

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MEJORAS DEL PROCESO DE CONFORMADO EN LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS POR SOLDADURA ERW.

Trabajo Especial de Grado presentado
Ante la Ilustre Universidad Central de
Venezuela para optar al título de Ingeniero
Metalúrgico
Por El Br. Garrido B, Luis A.

Caracas, Abril 2004

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES**

**MEJORAS DEL PROCESO DE CONFORMADO EN LA
FABRICACIÓN DE TUBERÍAS POR SOLDADURA ERW.**

Trabajo Especial de Grado presentado
Ante la Ilustre Universidad Central de
Venezuela para optar al título de Ingeniero
Metalúrgico
Por El Br. Garrido B, Luis A.

Dr. Ing. José B. León
Tutor Académico.

Ing. Teófilo Dacosta
Tutor Industrial

Caracas, Abril 2004

AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero hacer un agradecimiento a la Universidad Central de Venezuela por haberme abierto las puertas y formarme en esta profesión, a los profesores que comparten sus conocimientos de forma abnegada con todos los que por fortuna pasamos por un aula de clases en “la casa que vence las sombras”.

A C.A Conduven por permitirme la realización de este trabajo y contribuir enormemente en mi formación como profesional.

A mis tutores Ing. Teófilo Dacosta y Prof. José León por su incondicional apoyo, siempre con muy oportunas y valiosas indicaciones.

A Lisandro Alcántara por su apoyo y generosa ayuda compartiendo su experiencia y conocimientos de forma desinteresada.

A todo el personal que de una forma u otra contribuyeron con mi trabajo durante su desarrollo en la empresa, muy especialmente a Edgardo Escobar, Juan Torres, Yhoe Kelly, Sra. Zulay Moreno, a los ingenieros Marieta Espadinha, Giovanni Borelli y Javier Nieto.

A Ing. Rojas de Univensa por su apoyo prestado para la utilización del software COPRA.

A mi amigo Ing. Luis Colorado por todo su apoyo prestado para la culminación de esta tesis.

Y por último pero de forma muy especial a mi mejor amiga y compañera Ing. Natacha Millán que me apoyó en todo momento quiero expresarle toda mi gratitud.... Un millón

DEDICATORIA

A mi madre, mi papá Luis y mi papá
Julio, por ustedes hoy soy.

A la memoria de mi bisabuela Isabel,
que Dios te tenga en su Santa Gloria.

A mis abuelitas Sofía y María

A mis hermanos

Los Quiero y que Dios los Bendiga.

Garrido B. Luis A.

**MEJORAS DEL PROCESO DE CONFORMADO EN LA
FABRICACIÓN DE TUBERÍAS POR SOLDADURA ERW.**

**Tutor Académico: Prof. José León. Tutor Industrial: Ing. Teófilo Dacosta.
Tesis. Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Metalúrgica y Ciencia de los
Materiales. 2004, 78.**

Palabras Claves: Tuberías ERW, Diseño, Rodillos, deformación, Fin Pass.

RESUMEN

En búsqueda de mejorar la calidad de los productos para ir acorde con las exigencias del mercado C.A. Conduven implementa un plan continuo de mejoras en sus procesos de fabricación de tuberías ERW. Dentro de esas mejoras se ha implementado una serie de cambios en el proceso de laminación tal como la modificación de la secuencia de los pasos del Fin Pass y la reducción del ángulo del último paso. En este estudio se realiza una evaluación del comportamiento de la deformación de la lámina para las modificaciones en los rodillos y en la secuencia de montaje de los pasos, comparándola con la deformación sufrida según el diseño original. En los cambios de secuencia se suprime el primer Fin Pass y se repite uno de los dos pasos subsecuentes, generando que un paso sobre trabaje y el otro no realice ningún trabajo de deformación, trayendo como consecuencia una mala presentación de los bordes antes de la soldadura. Este estudio se complementa con un análisis para un producto crítico mediante el software de simulación COPRA y una evaluación de la cantidad de lámina utilizada para la fabricación de los productos, calculando el ancho mediante el diseño y comparándola con el obtenido según la secuencia utilizada originalmente por la empresa. La influencia de las modificaciones en los diseños de rodillos en los productos fue evaluada mediante ensayos Charpy para una serie de producciones, para las cuales no hubo mejoras desde el punto de vista de la tenacidad en la soldadura. Se propone entonces, cambiar hacia diseño de rodillos con Fin Pass redondo o utilizar un último paso de Fin Pass para el diseño original con un rodillo superior de radio menor que el inferior (oval achatado). Estos dos diseños permitirán mantener los bordes paralelos en la soldadura y mejorar la calidad de la misma.

NOMENCLATURA

API: American Petroleum Institute

ASTM: American Standard of Testing Materials

COPRA: Programa comercial de simulación de procesos de fabricación de tubería

ERW: Electrical Resistance Weld

IMPEDER: Barras delgadas de material que se colocan dentro del tubo con el fin de aumentar la impedancia.

SKIN: Fenómeno asociado a la corriente de alta frecuencia donde esta se acumula en la superficie del conductor.

VE: Zona donde el calentamiento por inducción es efectivo en los bordes a soldar del tubo.

INDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA	I
AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	IV
NOMENCLATURA	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Proceso De Fabricación De Tuberías Erw	3
2.1.1. Generalidades	3
2.1.2. Descripción de los elementos de la laminadora	3
2.1.2.1. Sección de Formación	3
2.1.2.2. Sección de soldadura	5
2.1.2.3. Calibración	6
2.2. Soldadura Por Inducción De Alta Frecuencia	7
2.2.1. Características de la Corriente De Alta Frecuencia	7
2.2.1.1. Efecto de Superficie “skin”	7
2.2.1.2. Efecto Proximidad	8
2.2.2. Eficiencia de la operación de soldadura	9
2.2.3. Presentación De Los Bordes	10
2.2.4. Longitud Y Ángulo De La “Ve”	11
2.2.5. Cambios Metalúrgicos En La Zona Soldada	12
2.2.5.1. Tratamiento Térmico De La Soldadura	15
2.3. Diseño De Rodillos	17
2.3.1. Requerimientos De Formación De La Tira En Cada Paso	17
2.3.2. Dimensiones del Material	19
2.3.3. Rodillos Laterale	21
2.3.4. Tipo de Material	22
2.4. Software y Simulaciones	23
2.4.1. Software Copra	23
2.4.2. Antecedentes y Uso de la Tecnología de Simulación	24
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	29
3.1. Estudio de Deformación	30
3.1.1. Determinación de áreas mediante “autocad”	30
3.1.2. Calculo de la deformación	30
3.2. Estudio de la Deformación Mediante Copra	31
3.3. Macrografías de Soldadura	32
3.4. Metalografías	34

3.4.1.	Estudio de zonas soldadura determinación del tamaño de grano	34
3.5.	Ensayos Charpy	36
3.5.1	Ensayo Charpy por zonas en la sección transversal del cordón	36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1.	Productos Estudiados	38
4.2.	Estudio De La Modificación De La Secuencia De Montaje De Fin Pass	39
4.2.1.	Análisis de la secuencia original de montaje de Fin Pass	39
4.2.2.	Análisis de la modificación de la secuencia de montaje del Fin Pass	44
4.2.3.	Análisis utilizando el programa COPRA	47
4.2.4	Modificación del Ángulo del Fin Pass	51
4.3.	Macrografías de Soldadura	53
4.4.	Calculo de Ancho de Lámina Según Diseño	56
4.5.	Ensayos Charpy	61
4.5.1.	Ensayos Charpy por producto	61
4.5.2.	Ensayos Charpy por zonas en la sección transversal del cordón	64
4.6.	Propuesta de Diseño De Rodillos	67
5.	CONCLUSIONES	69
6.	RECOMENDACIONES	70
7.	BIBLIOGRAFÍA	71
8.	ANEXOS	73
8.1.	Anexo I: La Empresa	74

INDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
1	Productos estudiados	38
2	Composición Química nominal productos estudiados	38
3	Calculo de las áreas de la sección de lámina dentro del rodillo	40
4	Deformación de la lámina en los pasos de Fin Pass, según diseño original	41
5	Secuencia de Montaje Pasos de Fin Pass	45
6	Deformación de la lámina en los pasos de Fin Pass, según modificaciones	45
7	Ancho de lámina Nominal según diseño	56
8	Anchos de lámina utilizados por Conduven	57
9	Ecuaciones propuestas para calcular el ancho de lámina según diseño para cada diámetro	60

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Esquema de Rodillos de Primera Formación	3
2	Esquema de Fin Pass de diseño circular	4
3	Esquema de rodillos laterales y superiores de soldadura	4
4	Esquema del Cabezal Turco en la sección de calibración	5
5	Esquema del proceso de soldadura ERW	6
6	Efecto de la frecuencia en la concentración de la corriente en la superficie del conductor	7
7	Efecto de proximidad entre dos conductores	8
8	Efecto de aumentar la impedancia en el interior del tubo	9
9	Muestra de la presentación de los bordes de la lámina en la sección de soldadura	10
10	Esquema de las zonas de calentamiento del borde de la lámina producto durante la soldadura	12
11	Secuencia esquemática de la forja por soldadura	13
12	Esquema de las diferentes zonas afectadas producidas por la soldadura ERW	14
13	Equipo de tratamiento térmico de soldadura empleado en línea	15
14	Flor de deformación de radio simple	16
15	Flor de deformación para la formación de canto	17
16	Flor de deformación para el diseño de formación de canto versátil	17
17	Flor de deformación en reversa (gaviota)	18
18a	Esquema de una lámina de mayor espesor a la luz de los rodillo de primera formación	20
18b	Esquema de una lámina de menor espesor a la luz de los rodillos de primera formación	20
19	Inapropiado diseño de rodillos laterales de transición	21
20	Diseño apropiado de rodillos laterales de transición	22
21	Ejemplo del desarrollo de la flor de deformación observada en el programa Copra	24
22	Modelo de marco de alambres utilizado en el programa computacional copra	26
23	Modulo de tecnología de deformación, última versión del programa Copra	28
24	Esquema del desarrollo experimental seguido	29
25	Perfilómetro marca Mitutoyo modelo PH 3515F	33
26	Esquema de las principales características presentes en la Macrografía	33
27	Esquema de las zonas de la soldadura evaluadas	34
28	Máquina de ensayo Charpy	37
29	Esquema de ubicación referencial de los pasos de la laminadora	39
30	Esquema de la lámina dentro de los pasos de Fin Pass, según diseño original	39

31	Deformación según diseño productos de diámetro 12,750"	42
32	Deformación según diseño productos de diámetro 10,750"	42
33	Deformación según diseño productos de diámetro 9,625"	43
34	Deformación según diseño productos de diámetro 8,625"	43
35	Comparación entre la deformación según diseño y montaje 6-7-7	46
36	Comparación entre la deformación según diseño y montaje 6-6-7	46
37	Flor de deformación según diseño	48
38	Flor de deformación según modificaciones	48
39	Modelo tridimensional del proceso de conformado, montaje Modificado	49
40	Vista lateral del proceso	50
41	Efecto en el borde de la modificación del ángulo del último paso de Fin Pass	51
42	Macrografía de un producto zona inferior del borde (100X)	53
43	Macrografía API5LB 12,750" x 9,50mm(100X)	54
44	Macrografía muestra desaparición de la línea Ferrítica(100X)	55
45	Anchos de lámina Vs. Espesor para todos los productos	59
46	Tenacidad productos calidad 5LB PSL1	61
47	Tenacidad productos calidad 5CT J55	62
48	Tenacidad productos calidad API 5L X-42	62
49	Tenacidad productos calidad API 5L X-52	63
50	Tenacidad productos calidad API5L X-60	63
51	Tenacidad por zonas de soldadura	64
52	Zona superior (100X)	65
53	Zona media (100X)	65
54	Zona inferior (100X)	65
58	Fin Pass de diseño tipo "pera"	67
59	Fin Pass diseño redondo	68
60	Fin Pass diseño Oval achatado	68

I. INTRODUCCIÓN

Las exigencias en cuanto a la calidad de un producto, van cambiando a la par del desarrollo tecnológico, cada vez surgen nuevos requerimientos y los compradores se vuelven más exigentes, partiendo de la siguiente premisa: “Lo que satisface las exigencias de hoy no necesariamente podrán satisfacer las del mañana”, se aprecia lo esencial de la mejora continua en los procesos productivos de toda organización, con el fin de garantizar la rentabilidad a largo plazo.

C.A CONDUVEN, evalúa constantemente la calidad de sus productos con el fin de garantizar plena satisfacción de las demandas y condiciones impuestas por sus clientes; en este marco, es imperante la necesidad de innovar con el fin de garantizar el cumplimiento de los nuevos retos que se plantean en el mercado. No obstante, la adquisición de nuevas tecnologías requiere de una inversión importante de capital que muchas veces resulta inadmisibles, por eso, la empresa se basa en la reingeniería y en el desarrollo de los procesos y tecnologías que posee para poder evolucionar y garantizar la competitividad de sus productos dentro del mercado.

El presente estudio comprende una investigación de las modificaciones en los rodillos y en el proceso de conformado en la producción de tuberías ERW fabricadas por Conduven a fin de optimizar el proceso. El impacto sobre las características finales del producto es verificado mediante una serie de ensayos Charpy en la soldadura para los productos, en las condiciones estudiadas.

Las principales modificaciones realizadas en las herramientas de fabricación son la modificación de la secuencia de montaje de los pasos en el Fin Pass y el cambio en el ángulo del separador del último paso de Fin Pass, por lo tanto, se realiza un estudio de la deformación de la lámina y se procede a estudiar el producto más crítico mediante un programa comercial de diseño y simulación de procesos de fabricación de tuberías.

El presente trabajo abarca el estudio para los productos de diámetro mayor 8 5/8 pulgadas y 6 mm de espesor con resistencia a la fluencia mayor a 42Ksi, se pretende evaluar el efecto del diseño de los rodillos de conformación en las propiedades de la soldadura en fabricación de tubería ERW.

Los objetivos perseguidos por este trabajo son:

1. Analizar el efecto del ángulo en los espaciadores de los rodillos del Fin-Pass en las propiedades físicas de la soldadura.
2. Evaluar las modificaciones de la secuencia del montaje de los pasos del Fin Pass y estimar las consecuencias en las propiedades físicas de la soldadura.
3. Efectuar una propuesta de diseño de rodillos en función de los resultados obtenidos

II. MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS ERW.

2.1.1 Generalidades

La transformación de una lámina en un tubo con costura es el resultado de una serie de operaciones continuas que incluyen conformación, soldadura y calibración. La lámina es llevada por un proceso gradual de curvado en la etapa de conformado hasta la forma final adecuada para ser soldada mediante el proceso de inducción de alta frecuencia (HF, por sus siglas en inglés) que entran en la categoría de soldadura por resistencia eléctrica (ERW, por sus siglas en inglés), la deformación sufrida por la lámina, debe ser distribuida uniformemente en cada paso, a fin de disminuir los esfuerzos internos que ocasionan inconvenientes en operaciones posteriores y productos de baja calidad.

2.1.2 Descripción de los elementos de la laminadora.

2.1.2.1 Sección de Formación

a) Mesa de entrada

Como su nombre lo indica, es la incorporación de la tira a la laminadora propiamente. Su principal función es conservar la lámina centrada, guiándola y preparándola para los rodillos de formación.

Uno de los principales requisitos para la producción de tuberías de excelente calidad, es la alineación de los rodillos, la cual comienza en la mesa de entrada, esta puede contener herramientas de cepillado u otro equipo para la preparación de los bordes de la lámina, para una mejor calidad de soldadura. [1]

b) Primera Formación (Breakdown Pass).

La primera formación típicamente consiste en tres o cuatro rodillos horizontales, y algunos rodillos laterales de transición que según sea su diseño van transformando a la lámina a una forma adecuada para la formación final.

El número de pasos es determinado por el tipo de material y las relaciones diámetro tro-espesor a ser procesados. [1]

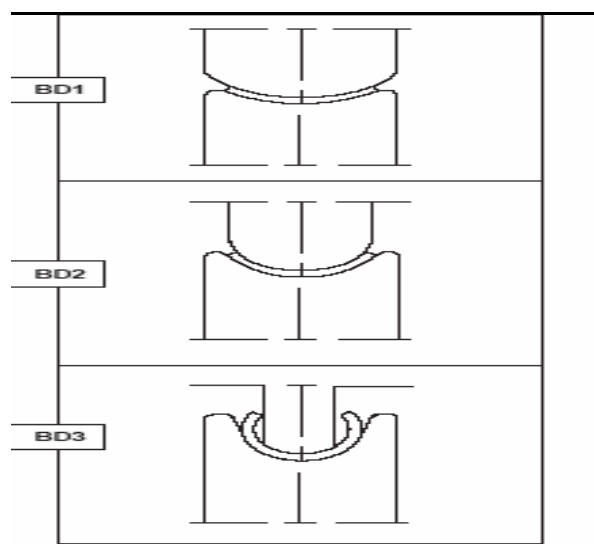


Figura 1. Esquema de Rodillos de Primera Formación.

C) Fin-Formación (Fin Pass).

El Fin Pass recibe su nombre del separador o Fin en el centro del rodillo superior. Generalmente consiste en tres pasos los cuales tienen la función de transformar definitivamente la lámina a la forma apropiada para ser soldada, y presentar los bordes completamente paralelos y planos a la soldadura. El diseño debe ser realizado correctamente con la finalidad de disminuir la recuperación elástica del material debido a la heterogeneidad de la deformación plástica.

El Fin Pass trabaja de forma diferente que la primera formación, ya que este no simplemente curva la lámina, sino que comprime el metal hasta que este fluye, la compresión del material se realiza con suficiente carga para sobrepasar el límite elástico del material; a esta sección corresponde el 70% de la potencia de la laminadora.

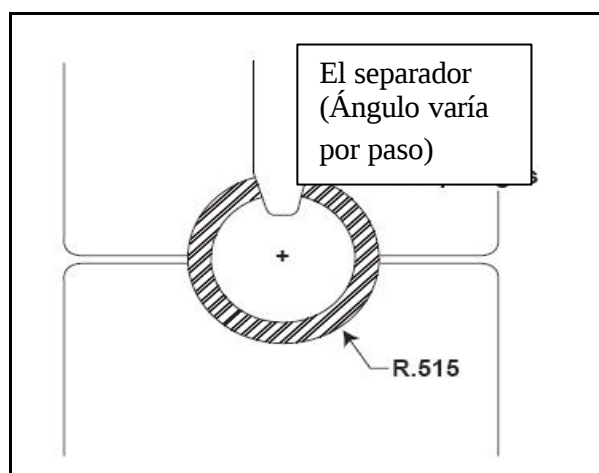


Figura 2 Esquema de Fin Pass de diseño circular.

2.1.2.2 Sección de soldadura

En esta sección se produce la soldadura por inducción. La forja se realiza mediante los rodillos laterales y superiores de soldadura que generan la presión necesaria para forzar a los bordes calientes a juntarse, en esta sección también es removido el cordón de soldadura, tanto interno como externo.

