos con electrodos revestidos, por lo tanto el calor generado es mayor consiguiéndose una buena penetración y una mayor velocidad de deposición, lo que permite a su vez una mayor velocidad de viaje.

Este proceso es fácil de controlar variando las condiciones de soldadura, diámetros del electrodo, velocidad del material de aporte y tipo de fundente.

Este método puede usar corriente alterna o directa, prefiriéndose la directa con polaridad inversa para - obtener una mayor penetración. En la actualidad se han desarrollado numerosos equipos de arco sumergido, usando electrodos múltiples, electrodos precalentados con el fin de aumentar la velocidad de deposición.

Debido a que el fundente granulado necesita cubrir el arco, este proceso es eficiente solo para soldaduras de tipo plano u horizontal.

Dirección de viaje ←

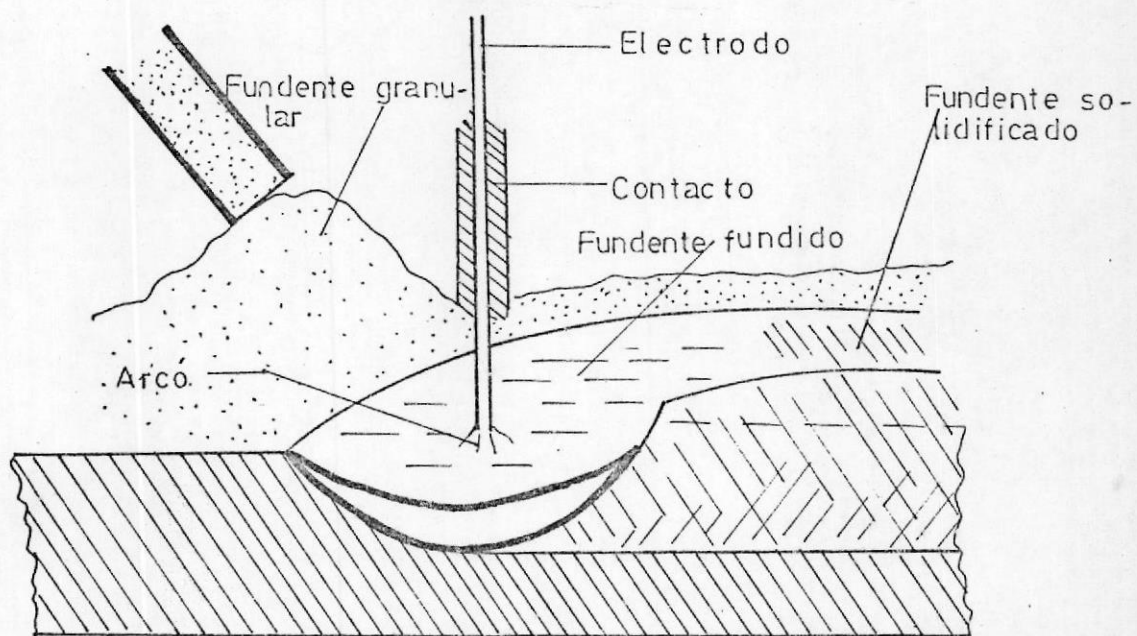


FIG. 18.- PROCESO DE SOLDADURA AL ARCO SUMERGIDO (6).

Los fundentes que se usan pueden ser ácidos o básicos y a menudo se les añade polvo metálico como elemento aleante. Los electrodos ácidos sin polvo de hierro en el fundente son mas fáciles de encender que los electrodos básicos (9), siendo su velocidad de soldadura -razonable; el cordón de soldadura es liso y brillante y su escoria es fácil de eliminar. Los electrodos ácidos sin alear son apropiados para soldar aceros con un límite mínimo a la ruptura de 3.100 lb/m^2 ; los electrodos básicos sin alear tienen también una velocidad de soldadura razonable y su escoria no se elimina con la misma facilidad que las de los ácidos, presentando sin embargo un mínimo contenido de hidrógeno caracterizándose por su alta resistencia a temperaturas altas y bajas, su cordón de soldadura es también liso y brillante, presentándose rara vez fisuras; se los usa en aceros para la construcción, aceros para buques con un mínimo límite a la ruptura de 40.000 lb/in^2 .

En este método la distancia del electrodo con respecto al metal base debe mantenerse constante, ya que si aumenta ésta, aumentará el voltaje, recibiendo el fundente mas calor con el consiguiente peligro de fundirse produciendo costuras soldadas no uniformes.

Las soldaduras al arco sumergido producen depósitos -

muy limpios y con baja porosidad, sin embargo pueden presentarse ocasionalmente problemas de fisuras debido a la baja velocidad de solidificación y a la gran masa de metal solidificándose.

3.4. EFECTO DEL CAMBIO DE VARIABLE EN LA SOLDADURA AL ARCO

Las condiciones de calor durante el proceso de soldadura trae como consecuencia contracciones en el material, esfuerzos residuales, cambios metalúrgicos, modificaciones químicas, etc. por lo que conviene exponer lo que realmente sucede.

Cuando se suelda existe un movimiento relativo entre el electrodo y el metal base, ese movimiento se llama viaje y por lo tanto varían las condiciones térmicas del metal base, no solamente en el sitio de la deposición sino también a los lados de dicho cordón, ésta franja se la denomina zona afectada por el calor (ZAC); estos cambios de temperatura influyen en el tipo de microestructura que se forma y por consiguiente sus propiedades mecánicas son también modificadas.

Puesto que estos cambios bruscos de temperatura y otros efectos dependen de las condiciones de soldadura un estu

dio de la interacción de los efectos de las técnicas de soldadura con las características de enfriamiento de la zona afectada por el calor es esencial.

3.4.1. Efecto de las técnicas de la soldadura al arco

Tres variables gobiernan toda soldadura al arco:

- a. Corriente de soldadura (I)
- b. Voltaje de soldadura (E)
- c. Velocidad de viaje (V)

La figura N° 19 muestra el resultado de estas tres variables en un cordón de soldadura, entre ellas son:

- Penetración de un cordón, es la distancia bajo la superficie del metal base hasta donde progresa el metal derretido.
- El cordón propiamente dicho es la suma de refuerzo, mas el metal de soldadura que ocupa el sitio del metal base.
- La razón del metal base derretido al área total del cordón será representada por $B/(A+B)$.

3.4.2. Efecto de la corriente de soldadura

Puede demostrarse que un incremento en la corrien-

te de soldadura produce un aumento en la penetración y en la cantidad del material de aporte; este efecto se lo ve graficado en la curva de la figura N° 20.

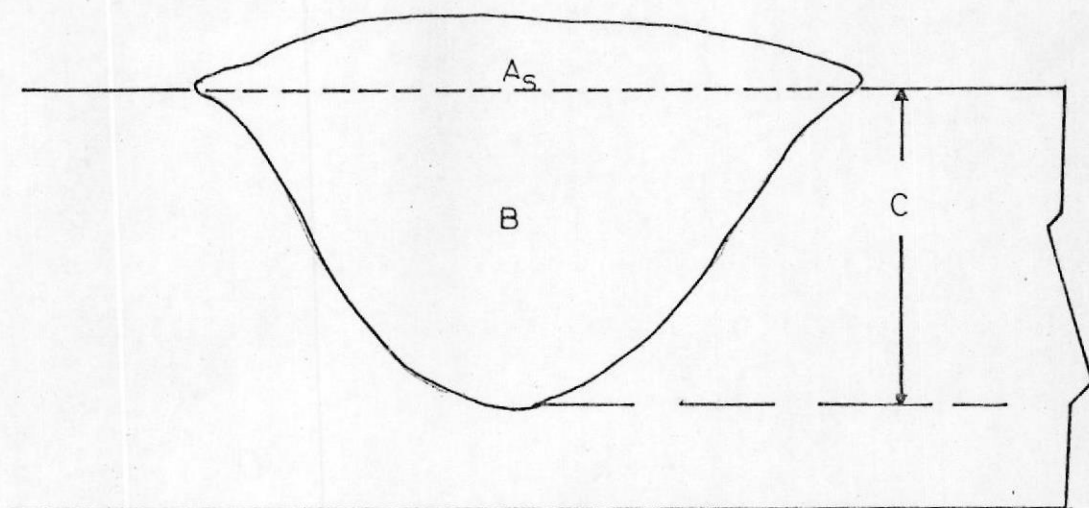
3.4.3. Efecto de la variación del voltaje

La selección de un voltaje apropiado evita la formación del socavado o cortadura en los procesos de soldadura por arco, defecto que se lo reconoce por la depresión o mordedura longitudinal del metal base a los lados del cordón.

Como regla general se puede decir que cuando aumenta el voltaje, disminuye la penetración pero se aumenta el ancho del cordón.

3.4.4. Efecto de la velocidad

La deposición de soldadura hecha en un proceso depende de la velocidad de viaje, el área de ésta deposición puede ser determinada por una relación entre la corriente y velocidad de viaje; la figura N° 21 muestra una relación del área del metal de soldadura depositada a la corriente sobre la velocidad de viaje.



A_s = Reforzamiento
 B = Metal base derr etido
 C = Penetracion

$$\text{RAZON DE FUSION} = \frac{B}{A_s + B}$$

Fig 19. Cordon de soldadura depositado en una placa plana (8)



CIB-ESPOL

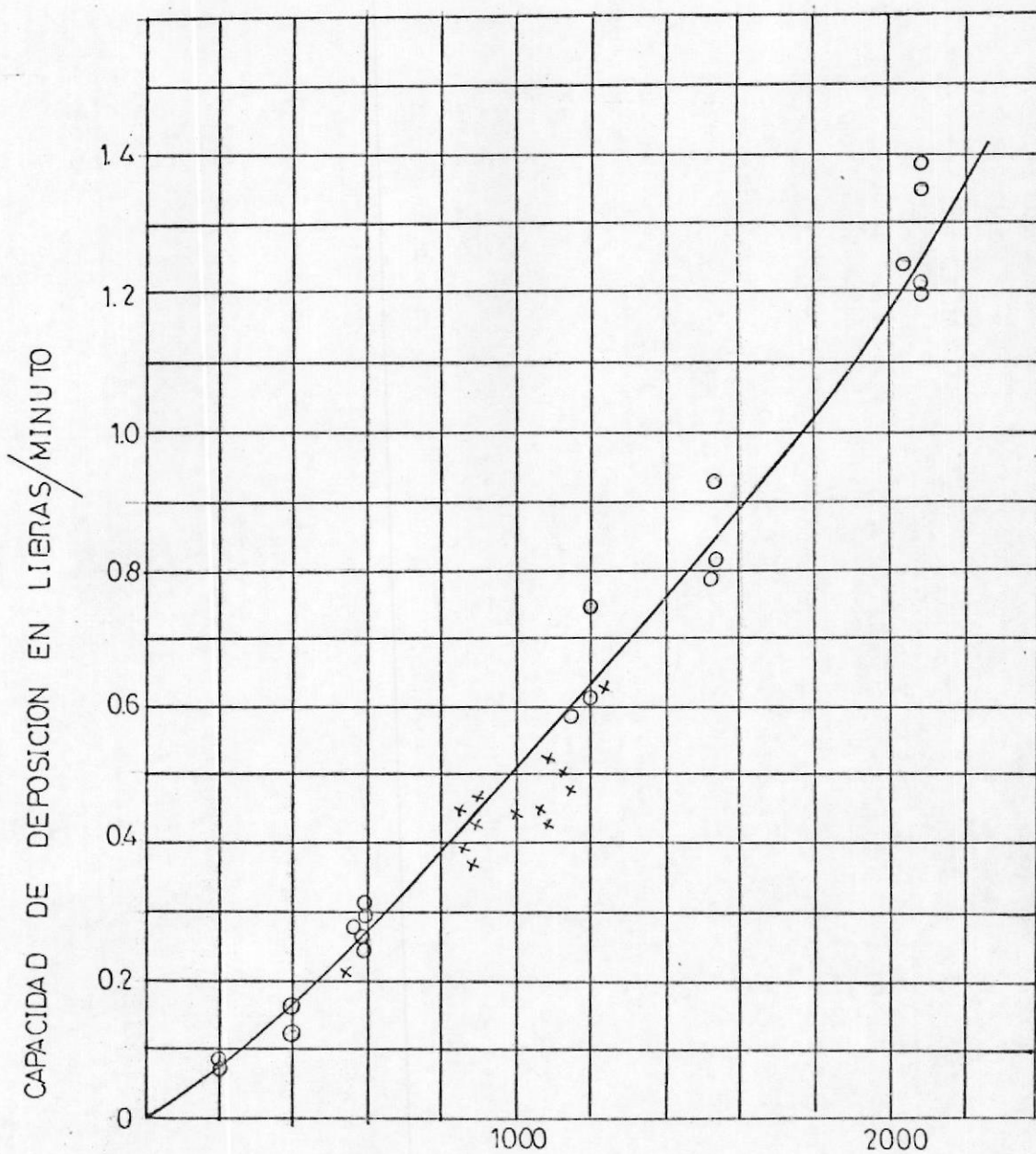


Fig 20 — EFECTO DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA EN LA RAZON DE DEPOSICION DEL ELECTRODO USANDO UN FUNDENTE DE SILICATO DE CALCIO EN UN PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (8)

3.4.5. Efecto de la técnica de soldadura en la razón de enfriamiento.

Como se mencionó anteriormente el área circundante, durante un proceso de soldadura, está sujeta a complejos ciclos térmicos, primero un calentamiento brusco hasta conseguir que el metal derrieta y luego un enfriamiento rápido; de este último depende la microestructura que se conseguirá y por lo tanto sus propiedades mecánicas. Se deduce entonces que controlando las técnicas para soldar se puedan controlar las propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor.

El método más común para controlar el enfriamiento brusco del cordón de soldadura es regulando la energía desarrollada en el arco por unidad de longitud. Muchos investigadores han examinado la relación entre la razón de enfriamiento y el calor de entrada y dedujeron que ésta razón puede predecirse.



CIB-ESPOL

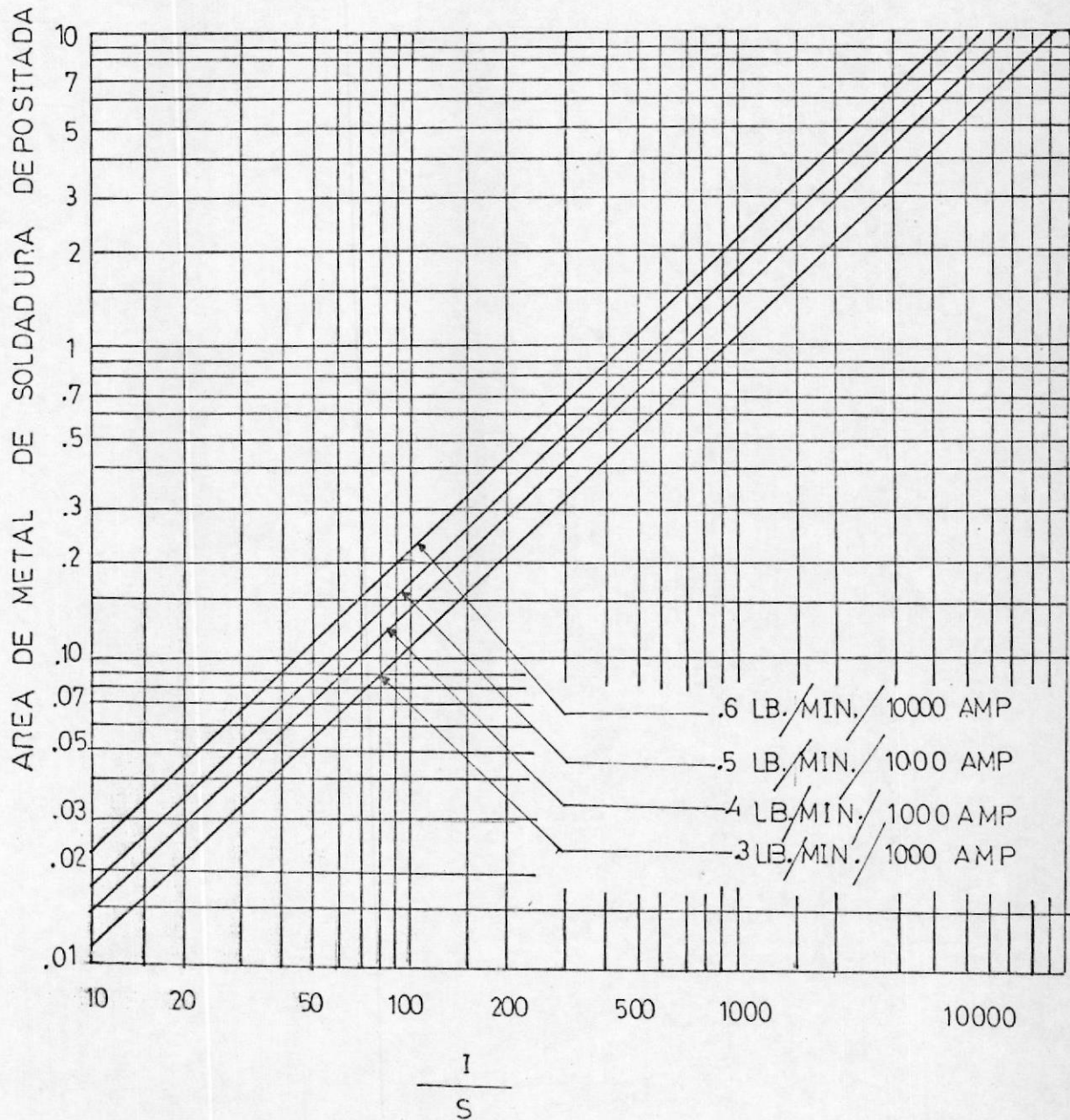


Fig 21.—RELACION DEL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO Y LA RAZON DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA SOBRE LA RAZON DE VIAJE (8)



CAPITULO 4

DISCONTINUIDADES EN LA SOLDADURA POR ARCO

4.1. INTRODUCCION

Se entiende por discontinuidad a toda interrupción de la materia continua que puede o no constituir un defecto(10), las principales discontinuidades que pueden ser condición de defecto se puede mencionar las siguientes: grietas, fisuras, poros, rugosidades, segregaciones, inclusiones, etc.

Una discontinuidad constituye un defecto cuando ya sea por su ubicación, tamaño o forma afecta la capacidad del material para cumplir con las exigencias del diseño; cuando ésta modificación que sufre el material por la presencia de un defecto se manifiesta por encima de los valores de tolerancia previstos, la pieza es motivo de rechazo.

Existen condiciones en que la discontinuidad no constituye una condición de defecto, sino que forma parte del diseño o especificación de la misma; un ejemplo de esto se tiene en la porosidad de los cojinetes autolubricados.

Dado el caso de que el metalúrgico debe estar en capacidad de distinguir el tipo y procedencia de una discontinuidad o un defecto, en este capítulo se tratarán las diferentes clases de discontinuidades y las fuentes de donde pueden provenir los defectos.

4.2. CLASIFICACION DE LAS DISCONTINUIDADES

Las discontinuidades pueden clasificarse en cuanto a su origen, su forma y su constitución.

Por su origen pueden ser:

- Discontinuidades inherentes
- Discontinuidades en proceso
- Discontinuidades en servicio

4.2.1. Discontinuidades inherentes

Son las que se producen durante la fabricación de materia prima, llámese este tocho lingote, palanquilla, etc.

4.2.2. Discontinuidades en proceso

Este tipo se produce en los materiales durante la manufactura de los mismos, generalmente por defor

maciones en frío, como en el caso de una embutición profunda.

4.2.3. Discontinuidades en servicio

Esta clase de discontinuidad se produce durante el ciclo de trabajo y puede deberse a la corrosión, presiones, tensiones, fatiga, etc.

4.3. CLASIFICACION DE LAS DISCONTINUIDADES POR SU FORMA

Por su forma las discontinuidades pueden ser:

- Discontinuidades tridimensionales con forma geométrica definida.
- Discontinuidades tridimensionales con forma geométrica no definida.
- Discontinuidades bidimensionales planas y reversas.
- Discontinuidades lineales rectas o curvas.

4.3.1. Discontinuidades tridimensionales con forma geométrica definida

Aparecen en los metales en general al momento de la solidificación en forma de cavidades con gases en su interior.

4.3.2. Discontinuidades tridimensionales con forma geométrica no definida

Un caso típico son los rechupes en el interior de los metales durante la solidificación, al vertir la colada en un proceso de fundición. La figura 22 muestra una discontinuidad tridimensional no definida.

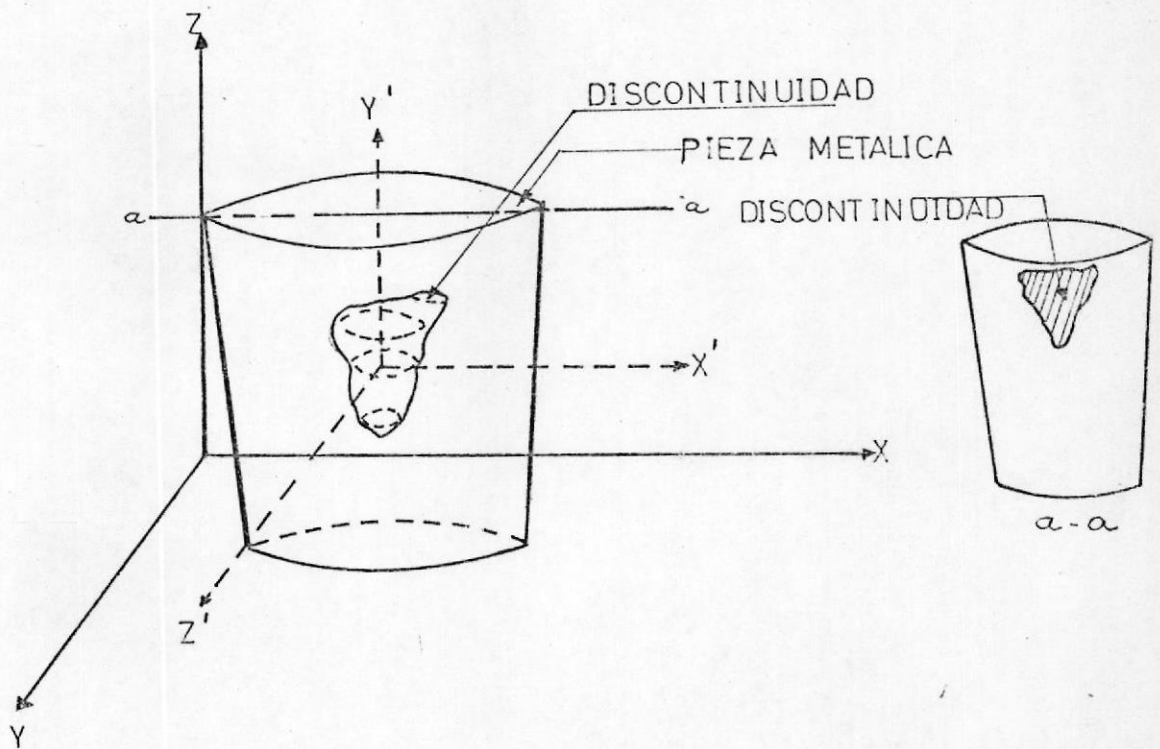
4.3.3. Discontinuidades bidimensionales planas

La figura N° 23 muestra una discontinuidad bidimensional plana, que a pesar de tener tres dimensiones, dos de ellas son privilegiadas.

Las discontinuidades bidimensionales reversas son aquellas que no siguen un plano preferencial, sino que aparecen en forma curva o alabeada. La figura N° 24 muestra un ejemplo de ésta discontinuidad.

4.3.4. Discontinuidades lineales

Este tipo de discontinuidad se origina generalmente en las operaciones de maquinado por rayaduras ocasionadas por las cuchillas de un torno, cepillo, etc. Esta discontinuidad aparece también en



VACIO TIPO RECHUPE

FIG. 22.- DISCONTINUIDAD TRIDIMENSIONAL CON FORMA GEOMETRICA NO DEFINIDA (10).

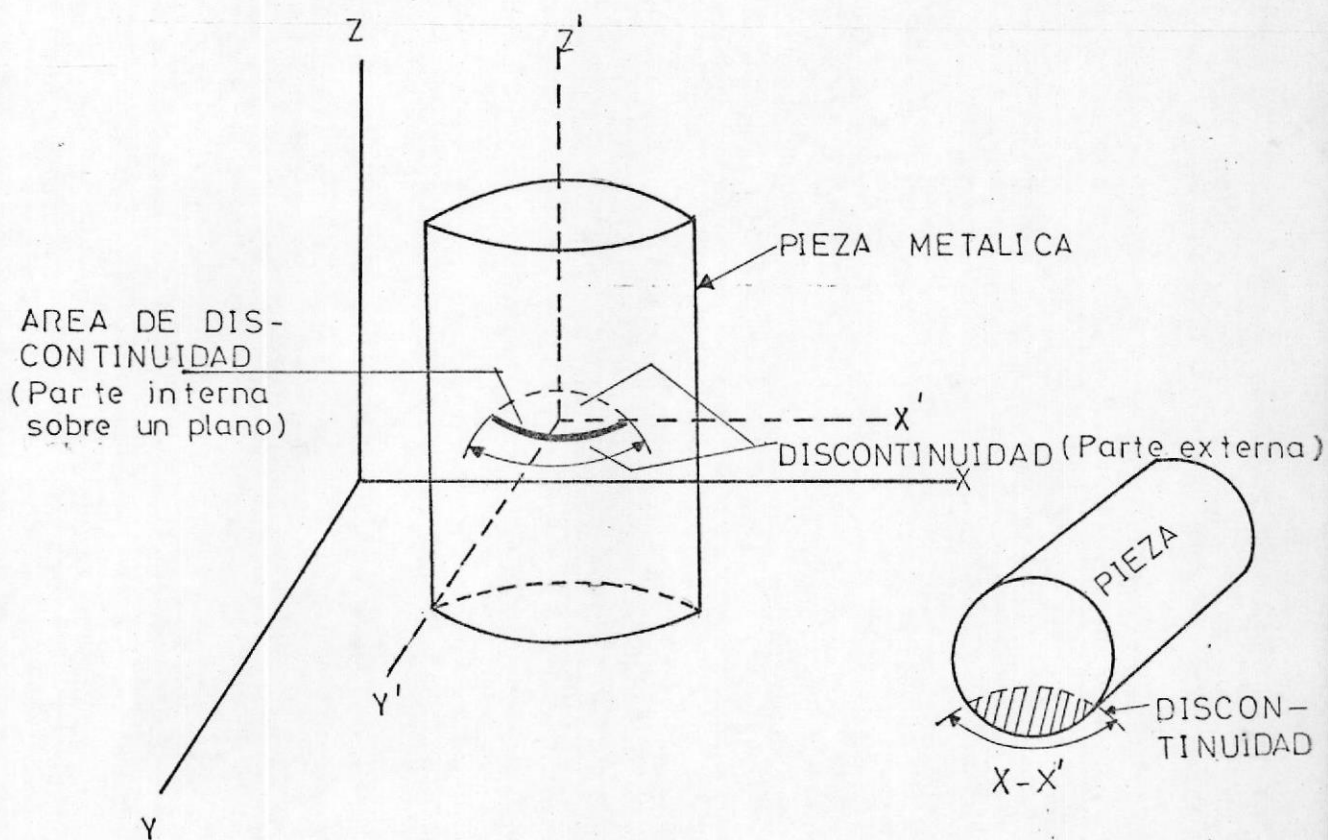


Fig 23. — DISCONTINUIDAD BIDIMENSIONAL PLANA
PLANO PREFERENCIAL (X' Y') (10)

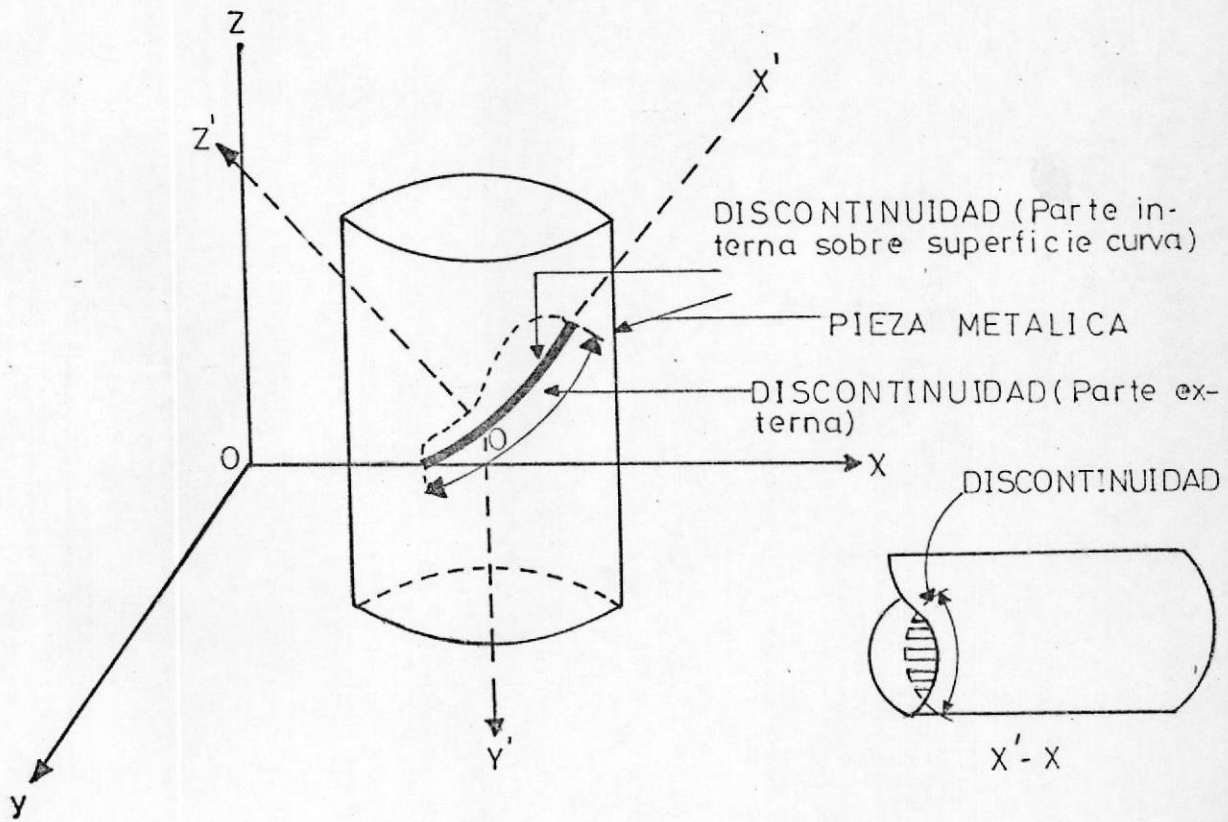


FIG. 24.- DISCONTINUIDAD BIDIMENSIONAL REVERSA (10).

la raíz de una soldadura o en lomo de la misma - cuando se sueldan piezas de hierro fundido sin previo tratamiento térmico; las figuras 25 y 26 dan una idea de esta clase de discontinuidad.

4.4. CLASIFICACION DE LAS DISCONTINUIDADES POR SU CONSTITUCION.

4.4.1. Fisuras superficiales

Constituyen una de las grandes fuentes de defectos, originándose por tensiones mecánicas; estas fisuras pueden ser longitudinales o transversales.

Desde el punto de vista cristalográfico pueden ser transcristalinas, que cortan o atraviesan los granos e intergranulares, que se producen en los límites de grano.

La figura N^o 27 muestra distintos tipos de fisuras superficiales e internas de una barra, la figura N^o 28 muestra fisuras longitudinales y transversales en un cordón de soldadura.

4.4.2. Huecos internos

La mayoría de los metales sufren contracciones du



CIB-ESPOL

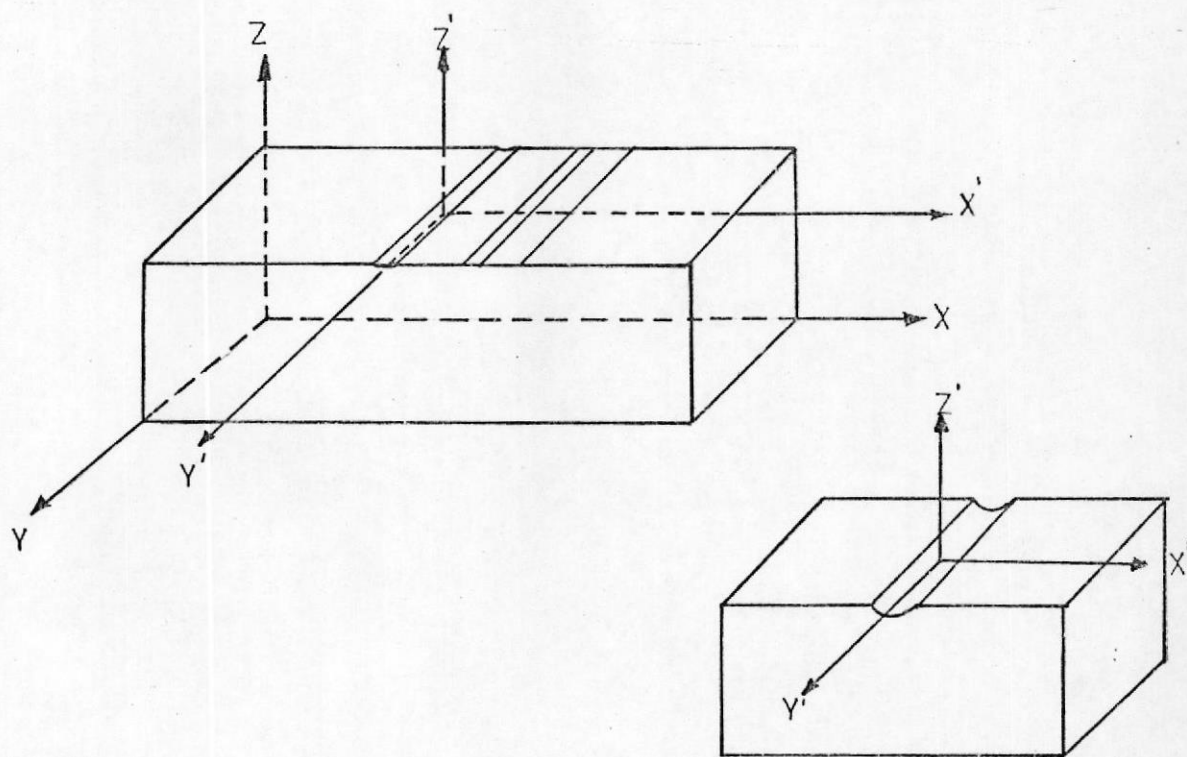


FIG. 25.- Discontinuidad lineal recta segun la direccion y' (marcas de maquinado sobre la superficie de la pieza) (10).

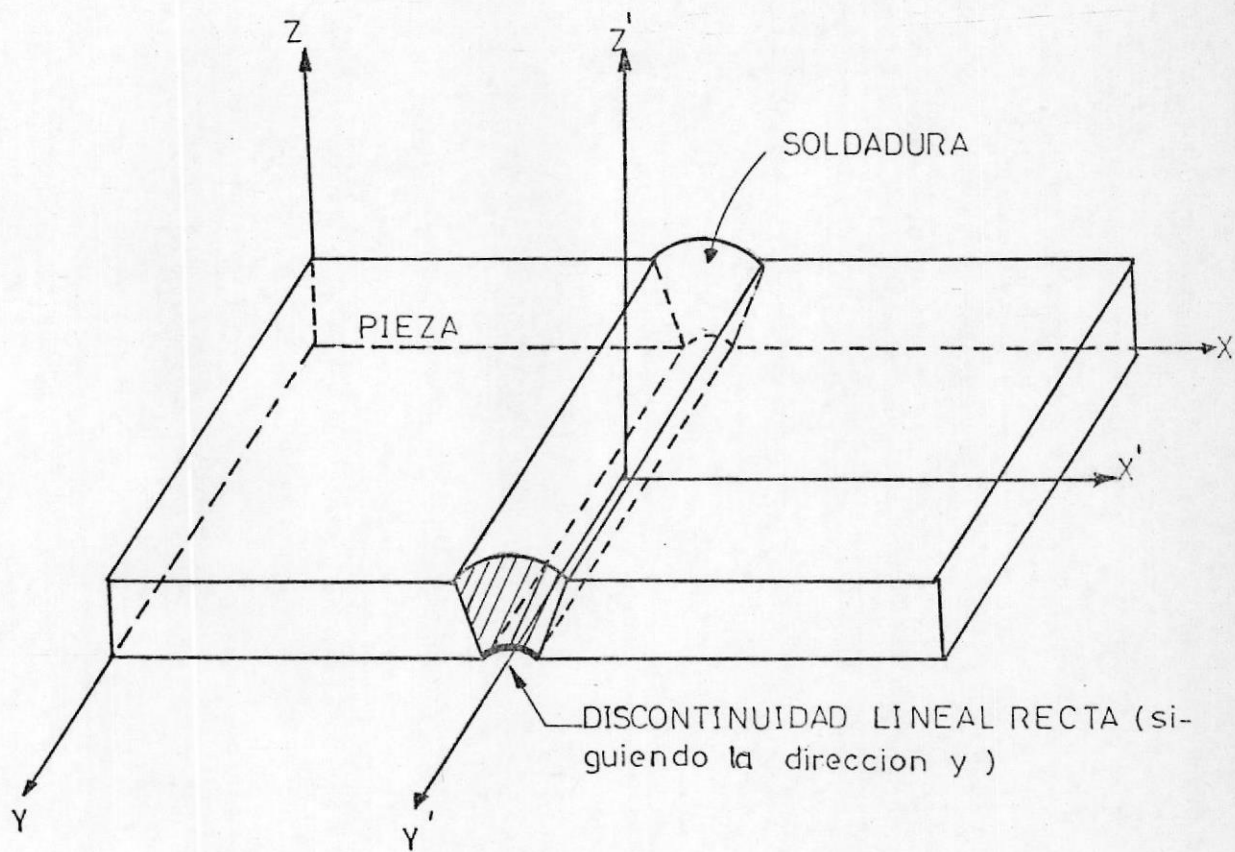


FIG. 26.- DISCONTINUIDAD LINEAL RECTA (10)

rante el proceso de solidificación, el metal líquido a alta temperatura cuando se vierte en los moldes (lingotera, coquilla, etc.) pierde una cierta cantidad de calor a través de las paredes del mismo, solidificándose, mientras que el núcleo de ese lingote tiene aun material sin solidificar; este intercambio violento de temperaturas produce contracción de la masa metálica, dando lugar a vacíos internos o rechupes que se forman generalmente en la parte superior de los lingotes, dependiendo del molde en el que se está vertiendo la colada. La figura N^o 29 muestra este tipo de discontinuidad.

Cuando la pieza fundida tiene secciones grandes y pequeñas (cambios bruscos), existen generalmente contracciones desiguales produciéndose grietas; si durante la solidificación no existe una alimentación constante del metal líquido que compense la disminución del volumen del metal al solidificar pueden ocurrir estos vacíos de contracción. Pueden además existir porosidades por los gases atrapados o humedad que pueda tener la arena de fundición.



