

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LAS  
MÁQUINAS CONFORMADORAS DE LAS TUBERÍAS DE ACERO EN FUNCIÓN  
DE LA COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA”**

**REALIZADO POR:**

**DAYANA YAZAYKA CASTILLO HERNÁNDEZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**Barcelona, Abril del 2010.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LAS  
MÁQUINAS CONFORMADORAS DE LAS TUBERÍAS DE ACERO EN FUNCIÓN  
DE LA COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA”**

**ASESORES:**

---

**Ing. Qco. Osvaldo Ochoa**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. Ind. Yube Oviedo**  
**Asesor Industrial**

**Barcelona, Abril del 2010.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LAS  
MÁQUINAS CONFORMADORAS DE LAS TUBERÍAS DE ACERO EN FUNCIÓN  
DE LA COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA”**

**JURADO CALIFICADOR:**

---

**Ing. Qco. Osvaldo Ochoa**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. Qco. Frank Parra**  
**Jurado principal**

---

**Ing. Qco. Yuvi Moreno**  
**Jurado principal**

**Barcelona, Abril del 2010.**

## **RESOLUCIÓN**

***De acuerdo con el Artículo 41 del Reglamento de Trabajo De Grado:***

*“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”*

## **DEDICATORIA**

*Dedico principalmente este proyecto a mi Dios todo Poderoso y a la Virgen María, por ser las fuerzas más grandes e infinitas que he tenido para superar los obstáculos durante el curso de mi carrera, pues sin ustedes no lo hubiese logrado, les dedico mis logros y mis éxitos!!...*

*A mi madre y a mi padre, por ser los pilares fundamentales de mi vida, pues han sido mi motivación, mi apoyo, en tantos momentos difíciles, gracias por haber hecho de mi una persona perseverante día a día, por tener por qué y por quien luchar en esta vida, pues son ustedes mis más grandes amores, sin ustedes no sería lo que soy, los amo y estoy eternamente agradecida... me siento orgullosa por tenerlos, este logro es de ustedes!!...*

*A mi hermano: Rommel, por creer mí, me has enseñado a trabajar constantemente por lo que queremos, te quiero hermano, a ti dedico este logro!!...*

*A mi hermana: Luisa, por ser mi ejemplo a pesar de ser la menor; por escucharme, pues has sido tú uno de mis más grandes logros, te quiero mucho mi nita, me siento muy orgullosa de ti, a ti dedico este logro!!..*

*A mi esposo, por toda la paciencia y el cariño que me has tenido, pues tú has sido mi bastón cuando muchas veces me he caído, gracias amor todo lo que me has brindado, a ti dedico este logro!!...*

*A todos mis demás familiares, amigos y compañeros, que a lo largo de este trayecto me han demostrado su apoyo, aportando su granito de arena, gracias a todos, a ustedes también les dedico este logro!!...*

**Dayana Castillo**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi Señor Jesucristo; por haberme permitido llegar a esta etapa tan importante de mi vida y poder disfrutarla con los míos, pues es éste mi mayor regalo para con ellos, estoy eternamente agradecida contigo y con la vida, por todas las cosas que me has dado. TE AMO MI SEÑOR.*

*A la Universidad de Oriente, mi casa de estudio, por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional, pues ahora más que nunca es cuando siento el compromiso de ser mejor cada día, a todas aquellas personas que laboran en esta casa que de una u otra forma colaboran con la vida del estudiante y hacen que sea más llevadera. A mis profesores, por ser íntegros y profesionales a la hora de brindarnos sus conocimientos, en especial a mi profesor Osvaldo Ochoa: por ser mi asesor, usted me ha apoyado con sus conocimientos, su experiencia y su paciencia, gracias por toda su ayuda y su colaboración prestada profesor.*

*A mi padre querido Francisco Castillo, por tu amor, tu comprensión, por entenderme, por haber hecho de mi no sólo una mujer de estudio sino de trabajo, tú me has enseñado a dar el valor a la cosas y como ganárselas, le pido a Dios todo Poderoso que te llene de mucha de salud, Gracias Padre TE AMO.*

*A mi madre querida Omaira Hernández; por tu infinito amor de madre, por tenerme presente en cada una de tus oraciones, por enseñarme a ser humilde, por ser luchadora, has sido mi principal motivo para seguir adelante, no te imaginas cuanto te admiro madre, eres la mujer más valiosa que he conocido en mi vida, me has ayudado a superar muchos obstáculos con tus buenos consejos, Gracias Madre TE AMO MUCHISIMO.*

*A mi hermano querido Rommel Castillo; por ser un hombre de lucha, de constancia y de trabajo, gracias por brindarme tu apoyo, te quiero mucho hermano.*

*A mi hermana querida Luisa Castillo; mi nita eres uno de mis tesoros, gracias por ser mi apoyo, por ser mi amiga, por escucharme, pero sobre todo por ser ejemplo, te quiero mucho mi nita.*

*A mi esposo Franklin Guzmán; has sido una persona incondicional en mis momentos difíciles, pues tus buenos consejos y tu paciencia me han hecho alcanzar esta importante meta, no solo has sido mi esposo, has sido mi amigo, gracias amor por todo lo que me has dado, te amo mi esposo.*

*A mis bellas sobrinas Paola y Luna; por su dulzura, por alegrar la vida de nuestra familia, por existir, por ser otra razón más de mi vida por quien luchar, las adoro mis princesas.*

*A mi prima Anahi Guevara; por ser mi ejemplo, por ser mi amiga, siempre te he visto como si fuera esa hermana mayor, que muchos necesitamos para que guíen nuestros pasos, gracias mi prima bella por todo el apoyo que siempre me has brindado, te quiero mucho.*

*A mi tía Carmen Castillo; por ser una mujer fuerte y luchadora, ayudándome siempre con tus buenos consejos y tu cariño, pues ha sido como una madre para mí, mi tía querida gracias a ti también dedico este logro.*

