



79  
2ej

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**FABRICACION DE TUBOS CON COSTURA  
HELICOIDAL**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A:**

**LEONEL MAGAÑA LIGONIO**

**DIRECTOR: ING. ALBERTO CAMACHO SANCHEZ.**

**CIUDAD, UNIVERSITARIA**

**1989.**

**FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## FABRICACION DE TUBOS CON COSTURA HELICOIDAL

# I N D I C E

- I. INTRODUCCION.
- II. FUNDAMENTOS TEORICOS.
  - A) DEFINICIONES Y SIMBOLOGÍA.
  - B) NORMAS APLICADAS A LA FABRICACIÓN DE TUBOS.
  - C) FÓRMULAS DE PROCESO.
  - D) ESTADO DE ESFUERZO EN EL FILETE DE SOLDADURA HELICOIDAL.
- III. MATERIA PRIMA
  - A) PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS ACEROS.
  - B) REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.
- IV. PROCESO DE FABRICACION
  - A) DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.
  - B) DIAGRAMA DE FLUJO Y PROCESO DE FABRICACIÓN.
  - C) CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE EL PROCESO DE SOLDADURA Y LA SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS.
- V. CONTROL DE CALIDAD
  - A) PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS A MATERIA PRIMA.
  - B) MUESTRAS PARA PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS AL CUERPO DEL TUBO.
  - C) PRUEBAS HIDROSTÁTICAS.
  - D) INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA.
- VI. CONCLUSIONES
- VII. BIBLIOGRAFIA.

## I. INTRODUCCION

ES SABIDO QUE YA EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO - PASADO, LOS TUBOS CON COSTURA HELICOIDAL ERAN YA MANUFACTURADOS EN ALEMANIA. SIN EMBARGO, LOS TUBOS DE GRANDES - DIÁMETROS SOLDADOS HELICOIDALMENTE PARA DUCTOS DE TUBERÍAS A ALTA PRESIÓN, NO FUE LOGRADO SINÓ HASTA 1960; TODO ESTO LIGADO INTIMAMENTE CON EL DESARROLLO TECNOLÓGICO, TANTO - EN LA FABRICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA COMO EN LA FABRICACIÓN DEL TUBO.

OTROS PUNTOS DE APOYO DE GRAN VALOR EN EL INCREMENTO PARA LOS TUBOS CON COSTURA HELICOIDAL, FUERON PROPORCIONADOS POR LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN ÉSTE, COMO LOS PROCEDIMIENTOS DE ULTRASONIDO.

SUBSECUENTES DESARROLLOS EN LA TÉCNICA DE SOLDADURA, PERMITIERON LA APLICACIÓN DE LA SOLDADURA ARCO SUMERGIDO; ÉSTOS DESARROLLOS ESPECÍFICOS EN LA FABRICACIÓN DE TUBOS CON SOLDADURA HELICOIDAL, HAN PERMITIDO QUE EN DIVERSOS PAISES SE HAYAN ESTABLECIDO ESPECIFICACIONES MUY ESTRICTAS DE ACUERDO A LOS USOS O SERVICIOS DE LA MISMA.

LA PRIMER NORMA PARA TUBOS DE ALTA PRESIÓN FUE - LA DIN 17172 EMITIDA EN 1967 EN ALEMANIA, POSTERIORMENTE - EN 1967 EL API EMITE UNA ESPECIFICACIÓN PARA LOS TUBOS CON COSTURA HELICOIDAL.

SIN EMBARGO, LAS EXIGENCIAS DE LOS TUBOS PARA CONDUCTOS TIENDEN A SER CADA VEZ MÁS SEVERAS DESDE DOS ASPECTOS:

EN PRIMER LUGAR, EN LA MEDIDA QUE SE VAYA AVANZANDO EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS PETROLÍFEROS Y DEL GAS (PRINCIPAL APLICACIÓN DE LOS TUBOS DE GRANDES DIÁMETROS EN NUESTRO PAÍS) LAS EXIGENCIAS DE LAS CONDICIONES TIENDEN A SER MÁS SEVERAS QUE EN LAS ÉPOCAS ANTERIORES.

ES DECIR, SE DEBEN ADAPTARSE A LAS CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN EN LAS PROFUNDIDADES DEL MAR Y EN LUGARES DE INTENSO FRÍO PARA LA EXTRACCIÓN DE GASES DE FASES DENSAS Y EN ESPECIAL DE LOS GASES SULFUROSOS CON CONTENIDO DE ÁCIDO SULFÚDRICO ( $H_2S$ ).

EN SEGUNDO LUGAR, EXISTE LA TENDENCIA A QUE SE BUSQUE LA REDUCCIÓN DE LOS COSTOS GENERALES MEDIANTE LA ELEVACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRABAJOS DE INSTALACIÓN Y EN EL TRANSPORTE DE LÍQUIDOS POR MEDIO DE LOS TUBOS DE CONDUCCIÓN Y EL USO DE MATERIALES PARA TUBO DE CONDUCCIÓN QUE FUERAN LO MÁS ECONÓMICO POSIBLE.

## II. FUNDAMENTOS TEORICOS

### A) DEFINICIONES Y SIMBOLOGÍA.

LA RESISTENCIA DE UN MATERIAL NO ES EL ÚNICO -  
 CRITERIO A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO, SINO TAMBIÉN ES  
 DE IMPORTANCIA PARA LOS TUBOS, OTRAS PROPIEDADES TALES  
 COMO LA DUREZA, LA TENACIDAD Y LA DUCTILIDAD; INFLUYENDO  
 EN LA ELECCIÓN DEL MATERIAL.

ESTAS PROPIEDADES SE DETERMINAN MEDIANTE ENSA-  
 YOS, COMPARANDO LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON PATRONES -  
 ESTABLECIDOS. PARA NUESTRO CASO EXAMINAREMOS EL DIAGRA-  
 MA DE TENSIÓN - DEFORMACIÓN EN EL ACERO. FIG. 1

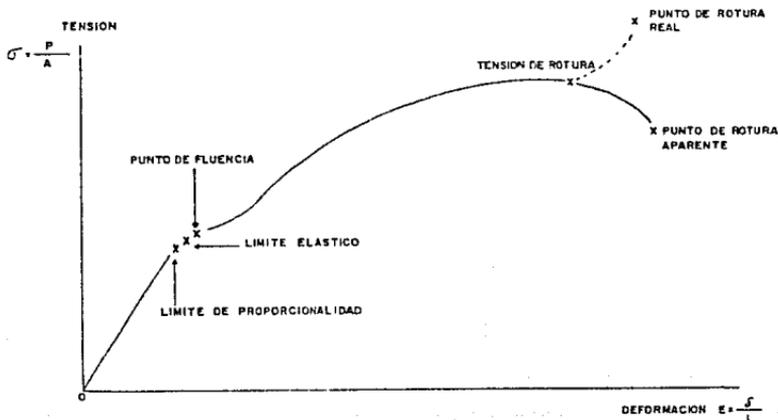


FIG. 1

LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD. - ES LA RELACIÓN LINEAL ENTRE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN.

LÍMITE ELÁSTICO. - ES LA TENSIÓN MÁS ALLÁ DE LA CUAL, EL MATERIAL NO RECUPERA TOTALMENTE SU FORMA ORIGINAL AL SER DESCARGADO, SINO QUE QUEDA CON UNA DEFORMACIÓN RESIDUAL LLAMADA DEFORMACIÓN PERMANENTE.

PUNTO DE FLUENCIA. - ALARGAMIENTO DEL MATERIAL EN DICHO PUNTO, SIN QUE OCURRA NINGÚN AUMENTO APRECIABLE EN LA FUERZA DE TRACCIÓN; EL ESFUERZO EN ESTE PUNTO SE CONOCE COMO ESFUERZO DE FLUENCIA O CEDENCIA (YIELD STRENGTH).

TENSIÓN DE ROTURA. - EL VALOR MÁXIMO ALCANZADO, LLAMÁNDOSE COMUNMENTE ESFUERZO ÚLTIMO. (ULTIMATE TENSILE STRENGTH)

DUCTILIDAD. - ES EL GRADO DE DEFORMACIÓN QUE PUEDE PRESENTAR EL MATERIAL ANTES DE LA FALLA O ROTURA.

FRÁGILES. - AQUELLOS MATERIALES QUE FALLAN O SE ROMPEN A DEFORMACIONES BAJAS.

MÓDULO DE RESISTENCIA. - ES LA ENERGÍA POR UNIDAD DE VOLUMEN QUE PUEDE SER ABSORBIDA DENTRO DE LA ZONA ELÁSTICA SIN DAR LUGAR A UNA DEFORMACIÓN PERMANENTE.

MÓDULO DE TENACIDAD. - REPRESENTA LA ENERGÍA ALMACENADA POR UNIDAD DE VOLUMEN HASTA LA ROTURA.

DUREZA. - LA CAPACIDAD DE LOS METALES DE RESISTIR A LA PENETRACIÓN EN ELLOS DE UNA SUSTANCIA MÁS DURA.

#### EFFECTO BAUSCHINGER

EN LA ZONA DE LA DEFORMACIÓN ELÁSTICA, DONDE ACTÚA LA LEY DE HOOKE, EN LOS METALES Y ALEACIONES SE OBSERVA UNA SERIE DE DESVIACIONES DE LA CONDUCTA PURAMENTE ELÁSTICA.

ALGUNAS DE ESTAS DESVIACIONES SON CONOCIDAS DESDE HACE MUCHO, SIN EMBARGO, LA NATURALEZA DE LA ELASTICIDAD INCOMPLETA DE LOS METALES SE HA DESCUBIERTO EN LAS RECIENTES DÉCADAS.

UNA DE LAS REVELACIONES CONOCIDAS DE LA ELASTICIDAD INCOMPLETA ES EL EFECTO DE BAUSCHINGER. ESTE EFECTO RESIDE EN QUE AL RETIRAR LA CARGA SOBRE LA MUESTRA PLÁSTICA Y DÉBILMENTE DEFORMADA, EN DIRECCIÓN INVERSA DISMINUYE SU RESISTENCIA CON DEFORMACIONES POCO PLÁSTICAS. SUPONGAMOS QUE EXTENDEMOS LA MUESTRA EN UN 1-2% (HASTA EL PUNTO "A" EN LA FIG. 2). AHORA QUITEMOS LA CARGA Y SOMETAMOS LA MUESTRA A COMPRESIÓN.

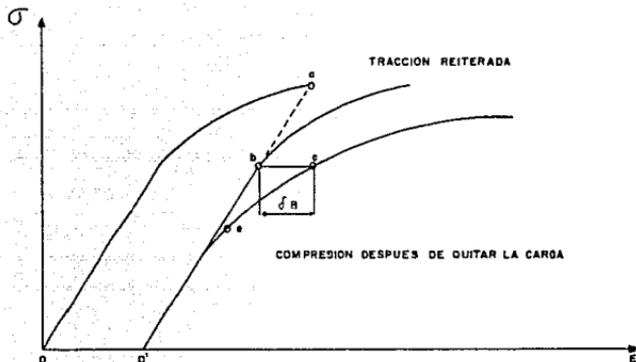


FIG. 2

LA CURVA DE TENSION ; DEFORMACION "O' EC" SE ENCONTRARÁ INFERIOR A LA CORRESPONDIENTE CURVA "O' B" QUE OBTENDRÍAMOS AL RETIRAR DE LA TRACCION. SI EL PUNTO "B" CORRESPONDE AQUÍ AL PRINCIPIO DE LA DEFORMACION PLÁSTICA, EL SEGMENTO  $bc = \delta_B$  REPRESENTA LA LLAMADA DEFORMACION DE BAUSCHINGER QUE ES UNA DE LAS CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS FUNDAMENTALES DEL EFECTO BAUSCHINGER.