CIB-ESPOL

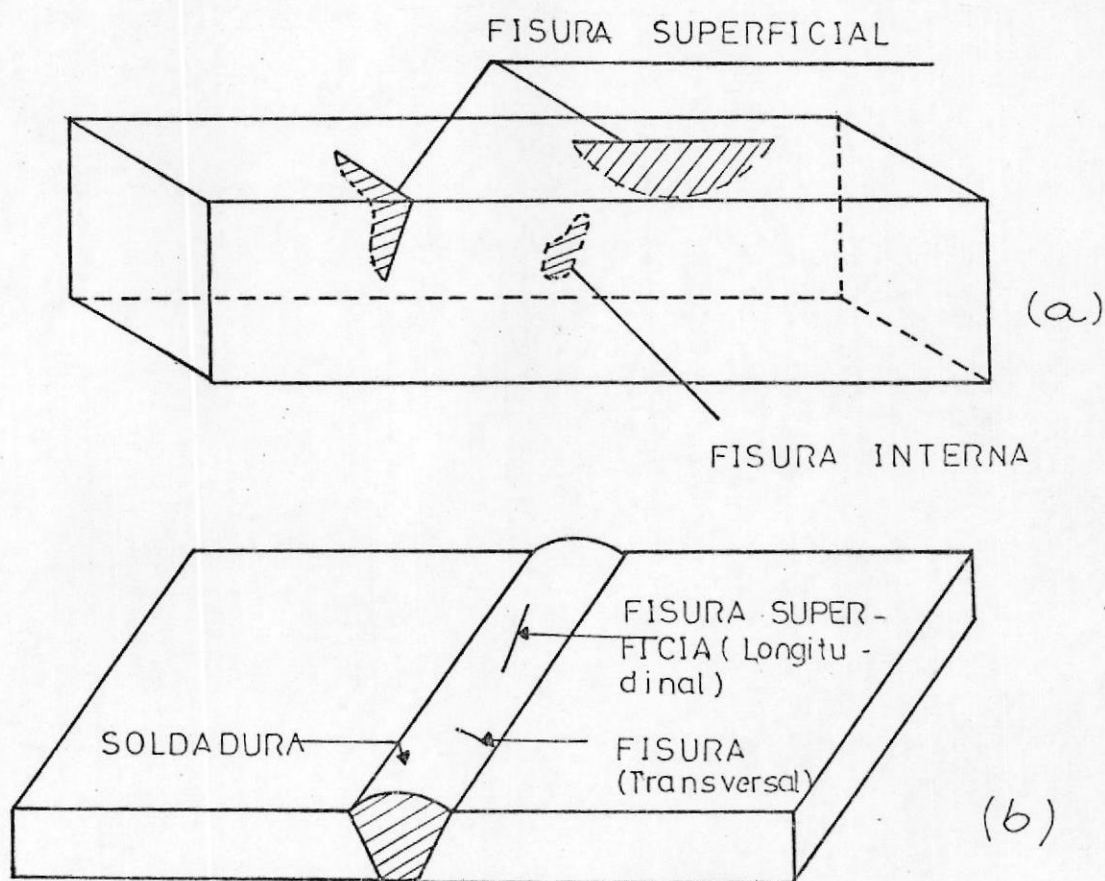


FIG. 27.- FISURAS SUPERFICIALES (10)

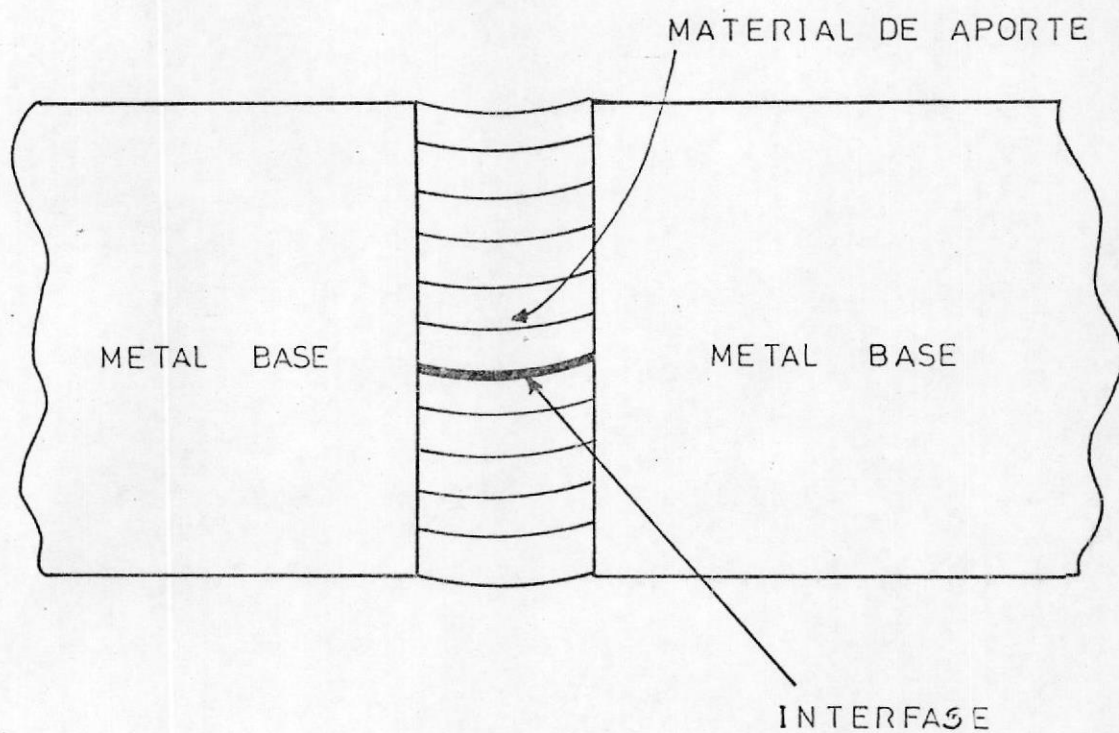


FIG. 28.- FISURA TRANSVERSAL EN UN CORDON DE SOLDADURA (10)



CIB-ESPOL

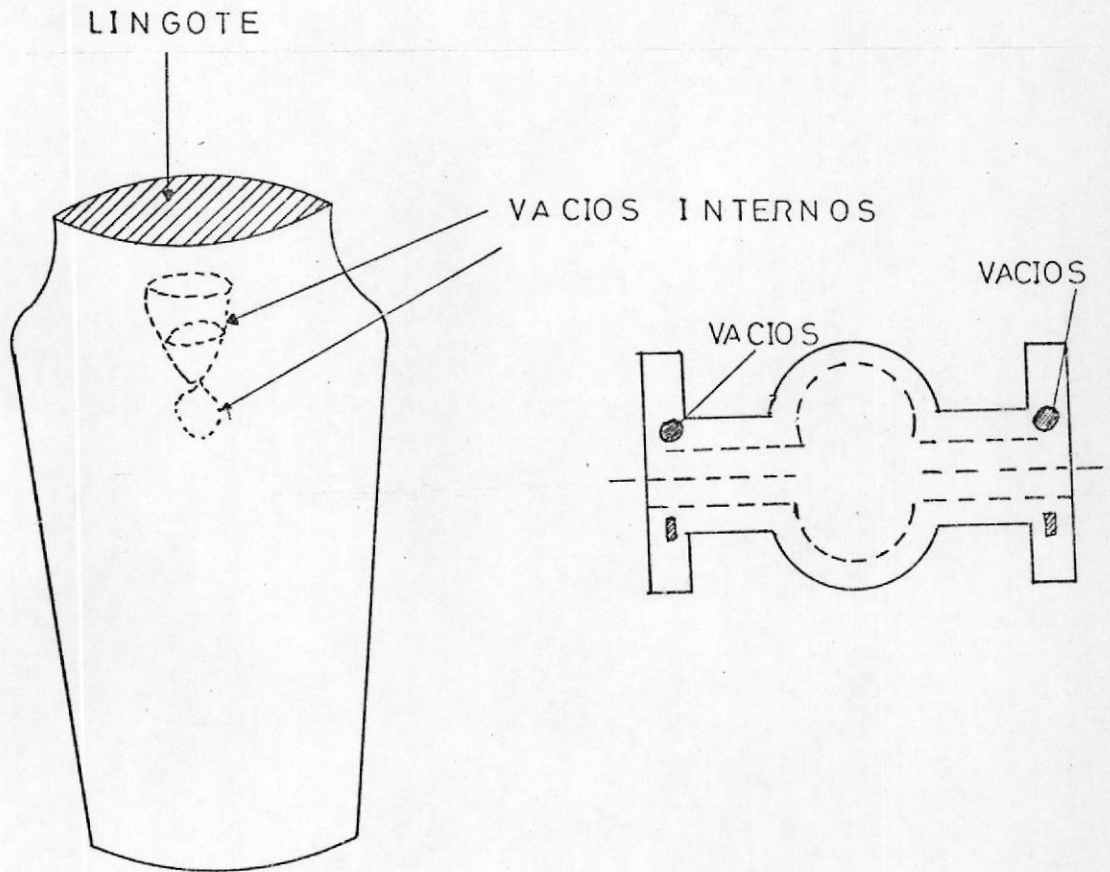


FIG. 29.- RECHUPES INTERNOS EN PIEZAS FUNDIDAS (10).

4.4.3. Variaciones metalúrgicas

Pueden ocurrir en su estructura, se incluyen también las segregaciones y las inclusiones.

Estructura.- Puede ocurrir que en alguna de las etapas de un tratamiento térmico se produzca una concentración de tensiones residuales debido a una mala regulación de la velocidad de enfriamiento, dando lugar a la aparición de una discontinuidad en las piezas, la misma que durante el servicio puede llegar a una ruptura.

4.4.3.1. Segregaciones.- La solidificación de una aleación lejos de hacerse a una temperatura corriente, se efectúa en un intervalo de temperatura a menudo constante, en el que la composición de la fase sólida difiere de la líquida; tratándose del depósito de una solución sólida como en el caso de los aceros, se nota que los primeros cristales del esqueleto dendrítico que se separan del baño líquido son ricos en hierro y pobres en carbono y otros elementos como el silicio, fósforo, azufre y manganeso, aumentando gradualmente sus di-

mensiones por la estratificación regular de la nueva materia cristalina en torno al núcleo; esto hace que la parte central, que es la última en solidificarse, contenga porcentajes mas ricos de los elementos aleantes.

Este fenómeno provoca una acumulación excesiva de carbono e impurezas en las partes que solidifican en último término, originándose una heterogeneidad cristalina en la materia.

- 4.4.3.2. Inclusiones.- En cuanto a su origen se clasifican en endógenas y exógenas, las primeras formadas por reacciones químicas y las exógenas por acción mecánica.

Inclusión es el término usado para describir los óxidos, materiales sólidos, metálicos y no metálicos, que son atrapados en el metal de soldadura o entre este y el metal base; estas pueden ser inclusiones de escoria e inclusiones de tungsteno. En los procesos de soldadura que utilicen dos o más cordones o pases, deben usarse cepi

llos metálicos u otros elementos abrasivos, con el objeto de eliminar los residuos de escoria y cualquier otro elemento extraño que quede adherido en la superficie del cordón, dando lugar a discontinuidades lineales que por sus dimensiones son generalmente tipificadas como defectos.

En los procesos de soldadura TIG, se ven ocasionalmente inclusiones de Tungsteno como consecuencia del atrapamiento de partículas del electrodo no consumible, cuando este topa la parte derretida del metal.

4.5. INCIDENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS

La presencia de discontinuidades en una pieza obliga a prestar mayor atención al mecanismo del que forma parte, muchas veces las discontinuidades aparecen en sitios en los que ningún esfuerzo es solicitado, o quizás la excesiva sección del material en esa parte sea tal, disponiéndose por lo tanto de amplios factores de seguridad, lo que hace factible el trabajo prolongado de dicha pieza -

sin que llegue a fallar; sin embargo hay ocasiones en los cuales el sitio en donde se encuentra una discontinuidad es tan crítico para el trabajo, que hace que dicha imperfección se transforme o constituya un defecto y por tanto sea rechazado el material.

A continuación se mencionarán algunas imperfecciones que frecuentemente se encuentran:

4.5.1. Falta de fusión

Durante un proceso de soldadura al arco, el material de aporte debe fundirse conjuntamente con el metal base, si esto no ocurre, habrá una interfase, defecto denominado falta de fusión. La figura N° 30 muestra esta clase de defecto; este tipo de defecto puede aparecer entre cordones o pases cuando no se tiene cuidado de remover la escoria.

4.5.2. Falta de penetración

La falta de penetración es un defecto que se presenta en uniones soldadas como ausencia del metal de soldadura en las raíces de la misma, la fig. N° 31, muestra este defecto, el cual ocurre generalmente por

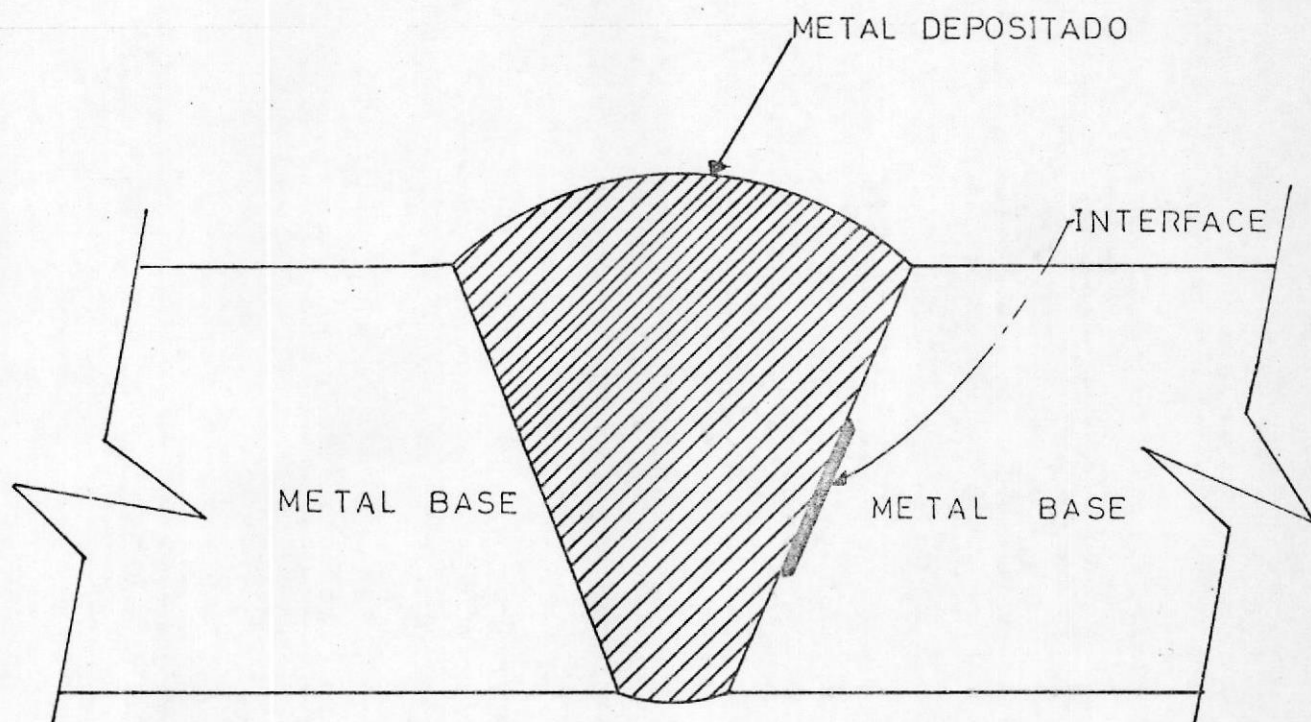


FIG. 30.- FALTA DE FUSION EN UN PROCESO DE SOLDADURA AL ARCO. (10)

el uso de bajas temperaturas.

4.5.3. Rajaduras

Se originan a consecuencia de esfuerzos de tracción que aparecen en el cordón de soldadura cuando este se enfría; estos defectos son lineales y generalmente se ubican en el centro del cordón, pudiéndoselos encontrar a simple vista como una fisura.

Existen tres clases de rajaduras en procesos de soldadura al arco: rajaduras en caliente, rajaduras en frío y microfisuras; todos estos pueden ocurrir en el metal de soldadura. En la figura N° 32 pueden apreciarse estos defectos; la rajadura interna que aparece en el metal base puede atribuirse a la presencia de hidrógeno, siendo también esta la causa de las fisuras superficiales que aparecen en el metal base. Esta clase de defectos se los ve algunas veces en los aceros inoxidables y en fundiciones ferrosas por problemas de calentamiento.

Las rajaduras transversales que aparecen en el metal de soldadura se deben muchas ocasiones a paralizaciones repentinas del arco.

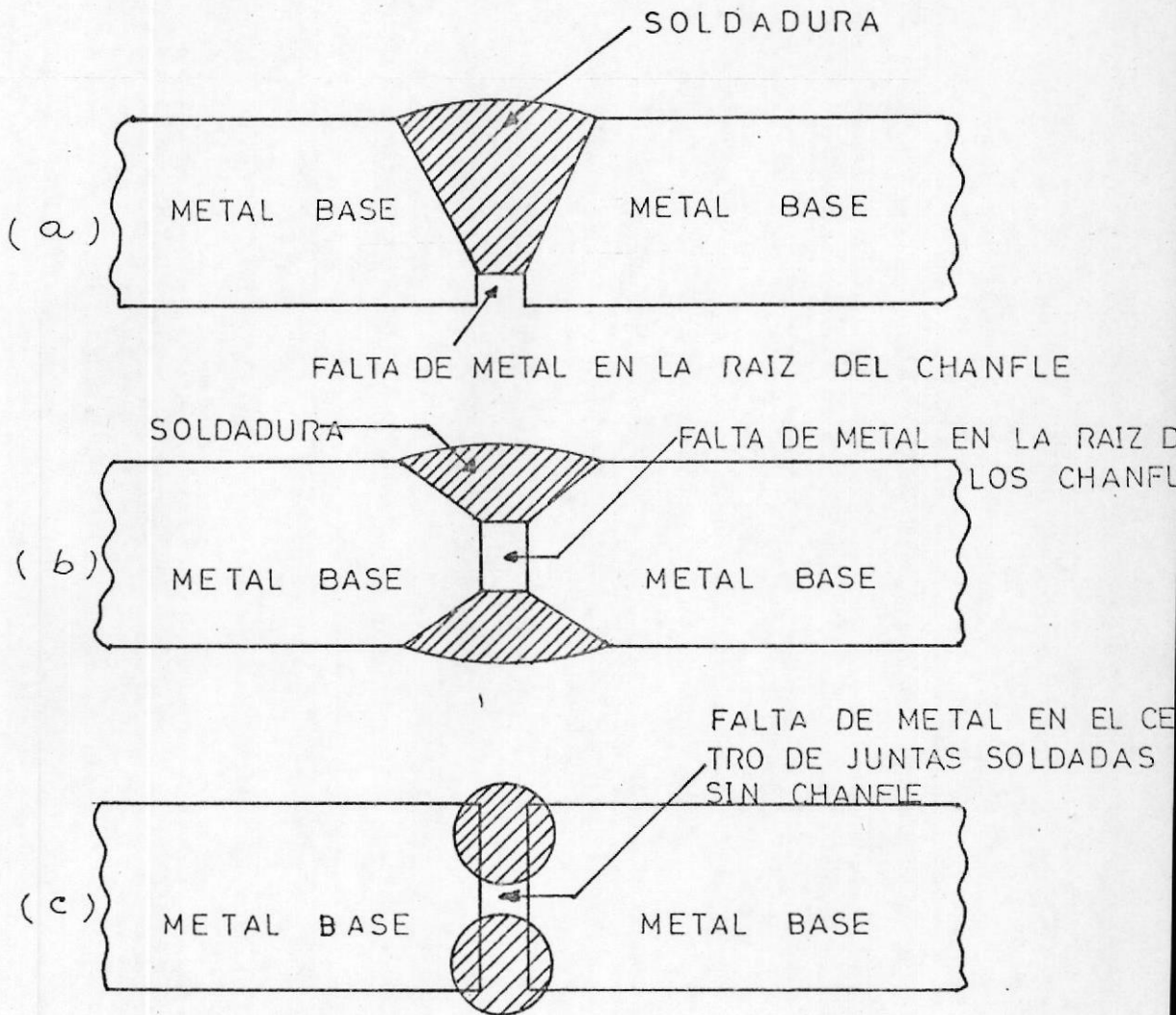


FIG. 31.- FALTA DE PENETRACION EN PROCESOS DE SOLDADURA AL ARCO (10)

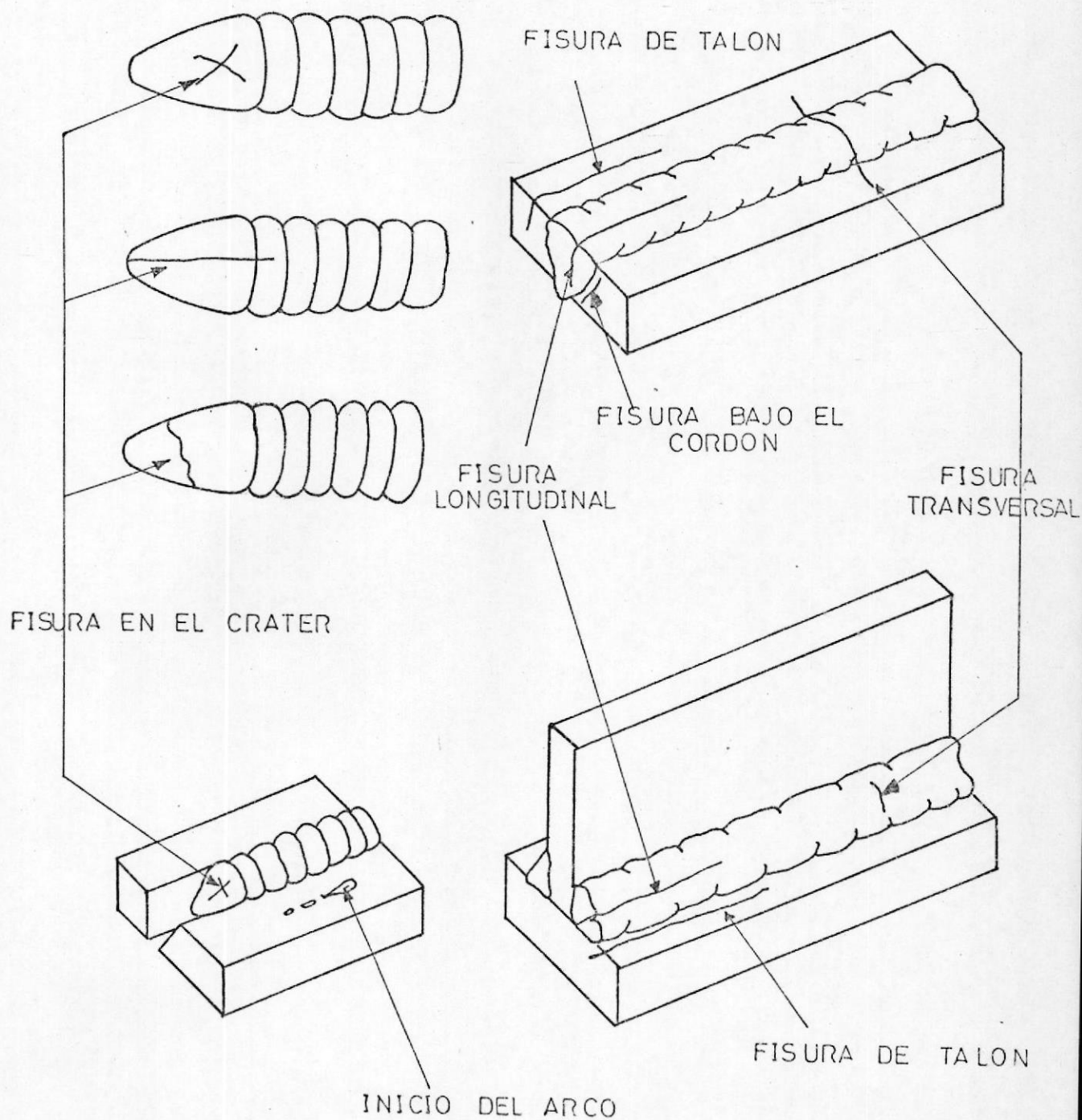


FIG. 32.- TIPOS DE FISURAS EN UNIONES SOLDADAS (7)

4.5.4. Socavación

Este término es usado para describir las ranuras o grietas longitudinales que aparecen en el metal base adyacente al cordón; este defecto aparece generalmente al usar corrientes muy altas. La figura N° 33 muestra esta clase de defecto.

4.5.5. Chisporroteo

Son gotas de soldadura que salpican desde el cordón hacia afuera, a causa de una conexión inapropiada o de sitios magnetizados en el metal base. Este defecto aparece también por excesiva distancia entre el metal base y el electrodo, cuando este es a su vez material de aporte y el proceso de soldadura es manual.



CIB-ESPOL

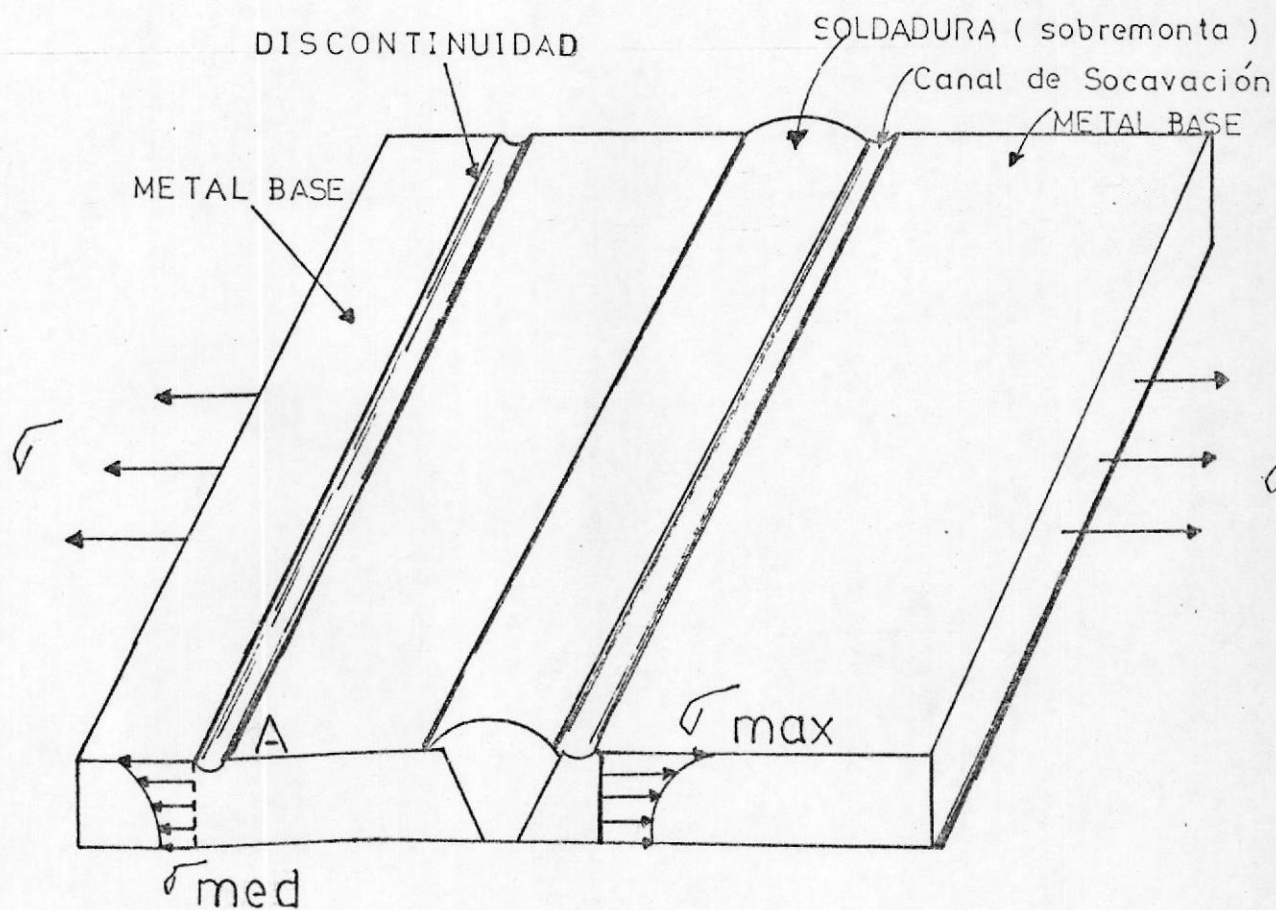


FIG. 33.- SOCAVACION O MORDEDURA EN UN PROCESO DE SOLDADURA AL ARCO (10).



CIB-ESPOL

CAPITULO 5

TRABAJO EXPERIMENTAL

5.1. INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo experimental es el de analizar la interrelación que existe entre la calidad de la soldadura obtenida por medio de una preselección de parámetros o inspeccionada por el ensayo no destructivo de radiografía industrial y los defectos de soldadura que se presentan cuando se utiliza el proceso de soldadura de arco sumergido en cilindros de acero de gas doméstico.

El grado de confiabilidad exigido en la fabricación de cilindros de gas doméstico ha sido motivo de gran preocupación de las entidades gubernamentales y de las propias empresas industriales dedicadas a su conformación y su comercialización en virtud de que aun bajo el riguroso control de calidad que se le practica se han detectado fallas de cierto grado que han atentado contra la vida de ciertos usuarios, lo cual debe ser totalmente eliminado o al menos tenerlos bajo control para minimizarlas en función de lo anteriormente indicado.

Es conocida la relación que existe entre la cantidad de

calor suministrado a la unión soldada, que depende de la corriente, voltaje y velocidad de viaje y la variación de las propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor; en este trabajo como investigación ampliatoria se va a analizar lo que sucede con la calidad de la soldadura y los defectos que se obtienen, - cuando se varían dichos parámetros.

5.2. MATERIALES UTILIZADOS

En la fase experimental se han utilizado materiales para el proceso de soldadura y para el ensayo radiográfico. Para el proceso de soldadura se usaron:

- Metal base.- Se han seleccionado para esta experiencia doce cilindros de gas doméstico de 15 kg que son los que comunmente se adquieren en el comercio, los requisitos para la conformación de estos cilindros - se detallan en las normas 111, 112 y 113 del INEN, valiendo destacar que la soldadura por arco sumergido es a tope con traslape.

Tal como se muestra en la figura 34; debe indicarse además que nueve probetas tienen dos cordones en su costura circunferencial tal como lo dispone la nor-

ma INEN 111, mientras que tres tienen un solo cordón.

El material con el que se conforman los cilindros de gas licuado es acero de grado A-34, encontrándose su especificación química en la tabla 10, siendo su espesor 2.8 mm (11).

-Material de aporte.- Es un electrodo encobrado sin alear ESAB OK Autrod 12.10 que corresponde a una especificación AWS de EL 12, su diámetro es de 3 mm y viene en bobinas de 15 kg., el que mezclado con el fundente granulado ESAB OK Flux 10.70, correspondiente a una especificación AWS F 72, lo que da una combinación fundente alambre según AWS: F 72-EL 12, con la siguiente composición química.

Carbono	0.07%
Silicio	0.3 %
Manganeso	1.4 %

El metal depositado tiene las siguientes propiedades mecánicas:

- Límite de tracción:	440 N/mm ²
- Límite de rotura:	540 N/mm ³

Conviene insistir que las composiciones y propiedades an

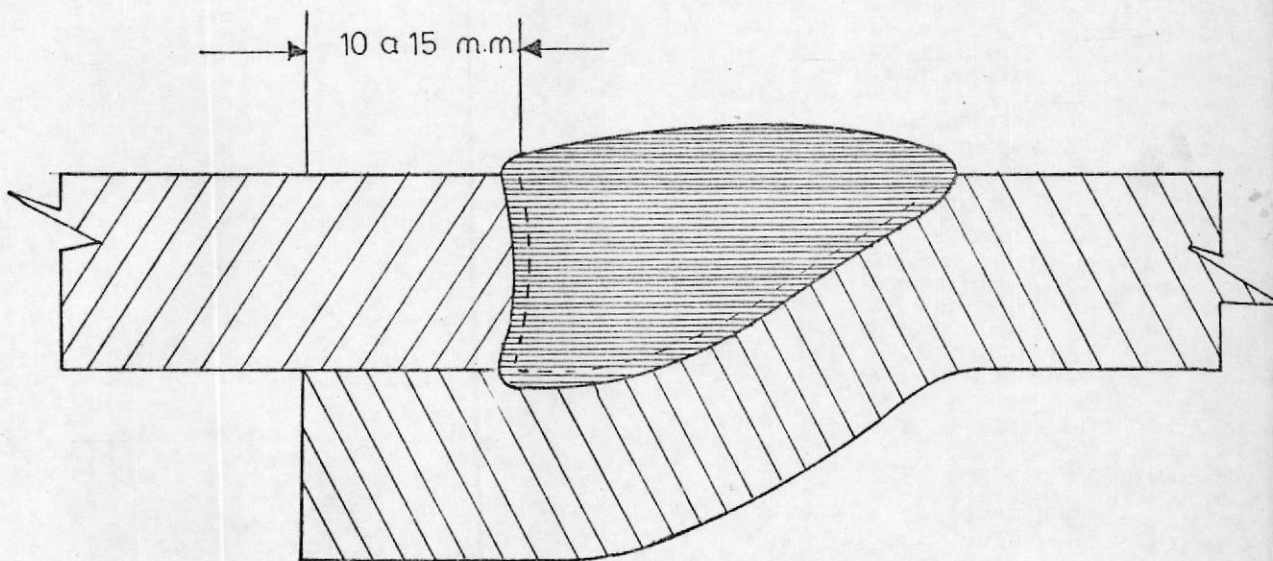


FIG. 34.- SOLDADURA A TOPE CON TRASLAPO (11)

teriormente mencionadas son del metal depositado, el que constituye una mezcla del fundente y electrodo. La tabla 11 muestra las diferentes combinaciones compatibles que se pueden hacer usando el electrodo OK Autrod 12.10 y los diversos fundentes ESAB.

Para el ensayo de radiografía industrial se usaron los siguientes materiales:

- Película radiográfica Dupont 55 disponible en el laboratorio de Metalurgia Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Sustancias químicas para el procesado de películas radiográficas: Revelador y fijador
- Caracteres alfanuméricos de plomo para la identificación de las películas.
- Penetrómetro ASTM # 5
- Posicionador de la fuente.
- Muestras de cilindros, probetas, de acero debidamente numeradas.

5.3. EQUIPO UTILIZADO

Para el proceso de soldadura por arco sumergido se usaron los siguientes equipos:

- Una fuente de poder, transformador y rectificador mar-

TABLA N° 10

ESPECIFICACIONES QUIMICAS DE LAS PLANCHAS DE ACERO PARA CILINDROS
DE GAS (11)

TIPO DE ANALISIS GRADO DEL ACERO LIMITE	ANALISIS DE CUCHARA				ANALISIS DE COMPROBACION				METODO DE ENSAYO
	A 34		A 36		A 34		A 36		
	Máx. %	Min. %	Máx. %	Min. %	Máx. %	Min. %	Máx. %	Min. %	
Contenido de carbono	0,17	-	0,20	-	0,21	-	0,24	-	INEN 120
Contenido de manganeso	0,60	0,30	0,90	-	(a)	(a)	(a)	(a)	INEN 118
Contenido de silicio (c)	0,35	0,10	0,35	0,10	(b)	(b)	(b)	(b)	INEN 119
Contenido de azufre	0,045	-	0,045	-	0,050	-	0,050	-	INEN 108
Contenido de fósforo	0,045	-	0,045	-	0,050	-	0,050	-	INEN 107

(a) La variación máxima permitida sobre el valor especificado por el fabricante será de $\pm 0,03\%$ para los aceros con contenido de manganeso menor o igual que $0,5\%$ y de $\pm 0,04\%$ para los aceros con contenido máximo de manganeso mayor que $0,5\%$.

(b) La variación máxima permitida sobre el valor especificado por el fabricante para el contenido de silicio será de $\pm 0,03\%$.

(c) Cuando para controlar la efervescencia del acero es utilizado aluminio o una mezcla de aluminio y silicio el límite mínimo en el contenido de silicio no será aplicado.

NOTAS: 1) Cuando el acero es reposado por medio de silicio, el contenido de nitrógeno deberá ser limitado a $0,01\%$ Máx.

2) Cuando el acero no es reposado totalmente por medio de aluminio solo, el contenido de nitrógeno será limitado a $0,007\%$ Máx.

TABLA N° 11
 COMBINACIONES COMPATIBLES ENTRE EL ELECTRO OK
 AUTROD 1210 CON LOS DIVERSOS FUNDENTES DE ESAB(9)

Análisis aproximado del metal depositado para diferentes combinaciones.

<u>OK Autrod 12.10/OK Flux</u>	<u>10.40</u>	<u>10.61</u>	<u>10.70</u>	<u>10.71</u>	<u>10.80</u>	<u>10.81</u>
Carbono %	0.1	0.1	0.07	0.1	0.1	0.1
Silicio %	0.5	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5
Manganeso %	0.9	0.6	1.4	0.8	1.2	1.2



ca MILLER MOD. SRH-555 con una capacidad máxima de 700 Amp. regulables, conectada a una red de 220 V. trifásica de 100 amperios.

- Una estructura que contiene todos los elementos de control y sobre la cual descansa el cabezal de soldar; lleva además un sistema electroneumático que le sirve para sostener a los dos casquetes que conformarán el cilindro de gas, estos casquetes se unen mediante una costura circunferencial por sus bordes en un tipo de unión que se denomina soldadura a tope con traslape. El cilindro así constituido y antes de ser soldado es agarrado por sus extremos por un eje loco con copas. El movimiento para controlar la velocidad del arco está dado por un motor reductor de 1/4 HP de velocidad angular variable y transmitida por medio de engranajes y cadenas a un embrague eléctrico que está acoplado al eje loco.

El operador fija el cilindro a la máquina gracias al pistón neumático de doble efecto que se lo controla por medio de una válvula de cuatro vías y con la cual se consiguen centrar los domos o casquetes. Para comprobar el centrado se hace rotar manualmente el cilindro verificando que la distancia entre el metal base y la boquilla de soldar se mantenga uniforme en lo que sea posible.

Una vez centrado el cilindro el operador abre la válvula de mariposa de la boquilla para dar paso al fundente el que por gravedad cae sobre el cilindro, llenando la parte donde se va a iniciar el arco; en estas condiciones oprime el botón de arranque estableciéndose el arco, el movimiento angular del cilindro y el avance del material de aporte.

El motor del alimentador del electrodo es de velocidad constante, sin embargo se pueden obtener ligeras variaciones de velocidad ajustando o aliviando la tensión en las mordazas impulsoras del alambre encobrado.

La figura 35 muestra una máquina de soldadura al arco sumergido.