*A todos mis demás familiares que de una u otra forma siempre han estado conmigo, han colocado su granito de arena, para todos ustedes mi eterno agradecimiento, los quiero mucho a todos.*

*A mis buenas amigos de toda la vida: María José Lira, María Alejandra Lira, Ninozka Rodríguez, Reisis González, María Gabriela Ramírez, Luis Lunar gracias por todo su apoyo y en especial a mi amigo José Gregorio Hernández, pues tú fuiste pieza fundamental al inicio de mi carrera y eso no se puede olvidar, a todos muchas gracias.*

*A mis grandes amigos de batalla: Milagros García, Louisemar Sterling, Jhoselys Córdova, Eudymar Gómez, Darimar Flores, Miglis Simoza, Yelitza Peinado, Niurka Gómez y Ángel Velásquez cada una de ustedes ha sido muy especial para mí, pues yo creo que todas conocimos el gran valor de la amistad en este camino que fue común para todas, pero que cada quien la vivió con su dificultad, gracias a mis amigas por haber compartido tantas alegrías y tantas lagrimas, valió la pena, al igual que mis amigos y colega: Yoleida Navas, Sheili Requena, Marcos Acosta, Felipe Montes, Sergio Flores, Luis Rodríguez y Francisco Guzmán, por haber compartido tantos momentos de compañerismo, muchas gracias.*

*A mis amigos de trabajo: Yulvi Blanco, Yelimar Figueroa, Zurimar Suárez, Juan Ramos, Adams Silva y Cesar Marín, por compartir cada día, por hacerlo más grato y llenarlo de armonía, es un placer para mi trabajar con ustedes y en especial me siento muy agradecida con mi hermana Dubraska Castillo por haber confiado sin conocer, creo que hemos sido una lección de vida, a todos muchas gracias.*

*Al Señor Carlos Granado: por ser mi maestro, por toda su paciencia y haberme brindado no solo sus conocimientos si no también su amistad, muchas gracias, es usted una persona admirable.*

*A mi Asesora Industrial Yube Oviedo: por darme la oportunidad de haber iniciado mi carrera con este proyecto, por creer en mí como profesional, gracias Yube.*

*A mi profesor Marcías Martínez: por haber tenido el privilegio de haberlo conocido, un hombre con una gran sabiduría y con una gran personalidad, gracias mi profe por todos sus consejos, por sus conocimientos, es usted un gran maestro. A todos Muchas Gracias!*

***Dayana Castillo***

## ***RESUMEN***

El presente proyecto corresponde a la determinación de los parámetros de operación que se aplican durante la conformación de las máquinas fabricadoras de los tubos de acero con soldadura helicoidal en función de la composición de la materia prima en la empresa Helisold de Venezuela S.A, utilizando una máquina conformadora “A” y un par (alambre y fundente). Para alcanzar el objetivo general del tema, se describieron cada uno de los pasos de la homologación del equipo que forma los tubos; luego se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa en el área de producción analizando distintas calidades de acero de acuerdo con la norma, para el cual se tomaron muestras de materia prima (bobinas) que fueron sometidas luego a ensayos químicos (espectrometría de masa), una vez aprobada la materia prima se procedió a iniciar el proceso de conformación ajustando los parámetros de operación tales como (intensidad de corriente eléctrica, voltaje y velocidad); se seleccionó el tubo para la homologación con el objetivo verificar y demostrar que cumple con las normas de calidad, clasificando distintos grados de acero de acuerdo a la norma de fabricación y los niveles de especificación del producto (PSL1) y el (PSL2); que posee requerimientos adicionales y obligatorios para la composición química, tomado en cuenta la dureza como una propiedad. Se comprobó que todo el lote de tubos fabricados utilizaba la misma materia prima, debido a que no sufre reacción de acuerdo a la manufactura en el proceso como una garantía de la norma. Posteriormente se observó, según la clasificación de los pedidos de producción analizados que los parámetros de operación variaban de acuerdo al espesor del material base y al diámetro del tubo durante la conformación de la máquina, de acuerdo a éstos se relacionaron los parámetros de operación de la homologación con la composición química de la materia prima analizando distintos grados de acero comparándolos mediante métodos gráficos; determinando que el comportamiento del diámetro es directamente del tubo al espesor de lámina, la intensidad de corriente proporciona la penetración de la soldadura, el voltaje el ancho del cordón y la velocidad de la máquina, que se ve afectado prácticamente por el espesor de la lámina ya que a medida que su valor aumenta requiere de menor velocidad de avance, debido a que la soldadura necesita de mayor cantidad de material de aporte (alambre y fundente). Finalmente se estableció una tabla partiendo de la composición química de la materia prima, de acuerdo con la calidad del acero, diámetro del tubo, espesor de la lámina, con los resultados óptimos de estas variables basados en la práctica y la experiencia.

## CONTENIDO

Pág.

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA HELVESA .....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.4 OBJETIVOS .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES .....	5
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	5
2.2.1 Diagrama de fase del Hierro - Carbono .....	6
2.2.2 Aceros .....	6
2.2.3 Bobinas .....	7
2.2.4 Fundente .....	9
2.2.5 Alambre .....	10
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ARCO SUMERGIDO .....	10
2.4 ELEMENTOS QUE AFECTAN A LA SOLDADURA .....	11
2.5 EVALUACIONES QUE INTERVIENEN EN UN PROCESO DE FABRICACIÓN .....	12
2.5.1 Aprobación de colada .....	12
2.5.2 Homologación del par (alambre – fundente) .....	12
2.5.3 Homologación de máquina conformadora .....	12
2.5.3.1 Variables operacionales de soldadura que influyen en el proceso de homologación de máquinas conformadoras .....	12
A. arámetros eléctricos .....	P
arámetros eléctricos .....	12