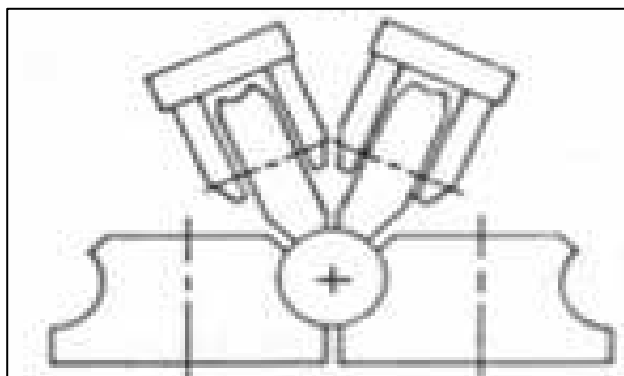


Figura 3 Esquema de rodillos laterales y superiores de soldadura

2.1.2.3 Calibración

El propósito de esta sección es dar la dimensión final al tubo con una tolerancia estrecha tal como $\pm 0,02$ mm; esta sección también puede ser utilizado para el recalcado a secciones cuadradas, rectangulares y otras formas. Los rodillos de calibración trabajan en conjunto con el cabezal turco para enderezar la tubería. [2]

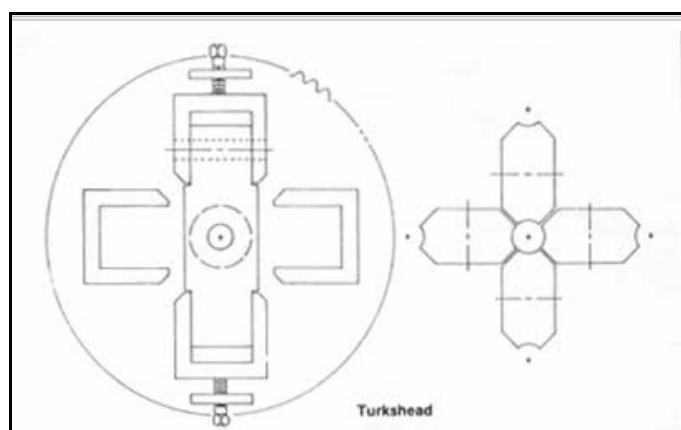


Figura 4 Esquema del Cabezal Turco en la sección de calibración. [2]

2.4 SOLDADURA POR INDUCCIÓN DE ALTA FRECUENCIA

La soldadura por alta frecuencia es una forma de soldadura por resistencia eléctrica (ERW). Un voltaje es inducido a través de los bordes del tubo abierto justo antes del punto de cierre (ver figura 5). Este voltaje causa una corriente que fluye a lo largo de los bordes hasta el punto donde ellos se juntan, causando rápido calentamiento del metal por el efecto Joule. La presión aplicada por los rodillos de soldadura, la cual presiona al metal caliente a entrar en contacto, forzando al metal fundido y a algunas impurezas fuera del área de soldadura, generando una especie de forja y resultando en una de las estructuras de soldadura más fuertes existentes. [3]

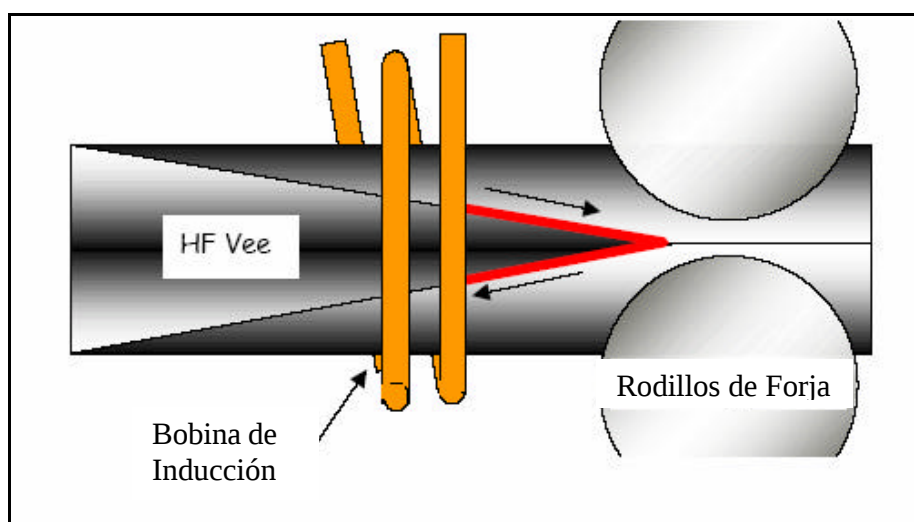


Figura 5 Esquema del proceso de soldadura ERW.

2.2.1 Características de la Corriente de alta frecuencia

2.2.1.1 Efecto de superficie “skin”

En la corriente de alta frecuencia la impedancia domina la resistividad del componente. La corriente inducida por alta frecuencia se concentra alrededor del tubo, es decir la corriente se acerca a la superficie del conductor. Si se tiene una corriente inducida

baja de alrededor de 50-60 Hz. La corriente fluye uniformemente a través de la sección transversal del tubo, esto va disminuyendo a medida que la frecuencia es aumentada.

Este efecto incrementa la eficiencia de la soldadura de alta frecuencia ya que minimiza la cantidad de metal que es calentada a la temperatura de soldadura (ver figura 6). [3]

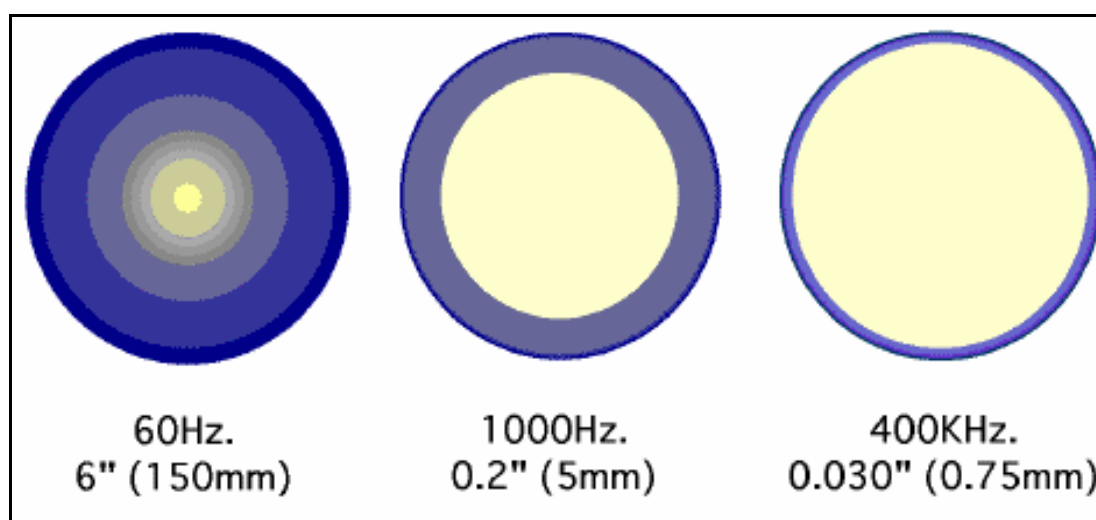


Figura 6 Efecto de la frecuencia en la concentración de la corriente en la superficie del conductor.

2.2.1.2 Efecto proximidad

La alta frecuencia también afecta el comportamiento de la corriente que fluye en la “ve” (zona en donde el calentamiento por inducción es efectivo). La corriente tiende a concentrarse donde se cierran los bordes de la lámina. El paso de la corriente a lo largo de un conductor crea un campo magnético radial que comienza en la superficie y se extiende hasta el infinito, disminuyendo en una función inversa al cuadrado. Si el conductor es colocado cerca de otro el campo magnético reacciona con el otro y lo deforma, como se muestra en la figura 7, esto causa que las corrientes se concentren en el extremo más cercano, causando un incremento de la eficiencia de la soldadura ya que concentra la corriente en la zona que necesita ser calentada. [3]

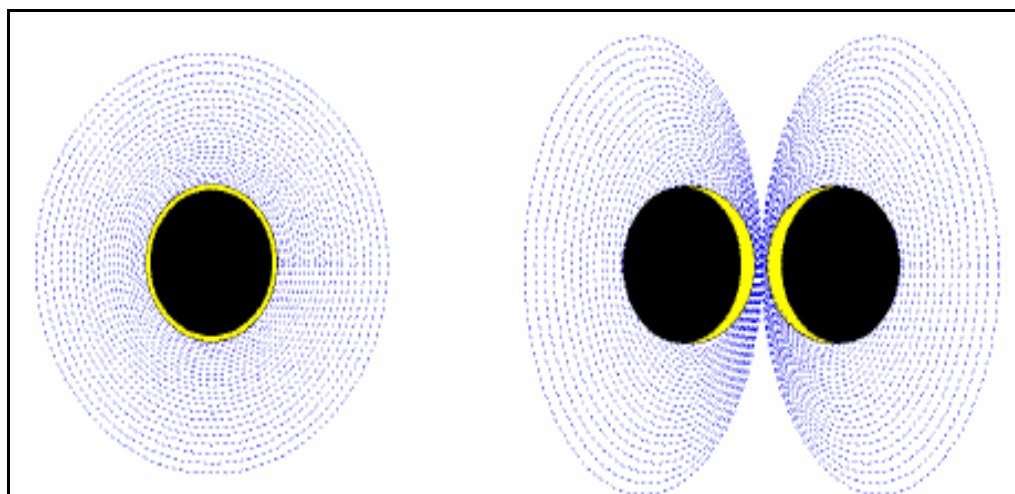


Figura 7 Efecto de proximidad entre dos conductores.

2.4.2 Eficiencia de la operación de soldadura.

La corriente además de fluir en los bordes de la lámina a lo largo de la “ve”, también fluye alrededor de la circunferencia del tubo abierto, tanto en el interior como el exterior, cerrando el circuito, esto calienta al tubo entero y no contribuye al proceso de soldadura, generando pérdida de poder. La potencia de soldadura es proporcional al cuadrado de la corriente, entonces, para un pequeño incremento en la corriente resulta en un gran incremento en la potencia.

Una longitud de “ve” muy grande proporciona más tiempo para calentar la sección de los bordes, generando pérdidas por conducción, y aumenta el ancho de la zona afectada por el calor.

Al aumentar la impedancia interna, se ayuda a mantener la corriente en la “ve” de soldadura y el procedimiento general consiste en colocar “*impeder*” dentro del tubo en la medida en que las dimensiones lo permitan. Los “*impeder*” son barras delgadas de materiales los cuales presentan propiedades que aumentan la resistencia al paso de la corriente de alta frecuencia. [3]

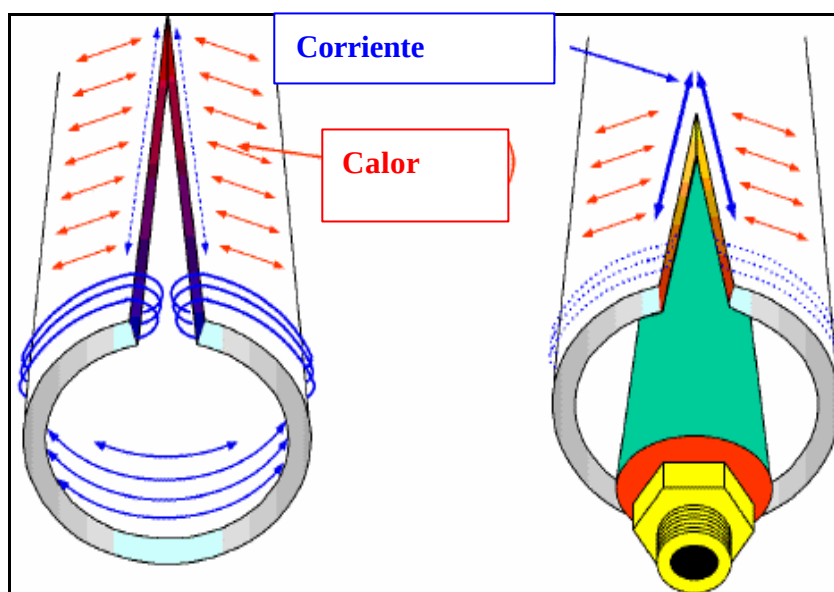


Figura 8 Efecto de aumentar la impedancia en el interior del tubo.

2.4.3 Presentación de los bordes

La calidad del proceso de soldadura depende de la presentación de los bordes, la cual debe ser paralela, limpia y sin irregularidades de no haber sido aplanados completamente en los pasos de Fin Pass.

Una condición común es que las esquinas interiores de la tira están más cerca que las esquinas exteriores como se ilustra en la figura 9 A, B y C. Esto ocurre debido a que las superficies interior y exterior de la tira plana tienen el mismo ancho, cuando es conformado dentro de la forma final, la superficie interna se comprime y la superficie externa se estira en la misma proporción, para que los bordes lleguen a ser paralelos. Usualmente tanto la compresión como el estiramiento ocurre y el lugar donde ocurre es el Fin Pass, pero si los rodillos tienen defectos, o existe un inapropiado juego de rodillos, la presentación de los bordes no será correcta.

Esta condición, causa un sobrecalentamiento de la zona interior del tubo causando que el material sea fundido y gotee dentro de la sección formada causando daños en los

“impeder” e incrementando la potencia necesaria para poder soldar todo el espesor. Aunado a esto se puede causar problemas al expulsar los óxidos formados durante el calentamiento, causando problemas en las propiedades de la soldadura. La condición ideal es la de bordes totalmente paralelos como se muestra en la figura 9 D, E y F. [3]

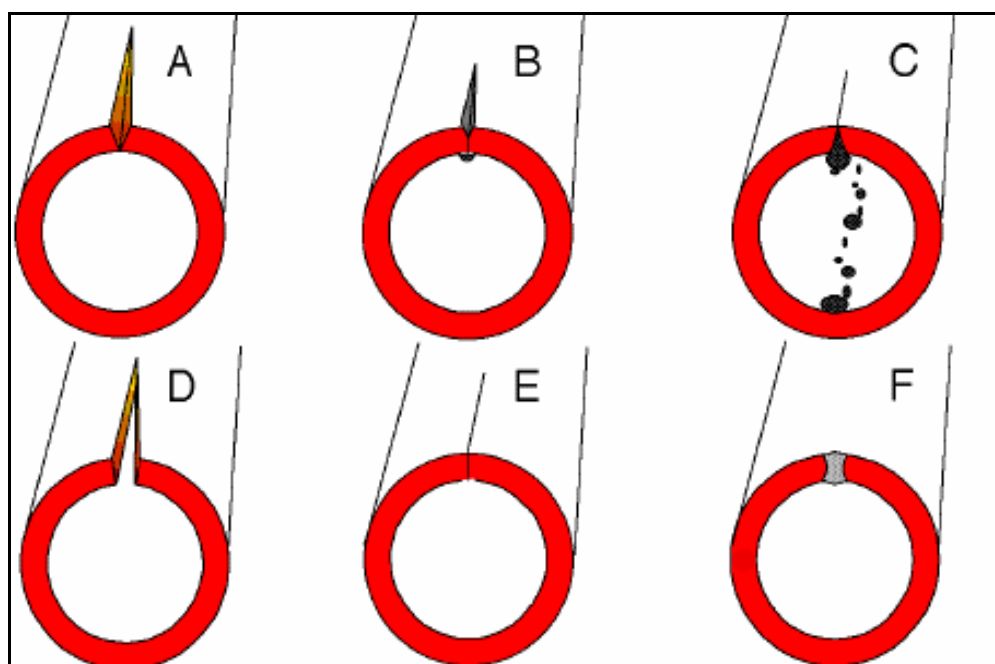


Figura 9 Muestra de la presentación de los bordes de la lámina en la sección de soldadura.

2.4.4 Longitud y ángulo de la “Ve”

La longitud de la “ve” debe ser lo más corto físicamente posible, para reducir las pérdidas por conducción. En muchas instalaciones la longitud de la “ve” es determinada, por el tamaño de los rodillos de soldadura, ya que la distancia de la bobina depende del tamaño de estos rodillos. Rodillos pequeños son ciertamente más eficientes, pero pueden requerir más reparaciones y reemplazos.

El espesor de la pared del tubo también influye la longitud de la “ve”. La soldadura de alta frecuencia tiende a calentar las esquinas de la lámina primero, por lo que se explica

la familiar huella en forma de “reloj de arena” en la zona afectada por el calor. Si la “ve” es demasiado corta, la distribución de temperatura a través del borde de la tira será desigual, resultando en una incompleta soldadura.

La longitud de la “ve” depende del diámetro; a medida que el diámetro se reduce la longitud de la “ve” aumenta debido a la reducción mecánica impuesta por los rodillos de soldadura, es en estos casos donde los “*impeder*” son muy importantes, ya que determinan el menor tamaño de tubo a ser fabricado por la limitante del espacio para introducirlos.

El ángulo de la “ve” también es un factor importante a considerar, ya que también afecta la eficiencia del proceso. Un ángulo pequeño requiere menor cantidad de potencia debido a que al efecto proximidad es más grande, concentrando más corriente en la superficie del acero, además, de reducir la cantidad del flujo magnético en el “*impeder*”. Por otra parte puede ser de gran ayuda en los casos donde la saturación del “*impeder*” es un factor limitante en la velocidad de soldadura.. El óptimo ángulo para el acero al carbono está comprendido ente 3° y 4 °. [3]

2.4.5 Cambios metalúrgicos en la zona soldada

La resistencia del acero al flujo de electricidad causa que los bordes de la tira se sobrecalienten, el calentamiento ocurre en una zona muy localizada por las razones discutidas en secciones anteriores. La figura 10 esquematiza como el borde de la tira comienza a calentarse.

Cuando los bordes de la tira son calentados a 720 °C, el hierro comienza a transformarse de ferrita a austenita. Los carburos comienzan a disolverse y el carbono comienza moverse dentro de los espacios de los átomos de hierro de la austenita. El carbono continúa difundándose hacia la parte más caliente debido a que es donde es más soluble. El calor fluye hacia el interior del borde, aumentando la temperatura del acero, causando cambios en la estructura cristalina.

Como el carbono en el acero se mueve a la parte fundida, éste es expuesto al oxígeno. El carbono y el oxígeno reaccionan y forman CO y CO₂. [4]

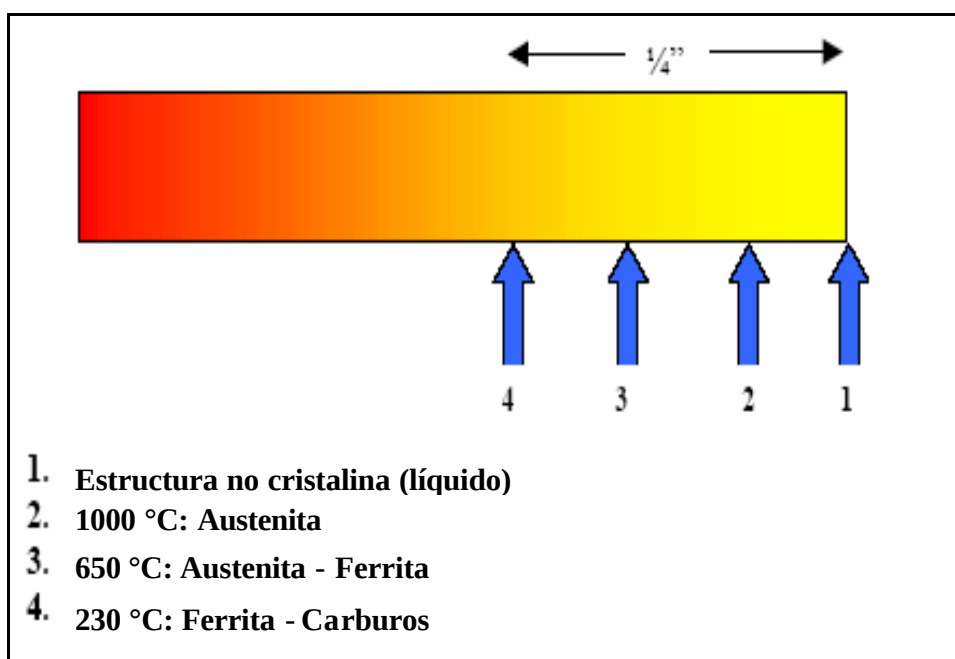


Figura 10 Esquema de las zonas de calentamiento del borde de la lámina producto durante la soldadura.

Los óxidos de hierro que se forman en la superficie evitan, que el oxígeno difunda hacia el interior del metal, los bordes de la lámina al ser forzados a juntarse por los rodillos de soldadura, permiten que el metal fundido y el hierro oxidado sean expulsados produciendo la unión metalúrgicamente. La unión resultante en este tipo de soldadura es tan resistente como el metal base, ver figura 11.

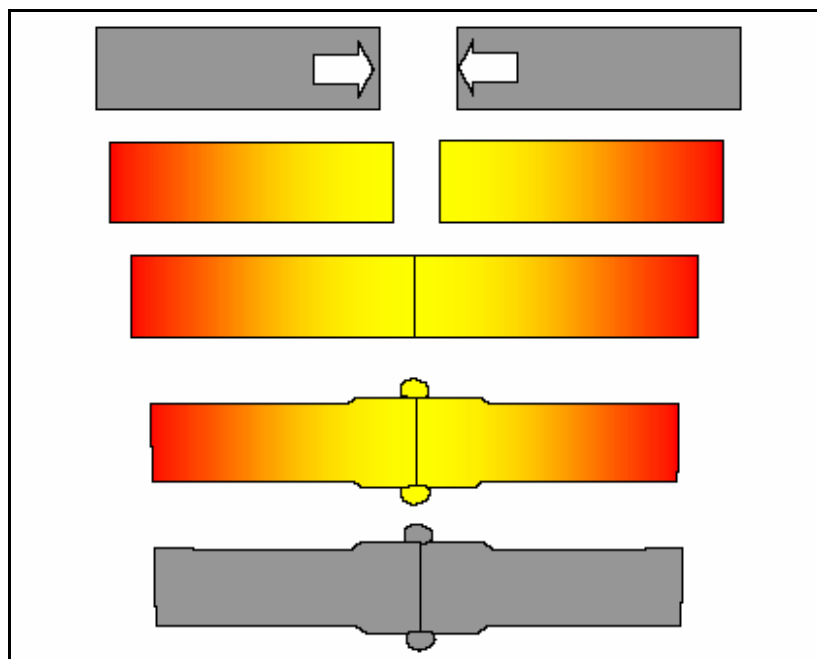


Figura 11 Secuencia esquemática de la forja por soldadura.