- Fuente de Iridio 192 de 47 Curies
- 2 dosímetros Vitoreen # 862 para rayos X y gamma
- Penetrómetro ASTM # 5
- Películas radiográficas Dupont 55
- Fijador KODAK X-Ray Fixer
- Revelador Kodak Rapid X-Ray
- Secador Kodak X-Ray Drier
- Negatoscopio X-Ray product



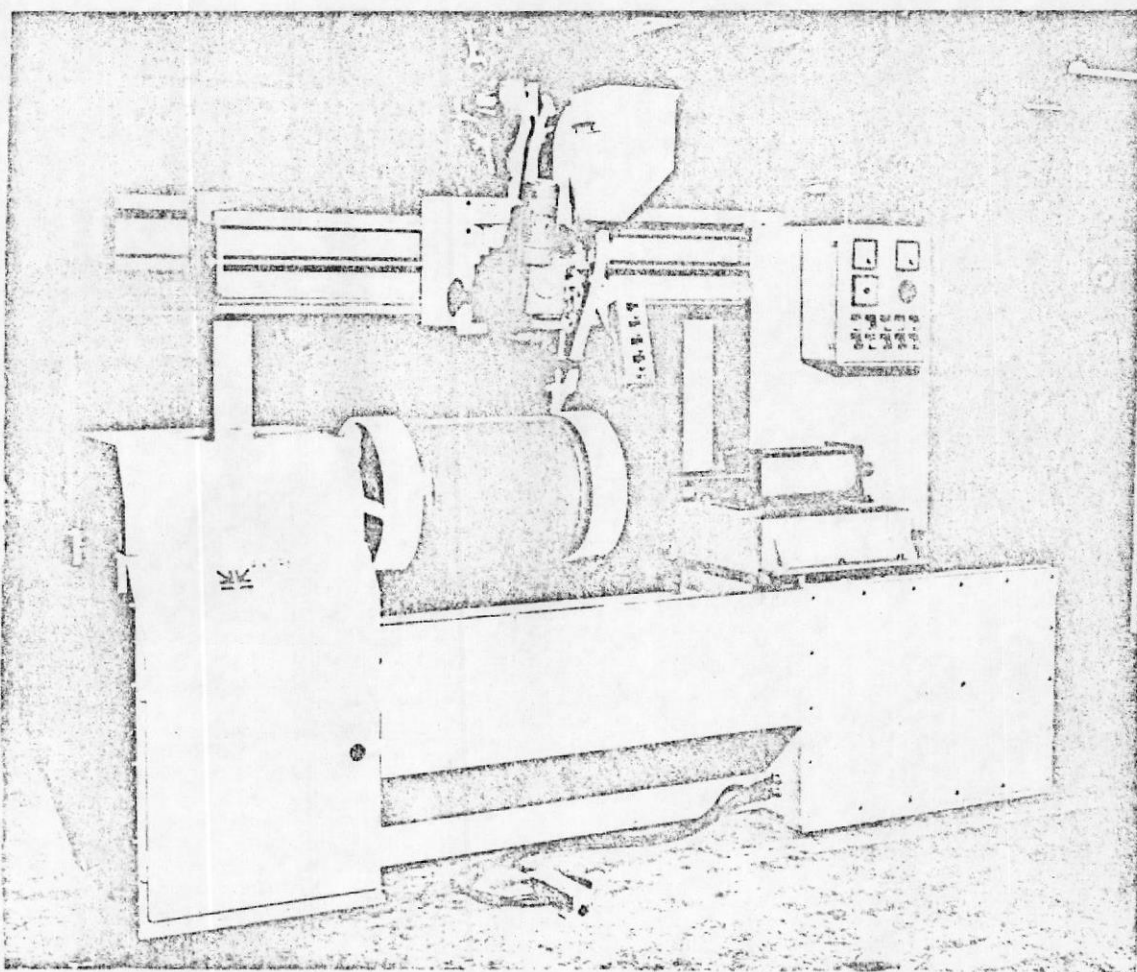


FIG. 35.- MAQUINA DE SOLDAR POR ARCO SUMERGIDO

5.4. TECNICA OPERATIVA

Puesto que el objetivo de este trabajo experimental es el de determinar el efecto del cambio de variables en un proceso de soldadura al arco sobre los defectos que podrían producirse en la unión soldada a continuación se indican por separado la técnica operativa para preparar las probetas y efectuar el proceso de soldadura en primer lugar y en segundo lugar la aplicación del ensayo no destructivo seleccionado.

5.4.1. Preparación de probetas

Estas probetas provienen de los cilindros de gas licuado de 15 kg contruídos con plancha de acero de grado A-34 según Norma INEN 111 de 2.8 mm. de espesor; el material se lo recibe del Japón y se lo corta en discos de 630 mm. de diámetro por medio de una matriz y en una prensa de 90 ton. marca Colombo.

Las placas circulares son embutidas en forma de casquetes o domos por medio de una matriz de embutición y en una prensa hidráulica de 250 ton. de capacidad, el disco es colocado sobre el pun-

zón de la matriz que descansa en la mesa de la prensa a la que está sujeto fuertemente; el anillo de embutición, de hierro fundido, está fijado a la colisa o "punchholder" y al descender hace que el anillo obligue al disco a adoptar la forma del punzón. Del lado del punzón existe otro anillo de hierro fundido que actúa como prensa chapa para evitar la formación de pliegues en la chapa durante su conformación.

La velocidad promedio de embutición en ésta prensa es de 3 cm/seg. cuando se efectúa la conformación de casquetes y el tiempo de embutición es de 11 segundos, después de los cuales el disco es convertido en una copa o domo con una altura de 300 mm. y un diámetro de 315 mm.

Durante el proceso el material es solicitado a diferentes esfuerzos y en todos los planos siendo desigual su deformación de acuerdo a los distintos módulos de elasticidad y es la razón por la cual los bordes de la copa embutida son irregulares a pesar de que se parte de un disco completamente circular.

El problema anteriormente mencionado se lo solu-

ciona cortando simétricamente su borde con una máquina refileadora en la cual se hace rotar al casquete al tiempo en que una cuchilla circular incide por la acción de un pistón hidráulico sobre la superficie de la copa cortándola poco a poco. Los tiempos de rotación del casquete y avance del pistón que sostiene la cuchilla son regulables por medio de temporizadores. Un tiempo promedio para realizar el corte del borde al casquete superior es de 5 segundos y para conformar el rudón o traslape y cortar el borde al casquete inferior de 10 a 15 seg.

Hay que mencionar que durante el proceso de embutición del casquete superior y antes de finalizar la carrera de la prensa, la parte superior de la copa es cortada con la misma matriz formándole un hueco de 60 mm. de diámetro en el que posteriormente se le insertará el portaválvula; vale destacar también que todos los casquetes superiores son pasados a otra prensa donde otra matriz se encarga de estampar los nombres de liquigas o Duragas.

Después de la operación de refileado se le suelda al casquete superior el portaválvula, usando en es

te proceso de soldadura al arco un electrodo de 6012 1/8" AGA y utilizando soldadora de corriente continua de 350 amp., alimentada por una red trifásica de 220 V. En estas condiciones los casquetes superior e inferior son acoplados y colocados en la máquina de soldar por arco sumergido para conseguir su unión.

Conformado el cilindro se le suelda posteriormente el protector de válvulas y la base por medio de un proceso de soldadura al arco usando electrodos 6011 3/32" AGA y un equipo de soldar a transformador de 250 Amp., pasándolo por el interior de un horno de recocido durante 15 minutos para aliviar tensiones internas del material sufridas durante su conformación.

Todos los cilindros son sometidos a rigurosas pruebas de estanqueidad utilizando agua a presión de 500 psi de conformidad con la norma del INEN 111 y posteriormente pintados para su comercialización.

De cada colada en la que salen un lote de cien cilindros se selecciona, por muestreo, un cilindro

para la aplicación de un ensayo destructivo, al que se le inyecta agua hasta alcanzar una presión superior a las 1150 psi en donde ocurre el colapso. La relación de volúmenes entre el cilindro roto y uno standard constituye una pauta de la cantidad de tensiones que han sido aliviadas durante el tratamiento térmico. Estos datos los tabula la Norma 111 del INEN.

5.5. CAMBIO DE VARIABLES EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

Los cilindros seleccionados para esta experiencia provienen de casquetes que no pasaron el control de calidad por estar fuera de norma en altura y por lo tanto no se obtendría la capacidad deseada de 15 kg.

Una vez centrado el primer cilindro en la máquina de arco sumergido y antes de iniciar el proceso se verificó la velocidad mas alta a la que puede rotar el cilindro para la obtención de una máxima producción sin que se atente contra la calidad del cordón por las inclusiones de escoria que pudieran quedar atrapadas por el poco tiempo disponible del operador para desprenderlas - manualmente. Esta velocidad fue de 1.12 pulg/seg. en el sitio de deposición del cordón.

Posteriormente se seleccionó el reostato para que la corriente de soldadura fuera de 460 amp. con un voltaje - de 35 V. Estos valores son los que utiliza el operador para su producción normal de cilindros cuando en la máquina usa un electrodo OK Autrod 12.10 ESAB AW EL 12 3 mm. con un fundente OK Flux 10.70 ESAB AWS F 72.

Antes de iniciar el arco se hace rotar manualmente el motor de alimentación del electrodo hasta que el extremo del mismo tope al metal base, es decir la superficie del cilindro, luego se lo hace retroceder hasta conseguir una distancia aproximada de 5 mm. El siguiente paso es abrir la válvula de mariposa en la boquilla, permitiendo la salida del fundente por gravedad hasta que inunde completamente la cavidad existente entre el extremo de la boquilla y la superficie del metal base, quedando de esta manera sumergido el lugar donde ocurrirá el arco.

Al accionar el switch de control de partida que tiene la máquina, se establece el arco, rota el cilindro y avanza el electrodo. Después de soldar el primer cilindro se fue disminuyendo la corriente y el voltaje diez Amp. y un voltio respectivamente cada vez, hasta llegar a los 415 Amp. y 25 Voltios en el cilindro # 7, en el cual el

proceso comenzó a hacerse errático, comprendiéndose que para valores mas bajos de corriente no se podrían obtener cordones de soldadura continuos.

Se subió la corriente a 465 Amp. y se aumentó el voltaje a 40 V., obteniéndose en el cilindro # 8 un excelente cordón en el primer paso o vuelta, pero originándose perforaciones en la segunda pasada.

A pesar de conocer que valores mas altos de corriente - perforarían el primer cordón durante la segunda vuelta o pase, se llegó a los 470 Amp., con un voltaje de 42 V y se consiguió en el cilindro # 9 un óptimo cordón con un solo paso, semejante al de un cordón de soldadura de dos pases.

En el afán de obtener costuras soldadas libre de perforaciones con dos pases o vueltas, que es lo que indica la norma, se disminuyó la corriente y el voltaje a 460 Amperios y 39 V. respectivamente, pero al igual que el cilindro # 8 y el # 10, tuvo perforaciones.

Los dos últimos cilindros tuvieron valores máximos y mínimos de corriente y voltaje, pero con un solo pase. La tabla 12 resume los valores de corriente y voltaje que se usaron durante la experiencia.

5.5.1. Preparación de probetas para análisis radiográfico

Soldados los doce cilindros y sin colocar la base y el protector de válvula se prepararon para el ensayo radiográfico; las probetas para ésta experiencia fueron cortadas en forma de anillos de siete pulgadas de ancho, conteniendo en su parte media el cordón circunferencial de soldadura, motivo de este trabajo.

Los anillos fueron rotulados del uno al doce en secuencia numérica y se señaló además el lugar en el que se colocaría el extremo izquierdo de la película radiográfica. Un baño de decapado fue necesario darle a los anillos en virtud de la suciedad y oxidación de cada uno de ellos.

El tipo de decapado utilizado fue similar al que se utiliza para preparar el material que va a enlozarse con excepción del baño de sulfato de níquel, el cual sirve exclusivamente para conseguir una firme adherencia del enlozado en las aristas o bordes. Los anillos pasaron por dos baños de desengrase de agua a 100 grados centígraa

TABLA N^o 12

VARIACION DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE EN SOLDADURAS POR
ARCO SUMERGIDO

PROBETA N ^o	E	I	N ^o PASES	T	V
1	35	460	2	70	67.2
2	32	450	2	70	67.2
3	31	440	2	70	67.2
4	30	430	2	70	67.2
5	29	425	2	70	67.2
6	28	420	2	70	67.2
*7	25	420	2	70	67.2
+ 8	40	460	2	70	67.2
9	42	470	1	35.5	67.2
10	39	460	2	70	67.2
11	43	470	1	35.5	67.2
12	26	420	1	35.5	67.2

NOTA: * Proceso de soldadura errático

+ Perforación del cilindro al terminar el segundo pase o cordón.

METAL BASE: Cilindros de 15 kg. para gas licuado de consumo doméstico, Acero A 34 Espesor 2.8 mm.

MATERIAL APORTE: OK Autrod 12.10 ESAB AWS EL 12

FUNDENTE: OK Flux 10.70 AWS F72 EL 12

POLARIDAD: Directa (Electrodo negativo)

LONG. CIRCUNFER.: 39.8 Pulg.

E = Voltaje expresado en voltios

I = Corriente expresado en amperios

T = Tiempo en segundos

V = Velocidad de viaje en pulg./min.

dos con ph alcalino, dos tanques de enjuague uno caliente y el siguiente frío, un baño ácido con agua de enjuague, un baño neutralizante y posteriormente fueron secados con aire caliente. El tipo de decapado fue el de inmersión habiéndose seleccionado los rayos gamma como fuente de radiación para este ensayo por la oportunidad de obtener de una sola exposición una toma radiográfica que contenga todo el cordón de soldadura, - se construyó un dispositivo de tres patas, metálico, con un agujero central; los extremos de las tres patas descansaban sobre el borde superior de los anillos y en el agujero se insertaba la fuente de Iridio 192, la misma que quedaba a la altura del cordón de soldadura.

5.6. APLICACION DEL METODO RADIOGRAFICO Y PROCEDIMIENTO PARA TOMAS RADIOGRAFICAS

Teniendo el material listo para efectuar las tomas radiográficas, fue necesario obtener una carta de exposición para la película Dupont 55, usando acero como material a ser inspeccionado. Se seleccionó esta clase de película por que se encontraba disponible en el laboratorio de Metalurgia de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, la misma que es de alta velocidad y grano

grueso; para exámenes de precisión se recomienda la película Kodak tipo M, que es de baja velocidad y alto - contraste por poseer grano fino en su estructura.

Si en las películas radiográficas no viene recomendado el tiempo de exposición, es necesario encontrarlo para hacer una exposición tal que el film resulte con una densidad radiográfica determinada. Para este trabajo es deseable que la película resulte con una densidad radiográfica de 1.5 ya que permite una óptima detección de defectos existentes en uniones soldadas.

Se procedió primeramente a determinar la actividad de la fuente, la misma que resultó ser de 47 Curies, valor obtenido de la curva de decaimiento (Decay curve) para Iridio 192 como puede verse en la figura 36.

Con la fecha 18 de septiembre/79, como dato, se traza una línea vertical hasta la intersección con la curva de decaimiento, con este punto obtenido se traza una recta horizontal hasta la intersección con el eje vertical del mismo, que nos da 47 Curies.

Para obtener la carta de exposición, es necesario, en primer lugar, definir el significado de curvas caracte-

rísticas del film, luego determinar curvas de densidad vs. espesor del material. La curva característica de una película expresa la relación entre la exposición a plicada y la densidad radiográfica obtenida bajo condi ciones específicas de procesado.

Las densidades son medidas en un densitómetro y las exposiciones se expresan en forma logarítmica por tres razones:

- La densidad es un valor logarítmico
- El uso del logaritmo permite reducir la escala corres pondiente a la exposición.
- Cada par de exposiciones que tenga la misma relación será representado por el mismo intervalo en la escala independiente de su valor absoluto.

Densidad, conforme se lo mencionó en el capítulo N° 2, es el término que describe el grado de ennegrecimiento alcanzado en la película. En la figura N° 37 se muestra una curva sensitométrica típica; la tangente de la curva o gradiente indica la densidad, $\text{Tan } D = \frac{A}{B} = 1.5$. El gradiente de densidad más usado está entre 1.0 y 1.5 =

$$\frac{A}{B} = \text{Tan } E.$$

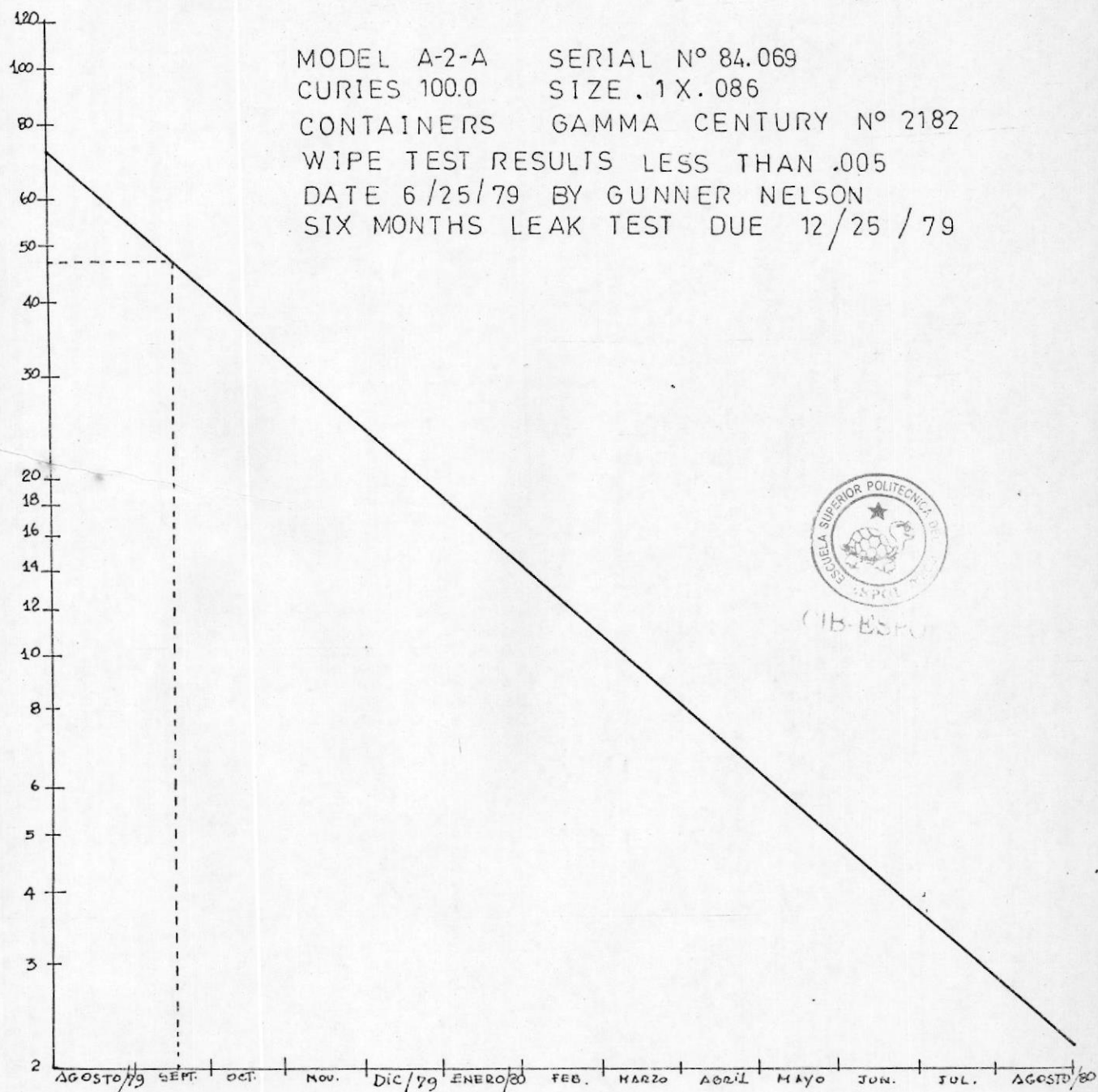


FIG. 36.- CURVA DE DECAIMIENTO RADIATIVO PARA IRIDIO 192.



CIB-ESPOL

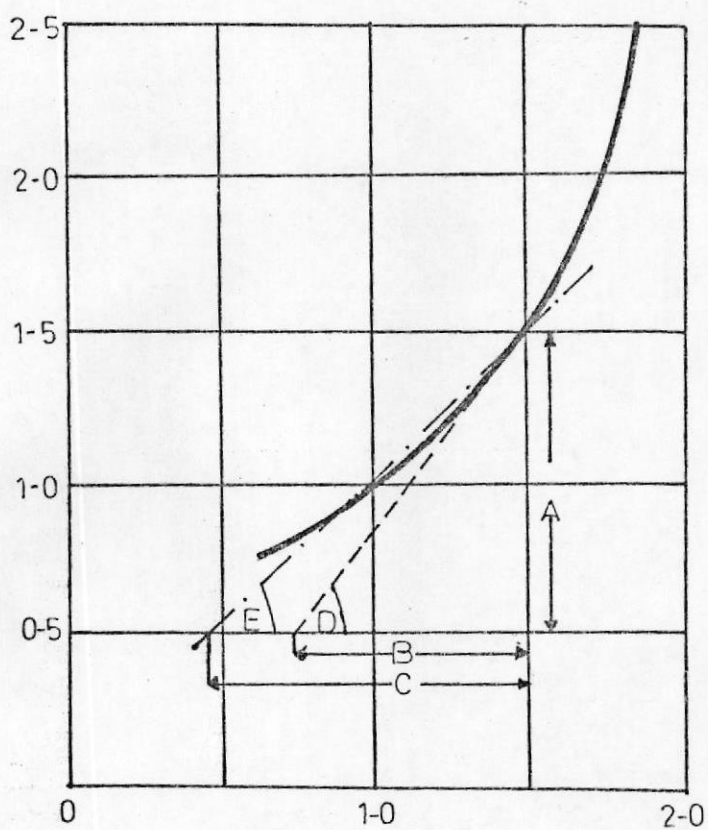


FIG. 37.- DETERMINACION DE LA GRADIENTE DE UNA CURVA CARACTERISTICA (12).

Se observa que la curva no comienza con densidad cero, puesto que siempre existe una densidad inicial llamada velo inherente que se obtiene aun con la película sin exponer. En general un útil rango de densidad de trabajo se extiende desde 1.0 a 3.5 para las películas que no utilizan pantallas y de 1.0 a 2.5 para las películas que si usan pantallas.

Para la preparación de la carta de exposición de aceros usando como fuente rayos gamma Ir. 192 se procedió de la siguiente manera:

Se obtuvieron nueve pedazos de film Dupont 55 de 12" de longitud por 2" de ancho y una probeta escalonada de acero con un espesor de 4 mm. en cada escalón como se muestra en la figura N^o 38.

La distancia fuente película fue de 25 cm. Se chequeó la intensidad de la fuente en la carta de decaimiento y se realizaron exposiciones con una duración de 15, 30, 60, 90 y 120 segundos sobre el 4^o escalón, se revelaron las películas y se midieron sus densidades en el densitómetro Macbeth TD 502. Con el espesor de la probeta escalonada de acero vs. la densidad encontrada se graficaron las curvas de los diversos tiempos de exposición, las mismas que se encuentran en la fig. N^o 38.

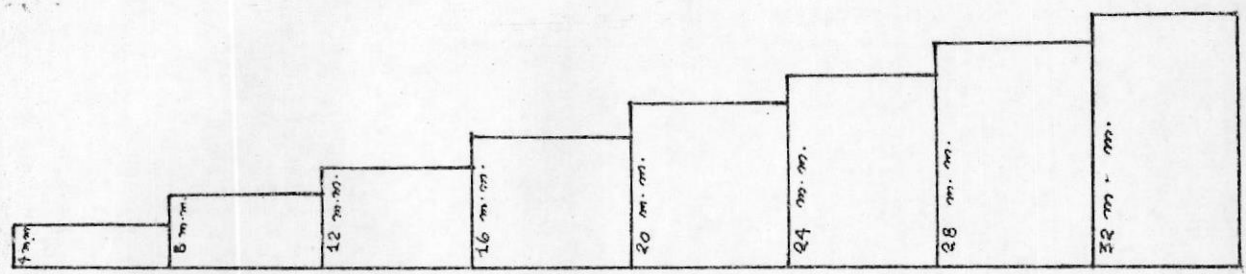


FIG. 38.- PROBETA ESCALONADA DE ACERO PARA ENCONTRAR DENSIDADES (2).

De estas curvas existen dos, la de 90 y 120 segundos, en las que se obtienen densidades de 1.5.

Al necesitar mas puntos para obtener la carta de exposición, se colocó la fuente en la dirección del noveno escalón y se efectuaron exposiciones con 120, 150, 180 y 210 segundos, se revelaron las películas y se midieron sus densidades en el densitómetro; con el espesor de la probeta escalonada de acero vs. la densidad encontrada, se graficaron las curvas de los nuevos tiempos de exposición, las que se encuentran en la figura N^o 40.

Todas estas curvas tienen densidades de 1.5 para distintos espesores de acero. La tabla N^o 13 muestra las densidades obtenidas en el densitómetro para cada espesor de acero radiografiado.

Si se multiplica la actividad de la fuente por el tiempo de exposición en minutos de las curvas con las que se consiguen densidades de 1.5 y se las relaciona contra los espesores de los puntos en los que coinciden estas curvas con la línea horizontal de la densidad anteriormente mencionada se obtiene la carta de exposición para aceros de las películas Dupont 55, que ten-

PRUEBA DE RAYOS GAMMA

MATERIAL: Acero

PELICULA: Dupont tipo 55

DISTANCIA FUENTE PELICULA: 0.25 mt

FUENTE UBICADA EN DIRECCION
AL CUARTO ESCALON (16 mm. de espesor)

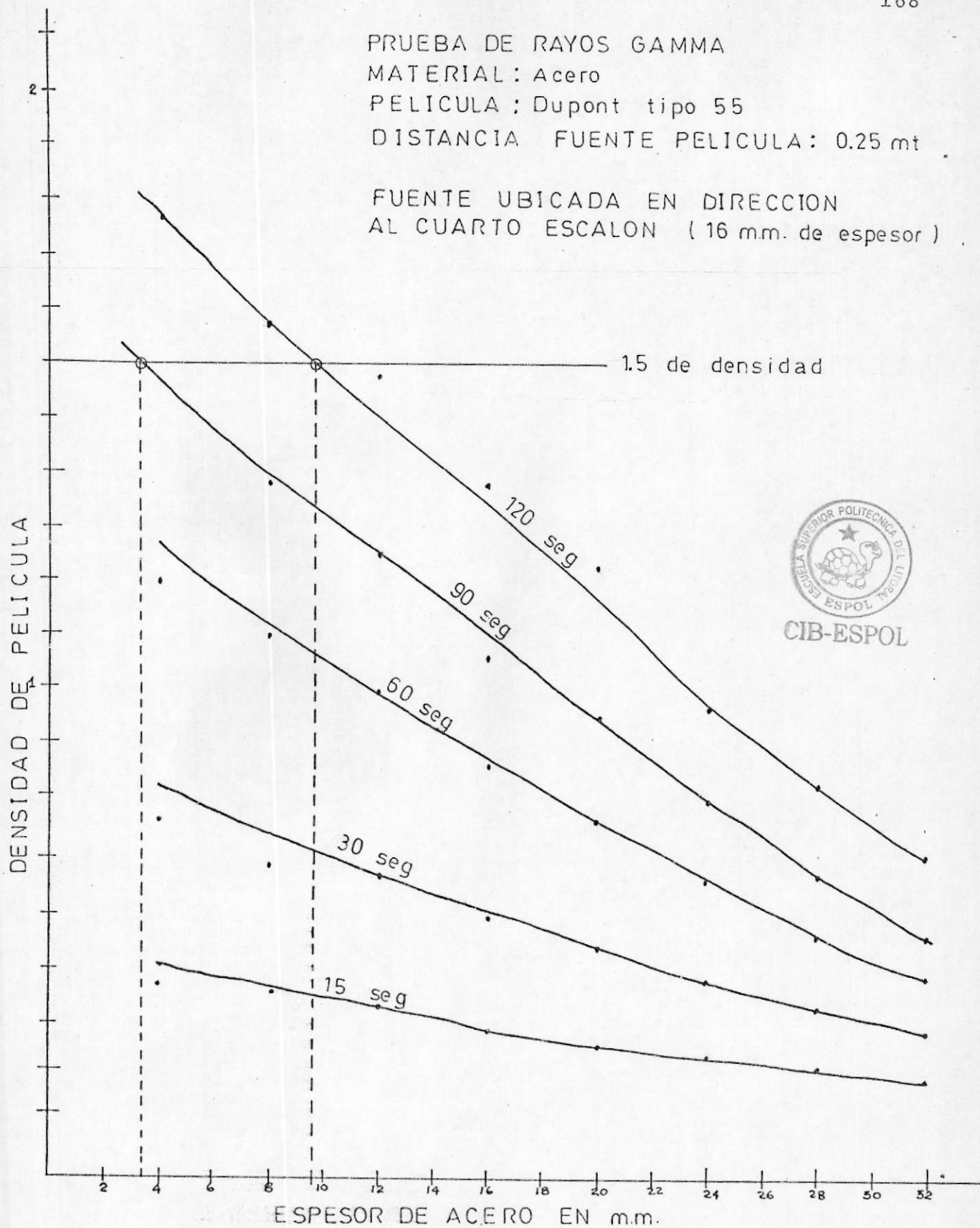


FIG. 39.- CURVAS CARACTERISTICAS 1.

MATERIAL : Acero

PELICULA : DUPONT TIPO 55

DISTANCIA FUENTE PELICULA : 0,25 mt

FUENTE UBICADA EN DIRECCION
AL NOVENO ESCALON. (36 m.m. de espesor)

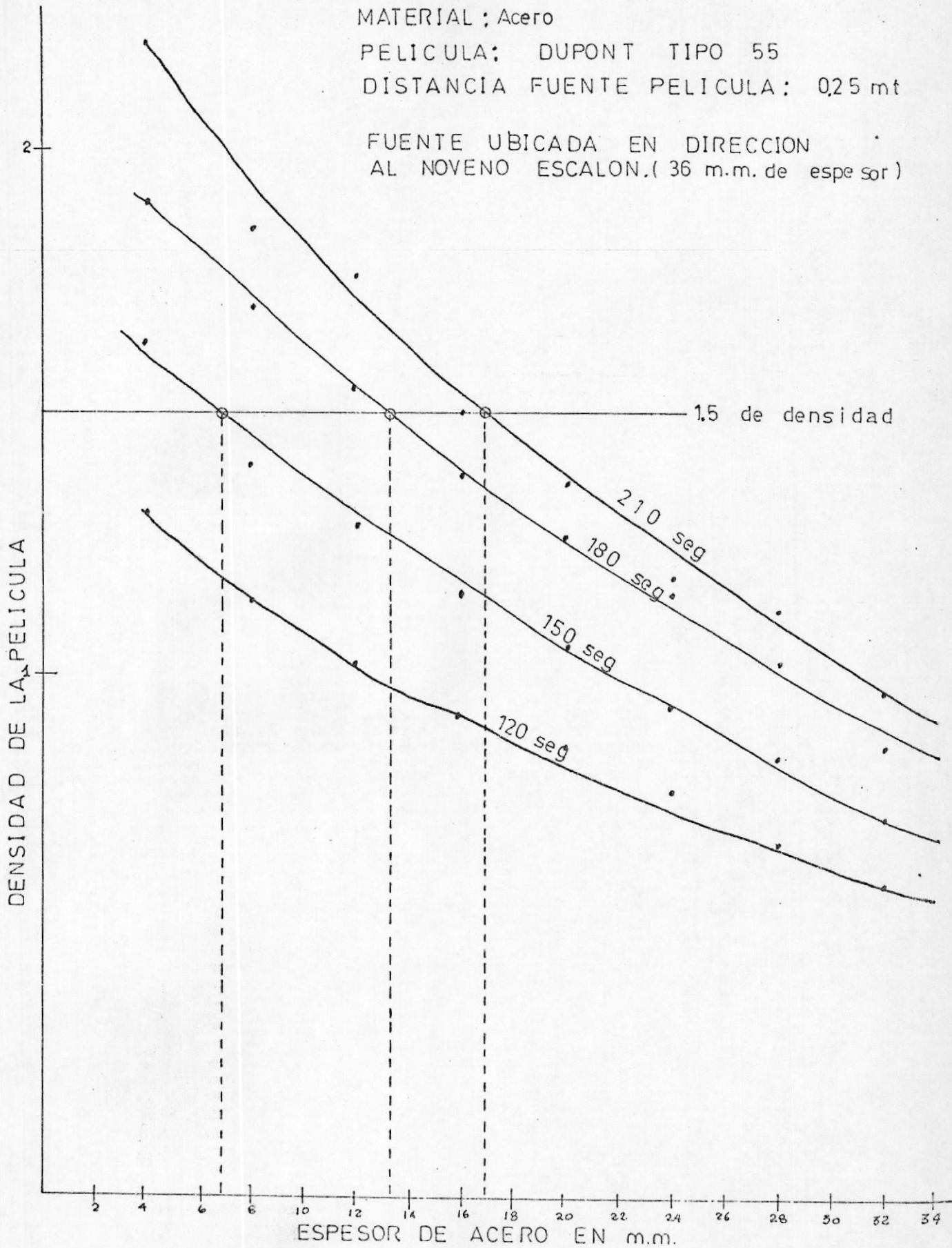


FIG. 40.- CURVAS CARACTERISTICAS 2.

drán una densidad de 1.5 si la distancia fuente película es de 0.25 M. La figura N^o 41 muestra la referida carta.

La carta de exposición es una herramienta valiosa para el radiólogo por que le permite encontrar los tiempos de exposición para cualquier espesor de material, sin efectuar ningún cálculo.

Para las probetas de soldadura, motivo de esta tesis, que tienen un promedio de espesor de 7 mm. se necesita una exposición de 132 Curie-minuto para cada toma radiográfica, siempre que la distancia fuente película sea de 0.25 M.

Las tomas radiográficas de las probetas de soldadura se realizaron en Octubre 11/79, siendo la actividad de la fuente en esa época de 38 Curies, por lo tanto el tiempo de exposición para una distancia fuente película de 0.25 M fué:

$$T_{\text{expo.}} = \frac{132 \text{ Ci. min.}}{38 \text{ Ci.}} = 3.5 \text{ Min.}$$

que equivale a 210 segundos.

En la preparación de las probetas se describió la cons-

TABLA N° 13

PREPARACION DE UNA CARTA DE EXPOSICION PARA ACEROS, UTILIZANDO RAYOS GAMMA. Ir ¹⁹²
 PELICULA DUPONT 55 DISTANCIA FRENTE PELICULA 0.25 mt.

TIEMPO	ESPEJOR (mm)	4	8	12	16	20	24	28	32	36
15	Densidad	0.36	0.34	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18
30		0.66	0.58	0.56	0.48	0.44	0.37	0.32	0.28	0.24
60		1.1	1.0	0.9	0.76	0.66	0.55	0.45	0.36	0.29
90		1.48	1.28	1.15	0.96	0.85	0.70	0.56	0.41	0.35
120		1.77	1.57	1.48	1.28	1.13	0.86	0.74	0.56	0.44
120		1.31	1.14	1.02	0.92	0.86	0.78	0.68	0.60	0.52
150		1.64	1.40	1.37	1.14	1.06	0.94	0.84	0.73	0.62
180		1.90	1.70	1.54	1.38	1.26	1.16	1.02	0.86	0.78
210		2.20	1.85	1.76	1.50	1.46	1.28	1.12	0.96	0.86



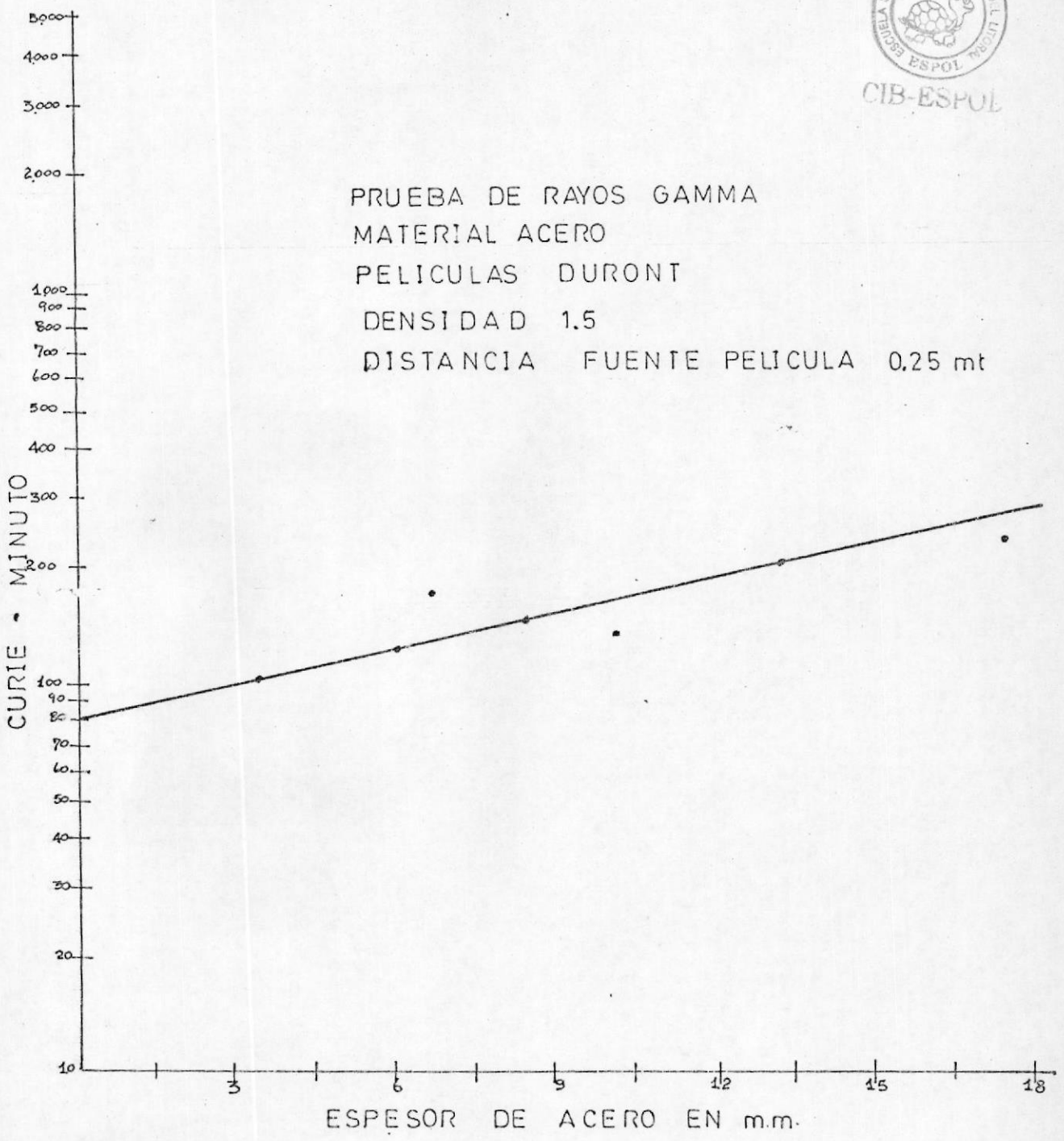


FIG. 41.- CARTA DE EXPOSICION PARA PELICULAS DUPONT 55

trucción de un dispositivo metálico de tres patas para efectuar las tomas radiográficas con la fuente en el centro de las probetas soldadas en forma de anillos. Al colocar exteriormente y en forma circunferencial las películas radiográficas de 2 1/2" de ancho, se tuvo una distancia fuente película de 0.16 M., por lo que se necesitó modificar el tiempo de exposición.

El nuevo tiempo de exposición fue encontrado con la proporción que relaciona tiempos y distancias (12):

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{(D_1)^2}{(D_2)^2} \quad (12)$$

por lo tanto:

$$T_2 = \frac{210 \text{ seg. } 0.0256 \text{ M}^2}{0.0625 \text{ M}^2} = 86 \text{ seg.}$$

El tiempo de 86 segundos será el que tenga que durar la exposición si se quiere conseguir una densidad de 1.5 con las películas Dupont 55, cuando el espesor del acero es de 7 mm. siempre y cuando la distancia fuente película sea de 0.16 M.

Antes de iniciar las tomas radiográficas de las probetas soldadas, se procedió a preparar la película. El film Dupont 55 disponible en la Escuela Superior Politécnica está protegido por una cubierta apropiada para evitar

la penetración de la luz solar y eléctrica, viene en forma de rollo de 5 pulgadas de ancho, que fue cortado longitudinalmente en su parte media para obtener películas de $2\frac{1}{2}$ " de ancho por 100.5 cm. de longitud. Doce tiras fueron cortadas y selladas en el cuarto de revelado que existe en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPOL, usándose cinta adhesiva plástica color negro para el sellado.

Se llevó la fuente de Ir ¹⁹² hacia el interior de la cámara de tomas radiográficas, la cual es un recinto de paredes de 350 mm. de espesor para evitar el paso de la radiación gamma hacia el exterior, se colocó el primer anillo con la película Dupont alrededor de la soldadura circunferencial dentro del recinto de tomas y se colocó el extremo de la funda de control remoto de la fuente en el centro del dispositivo metálico, el que a su vez estaba sostenido en el anillo a radiografiarse.

El film Dupont 55 fue adherido a cada probeta a partir de la señal que existía en dichos anillos con el objeto de localizar el defecto, en caso de encontrarlo, superponiendo la radiografía revelada en el anillo correspondiente. Sobre cada tira radiográfica se colocaron ca

racteres alfanuméricos de plomo a fin de que una vez revelado el film se vean las siglas FAA-ESPOL-79 y el número de identificación de cada probeta.