B .....	Otras variables	13
2.5.4	Homologación de empalme de bobina .....	14
2.5.5	Aprobación de lote .....	14
2.6	PROCESO DE FABRICACIÓN .....	14
2.6.1	Ensayos de laboratorio .....	16
2.6.1.1	Ensayo químico .....	16
2.6.1.2	Ensayo de tracción .....	22
2.6.1.3	Ensayo de dureza .....	23
2.6.1.4	Ensayo de microdureza .....	24
2.6.1.5	Ensayo de doblado .....	24
2.6.1.6	Ensayo de impacto Charpy .....	25
2.6.2	Propiedades mecánicas .....	26
2.6.3	Inspecciones y ensayos no destructivos realizados a la tubería .....	27
2.6.3.1	Inspección visual .....	27
2.6.3.2	Examen fluoroscópico (rayos X-1) .....	27
2.6.3.3	Puesto de reparaciones .....	28
2.6.3.4	Prueba hidrostática .....	29
2.6.3.5	Ultrasonido automático .....	29
2.6.3.6	Prueba de ultrasonido manual .....	29
2.6.3.7	Biseladora .....	30
2.6.3.8	Inspección radiográfica (rayos X-2) .....	30
2.6.3.9	Control final .....	30
2.7	DEFECTOS DE SOLDADURA .....	31
2.8	NORMAS O ESTANDARES DE CALIDAD .....	32
2.8.1	Norma API – 5L .....	32
2.8.2	Norma ISO 9001 .....	32
2.8.3	Norma COVENIN .....	32
2.8.4	Norma ASTM A-370 .....	32
2.8.5	Norma AWWA .....	32
2.8.6	Norma AWS A5-17 .....	32

### **CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO .....**

3.1	DESCRIPCIÓN DE CADA PASO DURANTE LA ETAPA DE HOMOLOGACION DE LA MAQUINA CONFORMADORA .....	33
3.2	DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN .....	33
3.2.1	Valores obtenidos en los seguimientos de producción .....	34
3.2.2	Ensayos realizados .....	34
3.2.2.1	Análisis químico de la materia prima .....	34
3.2.2.2	Ensayo de Tracción .....	38
3.2.2.3	Ensayo de impacto Charpy .....	41
3.2.2.4	Ensayo de dureza .....	45
3.2.3	Homologación del par (alambre y fundente) .....	47
3.3	RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN CON LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA .....	

PRIMA UTILIZADA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DESDE EL 2006 HASTA LA FECHA.....	51
3.4 ESTABLECER UNA TABLA DE PARÁMETROS OPERACIONALES DE ACUERDO CON LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA .....	53
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
4.1 MUESTRA DE LAS HOMOLOGACIONES DE MÁQUINA CONFORMADORA RECOLECTADA DURANTE LOS SEGUIMIENTOS.....	55
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS QUÍMICOS Y MECANICOS DURANTE LA HOMOLOGACIÓN .....	55
4.2.1 Resultados de los ensayos de análisis químicos.....	56
4.2.2 Resultados de los ensayos de tracción.....	57
4.2.3 Resultados de los ensayos de impacto Charpy.....	58
4.2.4 Resultados de los ensayos de dureza.....	59
4.2.5 Análisis de la homologación del par (alambre y fundente).....	60
4.3 Resultados de las relaciones de la calidad de acero y los parámetros de operación .....	60
4.4 Conclusiones .....	66
4.5 Recomendaciones.....	67
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>70</b>
Anexo A. Certificado de la API .....	71
Anexo B. Análisis del producto según SIDOR .....	72
Anexo C. Ensayos de la ASTM .....	73
Anexo D. Resultados de las gráficas de esfuerzos vs deformación del material .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1 Ubicación geográfica de Helisold de Venezuela S.A. (HELVESA) .....	2
Figura 2.1 Diagrama de fase hierro - carbono .....	6
Figura 2.2 Nomenclatura de las bobinas .....	7
Figura 2.3 Bobinas en el área de almacenamiento .....	8
Figura 2.4 Máquina conformadora “A” de tubos con soldadura helicoidal .....	9
Figura 2.5 Procesos de soldadura por arco sumergido .....	10
Figura 2.6 Procesos de fabricación de tubos con soldadura helicoidal .....	15
Figura 2.7 Tipos de probeta .....	16
Figura 2.8 Analizador químico espectrométrico (SPECTROLAB) .....	18
Figura 2.9 Máquina universal de ensayo de tracción .....	22
Figura 2.10 Durómetro Rockwell .....	23
Figura 2.11 Microdurómetro .....	24
Figura 2.12 Ensayo de doblado .....	24
Figura 2.13 Máquina de impacto charpy .....	25
Figura 2.14 Inspección visual .....	27
Figura 2.15 Inspección por fluroscopía .....	28
Figura 2.16 Puesto de reparación .....	28
Figura 2.17 Máquina hidrostática (prensa) .....	29
Figura 2.18 Prueba de ultrasonido automático .....	29
Figura 2.19 Biselado de tubo .....	30
Figura 2.20 Inspección radiográfica (rayos X-2) .....	30
Figura 2.21 Tubos relacionados para despacho .....	31
Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso de producción de tubos .....	36
Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso de producción de tuberías (continuación) .....	37
Figura 3.2 Gráfica de esfuerzo vs deformación .....	40
Figura 3.3 Dimensiones del anillo del tubo para el ensayo Charpy .....	42
Figura 3.4 Plantillas de los cupones para el ensayo Charpy .....	42
Figura 3.5 Punto de unión entre ambas soldadura .....	43
Figura 3.6 Zona afectada por el calor .....	43
Figura 3.7 Preparación de probeta metal base .....	44
Figura 3.8 Superficie de la probeta para el ensayo de dureza base .....	46
Figura 3.9 Diagrama de flujo del proceso homologación de par (alambre-fundente) .....	47
Figura 3.10 Diagrama de causa y efecto de los parámetros de operación de la máquina conformadora .....	50
Figura 4.1 Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 Grado B variando el espesor .....	61
Figura 4.2 Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 Grado variando el diámetro .....	61