## TERMINOLOGÍA

$P_i$	PRESIÓN INTERNA DEL TUBO.
$D$	DIÁMETRO MEDIO O NOMINAL DEL TUBO.
$t$	ESPESOR DE LA PARED DEL TUBO.
$B$	ANCHO DE LA PLACA QUE SE EMPLEARÁ PARA FABRICAR EL TUBO.
$\sigma_x$	ESFUERZO EN DIRECCIÓN DEL EJE X
$\sigma_y$	ESFUERZO EN DIRECCIÓN DEL EJE Y
$\sigma_{ij}$	TENSOR DE ESFUERZO.
$S$	ESFUERZO EN EL FILETE DE SOLDADURA.
$\tau$	ESFUERZO CORTANTE.
$\delta$	ALARGAMIENTO.
$L$	LONGITUD.
$\theta$	ÁNGULO THETA.
$L_s$	LONGITUD DE SOLDADURA.
$V_p$	VELOCIDAD DE PRODUCCIÓN.
$V_s$	VELOCIDAD DE SOLDADURA.
$\omega$	VELOCIDAD DE GIRO DEL TUBO (VEL. ANGULAR)
$D_e$	DIÁMETRO EXTERIOR DEL TUBO.
$E$	EMPUJE DEL LÍQUIDO.
$A$	AREA.
$W$	PESO DEL TUBO.
$\epsilon$	DEFORMACIÓN.
$P$	PRESIÓN.
$P$	PASO DE LA HÉLICE DE SOLDADURA.

B) **NORMAS APLICADAS A LA FABRICACIÓN DE TUBOS.**

EN VISTA DEL ACELERADO DESARROLLO INDUSTRIAL, ES NECESARIO CONTAR CON NORMAS QUE DEFINAN LOS REQUISITOS QUE DEBE REUNIR LA FABRICACIÓN DE TUBOS CON COSTURA.

EN MÉXICO NO CONTAMOS CON NORMAS PROPIAS DE TAL NATURALEZA Y POR LO TANTO, ADQUIERE MAYOR IMPORTANCIA EL - QUE LOS INGENIEROS EN DISEÑO, ASÍ COMO LOS FABRICANTES DE ESTE PRODUCTO, TENGAN CONOCIMIENTOS E INFORMACIÓN QUE LES PERMITA DISEÑAR Y FABRICAR LOS TUBOS CON COSTURA CON UN - MÁXIMO DE EFICIENCIA.

ACTUALMENTE DIVERSAS DEPENDENCIAS (PEMEX) CONSIDERAN COMO NORMAS BÁSICAS LAS SIGUIENTES:

API - 5 L	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (ESTA NORMA INCLUYE A ÚLTIMAS FECHAS LA 5 L, 5 Ls Y 5 Lx; SIENDO 5 Ls, LA QUE CORRESPONDE A SPIRAL-WELD LINE PIPE).
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL.
AWWA	AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.

NOM NORMA OFICIAL MEXICANA.  
(ESTA NORMA ES TRADUCCIÓN DE LA ASTM  
ADAPTADA A LAS CONDICIONES DE NUESTRO  
PAÍS).

c) FÓRMULAS DEL PROCESO.

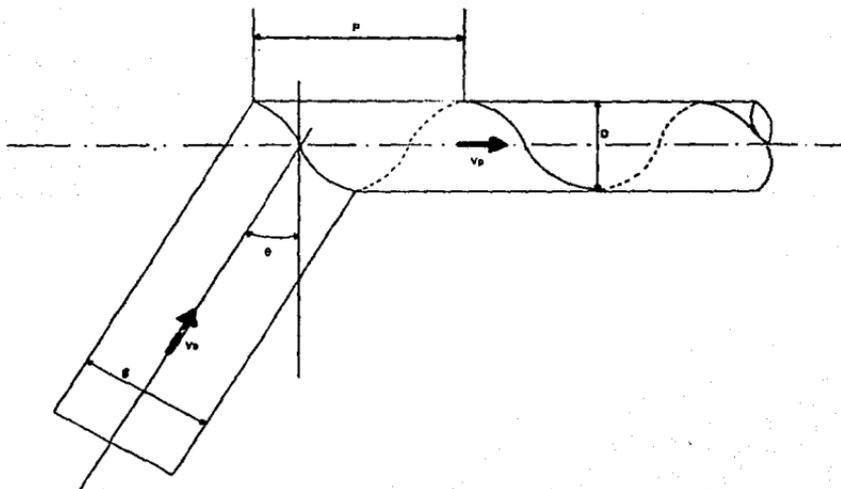


FIG. 3

FÓRMULA PARA DETERMINAR EL ÁNGULO DE ENTRADA DE LA PLACA EN FUNCIÓN DEL ANCHO DE LA MISMA Y EL DIÁMETRO DEL TUBO. FIG. 3.

$$\text{SEN } \theta = \frac{b}{\pi D}$$

PASO DE LA HELICOIDE.

$$P = \pi D \text{ TAN. } \theta$$

LONGITUD DEL CORDÓN DE SOLDADURA.

$$L_s = \frac{L}{\text{SEN } \theta}$$

TRIÁNGULO DE VELOCIDADES; VELOCIDAD DE SOLDADO  
(Vs), VELOCIDAD DE PRODUCCIÓN Vp) Y GIRO DEL TUBO (W).



FIG. 4

$$V_p = V_s \operatorname{Sen} \theta$$

$$V_s = \frac{D \times W}{2}$$

$$W = \frac{2 V_s}{D}$$

PESO DEL TUBO POR METRO (Kg/M)

$$W = 15.908 (D_o - T) T \text{ (Kg/M)}$$

$D_o$  EN PULGADAS

T EN PULGADAS

## D) ESTADO DE ESFUERZO EN EL FILETE DE SOLDADURA HELICOIDAL.

SEA UNA PLACA DE ACERO DE ANCHO  $B$ , MEDIANTE LA CUAL SE DESEA PRODUCIR UN TUBO DE DIÁMETRO  $D$ . LO QUE - AQUÍ NOS INTERESA CONOCER ES EL VECTOR UNITARIO, TANGENTE FILETE DE SOLDADURA, PARA PODER DETERMINAR LOS ESFUERZOS ACTUANTES EN ÉSTE, Y MEDIANTE ELLOS PREDECIR LOS PLANOS PROBABLES DE FALLA DE LA TUBERÍA.

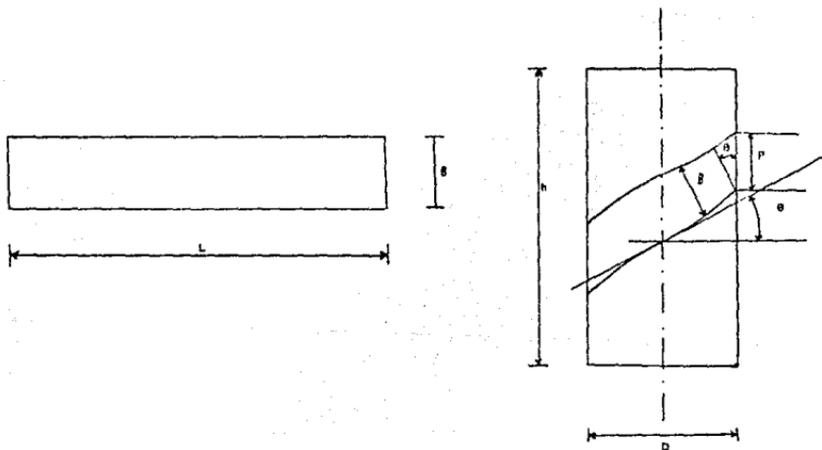


FIG. 5

DE ACUERDO CON LA FIG. 5 "P" REPRESENTA EL PASO DE LA HELICOIDE QUE FORMA EL FILETE DE SOLDADURA, EN DONDE NECESARIAMENTE DEBERÁN CUMPLIRSE LAS SIGUIENTES RELACIONES:

PUESTO QUE AL RECORRER UN PERÍMETRO DEL TUBO SE ASCIENDE UN PASO DEL FILETE DE SOLDADURA, SE TIENE QUE,

$$\text{TAN } \theta = \frac{P}{\pi D} \quad (1)$$

PERO POR OTRA PARTE

$$P = B \text{ SEC } \theta \quad (2)$$

POR TANTO

$$\text{TAN } \theta = \frac{B \text{ SEC } \theta}{\pi D} \quad (3)$$

O BIEN

$$\text{SEN } \theta = \frac{B}{\pi D} \quad (4)$$

A CONTINUACIÓN SE DEDUCIRÁ EL TENSOR ESFUERZO, EN UNA TUBERÍA SOMETIDA A PRESIÓN INTERNA, PARA MEDIANTE EL ANALIZAR EL ESTADO DE ESFUERZO EN LOS PUNTOS DEL FILETE DE SOLDADURA.

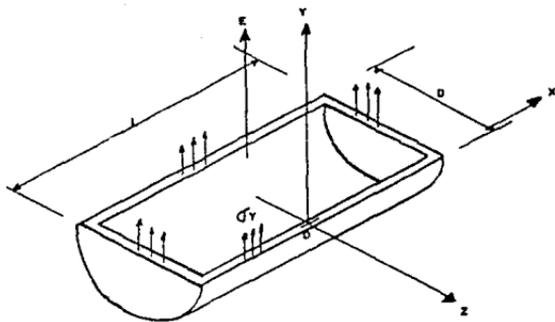
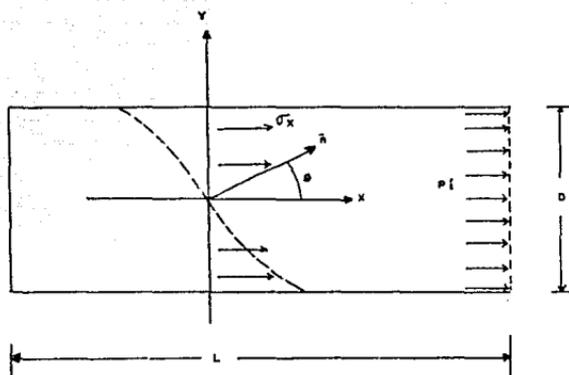


FIG. 6

COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 6, EL ESFUERZO  $\bar{\sigma}_x$ , EN EL PUNTO "0" SELECCIONADO DE LA PARED DEL TUBO, ES GENERADO POR LA PRESIÓN INTERNA DEL FLUÍDO, AL ACTUAR EN LA TAPA DERECHA DEL TUBO; POR TANTO, SU VALOR ES:

$$\bar{\sigma}_x = \frac{P_i \pi D^2}{\pi D t} = \frac{P_i D}{t} \quad (5)$$

ECUACIÓN EN LA CUAL,  $t$  ES EL ESPESOR DE LA PARED DEL TUBO,  $D$  EL DIÁMETRO NOMINAL DEL MISMO Y  $P_i$  LA PRESIÓN DEL FLUÍDO UBICADO EN EL INTERIOR DEL SISTEMA EN ESTUDIO.