La fuente de radiación de Ir¹⁹² es de la marca Gamma Industries, posee un blindaje especial que garantiza la operación segura y fuera de peligro para el usuario. En su parte anterior e inferior tiene una funda flexible - de 4 M. de largo por cuyo interior se transfiere a la partícula de Iridio desde su cámara blindada hasta el extremo de dicha funda. La traslación de la substancia radiactiva se la hace por medio de un dispositivo de control remoto de 8 M. de longitud que está conectado en la parte inferior y posterior de la cámara blindada, el que por una manivela se lo mueve a voluntad.

Antes de transportar la fuente de Iridio se verificó con el contador Gaiger 592 B marca Victoreen la no existencia de radiación peligrosa por los alrededores de la funda flexible en el supuesto caso de que alguna persona que usó por última ocasión el equipo hubiere dejado la fuente radiactiva fuera de su cámara.

Utilizando los dosímetros para conocer la cantidad total de radiación que el cuerpo humano iba a absorber durante el ensayo se procedió a las tomas radiográficas. Debe in

dicarse que el tiempo de 86 segundos fue tomado con cro
nómetro desde que la fuente llegó al extremo de la fun-
da y por consiguiente al centro de cada anillo soldado,
regresando rápidamente la fuente hacia el interior de
su cámara al terminar dicho lapso.

Al cambiar de anillo para efectuar una nueva exposición
se verificó igualmente la no existencia de niveles peli
grosos de radiación remanente en el interior del recin-
to de tomas.

Al finalizar las exposiciones se comprobó la introduc-
ción completa de la fuente de radiación en su cámara -
blindada para lo cual es necesario sacar la llave que
actúa de seguro; no es posible sacar dicha llave si la
fuente aun permanece en el conducto flexible. Se che-
queó en el dosímetro la cantidad de radiación absorvi-
da, la misma que debe quedar registrada en una hoja que
usa todo radiólogo.

La dosis total permisible que puede recibir una persona
que trabaja con equipos radiactivos se expresa por la
siguiente fórmula (12):

$$D = 5(N - 18) \quad (13)$$



donde:

D es la dosis en radiación en miliroentgens/metro

N es la edad del trabajador en años.

De la fórmula anteriormente descrita se deduce que personas menores de 18 años no pueden realizar actividades con ésta clase de equipos.

Para revelar las radiografías se les quitó las cubiertas protectoras contra la luz en el cuarto oscuro de revelado, se colocó en un depósito de plástico de agente revelador "Rapid X-ray developer" y se sumergieron una a una las películas agitándolas durante 4 minutos, se las enjuagó con agua fresca, sumergiéndolas nuevamente en otro depósito de plástico lleno con un agente fijador "Kodak X-ray fixer", agitándolas suavemente por espacio de 3 minutos. Posteriormente las tiras radiográficas pasaron al secador "X-ray drier products" y estuvieron listas para ser observadas en el negatoscopio - "X-ray product".

Los resultados de las radiografías obtenidas han sido pasadas a fotografías las mismas que se encuentran en el Apéndice B.

CAPITULO 6

INTERPRETACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

6.1. INTRODUCCION

Siendo el propósito básico de la interpretación de la evidencia radiográfica la de proveer información concerniente de la naturaleza y magnitud de los defectos en un especimen, su finalidad debería ser mayor que lo anteriormente definido. La interpretación de una radiografía involuca lo siguiente (12):

- La verificación de que el patrón de la imagen radiográfica concuerda con la forma de la parte a la que se le efectuó el referido ensayo no destructivo y a la técnica seguida en el proceso.
- El reconocimiento de los efectos aparentes que se derivan de las exposiciones defectuosas al usar un determinado método radiológico.
- La identificación de los defectos encontrados en la pieza materia del ensayo.

La sección en la cual se van a observar las películas radiográficas para su interpretación debe ser la mejor área del departamento y donde el tránsito de personas sea res

tringido. Este recinto no debe necesariamente ser un - cuarto oscuro, pero si se debe evitar la luz brillante que podría causar reflexiones en la superficie de la película radiográfica, perdiéndose la habilidad para observar zonas de alta densidad; debe más bien, preferirse una luz difusa con la cual se puedan tomar notas en alguna hoja o formato de los defectos que se van encontrando.

Las radiografías se van colocando sobre la pantalla del negatoscopio, el cual contiene en su interior lámparas cuya intensidad pueda ser regulada. Es importante también que el área de la pantalla iluminadora del equipo pueda también regularse al tamaño de la radiografía para evitar halos luminosos que dificultarían una buena observación; este efecto se lo nota también cuando se observan regiones de alta densidad cerca de las cuales existen regiones de baja densidad.

Examinar áreas completamente transparentes reduce la capacidad de inspección y la percepción de contraste y a menos que se tomen medidas para enmascarar dichas áreas, no se podrán efectuar inspecciones eficientes de las áreas mas oscuras. Algunos negatoscopios se diseñan para observar radiografías especiales tales como las de soldaduras, en donde la pantalla iluminadora es angosta

y alargada.

Es deseable pero no comercial que la iluminación usada para la interpretación y reporte deberá ser del mismo tipo que la que se usó en el cuarto oscuro del revelado; esto asegurará que la densidad de las radiografías está de acuerdo o juega con la luz que se usa para su interpretación.

La brillantez de un negatoscopio debe ser tal que permita la observación de radiografías con densidad de 3.0 a 3.5, sin embargo radiografías de mayor densidad pueden ser observadas mediante una luz intermitente direccional que abarque áreas de 2 pulgadas cuadradas como máximo.

6.2. HUELLAS EN LA INTERPRETACION

Cada sección de la imagen en la radiografía debe coincidir con la correspondiente región del espécimen, si esto no puede ser hecho sería imposible localizar el defecto encontrado en la radiografía, vale la pena resaltar que secciones que visualmente no se asemejan, en las radiografías salen muy similares.

Una de las formas mas sencillas de no equivocarse es mar

cando la probeta en el punto de partida de la película radiográfica. Otra forma de practica un pequeño agujero en una parte de la probeta que no afecte lo que se va a inspeccionar; este agujero debe ser hecho antes de tomar la radiografía, su imagen será de un círculo blanco.

La desventaja de ésta última técnica es la de atentar - contra la probeta, la cual muchas veces no puede ser destruída. Si el radiólogo sabe positivamente que punto de la radiografía corresponde a la probeta, está en capacidad de separar los defectos superficiales profundos de los defectos internos, de lo contrario los primeros podrían enmascarar a los otros.

6.3. DETERMINACION DE LA POSICION DE UN DEFECTO

En algunos casos se presentan piezas con defectos en su interior, los que una vez separados dicho material puede seguir cumpliendo el servicio para el que fue diseñado; encontrar la posición exacta del defecto es entonces de suma importancia. El método más simple es el de radiografiar el espécimen en dos direcciones mutuamente perpendiculares, en cuyo caso la localización del defecto viene dado entonces por la intersección de los dos planos en los cuales el defecto es mostrado.

La desventaja de este método es que solo es aplicable a piezas de forma regular y debe haber accesibilidad - para instalar el equipo. Otro método en el que se practican dos exposiciones en una misma película se basa en el desplazamiento de la fuente en un plano paralelo al de la película; el tubo de rayos X se lo mueve a una distancia conocida entre las dos exposiciones, el tiempo de exposición que se usa es igualmente dividido para las dos exposiciones. Debido al cambio de posición de la fuente, la imagen del defecto en la doble exposición mostrará un desplazamiento que será función del cambio de la fuente; conociendo el desplazamiento de la imagen del defecto, la distancia fuente película y el cambio de la fuente se puede obtener la distancia o profundidad a la que se encuentra el defecto motivo de ésta investigación mediante la siguiente fórmula (12):

$$d_i = \frac{D_f \cdot x_1}{T + x_1} \quad (14)$$

donde:

d_i = es la distancia del defecto a la película

D_f = es la distancia fuente película;

T = es el cambio de la fuente

x_1 = desplazamiento de la imagen del defecto.

La figura N° 42 muestra la disposición de la fuente, especimen y película.

6.4. APARIENCIA DE LOS DEFECTOS EN CORDONES DE SOLDADURA

Se presentan en el apéndice "A" una serie de figuras en donde existen diferentes tipos defectos; estas figuras han sido tomadas del manual de Standars Británico de símbolos y términos de soldadura en su parte 3, que se refiere a soldaduras por fusión.

6.5. RESULTADOS OBTENIDOS

El momento de efectuar las tomas radiográficas de las doce probetas soldadas se señalaron en los anillos el comienzo de la película a fin de determinar con exactitud la posición de los defectos en el caso que los hubiere.

Reveladas las películas se las observaron en el negatoscopio que se encuentra disponible en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, el que controlado por un interruptor de pedal permite que la pantalla permanezca obscura cuando no existe un film en observación. La intensidad de la luz es variable y en dicha pantalla se pueden hacer inspecciones radiográficas de cordones de soldadura por ser alargada y angosta.

Los resultados de éstas inspecciones radiográficas y de

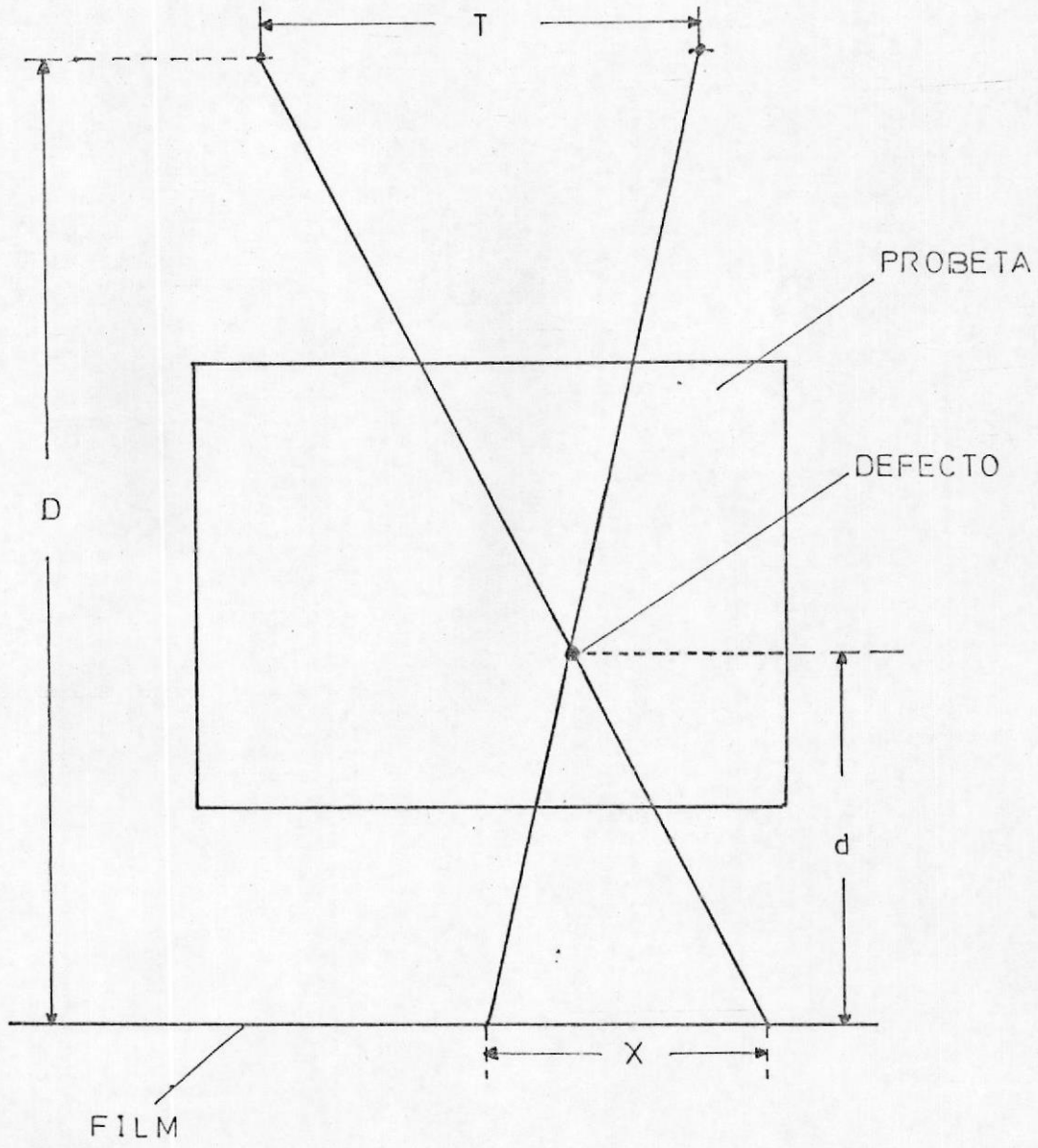


FIG. 42.- DETERMINACION DE LA POSICION DE UN DEFECTO (12).

Las inspecciones visuales de las doce probetas se registran en la tabla N° 14 en la que constan además los parámetros de soldadura utilizados en cada proceso, y tiene una última columna en la que se indica si la probeta es aceptable o no.

Los positivos de las radiografías obtenidas se encuentran en el Apéndice B con el objeto de conseguir una rápida comparación con los de los Standards Británico del Apéndice "A".

6.6. DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

De las inspecciones radiográficas visuales de las doce probetas se desprende lo siguiente:

PROBETA N° 1

La radiografía muestra inclusiones a los 15, 20 y 30 cm. en cantidades y magnitudes muy pequeñas, constituyendo discontinuidades sin importancia, estas inclusiones son de escoria. Se aprecia además un velo claro a lo largo de toda la costura con formas diversas; se efectuó una inspección visual a la probeta y se constató la presencia de verdaderas sartas de óxido e hidróxido formadas por la humedad retenida en el traslape de los casquetes superior e inferior.

Se debe aclarar que esta imperfección no tiene el carácter de inclusión en la soldadura, ya que su formación fué posterior al proceso de soldadura, originada

TABLA N^o 14

RESULTADOS DE INSPECCIONES RADIOGRAFICAS Y VISUALES

PROBETA	PARAMETROS DE SOLDADURA				RESULTADOS DE INSPECCION	RESULTADOS DE INSPECCION	DECISION
	E	I	V	NUMERO PASES	RADIOGRAFICA	VISUALES	
FA 1	35	460	67.2	2	IN (SLAG)	Costura excelente	Pasa
FA 2	32	450	67.2	2	IN	Costura aceptable	Pasa
FA 3	31	440	67.2	2	IN, PG	Costura aceptable	Pasa
FA 4	30	430	67,2	2	PG	Cordón angosto	No pasa
FA 5	29	425	67.2	2	IN	Cordón angosto	No pasa
FA 6	28	420	67.2	2	LS	LS, cordón angosto	No pasa
FA 7	25	420	67.2	2	LS	LS, cordón angosto	No pasa
FA 8	40	460	67.2	2	WH	WH,	No pasa
FA 9	42	470	67.2	1	WH	WH	No pasa
FA 10	39	460	67,2	2	WH	WH	No pasa
FA 11	43	470	67.2	1	WH, IN	WH	No pasa
FA 12	26	420	67.2	1	LS, SUC	SUC, LS cordón angosto	No pasa



al decapar las probetas para proceder al ensayo radiográfico. Esta novedad se la encuentra en todas las probetas motivo de este trabajo.

De la inspección visual también se determinó la existencia de una excelente costura de soldadura, su ancho promedio es de 13 mm, su trayectoria es recta y definida, perdiéndose a ambos lados en el metal base.

Por las condiciones encontradas en las inspecciones efectuadas se concluye que ésta probeta debe ser aceptada.

PROBETA N° 2

Los resultados del ensayo radiográfico indican inclusiones de escoria en dimensiones y cantidades mínimas a los 40 cm. la inspección visual revela una costura recta y definida, con un ancho promedio de 12,5 mm, perdiéndose a ambos lados en el metal base.

En vista de que las imperfecciones están dentro del rango permitido por el código ASME la probeta es aceptable.

PROBETA N° 3

La radiografía muestra imágenes de inclusiones y porosi

dades localizadas a los 12 y 15 cm. que por ser muy pequeñas se catalogan como discontinuidades; se aprecia una costura algo angosta comparada con la probeta anterior, siendo su ancho promedio 12 cm.

Objetivamente se encontró una pequeña porosidad a los 12 cm. del extremo izquierdo de la radiografía catalogándose como discontinuidad, pudiéndose aceptar dicha probeta.

PROBETA N^o 4

En la radiografía aparecen imágenes de porosidades agrupada a los 40 cm. e inclusiones de escoria a los 60 y 75 cm.

La inspección visual revela una costura soldada bastante angosta con un ancho promedio de 11.5 mm.

Las imperfecciones encontradas están dentro del rango de los defectos, además de que la costura es muy angosta, por tales motivos se rechaza ésta probeta.

PROBETA N^o 5

Imágenes de inclusiones de escoria se ven en la radiografía a los 35 cm. objetivamente se aprecia una costu

ra de soldadura con una geometría y dirección irregulares, su ancho promedio es de 10 mm.

Esta probeta es motivo de rechazo por tener una costura muy angosta.

PROBETA N° 6

La radiografía muestra imágenes de bandas oscuras alargadas y ovaladas desde los 40 a los 55 cm. La inspección visual indica la ausencia de fusión e interrupción del proceso a los 45 cm. el ancho promedio de la costura soldada es de 8 mm y su trayectoria como su geometría completamente irregulares.

Por constituir estas imperfecciones defectos que atentan contra la norma INEN 111, la probeta es rechazada.

PROBETA N° 7

La inspección radiográfica indica la existencia de una banda alargada bastante oscura a los 45 cm. se notan además inclusiones de escoria pequeñas pero congregadas a los 15, 25, 55, 75 y 85 cm.

Objetivamente se determinó la ausencia de fusión y la interrupción del proceso a los 45 cm. su ancho promedio

es de 8 mm. su trayectoria y geometría son muy irregulares.

Lo anteriormente expuesto obliga al rechazo inmediato de la probeta.

PROBETA N° 8

La radiografía muestra una imagen oscura y redondeada a los 45 cm. que hace suponer la existencia de picaduras o cráteres producidos por entrampamientos de gases.

Durante la inspección visual se encontró picaduras a los 45 cm. se notó además un espacio que quedó sin soldar debido a un consumo anormal del electrodo; su ancho promedio es de 14 mm. y su trayectoria así como su geometría son uniformes.

Por los defectos encontrados la probeta es motivo de rechazo.

PROBETA N° 9

Existen imágenes oscuras y redondeadas a los 45 y 85 cm. que se presumen sean picaduras o cráteres producidos por entrampamiento de gases.

La inspección visual revela picaduras o cráteres justa-

mente a los 45 y 85 cm.; se ven además espacios no cubiertos por el material de soldadura, lo que hace suponer un consumo anormal del electrodo, su ancho promedio es de 10.5 cm.

Las novedades encontradas y conociendo que la costura de soldadura tuvo un solo pase, justifican el rechazo de la probeta de acuerdo a la norma INEN 111.

PROBETA N° 10

Se encontraron imágenes oscuras y redondeadas a los 55, 60 y 65 cm. que hacen suponer la existencia de picaduras o cráteres producidos por entrampamientos de gases.

Objetivamente se determinó un cráter o picadura a los 60 cm. su ancho promedio es de 12.5 mm. su trayectoria es recta y su geometría es definida.

Sin embargo los defectos encontrados justifican el rechazo de la probeta.

PROBETA N° 11

Se localizó a los 5 cm. una imagen oscura y amorfa que puede ser una inclusión de escoria; a los 85 cm. aparece una imagen oscura que se supone sea debido a una falta de fusión.

Objetivamente se aprecia que la costura de soldadura carece de lomo o sobremonta, aunque su trayectoria es recta y definida.

El hecho de carecer de sobremonta y por tener un solo pase de soldadura se rechaza la probeta de conformidad con la norma INEN 111.

PROBETA N° 12

La radiografía presenta imágenes alargadas a los 45 y 50 cm. imágenes pequeñas y congregadas a los 65 cm., que hacen suponer una falta de fusión e inclusiones de escoria. Se aprecia además a los 30 cm. una línea obscura de una densidad irregular a un lado de la costura de soldadura que parece ser la imagen de un socavado.

La inspección visual determinó un socavado a los 30 cm. el ancho promedio de la costura fue de 8 mm. carece de sobremonta y se efectuó un solo pase de soldadura, por lo tanto se rechaza la probeta.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



7.1. INTRODUCCION

El haber efectuado experiencias con un equipo automático hace que los resultados obtenidos sean una respuesta de la variación de los parámetros; si se hubiera seleccionado un equipo de soldadura al arco manual se habría introducido variables tales como distancia del electrodo al metal base, velocidad de viaje, enfriamientos y calentamientos anormales al cambiar un nuevo electrodo por el anterior y un cordón con una trayectoria irregular que a tentaría no solo contra la presentación sino contra las normas de seguridad para la construcción de cilindros de gas licuado.

Otra desventaja en el uso de un equipo de soldadura manual es la ausencia de datos tales como el voltaje, corriente, argumentos que varían según exista mayor o menor distancia del extremo del electrodo al metal base.

La deposición del material de aporte tampoco se la puede conocer porque ésta depende de la velocidad de viaje.

Los factores anteriormente mencionados justifican ampliamente el uso de un equipo automático para la realización

de pruebas de ésta índole y que han sido la base primordial del presente trabajo.

El proceso de soldadura por arco sumergido a mas de ser un proceso rápido, tiene la gran ventaja de evitar el temple del cordón en el aire sin el cual la costura soldada sería frágil, debido al recubrimiento que tiene el cordón por el exceso del fundente granulado; otra ventaja es la alta eficiencia, con respecto a los procesos - al arco con electrodo sin revestir o con poco fundente, que se consigue porque el calor de entrada tiene menos pérdidas por transferencia hacia el medio ambiente y por ésta misma razón el operador puede resistir mayores regímenes de trabajo.

7.2. CONCLUSIONES

Sin tomar en cuenta la clase de equipo de soldadura que se disponga y las condiciones de operación, en todo proceso de soldadura tienen marcada influencia el calor de entrada y el material con el que se trabaja.

7.2.1. Calor de entrada

El calor generador durante un proceso de soldadura al arco es proporcional al voltaje y la co-

corriente aplicada e inversamente proporcional a la velocidad de viaje, los estudios realizados por Jackson y Shruball descritos en el Capítulo 3 de esta tesis, demuestran que solamente del 20 al 50% del calor total generado es utilizado para formar el depósito de soldadura. El proceso de soldadura al arco sumergido es uno de los más eficientes por la gran cantidad de fundente que cubre en todo momento al arco y en base a ésta consideración se puede asumir que el factor (f) de la fórmula N^o 15 tiene un valor de 0.4; por consiguiente el calor requerido para formar el depósito de soldadura en cada probeta fue:

$$H_{\text{neto}} = 0.4 \frac{E \cdot I}{V} \quad (15)$$

Los valores obtenidos con la fórmula 15 y detallados en tabla 15 vienen dados en Joules por pulg. si es que el voltaje está en Voltios, la corriente en Amperios y la velocidad de viaje en pulgadas por minuto.

Es lógico pensar que esos mismos valores pueden conseguirse aumentando el voltaje, corriente y velocidad de viaje, pero existe una limitación en la velocidad de viaje, la cual no puede ser mas alta que la máxima posible para desprender por me-

TABLA N° 15

RESULTADOS DEL CALOR GENERADO Y CALOR DE ENTRADA
EN LAS DOCE PROBETAS SOLDADAS

PROBETA N°	CALOR GENERADO	CALOR DE ENTRADA
1	14.374,80	5.749,92
2	12.856,80	5.142,72
3	12.178,20	4.871,28
4	11.517,60	4.607,04
5	11.004,00	4.401,60
6	10.500,00	4.200,00
* 7	9.375,00	3.750,00
+ 8	16.428,60	6.571,00
9	17.625,00	7.060,00
10	16.017,00	6.407,04
11	18.044,64	7.217,85
12	9.750,00	3.900,00

NOTA: * Proceso de soldadura arrático

+ Perforación de la costura al terminar el segundo
pase o cordón.

Calor expresado en Joules por pulgada.

dios manuales de escoria que permanece adherida en el primer cordón de soldadura.

Se ha determinado en la práctica la velocidad máxima a la que puede ir el cilindro de gas durante el proceso de soldadura sin que el operador - deje restos de escoria, que posteriormente serían inclusiones, siendo ésta de 70.8 pulgadas por minuto, pero considerando la larga jornada de trabajo del soldador se ha encontrado una velocidad óptima de 67 pulg/min.

A pesar de lo anteriormente expuesto, los ensayos radiográficos han permitido detectar inclusiones de escoria en algunas probetas soldadas las que por su tamaño y cantidad han sido catalogadas como imperfecciones, no constituyendo riesgo alguno para el uso que se les da a dichos cilindros.

7.2.2. Material con el que se trabaja

Sin tomar en cuenta el espesor del metal base y para este caso específico de cilindros de gas licuado para uso doméstico, la norma de INEN N° 112 establece que el material depositado durante el proceso de soldadura debe tener una composición química compatible con la del metal base. Es ló-

gico pensar que el éxito de una soldadura radica también en seleccionar un material de aporte adecuado para el metal base; en julio de 1979, fecha en la que se efectuaron las pruebas soldadas, Electrodomésticos DUREX C.A. usaba la siguiente composición química en sus materiales:

ELEMENTO ALEANTE	METAL BASE	METAL DEPOSITADO
% Carbono	0.17	0.07
% Manganeso	0.60	1.4
% Silicio	0.35	0.35
% Azufre	0.045	--
% Fósforo	0.045	--

Las propiedades mecánicas de estos materiales eran las siguientes:

ENSAYOS DE TENSION	METAL BASE (da N/mm ²)	METAL DEPOSITADO (da N/mm ²)
Punto de fluencia	21.5	44
Resistencia a tracción	34 a 41	54

Conformada la unión soldada a los cilindros de gas licuado de 15 kg y pasada su rigurosa prueba de estanqueidad, se toma uno al azar y se le practica un ensayo destructivo con el objeto de conocer las pro

piedades mecánicas de todo el lote. El cilindro en mención es cortado en probetas cuyas dimensiones y características están normadas por el INEN en sus capítulos N° 109, 110, 112 y 122.

Estas probetas son enviadas al laboratorio de Metalurgia de la ESPOL donde se le efectúa los ensayos de tracción y flexión de acuerdo a la norma - INEN 112. Los reportes N° 1 y N° 2 muestran los resultados de un típico ensayo destructivo realizado en dicho laboratorio.

Analizando los resultados anteriormente obtenidas se pueden dar las siguientes conclusiones:

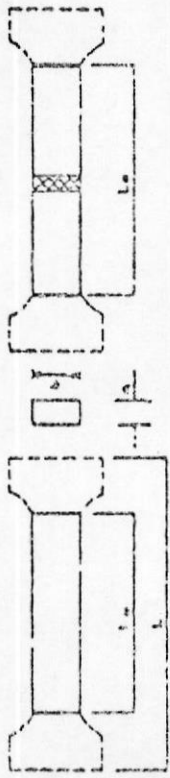
1. Las inclusiones de escoria en un proceso de soldadura al arco sumergido son independientes del voltaje y la corriente y su existencia depende de la habilidad del operador para desprenderla, aumentando las posibilidades de encontrarlas - cuando se incrementa la velocidad de viaje.
2. El empleo de bajas corrientes, en este caso de 430 amperios o menores, con bajos voltajes hacen que la costura de soldadura sea demasiado angosta, comprometiendo la buena unión que deben tener los cilindros de gas licuado de 15 kg.

ESTOL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
 APARTADO: 5863 - TELZX: 4-3669 ESPOLO-ED
 Guayaquil - Ecuador



PROBETA		DIMENSIONES DE PROBETA			Condición de la probeta	EMPRESA: DUREX			TEMP. DE ENSAYO °C: Tem. Amb.
		a (mm)	b (mm)	S ₀ (mm ²)		SOLICITUD: 155-79	VELOC. DE ENSAYO: 10mm/min.	OBSERVACIONES:	
2	3.00	24.50	73.50	35.00	Soldada	30.03	45.85	41.04	21.43
5	2.80	17.60	54.88	80.00	Sin Seldar	28.88	47.91	37.99	24.63

ENSAYOS DE TRACCION



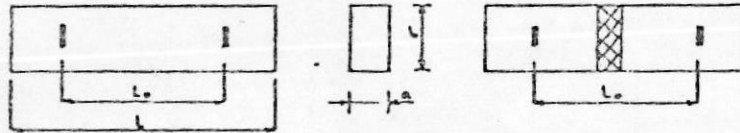
10 JUL. 1979



ING. *Walter Torres*
 JEFE DE LABORATORIO
 DE METALURGIA MECANICA



ENSAYO DE DOBLADO



SIN SOLDAR

SOLDADA

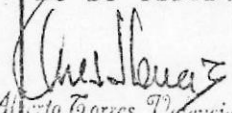
EMPRESA: DUREX
SOLICITUD: 135-79
MATERIAL: Acero Laminado

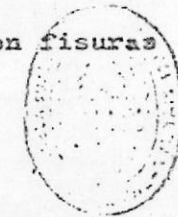
SERIE: 286641
COLADA: 56414

DIAMETRO MANDRIL: 12mm
ESPEJOR CALZA:
TEMP. DE ENSAYO °C: Tem. Amb.
VELOC. DE ENSAYO: 10mm/min

13 JUL. 1979

PROBETA	DIMENSIONES DE PROBETA			CONDICION DE LA PROBETA	ANGULO DE DOBLADO	OBSERVACIONES
	a(mm)	b(mm)	L (mm)			
1	3.10	25.10	119.90	Soldada	180°	No se Observaron fisuras
3	3.10	25.00	120.40	Soldada	180°	No se Observaron fisuras
4	2.70	24.80	119.80	Sin Soldar	180°	No se Observaron fisuras
6	2.90	25.10	119.70	Sin Soldar	180°	No se Observaron fisuras


 ING. Alberto Torres Valencia
 JEFE DEL AREA 4
 DE MET. Y MECANICA



DEPTO. DE INGENIERIA
 MECANICA

en su parte media. Se nota además que el elec
trodo no alcanza a fundirse completamente que
dando con una sobremonta excesiva a manera de
nervio con una trayectoria y geometría irregu
lares.

Corrientes muy bajas ocasionan también la in-
terrupción del proceso por falta de fusión.

Por otro lado corrientes ligeramente altas, ta
les como 460 amperios con voltajes un poco al
tos, tales como 40 Voltios o más, ocasionan en
trampamientos de gases los que producen pica-
duras o cráteres.

Se puede establecer también que las altas co
rrientes consumen violentamente al electrodo,
por lo que pueden haber trechos en los que no
se efectúen el proceso por no existir en un
momento determinado el electrodo. La solución
para esto sería el de cambiar el electrodo a
uno de mayor diámetro.

El empleo de corrientes y voltajes medios ta-
les como 455, 460 amperios con 36 o 35 vol-
tios hacen que el cordón de soldadura produci
do tenga un aspecto continuo, una trayectoria

definida y una geometría regular. Estos valores moderados de corriente y voltaje son los responsables de que la costura de soldadura - se vaya perdiendo poco a poco hacia ambos lados del metal base, confundiéndose con dicho material.

3. En todo proceso de soldadura al arco es muy importante tener en cuenta que el material de aporte debe tener una composición química compatible con las propiedades químicas del metal base, seleccionando electrodos apropiados para el tipo de corriente a usarse y la posición en la que se va a soldar. El diámetro del electrodo y por consiguiente la cantidad de material de aporte a depositarse depende de:

- Espesor del metal base
- Tipo de unión a efectuarse

Para cada espesor de metal base existe una corriente apropiada; en procesos de soldadura al arco sumergido existen tablas suministradas - por los fabricantes de equipos y materiales de soldadura, donde se encuentra tabulados estos datos, los que constituyen una guía o punto de partida para el usuario. El manual de soldadura ESAB en su edición de 1976, da en su tabla

Nº 9 esta clase de información, en la que como ejemplo se puede mencionar que para una unión a tope con refuerzo o traslape en su parte posterior, con un metal base de 4 mm. de espesor se recomienda el uso de un electrodo de 2.5 mm. de diámetro, un voltaje de 30 V. y una corriente de 450 Amp.

4. Después de seleccionar el material hay que encontrar parámetros de soldadura que no atenten contra la calidad de la costura ni contra la producción.

Una alta producción exige la mas alta velocidad de viaje, la cual para procesos de soldadura al arco sumergido y para soldar cilindros de gas, está limitada por la velocidad máxima a la que se puede sacar la escoria.

Si la velocidad de viaje debe ser alta, la cantidad de material de aporte debe ser grande y por lo tanto se deben usar elevados valores de voltaje y corriente a fin de mantener constante el calor de entrada. De las experiencias efectuadas se determina que para soldar cilindros de gas licuado de 15 kg. para uso domésti-

co, con un espesor de metal base de 2.8 mm. con unión a tope con traslape los siguientes parámetros deben ser usados:

VOLTAJE:	35V
CORRIENTE:	460 Amp.
VELOCIDAD DE VIAJE:	67.2 pulg/min.
NUMERO DE CORDONES:	Dos (Norma INEN 111)
POLARIDAD:	Direc̄ta
METAL BASE:	Acero con grado A 34
ELECTRODO:	OK Autrod 12.10 ESAB AWS EL 12
FUNDENTE:	OK Flux 10.70 AWS F 72 EL 12

Estos datos han sido tomados de la probeta N^o 1 que tuvo los mejores resultados.



APENDICE "A"
RADIOGRAFIAS DE STANDARDS BRITANICO

BT.- EXCESO DE PENETRACION

Es un colapso localizado en alguna parte del cordón de soldadura causado por una excesiva penetración, originando una perforación del metal base, aparece en la radiografía como una área globular oscura; si el hueco resultante es llenado incompletamente con material de soldadura se lo ve en la radiografía como un área central oscura. Las figuras N^o 43 y N^o 44 muestran ésta clase de defecto.

A menudo las inclusiones no metálicas son asociadas a este tipo de defecto.

DM.- DIFRACCION MOTTLING

Es un efecto producido en la radiografía debido a la difracción de la radiación por los granos en el metal; aparece como una luz difusa y puntos o franjas extendidas en una determinada área. La figura N^o 45 muestra este efecto.

Esta imperfección puede confundirse con microporosidades o segregaciones, por lo que conviene tener cuidado y asegurarse mediante otras técnicas radiográficas si se está o no enmascarando un defecto.



BT.-

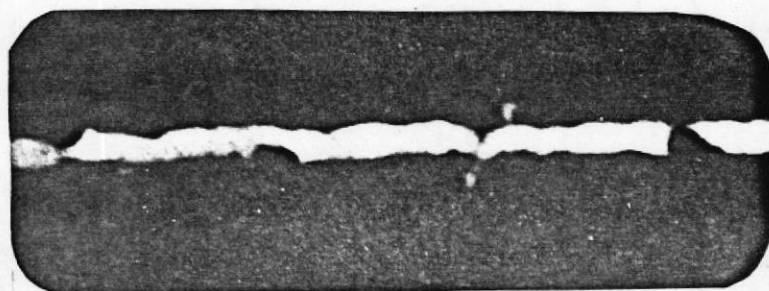


FIG. 43.- EXCESO DE PENETRACION*

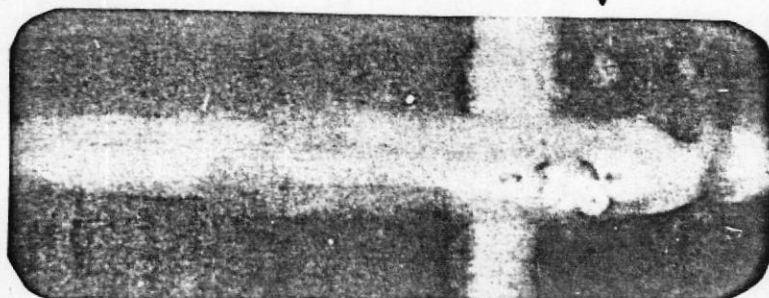


FIG. 44.- EXCESO DE PENETRACION*

DM.-

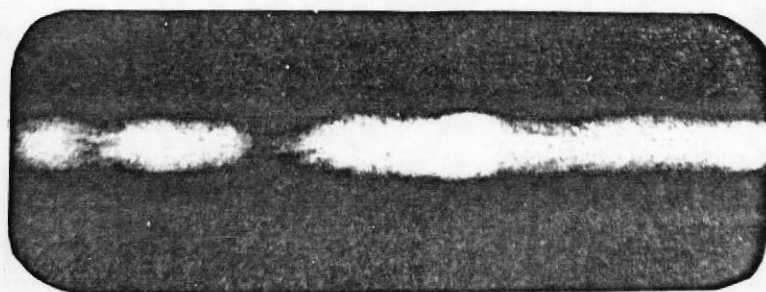


FIG. 45.- DIFRACCION MOTTLING

* Las flechas indican la localización de la imperfección.

Este fenómeno es considerado como defecto solamente en los casos que no se desea un material de grano grande.

CP.- FINALIZACION DEL CORDON

Se lo llama a una depresión en el extremo o al final del cordón cuando la fuente de calor fue removida. Aparece en la radiografía como una sombra oscura circular o elíptica de densidad graduable, con lo mas negro en el centro y con las dimensiones de una imperfección.

Las figuras N° 46 y N° 47 muestran esta clase de discontinuidad, que se cataloga como una imperfección de superficie.

SXP.- EXCESO DE PENETRACION DEL CORDON

Ocurre cuando el material de soldadura en la parte de la raíz del cordón sobresale demasiado con respecto al material de aporte; aparece en la radiografía como una continua e intermitente banda irregular dentro de la imagen del cordón, la figura N° 48 muestra esta clase de imperfección.

SRC.- RAIZ CONCAVA

Es un rechupe externo de la raíz que puede ocurrir en una soldadura al arco. Aparece en la radiografía como una serie de áreas oscuras a lo largo del centro del cordón, varian-

CP.-

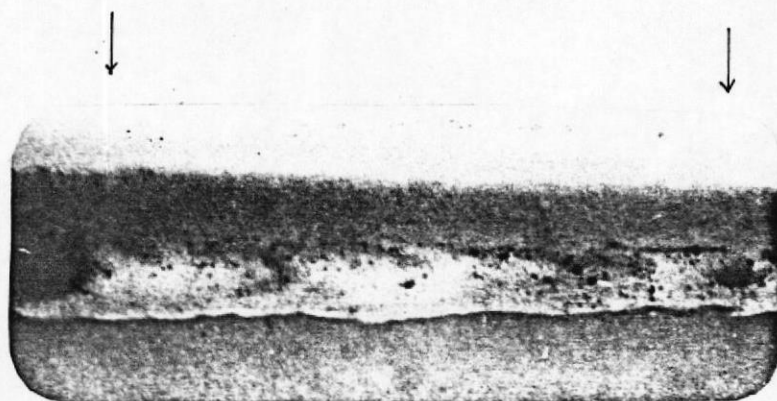


FIG. 46. FINALIZACION DEL CORDON*



CIB-ESPOL

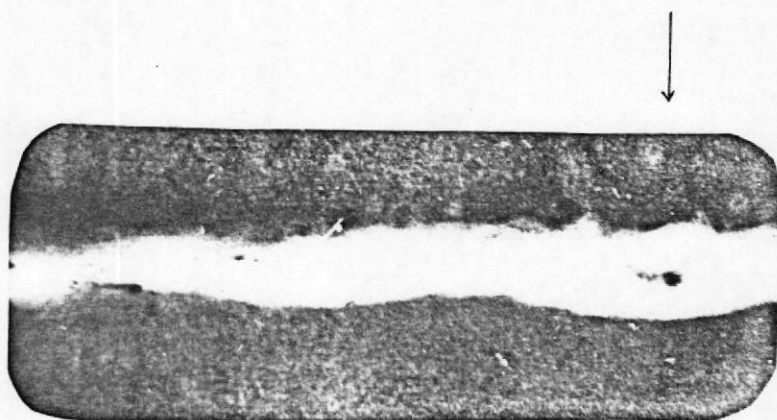


FIG. 47. FINALIZACION DEL CORDON*

* Las flechas indican la localización de la imperfección.