Figura 4.3 Variación de los parámetros de operación para la fabricación variando el espesor de la lámina y la calidad de acero.....	62
Figura 4.4-Variación de los parámetros de operación variando la calidad del acero .....	63
Figura 4.5- Comportamiento de la calidad de acero a diferentes diámetro y espesor con respecto a la velocidad de soldadura.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 2.1 Propiedades mecánicas y composición química de las bobinas.....	9
Tabla 2.2 Composición química para tubos PSL 1 con $t \leq 25,0$ mm (0,984 pulgadas) .....	19
Tabla 2.3 Composición química para tubos PSL 2 con $t \leq 25,0$ mm (0,984 pulgadas) .....	20
Tabla 2.3 Composición química para tubos PSL 2 con $t \leq 25,0$ mm ó 0,984 pulgadas (continuación). .....	21
Tabla 2.4 Ensayos realizados en la fabricación de tuberías .....	25
Tabla 3.1 Normas de fabricación de tubos de diferentes diámetros .....	34
Tabla 3.2 Datos de las coladas que se estudiaron para el análisis químico.....	35
Tabla 3.3 Valores de pesas de acuerdo a la escala adecuada .....	38
Tabla 3.4 Valores de la escala de acuerdo a los resultados equivalentes del gráfico.....	39
Tabla 3.5 Datos utilizados para los ensayos de tracción metal base y tracción cordón .....	41
Tabla 3.6 Datos para los ensayos de impacto Charpy .....	45
Tabla 3.7 Datos para realizar el ensayo de dureza .....	47
Tabla 3.8 Datos del análisis químico para la homologación del par (alambre-fundente) .....	48
Tabla 3.9 Datos del ensayo de tracción para la homologación del par (alambre y fundente) ..	48
Tabla 3.10 Datos de la homologación del par (alambre y fundente).....	48
Tabla 3.11 Especificaciones de los parámetros de eléctricos de la Lincoln .....	49
Tabla 3.12 Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 variando el diámetro del tubo. ....	51
Tabla 3.13 Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos AWWA variando el diámetro del tubo .....	52
Tabla 3.14 Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL2 variando el espesor de la lámina.....	52
Tabla 3.15 Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 variando la calidad del acero .....	53
Tabla 3.16 Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 variando la calidad del acero y espesor de lámina.....	53
Tabla 4.1 Resultados de las homologaciones de la máquina conformadora “A”.....	55
Tabla 4.2 Resultados de la composición química de las coladas según su orden de producción trabajada con la máquina conformadora “A”.....	56
Tabla 4.3 Resultados de los ensayos mecánico tracción base (TB) y tracción cordón (TC).....	57
Tabla 4.3 Resultados de los ensayos mecánico tracción base (TB) y tracción cordón (TC) (continuación).....	58
Tabla 4.4 Resultados de los ensayos por impacto Charpy para la energía absorbida promedio	58
Tabla 4.5 Resultados de los ensayos por impacto Charpy para la energía real absorbida .....	59
Tabla 4.6 Resultados de los ensayos de dureza .....	59
Tabla 4.7 Resultados de los ensayos químicos y mecánicos de la homologación del par (alambre y fundente).....	60

Tabla 4.8 Parámetros de operación obtenidos para la máquina conformadora “A” para su homologación .....	65
---	----

## ***CAPÍTULO I*** ***INTRODUCCIÓN***

### **1.1. - HELISOLD DE VENEZUELA (HELVESA).**

HELVESA fue fundada en 1976, pero inició sus operaciones en el año de 1979 con capital y tecnología foránea, siendo subsidiada por la empresa HELISOLD IBERICA; S.A., HISA de España. Posteriormente es adquirida por inversionistas nacionales privados. A raíz de la intervención del Banco del Comercio, la empresa desarrolla sus actividades bajo custodia judicial del Fondo de Garantía de Depósitos (FOGADE).

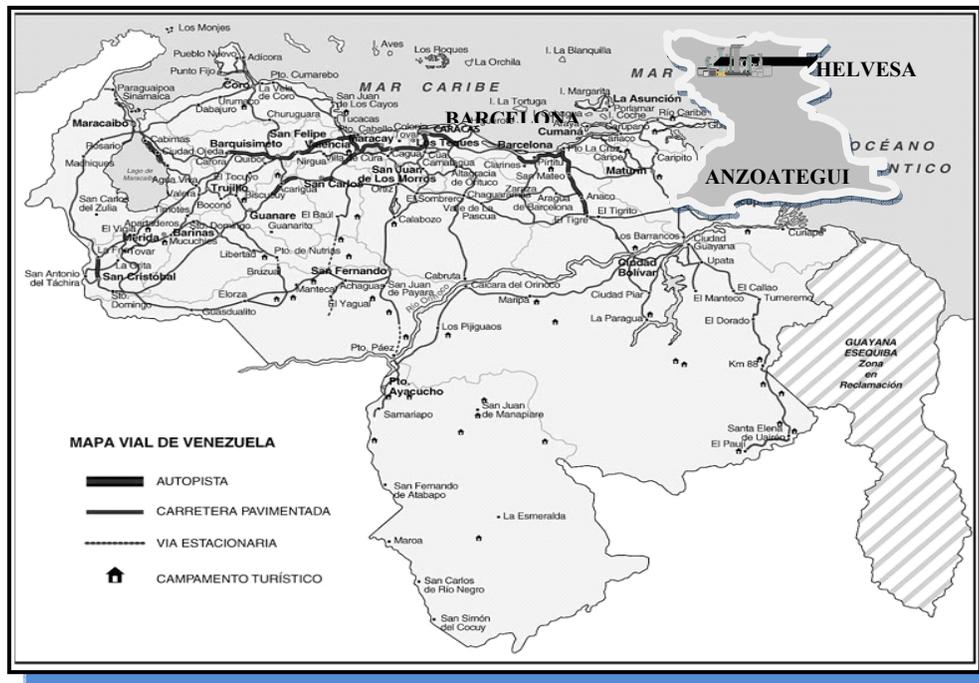
Dentro de sus productos se encuentran las tuberías de acero con soldadura helicoidal bajo el procedimiento *Unión Melt de arco sumergido (SAW)* de doble cordón; uno interno y otro externo. Su proceso de fabricación se realiza bajo un estricto control e inspección en cada uno de los puestos de trabajo y se realiza de acuerdo a las especificaciones de las estrictas normas de fabricación y basados en los requerimientos de sus clientes. La materia prima proviene en su totalidad de SIDOR, a ésta se le realiza un seguimiento detallado y control de calidad, para verificar que cumpla con las especificaciones que se requieren en cuanto a fabricación de tuberías. Helvesa realiza sus primeras colocaciones del producto en el mercado nacional, a través del suministro de tuberías de acero destinadas a obras de acueductos y servicios sanitarios para el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS) y otros clientes relacionados. Posteriormente se inicia la diversificación en la fabricación y distribución de la tubería Helvesa, a instituciones y empresas tanto públicas como privadas logrando colocaciones de tuberías para su aplicación en obras de dragados, estructurales (PILOTES) y otros. En todas sus aplicaciones los resultados obtenidos han sido calificados como excelentes.