PARA DETERMINAR A  $\bar{\sigma}_y$  HACEMOS UN CORTE IMAGINARIO DEL TUBO, MEDIANTE UN PLANO HORIZONTAL QUE PASE POR "0", MISMO QUE SE HA TOMADO COMO LA COORDENADA  $ZX$ . CONFORME A LA FIG. 6 SE TIENE QUE:

$$\bar{\sigma}_y = \frac{E}{A} \quad (6)$$

EN DONDE,  $E$  ES EL EMPUJE QUE EL FLUÍDO A PRESIÓN EJERCE SOBRE EL MEDIO TUBO SUPERIOR, EL CUAL, SEGÚN UN TEOREMA DE MECÁNICA DE FLUÍDOS, VALE:

$$E = P_i D L \quad (7)$$

Y A ES EL ÁREA QUE SOPORTA A DICHO EMPUJE, SIENDO SU VALOR EL SIGUIENTE:

$$A = \pm (2D + 2L) \quad (8)$$

CONSECUENTEMENTE:

$$\sigma_y = \frac{P_i L D}{\pm (2D + 2L)} \quad (9)$$

CONFORME A ESTO, EL TENSOR ESFUERZO PARA LOS PUNTOS DE LA PARED DEL TUBO QUEDA DEFINIDO POR:

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{P_i D}{\pm} & 0 \\ 0 & \frac{P_i L D}{\pm (2D + 2L)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

EL CUAL SE SIMPLIFICA EN EL CASO DEL DENOMINADOR CUANDO  $D \ll L$  PARA TUBERÍAS LARGAS:

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{P_i D}{\pm} & 0 \\ 0 & \frac{P_i D}{2\pm} \end{bmatrix} \quad (11)$$

AHORA BIEN, COMO SE INDICA EN LA FIG. (6) EL VECTOR UNITARIO NORMAL AL PLANO DEL FILETE DE SOLDADURA FORMA CON EL EJE DEL TUBO UN ÁNGULO  $\theta$ , DEDUCIMOS QUE CON RESPECTO AL SISTEMA DE REFERENCIA QUEDA DEFINIDO POR:

$$\vec{n} = \text{Cos } \theta \vec{E}_1 + \text{SEN } \theta \vec{E}_2 \quad (12)$$

ECUACIÓN EN LA CUAL:

$$\text{SEN } \theta = \frac{B}{r_D} \quad (13)$$

Y DE:

$$\text{SEN}^2 \theta + \text{Cos}^2 \theta = 1 \quad (14)$$

TENEMOS:

$$\text{Cos } \theta = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{r_D}\right)^2} \quad (15)$$

POR TANTO, EL ESFUERZO ACTUANTE EN EL PLANO DEL FILETE DE SOLDADURA VIENE DADO POR:

$$\begin{aligned}
 S &= \begin{bmatrix} \frac{P_I D}{t} & 0 \\ 0 & \frac{P_I D}{2t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \text{SEN } \theta \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{P_I D}{t} \cos \theta \\ \frac{P_I D}{2t} \text{SEN } \theta \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{16}$$

O EN TÉRMINOS DE SUS COMPONENTES INTRÍNSECAS:

$$\begin{aligned}
 U &= \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{SEN } \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{P_I D}{t} \cos \theta \\ \frac{P_I D}{2t} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{P_I D}{t} \cos^2 \theta + \frac{P_I D}{2t} \text{SEN}^2 \theta
 \end{aligned} \tag{17}$$

O TAMBIÉN:

$$= \frac{P_I D}{t} \left( 1 - \frac{B^2}{n^2 D^2} \right) + \frac{P_I D}{2t} \frac{B^2}{n^2 D^2} \tag{18}$$

LUEGO:

$$\sigma = \frac{P I D}{t} - \frac{1}{2} \frac{P I B^2}{r^2 t D} \quad (19)$$

RESPECTO AL ESFUERZO CORTANTE SE TIENE:

$$\tau = \sqrt{S^2 - \sigma^2} \quad (20)$$

$$\tau = \frac{P I B}{2 r t} \sqrt{1 - \frac{B^2}{r^2 D^2}} \quad (21)$$

### III. MATERIA PRIMA

#### A) PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS ACEROS.

LA MATERIA PRIMA MÁS IMPORTANTE PARA TODOS LOS PRODUCTOS FERROSOS, ES EL ARRABIO, EL PRODUCTO DEL ALTO HORNO. EL ARRABIO SE OBTIENE FUNDIENDO EL MINERAL DE HIERRO CON COQUE Y PIEDRA CALIZA; SU ANÁLISIS FINAL DEPENDE, ANTE TODO, DE LA CLASE DE MINERAL UTILIZADO.

EL MINERAL DE HIERRO DE MAYOR IMPORTANCIA ES LOS HEMATITES ( $Fe_2 O_3$ ) AUNQUE TAMBIÉN SE DISPONE DE GRANDES CANTIDADES DE PIRITA DE HIERRO ( $Fe S_2$ ) PERO NO SE UTILIZA, DEBIDO A SU CONTENIDO DE AZUFRE QUE REQUIERE SER ELIMINADO POR UN PROCEDIMIENTO ADICIONAL DE TOSTACIÓN.

LA DIFERENCIA PRINCIPAL ENTRE LOS MATERIALES FERROSOS, RADICA EN LA CANTIDAD DE CARBONO QUE CONTIENEN. DICHA DIFERENCIA SE MUESTRA EN LA FIG. 7, NO OBSTANTE QUE EL ACERO PUEDE CONTENER HASTA 2% DE CARBONO, LAS APLICACIONES PRÁCTICAS LIMITAN TAL CONTENIDO A 1.4% COMO MÁXIMO.

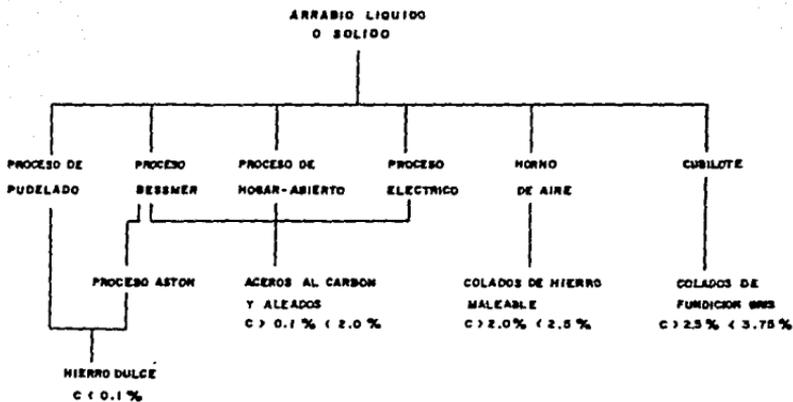


FIG. 7

EL ACERO ES UNA ALEACIÓN CRISTALIZADA DE HIERRO, CARBONO Y OTROS VARIOS ELEMENTOS, QUE ENDURECE CUANDO SE LE ENFRÍA BRUSCAMENTE DESPUÉS DE ESTAR ARRIBA DE SU TEMPERATURA CRÍTICA. NO CONTIENE ESCORIA Y SE PUEDE MOLDEAR, LAMINAR O FORJAR. EL CARBONO ES UN CONSTITUYENTE MUY IMPORTANTE, POR SU HABILIDAD PARA AUMENTAR LA DUREZA Y LA RESISTENCIA DEL ACERO.

LA CONSTRUCCIÓN Y EL TENDIDO DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN UTILIZANDO TUBERÍAS FABRICADAS CON ACEROS DE ALTA RESISTENCIA EXIGEN CONDICIONES ÓPTIMAS DE OBTENCIÓN DE ACEROS, PROCESO DE LAMINADO DE LA PLACA Y FABRICACIÓN DEL TUBO, CON OBJETO DE ASEGURAR UNA BUENA SOLDABILIDAD DEL MATERIAL, ASÍ COMO UNA OPERACIÓN DE LA LÍNEA EFICIENTE Y SEGURA.

LOS REQUERIMIENTOS MÁS IMPORTANTES EN EL MATERIAL NECESARIO PARA ESTAS LÍNEAS SON:

- 1.1. UNA TENACIDAD ADECUADA A LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN.
- 1.2. BAJO CARBÓN EQUIVALENTE PARA ASEGURAR UNA BUENA SOLDABILIDAD EN CAMPO.

1.3 CON ESFUERZOS UNIFORMES, INCREMENTO EN VALORES DE ENERGÍA DE IMPACTO, INCREMENTANDO TAMBIÉN EL PUNTO DE CEDENCIA.

1.4 BAJA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN.

ESTAS PROPIEDADES SE PUEDEN LOGRAR POR MEDIO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS O TERMO-MECÁNICOS REALIZADOS SOBRE ACEROS CON BAJO CONTENIDO EN ELEMENTOS DE ALEACIÓN, ES DECIR UTILIZANDO TÉCNICAS COMO LA NORMALIZACIÓN, EL LAMINADO CONTROLADO O EL TEMPLE Y REVENIDO. SIENDO LOS DOS ÚLTIMOS LOS MÁS USADOS.

1.5 LAMINACIÓN EN CALIENTE CONTROLADA.

CON OBJETO DE OBTENER UN ACERO CON BUENAS PROPIEDADES FÍSICAS, BUENA SOLDABILIDAD Y ALTA TENACIDAD, ES NECESARIO QUE LA LAMINACIÓN DE LOS PLANCHONES SEA Estrictamente controlada en lo que se refiere a temperaturas y tiempo de calentamiento, velocidad de laminado, número de pasos y porcentaje de reducción, temperatura en los diferentes pasos de la laminación, control de la velocidad de enfriamiento después de laminado y la composición química del acero.

EL LAMINADO EN CALIENTE EN ZONAS AUSTENÍSTICAS, PERMITE UN BALANCE ADECUADO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS

QUE FORMAN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO Y UNA APROPIADA CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO, YA QUE EN ÉSTAS CONDICIONES SE CONTROLA MEJOR LA RECRISTALIZACIÓN Y EL CRECIMIENTO DEL GRANO MISMO.

DESPUÉS DE NUMEROSAS INVESTIGACIONES SE HA ENCONTRADO QUE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS SE INCREMENTAN CON TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN FINAL DE 700 A 840 °C., DECRETANDO LA TEMPERATURA DE RECALENTAMIENTO DEL PLANCHÓN DE 1150 °C. A 1020 °C., E INCREMENTANDO EL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LAMINADO DE 50 A 65 ó 75% A TEMPERATURAS INFERIORES.

#### EFFECTO DE LAS MICROALEACIONES.

UN USO RACIONAL DE MÉTODOS DE ENDURECIMIENTO POR SOLUCIÓN SÓLIDA Y PRECIPITACIÓN HA HECHO POSIBLE EN EL CAMPO DE LOS ACEROS MICROALEADOS FERRÍTICOS - PERLÍTICOS, LA OBTENCIÓN DE PLACAS CON UN BUEN NIVEL DE CALIDAD SUFICIENTE PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE ALTAS TENACIDADES, DUCTILIDAD Y RESISTENCIA REQUERIDAS EN LAS TUBERÍAS DE ALTAS RESISTENCIAS Y BAJO CARBONO.

EN GENERAL SE UTILIZAN ACEROS CON BAJOS PORCENTAJES DE PERLITA, CALMADOS CON SILICIO Y ALUMINIO ENDURECIDOS POR SOLUCIÓN SÓLIDA (MANGANESO) Y MICROALEADOS CON VANADIO Y COLUMBIO, APROVECHANDO LA TENDENCIA DE

ÉSTOS DOS ÚLTIMOS ELEMENTOS A FORMAR EN LAS MATRICES METÁLICAS, PRECIPITACIONES QUE INFLUYEN DETERMINANTEMENTE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO.

CUANDO SE BUSCAN ALTAS TENACIDADES SE TRATA DE MINIMIZAR LOS EFECTOS DE INCLUSIONES NO METÁLICAS, REDUCIENDO EL CONTENIDO DE AZUFRE Y VARIANDO LA MORFOLOGÍA DE LOS SULFUROS.

SE PUEDE DECIR QUE EN ÉSTOS ACEROS MICROALEADOS LA EFECTIVIDAD DEL CARBONITRURO DE COLUMBIO ES ALTA, CONTROLANDO EL TAMAÑO DEL GRANO AUSTENÍTICO Y POR CONSECUENCIA LA TENACIDAD.

LA EFECTIVIDAD DE ESTA PRECIPITACIÓN PUEDE SER AUMENTADA INCREMENTANDO LA FRACCIÓN EN VOLUMEN DE CARBONITRURO PRESENTE EN LA AUSTENITA, YA SEA CON PORCENTAJES DE COLUMBIO Y CARBÓN MÁS ALTOS O DISMINUYENDO LA TEMPERATURA DEL LINGOTE.

LOS CAMBIOS EN LA PRÁCTICA DE LAMINADO PRODUCEN EFECTOS EN LA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN Y POR CONSECUENCIA EN LA DUCTIBILIDAD DEL MATERIAL, SIENDO LOS ACEROS ALEADOS CON COLUMBIO LOS MÁS SENSIBLES A ESTOS CAMBIOS.