SXP

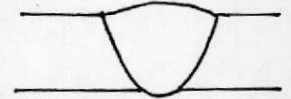
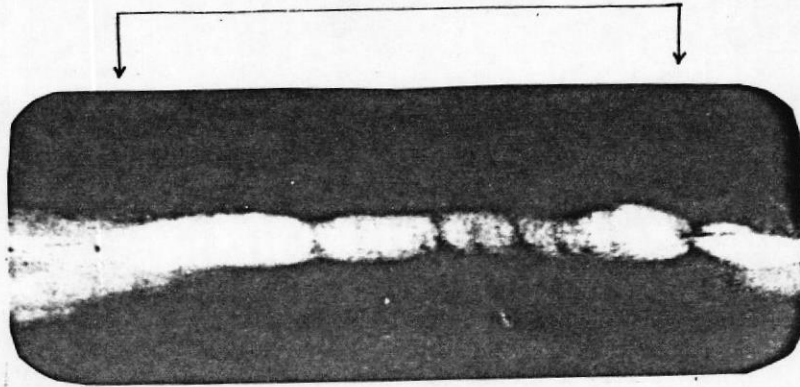


FIG. 48.- EXCESO DE PENETRACION DEL CORDON

SRC

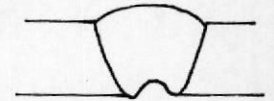
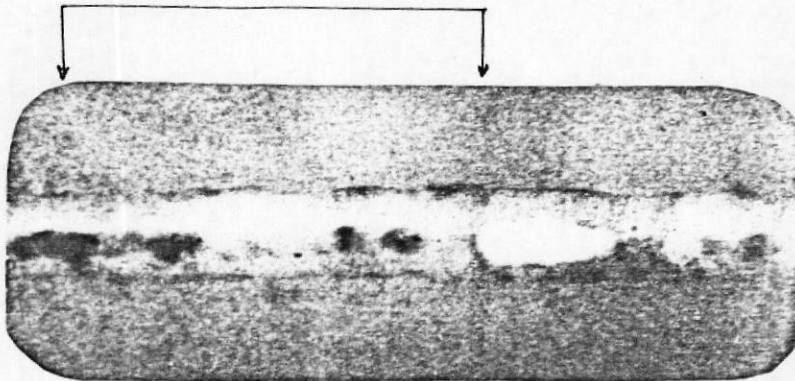


FIG. 49.- RAIZ CONCAVA

SGI

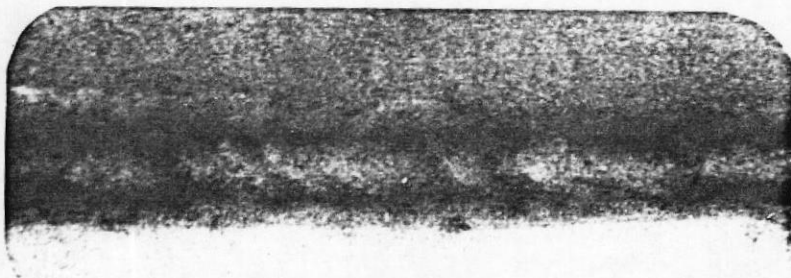


FIG. 50.- LLENADO INCOMPLETO

* La flecha indica la sección de soldadura en el cual la imagen de la imperfec_

do en densidad conforme se haga mas o menos profundo este defecto; la figura N^o 49 muestra esta clase de imperfección.

SGI.- LLENADO INCOMPLETO

Es un canal continuo o intermitente en la superficie de cordón debido a una insuficiente cantidad de material de soldadura; este canal puede aparecer en el centro del cordón o hacia los bordes de la soldadura.

En la figura N^o 50 aparece como una banda negra o parches negruzcos dentro de la imagen del cordón; a menudo se lo confunde con un defecto de socavado.

SGS.- SURCO DE CONTRACCION

Es un canal superficial causado por la contracción del metal de soldadura a lo largo de cada lado del cordón. La figura N^o 51 muestra cada canal como una banda negruzca variando en densidad según su profundidad. Este tipo de imperfección sucede en la raíz de la soldadura y no debería ser confundido con un socavado.

Este defecto no se lo puede ver cuando se usa una contrabanda o refuerzo.

SGS.-

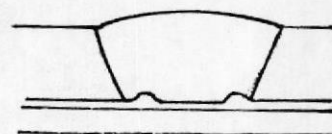
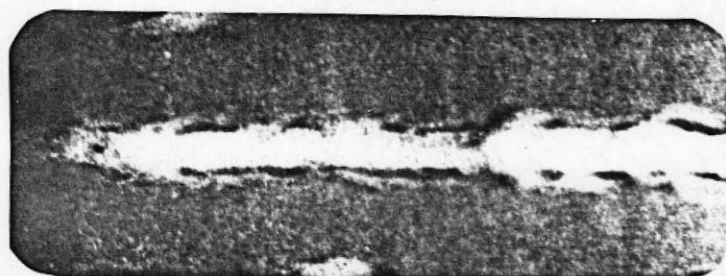


FIG. 51.- SURCO DE CONTRACCION

SUC.-

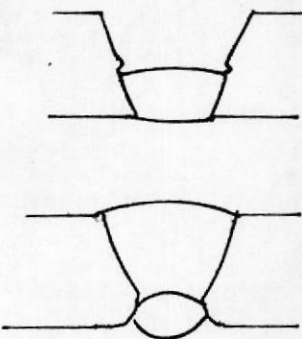
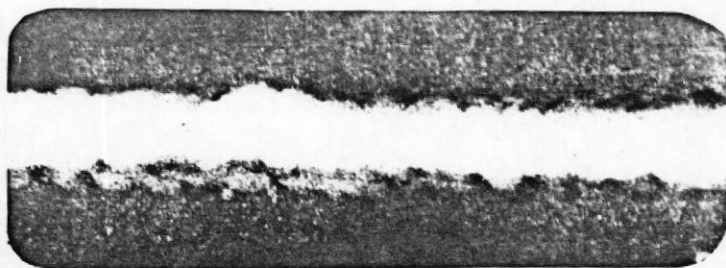


FIG. 52.- SOCAVACION

SUC.- SOCAVACION

Un canal irregular en el talón del cordón que aparece en el metal base o en el material de soldadura previamente depositado; se debe a una selección defectuosa de los parámetros en un proceso de soldadura al arco.

La Figura N° 52 muestra una toma radiográfica con este tipo de defecto, el que aparece como una banda negruzca irregular en una posición adyacente al talón del cordón. Cuando se utilizan dos o más cordones de soldadura la imagen de este defecto puede aparecer dentro de la imagen del material de soldadura.

SED.- LABRADO INTERNO

Es una reducción del espesor del metal base en la parte adyacente del cordón originando por una remoción interna del metal base al contraerse el cordón de soldadura. Este defecto aparece en la radiografía de la figura N° 53 como áreas negruzcas de bordes difusos.

SSP.- CHISPORROTEO

Son glóbulos metálicos expelidos durante un proceso de soldadura al arco y depositados sobre el metal base o sobre el cordón de soldadura; estos chisporroteos aparecen en la radiografía como puntos pequeños un poco claros con respecto a

SED.-

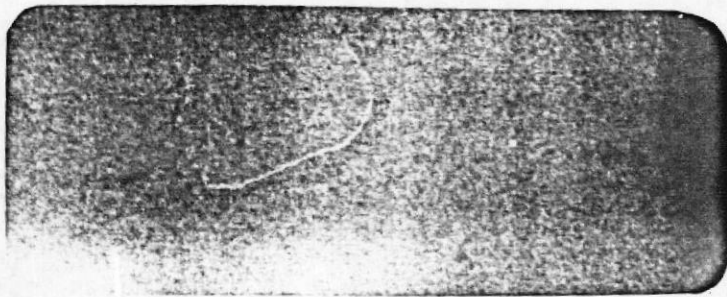


FIG. 53.- LABRADO INTERNO

la imagen del cordón

Las figuras N° 54 y N° 55 muestran las imágenes radiográficas de este tipo de defecto del cordón; a menudo se la confunde con un defecto de socavado.

Un caso especial ocurre en procesos de soldaduras TIG donde las salpicaduras del electrodo de tungsteno aparecen en la radiografía como puntos muy brillantes; si esto sucede dentro de la imagen del cordón de soldadura es necesario - comprobar objetivamente si existen estos chisporroteos. La figura N° 56 muestra esta clase de defecto en una radiografía.

SPT.- PICADURAS SUPERFICIALES

Son imperfecciones en la superficie del metal base usualmente bajo la forma de pequeñas depresiones. Estas picaduras pueden estar tan pegadas al cordón que muchas veces se confunden en la radiografía como defecto de soldadura; la imperfección aparece en la radiografía como imagen oscura.

SSP.-

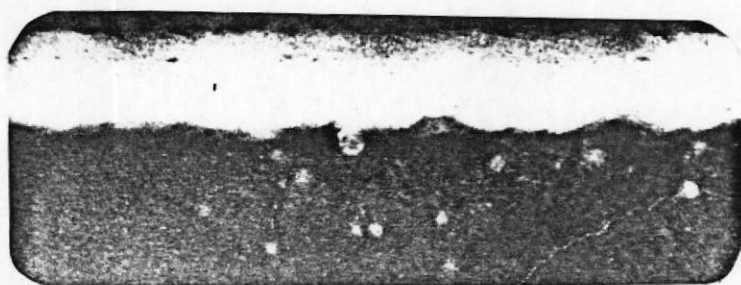


FIG. 54.- CHISPORROTEO

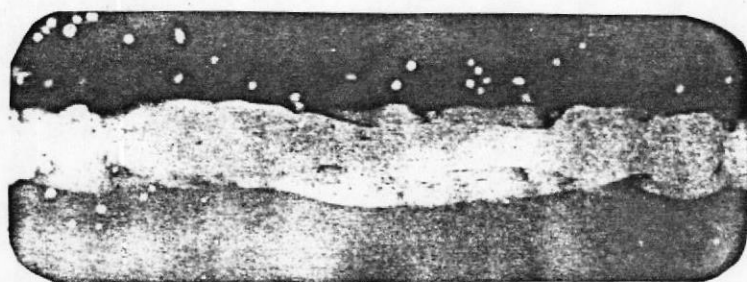


FIG. 55.- CHISPORROTEO

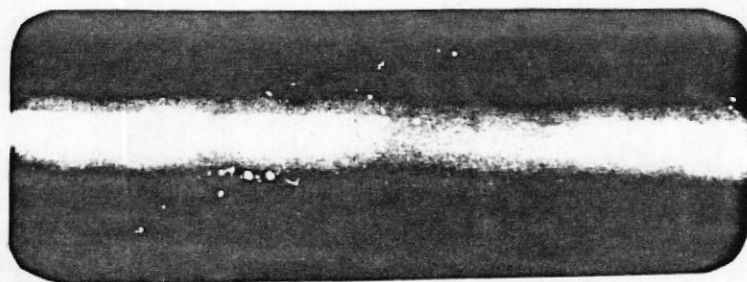


FIG. 56.- CHISPORROTEO DE TUNGSTENO

La figura N° 57 muestra esta clase de imperfección. Se debe aclarar que esto no constituye un defecto de soldadura, pero conviene presentarlo con el fin de que no existan interpretaciones erradas.

KL.- FISURAS LONGITUDINALES

Son discontinuidades longitudinales producidas por fracturas; estas fisuras aparecen en las radiografías como finas líneas oscuras que corren en el mismo sentido del cordón. La figura N° 58 muestra una radiografía con este tipo de imperfección.

SPT



FIG. 57.- PICADURAS SUPERFICIALES

KT.- FISURAS TRANSVERSALES

Estas en cambio se producen perpendicularmente al sentido del cordón. Aparecen en la radiografía como finas líneas oscuras transversales. La Figura N^o 59 muestra esta clase de imperfección.

KC.- FISURAS EN EL CRATER

Aparecen en la radiografía como zonas oscuras que corren longitudinalmente al cordón; sin embargo la detección de una fisura en general depende de su orientación con respecto a la fuente de radiación, resultando muchas veces imágenes completamente anchas o sombreadas que difícilmente se las reconoce y en algunos casos hasta que pierden. La figura N^o 60 muestra una imperfección de esta naturaleza.

LS.- FALTA DE FUSION LATERAL

Es la ausencia de unión entre el metal de soldadura y el metal base a un lado del cordón. Su imagen aparece en la radiografía como una línea o banda recta más oscura que el resto del cordón, la forma de la imagen depende de la dirección del haz de radiación, pudiendo ser cortada o continua; las figuras N^o 61 y N^o 62 muestran esta clase de imperfección cuyas radiografías han sido tomadas desde diferentes ángulos.

KL
KE
KC

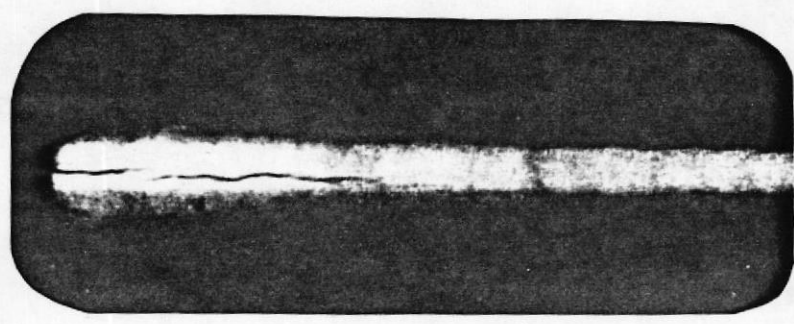


FIG. 58.- FISURAS LONGITUDINALES

KT

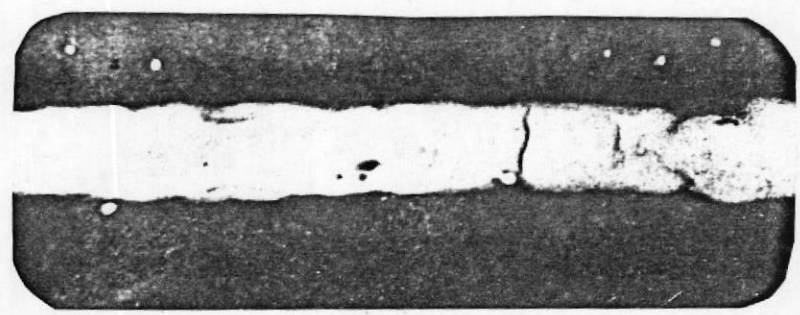


FIG. 59.- FISURAS TRANSVERSALES

KC

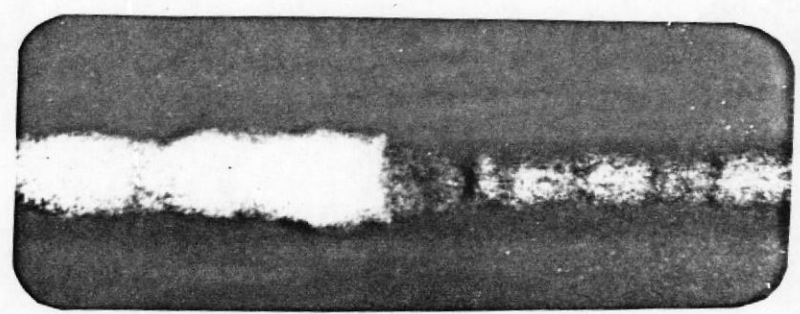


FIG. 60.- FISURAS DEL CRATER



CIB-ESPOL

LS.-

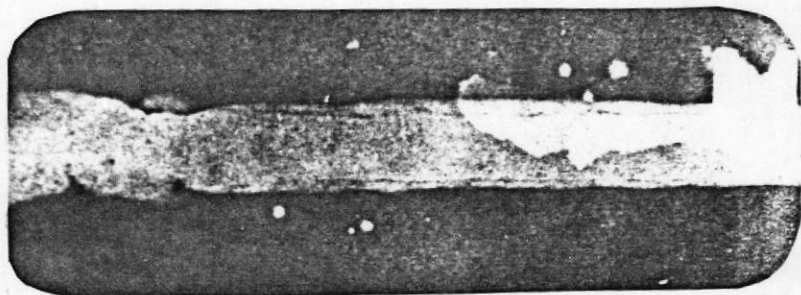


FIG. 61.- FALTA DE FUSION LATERAL

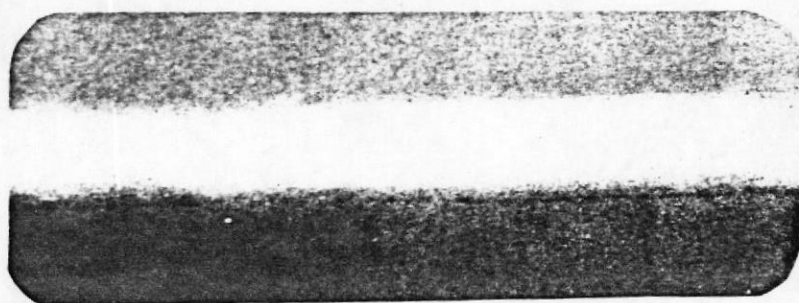


FIG. 62.- FALTA DE FUSION LATERAL

LR.- FALTA DE FUSION EN LA RAIZ

Su imagen aparece en la radiografía como una línea oscura a lo largo y cerca del centro del cordón. La Figura N^o 63 muestra este defecto tal como se lo ve en la radiografía.

LI.- FALTA DE FUSION ENTRE CORDONES

Aparece en la radiografía como una línea oscura que muchas veces se pierde o se desvanece, esta imperfección es vista en la figura N^o 64. Cuando la falta de fusión abarca toda la sección del metal de soldadura y se oculta a lo largo de los cordones, la toma radiográfica podría fallar en la detección del defecto ya que toda la imagen del metal de soldadura luce homogéneo.

LP.- PENETRACION INCOMPLETA

Aparece en la radiografía como una línea continua o intermitente oscura, cuyos bordes pueden ser rectos o irregulares; la figura N^o 65 muestra este defecto tal como se lo ve en la radiografía. En uniones a topes muy pegados o en cualquier otro tipo de unión de bordes muy pegados, este defecto puede aparecer como una línea fina oscura.

IN.- INCLUSIONES

La escoria u otro extraño material puede quedar atrapado -



LR.-

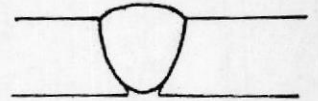
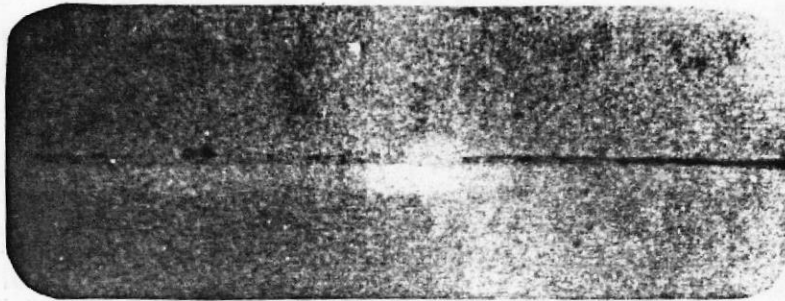


FIG. 63.- FALTA DE FUSION EN LA RAIZ

LI.-

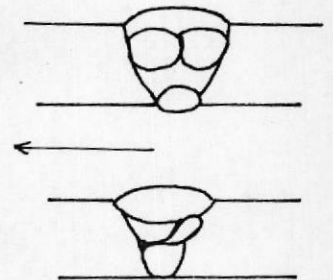
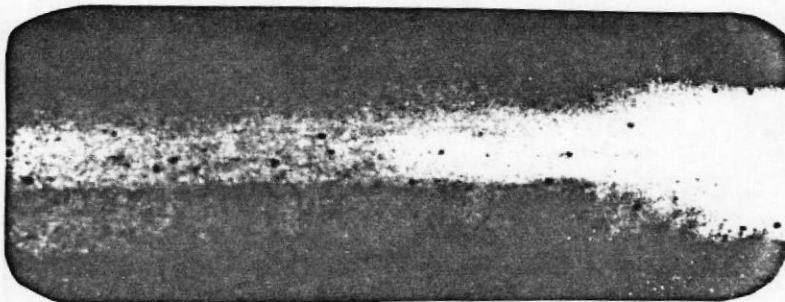


FIG. 64.- FALTA DE FUSION ENTRE CORDONES*

* La flecha indica la línea de imperfección.

LP.-

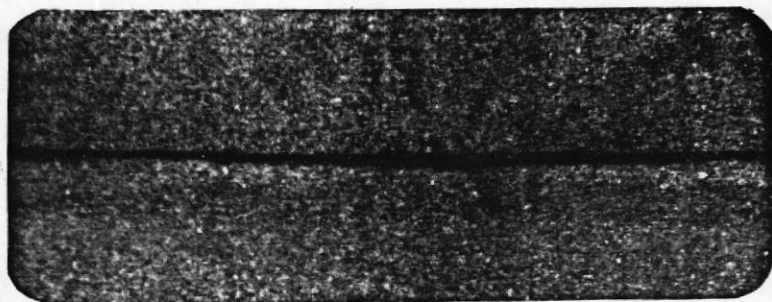


FIG. 65.- RAIZ. INCOMPLETA DE PENETRACION

IN.-

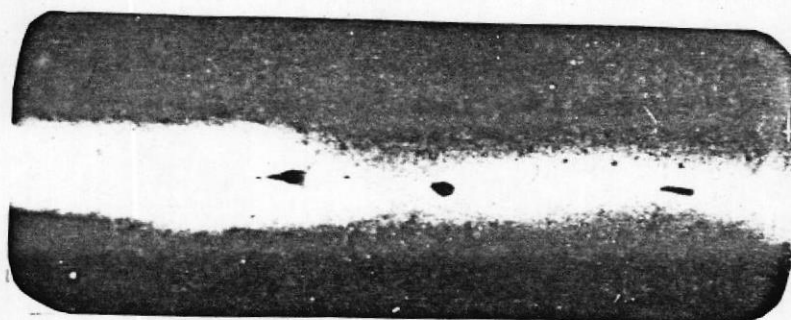


FIG. 66.- INCLUSIONES

dentro del cordón de soldadura, siendo este defecto de forma más irregular que los poros de gas.

La radiografía N^o 66 muestra esta clase de defecto, el cual puede variar en densidad dentro de su propia imagen, haciéndose más blanca o clara si la inclusión es metálica y más oscura si no es metálica.

II.- INCLUSIONES LINEALES

Es una imperfección lineal paralela al eje del cordón; aparece en la radiografía como una banda oscura con bordes irregulares a lo largo del metal de soldadura y ocurre generalmente en profesos continuos y prolongados.

Las figuras N^o 67 y N^o 68 muestran radiografías con este tipo de defecto, el cual algunas veces corren a lo largo de ambos bordes notándose como dos rugosas líneas paralelas.

IO.- INCLUSIONES DE OXIDO

Son óxidos metálicos entrampados durante un proceso de soldadura; las figuras N^o 69 y N^o 70 muestran radiografías en las que el defecto aparece como puntos oscuros de forma irregular. Estas imperfecciones se asocian generalmente con soldaduras en materiales no ferrosos.



CIB-ESPOL

IL.-

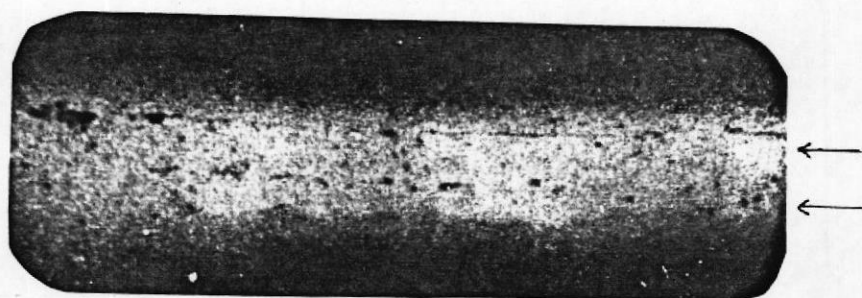


FIG. 67.- INCLUSIONES LINEALES



FIG. 68.- INCLUSIONES LINEALES

* Las flechas indican las líneas de la imperfección

10.-

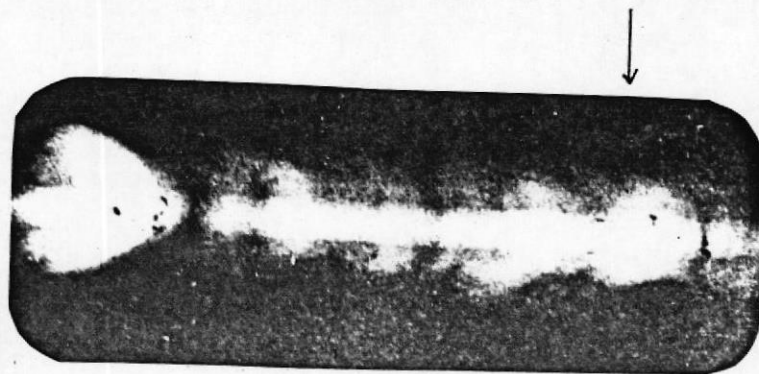


FIG. 69.- INCLUSIONES DE OXIDO *

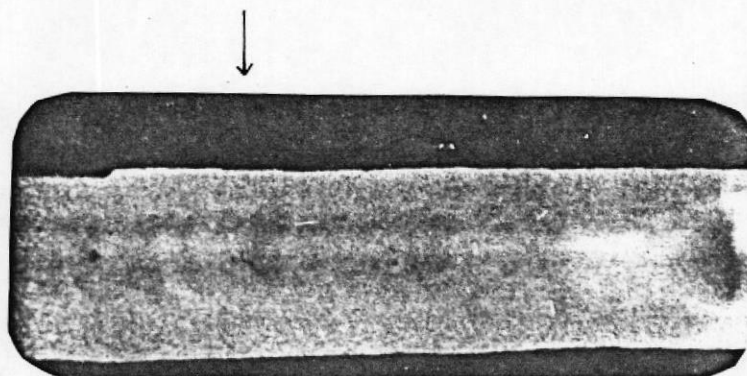


FIG. 70.- INCLUSIONES DE OXIDO*

* Las flechas indican la localización de la imperfección

IT.- INCLUSIONES DE TUNGSTENO

Las inclusiones de Tungsteno desde el electrodo hacia el metal de soldadura en procesos TIG aparecen en la radiografía como puntos claros de cualquier forma. Las figuras N^o 71 y N^o 72 muestran esta clase de imperfección.

IC.- INCLUSIONES DE COBRE

Existen inclusiones de cobre en procesos de arco sumergido o en procesos TIG cuando la boquilla hace arco con el metal base; el cobre entrampado en el cordón de soldadura es visto en la radiografía como una imagen clara de cualquier forma, a menudo teniendo distintos bordes debido a las parciales aleaciones que se originan con el hierro y por ésta razón se los puede diferenciar de las inclusiones de tungsteno. La figura N^o 73 muestra una radiografía de este tipo de defecto.

PU.- POROSIDAD UNIFORME

Son gases entrampados en el cordón de soldadura distribuídos uniformemente; aparecen en la radiografía como imágenes oscuras circulares, las figuras N^o 74, N^o 75 y N^o 76 muestran las imágenes de estas imperfecciones agrupadas.

PG.- POROSIDADES LOCALIZADAS

Son porosidades confinadas a pequeñas áreas de soldadura;

IT.-

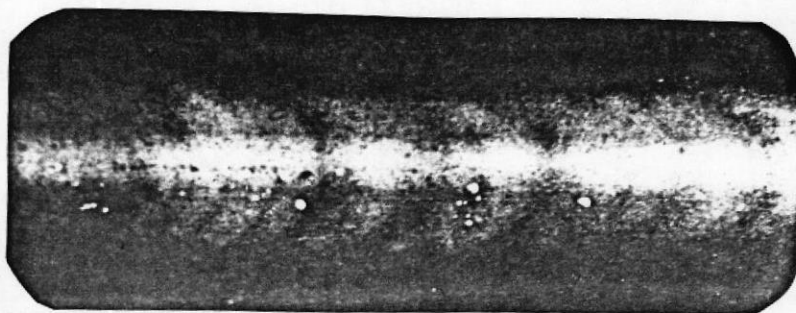


FIG. 71.- INCLUSIONES DE TUNGSTENO

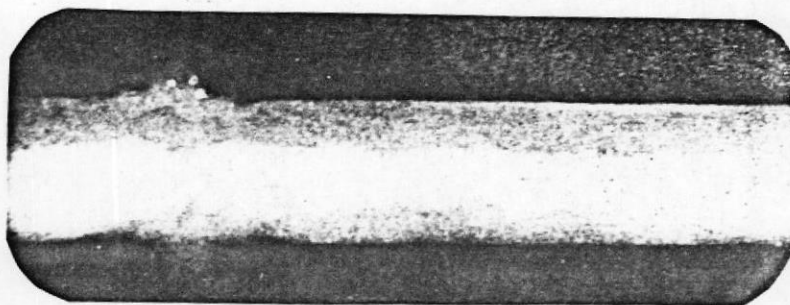


FIG72.- INCLUSIONES DE TUNGSTENO

IC.-

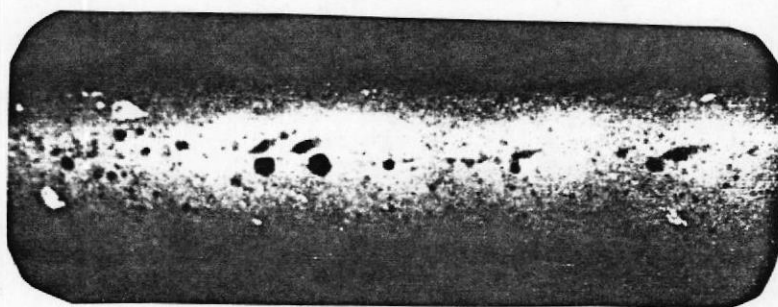


FIG. 73.- INCLUSIONES DE COBRE



CIB-ESPOL

PU.-

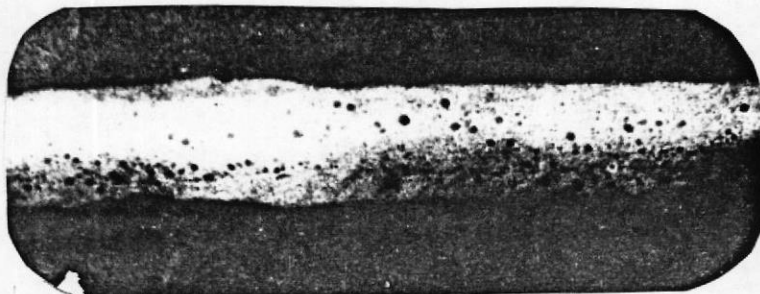


FIG. 74.- POROSIDAD UNIFORME



CIB-ESPOL

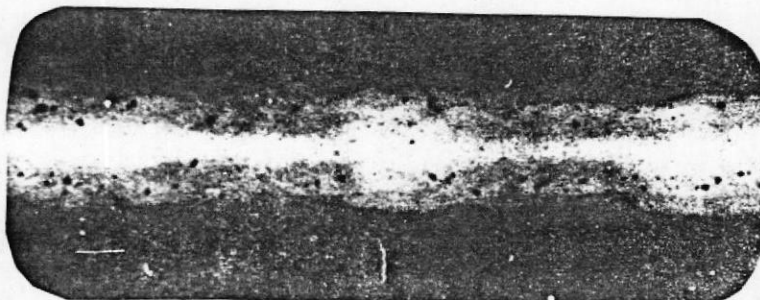


FIG. 75.- POROSIDAD UNIFORME

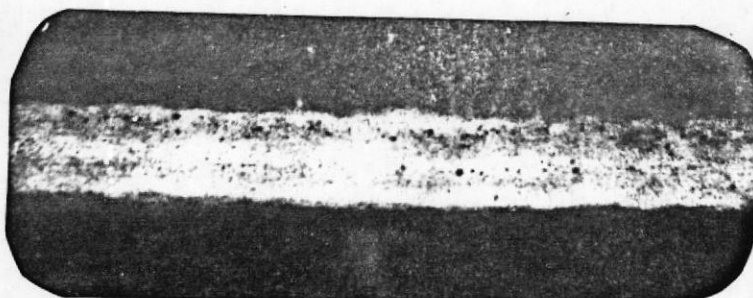


FIG. 76.- POROSIDAD UNIFORME

estas imperfecciones tienen apariencia similar a las porosidades uniformes, la figura N° 77 muestra la imagen de este tipo de defecto.

PL.- POROSIDAD LINEAL

Lo constituye una sarta de poros de gases situados paralelamente al eje de la soldadura, este tipo de porosidad es frecuentemente acompañada por la falta de fusión que puede o no aparecer en la imagen radiográfica. Un segundo tipo de porosidad lineal puede existir en los bordes del cordón, pero ésta imperfección no sigue una línea recta. Esta imagen puede confundirse con pequeños huecos en la soldadura ocasionados por un exceso de fusión; la figura N° 78 - muestra este tipo de defecto.

EC.- CAVIDADES ALARGADAS

Ocurren en la raíz de la soldadura debido al uso de condiciones inestables en el arco; aparecen en la radiografía - como sombras oscuras substancialmente paralelas al eje del cordón, variando en tamaño y forma. En las radiografías se ven como sombras oscuras substancialmente paralelas al eje del cordón variando en tamaño y forma de acuerdo a la geometría de la imperfección.

La figura N° 79 muestra la imagen de este defecto.

WH.- PICADURA

Es alargada o tubular cavidad en la soldadura causada por un



PG.-

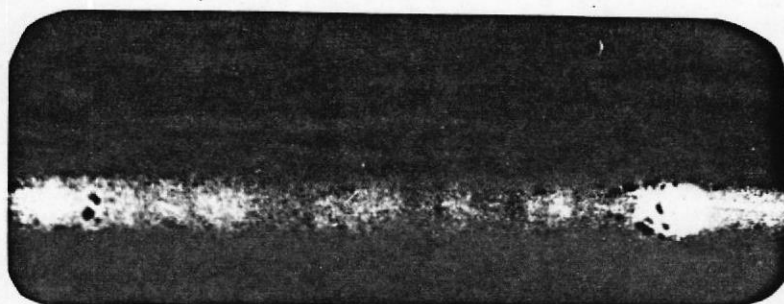


FIG. 77.- POROSIDADES LOCALIZADAS

PL.-

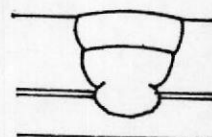
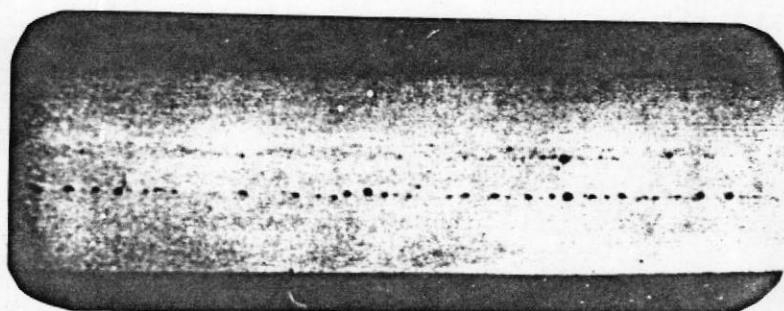


FIG. 78.- POROSIDADES LINEALES

EC.-

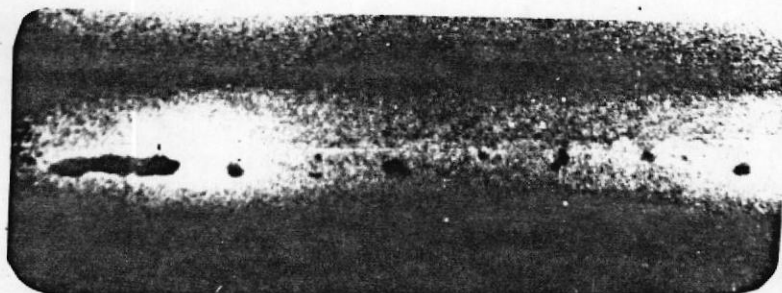


FIG. 79.- CAVIDADES ALARGADAS

entrampamiento de gas, aparece en la radiografía como una sombra oscura, cuya forma depende de la orientación del defecto. Si el hueco aparece en la superficie por donde está el haz de rayos se producirá en la radiografía una sombra oscura redonda.

La porosidad puede dar imágenes similares pero se la puede distinguir porque las picaduras aparecen con bordes di fusos, siendo dependiente además de la posición en la que se efectuó la toma. Si la toma radiográfica fue desde un ángulo, se producirá una sombra alargada.

Las figuras N^o 80 y N^o 81 muestran este tipo de defectos tal como se los ve en las radiografías.