La figura 12 representa un corte de un área normal a la soldadura. Los valores nominales indicados sobre la soldadura representan los mismos a los esquematizados en la figura 10. después que la soldadura es completa, estas son una serie de microestructuras alrededor de la línea de unión de la soldadura. Primero, el metal base ubicada en la posición 4, este no ha sido afectado por el calor. En la posición 3 es el comienzo de la zona afectada por el calor (ZAC) marcando el límite entre el metal base y el metal que ha sido influenciado por el calentamiento. El número 2 identifica a la zona afectada por el calor, este es el metal que ha sido calentado pero no fundido y finalmente la posición 1 corresponde a la línea de unión.

Las líneas de flujo son bandas visibles producto de la operación de laminado y corren paralelas a la dirección de deformación. El ángulo y la simetría de las líneas de flujo es un indicativo de cómo se presentan los bordes planos y paralelos en la soldadura.

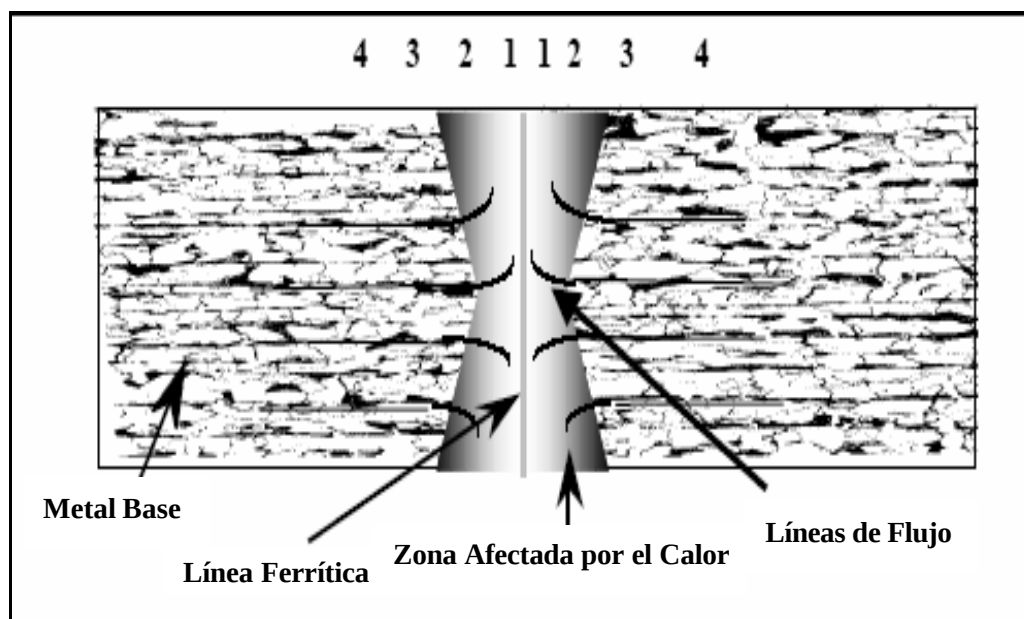


Figura 12 Esquema de las diferentes zonas afectadas producidas por la soldadura ERW.

2.2.5.1 Tratamiento térmico de la soldadura

Inmediatamente de la soldadura se realiza un enfriamiento violento, el cual puede formar martensita. Esta fase de alta resistencia y baja tenacidad puede ser causante de fallas catastróficas en servicio, por lo tanto la normativa exige realizar un tratamiento térmico de normalizado para modificar esta fase con el objeto de recuperar las propiedades mecánicas en la zona de la soldadura.

El tratamiento térmico, se realiza alrededor de 944 °C, temperatura en la que la martensita se transforma en austenita teniendo cuidado en no sobrepasar los 1010 °C ya que los granos del metal pueden crecer aumentando la fragilidad y elevando el potencial de corrosión. Luego el cordón de soldadura se deja enfriar en aire hasta aproximadamente 370 °C para posteriormente ser enfriado rápidamente en agua.

En la siguiente figura se muestra un equipo para el tratamiento térmico, la barra inductora genera un flujo magnético que se concentra sobre el área de trabajo y causa un

calentamiento de la zona hasta la temperatura deseada, el principio por el que funciona es similar al proceso de soldadura.[4]

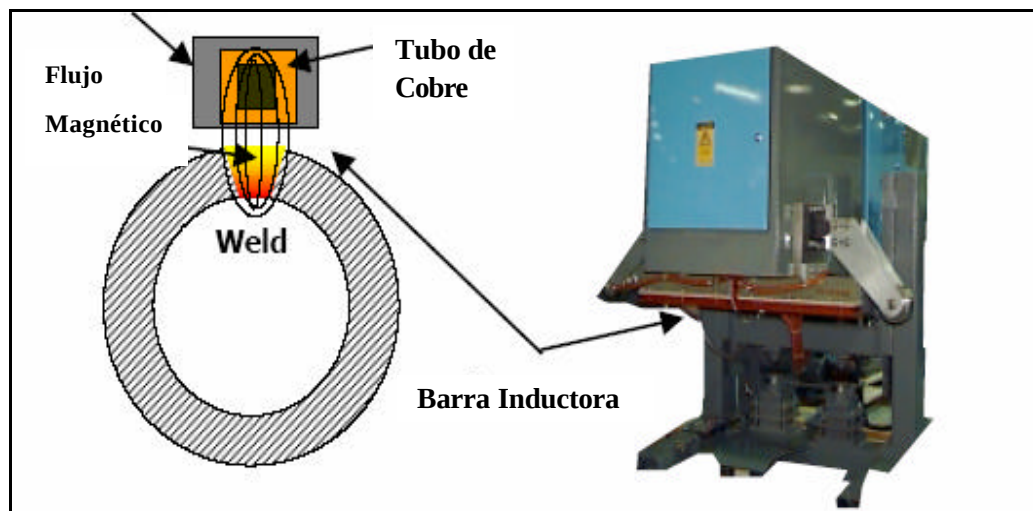


Figura 13 Equipo de tratamiento térmico de soldadura empleado en línea.

2.4 DISEÑO DE RODILLOS

El diseño de rodillos que se utiliza para elaborar un producto tubular en específico debe considerar una serie de factores, algunos son relacionados al material a ser usados y otros a la capacidad y características de la laminadora.

2.3.1 Requerimientos de formación de la tira en cada paso

Para formar apropiadamente un producto tubular, el proceso entero debe ser analizado desde el comienzo (tira plana) hasta el final (tubería). La cantidad de trabajo de conformado realizado paso por paso debe ser progresiva, de tal forma que la deformación sufrida por la lámina debe ser distribuida de manera homogénea en la lámina.

La deformación sufrida por la lámina es representada mediante un esquema denominado flor de deformación, y existen cuatro tipos básicos más comúnmente utilizadas en la producción de tubos.

a) Formación de radio único.

La lámina en una serie de rodillos es gradualmente curvada transversalmente con una progresiva disminución del radio. Se comienza con la lámina plana y se termina con el radio deseado para su eventual soldadura.

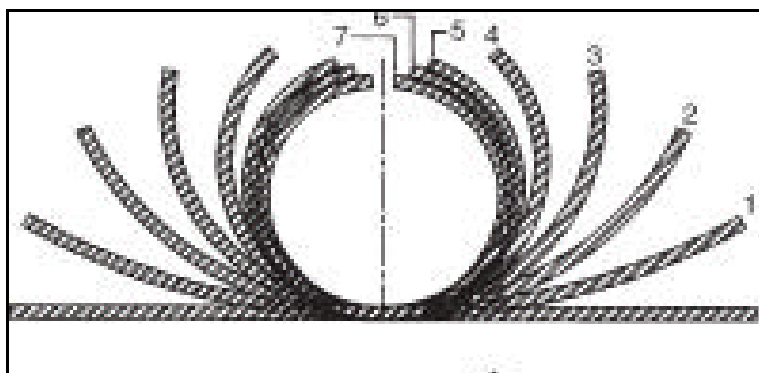


Figura 14 Flor de deformación de radio simple.[5]

b) Formación de Canto

En este diseño se le proporciona un radio a los cantos de la lámina, que pueden ser compatibles con alguno de los pasos del Fin Pass por lo general el último o el primero. Este tipo de formación permite disminuir la recuperación elástica (springback) y ayuda a formar los bordes para presentarlos paralelos a la soldadura.

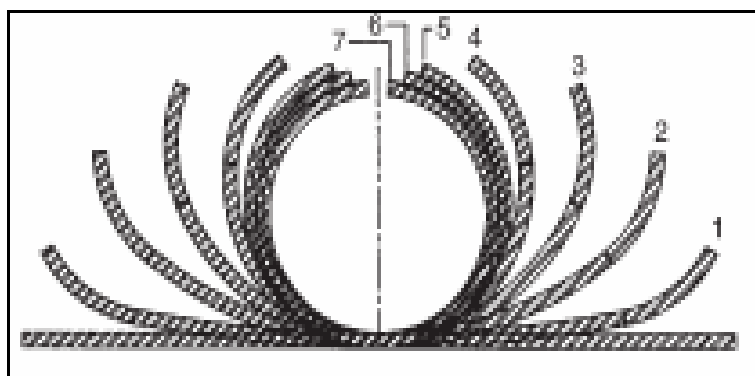


Figura 15 Flor de deformación para la formación de canto.[5]

c) Formación de canto versátil.

Este diseño es muy parecido al anterior, sólo que en la sección de primera formación, se incorpora dentro del radio del canto una distancia mayor de la lámina. Este ayuda a una mejor presentación de la lámina dentro del Fin Pass, mejorando la calidad de la soldadura a obtener.

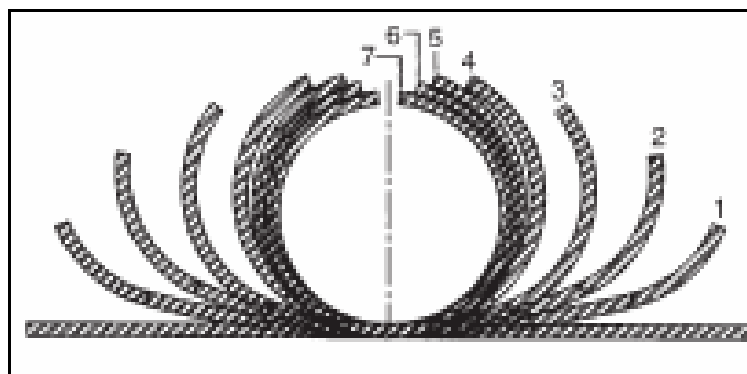


Figura 16 Flor de deformación para el diseño de formación de canto versátil. [5]

d) Formación en reversa (o gaviota)

En esta formación se dobla la lámina en el centro y se le da un radio inverso en los cantos de la lámina, tomando una forma similar a una W. El ángulo en la porción del borde de la tira puede ser formado más de esta manera que de la forma convencional en el conformado de bordes reseñada en los puntos anteriores. La utilización de este diseño depende de la relación diámetro espesor.

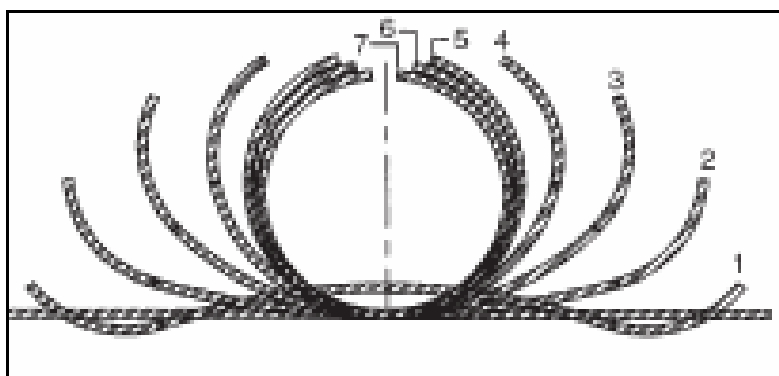


Figura 17 Flor de deformación en reversa (gaviota). [5]

2.4.2 Dimensiones del material

La compatibilidad de las dimensiones del material a ser trabajado con los rodillos de primera formación y un Fin Pass es esencial para la apropiada formación de la lámina. Además, es crítico que la lámina se forme correctamente en cada paso para producir tubos de calidad.

Cuando se trabaja con una lámina de mayor espesor (Figura 18a) o de menor espesor (Figura 18b) que la luz entre los rodillos superiores e inferiores de la sección de primera formación, esta no podrá copiar el contorno del rodillo superior, resultando en una pobre formación y causando inconvenientes tales como ondulaciones. Por lo tanto es necesario conocer el rango de espesores que pueden procesarse en una laminadora para un

diseño de rodillos específico. En algunos casos es necesario un nuevo juego de rodillos superiores para algunos pasos de la primera formación.

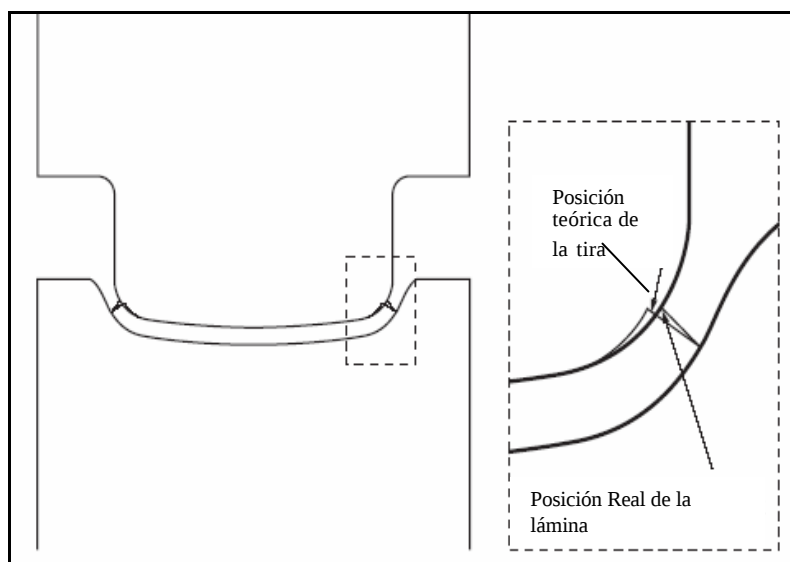


Figura 18a Esquema de una lámina de mayor espesor a la luz de los rodillos de primera formación. [5]

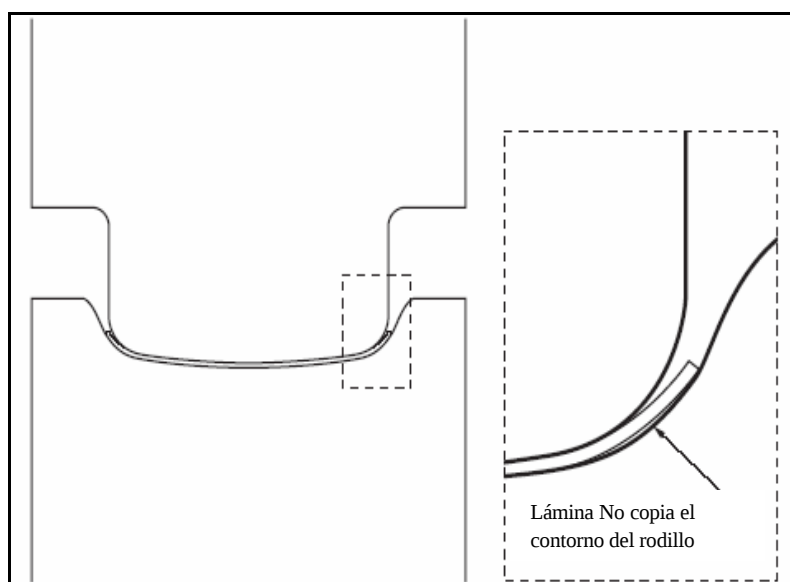


Figura 18b Esquema de una lámina de menor espesor a la luz de los rodillos de primera formación. [5]

2.4.3 Rodillos laterales

Contrario a las falsas creencias, los rodillos laterales no solo funcionan como pasos de transición, sino que realizan también un trabajo de conformación apoyando a los pasos anteriores.

En la sección de primera formación (breakdown), los rodillos laterales facilitan la presentación correcta de la tira al Fin Pass, por lo tanto deben ser utilizados correctamente. La figura 19 muestra un inapropiado diseño de rodillo lateral, este caso es un rodillo diseñado para radio único con una primera formación de conformado de canto, esto permite que el material se recupere elásticamente causando marcas en el tubo y ondulaciones. Esta situación se remedia utilizando un apropiado diseño como el que se muestra en la figura 20.

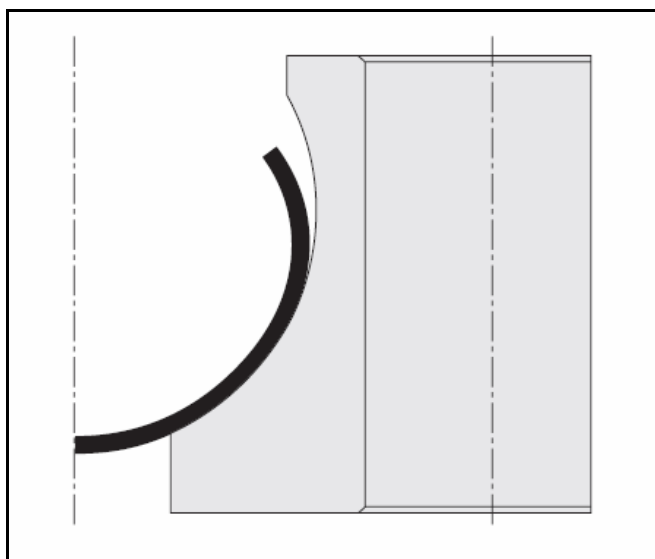


Figura 19 Inapropiado diseño de rodillos laterales de transición.

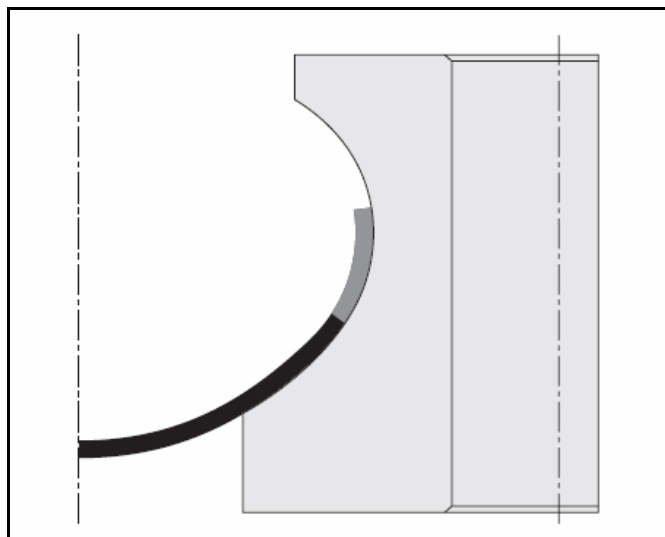


Figura 20 Diseño apropiado de rodillos laterales de transición.

2.4.4 Tipo de Material

El diseño de rodillos está directamente afectado por el material ha ser formado. Un diseño que trabaja muy bien para aceros de bajo carbono, puede causar problemas si este es utilizado para aceros inoxidables. La razón de esto es que la fluencia y la recuperación elástica varía de material a material y esto debe ser tomado en cuenta cuando se diseña el utillaje.[5]

2.4 PROGRAMA Y SIMULACIONES

Entre las mayores ventajas del proceso de conformado se encuentran la casi ilimitada variedad de formas (los tubos no son necesariamente solo redondos), una elevada productividad y el efecto de endurecimiento por deformación causado por el proceso de conformado en frío.

Las ventajas de los productos tubulares producidos en líneas de soldadura de tubos se oponen a ciertas desventajas con respecto al tiempo que requiere el diseño y la manufactura de los instrumentos de conformación, el esfuerzo residual, así como los costos elevados para cambiar o instalar nuevos equipos para los rodillos del laminador.

Es en este punto en que los programas de diseño y simulación del proceso han demostrado su gran potencial. El uso de estos programas de computadora permite la optimización en todos los pasos de la cadena del proceso de diseñar y evaluar estrategias para fabricar secciones mediante los procesos convencionales de conformado en frío. Sin embargo el número de compañías que utiliza estos programas de simulación, es todavía una familia pequeña con respecto a la inmensa cantidad de industrias en este sector.

2.4.1 Programa Copra

El programa de diseño de COPRA® guía al operador a través del proceso de diseño. “Los cuadros de diálogo explican cuando sea necesario y reducen la cantidad de información (input) que se requiere del usuario”. Así, se forma una base de datos y ésta permite la integración de características como el reconocimiento de herramientas repetitivas y el manejo de los rodillos de reserva de una manera conveniente y fácil para el usuario.