EN RESUMEN COMO OTRO PARÁMETRO QUE INFLUYE EN LA TEMPERATURA DE TRANSICIÓN DE RUPTURA DÚCTIL O FRÁGIL, ES EL TAMAÑO DE GRANO DE LA FERRITA, SIENDO NECESARIO CONTROLAR LOS PARÁMETROS DE LAMINADO DE LOS ACEROS ALEADOS CON COLUMBIO PARA OBTENER:

- TAMAÑOS PEQUEÑOS DE GRANOS AUSTENÍTICOS EN LOS LINGOTES.
- GRANDES PRECIPITACIONES DE CARBONITRURO DE COLUMBIO EN LOS PLANCHONES, CON LO QUE SE RETARDA EL CRECIMIENTO DEL GRANO.

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER CUMPLIDOS CON UNA TEMPERATURA DE RECALENTAMIENTO DEL PLANCHÓN INFERIOR A LA TEMPERATURA DE SOLUCIÓN DE LOS CARBONITRUROS DE COLUMBIO Y SE PUEDE AFIRMAR FINALMENTE QUE LOS EFECTOS DE LAS MICROALEACIONES DE  $Cb$  Y  $V$  EN ACEROS CON BAJOS PORCENTAJES DE CARBONO Y PORCENTAJES DE MANGANESO ALTOS (1,65 MÁX.) PRODUCEN ACEROS DE BUENA CALIDAD, CON ALTAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÁCILMENTE SOLDABLES.

#### TEMPLE Y REVENIDO

LA VENTAJA DEL TEMPLE Y REVENIDO CON RESPECTO A OTRAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN RADICA EN DOS HECHOS:

- A PARTIR DE UN MISMO ANÁLISIS QUÍMICO ES POSIBLE OBTENER CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SUPERIORES.
  
- LA OBTENCIÓN DE UN NIVEL DADO DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, ES POSIBLE A PARTIR DE UN ANÁLISIS QUÍMICO CON MÁS BAJO CONTENIDO EN ELEMENTOS DE ALEACIÓN.

SIN EMBARGO, LA EXPLOTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS CLÁSICOS DE TEMPLE REQUIERE UN CALENTAMIENTO DE LAS PLACAS ANTES DEL TEMPLE Y NO PERMITE SIHO UNA PRODUCCIÓN REDUCIDA CON RESPECTO A LA DEL LAMINADOR.

PARA EVITAR ÉSTOS INCONVENIENTES, SE DISEÑO Y REALIZÓ UN DISPOSITIVO ORIGINAL DE ENFRIAMIENTO ACELERADO. ÉSTA INSTALACIÓN PERMITE EFECTUAR EL TEMPLE DE LAS PLACAS DIRECTAMENTE A LA SALIDA DEL LAMINADOR Y A LA CEDENCIA DE ÉSTE.

EL PRINCIPIO DEL PROCEDIMIENTO CONSISTE EN ENFRIAR ENÉRGICAMENTE UNA PLACA POR MEDIO DE UNA LÁMINA DE AGUA A BAJA PRESIÓN EN CIRCULACIÓN FORZADA POR AMBOS LADOS DEL PRODUCTO. UNA SERIE DE RODILLOS QUE TRABAJAN DE A DOS (POR PARES) ASEGURA EL DESPLAZAMIENTO DE LA PLACA EN LA MÁQUINA Y PERMITE EJERCER UN ESFUERZO SUFICIENTE SOBRE ÉSTA, CON EL FIN DE IMPEDIRLE QUE SE DEFORME

DURANTE EL ENFRIAMIENTO. ESTE MÉTODO PERMITE OBTENER UNA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO DE APROXIMADAMENTE 100 A 30° C/SEG. EN EL CENTRO DE PLACAS DE ESPESOR COMPRENDIDO ENTRE 10 Y 30 MM., Y SU CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN ES DE 90 TON./HRS.

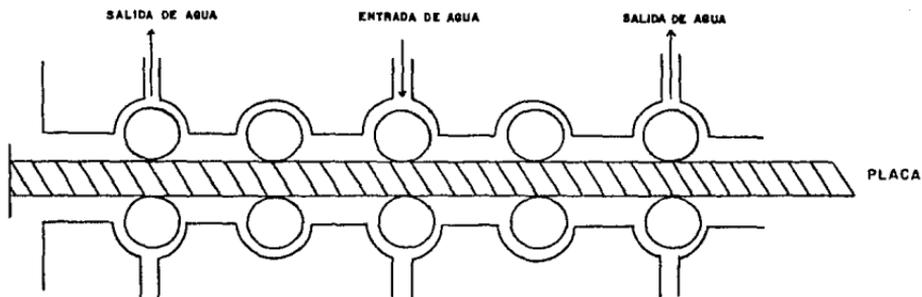


FIG. 8

UNA VEZ REALIZADO EL ENFRIAMIENTO EN LA MÁQUINA, LAS PLACAS PUEDEN SER SOMETIDAS A UN TRATAMIENTO DE REVENIDO A UNA TEMPERATURA QUE DEPENDE DEL RESULTADO ESPERADO, PERO QUE DE TODAS FORMAS ES SUPERIOR A 600° C.

#### CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PARA GAS AMARGO (H<sub>2</sub>S).

LAS EXIGENCIAS DE LOS TUBOS PARA CONDUCTOS TIENDEN A SER CADA VEZ MÁS SEVEROS, ESTO OBEDECE A LAS CIRCUNSTANCIAS O EN LA MEDIDA QUE SE VAYA AVANZANDO EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS PETROLÍFEROS Y DEL GAS. ES DECIR, SE DEBEN ADAPTAR A LAS CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN EN LAS PROFUNDIDADES DEL MAR Y EN LUGARES DE INTENSO FRÍO COMO EN SIBERIA Y ÁLASKA, PARA LA EXTRACCIÓN DE GASES DE FASES DENSAS Y EN ESPECIAL DE LOS GASES SULFUROSOS CON CONTENIDO DE ÁCIDO SULFÚDRICO (H<sub>2</sub>S) (MÉXICO).

PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO DE BUENAS CARACTERÍSTICAS CONTRA EL HIC (HYDROGEN INCLUDED CRACKS) Y SSC (SULFIDE STRESS CRACK) APARTE DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES QUE SE REQUIERAN PARA USO ORDINARIO, DEBEN COMPLEMENTARSE ADOPTANDO LAS MEDIDAS ESPECIALES QUE SE MUESTRAN EN LA TABLA I.

T A B L A 1

FRACTURA	FUNDAMENTOS ESPECIALES	PROCESO DE PRODUCCION DE ACERO PARA SERVICIO DE GAS AMARGO.
<p>HIC EN METAL BASE.</p>	<p>PELÍCULA PASIVA EN LA SUPERFICIE DEL ACERO QUE IMPIDE LA PENETRACIÓN EN ÉSTE.</p> <p>ELIMINACIÓN DE LAS INCLUSIONES ALARGADAS (Mn S, AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ETC).</p> <p>RESISTENCIA A LA PROPAGACIÓN DE LA FRACTURA MEJORANDO SU MICROESTRUCTURA.</p>	<p><u>ADICIÓN DE COBRE.</u> ESTE PROCESO NO ES EFECTIVO CUANDO EL PH EN EL GAS SEA MENOR QUE 5.</p> <p><u>DESULFURIZACIÓN (S &lt; 0.002)</u> TRATAMIENTO CON CALCIO (CA), CONTROLA LA FORMA DE LOS Mn S).</p> <p>MEJORANDO SU MICROESTRUCTURA EN ZONAS SEPARADAS. COMPOSICIÓN QUÍMICA (Mn &lt; 1.0%) CONDICIONES DE ROLADO. TRATAMIENTO TÉRMICO.</p>
<p>SSC EN EL PERÍMETRO DE LA SOLDADURA.</p>	<p>DUREZA EN JUNTAS SOLDADAS MUY BAJA (HRC &lt; 22)</p>	<p>CAPRÓN EQUIVALENTE MUY BAJO (CE).  <math display="block">CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}</math></p>

B) REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.  
(ESPECIFICACIÓN API - 5L .. 1984)

T A B L A 2

GRADO	REQUERIMIENTOS DE TENSION				ALARGAMIENTO % MIN.
	PUNTO DE FLUENCIA		RESISTENCIA A LA TENSION ÚLTIMA		
	PSI MIN.	MPA MIN.	PSI MIN.	MPA MIN.	
A-25	25,000	172	45,000	310	$e = 625,000 \frac{A^{0.2}}{L^{0.9}}$
A	30,000	207	48,000	331	
B	35,000	241	60,000	413	
X-42	42,000	289	60,000	413	
X-46	46,000	317	63,000	434	FÓRMULA INGLESA.
X-52	52,000	358	66,000 <sup>1</sup> 72,000 <sup>2</sup>	455 <sup>1</sup> 496 <sup>2</sup>	$e = 1942.57 \frac{A^{0.2}}{L^{0.9}}$
X-56	56,000	386	71,000 <sup>1</sup> 75,000 <sup>2</sup>	489 <sup>1</sup> 517 <sup>2</sup>	
X-60	60,000	413	75,000 <sup>1</sup> 78,000 <sup>2</sup>	517 <sup>1</sup> 537 <sup>2</sup>	
X-65	65,000	448	77,000 <sup>1</sup> 80,000 <sup>2</sup>	530 <sup>1</sup> 551 <sup>2</sup>	
X-70	70,000	482	82,000	565	FÓRMULA MÉTRICA.

## NOTAS

- EL ESFUERZO A LA TENSIÓN MÍNIMA PARA GRADO X-60 PARA - -  
TUBO SOLDADO MEDIANTE RESISTENCIA ELÉCTRICA EN TODOS - -  
LOS DIÁMETROS Y ESPESORES, DEBERÁ SER 75,000 PSI (517 MPA)
- 1 PARA TUBOS MENOR DE 20" DE DIÁMETRO CON CUALQUIER ESPESOR  
DE PARED Y PARA TUBOS DE 20" Y MAYOR CON ESPESOR MAYOR A  
0.375".
- 2 PARA TUBOS DE 20" EN DIÁMETRO Y MAYORES CON ESPESOR DE -  
375" Y MENOR.

EL MÍNIMO ALARGAMIENTO EN 2" SERÁ DETERMINADA POR LA -  
FÓRMULA DE LA TABLA, EN DONDE:

$e$  = MÍNIMO ALARGAMIENTO EN 2" EN PORCIENTO, REDONDEADO  
AL NÚMERO MÁS CERCANO.

$A$  = SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA MUESTRA DE PRUEBA A LA  
TENSIÓN EN  $IN^2$  ( $MM^2$ ), BASADOS EN EL DIÁMETRO - -  
EXTERIOR ESPECIFICADO O EN EL ANCHO Y ESPESOR NOMI  
NAL DE LA MUESTRA.

$U$  = RESISTENCIA A LA TENSIÓN ÚLTIMA EN PSI O MPA

T A B L A 3

COMPOSICION QUIMICA PARA ANALISIS DE COLADA							
GRADO	C MÁX <sup>1</sup>	MN MÁX <sup>2</sup>	P MÁX	S MÁX	CB MÍN	V MÍN	Ti MÍN
A-25	.21	.60	.08	.06	-	-	-
A	.21	.90	.04	.05	-	-	-
B	.26	1.15	.04	.05	-	-	-
X-42 <sup>8</sup>	.28	1.25	.04	.05	-	-	-
X-46 <sup>8</sup>	.30	1.35	.04	.05	-	-	-
X-52 <sup>8</sup>	.30	1.35	.04	.05	-	-	-
X-56 <sup>3</sup>	.26	1.35	.04	.05	.005 <sup>4</sup>	.02 <sup>4</sup>	.03 <sup>4</sup>
X-60 <sup>3</sup>	.26	1.35	.04	.05	.005 <sup>4</sup>	.02 <sup>4</sup>	.03 <sup>4</sup>
X-65 <sup>5</sup>	.26	1.40	.04	.05	.005 <sup>6</sup>	.02 <sup>6</sup>	-
X-70 <sup>3</sup>	.23 <sup>7</sup>	1.60 <sup>7</sup>	.04	.05	-	-	-

NOTAS

- 1, 2 PARA GRADOS X-42 HASTA X-65 POR CADA REDUCCIÓN DE 0.01% ABAJO DEL CONTENIDO MÁXIMO DE CARBONO, CORRESPONDE UN INCREMENTO DE 0.05% DE MANGANESO SOBRE EL MÁXIMO PERMISIBLE HASTA UN MÁXIMO DE 1.45%; PARA GRADO X-52 Y MENORES, Y UN MÁXIMO DE 1.60% PARA GRADOS MAYORES A X-52.
  