El 24 de septiembre de 1979, la American Petroleum Institute (API), le otorgó la concesión para el uso y aplicación del monograma API; certificado N° 5L-0181 (Figura A.1 del Anexo A), como respaldo a la calidad de su producto. Como resultado del proyecto de investigación iniciado por la industria petrolera nacional, para la evaluación de la tubería de acero con soldadura helicoidal en las operaciones de transporte y conducción de fluidos de hidrocarburos, obtiene en 1983 por parte del Instituto de Investigación y Desarrollo INTEVEP, filial de Petroleros de Venezuela S.A. PDVSA, la certificación aprobatoria de un sistema de control de calidad, acreditándola como suplidor categoría "A", para uso en la conducción de productos petroleros. A partir de 1984, la Industria Petrolera Nacional, a través de sus filiales, comienza a utilizar la tubería helicoidal fabricada por HELVESA, para el transporte de hidrocarburos mediante oleoductos y otras aplicaciones como pilotajes, sistemas de prevención de incendios, sistemas de drenaje y otros.

HELVESA obtiene el visto bueno para la fabricación y entrega de tubería, para el uso en gasoductos, como producto de la exigente preparación tecnológica en cuanto a la formación del recurso humano, la aplicación de los procedimientos e instructivos de fabricación y el control de calidad de alta calificación para el cumplimiento de las estrictas exigencias establecidas por la Industria Petrolera Nacional en la fabricación de tuberías para la conducción de gas a alta presión. El 4 de junio de 1999 HELVESA recibe, por parte de FONDONORMA, la certificación ISO-9000 bajo la norma COVENIN-ISO 9001 con el certificado N° 9001-45-40-4069, como resultado de su esfuerzo por orientar sus actividades hacia el aseguramiento de la calidad.

## 1.2. - DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Helisold de Venezuela S.A. (HELVEA) está ubicada en la zona Nor-Oriental de Venezuela, a la altura del kilómetro 305 de la carretera de La Costa, Los Potocos, Barcelona, Edo. Anzoátegui, con un área de 302.500 mts<sup>2</sup>, en la Figura 1.1 se representa la ubicación referencial de la empresa.



*Figura.1.1- Ubicación geográfica de Helisold de Venezuela S.A. (HELVEA)*

HELVEA, se dedica a la transformación de bandas de acero (bobinas) de bajo carbono laminadas en caliente, en tubos de acero de diferentes diámetros y espesor, con soldadura helicoidal de doble cordón interno y externo, a través del procedimiento “*Unión Melt de Arco Sumergido*” tal como se menciona anteriormente, siendo uno de los sistemas más seguros y eficientes en cuanto a fabricación de tuberías destinadas a la conducción de fluidos tanto líquidos como gaseosos, así como para uso estructural.

## 1.3. - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien el fabricante de la materia prima (bobinas) certifica su calidad en cuanto a la composición química exigida por sus clientes, también es importante asegurar la calidad del producto desde el punto de vista de su fabricación. Para cumplir con este propósito la materia prima es sometida a un estricto control de inspección, pruebas y ensayos antes de ser transformada en tuberías de gran diámetro, para lo cual se realizan ensayos de tracción mecánica, doblado, resistencia del acero y ensayos de análisis químicos, mediante mediciones espectrométricas, con el fin de comprobar la composición química y calidad del material

según las normas de fabricación (API, AWWA). La conformación de las tuberías (proceso mediante el cual se fabrica el tubo de forma helicoidal con una soldadura por arco sumergido, SAW) se lleva a cabo en máquinas especializadas para este fin, la empresa posee dos; una para la fabricación de tuberías con un diámetro hasta 42 pulgadas y otra para la fabricación de tuberías con un diámetro entre 20 y 80 pulgadas, conocidas dentro de la empresa como conformadoras A y B respectivamente, de la cual para objetivo del tema solo se trabajo con la conformadora A. Al inicio de la producción y/o después de un periodo de inactividad de la planta es necesario realizar la homologación de las conformadoras; esta prueba consiste en establecer los parámetros de operación de dicha producción; estos parámetros son: velocidad de alimentación de la máquina, intensidad de corriente eléctrica, voltaje y diámetro del alambre.

Hay que destacar que la determinación de los parámetros de operación se realiza mediante pruebas de ensayo y error, que pueden consumir periodos muy largos de tiempo en los cuales se pierde materia prima, horas hombre, energía etc. Estos valores se van ajustando con base en los resultados de la inspección del cordón de soldadura realizada por fluroscopía, se toma la respectiva muestra para luego aplicarle los ensayos, de generarse algún defecto en el cordón de soldadura por la no concordancia de los parámetros de homologación con la composición de la materia prima, el proceso de producción debe ser interrumpido hasta tanto se seleccionen los parámetros que permiten la fabricación de las tuberías con la calidad requerida mediante la materia prima disponible. Por lo tanto se repite el procedimiento con nuevos parámetros de operación hasta obtener los valores idóneos.