WH.-

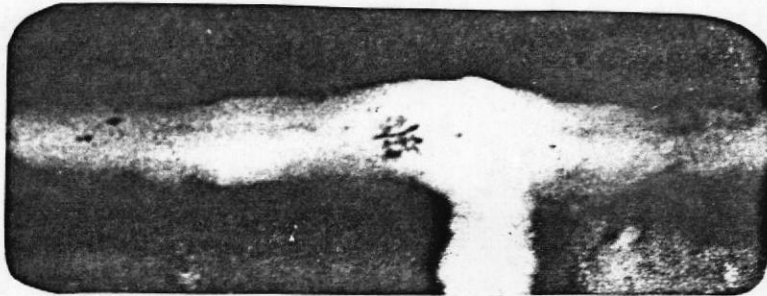


FIG. 80.- PICADURA

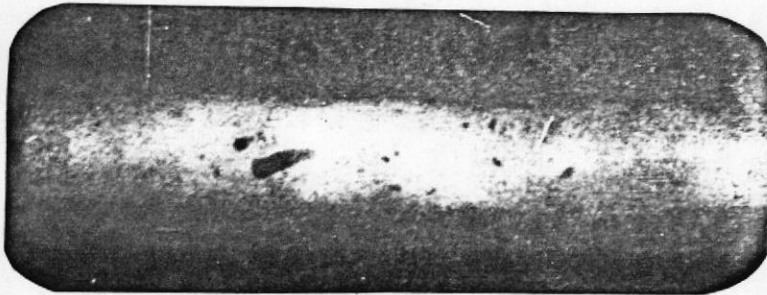
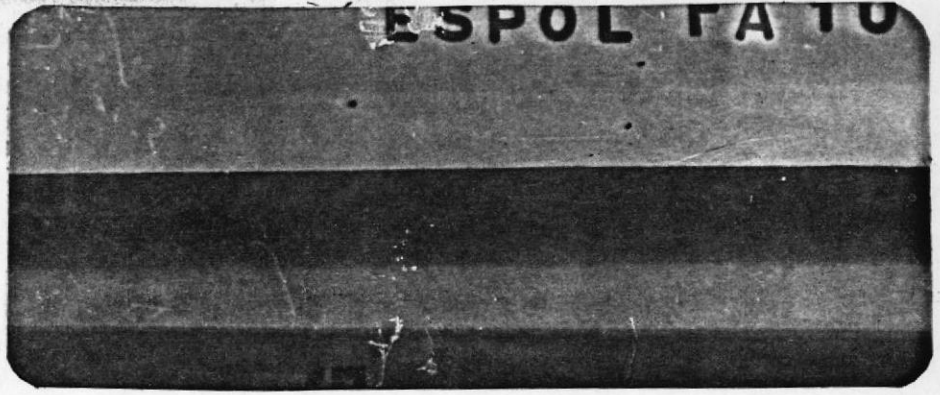
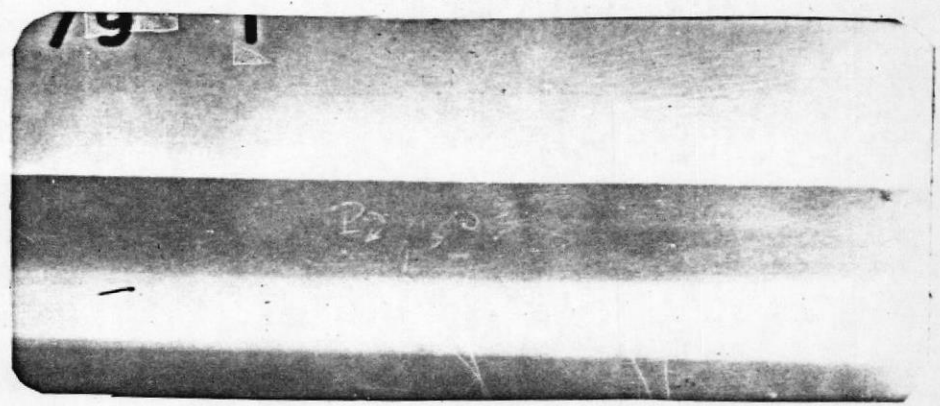


FIG. 81.- PICADURA

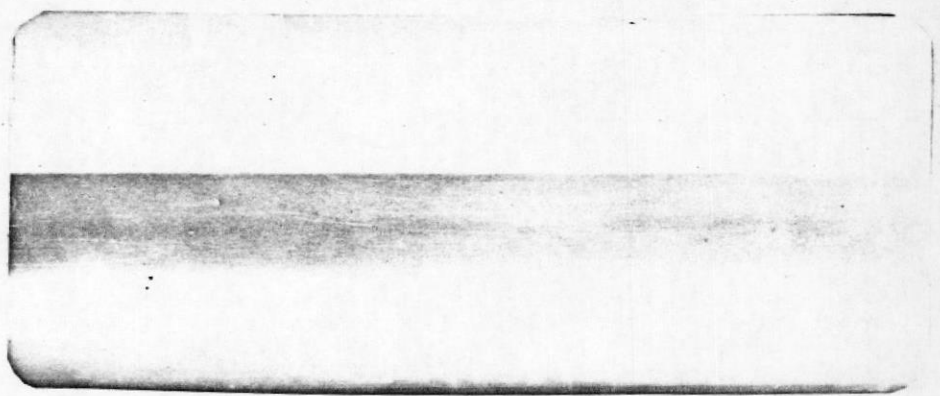
SEGMENTO Nº 1



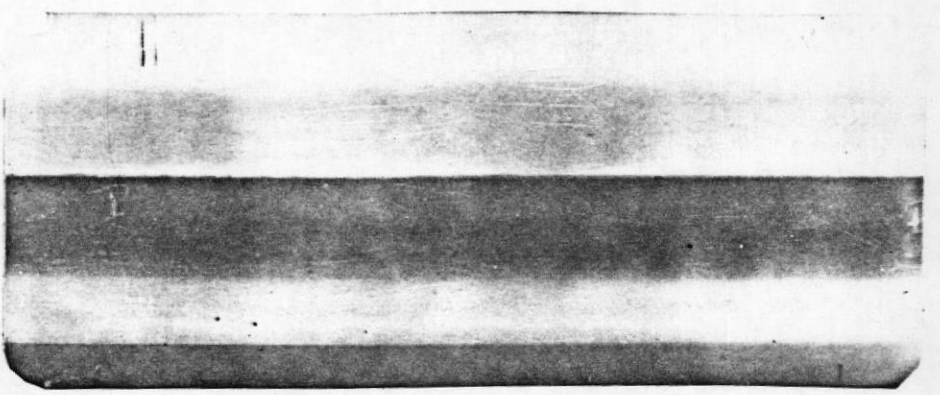
SEGMENTO Nº 2



SEGMENTO Nº 3

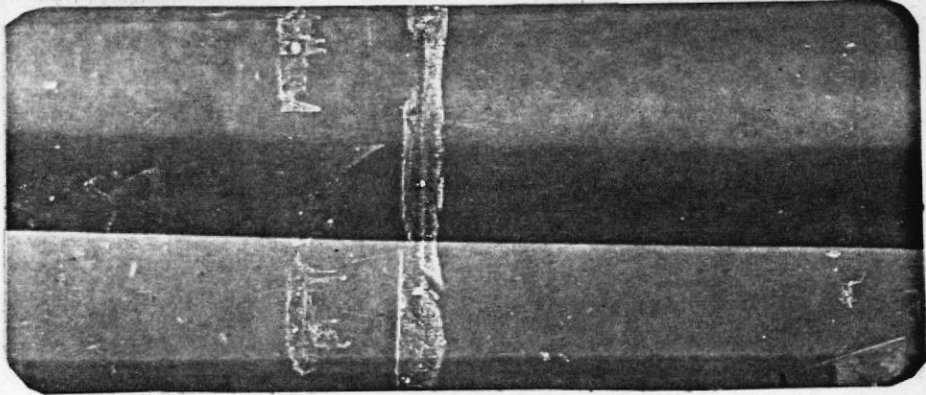


SEGMENTO Nº 4

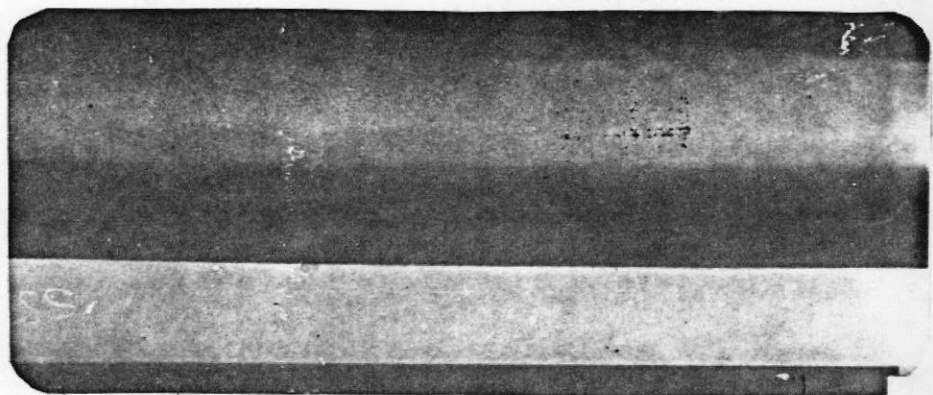


POSITIVAS DE LA RADIOGRAFIA DE LA PROBETA Nº 1

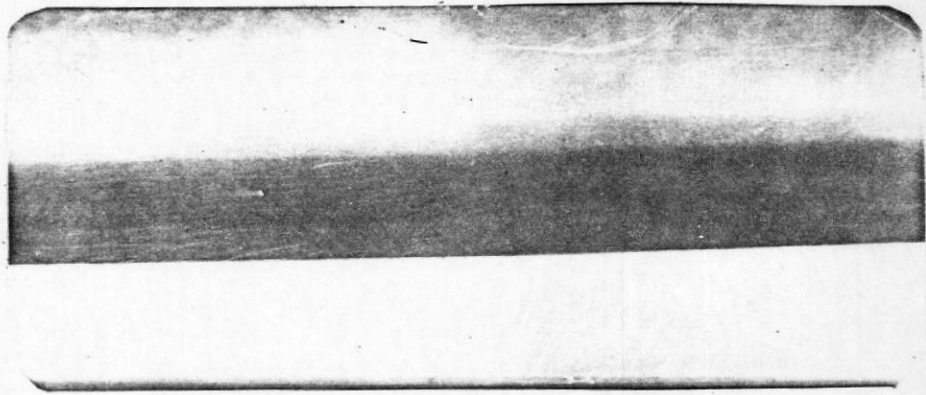
SEGMENTO Nº 5



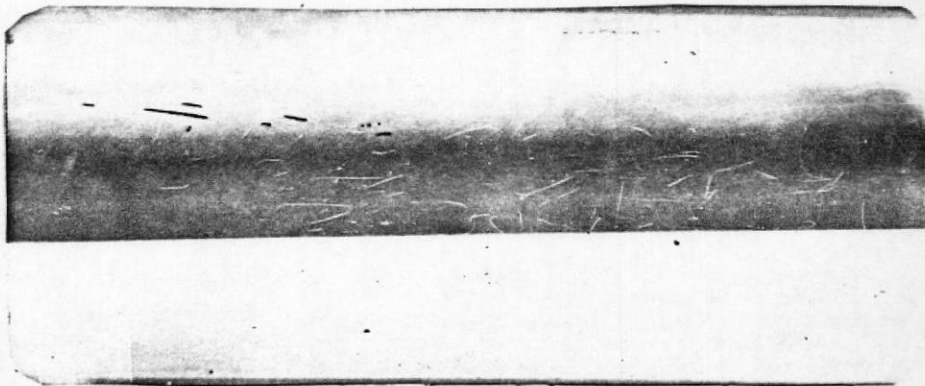
SEGMENTO Nº 6



SEGMENTO Nº 7



SEGMENTO Nº 8



ESPOL FA 10

SEGMENTO N° 1

5

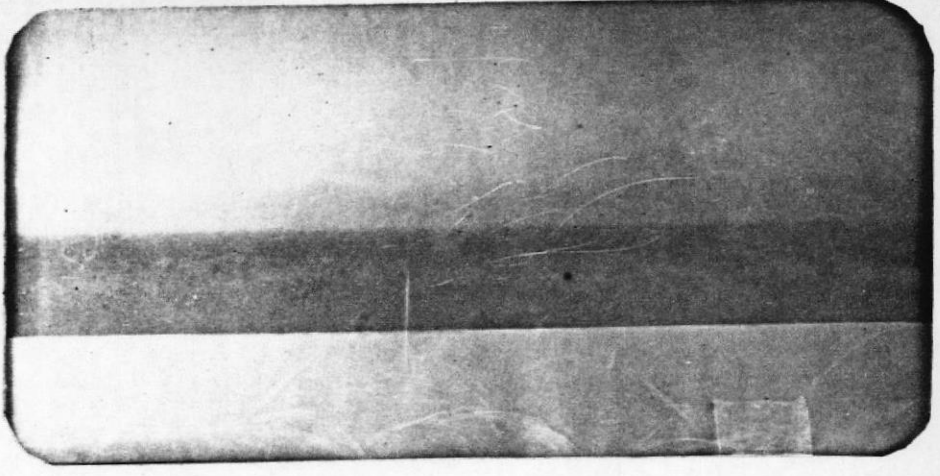
SEGMENTO N° 2

79

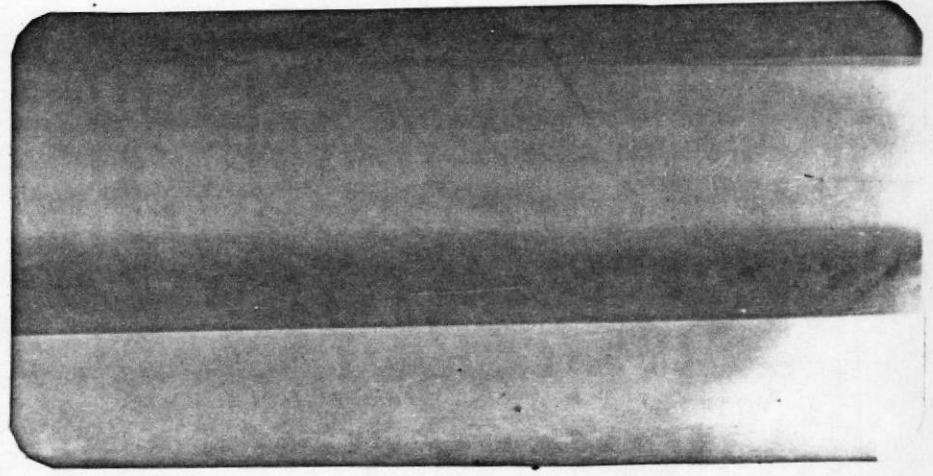
SEGMENTO N° 3

SEGMENTO N° 4

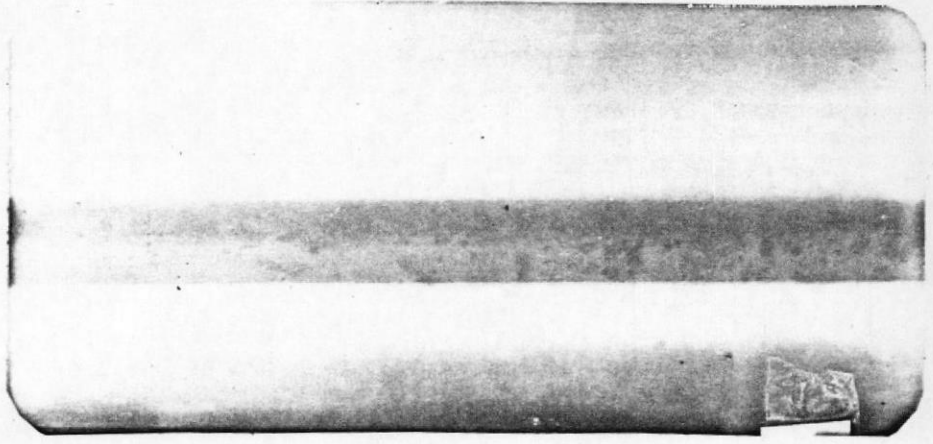
SEGMENTO Nº 53



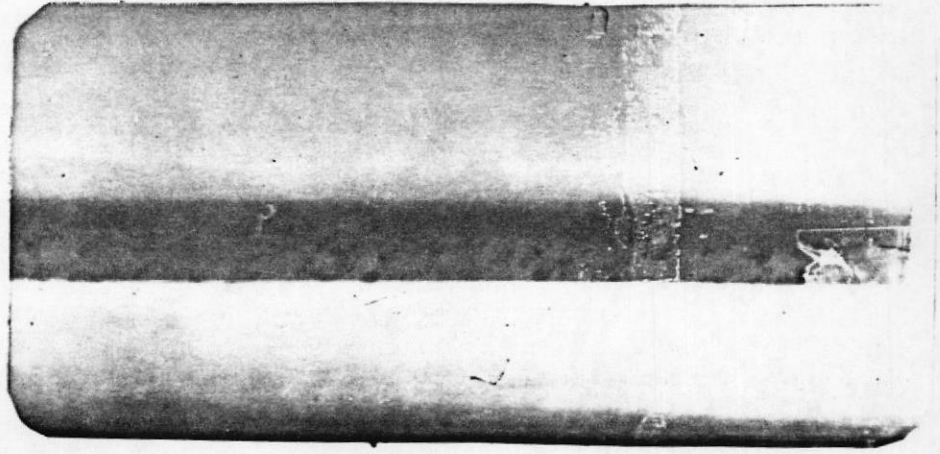
SEGMENTO Nº 6



SEGMENTO Nº 7



SEGMENTO Nº 8



ESPOL FA 10 7

SEGMENTO Nº 1

5

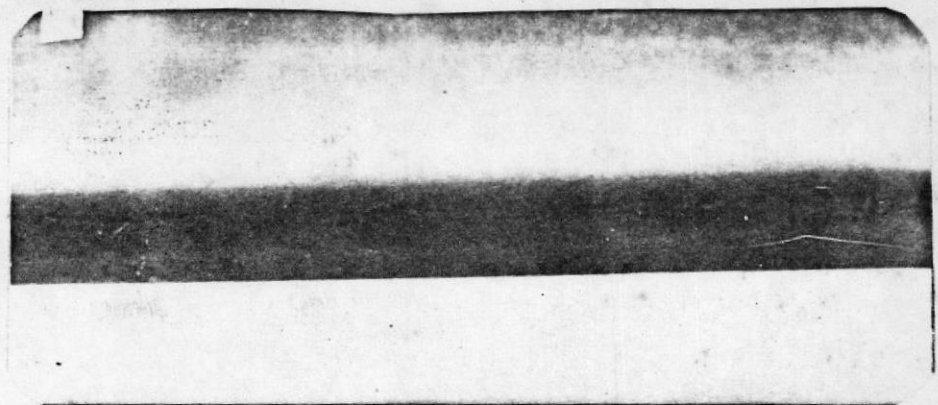
SEGMENTO Nº 2

9 3

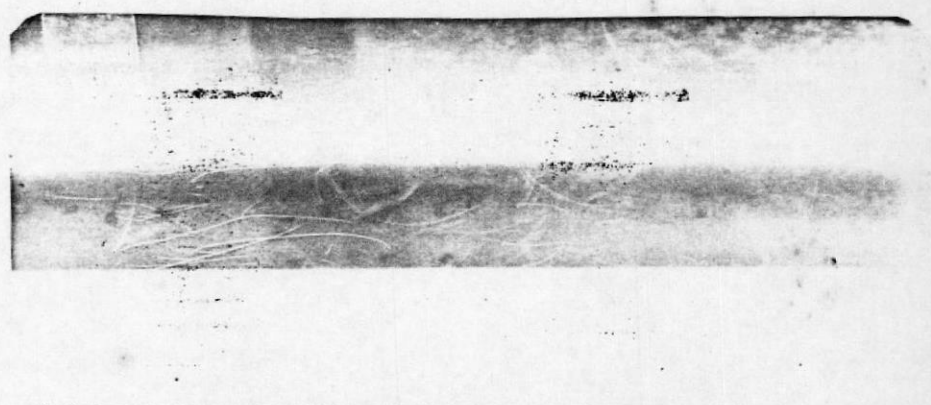
SEGMENTO Nº 3

SEGMENTO Nº 4

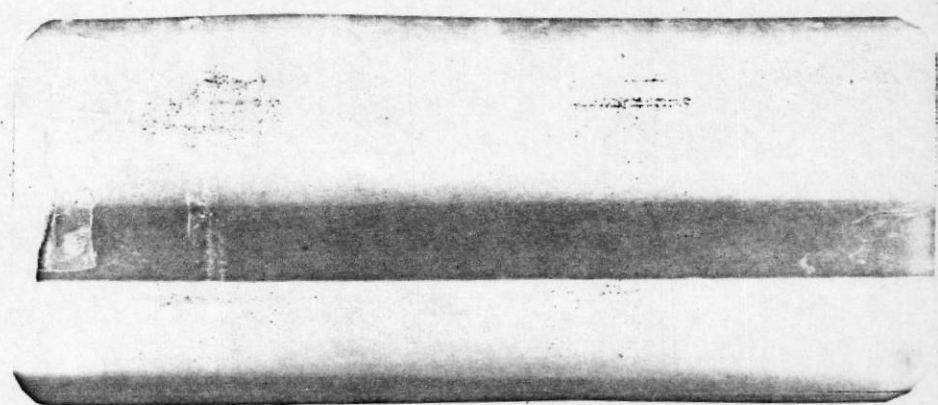
SEGMENTO N° 5



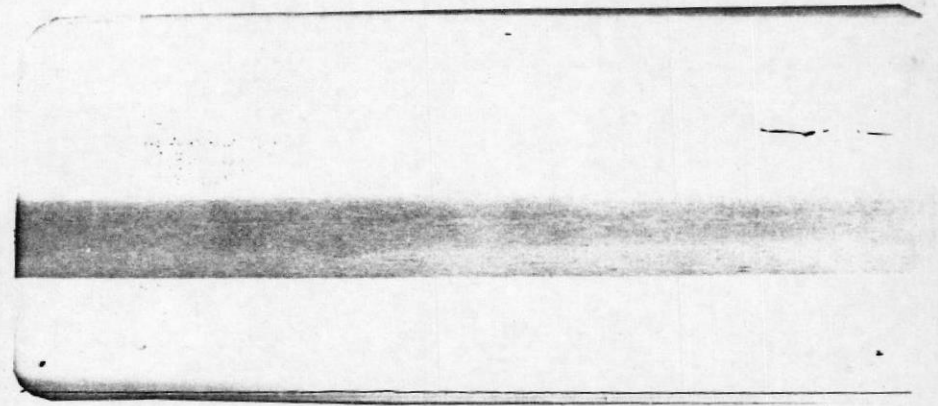
SEGMENTO N° 6



SEGMENTO N° 7



SEGMENTO N° 8

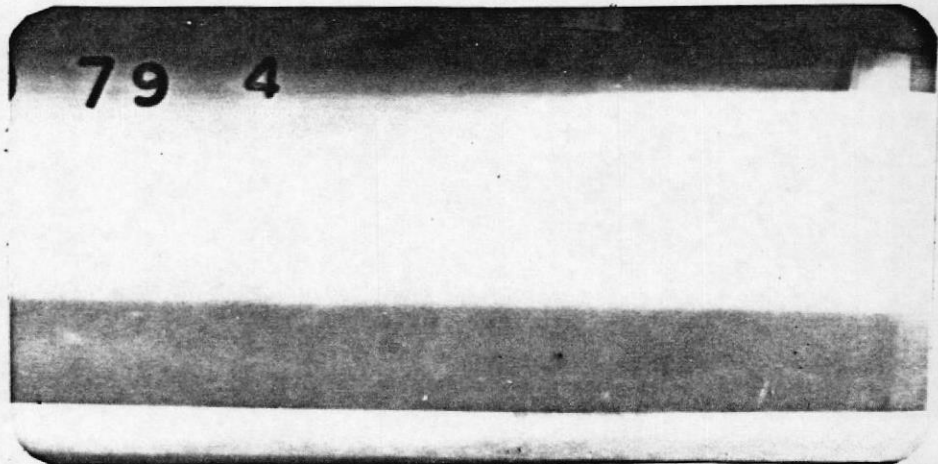


ESPOL FA 10

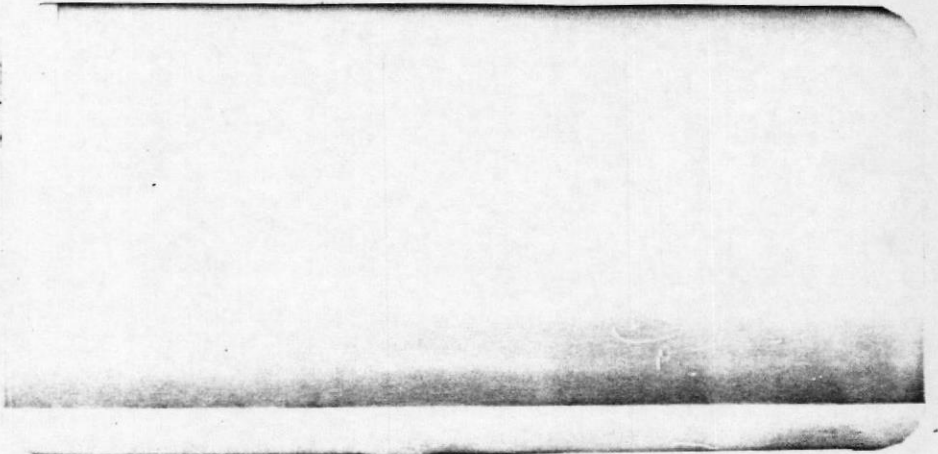
SEGMENTO Nº 1



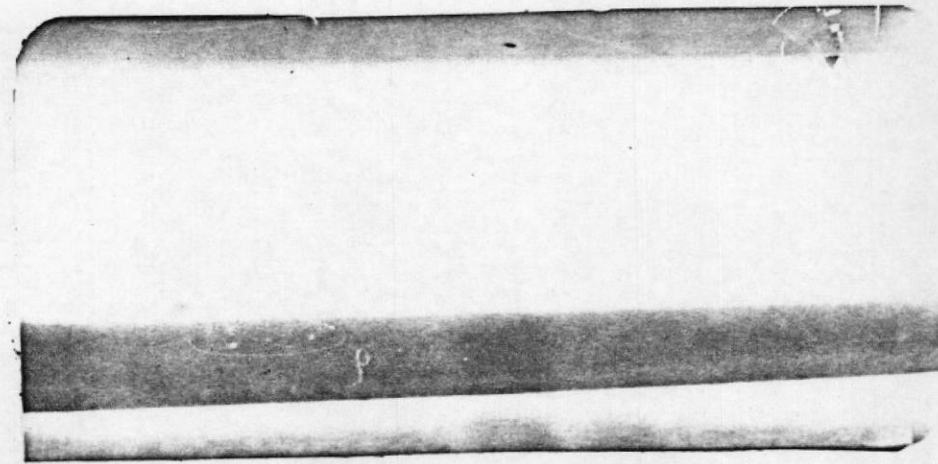
SEGMENTO Nº 2



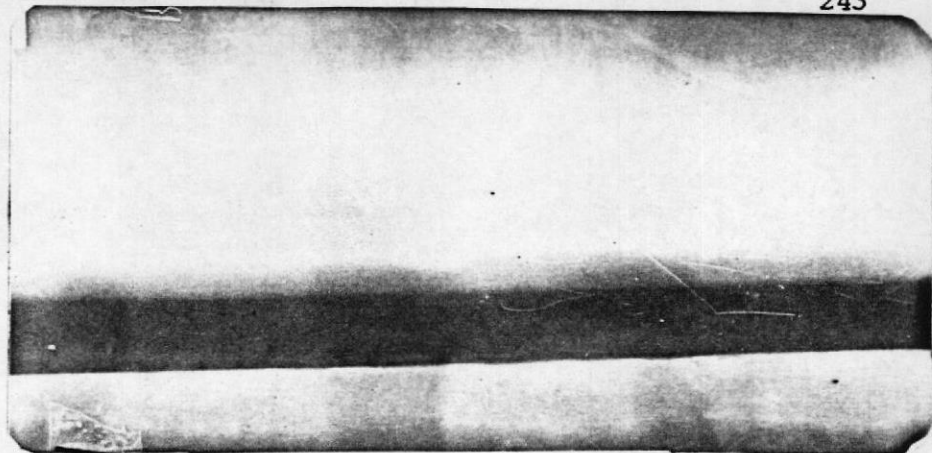
SEGMENTO Nº 3



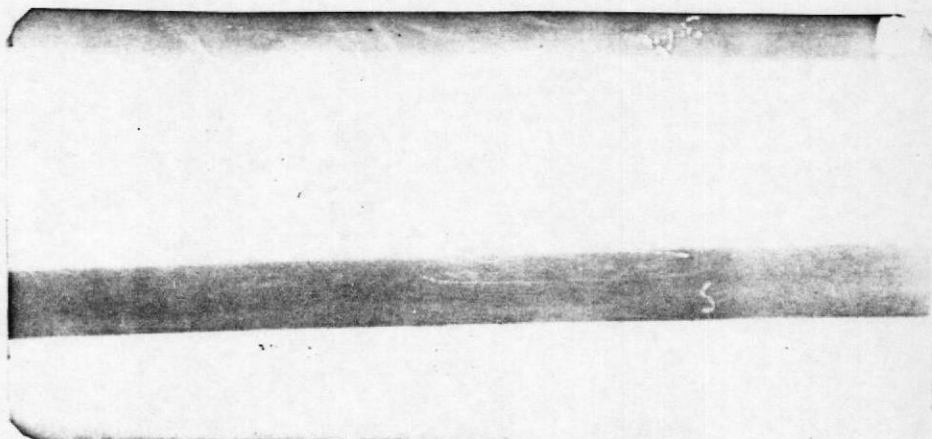
SEGMENTO Nº 4



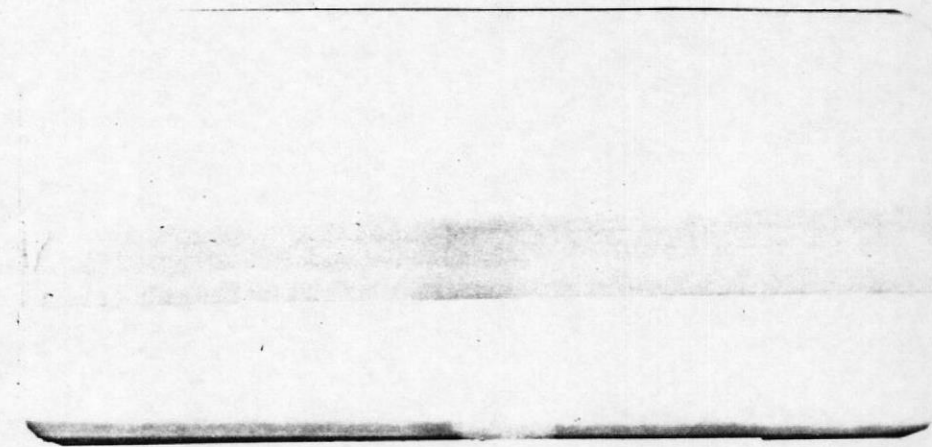
SEGMENTO N° 5.



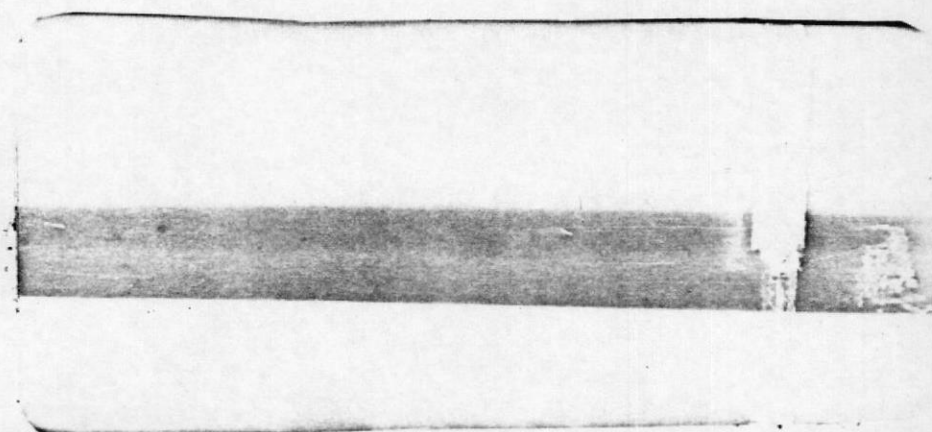
SEGMENTO N° 6.



SEGMENTO N° 7.