- 3 SE PUEDE ACORDAR ENTRE EL COMPRADOR Y EL FABRICANTE OTROS ANÁLISIS QUÍMICOS.
  
- 4 LOS ELEMENTOS CROMIO, VANADIO Y TITANIO O CUALQUIER COMBINACIÓN DE ELLOS, PUEDEN SER USADOS A DISCRECIÓN POR EL FABRICANTE.
  
- 5 PARA GRADOS X-65 EN DIÁMETROS DE 16" Y MAYORES, CON ESPESORES DE PARED 0.500" Y MENORES, LA COMPOSICIÓN QUÍMICA SERÁ LA SEÑALADA A LA ACORDADA ENTRE EL COMPRADOR Y EL FABRICANTE. PARA OTROS DIÁMETROS Y ESPESORES DE PARED, LA COMPOSICIÓN QUÍMICA SERÁ LA ACORDADA ENTRE EL COMPRADOR Y EL FABRICANTE.
  
- 6 EL CROMIO Y EL VANADIO O UNA COMBINACIÓN DE AMBOS, PUEDE SER USADA A DISCRECIÓN DEL FABRICANTE.

7       POR CADA REDUCCIÓN DE 0.01 %, BAJO EL MÁXIMO CONTENIDO DEL CARBONO ESPECIFICADO, ES PERMISIBLE UN INCREMENTO DEL 0.05% DE MANGANESO SOBRE EL MÁXIMO ESPECIFICADO.

8       LOS ELEMENTOS COLUMBIO, VANADIO Y TITANIO O CUALQUIER COMBINACIÓN DE ELLOS, PUEDEN SER USADOS MEDIANTE ACUERDO ENTRE EL FABRICANTE Y EL COMPRADOR.

#### IV. PROCESO DE FABRICACION

##### A) DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

EL PROCESO DE FABRICACIÓN EN ESPIRAL, PERMITE POR SU GRAN FLEXIBILIDAD PRODUCIR TUBERÍAS DE MUY DIVERSOS - DIÁMETROS; GENERALMENTE SE PRODUCEN TUBOS DESDE 20", HASTA 120" DE DIÁMETRO, TAMBIÉN EN FORMA GENERAL PODEMOS DECIR - QUE LOS ESPESORES VARÍAN DESDE 3/16 A 1 PULGADA, YA QUE - ÉSTOS ESTÁN EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DEL ACERO Y SU DIÁMETRO.

LA SOLDADURA EN ESTE PROCESO SE REALIZA POR EL - - MÉTODO DE DOBLE ARCO SUMERGIDO TANTO INTERIOR COMO EXTERIOR MENTE.

EL DIAGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN SE MUESTRA - EN LA FIGURA (9), APARECE GRÁFICAMENTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y EL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA TUBERÍA. EL PROCESO DE FABRICACIÓN EN FORMA SIMPLIFICADA ES COMO SIGUE:

- ALIMENTACIÓN DE ACERO EN ROLLO.
- NIVELACIÓN O ENDEREZADO.
- CORTE DE ORILLA Y BISEL.
- FORMADO.
- SOLDADURA (INTERIOR Y EXTERIOR)
- PRUEBA DE ULTRASONIDO.

- PRUEBA DE RAYOS "X"
- PRUEBA HIDROSTÁTICA.
- BISELADO DE EXTREMOS DEL TUBO.

EN LA FIG. 9, SE PUEDE OBSERVAR EL FLUJO DE LOS TUBOS CON ALGUNOS DETALLES ADICIONALES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN Y DEL CONTROL DE CALIDAD.

EN EL ÁREA DE ALIMENTACIÓN, LA MATERIA PRIMA O PLACA DE ACERO EN ROLLO, SE COLOCA EN EL ALIMENTADOR QUE DESENCROLLA AL ACERO Y LO CONDUCE AL BANCO DE CORTE DE PUNTO Y COLA, - - DONDE SE LE CORTAN DE 0.5 A 1 METRO DE LARGO EN LA PUNTA Y CANTIDADES SIMILARES EN LA COLA DEL MISMO, ES DECIR, EN TOTAL SE LE CORTAN DE 1 A 2 METROS, ESTO ES DEBIDO A QUE NO PUEDEN SER APROVECHADOS LA PUNTA Y LA COLA PARA LA FABRICACIÓN DEL TUBO POR LA FORMA IRREGULAR Y ALGUNOS DEFECTOS COMO PEQUEÑAS LAMINACIONES QUE SE PRESENTAN; EN ÉSTE BANCO LOS EXTREMOS DE DOS ROLLOS DE ACERO SON SOLDADOS DE SU PUNTA Y COLA RESPECTIVAMENTE, POR EL SISTEMA DE ARCO SUMERGIDO.

POSTERIORMENTE SE NIVELA LA PLACA DE ACERO Y SE LE - CORTAN Y BISELAN LAS DRILLAS A LA MISMA, PULIENDO CON FRESADORA PARA UNIFORMAR EL ANCHO Y LOS CANTOS. SE UTILIZA ACERO EN DIFERENTES ANCHOS ENTRE 1219 Y 2032 MM., AL CUAL SE LE - CORTAN APROXIMADAMENTE 19 MM. DE CADA LADO. QUEDANDO UN - - ANCHO UNIFORME PARA UNA PRODUCCIÓN DETERMINADA; CABE HACER - MENCIÓN, QUE ES MUY IMPORTANTE EL ANCHO DE LA PLACA DE ACERO,

PORQUE MIENTRAS MÁS ANCHA SEA LA PLACA, EL AVANCE EN LA PRODUCCIÓN ES MÁS IMPORTANTE, INFLUYENDO TAMBIÉN EN EL MENOR CONSUMO DE FUNDENTE Y SOLDADURA. EL ANCHO DE ROLLO MÁS GRANDE QUE PUEDE SER MANEJADO ES DE 2,030 MM. Y ES EL ADECUADO PARA FABRICAR TUBERÍA DE 36 O MÁS PULGADAS DE DIÁMETRO; PARA DIÁMETROS MENORES SE REQUIEREN ANCHOS DE ROLLOS TAMBIÉN MENORES.

A CONTINUACIÓN, SE PROCEDE A FORMAR EL TUBO EN FORMA HELICOIDAL PARA LO CUAL LA TIRA DE ACERO SE PASA POR TRES JUEGOS DE RODILLOS. EN ALGUNOS CASOS Y ESPECIALMENTE PARA ESPESORES DE ACERO DE 1/2 PULGADA Y MAYORES, PREVIAMENTE AL FORMADO DEL TUBO, SE PREDOBLAN LAS ORILLAS DE LA TIRA DE ACERO PARA FACILITAR EL SOLDADO Y PARA EVITAR SALTOS ENTRE LAS DOS ORILLAS DE LA TIRA DE ACERO AL SOLDAR. ENSEGUIDA SE PROCEDE A SOLDAR EL TUBO POR MÉTODO DE DOBLE ARCO SUMERGIDO, QUE CONSISTE EN APLICAR A LA PLACA DOS ALAMBRES DE SOLDADURA DE 1/8 A 5/32 DE PULGADA DE DIÁMETRO. LA SOLDADURA SE APLICA TANTO POR EL INTERIOR COMO POR EL EXTERIOR, PARA LO CUAL SE UTILIZA SIMULTÁNEAMENTE UN FUNDENTE, QUE ES UN MATERIAL GRANULADO QUE AYUDA A LA FUSIÓN DEL ALAMBRE DE SOLDADURA CON LA PLACA Y QUE PROTEGE AL ARCO DE SOLDADURA DE LA ACCIÓN DE ELEMENTOS ATMOSFÉRICOS; DE LO SEÑALADO SE DERIVA EL NOMBRE DEL MÉTODO "ARCO SUMERGIDO", QUE ASEGURA LA MÁXIMA CALIDAD DEL CORDÓN DE SOLDADURA.

EL DIÁMETRO DEL TUBO QUEDA DETERMINADO POR EL ANCHO DE LA TIRA DE ACERO Y POR EL ÁNGULO DE ENTRADA DE LA TIRA DE ACERO RESPECTO A LA LÍNEA DE SALIDA DEL TUBO. UNA VEZ QUE ESTÁ HECHO EL TUBO, ES CORTADO MEDIANTE EQUIPO DE PLASMA ELÉCTRICO A LA LONGITUD DESEADA ENTRE 6 Y 18 M., ENSEGUIDA SE EMPAREJAN Y BISELAN LOS EXTREMOS DEL TUBO, PARA LO CUAL SE LE CORTAN APROXIMADAMENTE 5 CM. DE CADA EXTREMO. DESPUÉS EL TUBO SE SOMETE A TODAS LAS PRUEBAS QUE SEÑALE LA NORMA CON LA QUE SE ESTÉ TRABAJANDO.

EN ALGUNAS OCASIONES SE APLICAN RECUBRIMIENTOS DE LA SUPERFICIE INTERIOR Y EXTERIOR DE LOS TUBOS, ÉSTOS CONSISTEN EN RECUBRIMIENTOS PRIMARIOS DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA A BASE DE ALQUITRÁN DE HULLA Y OTROS PRODUCTOS EPÓXICOS PARA EVITAR LA CORROSIÓN.

ANTES DE APLICAR CUALQUIER RECUBRIMIENTO PROTECTOR, SE LIMPIA LA SUPERFICIE DE LA TUBERÍA CON CHORRO DE ARENA O GRANALLA APLICADA CON PRESIÓN DE AIRE, LO QUE PERMITE DEJAR LA SUPERFICIE TAN LIMPIA COMO SE DESEE.

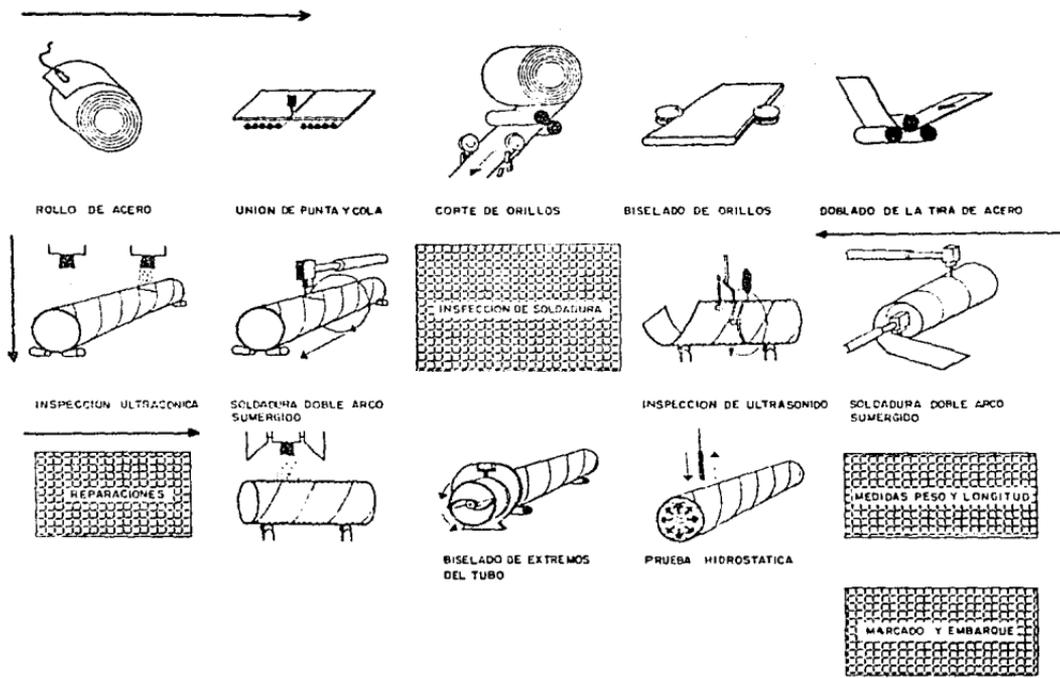


FIG 9

C) CONSIDERACIONES PRÁCTICAS SOBRE EL PROCESO DE SOLDADURA Y LA SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS.