Por lo antes expuesto nace la necesidad de realizar un estudio para así conocer con mayor exactitud estos valores de producción a partir de la composición química de la materia prima y el material de aporte (fundente y alambre) ya que es el punto de partida para iniciar la producción; haciendo seguimiento a producciones de los últimos tres años, estableciendo variaciones entre la calidad del acero, el espesor del lámina y el diámetro del material estudiando los parámetros de operación. Con la finalidad de disminuir pérdidas del proceso además de garantizar la calidad del producto de manera de satisfacer la necesidad de construir tubos para diversos propósitos y conducir fluidos a grandes distancias.

#### **1.4. - OBJETIVOS**

Basándose en lo indicado en el planteamiento del problema, este trabajo se establece los siguientes objetivos:

##### **1.4.1.- Objetivo General**

“Determinar los parámetros de operación de las máquinas conformadoras de las tuberías de acero en función de la composición de la materia prima”.

#### **1.4.2.- Objetivos Especificos**

1. Describir cada uno de los pasos durante la etapa de homologación de máquinas conformadoras.
2. Realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa en el área de producción.
3. Relacionar los parámetros de operación de la homologación con la composición química de la materia prima utilizada en los procesos de producción desde el 2006 hasta la fecha.
4. Establecer una tabla de parámetros operacionales de acuerdo con la calidad de la materia prima.

## ***CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO***

### **2.1- ANTECEDENTES**

En el año 2004, González, A. <sup>[1]</sup> realizó un estudio y evaluación de la preparación y análisis mineral de hierro para la realización de ensayos del sistema de calidad ISO-17025 y el concluyó que, el manejo dado de las muestras de mineral de hierro durante la preparación, así como los equipos empleados para cada tipo de mineral, garantizan la prevención de las propiedades fisicoquímicas y disminuyen los riesgos de contaminación de las muestras. El desarrollo de este proyecto consistió en un estudio a partir de la composición química de la materia prima, para obtener valores estimados de operación para las máquinas conformadoras de las tuberías de acero y tomar acciones correctivas que permitan minimizar o eliminar los defectos presentados, tomando datos de producciones y variables operacionales e inspecciones de la materia prima.

En el año 2003; Aray, R. y Aguilera, J. <sup>[2]</sup> analizaron las causas que generan defectos de soldadura en la fabricación de tubos con soldadura helicoidal; el desarrollo de este proyecto consistió en un estudio para visualizar las causas que originan defectos en los tubos fabricados con soldadura helicoidal, para tomar acciones correctivas que permitan minimizar o eliminar los defectos presentados, tomando datos de las variables operacionales e inspecciones de la tubería.

En el año 2002; Rosas, G. <sup>[3]</sup> realizó un estudio de la evolución inclusionaria de acero líquido durante su tratamiento en la metalúrgica secundaria de una serie de planchas. Concluyó que el principal factor para obtener aceros con bajo nivel de inclusiones es el porcentaje de CaO en la escoria (mayor a 45 %).

En el año 1999; Sánchez, J. y Missel, R. <sup>[4]</sup> desarrollaron un estudio sobre el análisis de los elementos que intervienen en el proceso de conformación de tuberías soldadas helicoidalmente; el mismo consiste en un estudio de los diferentes equipos pertenecientes a la máquina conformadora de tubos para detectar las diferentes fallas mecánicas y de trabajo presentes en cada uno de ellos y de esta forma proponer mejoras al funcionamiento y tolerancia en cada caso.

En el año 1998; Muñoz, C. y Ríos, J. <sup>[5]</sup> realizaron un estudio de los defectos de soldadura por Arco Sumergido, en este trabajo se clasificaron los defectos presentes en la tubería conformada de manera general y se determinaron teóricamente cuales son las causas que lo generan, mas no se realizó un monitoreo de dichas causas directamente sobre el sistema de producción para determinar su comportamiento con respecto a los defectos encontrados.

### **2.2- DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

La materia prima utilizada para la fabricación de tubos helicoidales consiste en: láminas de acero en bobinas, material de aporte como el alambre con recubrimiento de cobre (electrodo) y fundente. Para iniciar el proceso productivo se requiere de material de alta calidad, por lo tanto es necesario tener conocimientos previos sobre el mismo. (Tablas B.1 y B.2 del Anexo B).

**2.2.1- Diagrama de Hierro-Carbono:** El proceso de solidificación y de transformación de las aleaciones hierro-carbono vienen dados por el diagrama hierro- carbono; en este diagrama binario se describe la formación de las diferentes fases que se combinan estos dos elementos originando cambios; como por ejemplo: Austenita (solución sólida de carbono o de carburo de hierro), Cementita (carburo de hierro constituyente del acero y del hierro colado, muy duro y quebradizo), Ferrita (cubo de hierro con cuerpo centrado que es suave y dúctil), Perlita (mezcla continua granular, compuesta de capas alternadas de ferrita “hierro puro” y cementita “carburo de hierro”). Cuando se enfría lentamente el acero se produce cristales grandes de austenita y el carbón se desvía de las áreas altas del carbono a las bajas de poco contenido del mismo carbono. El rápido enfriamiento del acero no da tiempo de que se formen cristales austeníticos grandes, ni para que el carbono y otros elementos se separen. Como resultado, el metal a una temperatura superior a 1090°C produce una masa de pequeñísimos granos austeníticos, con el carbono uniformemente distribuido. Para producir ferrita, perlita y cementita cuando se enfría la austenita, el carbón debe moverse físicamente a través de la de la austenita. La estructura que se forma cuando el acero al carbón es rápidamente enfriado se conoce como martensita, en la Figura 2.1 se representa el diagrama de fase Fe<sub>3</sub>C.<sup>[6]</sup>