El programa computacional de diseño calcula la geometría de varias herramientas de conformación según los parámetros de máquina pre-definidos almacenados en la base de datos. Se ingresa información, tales como: tipos de pases (pedestales del laminador),

relaciones de engranajes, rodillos laterales y sus ajustes máximo y mínimo, etc. Con estos valores orientados a la máquina, pre-determinados, específicos de la compañía, el usuario formula el diseño – opcionalmente automático – para cada pase de formación, cada uno de los cuales puede modificarse con el uso del llamado editor de herramienta paramétrico y en flor. En la figura 21 se ilustra un ejemplo de cómo se desarrolla la flor con COPRA®.

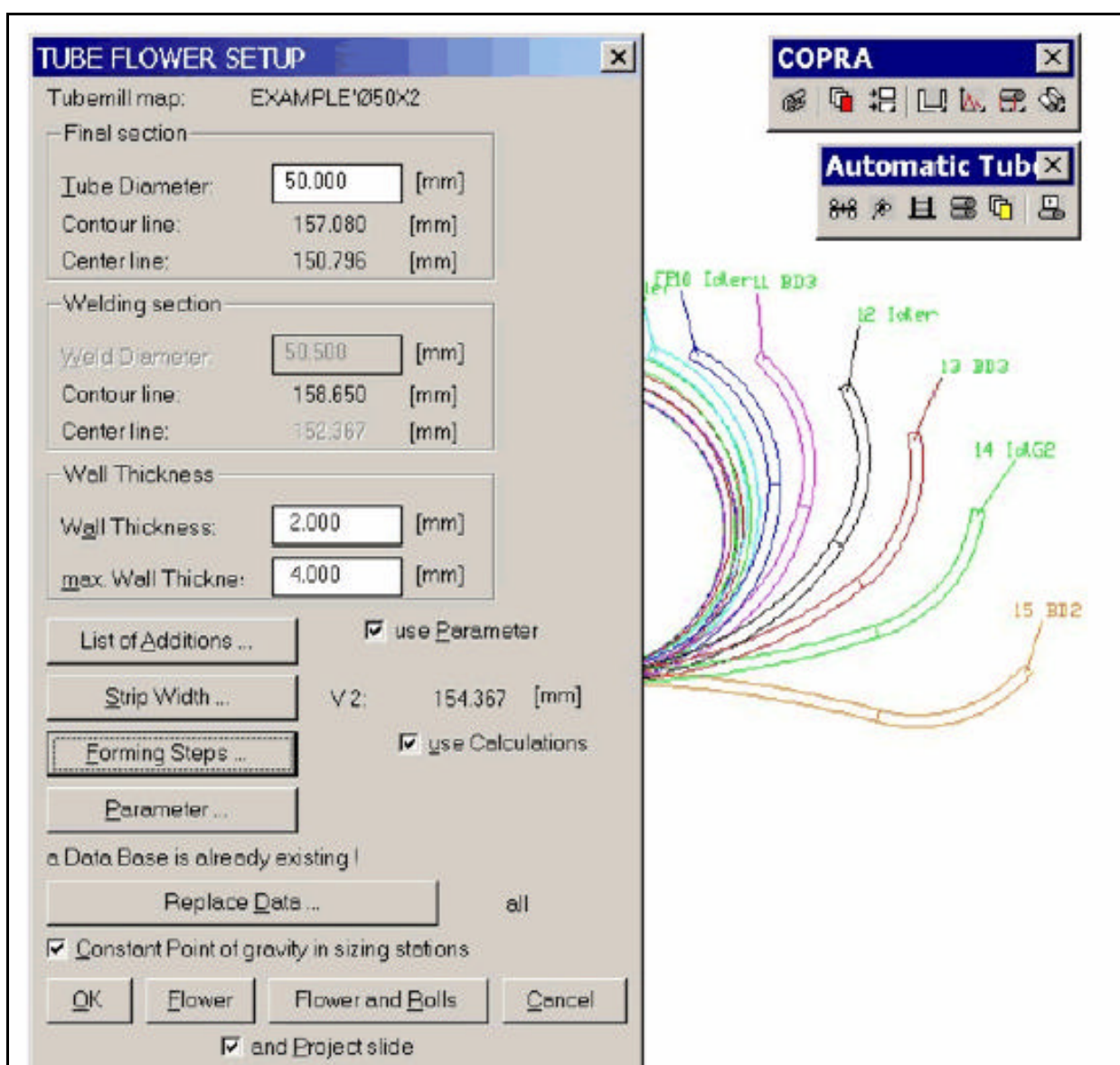


Figura 21 Ejemplo del desarrollo de la flor de deformación observada en el programa Copra. [6]

2.4.2 Antecedentes y Uso de la Tecnología de Simulación

La mayoría de los programas de diseño de rodillo han sido capaces de manejar solo datos geométricos. Estos paquetes no pueden proveer al diseñador información acerca de la calidad del diseño de sus herramientas. El proceso de conformado de rodillo solía ser tratado como “arte de magia” que a menudo conduce a dificultades y problemas aparentes en la instalación de nuevos rodillos en el laminador posteriormente. Sin embargo, la tecnología de simulación permite al diseñador predecir el resultado práctico. Sin estas técnicas de simulación, la única manera de que el diseñador se entere si el diseño de la herramienta funciona o no, es producir el conjunto de rodillos completo y ponerlo en operación. Cualquier modificación de rodillos cuesta tiempo y dinero al re-trabajar el conjunto de herramientas y los tiempos de inactividad del laminador.

Por lo tanto, el objetivo del trabajo de investigación del conformado de rodillo basado en computadora, ha sido siempre, predecir el proceso de conformación durante el diseño y encontrar posibilidades para solucionar los problemas de producción tan pronto aparezcan. El diseñador puede encontrar una solución óptima para el conjunto de rodillos del laminador si puede simular el proceso de conformación de rodillos en un modelo de computadora probado.

Mientras que al final del siglo pasado cerca de 60 % de las compañías industriales del hemisferio oeste acostumbraban a trabajar con sistemas de diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés), tan solo alrededor de 5 % aplicaban sistemas de simulación digitales para disminuir tiempo y costos para desarrollo y producción.

Una descripción precisa de la geometría de formación es de importancia vital para calcular cualquier deformación del material, sea deseado o no. En 1987 se empezó con un simple cálculo de la deformación del borde de la tira dentro del paquete de software de COPRA®, usando la afirmación de línea recta para describir el curso de la formación. Como este método de cálculo falla para los canales U simples, pronto se desarrolló el llamado modelo de marco de alambre. Este es un modelo tridimensional en el que puntos

característicos de la geometría transversal se definen y siguen a través de todos los pasos de formación. El objetivo era no sólo obtener una buena visualización sino la posibilidad de calcular la elongación longitudinal de puntos característicos sobre una sección transversal completa (no sólo, al borde de la tira). La elongación se podía calcular para cada alambre usando la “afirmación de línea recta”.

Como ya se mencionó, este no era un método muy preciso para describir el curso de formación, pero era el único disponible y fue apropiado a finales de la década de 1980. Kiuchi [6] usó una función con forma sinusoidal para definir una descripción analítica del movimiento del material en una dirección de rodamiento. Kiuchi es uno de los pioneros en el campo de la descripción analítica del proceso de conformado. Aunque su trabajo contribuyó en mucho a la investigación del conformado por rodillos, hubo estudios en los cuales este modelo fue comparado con datos experimentales y se comprobó que la función con forma sinusoidal usada no describe con precisión la superficie de la hoja entre los pedestales del laminador. Se necesitaba encontrar una función con forma más realista.

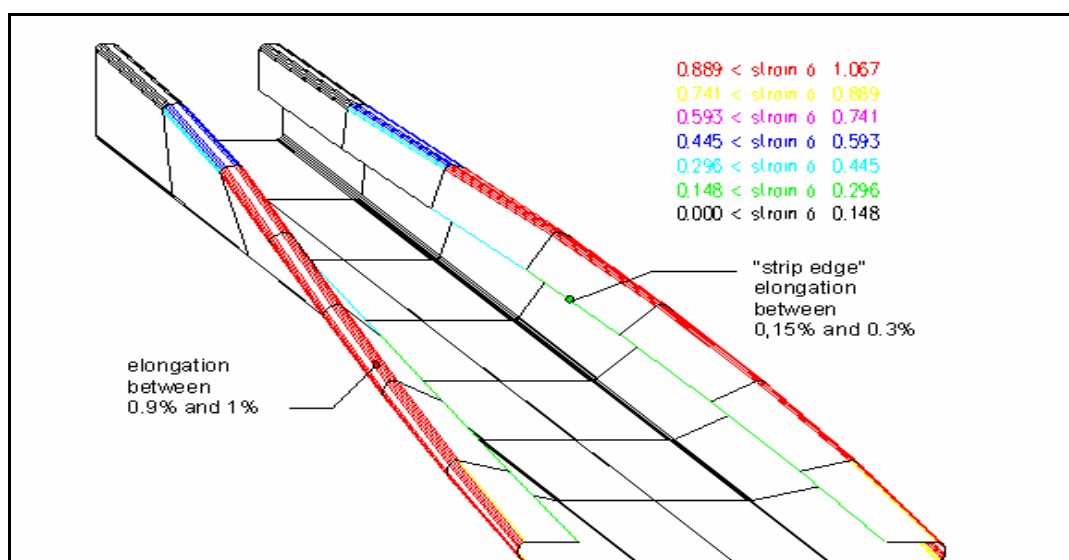


Figura 22 Modelo de marco de alambres utilizado en el programa computacional copra. [6]

El proceso de deformación, incluyendo tanto deformación elástica como plástica, que ocurre durante la conformación es tridimensional y muy complejo. Los investigadores señalaron que un análisis basado en el Método de Elementos Finitos se requería para describir este proceso de deformación.

El análisis del proceso de conformación, usando el Método de Elementos Finitos, brinda mucha información y comprensión del proceso y de las fallas que ocurren. Por lo tanto, desde 1992, en la compañía del autor y en algunos institutos de investigación en cooperación, se han realizado un gran número de cálculos por elementos finitos. Los análisis de elementos finitos también se han aplicado para optimizar la aproximación matemática de la geometría de la zona de formación. Con el uso de diferentes paquetes de computación de Análisis de Elementos Finitos (usando tanto el método implícito como el explícito). Junto con los resultados obtenidos de los experimentos de conformado, ha permitido el desarrollo de un modelo de simulación de conformado matemático como una parte nueva del paquete de software COPRA®: COPRA® DTM (Módulo de Tecnología de Deformación) de data M. El material no se forma como una línea recta ni como una sinusoidal, como se mencionó antes, sino que se basa en una afirmación matemática que describe el área de deformación con funciones de polinomios, de tal manera que el material adquiere una forma similar a una tina de baño.

Ambas observaciones experimentales y los cálculos basados en elementos finitos señalaron que esta forma es comparable con la geometría real de la zona de formación. Con este paquete, el diseñador tiene acceso a los valores teóricos máximos de deformación que ocurren debido a parámetros específicos de conformado como diámetro del rodillo, propiedades de los materiales y geometría de formación. COPRA® DTM puede calcular tensiones teóricas longitudinales (elástica y plástica) en segundos. El modelo de simulación que se usa en COPRA® DTM se basa en la teoría de cascos delgados especialmente hechos para el proceso de conformado y por lo tanto toma en cuenta sólo parámetros importantes para el proceso de conformado de forma como propiedades del material, grosor de la hoja, diámetro del rodillo, tipos de rodillos, etc. Esta es una herramienta poderosa y de mucha ayuda para que el diseñador detecte los puntos débiles de su diseño.[6]

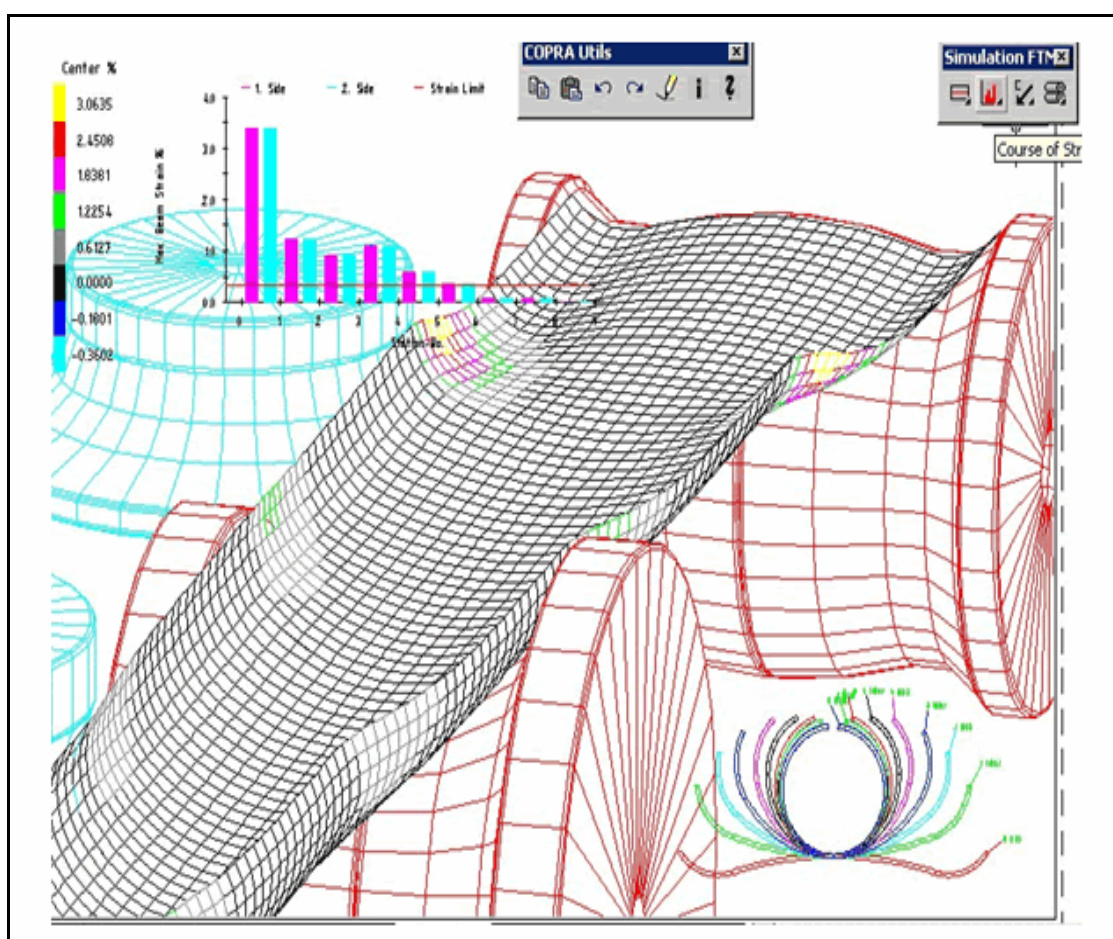


Figura 23 Modulo de tecnología de deformación, última versión del programa Copra. [6]

III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación se puede apreciar un diagrama de flujo del desarrollo experimental seguido en este trabajo (ver figura 24).

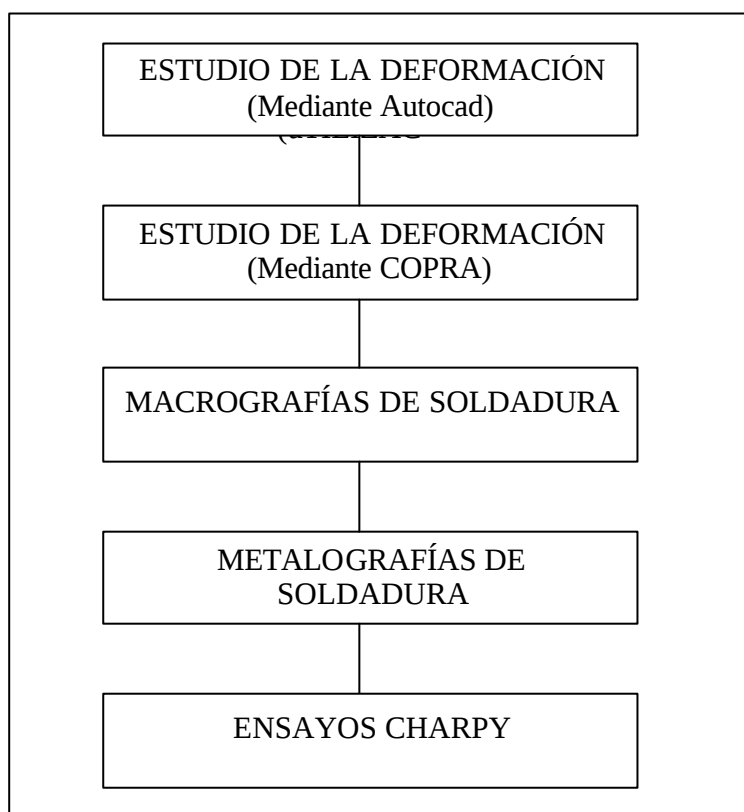


Figura 24 Esquema del desarrollo experimental seguido.

3.1 ESTUDIO DE DEFORMACIÓN

3.1.1 Determinación de áreas mediante el programa “autocad”

Teóricamente se conoce que en los pasos de primera formación la lámina únicamente es curvada y no existe deformación plástica, mientras que en el Fin Pass si se genera un cambio de forma definitivo, entonces según las áreas obtenidas podemos calcular la deformación de la lámina que se genera de paso a paso.

1. Se inicia una sesión en “autocad”, en unidades métricas.
2. De los planos originales se toman las medidas y se dibuja tomando en consideración el espesor.
3. Se crea el objeto y se calcula el área de sección.
4. El procedimiento se aplica para los tres pasos de Fin Pass.

3.1.2 Calculo de la deformación

1. Mediante una regresión lineal se calcula el área de la lámina antes de entrar al Fin Pass.
2. Utilizando los valores del área de los tres pasos del Fin Pass y el de la lámina antes de entrar al Fin Pass, se calcula la deformación utilizando la ecuación (1).

$$\mathbf{ei = Ln (Ao/Af)} \qquad \qquad \qquad \mathbf{(1)}$$

3.2 ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN MEDIANTE COPRA

Esta versión del programa permite calcular el grado de deformación de la lámina en un modelo tridimensional de líneas simulando las condiciones del proceso. Además permite obtener la distribución de la deformación según los datos suministrados.

Para realizar la simulación del proceso se requiere suministrar la siguiente información al programa:

- 1 Secuencia de Pasos
- 2 Relación de Transmisión.
- 3 Diámetro de garganta.
- 4 Longitud útil del eje.
- 5 Distancia desde el centro rodillo inferior hasta el borde de la lámina (mínima y máxima).
- 6 Distancia desde el centro rodillo superior hasta el borde de la lámina (mínima y máxima).
- 7 Distancia desde el centro rodillo vertical hasta la línea media paso vertical (mínima y máxima).
- 8 Diámetro exterior máximo rodillos superior, inferior y lateral.
- 9 Diámetro exterior mínimo rodillos superior, inferior y lateral.
- 10 Ancho de espaciadores.
- 11 Diámetro del área plana de los rodillos.

3.3 MACROGRAFÍAS DE SOLDADURA

Las macrografías se realizan para calificar el proceso de soldadura por resistencia eléctrica. Este ensayo permite verificar mediante las líneas de flujo el ajuste de la máquina (rodillos laterales y superiores) es decir, dan un criterio de evaluación de como el tubo es conformado. Las líneas de flujo son bandas producto de la alineación de los microdefectos y elongación de las inclusiones en dirección paralela a la deformación, además, permiten verificar la uniformidad de la línea ferrítica.

El procedimiento utilizado para realizar este ensayo es el siguiente:

1. La muestra se corta en la línea con un soplete después de realizada la soldadura y antes de hacerle el cepillado externo y el tratamiento térmico.
2. La muestra es cortada en una cortadora de disco para llevarla a unas dimensiones apropiadas para manipularla, el cordón de soldadura debe quedar centrado.
3. Se desbasta la muestra con papel abrasivo de SiC usando una secuencia progresiva desde 60,240,320,400 y 600 girándola 90° de papel a papel. Se debe tener cuidado que en el último paso la orientación sea perpendicular al cordón de soldadura.
4. Se ataca la muestra sumergiéndola en un beaker con 50 ml de reactivo Picral (12% en peso de ácido pícrico en agua destilada), la solución se calienta en una hornilla de resistencia eléctrica por espacio de 10 minutos.
5. La muestra se retira del reactivo y se pule con alúmina de 5 micras.
6. La muestra se lleva al proyector de perfiles (Perfilómetro Mitutoyo modelo PH 3515F con un aumento de 50X, ver figura 25).
7. Se mide la inclinación de las líneas de flujo, el ancho de la zona afectada por el calor (“reloj de arena”) y el ancho de la línea ferrítica.