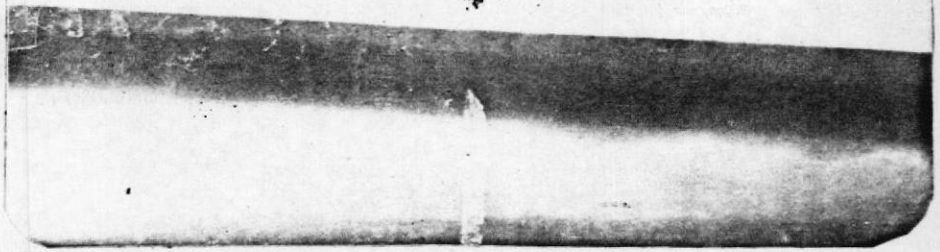


SEGMENTO N° 8

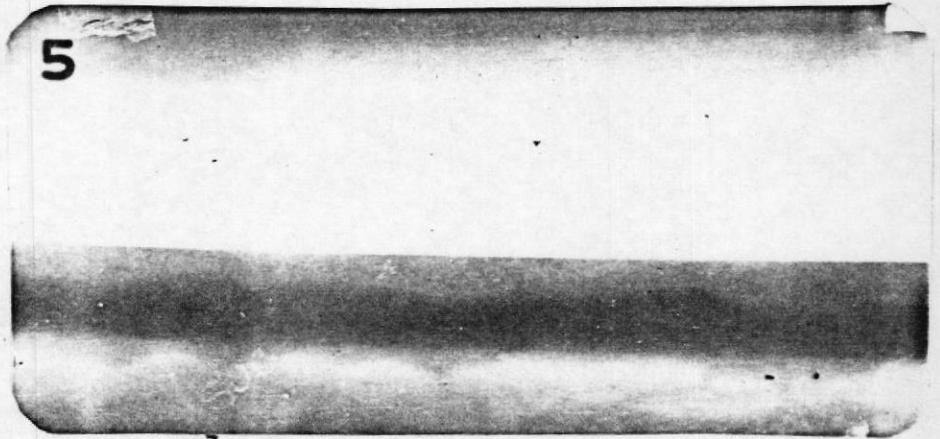


ESPOL FA 10 79

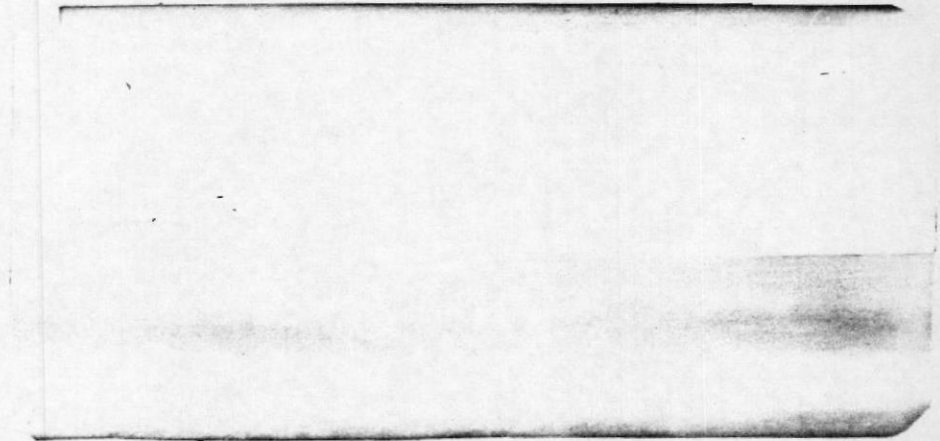
SEGMENTO N° 1



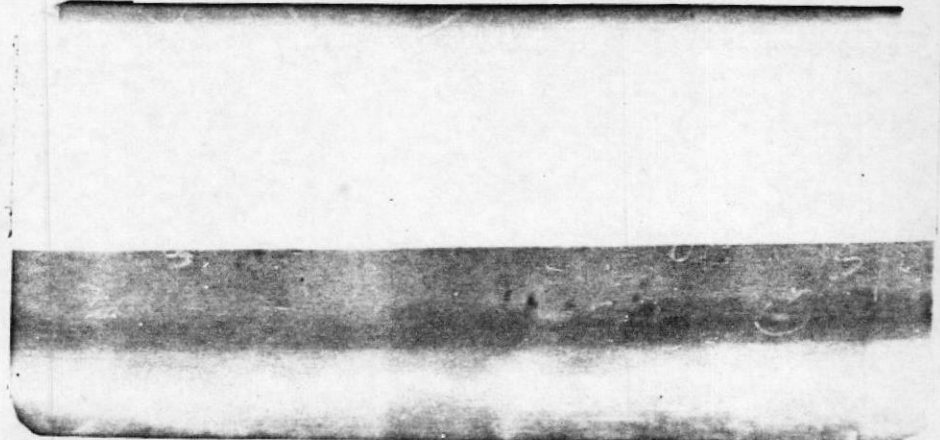
SEGMENTO N° 2



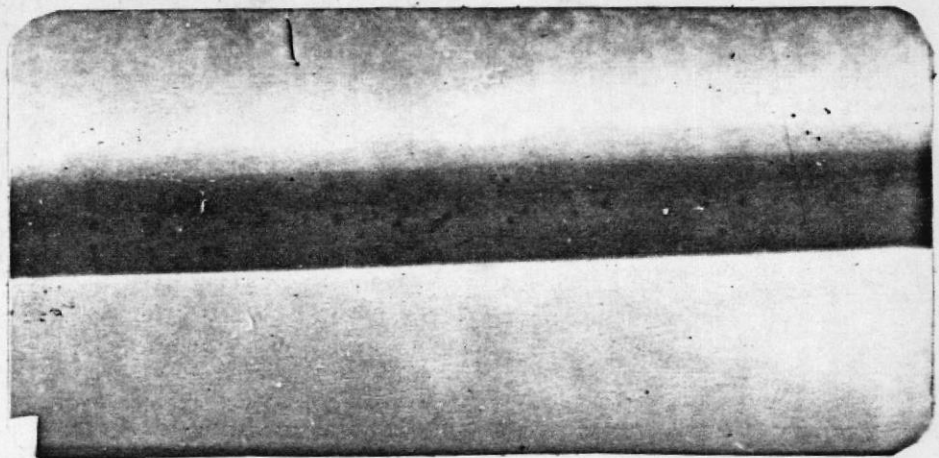
SEGMENTO N° 3



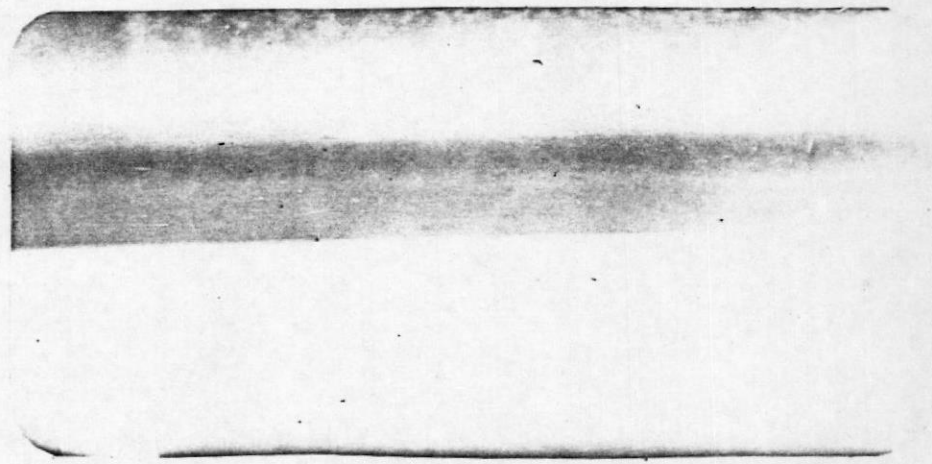
SEGMENTO N° 4



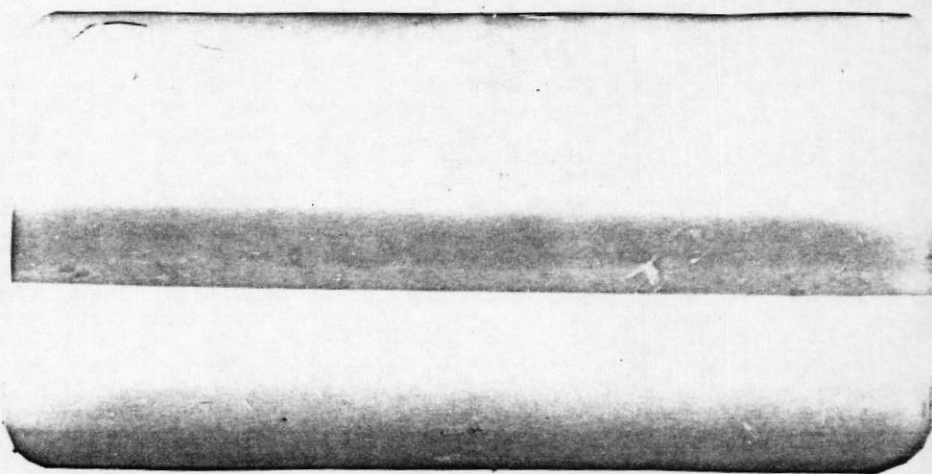
SEGMENTO Nº 5



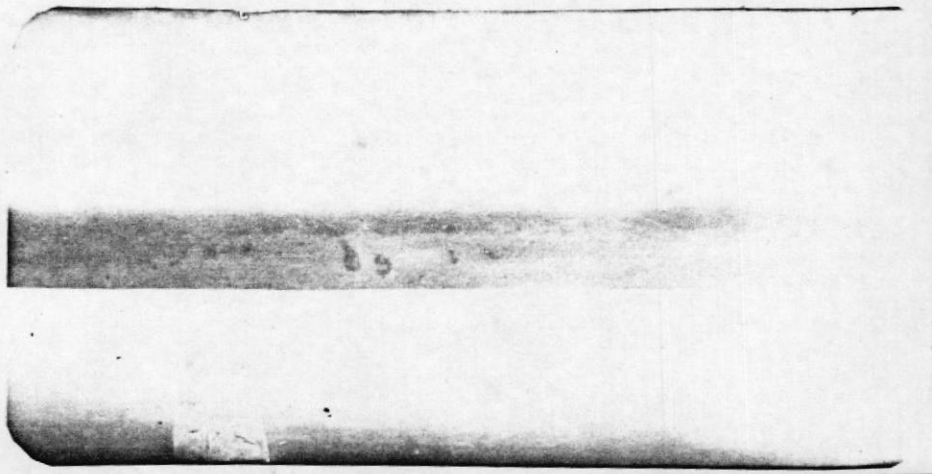
SEGMENTO Nº 6



SEGMENTO Nº 7



SEGMENTO Nº 8

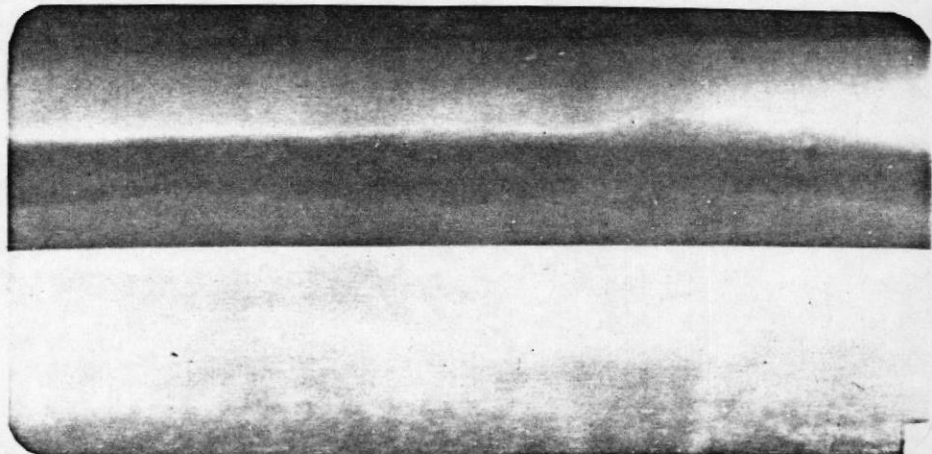


ESPOL FA 10 79 6

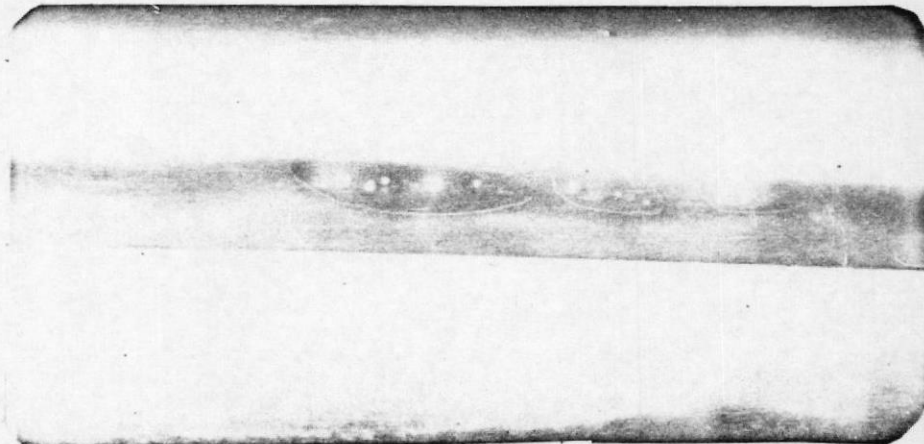
SEGMENTO Nº 1



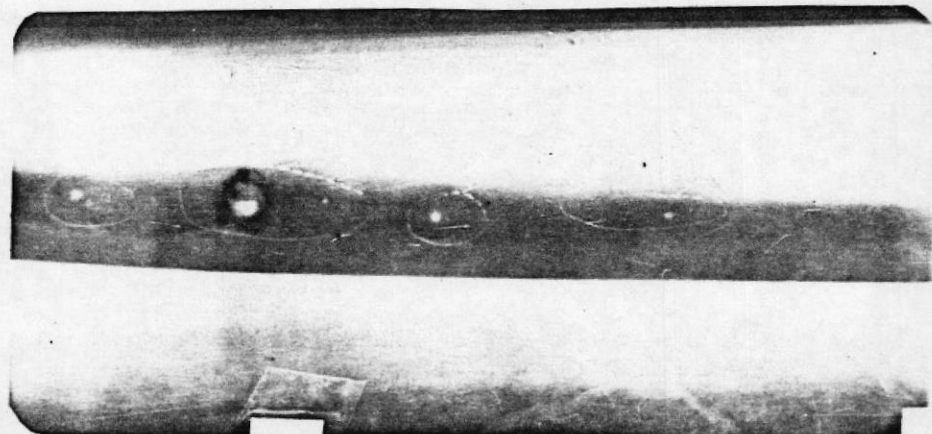
SEGMENTO Nº 2



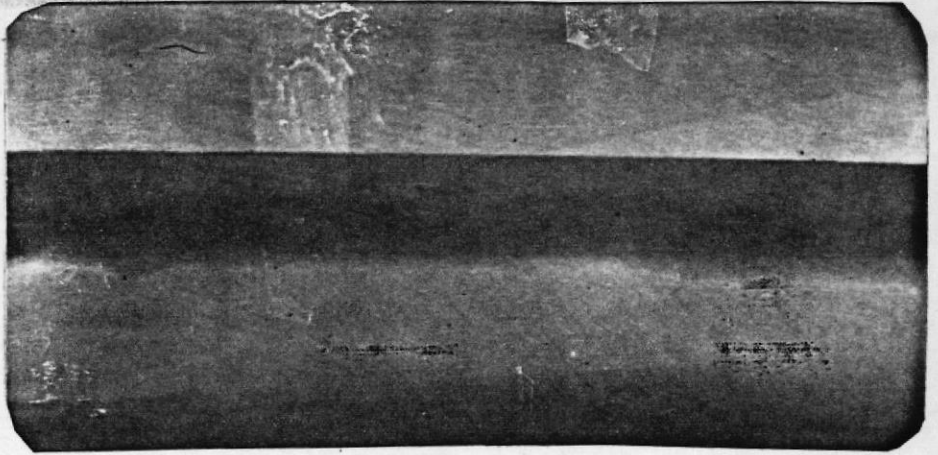
SEGMENTO Nº 3



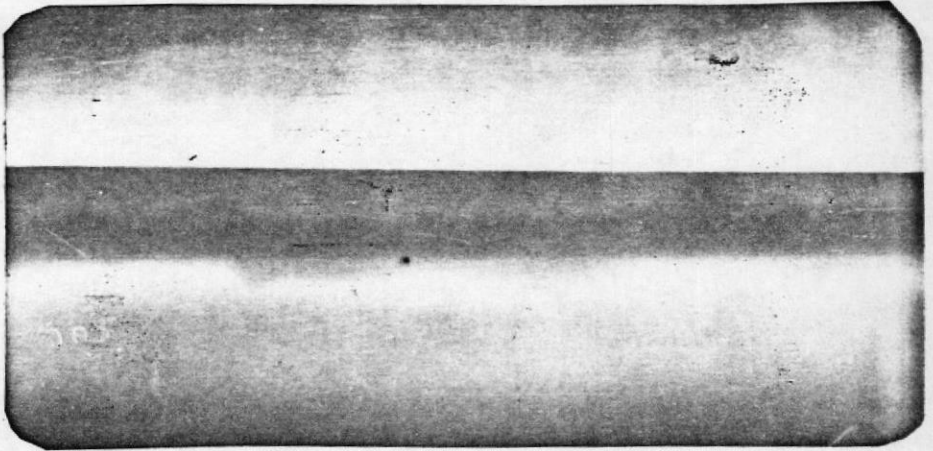
SEGMENTO Nº 4



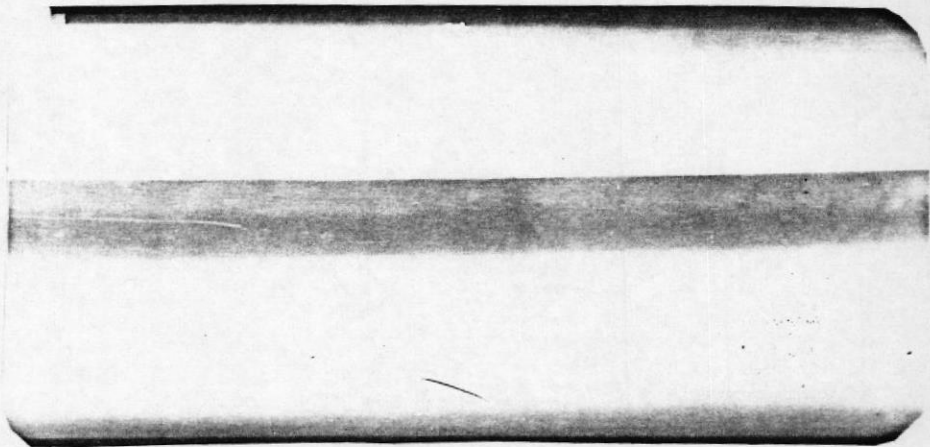
SEGMENTO N° 5



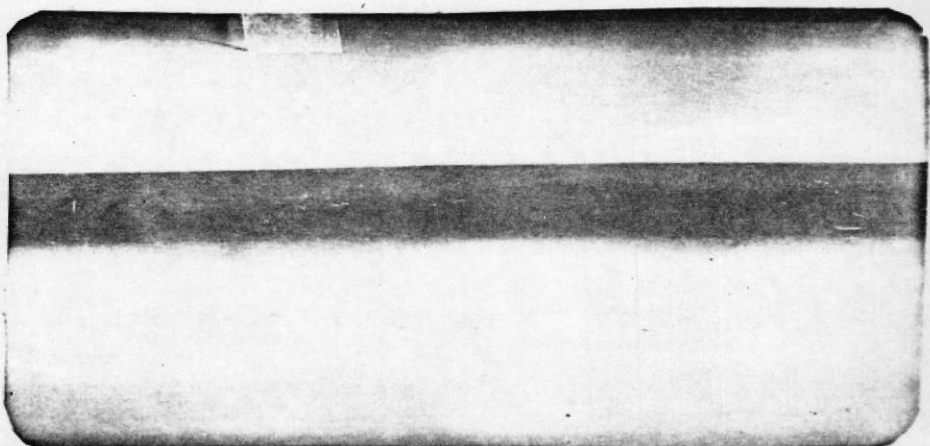
SEGMENTO N° 6



SEGMENTO N° 7



SEGMENTO N° 8



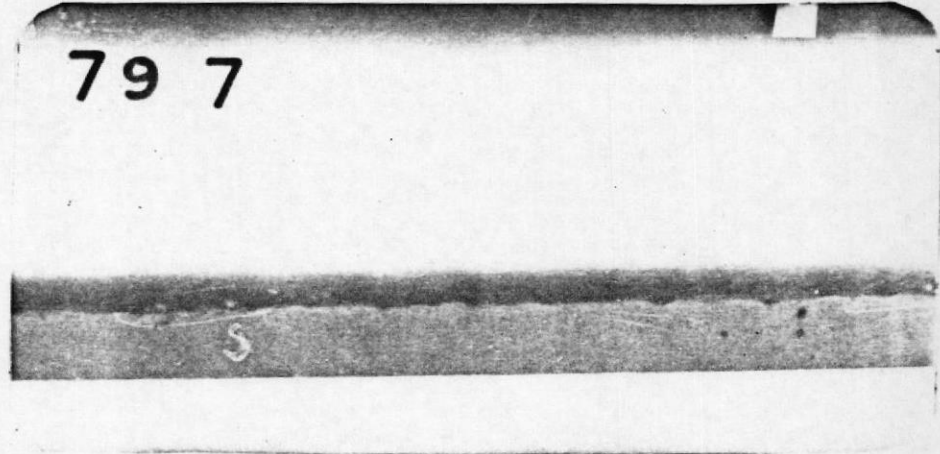
ESPOL FA 10

SEGMENTO Nº 1

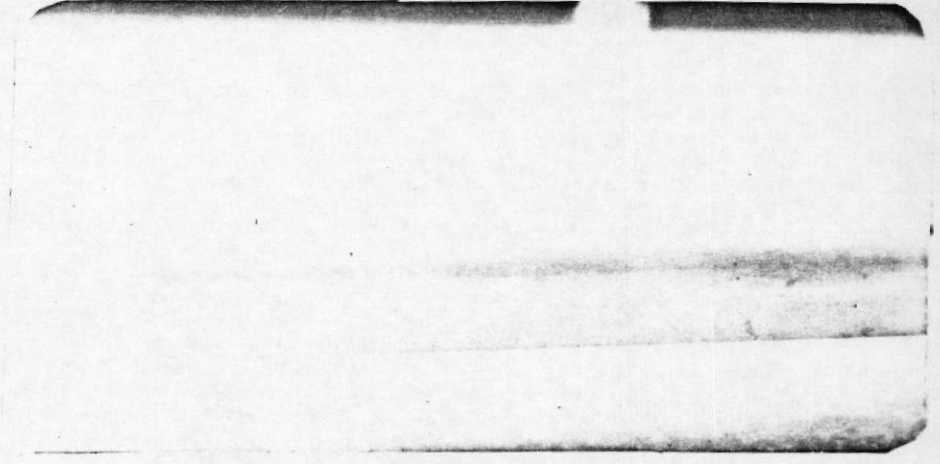


SEGMENTO Nº 2

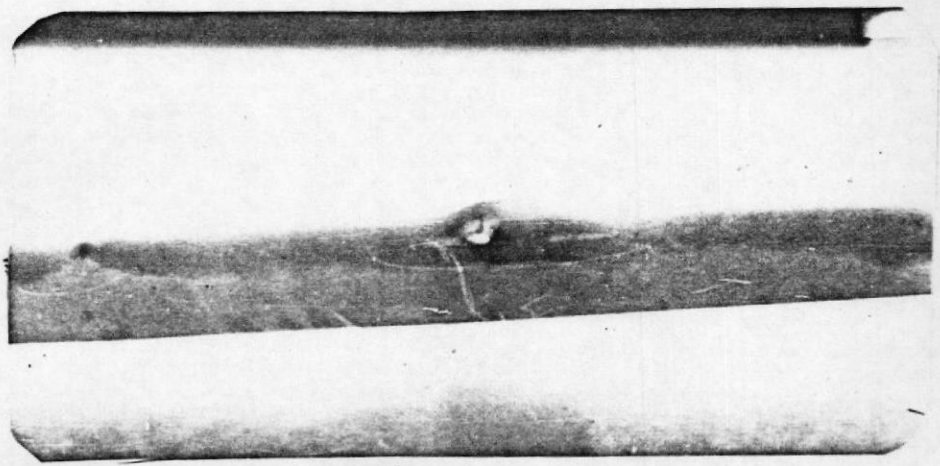
79 7



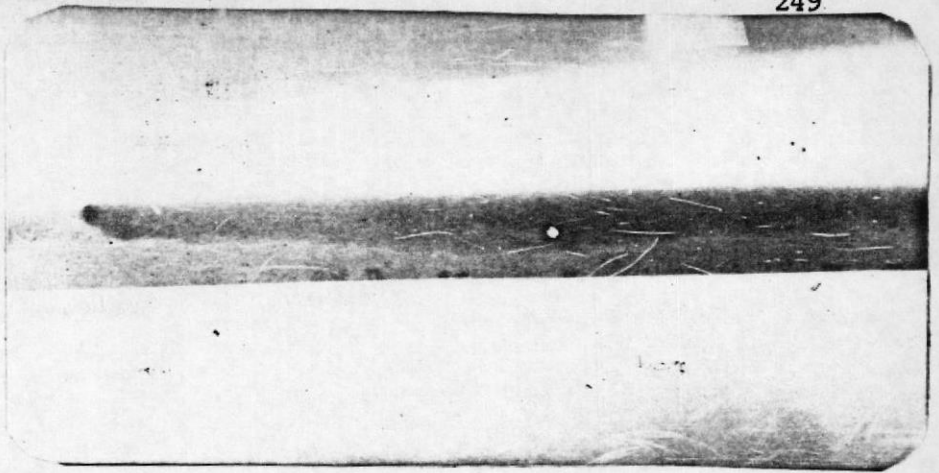
SEGMENTO Nº 3



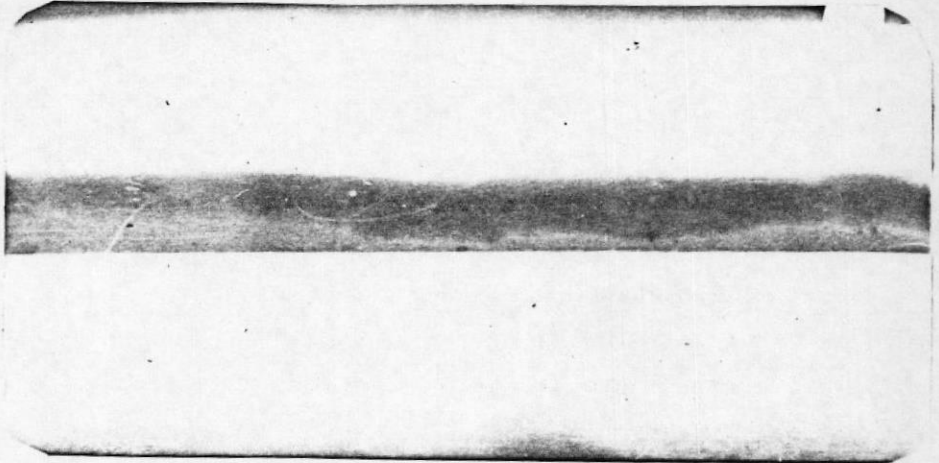
SEGMENTO Nº 4



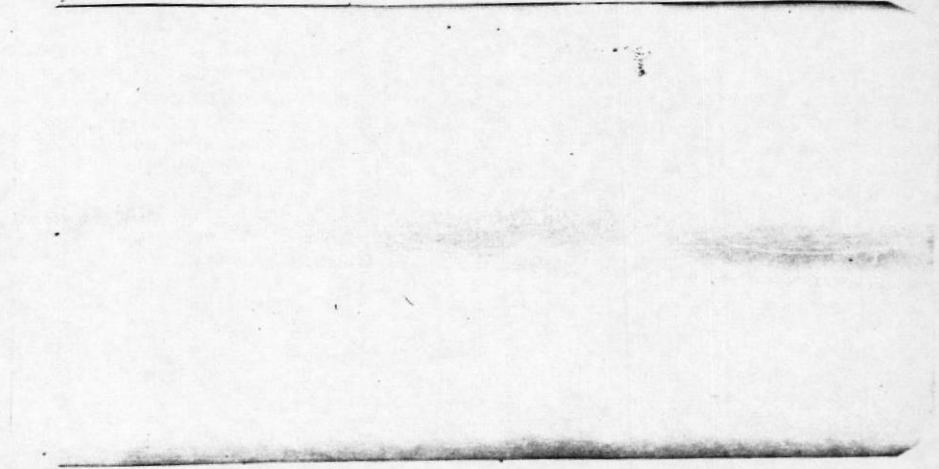
SEGMENTO N° 5



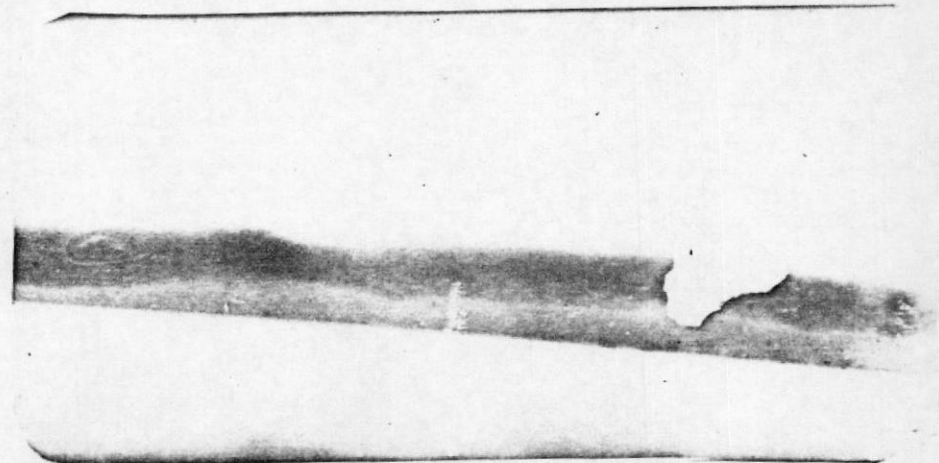
SEGMENTO N° 6



SEGMENTO N° 7



SEGMENTO N° 8

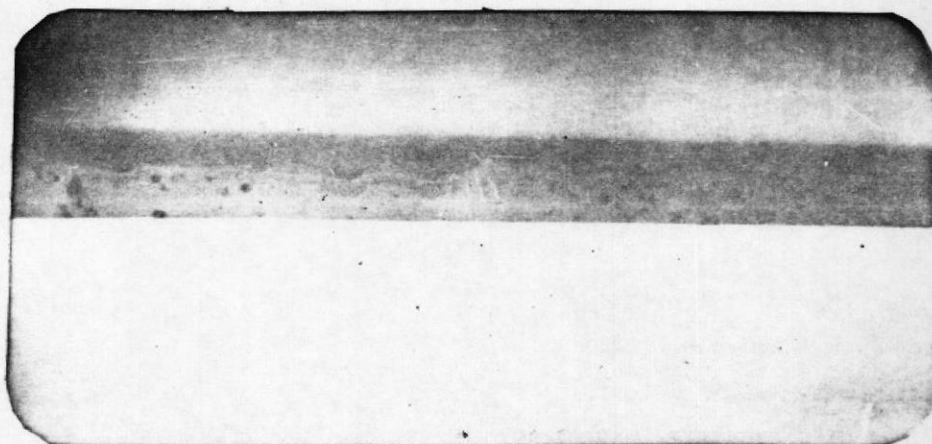


ESPOL FA 10 79 8

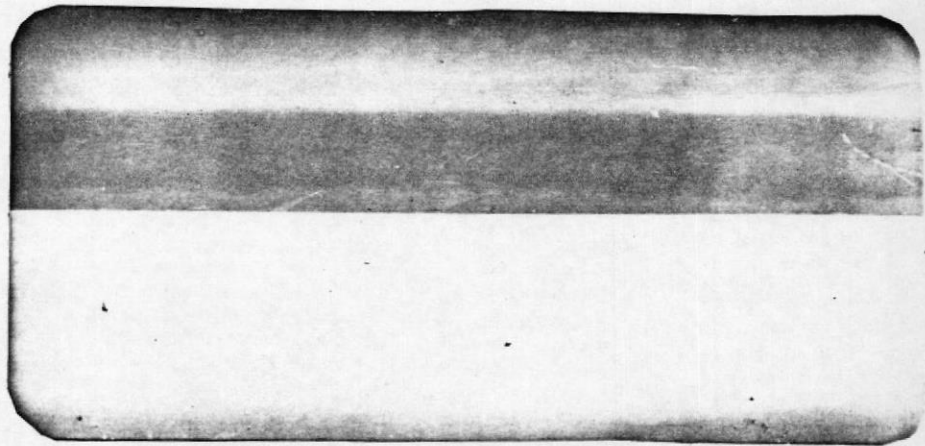
SEGMENTO N° 1



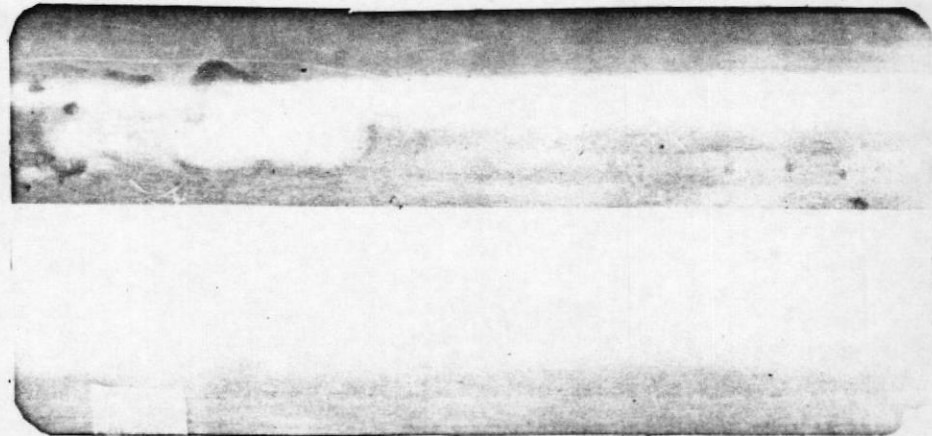
SEGMENTO N° 2



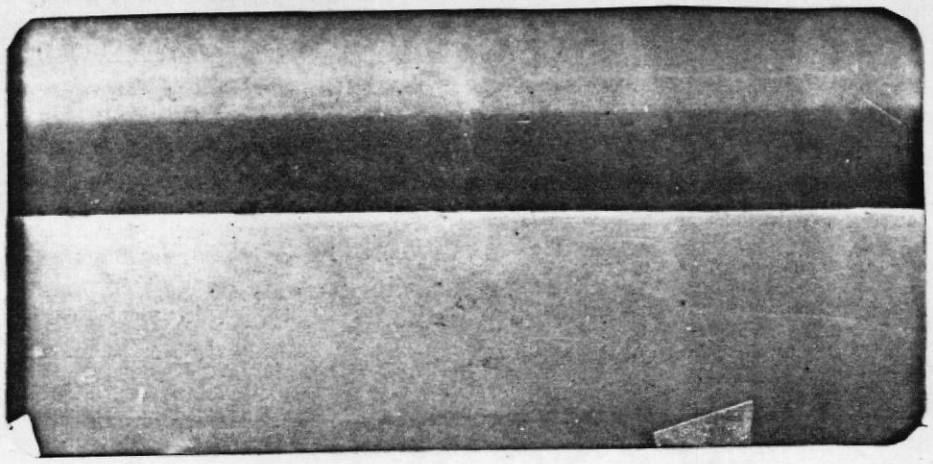
SEGMENTO N° 3



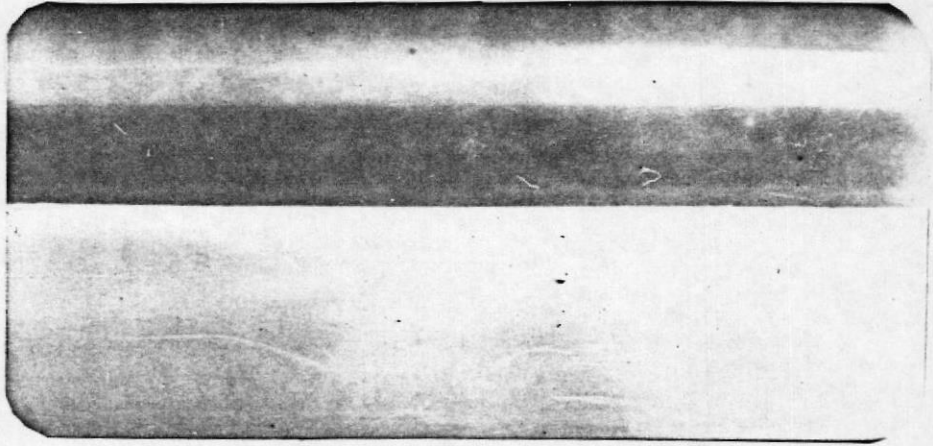
SEGMENTO N° 4



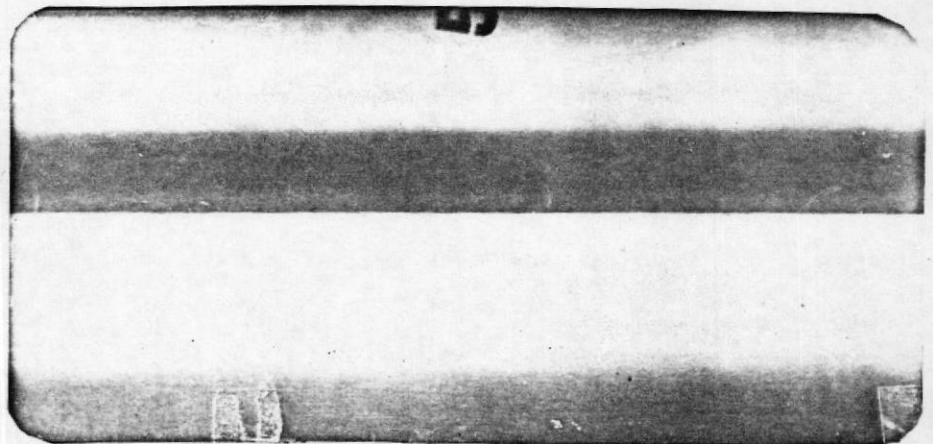
SEGMENTO N° 5



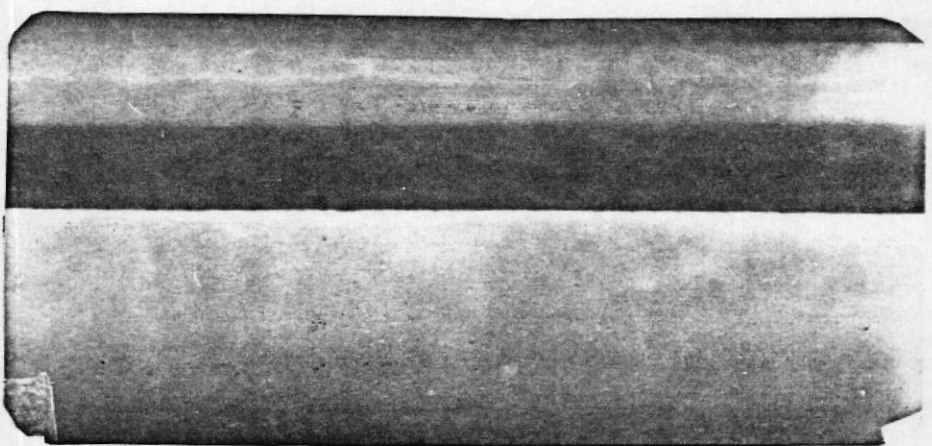
SEGMENTO N° 6



SEGMENTO N° 7

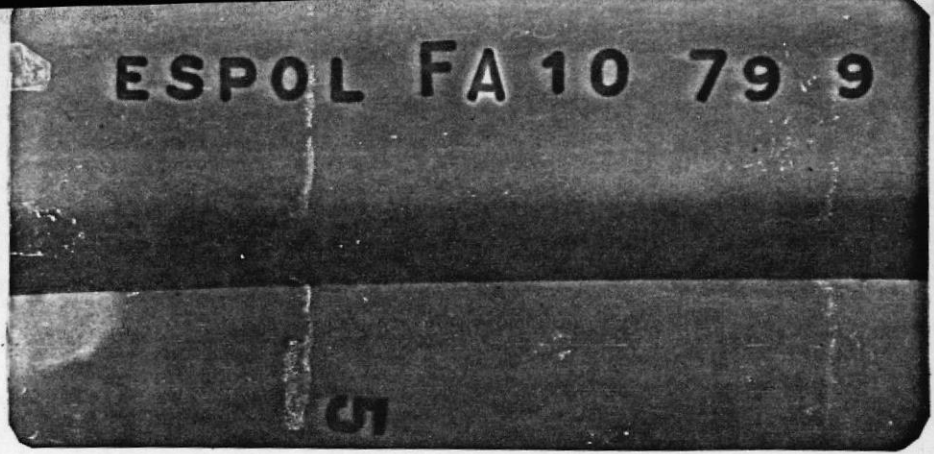


SEGMENTO N° 8

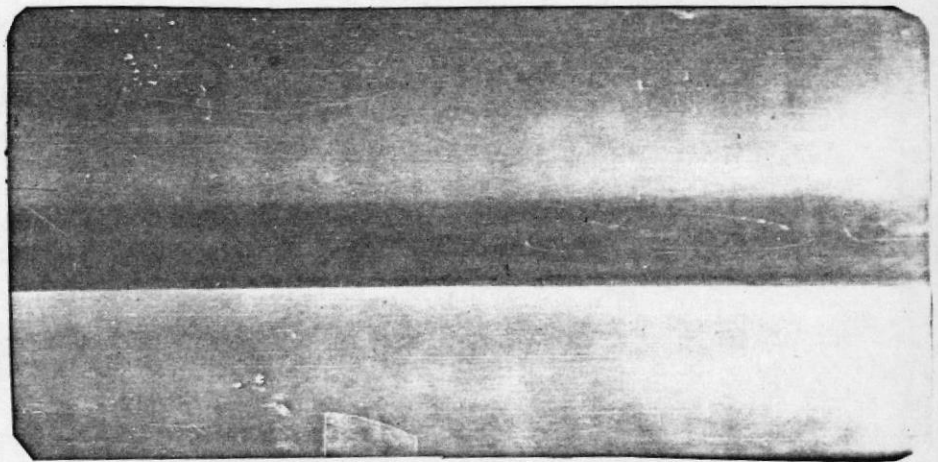


ESPOL FA 10 79 9

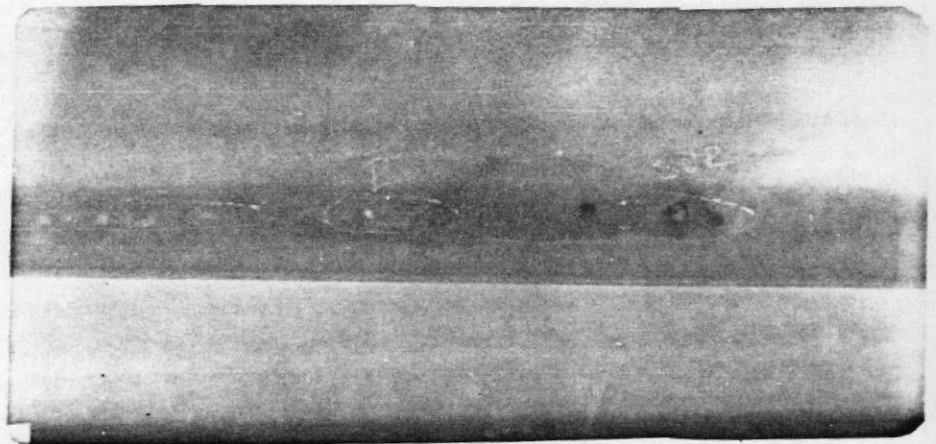
SEGMENTO N° 1



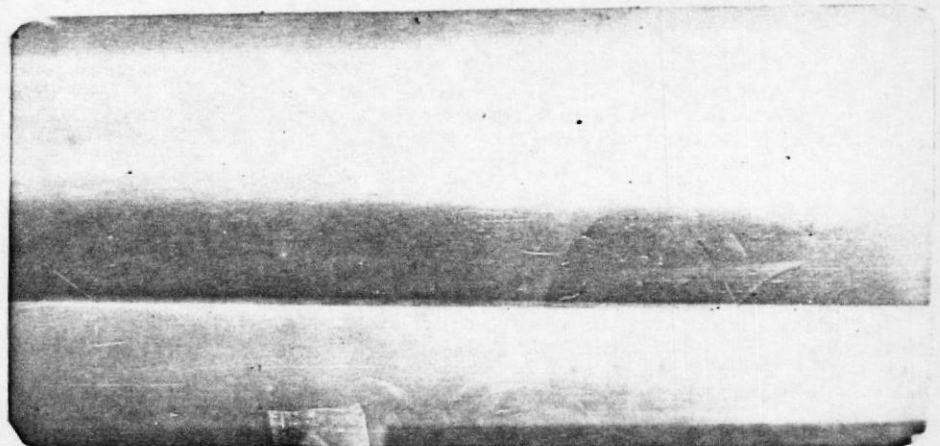
SEGMENTO N° 2



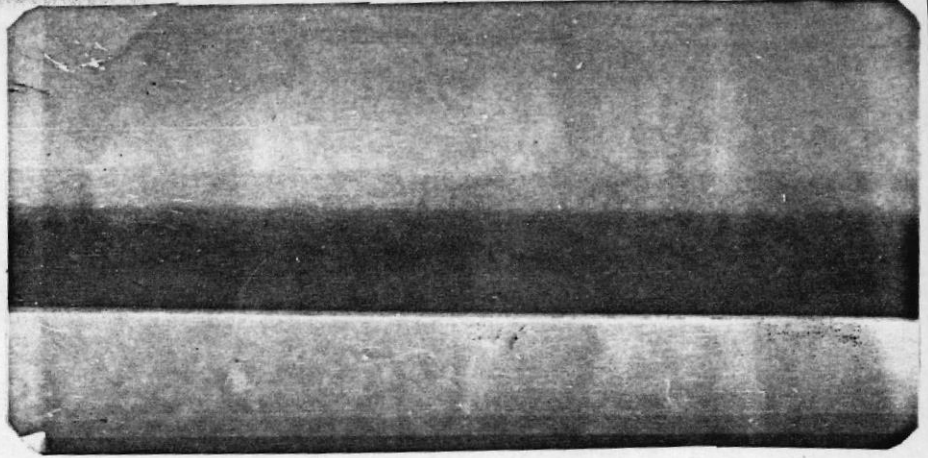
SEGMENTO N° 3



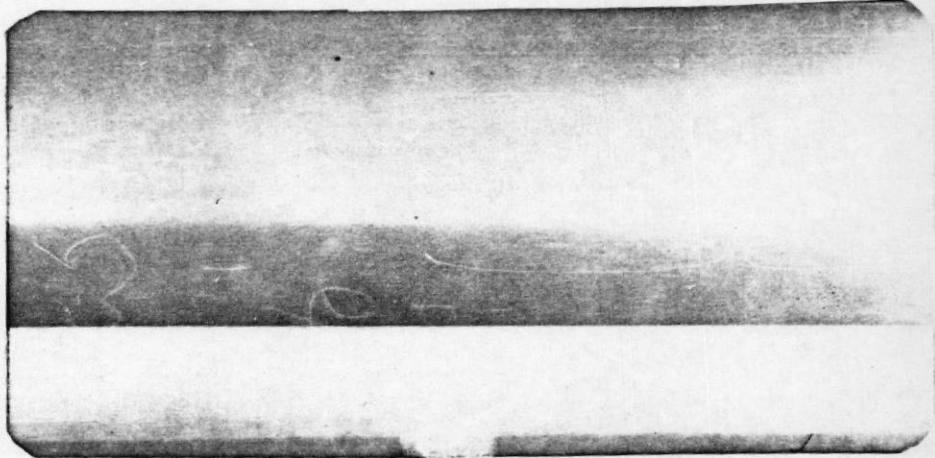
SEGMENTO N° 4



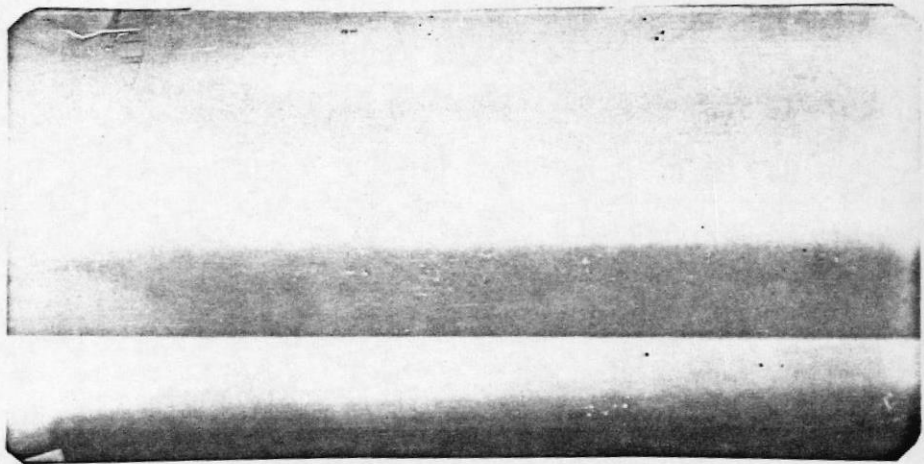
SEGMENTO Nº 5



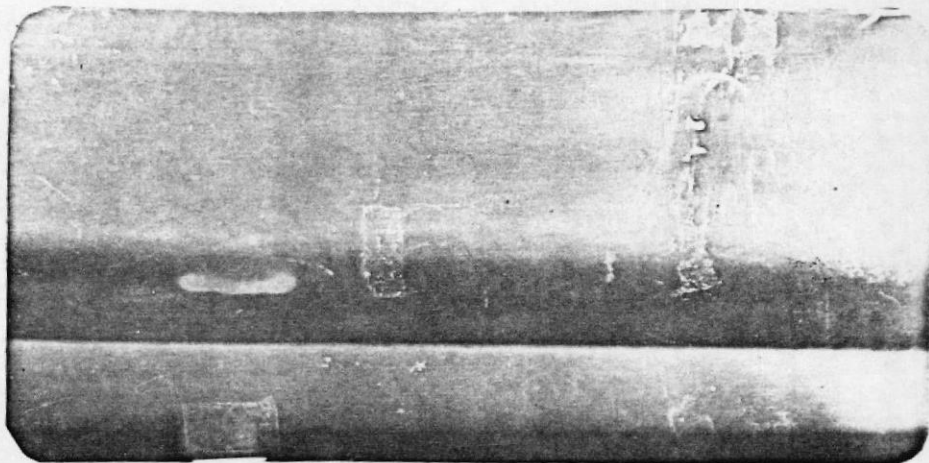
SEGMENTO Nº 6



SEGMENTO Nº 7



SEGMENTO Nº 8

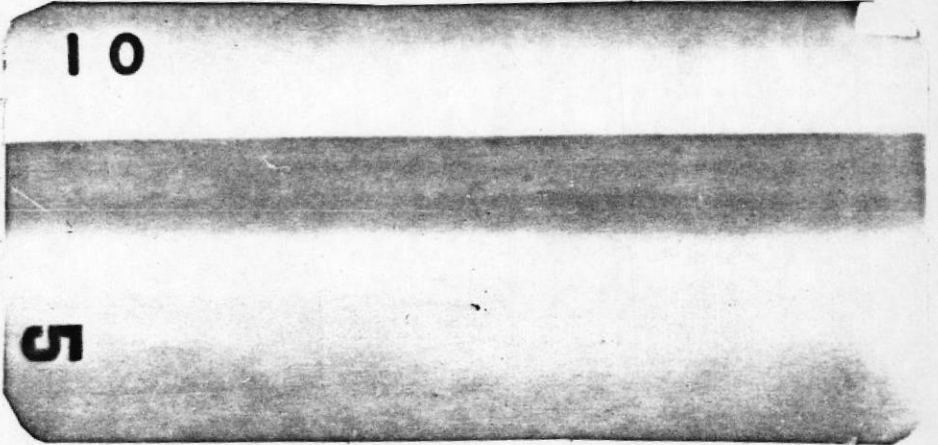


ESPOL FA 10 79

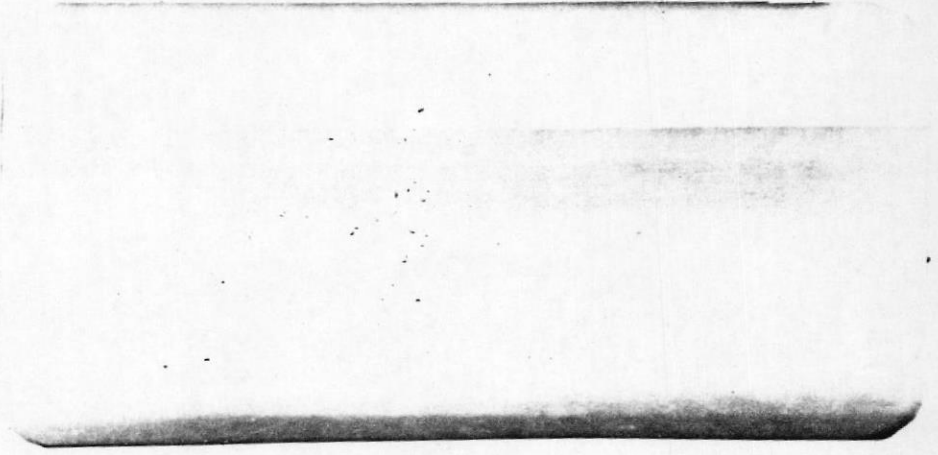
SEGMENTO N° 1



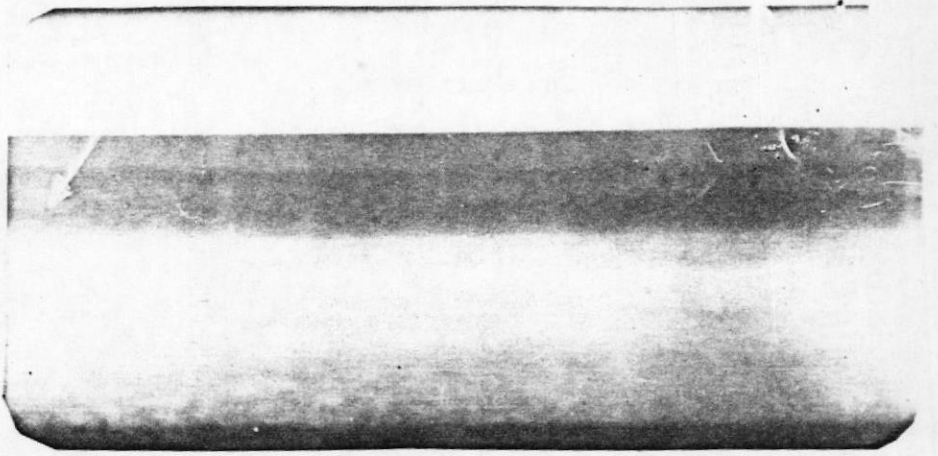
SEGMENTO N° 2



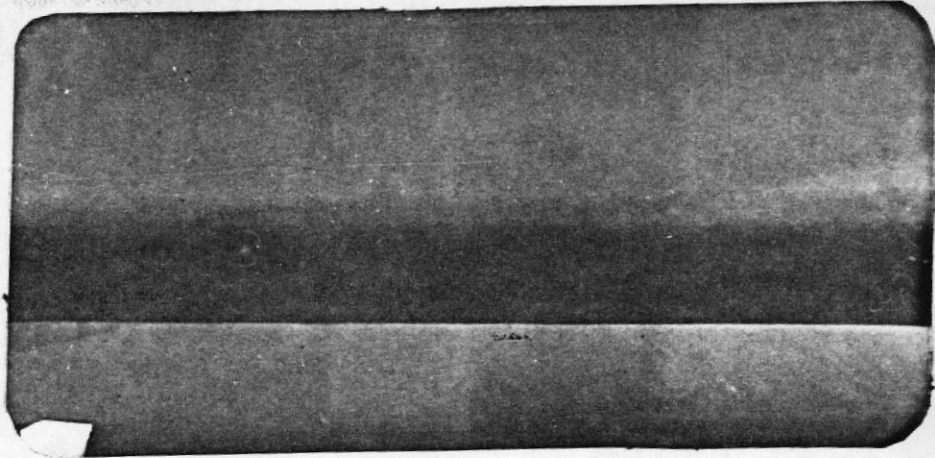
SEGMENTO N° 3



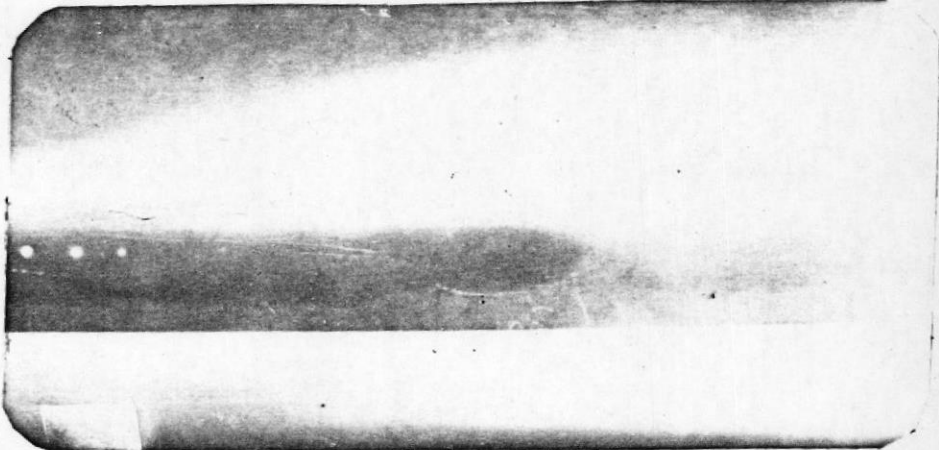
SEGMENTO N° 4



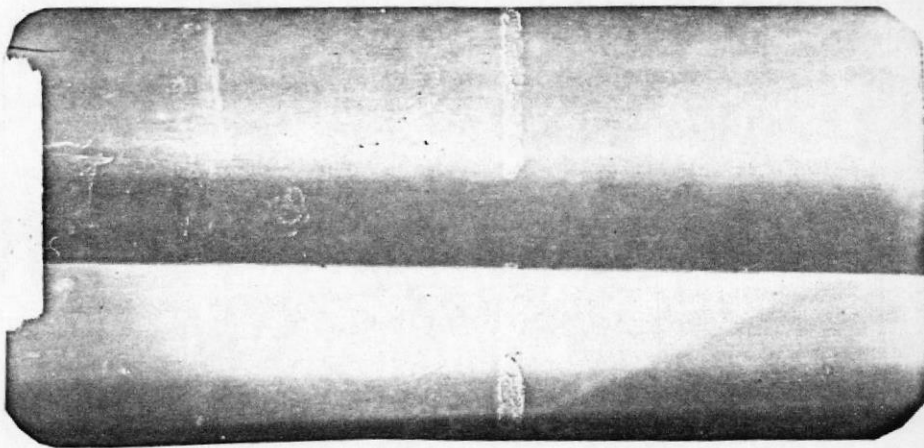
SEGMENTO Nº 5



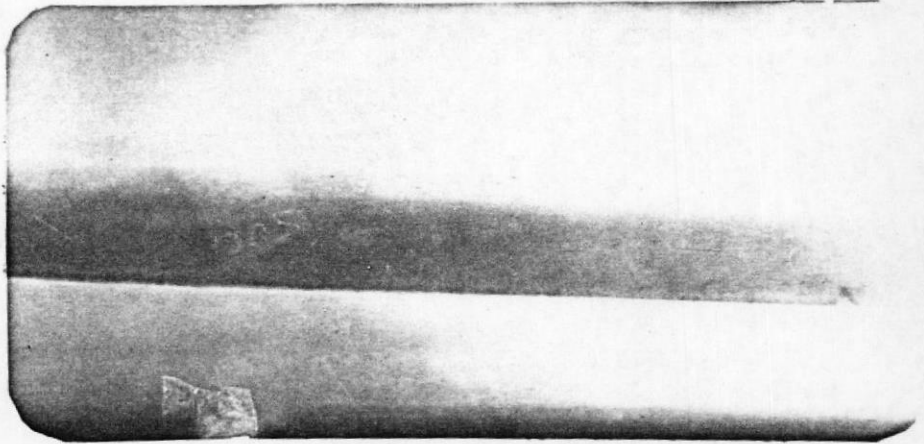
SEGMENTO Nº 6



SEGMENTO Nº 7



SEGMENTO Nº 8

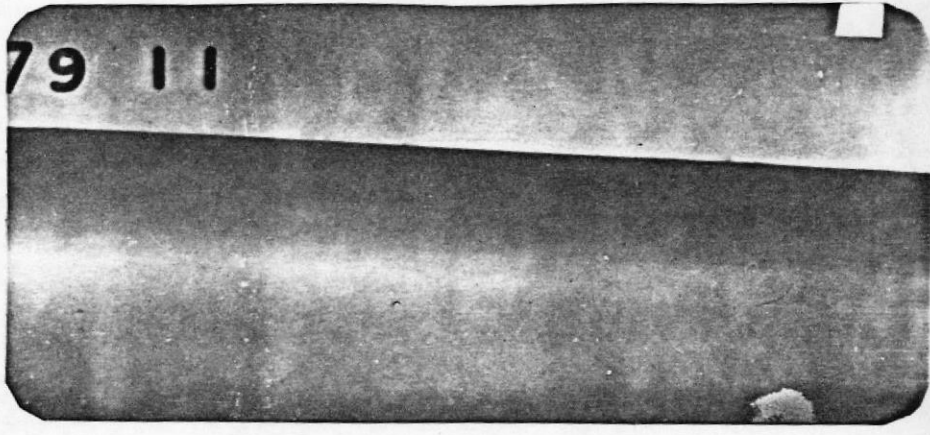


ESPOL FA 10

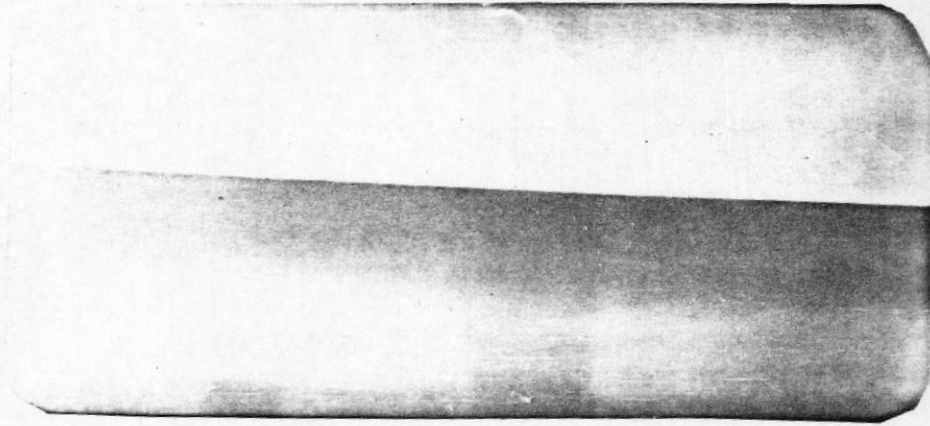
SEGMENTO N° 1



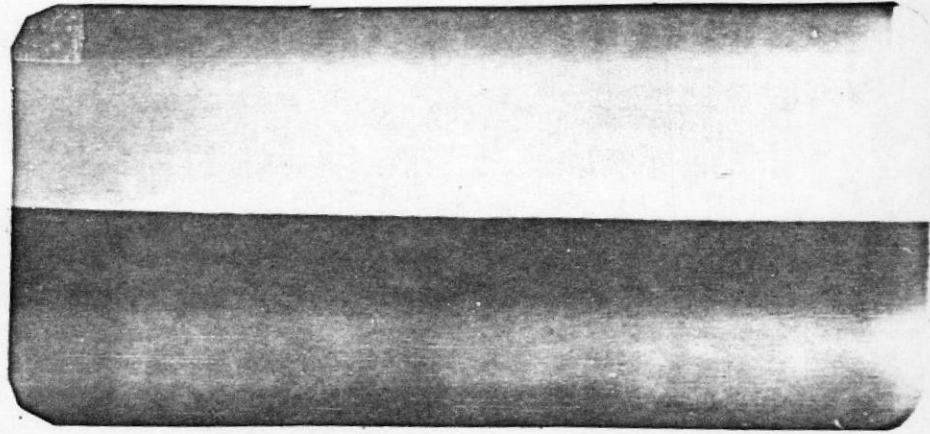
SEGMENTO N° 2



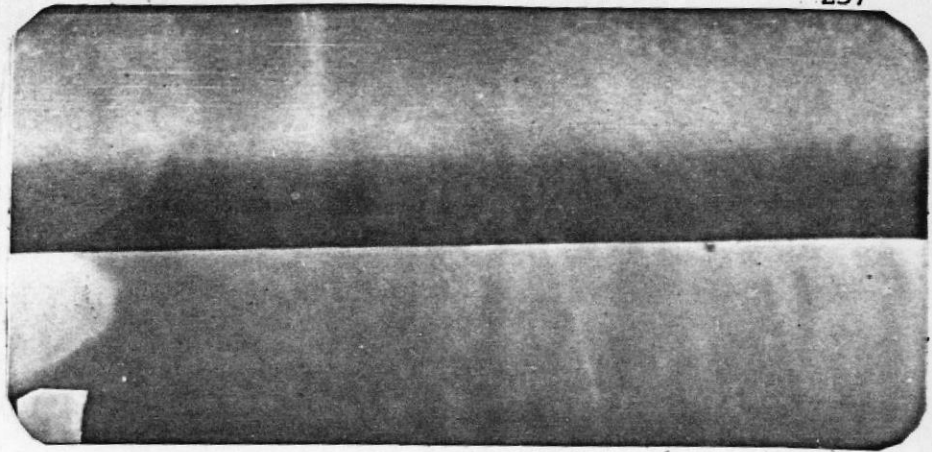
SEGMENTO N° 3



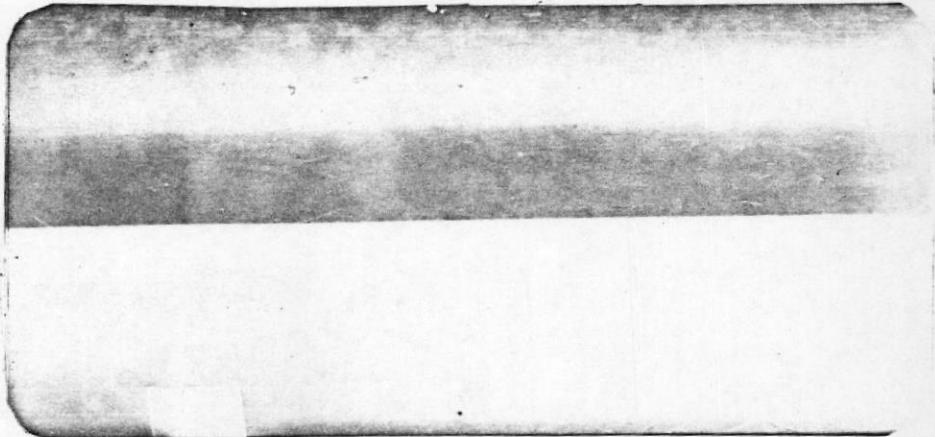
SEGMENTO N° 4



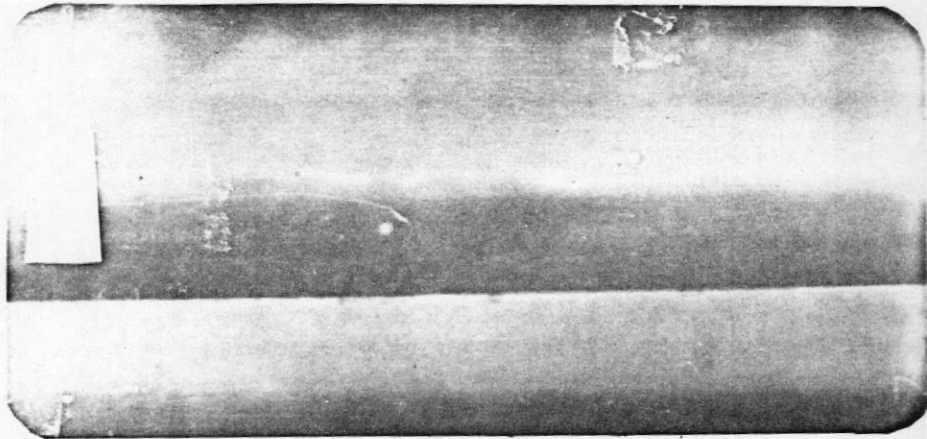
SEGMENTO Nº 5



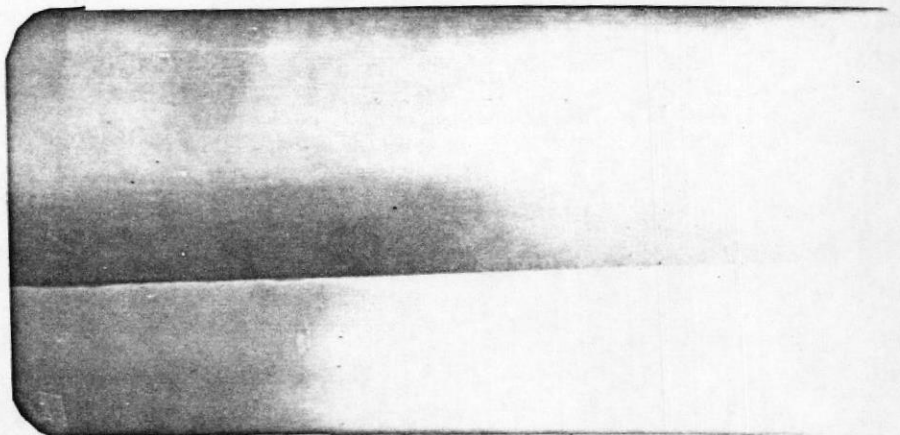
SEGMENTO Nº 6



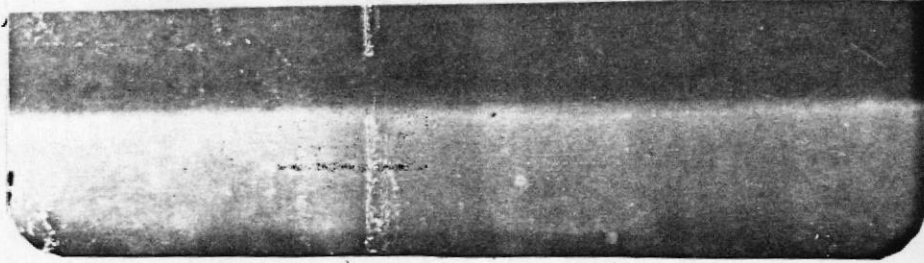
SEGMENTO Nº 7



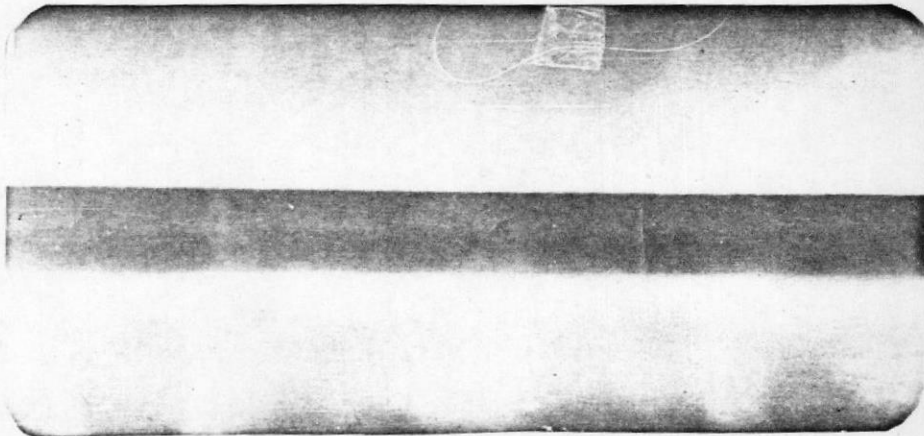
SEGMENTO Nº 8



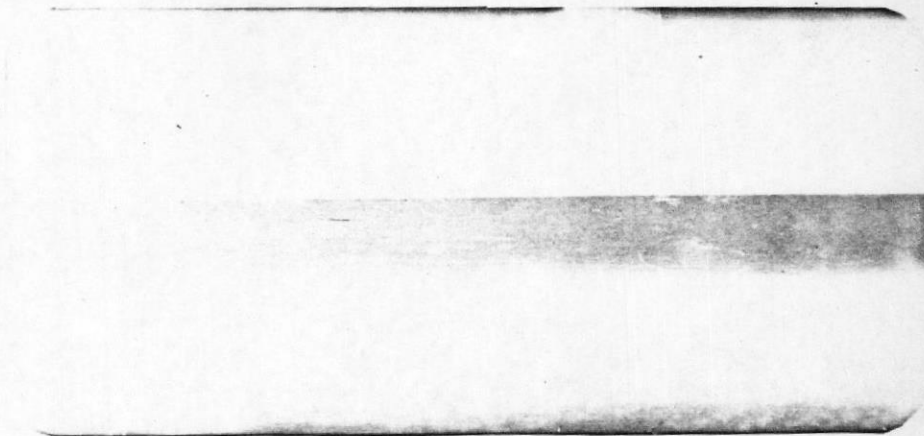
SEGMENTO N° 1



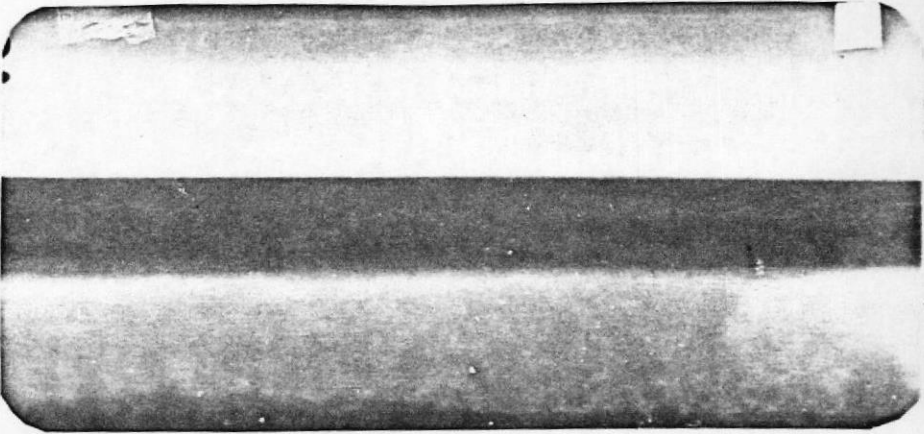
SEGMENTO N° 2



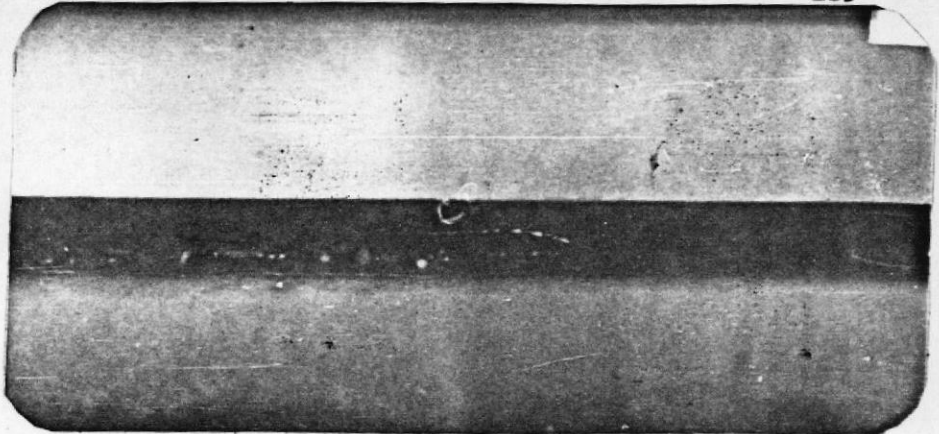
SEGMENTO N° 3



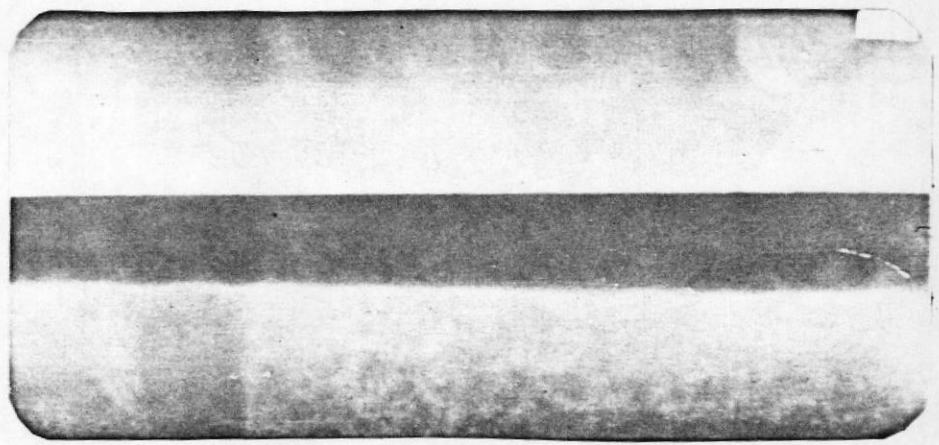
SEGMENTO N° 4



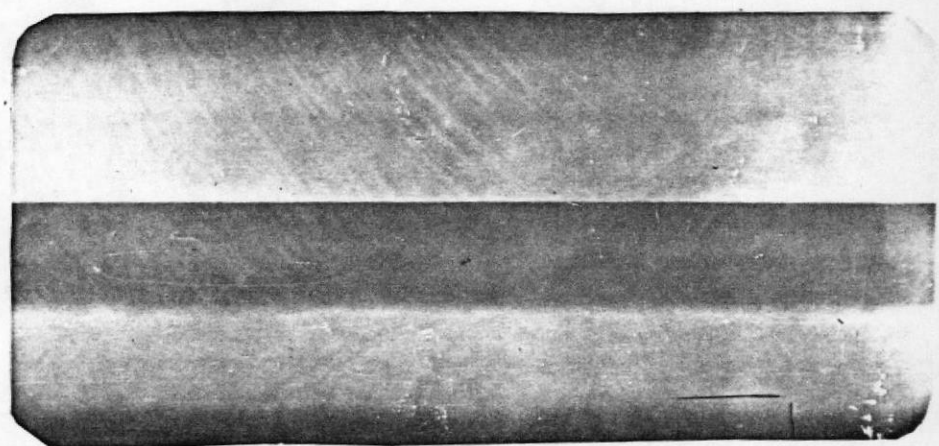
SEGMENTO Nº 5



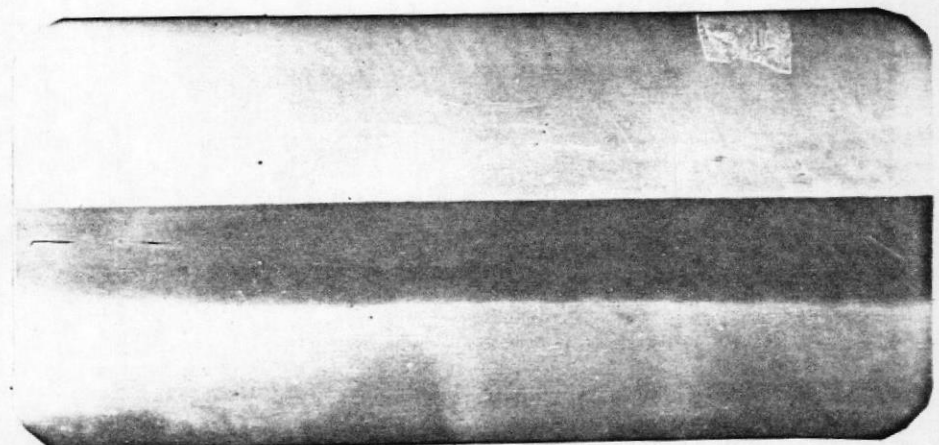
SEGMENTO Nº 6



SEGMENTO Nº 7



SEGMENTO Nº 8



LISTA DE FIGURAS

FIG. N^o

- 1 Tubo de rayos X (2)
- 2 Curva de decaimiento (2)
- 3 Diagrama de exposición para rayos X(2)
- 4 Diagramas de exposición para radiografías con fuente de Iridio 192 y de Cobalto 60. Películas AGFA GEVAERT (2).
- 5 Curvas para calcular el tiempo de exposición. Películas marca KODAK tipo "KK" y "AA" y "M" (2).
- 6a Polos consecuentes en una barra magnética (3).
- 6b Líneas de flujo de una probeta (3).
- 7 Capilaridad en una fisura (4)
- 8a Procedimiento correcto (4)
- 8b Procedimiento incorrecto (4)
- 9 Discontinuidades superficiales agrupadas (4)
- 10 Tipo de ensayo ultrasónico por contacto (5)
- 11 Tipo de ensayo ultrasónico por inmersión (5).
- 12 Arco de soldadura eléctrico (6)
- 13 Líneas isotérmicas en un arco eléctrico entre un cátodo de tungsteno y un ánodo de cobre (7)
- 14 Carta general de los procesos de soldadura (7)
- 15 Soldadura al arco con electrodo revestido (6)
- 16 Soldadura al arco con gas protector (6)
- 17 Soldadura al arco en un proceso MIG (6)
- 18 Proceso de soldadura al arco sumergido (6)

FIG. N^o

- 19 Cordón de soldadura depositado en una placa plana (8).
- 20 Efecto de la corriente de soldadura en la razón de deposición del electrodo usando un fundente de silicato de calcio en un proceso de soldadura por arco sumergido (8).
- 21 Relación del metal de soldadura depositado y la razón de la corriente de soldadura sobre la razón de viaje (8).
- 22 Discontinuidad tridimensional con forma geométrica no definida (10).
- 23 Discontinuidad bidimensional plana (10)
- 24 Discontinuidad bidimensional reversa (10)
- 25 Discontinuidad lineal recta según la dirección Y' (10).
- 26 Discontinuidad lineal recta (10).
- 27 Fisuras superficiales (10)
- 28 Fisura transversal en un cordón de soldadura (10)
- 29 Rechupes internos en piezas fundidas (10)
- 30 Falta de fusión en un proceso de soldadura al arco (10).
- 31 Falta de penetración en procesos de soldadura al arco (10).
- 32 Tipos de fisuras en uniones soldadas (7)

FIG. N^o

- 33 Socavación o mordedura de un proceso de soldadura al arco (10).
- 34 Soldadura tope con traslape (11)
- 35 Máquina de soldar por arco sumergido
- 36 Curva de decaimiento radiactivo para Iridio 142.
- 37 Determinación de la gradiente de una curva característica (12).