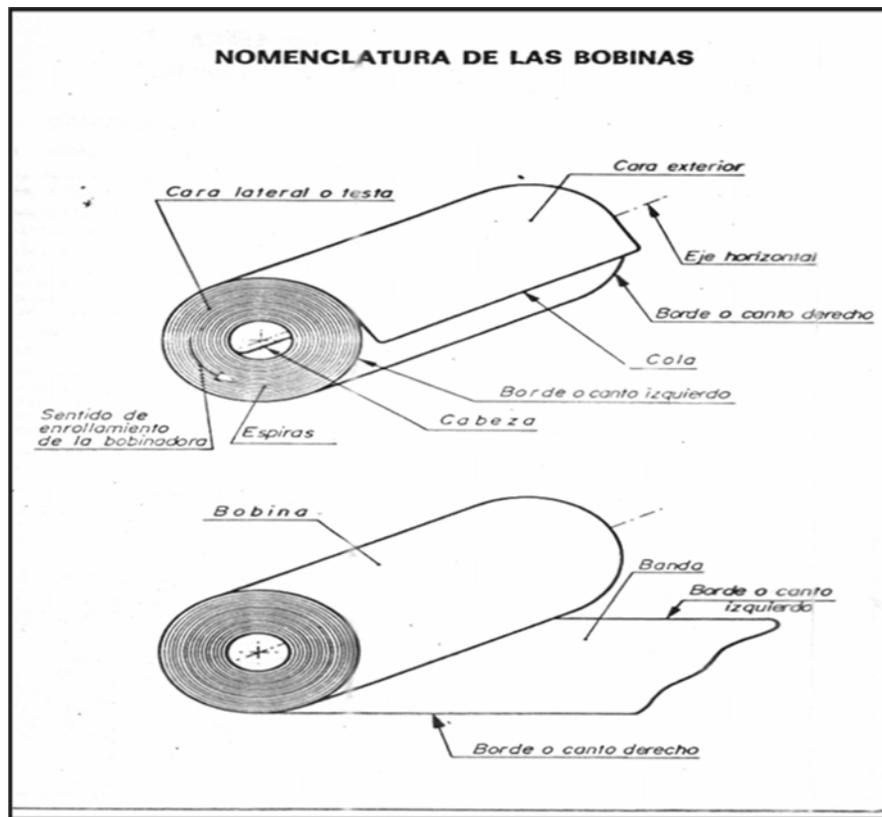


*Figura 2.1- Diagrama de fase del Fe-C.<sup>[7]</sup>*

**2.2.2 Aceros:** Son aleaciones férricas con composiciones que oscilan generalmente en 0,010% y 1,7% de carbono, además contienen otros elementos, algunos adicionados intencionalmente para mejorar propiedades mecánicas o químicas (aleantes) y otros ya existentes en los minerales o compuestos utilizados como materia prima, siendo éstos difícil de eliminar como por ejemplo, azufre (S), cobre (Cu) y fósforo (P). La región de los aceros se subdivide en otras dos: una formada por los aceros cuyo contenido en carbono es inferior al correspondiente a la

composición eutectoide (0,77 %C) los cuales se llaman *aceros hipoeutectoides*, y la otra compuesta por los aceros cuyo contenido de carbono se encuentra entre 0,77 y 2 %, y que se conocen por *aceros hipereutectoides*.<sup>[2]</sup>

**2.2.3 Bobinas:** Son bandas de acero (hipoeutectoides) con una composición química definida de bajo carbono laminadas en caliente de diferentes grados y calidad, que poseen un ancho de banda y espesor. Estas bobinas son principalmente la materia prima a utilizar para la fabricación de tuberías y tienen una nomenclatura; en la Figura 2.2 se representa la nomenclatura de las bobinas.



**Figura 2.2-** Nomenclatura de las bobinas

Las bobinas pueden presentar una serie de defectos que se pueden detectar a simple vista según sea su presentación, por esta razón la bobina puede ser motivo de rechazo, como por ejemplo<sup>[2]</sup>:

- Bordes rotos: desgarre en los bordes de las bandas.
- Bordes rozados: consiste en una rozadura o arrastre de espira en las caras laterales de la bobina.

- Bordes o cantos doblados: Son pliegues que se producen en los bordes de las bobinas, pueden afectar a una o varias espiras y presentarse a todo lo largo de ellas o en zonas localizadas.
- Bordes mordidos: Son desgarres que se presentan en los bordes de las espiras de las bobinas.
- Borde quemado: Son pequeñas grietas que se pueden presentar en los bordes de las bobinas a modo de dientes de sierra.
- Bordes plegados: Son pliegues que se producen en los bordes de las bobinas.
- Ovalado: Es cuando una bobina cuya sección no es circular.
- Telescopicidad: Desplazamiento de una o más espiras respecto a otra, en el sentido del eje horizontal de la bobina.
- Pliegues de laminación: Generalmente es un plegamiento transversal a la dirección de la laminación.
- Bobinado flojo: Falta de contacto entre espiras, que se presenta después del bobinado; en la Figura 2.3 se observa las bobinas en el área de almacenamiento.



**Figura 2.3-** Bobinas en el área de almacenamiento.

Para la materia prima HELVESA se abastece de SIDOR, quien le suministra bobinas bajo la calidad API de calidad °A (25 Psi), °B (35Psi), X-42, X-52, X-60, X-70, estos dos últimos dígitos indican la resistencia a la cedencia en Psi que como mínimo debe tener el acero. Las propiedades del metal pueden ser apreciadas en la Tabla 2.1, ésta hace referencia a las propiedades y composición química del material.

**Tabla 2.1-** Propiedades mecánicas y composición química de las bobinas <sup>[8]</sup>

Grado API	Carbono Máx. (%p/p)	Manganeso Máx. (%p/p)	Fósforo Máx. (%p/p)	Azufre Máx. (%p/p)	Límite Elástico Mini (MPa)	Esfuerzo de Ruptura Min. (Mpa)
A	0,21	0,90	0,03	0,03	207	331
B	0,26	1,15	0,03	0,03	241	413
X42	0,28	1,25	0,03	0,03	289	413
X46	0,30	1,35	0,03	0,03	317	434
X52	0,30	1,35	0,03	0,03	358	455
X56	0,26	1,35	0,03	0,03	386	489
X60	0,26	1,35	0,03	0,03	413	517
X65	0,26	1,40	0,03	0,03	448	530
X70	0,23	1,60	0,03	0,03	482	565

Las bobinas son trasladadas con el puente grúa de 25 toneladas al área techada la cual tiene una capacidad de 3000 toneladas de acero. Una vez recibida y chequeada por el laboratorio, se efectúan los ensayos químicos y mecánicos para verificar que el material cumple con las especificaciones requeridas, en caso de ser rechazado es colocado en una zona demarcada para posteriormente realizar el reclamo al fabricante. Finalmente cada bobina es identificada con una ficha según su aceptación o rechazo. El material aceptado pasa al área de almacenamiento para su utilización en las máquinas conformadoras; en la Figura 2.4 se muestra la máquina conformadora “A” de tubos con soldadura helicoidal.