Figura 25 Perfilómetro marca Mitutoyo modelo PH 3515F.

La figura presenta las principales características estudiadas en una macrografía.

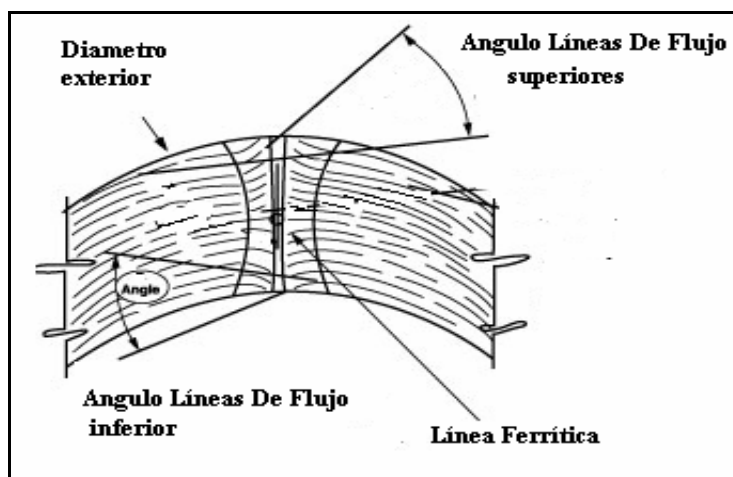


Figura 26 Esquema de las principales características presentes en la macrografía

3.4 METALOGRAFIAS

3.4.1 Estudio de zonas soldadura y determinación del tamaño de grano

Las metalografías permiten estudiar la microestructura del cordón de soldadura, a través de la sección transversal, para lo cual se evaluaron tres zonas de la soldadura (ver figura 27).

El método de ensayo utilizado es el dictado por la norma ASTM E-112.[7]

1. Las muestras se tomaron de las muestras testigos Charpy.
2. Se realizó un desbaste grueso en la desbastadora mecánica, con una cinta abrasiva SiC de granulometría 80 hasta eliminar las huellas del corte.
3. Se preparó la superficie a examinar desbastándola manualmente con papel abrasivo de SiC usando una secuencia progresiva desde 240,320,400 y 600 girándola 90° de papel a papel.
4. Se realizó un pulido manual mecánico, en una pulidora de disco, utilizando primero un paño de billar verde con una suspensión abrasiva de alúmina de 5 micras y luego con un paño con cerdas finas con alúmina de 0,05 micras.
5. Enseguida se atacó la muestra sumergiendo la superficie en Nital (5 %), durante tres a cinco segundos.
6. La caracterización se realizó utilizando un microscopio union modelo Versamet I.
7. Mediante la tabla ASTM E-112, se determinó el tamaño de grano.
8. Se procedió a realizar un registro fotográfico.

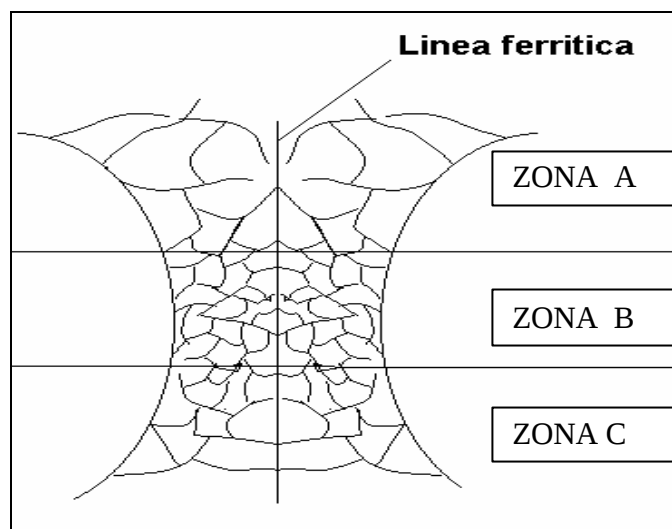


Figura 27 Esquema de las zonas de la soldadura evaluadas.

3.5 ENSAYOS CHARPY

Las muestras fueron tomadas para distintos productos de diferente relación diámetro-espesor (OD/t), la condición del ensayo es de 0 °C, en el sentido transversal con entalla tipo V en la línea ferrítica y se comparó con el metal base. Las probetas tienen dimensiones de 50x10x7,5 mm para productos de espesores mayores y 50x10x5 mm para los espesores menores, la norma guía para este ensayo fue la ASTM A 370. [8]

3.5.1 Ensayo Charpy por zonas en la sección transversal del cordón.

Para un producto de espesor de 11 mm se realizó este ensayo a fin de evaluar el comportamiento de la tenacidad para las diferentes zonas (ver figura 27), las muestras tomadas fueron mecanizadas para llevarlas a las dimensiones de 55x10x5 mm, desbastando las áreas que no eran de interés.

La metodología utilizada fue la siguiente:

1. Se obtienen cuatro probetas, tanto para el cordón de soldadura como para el metal base, de una misma colada.
2. Las muestras del cordón de soldadura obtenidas se atacaron con el reactivo Nital, para revelar la línea ferrítica, justo en esa línea se realizó la entalla que requiere el ensayo.
3. Se entallaron las probetas del metal base.
4. Se sumergen en agua con hielo por espacio de unos cinco minutos a 0 °C.
5. La máquina debe estar en el cero.
6. La probeta se tomó con la pinza Charpy y se colocó rápidamente en el soporte.
7. Se accionó el péndulo y se tomó la lectura.
8. Se repitió el ensayo dos veces más y una tercera si existe algún valor dudoso.

El equipo que fue utilizado para realizar los ensayos Charpy, marca Tinius Olsen modelo 84 de 300 lb-ft de capacidad máxima (ver figura 28).



Figura 28 Máquina de ensayo Charpy

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRODUCTOS ESTUDIADOS

Los productos utilizados en este trabajo fueron aquellos de diámetros 8 5/8, 9 5/8, 10 3/4 y 12 3/4 medidas en pulgadas con espesores superiores o iguales a 6 mm y de diferentes calidades enlistados en la tabla 1.

Tabla 1 Productos estudiados.

Calidad	Diámetro(pulg.)	Espesor(mm)
API5CT J55	10 3/4	8,89
API5CT J55	9 5/8	8,94
API5L B	8 5/8	8,20
API5L B	10 3/4	9,30
API5L B	12 3/4	9,50
API5L X42	10 3/4	6,40
API5L X52	12 3/4	10,30
API5L X52	12 3/4	9,50
API5L X60	12 3/4	10,30
API5L X60	12 3/4	6,40
Verde al Boro	9 5/8	11,05

La tabla 2 presenta las composiciones nominales para los diferentes tipos de aceros estudiados en % en peso.

Tabla 2 Composición Química nominal productos estudiados (balance en %Fe)

GRADO	% C	%Mn	% P	%S	%Si	%Al	%Nb
API5CT J55	0,25-0,28	1,30-1,50	Max. 0,020	Max. 0,10	0,15-0,35	Max. 0,055	Max. 0,008
API5L B	0,12-0,18	0,70-1,00	≤ 0,020	≤ 0,015	≤ 0,35		
API5L X42	0,12-0,17	0,80-1,30	Max. 0,020	Max. 0,010	0,10-0,35	Max. 0,060	
API5L X52	Max. 0,20	Max. 1,45	Max. 0,020	Max. 0,020	Max. 0,35		
API5L X60	Max. 0,20	Max.1,60	Max. 0,040	Max. 0,040	Max. 0,35		
VERDE AL BORO	0,23-0,26	1,25-1,45	≤ 0,020	≤ 0,005	0,15-0,35	Max. 0,050	

4.2 ESTUDIO DE LA MODIFICACIÓN DE LA SECUENCIA DE MONTAJE DE FIN PASS

4.2.1 *Análisis de la secuencia original de montaje de Fin Pass.*

La siguiente figura muestra la disposición e identificación de los pasos en la laminadora

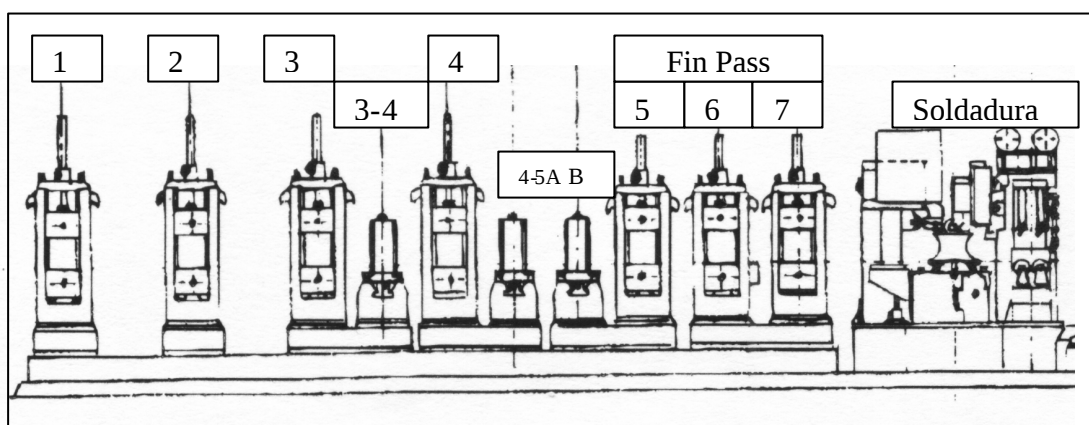


Figura 29 Esquema de ubicación referencial de los pasos de la laminadora.

La figura 30 muestra la lámina dentro de los pasos del Fin Pass, realizada mediante el programa autocad. Se calculó el área de la sección transversal para los diámetros y espesores estudiados; por consiguiente los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

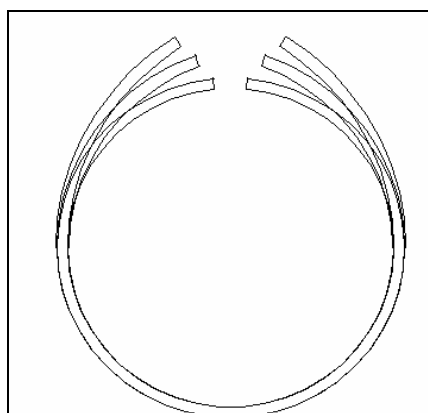


Figura 30 Esquema de la lámina dentro de los pasos de Fin Pass, según diseño original.

Tabla 3 Calculo de las áreas de la sección de lámina dentro del rodillo.

Diámetro	Espesor nominal	Formación	FP5 (mm²)	FP6 (mm²)	FP7 (mm²)
12,75	11,1	11102,99137	11070,61	11043,3433	11008,4046
	10,3	10318,85027	10293,9769	10270,509	10244,9329
	9,5	9535,1975	9514,043	9494,0891	9472,3343
	8,7	8748,544933	8730,8084	8714,0836	8695,8412
	8,4	8452,776833	8436,2444	8420,6571	8403,6521
	7,9	7958,892633	7944,273	7930,4925	7915,4533
	7,1	7166,240367	7154,4368	7143,3157	7131,1709
	6,4	6470,209	6460,6225	6451,5948	6441,7289
10,75	11,1	9315,7845	9286,9077	9259,1025	9229,6899
	9,3	7844,348267	7824,0905	7804,5194	7783,9183
	8,7	7350,4948	7332,7714	7315,6246	7297,6129
	7,8	6606,550733	6592,3115	6578,5006	6564,0472
	7,1	6025,289467	6013,5001	6002,0446	5990,0883
	6,4	5441,7581	5432,1815	5422,8433	5413,1475
9,625	11,05	8321,7182	8288,952	8261,5946	8226,124
	10,03	7575,4062	7549,7254	7527,2082	7499,9456
	8,94	6775,4239	6753,9435	6736,0781	6712,7902
	7,92	6020,692633	6003,8167	5989,8175	5971,5032
8,625	11,1	7421,9483	7392,851	7365,3751	7335,4671
	9,5	6387,7406	6366,4115	6346,2784	6324,3513
	8,7	5866,136967	5848,2405	5831,3517	5812,9514
	8,2	5538,611367	5522,7075	5507,7017	5491,3488

Las deformaciones según el diseño original se aprecian en la tabla 4.

Tabla 4 Deformación de la lámina en los pasos de Fin Pass, según diseño original.

Diámetro	Espesor nominal	e5	e6	e7
12,75	11,1	0,00292072	0,002466019	0,00316879
	10,3	0,00241339	0,002282373	0,00249335
	9,5	0,00222103	0,002099513	0,00229403
	8,7	0,00202943	0,001917444	0,00209563
	8,4	0,00195777	0,001849368	0,00202148
	7,9	0,00183858	0,001736152	0,00189818
	7,1	0,00164847	0,001555643	0,00170161
10,75	6,4	0,00148274	0,001398319	0,00153039
	11,1	0,00310459	0,002998512	0,00318167
	9,3	0,00258581	0,002504523	0,00264313
	8,7	0,0024141	0,002341117	0,00246512
	7,8	0,00215765	0,002097199	0,00219948
	7,1	0,00195856	0,001906781	0,00199402
9,625	6,4	0,00176139	0,001720531	0,00178956
	11,05	0,0039452	0,003305924	0,00430268
	10,03	0,00339578	0,002986976	0,00362845
	8,94	0,00317538	0,002648685	0,00346318
8,625	7,92	0,00280692	0,002334439	0,00306226
	11,1	0,00392814	0,003723473	0,00406889
	9,5	0,00334466	0,003167405	0,00346109
	8,7	0,00305547	0,002892021	0,0031604
	8,2	0,00287558	0,002720807	0,00297351

Los siguientes gráficos muestran, la deformación según diseño original para cada diámetro y los respectivos espesores estudiados.

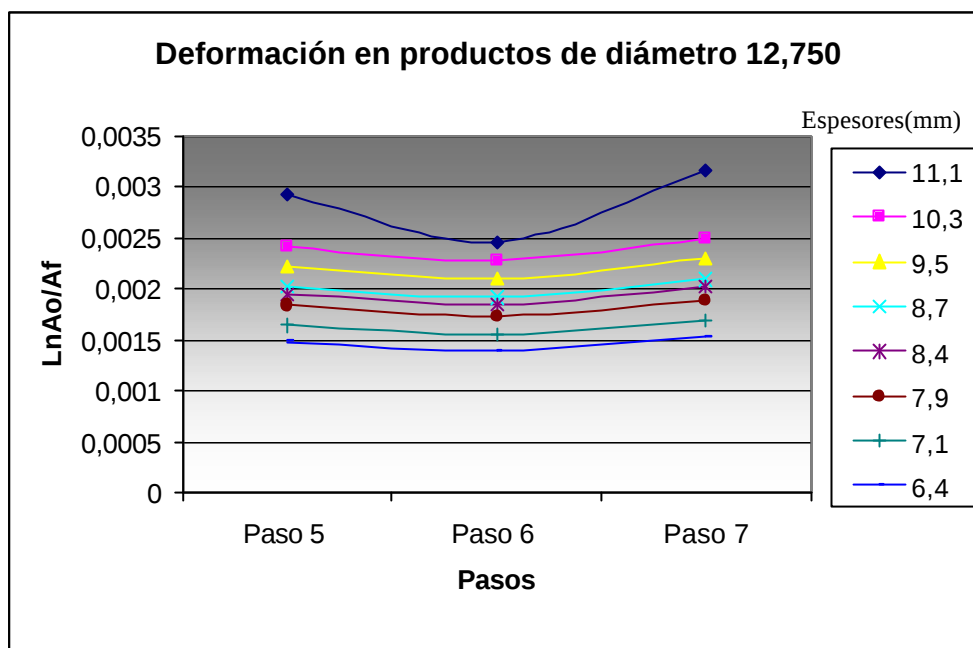


Figura 31 Deformación según diseño productos de diámetro 12,750”

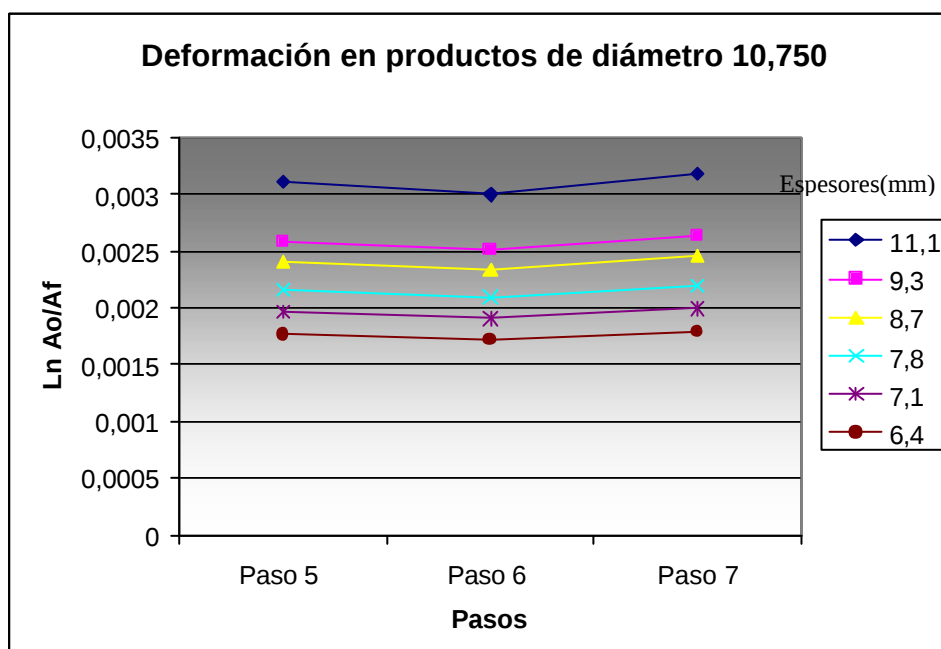


Figura 32 Deformación según diseño productos de diámetro 10,750”

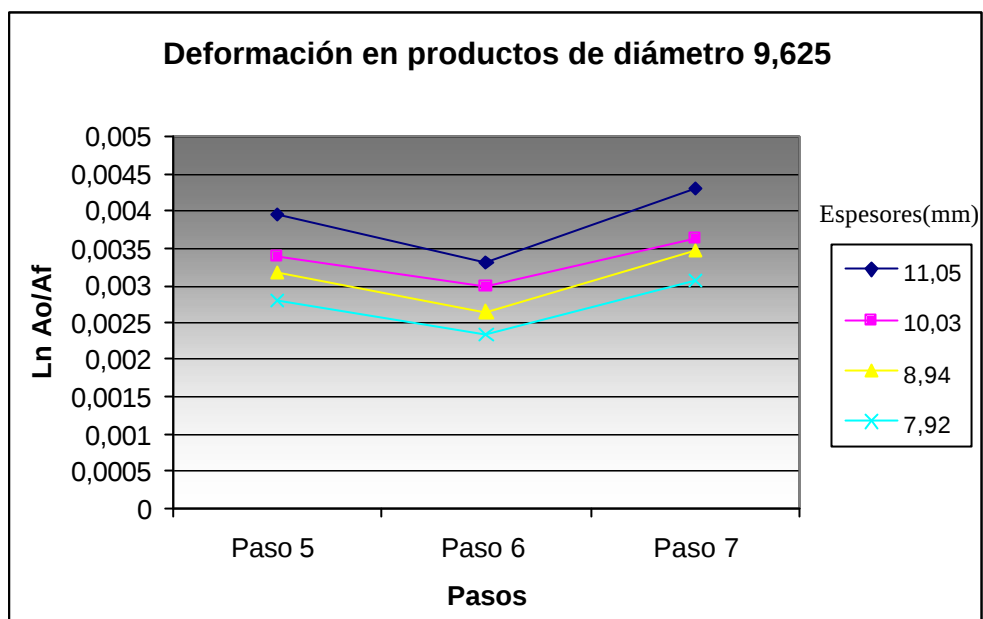


Figura 33 Deformación según diseño productos de diámetro 9,625”

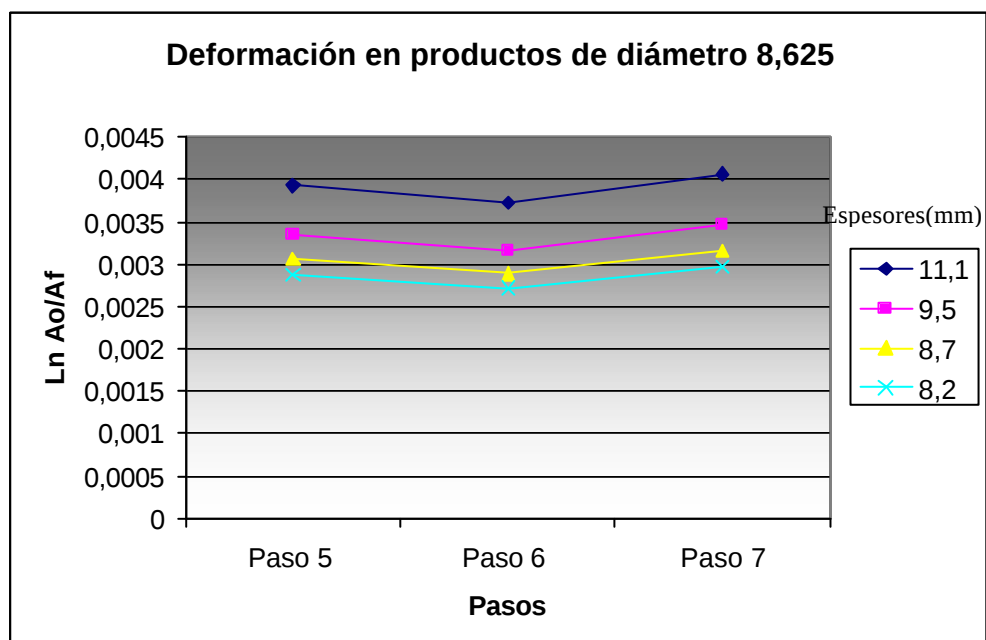


Figura 34 Deformación según diseño productos de diámetro 8,625”

En el diámetro de 12,750” se puede apreciar una tendencia lineal de la deformación; ya que debe estar distribuida de manera uniforme entre cada paso; sin embargo, se puede evidenciar que el paso 6 realiza menos trabajo de deformación que los otros dos pasos, en todos los espesores. El espesor de 11,1 mm se desvía del comportamiento general, lo que denota que el diseño no funciona de igual forma para todos los productos, debido que a medida que aumenta el espesor, la lámina es más trabajada para alcanzar la forma deseada, por lo tanto, existe un rango de espesores en el que un diseño específico puede realizar la distribución de la deformación de forma proporcionada.