DEFINICIÓN INTERNACIONAL DE LA SOLDABILIDAD

SE CONSIDERA QUE UN MATERIAL ES SOLDABLE A UN NIVEL DETERMINADO, POR UN PROCEDIMIENTO Y PARA UN TIPO DE APLICACIÓN DADOS, CUANDO EL DICHO MATERIAL PERMITE, SEGÚN LAS PRECAUCIONES CORRESPONDIENTES A ESTE NIVEL, LA REALIZACIÓN DE UNA CONSTRUCCIÓN CON LOS DIVERSOS ELEMENTOS Y ES POSIBLE ASEGURAR AL MISMO TIEMPO, LA CONTINUIDAD METÁLICA POR MEDIO DE LA CONSTITUCIÓN DE UNIONES SOLDADAS QUIENES, GRACIAS A SUS CARACTERÍSTICAS LOCALES Y A LAS CONSECUENCIAS GLOBALES A SU PRESENCIA, SATISFACEN A LAS CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS Y ELEGIDAS COMO BASE DE JUICIO.

LAS CONSECUENCIAS DE LA PRESENCIA DE CORDONES DE SOLDADURA EN UNA CONSTRUCCIÓN,

LA PRESENCIA DE DICHOS CORDONES PUEDE AUMENTAR EL RIESGO DE RUINA DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA MEDIDA QUE:

POR UN LADO, EL CORDÓN DE SOLDADURA DEPOSITADO PUEDE TRAER CONSIGO LA CREACIÓN DE DEFECTOS, YA SEA DE TIPO GEOMÉTRICO (COMO EMPALMES AGUDOS, FALTA DE PENETRACIÓN) O METALÚRGICOS (FISURAS) Y/O LA AGRAVACIÓN DE DEFEC

TOS LATENTES O PRE-EXISTENTES (DESDOBLAMIENTOS, DESGARRAMIENTOS SOBRE GRANDES INCLUSIONES, ETC.)

POR OTRA PARTE, LA CONTINUIDAD METÁLICA ENTRE DIFERENTES ELEMENTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, ASEGURADA POR LA SOLDADURA, PUEDE PERMITIR A UNA FISURA EVENTUAL DE PROPAGARSE SOBRE DISTANCIAS IMPORTANTES.

EN LO QUE SE REFIERE A ESTE ÚLTIMO PUNTO, ES NECESARIO RECORDAR QUE TALES FRACTURAS, QUE SON SUSCEPTIBLES DE INICIARSE A NIVEL DE LA SOLDADURA, NO SE PROPAGARÁN GENERALMENTE EN LA MISMA, SINO MÁS BIEN, EN EL METAL BASE.

LA SELECCIÓN DE LA CALIDAD DEL ACERO TIENE, ENTONCES, UNA IMPORTANCIA FUNDAMENTAL EN EL CASO DE UN CONJUNTO SOLDADO. EN PARTICULAR, SI LA EVENTUALIDAD DE UNA RUPTURA FRÁGIL COMPLETA E INCLUSO PARCIAL DEBE SER ABSOLUTAMENTE ALIMINADA, EL USO DE CALIDADES DE ACEROS QUE NO OFRECEN NINGUNA GARANTÍA DE TENACIDAD DEBE SER ABSOLUTAMENTE EVITADO.

PROBLEMAS DEBIDO A LA PRESENCIA EVENTUAL DE DEFECTOS AL NIVEL DE LAS SOLDADURAS.

ENTRE LOS DEFECTOS METALÚRGICOS DE UNA SOLDADURA, SE PUEDE CITAR:

- LA FISURA EN CALIENTE.
- LA FISURA POR DESGARRE LAMINAR,
- LA FISURA EN FRÍO.

LA FISURA EN CALIENTE

Sí, A TÍTULO EXCEPCIONAL, ESTE TIPO DE FISURAS SE PRODUCE, ÉSTA SE TRADUCE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS - POR LA PRESENCIA DE FISURAS LONGITUDINALES EN EL METAL - FUNDIDO, PROVOCADAS POR LA EXISTENCIA DE TENSIONES IMPOR TANTES EN EL MOMENTO EN QUE ÉSTE, ESTÁ TODAVÍA MUY CALIEH TE.

LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL FUNDIDO ES - IMPORTANTE (ES DECIR, LA DEL METAL DE APORTE Y TAMBIÉN - LA DEL METAL BASE (DADA LA PARTE QUE TOMA CADA UNO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN) Y SE TENDRÁ UN CUIDADO PARTICU LAR CON LOS ELEMENTOS S, P Y C.

EL INSTITUTO INTERNACIONAL DE LA SOLDADURA - CONSIDERA COMO DESEABLE QUE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL FUNDIDO (EN EL CASO DE SOLDADURA MANUAL AL ARCO) CUMPLA CON LOS SIGUIENTES REQUISITOS.

S < 0.04 %

P < 0.04 %

C < 0.13 %

$\frac{Mn}{S} > 20$  .'. Mn = 0.8 %

ESTE ANÁLISIS QUÍMICO SE CONSIGUE CASI SIEMPRE.

EN LO QUE SE REFIERE AL PROCESO DE SOLDADURA - CON ARCO SUMERGIDO BAJO FLUX SÓLIDO, SE TENDRÁ EN CUENTA LA DILUCIÓN EN LAS PRESCRIPCIONES ENUNCIADAS ANTERIORMENTE. ADEMÁS CON ESTE PROCEDIMIENTO, LA FISURACIÓN EN CALIENTE PUEDE SER AGRAVADA POR UNA MALA CONFIGURACIÓN DEL CORDÓN DE LA SOLDADURA.

#### LA FISURA POR DESGARRE LAMIHAR

ESTE TIPO DE FISURA ES LA CONSECUENCIA DE UNA FISURACIÓN QUE SE PRODUCE PARALELAMENTE A LA SUPERFICIE DE UN PRODUCTO LAMINADO, COMO CONSECUENCIA DE LA PRESENCIA DE UNA SOLDADURA, QUE SOLICITA EL MATERIAL EN EL SENTIDO DEL ESPESOR.

SE APORTARÁ ENTONCES UN CUIDADO ESPECIAL A LA SELECCIÓN DE LOS METALES DE APORTE.

NO SE DEBERÁN UTILIZAR ELECTRODOS CONDUCIENDO A UN METAL DE APORTE QUE TENGA UN LÍMITE DE ELASTICIDAD

QUE SEA SUPERIOR A LA RESISTENCIA EFECTIVA DEL PRODUCTO.

CUANDO LAS EXIGENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN LO PERMITEN (POR EJEMPLO: CASO DE LAS SOLDADURAS DE ÁNGULO), SE TOMARÁ UN METAL DE APORTE CON LÍMITE DE ELASTICIDAD LO MÁS BAJO POSIBLE.

ESTE TIPO DE PRECAUCIÓN ES PARTICULARMENTE EFICAZ Y PUEDE SER LIMITADO A LOS PASOS DE SOLDADURA INMEDIATAMENTE EN CONTACTO CON LA SUPERFICIE DE LA CHAPA.

#### LA FISURACIÓN EN FRÍO

LA FISURACIÓN EN FRÍO ES EL TIPO DE DEFECTO MÁS TEMIBLE EN EL CASO DE ESTRUCTURAS SOLDADAS HASTA TAL PUNTO, QUE LA NOCIÓN DE SOLDABILIDAD SE CONFUNDE, A MENUDO, CON LA SUSCEPTIBILIDAD A ESTE DEFECTO. EL DESEO DE EVITAR DICHO DEFECTO SE ENCUENTRA A LA BASE DE LA MAYOR PARTE DE LOS CRITERIOS EVOCADOS CUANDO SE TRATA DE LA SOLDADURA DE LOS ACEROS. CARBOHO EQUIVALENTE, DUREZA CONVENCIONAL BAJO CORDÓN ETC., CUYA VALIDEZ NO ES ABSOLUTA.

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15}$$

EL CONTENIDO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS SE EXPRESA EN %.

ESTA FÓRMULA SE UTILIZA A MENUDO, EN EL CONTEXTO DE LA FISURACIÓN EN FRÍO, EN CUYO CASO UN VALOR MÁXIMO ES EXIGIDO.

ES NECESARIO INSISTIR SOBRE EL HECHO DE QUE, EN GENERAL EN EL CASO DE LOS ACEROS, LA FISURACIÓN EN FRÍO - APARECE MÁS BIEN CUANDO SE UTILIZA EL MÉTODO DE SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO, RARA VEZ CUANDO SE UTILIZA LA SOLDADURA CON PROTECCIÓN GASEOSA (POR LO MENOS CON - - ELECTRODO SIN REVESTIMIENTO) Y PRÁCTICAMENTE NUNCA EN SOLDADURA BAJO FLUX. ES LA RAZÓN POR LA CUAL SE CONSIDERA MÁS LA SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO PARA LA EVALUACIÓN DE TAL RIESGO).

#### LAS CAUSAS DE LA FISURACIÓN

1.- LA PRESENCIA DE TENSIONES IMPORTANTES DEBIDAS AL EMBRIDADADO Y A LA CONTRACCIÓN, QUE SE MANIFIESTAN AL NIVEL DE LA SOLDADURA.

2.- EL TEMPLE DEL METAL UBICADO CERCA DE LA LÍNEA DE FUSIÓN Y LA INTRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DENTRO DEL CORDÓN DURANTE LA SOLDADURA.

EL TÉRMINO DEL TEMPLE ES UTILIZADO EN LA MISMA FORMA QUE TEMPLE METALÚRGICO, ES DECIR ENFRIAMIENTO SUFICIENTEMENTE RÁPIDO DEL METAL DE LA ZONA AFECTADA POR EL

CALOR, COMO PARA CONDUCIR A LA FORMACIÓN DE UNA ESTRUCTURA COMPLETAMENTE O PARCIALMENTE MARTENSÍTICA EN DICHA ZONA.

CALIDAD DE LA UNIÓN, LIMPIEZA DE LAS PIEZAS Y  
CONDICIONES DE EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA.

UN CIERTO NÚMERO DE PRECAUCIONES ELEMENTALES - DEBEN SER PREVISTAS. SE EVITARÁ, ESPECIALMENTE, SOLDAR SOBRE PIEZAS HÚMEDAS O SUCIAS Y SE ELIMINARÁ DE LAS UNIONES LOS TRAZOS DE LUBRICANTE QUE PUEDEN PROVENIR DE LOS EQUIPOS DE MANTENCIÓN, DE SOLDADURA, ETC. LAS OPERACIONES DE SOLDADURA SE EFECTUARÁN DE MANERA A PROTEGERSE DE LAS INTERPERIES Y SE EVITARÁ SOLDAR, EN EL TALLER, - SOBRE PIEZAS CUYA TEMPERATURA ES INFERIOR A LA TEMPERATURA AMBIENTE. (PROBLEMAS DE TEMPERATURA Y DE CONDENSACIÓN)

ENERGÍA DE SOLDADURA: { ENERGÍA NOMINAL  
ENERGÍA EQUIVALENTE.