- 38 Probeta escalonada de acero para encontrar densidades (2).
- 39 Curvas características 1 (3)
- 40 Curvas características 2 (3)
- 41 Carta de exposición para películas Dupont 55.
- 42 Determinación de la posición de un defecto (2).
- 43 Perforación
- 44 Perforación
- 45 Difracción Mottling
- 46 Crater Pipe
- 47 Crater Pipe
- 48 Exceso de penetración del cordón
- 49 Raíz cóncava
- 50 Llenado incompleto
- 51 Surco de contracción
- 52 Socavación
- 53 Labrado interno
- 54 Chisporroteo

FIG. N^o

- 55 Chisporroteo
- 56 Chisporroteo de tungsteno
- 57 Picadura superficiales
- 58 Fisuras longitudinales
- 59 Fisuras transversales
- 60 Fisuras en el crater
- 61 Falta de fusión lateral
- 62 Falta de fusión lateral
- 63 Falta de fusión en la raíz
- 64 Falta de fusión entre cordones
- 65 Penetración incompleta
- 66 Inclusiones
- 67 Inclusiones lineales
- 68 Inclusiones lineales
- 69 Inclusiones de óxido
- 70 Inclusiones de óxido
- 71 Inclusiones de tungsteno
- 72 Inclusiones de tungsteno
- 73 Inclusiones de cobre
- 74 Porosidad uniforme
- 75 Porosidad uniforme
- 76 Porosidad uniforme
- 77 Porosidades localizadas
- 78 Porosidad lineal
- 79 Cavidades alargadas



FIG. N^o

80	Picaduras			
81	Picaduras			
82	Radiografía de la probeta 1			
83	"	"	"	2
84	"	"	"	3
85	"	"	"	4
86	"	"	"	5
87	"	"	"	6
88	"	"	"	7
89	"	"	"	8
90	"	"	"	9
91	"	"	"	10
92	"	"	"	11
93	"	"	"	12



APENDICE "D"

LISTA DE TABLAS

TABLA N^o

- 1 Características de los radioisótopos usados en radiografía industrial (2).
- 2 Factor aproximado de equivalencias radiográficas (2).
- 3 Tiempos de penetración para los penetrantes removibles con agua (4).
- 4 Tiempos de penetración para penetrantes de emulsificación posterior y de los penetrantes removibles con solvente (4).
- 5 Ventajas y desventajas de la técnica A-1 (4).
- 6 Ventajas y desventajas de la técnica A-2 (4).
- 7 Ventajas y desventajas de la técnica B-1 (4).
- 8 Ventajas y desventajas de la técnica B-2 (4).
- 9 Recomendación para elección de la técnica correcta(4).
- 10 Especificaciones químicas de las planchas de acero para cilindros de gas (11).
- 11 Combinaciones compatibles entre el electrodo OK Autrad 12.10 con los diversos fundentes de ESAB (9).
- 12 Variación del voltaje y la corriente en soldaduras por arco sumergido.
- 13 Preparación de una carta de exposición para Xerox, utilizando rayos gamma Ir 192.
- 14 Resultados de inspecciones radiográficas y visuales.
- 15 Resultados del calor generado y calor de entrada en las 12 probetas soldadas.

APENDICE "E"

LISTA DE SIMBOLOS

- A = Cantidad de radioisótopo que queda al cabo de un tiempo t .
- A_f = Factor de absorción
- A₀ = Cantidad de radioisótopo existente en el instante inicial.
- A_s = Sobremona de un cordón de soldadura
- C_i = Curies
- CP = Coeficiente de penetración
- D_f = Distancia fuente película
- D_i = Dimensión del menor defecto de cierto tipo
- D = Densidad de una película radiográfica
- d = Diámetro de la probeta
- d_i = Distancia del defecto a la película
- E = Voltaje
- F = Factor de película radiográfica
- f = Factor de eficiencia
- H = Energía de entrada en Joules por milímetro
- H_{net} = Energía efectiva de entrada
- I = Intensidad (Amperios)
- I_f = Intensidad de radiación emergente luego de atravesar un espesor x
- I₀ = Intensidad de radiación incidente

- ICI = Indicador de calidad de imagen
- L = Longitud de la probeta
- l = Profundidad alcanzada por el líquido en el interior de la fisura
- P = Potencia de entrada de la fuente de calor
- S_a = Actividad de la fuente de radiación
- S_e = Sensibilidad de un defecto
- T_i = Desplazamiento de la fuente
- I = Tiempo de exposición en minutos
- t = Tiempo para que un líquido penetrante alcance una profundidad determinada.
- T¹/₂ = Período de semidesintegración de un radioisótopo.
- V = Velocidad de viaje de la fuente de calor.
- x = Espesor atravesado en una probeta
- x_i = Cambio de la imagen del defecto
- ΔE = Espesor del indicador de calidad de imagen que aún puede ser visto.
- γ = Tensión superficial del líquido penetrante.
- η = Viscosidad del líquido penetrante.
- θ = Angulo de equilibrio del líquido y la superficie de la fisura.
- μ = Coeficiente de absorción.

APENDICE "F"

REFERENCIAS

1. BAEZ J. (Ing.) Introducción a los ensayos no destructivos. Programa multinacional de Metalurgia, Comisión Nacional de energía Atómica Argentina.
2. BAEZ J., (Ing.) Radiografía Industrial. Curso de entrenamiento avanzado de Metalurgia. Comisión nacional de Energía Atómica Argentina; Programa Multinacional de Metalurgia O.E.A.
3. CALARRETA J. (Ing. Partículas magnéticas. Curso de entrenamiento avanzado en Metalurgia. Comisión de Energía Atómica Argentina. Programa Multinacional de Metalurgia O.E.A.
4. BULFON H. (Ing.) Tintas Penetrantes. Curso de entrenamiento avanzado en Metalurgia. Comisión de Energía Atómica Argentina Programa Multinacional de Metalurgia O.E.A.
5. SERRANO O. y ORTIZ H. (Ings.). Método del ultrasonido. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
6. VITERI A. (Ing.) Curso de Soldadura para Ingenieros dictado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral. 1976.
7. AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Handbook Vol. 1. 7th Edition, 1976.
8. TORRES A. (Ing.) Control of Mechanical Properties OF C-Mn Weldments. Tesis para obtener la maestría.

9. ESAB.- Manual de soldadura para la selección de materiales de Aportación y Equipos para soldadura manual y automática. Cateburgo. Suecia, 1978
10. BAEZ J. (Ing.) Discontinuidades en los materiales. Cursos de Entrenamiento avanzado en Metalurgia; Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina. Programa Multinacional de Metalurgia O.E.A.
11. NORMA INEN 111.- Cilindros de Acero soldados para gas licuado de Petróleo. 1974.
12. ROCLEY JACK (DR.) An Introduction to Industrial radiology. Reproducción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral con autorización de su autor. 1979.