El diámetro de 10,750” presenta curvas con un comportamiento más homogéneo a lo largo de los espesores estudiados y la deformación más uniforme entre paso y paso que para los demás diámetros.

La deformación para el diámetro de 9,625” se desvía de la distribución ideal de deformación que debe seguirse como criterio de diseño, se aprecia que el paso 6 está realizando un trabajo bastante menor que los otros pasos. Se presenta la misma tendencia para los otros diámetros, pero no de forma tan marcada. El diámetro de 8,625” presenta el mismo comportamiento que el resto de los diámetros estudiados.

4.2.2 Análisis de la modificación de la secuencia de montaje del Fin Pass.

La tabla 3 presenta las modificaciones realizadas en las secuencias de montaje para los diámetros estudiados, se observa que ha sido suprimido el primer paso de Fin Pass, o paso 5 y se está utilizando uno de los dos pasos repetidos.

Tabla 5 Secuencia de Montaje Pasos de Fin Pass

Diámetro tubo	Configuración de los pasos
8,625	6-7-7
9,625	6-6-7
10,750	6-7-7
12,750	6-7-7

En la próxima tabla (6), se observa la deformación que sufre la lámina al modificar las secuencias de montaje.

Tabla 6 Deformación de la lámina en los pasos de Fin Pass, según modificaciones.

Diámetro	Espesor nominal	e5	e6	e7
12,75	11,1	0,00538673	0,003168795	0
	10,3	0,00469576	0,002493352	0
	9,5	0,00432055	0,002294034	0
	8,7	0,00394687	0,002095633	0
	8,4	0,00380714	0,00202148	0
	7,9	0,00357473	0,001898177	0
	7,1	0,00320411	0,00170161	0
	6,4	0,00288105	0,001530389	0
10,75	11,1	0,0061031	0,003181671	0
	9,3	0,00509033	0,002643127	0
	8,7	0,00475521	0,002465122	0
	7,8	0,00425485	0,002199483	0
	7,1	0,00386534	0,001994025	0
	6,4	0,00348192	0,001789555	0
9,625	11,05	0,00725113	0	0,00430268
	10,03	0,00638276	0	0,00362845
	8,94	0,00582406	0	0,00346318
	7,92	0,00514136	0	0,00306226
8,625	11,1	0,00765162	0,004068888	0
	9,5	0,00651206	0,003461094	0
	8,7	0,00594749	0,003160398	0
	8,2	0,00559639	0,002973513	0

Las siguientes figuras presentan la comparación de las deformaciones antes y después de las modificaciones, tomando un caso para el montaje 6-6-7 y uno para 6-7-7.

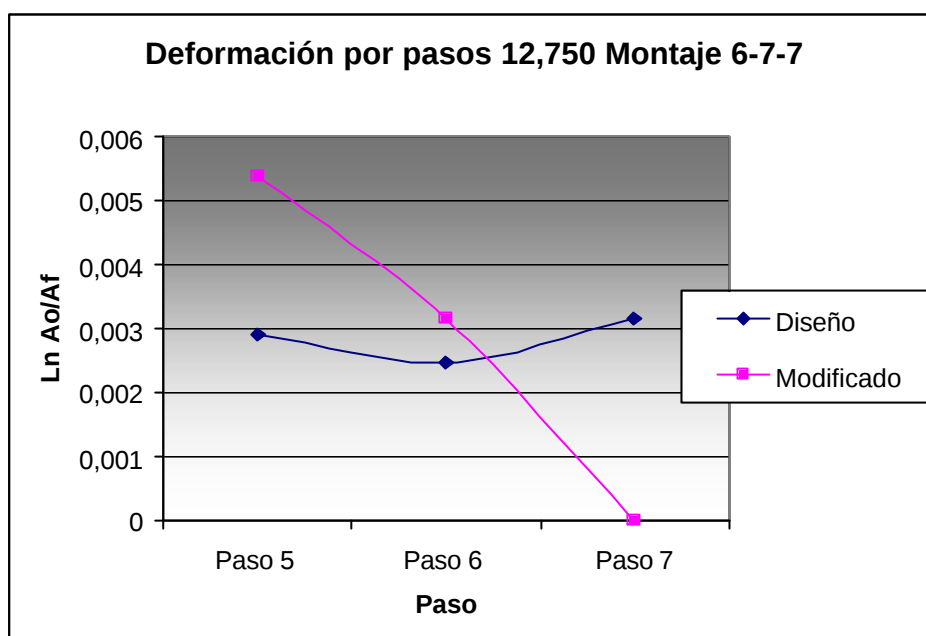


Figura 35 Comparación entre la deformación según diseño y montaje 6-7-7

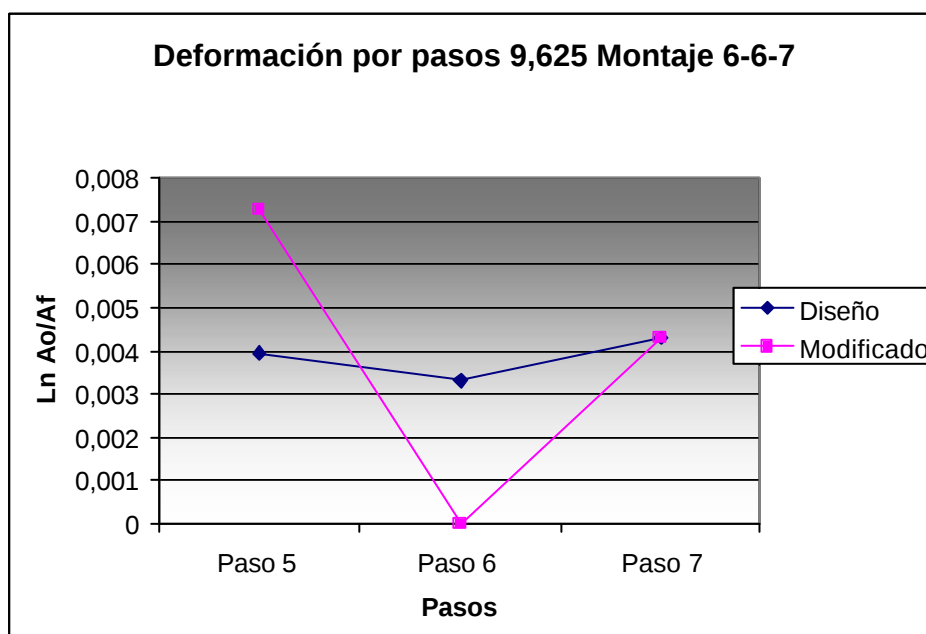


Figura 36 Comparación entre la deformación según diseño y montaje 6-6-7

Se puede observar que para las modificaciones realizadas se origina un exceso de trabajo en un paso y deficiencia en otro, produciéndose una distribución heterogénea de la deformación. En el montaje 6-7-7 ocurre que el último paso de Fin Pass no está realizando ningún trabajo efectivo en deformación. De similar forma ocurre para el montaje 6-6-7, pero es el segundo paso de Fin Pass que deja de trabajar en la deformación.

Un requisito indispensable para la producción de tubos, es la distribución homogénea de la deformación entre cada paso, muchos problemas se originan como consecuencia de un inapropiado diseño, entre ellos se incluyen marcas de la laminación, tamaño incorrecto, sobreconformado, ondulaciones y evidentemente inconsistencia en la presentación de los bordes al proceso de soldadura que origina una soldadura deficiente. [5]

Por otra parte, la exigencia de potencia en la máquina es mayor para el paso que se carga con el exceso de trabajo (primer paso de Fin Pass) y origina pérdidas de potencia en el paso que realiza trabajo redundante, además, en el primer paso de Fin Pass se genera un aumento en el esfuerzo que sufre el separador para el cual no ha sido diseñado, disminuyendo su vida útil, elevando costos de producción y generando paradas de la máquina completamente evitables.

4.2.3 Análisis utilizando el programa COPRA.

Los siguientes figuras fueron obtenidas mediante el software COPRA para un producto de 12,750" por 6,40 mm de espesor. La figura 37 representa la flor de deformación para el producto sin modificaciones, mientras que la figura 38 representa la flor de deformación para el producto con las modificaciones.

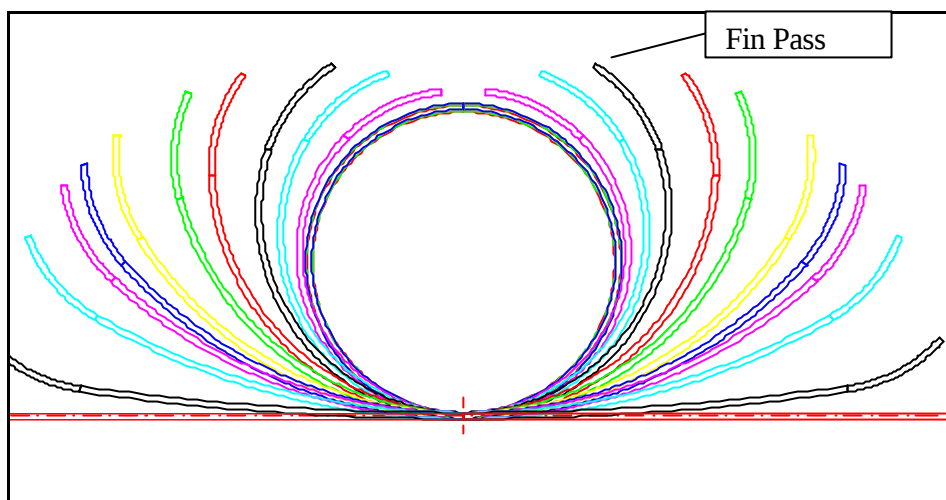


Figura 37 Flor de deformación según diseño.

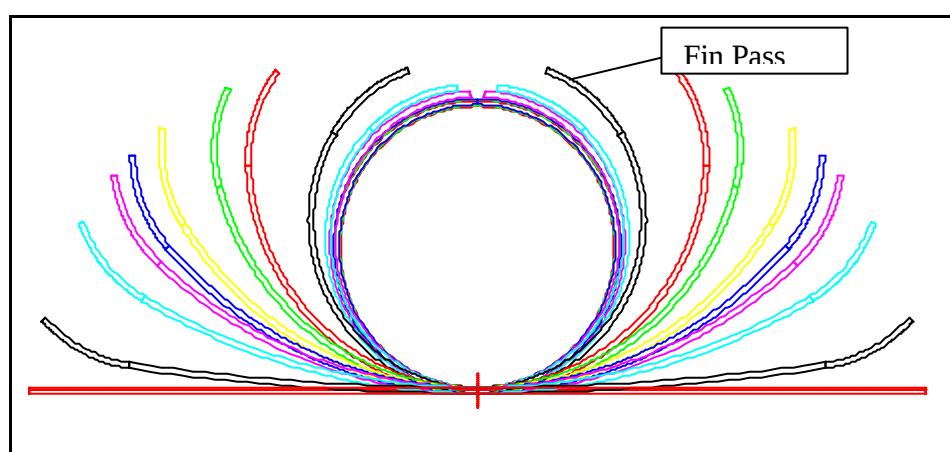


Figura 38 Flor de deformación según modificaciones.

La flor para diseño original distribuye la deformación de manera más uniforme entre los pasos, tal como se observa por el distanciamiento similar entre ellos, mientras que para la flor según modificación de la secuencia de montaje de los pasos, el espaciamiento es muy desigual al entrar al primer Fin Pass. Se observa que el último Fin Pass está muy junto al que le precede; es decir que no realiza casi ninguna deformación.

COPRA representa el proceso mediante un modelo tridimensional de líneas, tal como se presenta en la próxima figura.

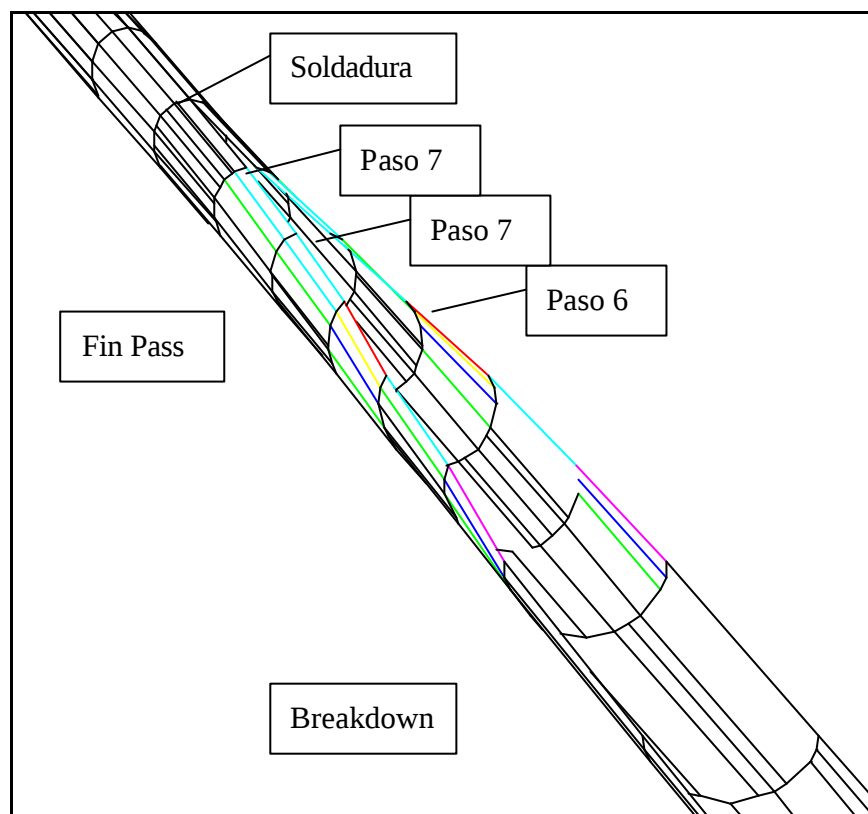


Figura 39 Modelo tridimensional del proceso de conformado, montaje modificado.

Cada línea transversal representa un paso de la laminadora, y los colores representan un grado de deformación, siendo el rojo el lugar en el que se presenta la mayor deformación, le siguen amarillo, azul, verde, aguamarina, morado y por último el blanco. Distinguimos entonces gran cantidad de deformación localizada en la zona del borde, que genera problemas tales, como ondulaciones y hundimientos en esta zona, ocasionando problemas posteriores en la soldadura; ya que pueden evitar que se presenten los bordes totalmente paralelos.

Una perspectiva lateral del proceso se observa en la siguiente figura.

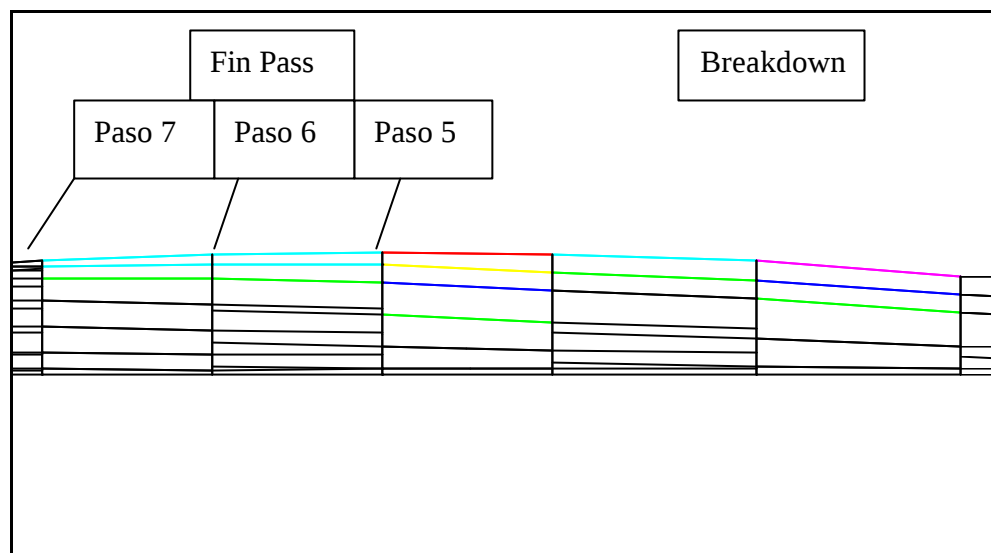


Figura 40 Vista lateral del proceso

De igual manera se aprecia como la mayor deformación se concentra en el primer paso de Fin Pass (paso 5); es la zona cercana al borde que puede ser distorsionada a causa de una deformación excesiva.

4.2.4 Modificación del Ángulo del Fin Pass

La figura 41 muestra la forma del borde de la lámina debido a la reducción del ángulo del último paso del Fin Pass, el ángulo se redujo a la mitad desde $5,667^\circ$ a $2,86^\circ$.

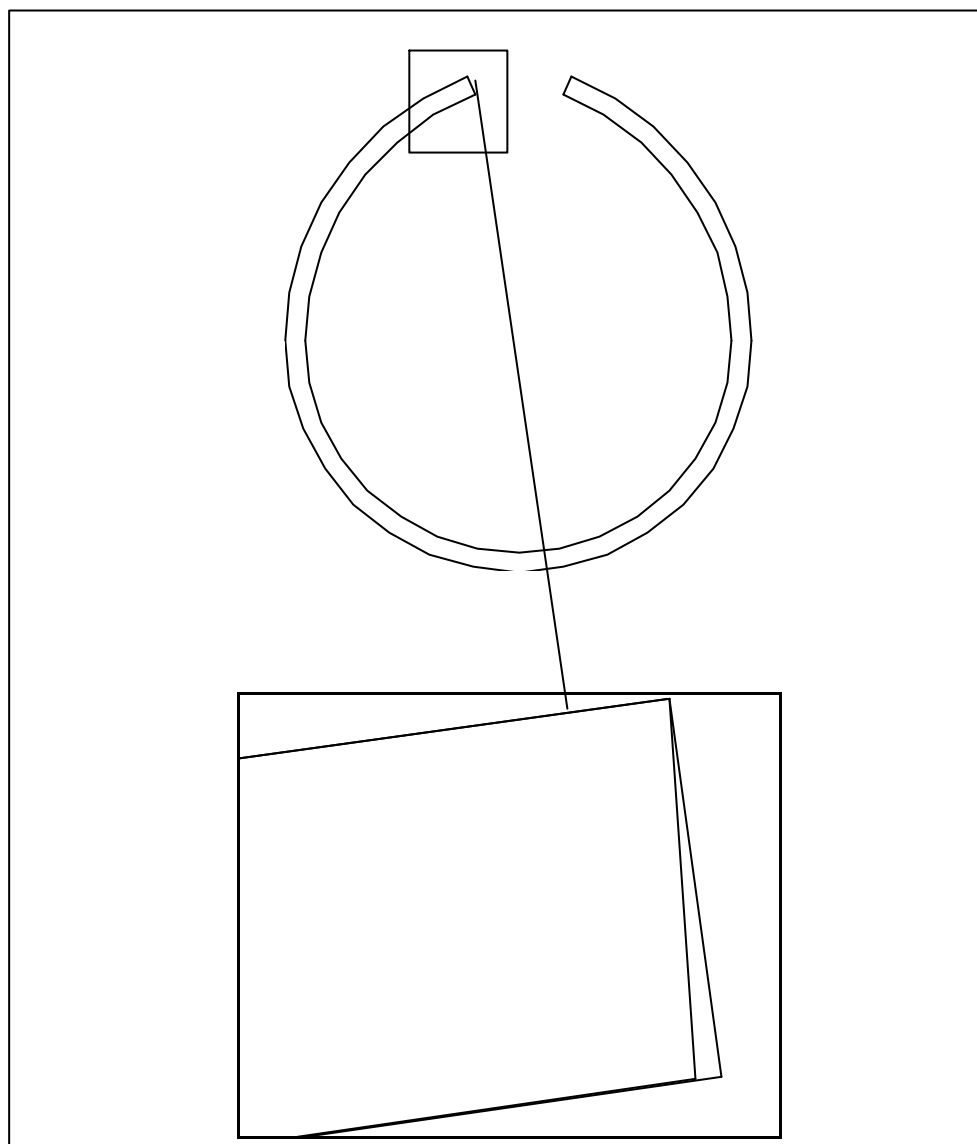


Figura 41 Efecto en el borde de la modificación del ángulo del último paso de Fin Pass.