ENERGÍA NOMINAL. - ES LA ENERGÍA QUE SE UTILIZA EFECTIVAMENTE PARA SOLDAR, ES DECIR, AQUELLA SUMINISTRADA AL NIVEL DEL ARCO; TAL ENERGÍA SE EXPRESA EN K /CM. DE CORDÓN DEPOSITADO.

$$E_N = \frac{60 \times I \times V}{1000}$$

ENERGÍA EQUIVALENTE. - LA ENERGÍA EQUIVALENTE - -  
 RESULTA DE UNA CORRECCIÓN DE LA ENERGÍA NOMINAL EN FUNCIÓN  
 DE LA GEOMETRÍA DE LA UNIÓN.

$$E_{Eq} = K \times E$$

EL VALOR DEL FACTOR MULTIPLICATIVO K APARECE -  
 A CONTINUACIÓN, EN LA TABLA 4. PARA ALGUNAS DE LAS CONF  
 GURACIONES MÁS CORRIENTES.

T A B L A 4

FORMA DEL CHAFLÁN	$\alpha$	30°	45°	60°	75°	90°	105°	130°
 EN Y	K	0.55	0.57	0.60	0.63	0.67	0.70	0.75
 EN V	K	1.20	1.33	1.50	1.72	2	2.38	3
 EN X	K	0.60	0.67	0.75	0.85	1	1.20	1.50

INFLUENCIA DE LA OPERACIÓN DE SOLDADURA SOBRE LA MICROESTRUCTURA DE LOS ACEROS EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (Z.A.C.)

DURANTE LA OPERACIÓN DE SOLDADURA, UNA GRAN CANTIDAD DE CALOR ES APORTADA LOCALMENTE A LA PIEZA SOLDADA. ESTE APORTE CALORÍFICO TRAE CONSIGO:

- UN CALENTAMIENTO MUY RÁPIDO HASTA UNA TEMPERATURA COMPRENDIDA ENTRE LA TEMPERATURA INICIAL DEL METAL Y SU TEMPERATURA DE FUSIÓN, SEGÚN LA DISTANCIA A LA ZONA FUNDIDA DEL PUNTO CONSIDERADO.
- UN ENFRIAMIENTO INMEDIATAMENTE POSTERIOR AL CALENTAMIENTO, CUYA CINÉTICA DEPENDE ESENCIALMENTE, COMO LO HEMOS VISTO ANTES, DE LAS CONDICIONES OPERATORIAS (Y PARTICULARMENTE DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA, DE LA GEOMETRÍA DE LA UNIÓN, DEL PROCESO DE SOLDADURA Y DE SU RENDIMIENTO TÉRMICO)

ESTE TIPO DE CICLO TÉRMICO PROVOCA TRANSFORMACIONES ESTRUCTURALES QUE DEPENDEN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ALCANZADA Y DE LAS CONDICIONES DE ENFRIAMIENTO DEL METAL EN EL PUNTO CONSIDERADO.

## V. CONTROL DE CALIDAD

### A) PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS A MATERIA PRIMA.

A PESAR DE QUE EL CONTROL DE CALIDAD ES UN PROCESO INDEPENDIENTE DE LA PRODUCCIÓN DEL TUBO, TRABAJA EN UN CIRCUITO REGULADOR, ESTRECHAMENTE LIGADO CON LA PRODUCCIÓN.

CONTINUAS COMPARACIONES DE LOS VALORES TEÓRICOS Y REALES DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS, ASÍ COMO SU REALIZACIÓN DE MATERIAL RECUPERADO A LA FABRICACIÓN DE PRODUCCIÓN PERMITE UN NIVEL DE CALIDAD, MISHO QUE AMINORA RECHAZOS EN EL CONTROL DE CALIDAD FINAL.

LOS EQUIPOS DE LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD QUE CUMPLEN CON LAS NORMAS API EN LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE ACERO, SON SUFICIENTES PARA CUMPLIR CON LAS DEMÁS NORMAS Y SON:

- EQUIPO DE ULTRASONIDO.
- EQUIPO DE RAYOS "X"
- PRUEBA HIDROSTÁTICA.
- EQUIPOS DE LABORATORIO:

PARA ANÁLISIS QUÍMICOS,

PARA PRUEBAS MECÁNICAS

- . DE TENSIÓN
- . DE DOBLEZ
- . DE IMPACTO
- . DE DUREZA.

LA MATERIA PRIMA QUE LLEGA A LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE TUBOS CON COSTURA EN ESPIRAL, VIENE ACOMPAÑADA CON SUS CERTIFICADOS DE CALIDAD, SOLICITADOS POR EL COMPRADOR; EN EL CUAL SE INDICA EL PORCENTAJE DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES QUE COMPONEN DICHO PRODUCTO, TALES COMO: CARBÓN, MANGANESO, FÓSFORO, AZUFRE, NIOBIO, VANADIO Y TITANIO; ADEMÁS DE SU LÍMITE ELÁSTICO Y SU RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

LOS COMPONENTES Y SU RESISTENCIA MECÁNICA DEL ACERO, SON RECHECADOS POR EL FABRICANTE DE TUBOS CON COSTURA EN ESPIRAL, DEBIENDO ESTAR DE ACUERDO CON LOS CERTIFICADOS DE CALIDAD EMITIDOS POR EL FABRICANTE DE MATERIA PRIMA Y POR LO ESPECIFICADO EN LA NORMA DETERMINADA.

EL ANÁLISIS QUÍMICO PUEDE SER DETERMINADO POR MEDIO DE EMISIÓN ESPECTROSCÓPICA, EMISIÓN DE RAYOS X, -- ABSORCIÓN ATÓMICA, TÉCNICAS DE COMBUSTIÓN Y PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS HÚMEDO.

#### CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS MECÁNICAS

LAS PRUEBAS MECÁNICAS SE DISTINGUEN, ADEMÁS DE POR LOS ESQUEMAS DEL ESTADO DE TENSIÓN, POR EL PROCEDIMIENTO DE CARGA Y POR EL CARÁCTER DE SU VARIACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

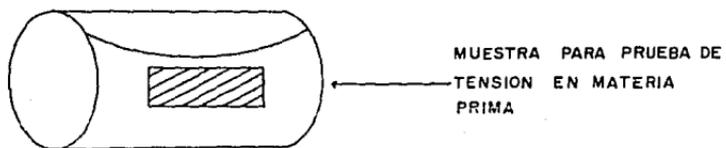


FIG. 10

b) Muestras para pruebas físicas y químicas al cuerpo del tubo.  
Dimensiones de la muestra para pruebas de tensión.

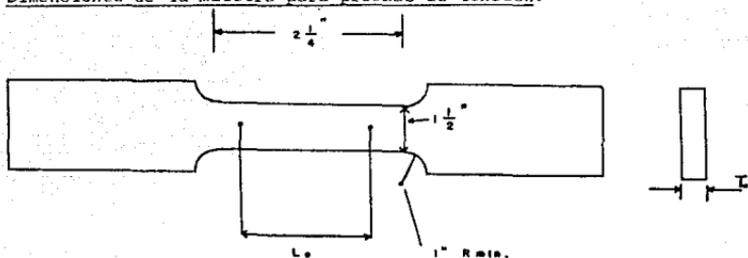


FIG. 11

- o =  $2" \pm 0.010"$  cuando la probeta es transversal al tubo sin soldadura.
- o =  $2" + 0.005"$  cuando la probeta contiene soldadura. (tensión soldadura)

Dimensión de la muestra para pruebas de dobléz guiado en soldadura

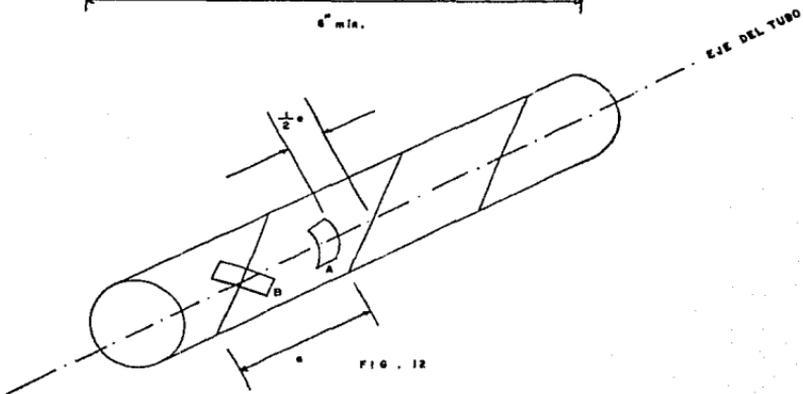
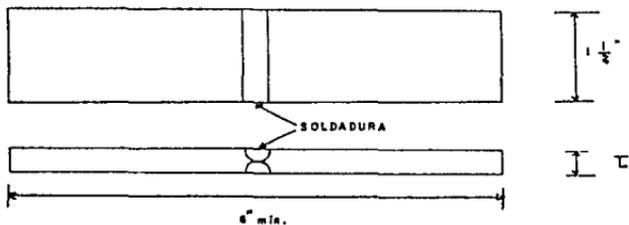


FIG. 12

- A - Muestra transversal para tensión perpendicular al eje del tubo.
- B - Muestra con soldadura para tensión y dobléz, perpendicular al cordón de soldadura.

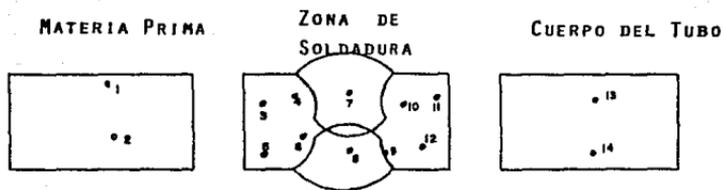


FIG. 13

c) PRUEBAS HIDROSTÁTICAS.

PRUEBA HIDROSTÁTICA DE CONTROL EN FABRICA.

TODO LARGO DE TUBO SOPORTARÁ, SIN QUE SE PRODUZCAN FUGAS, UNA PRUEBA HIDROSTÁTICA DE CONTROL EN FÁBRICA, DE ACUERDO A LO ESPECIFICADO POR LA NORMA. LAS PRESIONES DE PRUEBA PARA LOS TUBOS EN TAMAÑOS DE 18 PULGADAS (DIÁMETRO) Y MENORES, SE MANTENDRÁN DURANTE UN PERÍODO NO INFERIOR A CINCO SEGUNDOS.

LAS PRESIONES DE PRUEBA PARA TUBOS EN TAMAÑO DE 20 PULGADAS (DIÁMETRO) Y MAYORES, SE MANTENDRÁN DURANTE UN PERÍODO NO INFERIOR A DIEZ SEGUNDOS. EL TUBO SE GOLPEARÁ MIENTRAS SE ENCUENTRE SOMETIDO A PRESIÓN, CON UN MARTILLO DE DOS LIBRAS O UN INSTRUMENTO EQUIVALENTE, CERCA DE LA SOLDADURA, EN AMBOS EXTREMOS.

VERIFICACIÓN DE LA PRUEBA.

A FIN DE ASEGURAR QUE TODO TRAMO DE TUBO SE ENSAYA A LA PRESIÓN DE PRUEBA REQUERIDO, CADA BANCO DE PRUEBAS ESTARÁ DOTADO DE UN INSTRUMENTO REGISTRADOR DE LA PRESIÓN DE PRUEBA Y EL TIEMPO EN QUE ESTUVO APLICADA SOBRE CADA TRAMO DE TUBO, O ESTARÁ EQUIPADO CON ALCÚN MECANISMO POSITIVO AUTOMÁTICO O DE ENCLAVAMIENTO, PARA EVITAR QUE -

SE CLASIFIQUE COMO ENSAYADO UN TRAMO HASTA QUE HAYA SATISFECHO LOS REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA (PRESIÓN Y TIEMPO).