Este cambio es realizado con el propósito de mantener los bordes lo más paralelamente posible después de salir del Fin Pass, no tiene un efecto importante en la deformación, ya que el área de sección es prácticamente la misma. Esta mejora sin el cambio en la secuencia de montaje, prácticamente no afecta la distribución de la deformación original y puede ser implementada para ayudar a la presentación de los bordes a soldar.

El ancho del separador debe ser mantenido según el diseño original para el ángulo corregido, ya que ambos parámetros son importantes para la apropiada formación de la lámina; de ser inexactos pueden traer como consecuencia marcas en el tubo y una soldadura defectuosa.[5]

4.3 MACROGRAFÍAS DE SOLDADURA

Las siguientes macrografías muestran las principales condiciones observadas en los productos estudiados.

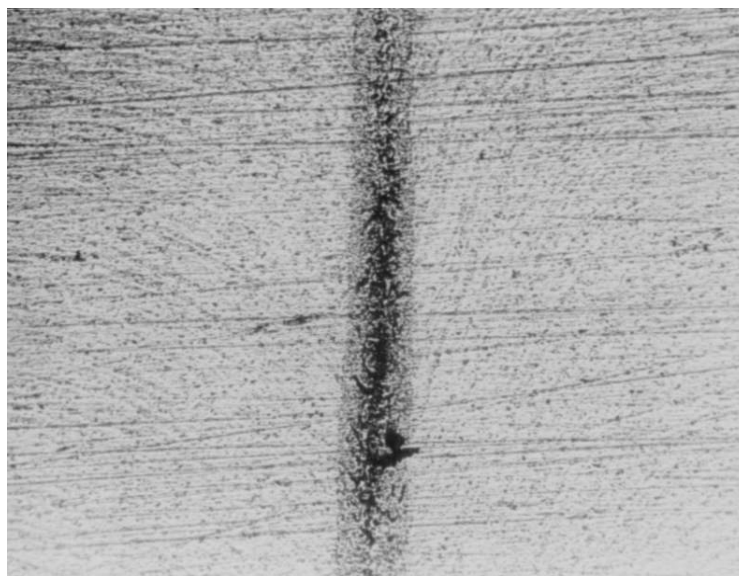


Figura 42 Macrografía de un producto zona inferior del borde (100X).

La macrografía mostrada en la figura 42 presenta el producto X60 de 12,750" por 6,40 mm de espesor; se observa un borde trabajado más que otro, las líneas de flujo muestran inclinaciones diferentes y los bordes solapados.

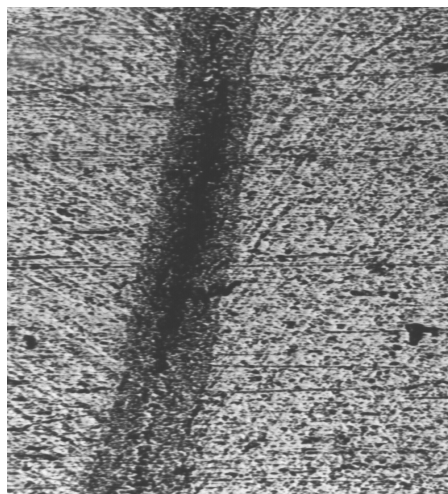


Figura 43 Macrografía API5LB 12,750” x 9,50mm(100X)

La característica principal de la figura 43 es la condición de la línea ferrítica. Se aprecia que es de ancho irregular, presenta discontinuidad, producida por materiales extraños atrapados (óxidos formados) y no expulsado en el momento de la forja. Por el contrario la línea ferrítica debe ser de ancho uniforme, continua y sin imperfecciones, de ser curvada es un indicativo del movimiento de los bordes; luego de salir del Fin Pass causadas por ondulaciones, o inestabilidad de la “ve” de soldadura. [5]

Las ondulaciones discutidas anteriormente son producto de la deformación heterogénea de la lámina causada por una distribución desigual de la deformación entre los pasos.

Otra característica observada en las macrografías de los productos, es la línea ferrítica que tiende a desaparecer en el medio del espesor, ver figura 44.

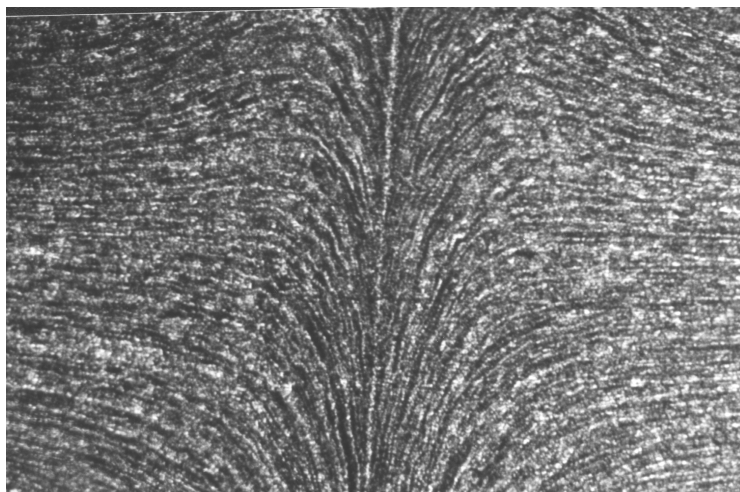


Figura 44 Macrografía muestra desaparición de la línea Ferrítica (100X).

Existen dos condiciones que pueden generar esta característica: una es el exceso de presión por los rodillos de soldadura, y la otra es el exceso de lámina. Este exceso de lámina es traducido en mayor cantidad de trabajo para conformar el tubo y pérdida de dinero por la cantidad de material utilizado, por lo tanto, es necesario realizar una revisión del ancho de la lámina utilizada en la fabricación de estos productos y evitar las posibles consecuencias.

4.4 CALCULO DE ANCHO DE LÁMINA SEGÚN DISEÑO

El ancho de lámina utilizada por la laminadora es determinado por una fórmula original de C.A Conduven, que depende del diámetro y el espesor del producto. Esta formula no contempla el tipo de material, ni el diseño de rodillos, por lo tanto es posible que involucre grandes errores.

El software COPRA, advierte que el tipo de producto estudiado (12,750” por 6,40 mm de espesor) es posible obtenerlo con una cantidad de lámina de 1006 mm de ancho, mientras que fue fabricado usando 1017 mm, se habla de un excedente de 11 mm, para comparar los resultados calculamos el ancho de lámina utilizando el diseño de rodillos.

Es posible obtener el ancho de lámina conociendo el área de sección de la tira antes de entrar al Fin Pass, ya que esta sección es la misma, desde que la lámina ingresa al proceso; ya que en esta etapa la lámina únicamente es curvada y no existe deformación permanente.

De la tabla 3, utilizando el valor del espesor obtenemos el ancho de lámina al dividir el área por el espesor, el valor obtenido se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 7 Ancho de lámina Nominal según diseño.

Diámetro	Espesor nominal	Regresión	Ancho Lámina Nominal
12,75	11,1	11102,9914	1000,27
	10,3	10318,8503	1001,83
	9,5	9535,1975	1003,71
	8,7	8748,54493	1005,58
	8,4	8452,77683	1006,28
	7,9	7958,89263	1007,45
	7,1	7166,24037	1009,33
	6,4	6470,209	1010,97
10,75	11,1	9315,7845	839,26
	9,3	7844,34827	843,48
	8,7	7350,4948	844,88
	7,8	6606,55073	846,99
	7,1	6025,28947	848,63
	6,4	5441,7581	850,27
9,625	11,05	8321,7182	753,10
	10,03	7575,4062	755,27
	8,94	6775,4239	757,88
	7,92	6020,69263	760,19
8,625	11,1	7421,9483	668,64
	9,5	6387,7406	672,39
	8,7	5866,13697	674,27
	8,2	5538,61137	675,44

Es posible comparar el ancho de lámina obtenido por COPRA con el calculado mediante el diseño de rodillos para el producto específico de 12,750” por 6,40 mm de espesor y se puede observar que ambos resultados coinciden en que existe exceso de lámina. Los anchos de lámina utilizados por Conduven se presentan en la tabla 8.

Tabla 8 Anchos de lámina utilizados por Conduven.

Diámetro	Espesor nominal	Ancho Lámina Conduven
12,75	11,1	998,34
	10,3	1001,35
	9,5	1004,37
	8,7	1007,39
	8,4	1008,51
	7,9	1010,40
	7,1	1013,42
	6,4	1016,06
10,75	11,1	837,81
	9,3	844,31
	8,7	846,47
	7,8	849,72
	7,1	852,25
	6,4	854,77
9,625	11,05	747,70
	10,03	751,28
	8,94	755,12
	7,92	758,70
8,625	11,1	667,27
	9,5	672,76
	8,7	675,51
	8,2	677,22

Los anchos de lámina obtenidos por el diseño de los rodillos para cada producto y el ancho de lámina utilizado por Conduven, se grafican para determinar una relación entre el ancho de lámina y el espesor para cada producto.

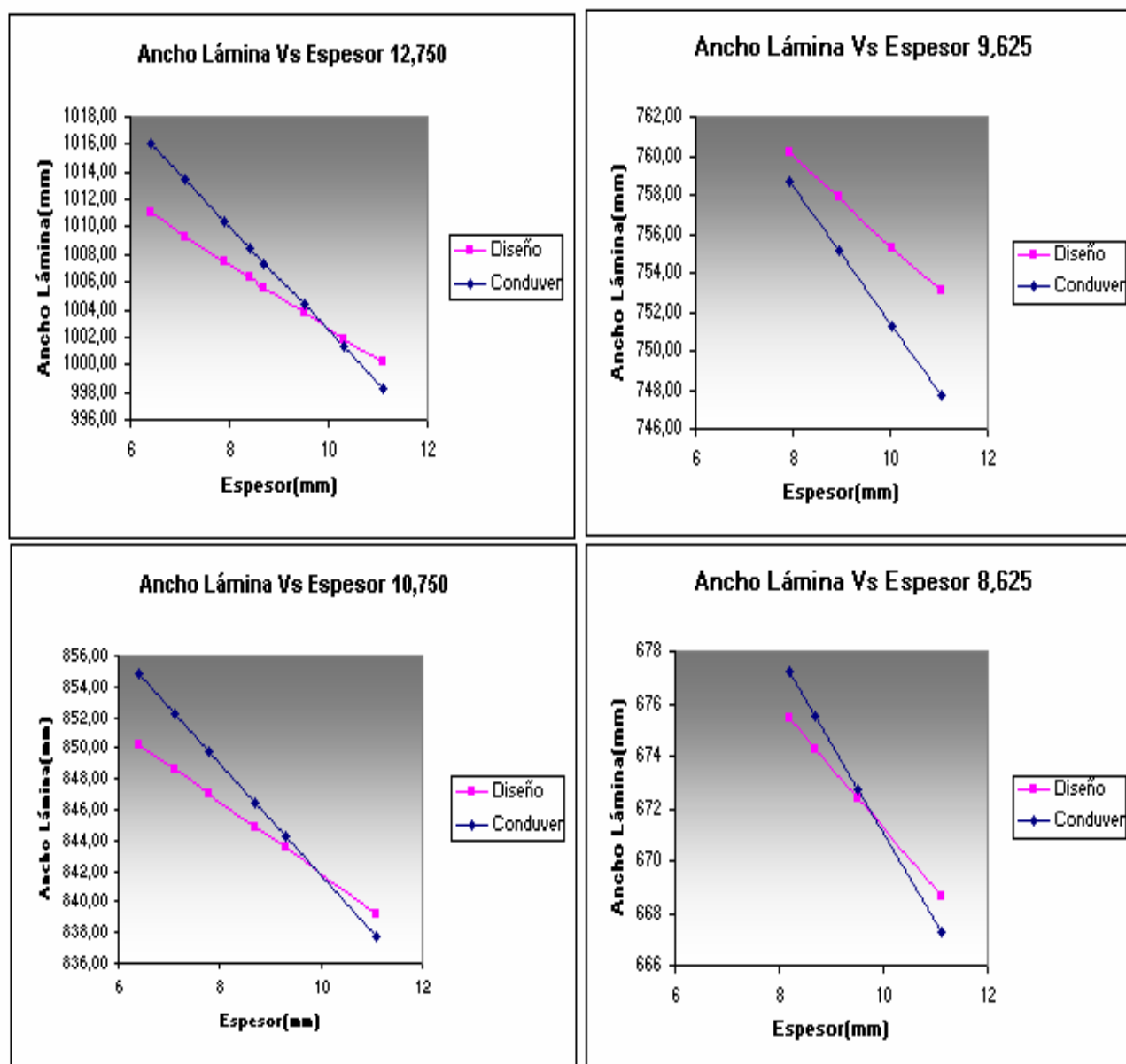


Figura 45 Anchos de lámina Vs. Espesor para todos los productos.

El comportamiento del ancho de lámina contra el espesor según diseño original en los diámetros de 12,750" y 10,750" es similar en ambos. Si los comparamos con los anchos utilizados por C.A Conduver, se puede apreciar que en los espesores pequeños el ancho de lámina según diseño es menor, la diferencia disminuye a medida que el espesor aumenta hasta hacerse ligeramente superior para el espesor más grande. Para el diámetro de 9,625"

los anchos de lámina determinados son más grandes que los utilizados por Conduven, por lo que es otra razón para decir que el diseño de estos rodillos puede tener errores. El ancho de lámina contra el espesor para 8,625" se comporta de forma muy similar a los diámetros de 12,750" y 10,750".

Mediante los gráficos anteriores se determinan las ecuaciones que pueden ser utilizadas para determinar los anchos de lámina según diseño.

Tabla 9 Ecuaciones propuestas para calcular el ancho de lámina según diseño para cada diámetro.

12,750	$L = -2,2996007t + 1025,62653$
10,750	$L = -2,3423455t + 865,260702$
9,625	$L = -2,2791624t + 778,227856$
8,625	$L = -2,3438114t + 694,655732$

En las ecuaciones anteriores L representa el ancho de lámina y t representa el espesor. El valor del termino independiente es aproximadamente igual al perímetro de los rodillos.

A estas ecuaciones podemos adicionarle el factor de deformación que depende del material, multiplicado por el número de pasos de deformación efectiva (Fin Pass y Calibración). El factor para una operación estándar de conformado de tuberías es obtenido experimentalmente y existen trabajos que reportan los valores de los incrementos de ancho de lámina para el acero dependiendo de la resistencia a la fluencia. [9]

base trabajado para las modificaciones no presenta variación con respecto a la tenacidad obtenida en los productos trabajados con el diseño original.

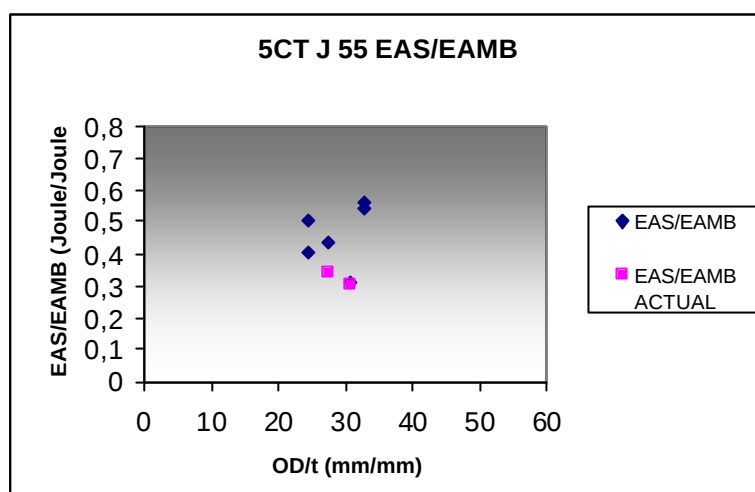


Figura 47 Tenacidad productos calidad 5CT J55

Para los productos de calidad API5CT J55, las modificaciones en el proceso tienen una influencia negativa en la energía absorbida en la soldadura disminuyéndola con respecto a los valores que se obtenían con el diseño original.

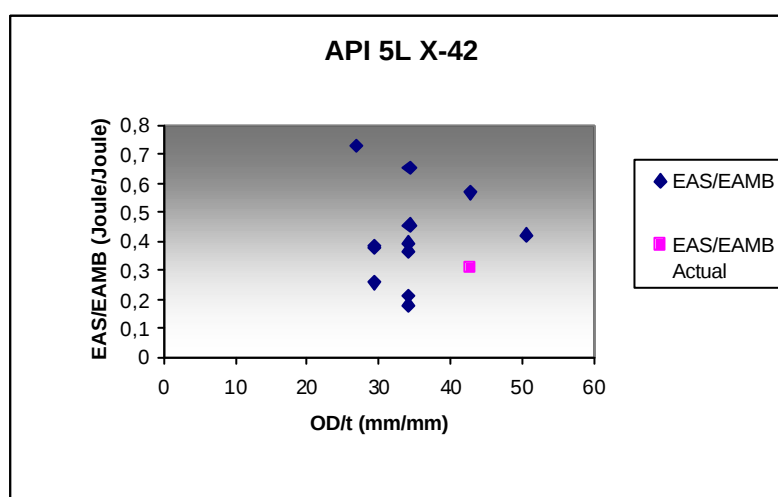


Figura 48 Tenacidad productos calidad API 5L X-42.

El único producto de esta calidad estudiado para las modificaciones de los rodillos presenta un descenso en la energía absorbida por la soldadura.

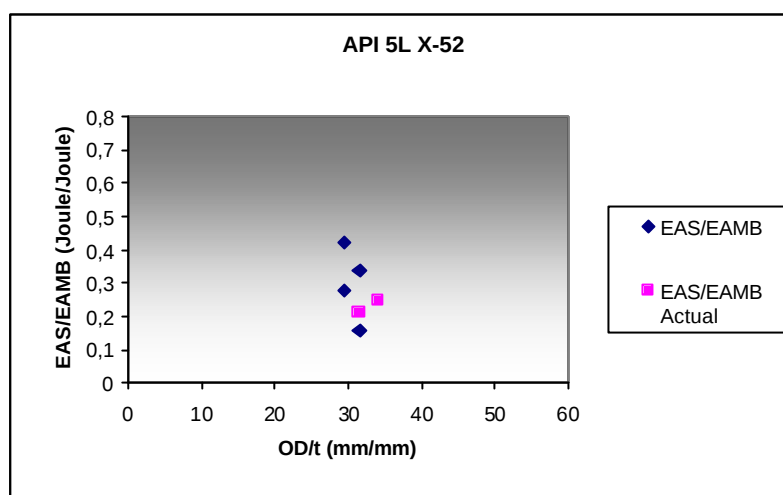


Figura 49 Tenacidad productos calidad API 5L X-52.

La figura anterior reporta que la tenacidad de la soldadura no varía para los productos trabajados con las modificaciones con respecto a los productos fabricados con las herramientas según diseño original.

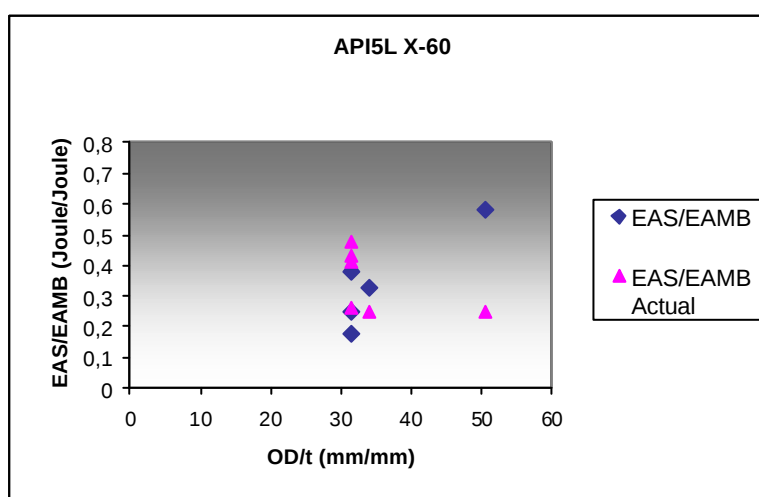


Figura 50 Tenacidad productos calidad API5L X-60.