PRESIÓN DE PRUEBA

LA PRESIÓN DE PRUEBA SE CALCULARÁ CON LA SIGUIENTE FÓRMULA:

$$P = \frac{2 S_t}{D}$$

EL VALOR DE P SE REDONDEARÁ AL VALOR INMEDIATO MÚLTIPLO DE 10 PSI, Ó DE 2KG/CM<sup>2</sup> CORRESPONDIENTE A LA SIGUIENTE FÓRMULA:

$$P = \frac{2000 S_t}{D}$$

DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE S

<u>GRADO</u>	<u>DIAMETRO (PULG.)</u>	<u>PORCENTAJE DEL PUNTO DE FLUENCIA MÍNIMO ESPECIFICADO PRESIÓN A PRUEBA STANDARD</u>
A-25	5 <sup>9</sup> / <sub>16</sub>	60
A	2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> Y MAYORES *	60
B	2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> Y MAYORES *	60
X-42 A X-70 **	5 <sup>9</sup> / <sub>16</sub> Y MENORES	60
	6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> Y 8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	75
	10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> A 18 INCLUSIVE	85
	20 Y MAYORES	90

## NOTAS

• LA PRESIÓN DE PRUEBA FUE LIMITADA A 2500 PSI PARA DIÁMETROS DE 3 1/2 IN Y MENORES, Y 2800 PSI PARA TAMAÑOS MAYORES A 3 1/2 IN.

•• LA PRESIÓN PARA GRADOS X-42 A X-70 FUE LIMITADA A 3000 PSI.

### D) INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA

#### MÉTODOS DE INSPECCIÓN

EL CORDÓN DE SOLDADURA HELICOIDAL Y LA SOLDADURA DE EMPALME DE BANDA EN TODOS LOS TUBOS SOLDADOS HELICOIDALMENTE, EXCEPTO LAS DEL GRADO A, SUMINISTRADAS SEGÚN ESPECIFICACIÓN API, SE INSPECCIONARÁ EN TODA SU LONGITUD (100%) DE ACUERDO CON LOS MÉTODOS ESPECIFICADOS A CONTINUACIÓN:

1. LOS TUBOS SOLDADOS POR ARCO SUMERGIDO SE INSPECCIONARÁ EN TODA SU LONGITUD, POR MÉTODOS RADIOLÓGICOS O TAMBIÉN POR MÉTODOS ULTRASÓNICOS, COMPLETÁNDOSE EN ESTE ÚLTIMO CASO, CON UNA INSPECCIÓN RADIOLÓGICA EN UNA DISTANCIA DE 8 PULGADAS A PARTIR DE CADA EXTREMO.

2. LAS SOLDADURAS DE EMPALME DE BANDA, SE INSPECIONARÁN DE ACUERDO CON EL MÉTODO APROPIADO, COMO SE ESPECIFICÓ ANTERIORMENTE. ADEMÁS, LA JUNTA DEL CORDÓN HELICOIDAL CON LA SOLDADURA DE EMPALME DE BANDA, SE DEBERÁ INSPECCIONAR RADIOLÓGICAMENTE SI CUALQUIERA DE AMBAS SOLDADURAS SE HICIERA POR EL PROCESO DE ARCO SUMERGIDO.

INSPECCIÓN RADIOLÓGICA.- EQUIPO.

LA HOMOGENEIDAD DE UNA SOLDADURA SE PUEDE EXAMINAR POR MEDIO DE RAYOS X, QUE ATRAVIESEN EL MATERIAL DE LA MISMA SOBRE UNA PELÍCULA RADIOGRÁFICA O UNA PANTALLA FLUORESCENTE. LA PELÍCULA DESPUÉS DE REVELADA, DA UN NEGATIVO DE LA SOLDADURA, QUE SE PUEDE OBSERVAR DIRECTAMENTE EN UNA PANTALLA FLUORESCENTE O SE PUEDE REPRODUCIR EN UNA PANTALLA DE TELEVISIÓN. SE PUEDE EMPLEAR EQUIPO DE RAYOS X QUE UTILICE PELÍCULA, PANTALLA FLUORESCENTE O PANTALLA DE TELEVISIÓN CON TAL QUE SE PUEDA LOGRAR LA ADECUADA SENSIBILIDAD.

EL EXAMEN RADIOLÓGICO TIENE COMO FIN, DETECTAR LAS IMPERFECCIONES DE LA SOLDADURA, TALES COMO: GRIETAS, FALTA DE PENETRACIÓN, FALTA DE FUSIÓN, INCLUSIONES DE ESCORIAS Y BURBUJAS O POROS.

INSPECCIÓN ULTRASÓNICA Y ELECTROMAGNÉTICA, -EQUIPO

SE EMPLEARÁ CUALQUIER EQUIPO QUE UTILICE PRINCIPIOS ULTRASÓNICOS O ELECTROMAGNÉTICOS Y CAPAZ DE INSPECCIONAR EN FORMA CONTÍNUA E ININTERRUMPIDA, EL CORDÓN DE SOLDADURA. EL EQUIPO SE CONTRASTARÁ CON UN PATRÓN DE REFERENCIA ADECUADO Y SE RECTIFICARÁ AL MENOS UNA VEZ POR CADA TURNO DE TRABAJO, PARA DEMOSTRAR SU EFECTIVIDAD Y LOS PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN. EL EQUIPO DE INSPECCIÓN SE COMPROBARÁ CON UN PATRÓN DE REFERENCIA, SOBRE EL CUAL DEBE DAR INDICACIONES BIEN DEFINIDAS, AL INSPECCIONARLO DE LA MISMA MANERA QUE SE VAYA A PROCEDER CON EL PRODUCTO.

LOS PATRONES DE REFERENCIA TENDRÁN EL MISMO DIÁMETRO Y ESPESOR ESPECIFICADO QUE EL PRODUCTO QUE SE VAYA A INSPECCIONAR Y PUEDEN SER DE CUALQUIER LONGITUD APROPIADA. LOS PATRONES DE REFERENCIA TENDRÁN ENTALLAS MECANIZADAS, UNA EN LA CARA INTERNA Y OTRA EN LA EXTERNA; O UN TALADRO. LA ENTALLAS SERÁN PARALELAS AL CORDÓN DE SOLDADURA Y ESTARÁN A UNA DISTANCIA SUFICIENTE PARA PRODUCIR DOS SEÑALES SEPARADAS Y DIFERENCIABLES. EL TALADRO SERÁ DE 1/16 PULGADAS O 1/8 DE PULGADA Y SE PERFORARÁ A TRAVÉS DE LA PARED Y PERPENDICULARMENTE A LA SUPERFICIE DEL PATRÓN DE REFERENCIA.

INSPECCIÓN VISUAL

SE SOMETERÁ A INSPECCIÓN VISUAL, TODOS LOS -  
TUBOS ACABADOS, QUE ESTARÁN LIBRES DE LOS DEFECTOS PERJU-  
DICIALES.

DEFECTOS PERJUDICIALES

GRIETAS Y FUGAS.- SE CONSIDERAN DEFECTOS PERJU-  
DICIALES TODAS LAS GRIETAS, REZUMES Y FUGAS.

LAMINACIONES E INCLUSIONES.- SE CONSIDERAN -  
DEFECTOS PERJUDICIALES TODAS LAS LAMINACIONES E INCLUSIO-  
NES QUE SE PRESENTEN EN LA CARA O EN EL BISEL DE LA TUBE-  
RÍA, Y QUE TENGAN UNA DIMENSIÓN TRANSVERSAL MAYOR DE 1/4  
DE PULGADA. SE CORTARÁN DE LARGO LAS PARTES QUE PRESEN-  
TEN ÉSTOS DEFECTOS.

QUEMADURAS POR ARCO.- LAS QUEMADURAS POR ARCO -  
DEFINIDAS COMO PUNTOS LOCALIZADOS DE LA SUPERFICIE CAUSA-  
DOS POR EL ARCO ENTRE ELECTRODOS O ENTRE TIERRA Y LA SUPER-  
FICIE DE LOS TUBOS, SE CONSIDERARÁN DEFECTOS PERJUDICIALES.

LAS MARCAS DE CONTACTO, DEFINIDAS COMO MARCAS -  
INTERMITENTES ADYACENTES A LA LÍNEA DE SOLDADURA, RESULTAN  
TES DEL CONTACTO ELÉCTRICO ENTRE LOS ELECTRODOS DE ALIMEN-

TACIÓN Y LA SUPERFICIE DE LA TUBERÍA, NO SON DEFECTOS PERJUDICIALES

SOCAVADURAS.- LA SOCAVADURA EN LOS TUBOS SOLDADOS POR ARCO SUMERGIDO, ES LA REDUCCIÓN DEL ESPESOR DE LAS PAREDES DE LOS TUBOS ADYACENTES A LA SOLDADURA DONDE SE FUNDE CON LA SUPERFICIE DE LOS TUBOS. LA SOCAVADURA SE PUEDE LOCALIZAR Y MEDIRSE DE LA MEJOR FORMA POR UN EXÁMEN VISUAL. SON ADMISIBLES SIN REPARACIÓN O ABRASIÓN LAS SOCAVADURAS DE POCA IMPORTANCIA QUE SE PRESENTAN TANTO EN LA PARTE INTERIOR COMO EN LA EXTERIOR DEL TRAMO DE TUBO.

## VI. CONCLUSIONES

LOS TUBOS DE COSTURA ESPIRAL, MANUFACTURADOS SEGÚN MODERNOS MÉTODOS DE FABRICACIÓN Y OBSERVADOS CON GRAN CUIDADO DURANTE CADA UNO DE LOS PASOS DE PRODUCCIÓN, SON POR LO MENOS IGUALES EN CALIDAD A CUALQUIER OTRO TUBO SOLDADO Y QUE SU PROPIEDAD PARA LA COLOCACIÓN COMO PIEZAS DE CONSTRUCCIÓN EN GASODUCTOS Y TUBERÍA DE LÍNEA, HA SIDO PUESTA A PRUEBA.

LAS VENTAJAS DE LOS TUBOS EN ESPIRAL, TANTO PARA EL FABRICANTE COMO PARA EL CONSUMIDOR, SE RESUME COMO SIGUE:

1. PRODUCCIÓN ECONÓMICA DE LA MATERIA PRIMA POR MEDIO DEL DESARROLLO DE ACEROS PARA CONSTRUCCIÓN DE ALTA RESISTENCIA Y GRANO FINO EN EL TREN DE LAMINADO EN CALIENTE.
2. FABRICACIÓN DE TUBOS EN UN AMPLIO RANGO DE DIÁMETROS INDEPENDIENTEMENTE DEL ANCHO DE LA PLACA O ROLLO DISPONIBLE, SOBRE TODO - CUANDO SE TRATA DE DIÁMETROS DE MÁS DE - - 1000 MM.
3. UNIÓN RACIONAL DE TODAS LAS ETAPAS DE PRODUCCIÓN DE TUBO, DESDE LA MATERIA PRIMA --

HASTA EL AJUSTE FINAL EN UNA SOLA ETAPA DE FABRICACIÓN.

4. FABRICACIÓN DE LONGITUDES ÓPTIMAS DE TUBO CON UN RANGO CONSTANTE DE LONGITUDES SIN LIMITACIONES DEBIDAS A LA CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA.
  
5. CAPACIDAD RÁPIDA DE ADAPTACIÓN EN EL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN.
  
6. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FAVORABLES DEL TUBO ESPIRAL EN LA DIRECCIÓN DE ESFUERZO MAYOR BAJO PRESIÓN INTERIOR, ASÍ COMO ALTA RESISTENCIA A LA FORMACIÓN Y PROPAGACIÓN DE GRIETAS.
  
7. LAS MÁQUINAS PRINCIPALES SON LIGERAS, COMPARADAS A LAS PRENSAS "U" Y "O" DEL PROCEDIMIENTO LONGITUDINAL Y DE UN MANEJO RELATIVAMENTE MÁS SENCILLO.

VII. BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE      API - 5L
  
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL      ASTM-A-211
  
- NORMA OFICIAL MEXICANA      NOM
  
- PRUEBAS MECÁNICAS Y PROPIEDADES DE LOS METALES.-  
V. ZOLOTOREVSKI - THIN SHELLS - J.E. GIBSON.
  
- MECÁNICA DE MATERIALES.  
F.R. SHANLEY