En este producto se aprecia que para una relación diámetro espesor de 30, la energía absorbida en la soldadura se mantiene dentro del mismo rango con diseño original y modificado, pero para relaciones mayores, diámetros grandes espesores pequeños, la tenacidad disminuye notablemente con respecto a la tenacidad obtenida para las producciones realizadas con el diseño original.

4.5.2 Ensayos Charpy por zonas en la sección transversal del cordón.

Como se ha discutido en secciones anteriores; para que el calentamiento en la zona soldada sea lo más homogéneo posible deben presentarse los bordes de forma paralela, por lo tanto la tenacidad en toda la sección no debería variar. La figura 51 presenta los valores de tenacidad para tres zonas de la sección transversal (ver figura 27), un estudio en un producto verde al Boro, de 9 5/8" de diámetro y 11,05 mm de espesor.

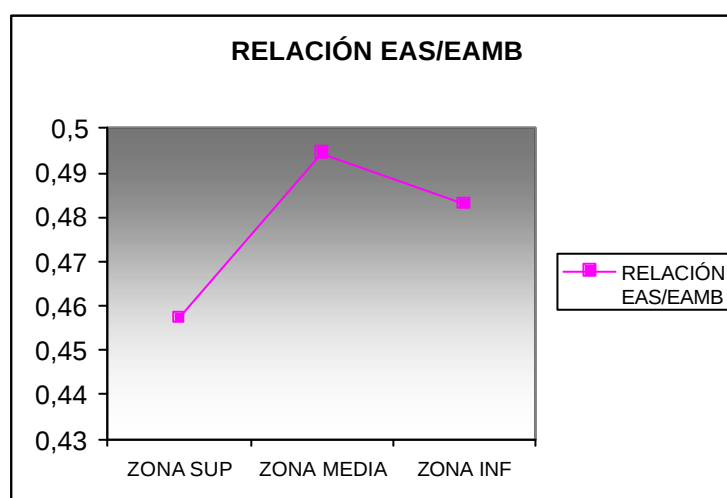


Figura 51 Tenacidad por zonas de soldadura.

Es posible apreciar que existe diferencia en la energía absorbida en la soldadura en las tres zonas, donde el área superior es la que presenta el valor más bajo, la metalografía que representa a cada zona se presentan a continuación.

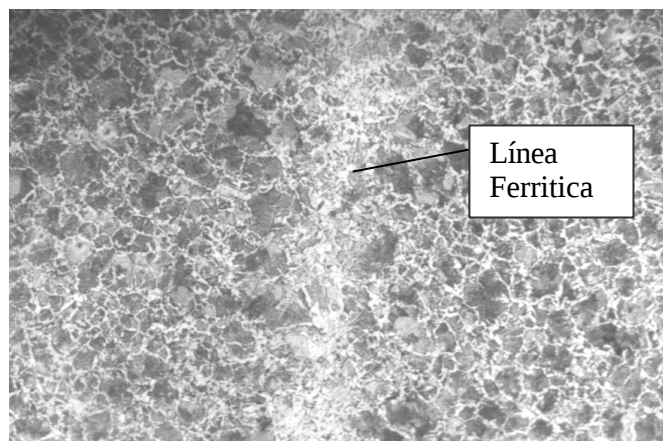


Figura 52 Zona superior (100X)

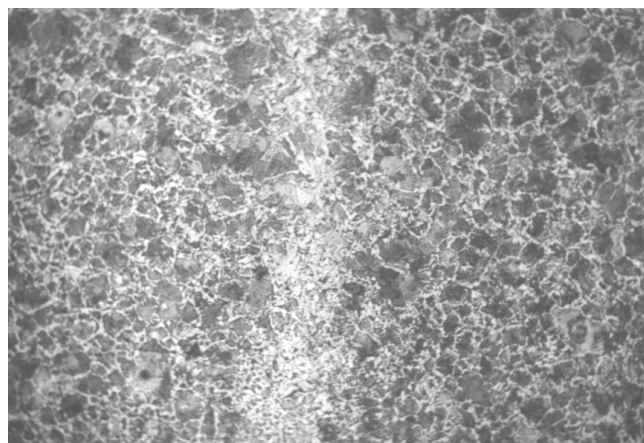


Figura 53 Zona medà (100X)

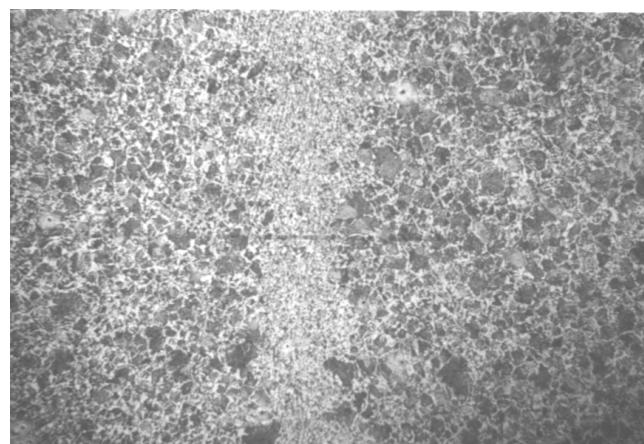


Figura 54 Zona inferior (100X)

La diferencia en el tamaño de grano de las zonas, mientras que para la zona superior existe un tamaño de grano mixto entre 5 ½ a 6 para la zona media es de 6 a 6 ½ y para la zona inferior es de 7 (según tabla de comparación ASTM E-112).

A medida que el tamaño de grano en el espesor de la soldadura es más pequeño, la tenacidad es mayor, aún cuando para la zona media, el tamaño de grano es más grande que en la zona inferior por lo tanto la tenacidad es mayor en esta área, lo que podemos explicar por la diferencia en el ancho de la línea ferrítica es que en la zona inferior es mayor, lo que causa una disminución en las propiedades mecánicas. [4]

4.6 PROPUESTA DE DISEÑO DE RODILLOS.

En el proceso de C.A Conduven, la lámina es deformada mediante una formación de canto (ver sección 2.3.1), con un diseño de rodillos original de Fin Pass conocido comercialmente como tipo “pera” (figura 55) en los dos primeros pasos y un diseño redondo en el último paso.

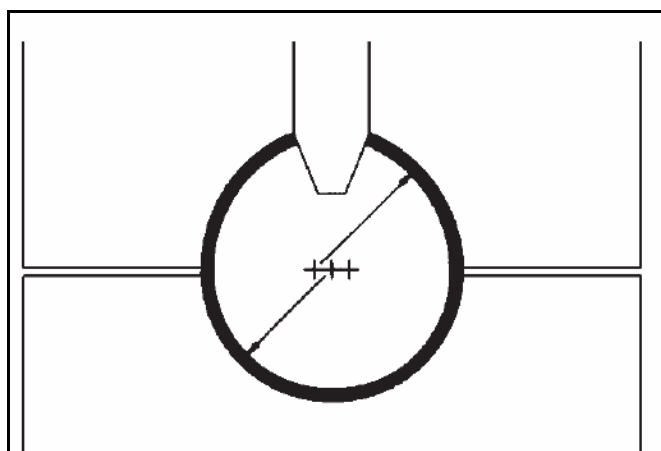


Figura 55 Fin Pass de diseño tipo “pera”.

Este tipo de diseño de Fin Pass es utilizado para materiales con bajas relaciones diámetro espesor, y que necesitan gran cantidad de trabajo, desde el último paso del Breakdown al primer paso del Fin Pass.[5]

Se ha observado que para este diseño y las modificaciones realizadas no se ha conseguido el objetivo de mantener los bordes paralelos de manera consistente; para ser soldados de forma adecuada.

El diseño propuesto que puede permitir mantener los bordes paralelos es el Fin Pass redondo, en todos los pasos de éste (ver figura 56), y para garantizar que el “*Sprinback*” (recuperación elástica) no genere problemas, se puede implementar este diseño acoplado a una formación de canto versátil.

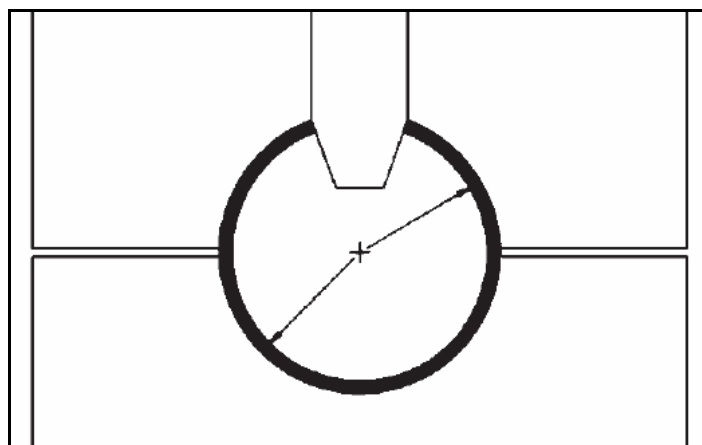


Figura 56 Fin Pass diseño redondo.

Otra alternativa es retornar al diseño original de Fin Pass tipo “pera” en los dos primeros pasos y culminar con un paso tipo “oval achatado” (ver Figura 59). Este diseño consiste en que el rodillo superior tiene un doble radio menor al radio del rodillo inferior. La ventaja que presenta este diseño es su funcionalidad para cualquier relación diámetro-espesor (grandes o pequeñas) y ha reportado buena calidad de soldadura, donde se ha implementado. “La principal desventaja de este diseño es que el tubo no entra redondo a la soldadura, pero este detalle se puede corregir en la etapa posterior de calibración”. [5]

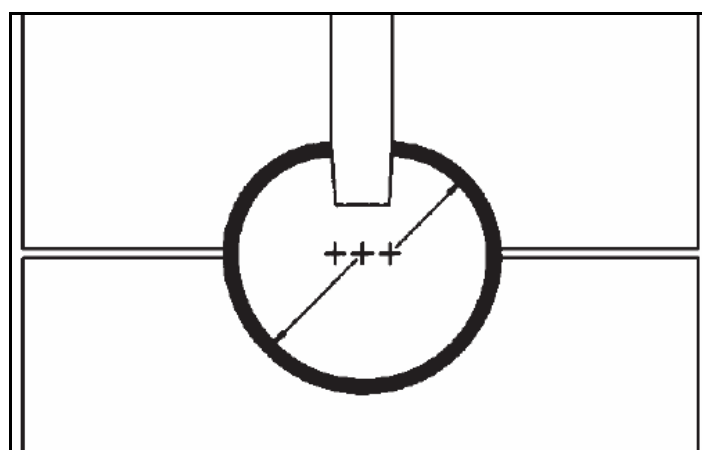


Figura 59 Fin Pass diseño Oval achatado

V. CONCLUSIONES

1. Las modificaciones en las secuencias de montaje, generan una distribución heterogénea de la deformación entre los pasos.
2. El diseño original del Fin Pass utilizado por la empresa para los productos de diámetro 9,625" no realiza una distribución homogénea de la deformación, mientras que los diseños para el resto de los diámetros estudiados presentaron un comportamiento apropiado tomando en cuenta este criterio.
3. La reducción del ángulo del separador del último paso del Fin Pass, ayuda a la presentación de los bordes a soldadura y no tiene influencia en la distribución de la deformación.
4. El cambio en la secuencia de montaje en los pasos de Fin Pass para los productos estudiados no reporta variaciones en la tenacidad de soldadura con respecto a los producidos según el diseño original.

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el ancho de lámina utilizado en la fabricación de los productos estudiados.
2. Implementar un diseño de Fin Pass del tipo redondo o complementar el diseño original utilizando en el último paso del tipo “oval achatado”.
3. Realizar una prueba reduciendo tanto el ángulo del espaciador del segundo paso del Fin Pass y el último paso con respecto al diseño original.
4. Incorporar a la resolución de problemas de diseño de herramientas el programa COPRA versión actualizada, ya que permite optimizar el tiempo y la calidad de respuesta por parte de los ingenieros.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. OLSON, J. "Tube Mill Roll Design", Chicago Roll Company Inc. Bensenville, Illinois. USA. s/f.
2. OLSON, J. "How Flat Strip Becomes a Welded Tube", Chicago Roll Company Inc. Bensenville, Illinois. USA. s/f.
3. WRIGHT, J. " Optimizing Efficiency in HF Tube Welding Processes", Electronic Heating Equipment, Inc. Bonney Lake. USA. s/f.
4. NICHOLS, R. "The Metallurgical Effects Of Weld Seam Heat Treating". Thermatool Corp. USA. 1998.
5. GEHRISCH, C. SLADKY, R. y WATT, G. "Design Analysis Of Tube Roll Tooling". Roll-Kraft, Ohio. USA. s/f.
6. SEDLMAIER, A. "Administración de Calidad Integrada en el Proceso de Diseño y Producción de Tubos con Soldadura Longitudinal", Conferencia Internacional de ITA, Veracruz. Mexico. 2003.
7. NORMA ASTM E112 Estimating the Average Grain Size of Metals
8. NORMA ASTM A370 Mechanical Testing of Steel Products Charpy Impact Test
9. GRAHAM, W. "Solving the mysteries of the Fin Pass" En: TPJ-The Tube and Pipe journal. Rockford, Illinois. USA. Abril / Mayo de 2003.
10. DIETER, G. "Mechanical Metallurgy". Mc Graw-Hill, 3 era edición, USA. 1986.

11. GROOVER, M. "Fundamentos de Manufactura Moderna". Prentice-Hall, México.1997. p746.
12. VIVAS, J. "Informe de Pasantías Industriales", C.A. Conduven. 2002.

ANEXOS

ANEXO I

LA EMPRESA

Ubicación

C.A. CONDUVEN y CONDUSID C.A. se encuentran distribuidas actualmente de la siguiente manera:

Sede Principal Avenida Beethoven Edificio Torre Financiera. Piso 9 Colinas de Bello Monte. Caracas Venezuela.



Sede Principal

Planta 1

Se encuentra ubicada en la Zona Industrial de Soco, La Victoria. Estado Aragua. Allí se tratan los productos en proceso suministrados por la planta N° 2 (Electro galvanizado) para su respectivo despacho o almacenaje.

Planta 2

Está ubicada en la Avenida Gran Colombia de la Zona Industrial de la Chapa, La Victoria, Estado Aragua, está conformada por cuatro zonas, las cuales son:

Zona de Almacén de Materia Prima.

Planta de Productos Livianos (PPL).

Planta de Productos Pesados (PPP).

Zona de almacén de productos terminados.



Planta 2 La Victoria-Edo. Aragua

Planta 3

Se localiza en la Zona Industrial de Soco, La Victoria, Estado Aragua, en esta planta se realizaba el proceso de fabricación de anillos negros galvanizados para tubería de roscado en diámetros que van de $\frac{1}{4}$ hasta 6 pulgadas. La materia prima que se utiliza en estos procesos es suministrada por la planta 1 y 2 de C.A. CONDUVEN que actualmente se encuentra cerrada y el proceso se realiza en planta 1.

Planta 4 (CONDUSID, C.A)

Ubicada al lado de planta N° 2 aquí se lleva a cabo el acabado de la tubería petrolera, principalmente para el mercado nacional con capacidad de producción de 300.000 Toneladas juntas / año, con un área de 56.000 m². La planta está distribuida en el área de tratamiento térmico y roscado.

Planta N°5

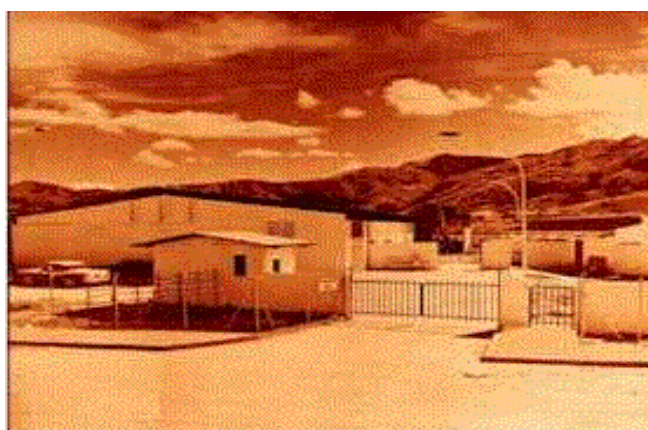
Localizada en la Avenida Intercomunal cruce con Lara-Zulia sector San Isidro, Cabimas Estado Zulia. En funcionamiento a partir del 2 de Enero de 2001

Misión

C.A. CONDUVEN, es una de las empresas metalmecánica dedicadas a la transformación del acero en bobinas (laminado en caliente y/o frío) a tubo, provee tuberías a varios sectores de la economía nacional: Petróleo, gas, electricidad, obras sanitarias, industria automotriz, de la construcción y otros. Produce los accesorios para tubos como niples y anillos, además de prestar servicios especiales a terceros, en lo que respecta a cortadura de bobinas para llevarlas a tiras, así como el biselado de tubos, según sus requerimientos, para lo cual existen los equipos necesarios que garantizan la calidad del servicio.

Reseña Histórica (C.A. CONDUVEN)

C.A. CONDUVEN se estableció en 1959 sobre un terreno de 4.000 m², con un área cubierta de 1.200 m². Su capital inicial fue de Bs. 750.000, sus instalaciones productivas consistían de una laminadora para la fabricación de 3.000 toneladas / año de tuberías CONDUIT EMT, empleando a diez trabajadores.



C.A Conduven 1959

En 1962 inició un proceso continuo de crecimiento y mejoramiento de sus procesos productivos y de calidad, logrando de esta manera colocarse como una de las plantas más completas y modernas. El capital y reservas actuales de C.A. CONDUVEN superan los

89.000 millones de bolívares constantes. Las propiedades, plantas y equipos de la empresa tienen un valor superior a los 95.000 millones de bolívares constantes, invertidos en 18 líneas de producción principales y más de 12 líneas de procesamiento secundario y de acabados, lo que ha permitido que para los primeros nueve meses del ejercicio 1999-2000 las ventas de C.A. CONDUVEN excedieran los 51.000 millones de bolívares. Las instalaciones productivas de la compañía ocupan 893.165,11 m² (194.311,5 m² techados), ubicadas en 3 plantas, planta 1, planta 2 y planta 3 en la Zona Industrial de La Victoria, Edo. Aragua. La capacidad productiva total actual es de 440.000 toneladas / año de tubería soldada en una gama de más de 1.500 productos clasificados en once (11) familias que suplen a la industria de la construcción, petrolera y de bienes de capital en Venezuela y en el exterior, dando actualmente empleo directo a más de 900 trabajadores, técnicos y profesionales, quienes complementados con sofisticados equipos y apoyados por una filosofía de calidad y mejora continua, obtienen un mayor rendimiento en la fabricación y certificación de tubería bajo diferentes normas tales como: API, ASTM, ISO, ANSI, UL, DIN, COVENIN, BS, JIS, GOST, etc. Asimismo, C.A. CONDUVEN ha obtenido el reconocimiento de múltiples organismos nacionales e internacionales, mediante el otorgamiento de la autorización del uso de sus sellos y marcas de calidad para varios de nuestros productos (API, NORVEN, UL) y certificación ISO 9002, para el sistema de calidad de la empresa.

En los últimos 10 años C.A. CONDUVEN ha exportado en promedio el 30% de su producción anual, dirigida hacia los principales mercados tales como: Europa (CEE), USA, Sudamérica, países del Caribe y el Medio Oriente.

En el año 1993, CONDUVEN y SIDERCA deciden crear una empresa llamada CONDUSID, que inicia sus operaciones con una capacidad instalada en procesamiento y acabado de tubería OCTG con y sin costura (ERW y Seamles), de 140.000 ton/año.

Comprende un área de 56.000 m² totalmente urbanizada, cuyas instalaciones productivas se dividen en: Planta de Tratamiento Térmico, donde se realizan tratamientos de alivio de tensiones, normalizado, temple y revenido, a tubos en una gama de diámetros

de 2 3/8" a 13 3/8", y espesor máximo de 18mm, en grado API con capacidad instalada de 70.000 ton/año y la planta de roscado, donde se realiza el mecanizado de rosca API y Premium Atlas Bradford, a tubos en una gama y 1 3/4" a 13 3/4 " de diámetro, en los diversos grados de aceros utilizados en la industria petrolera.

CONDUSID, C.A. cuenta con un área de almacenes de tubería de 22.000 m², distribuidos en patios y almacenes techados, además de un almacén de 300 m², para acoples y los demás insumos de las juntas.