**Figura 2.4-** Máquina conformadora “A” de tubos con soldadura helicoidal.

2.2.4 Fundente: Los fundentes para soldadura por arco sumergido están granulados a un tamaño controlado y pueden ser de tipo fundido, aglomerado o sintetizado. Originalmente se

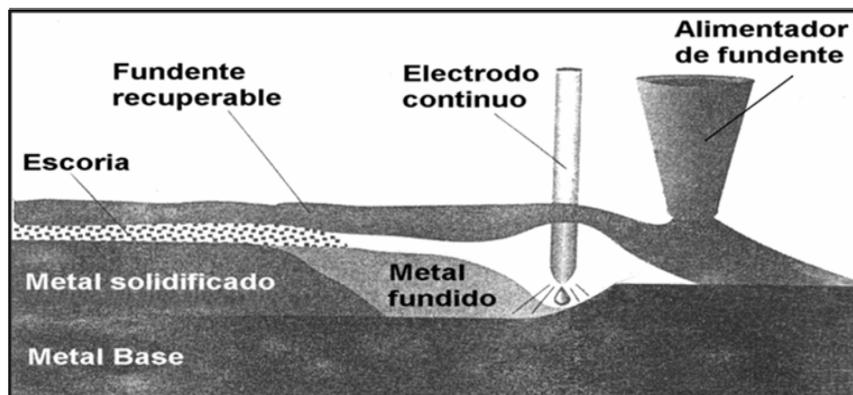
utilizaban fundentes fundidos, triturados y calibrados; atribuyéndoseles las ventajas de estar totalmente libres de humedad y no ser higroscópicos. Tanto la composición química como el estado de división de los fundentes tienen una importante influencia sobre la forma de comportarse en la soldadura. La función de los fundentes es importante y variada, pues protege el depósito de soldadura de los agentes contaminantes de la atmósfera, contribuye a la limpieza del metal base, modifican la composición química del metal depositado, formando cordones lisos libre de ondulaciones, además al enfriarse el fundente, se transforma en una capa protectora y vidriosa (escoria) de fácil remoción, que evita el enfriamiento rápido del charco, dando chance a que puedan ser liberadas las burbujas u otras inclusiones que pudieran encontrarse dentro de él. Es importante mantener el fundente a una temperatura adecuada, en el momento de aplicar la soldadura e incluso en los lugares que sea destinado para su almacenaje.<sup>[5]</sup>

**2.2.5 Alambre:** El alambre para soldadura por arco sumergido se emplea en forma de bobina y tiene un recubrimiento de cobre; esto evita la oxidación superficial en el almacenaje y proporciona seguridad en el contacto eléctrico, con poca resistencia entre el alambre de soldar y los contactos de cobre a través de los cuales se conduce la corriente. El diámetro del alambre utilizado depende fundamentalmente de la intensidad de soldadura necesaria y puede situarse entre 5mm de diámetro, para corrientes de 150 amp y 10mm de diámetro, para una corriente de hasta 3000 Amp.

El alambre y el fundente; son inspeccionados durante su recepción y permanencia en los almacenes de la empresa y verificados de acuerdo a su respectivo certificado de calidad emanados por el suplidor. Los controles efectuados son los siguientes: Inspección visual cualitativa, peso, forma de embalaje, marcado.<sup>[5]</sup>

### 2.3- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO POR ARCO SUMERGIDO

El arco en la soldadura mediante arco sumergido está protegido por una capa de fundente pulverizado. El calor se produce con un arco entre un electrodo de metal desnudo y la pieza de trabajo. Este proceso recibe ese nombre porque el arco está sumergido por completo en una capa de fundente pulverizado y no es visible cuando se hace la soldadura; en la Figura 2.5 se hace referencia al proceso de soldadura por arco sumergido.



*Figura 2.5- Proceso de soldadura por arco sumergido.*<sup>[5]</sup>

El electrodo se funde con calor del arco y se cohesiona con el metal base para llenar la unión. Las aplicaciones del arco sumergido son automáticas o semiautomáticas, porque la cabeza soldadora se mueve encima de la pieza de trabajo en un carro, o bien, la pieza de trabajo está sobre un carro que la coloca debajo de la cabeza soldadora. La pieza de trabajo y la cabeza soldadora están colocadas siempre para que la soldadura adquiera una posición plana, porque el fundente se alimenta por gravedad a la unión, justamente delante del electrodo. Se utiliza un suministro de corriente continua o corriente alterna constante y ésta se determina según el tamaño del electrodo, para uniones gruesas, en donde se requiere una alta velocidad de llenado, se usa más de un electrodo y se pueden recibir corrientes desde el mismo suministro o con uno para cada electrodo. La unión con arco sumergido es muy uniforme, lisa y de alta calidad en todos sus aspectos, pero el fundente influye altamente en la calidad de la soldadura; si está muy profundo, el arco queda confinado y no produce todo su calor y se tiene una soldadura áspera y trenzada. Si la capa fundente es poco profunda, aparecen rebabas y salpicaduras de metal en toda la soldadura, que además estará porosa sin necesidad. La profundidad correcta del fundente se determina con la intensidad de corriente eléctrica, diámetro de electrodo, velocidad y tipo de metal base. <sup>[5]</sup>

#### 2.4- ELEMENTOS QUE AFECTAN A LA SOLDADURA

Ciertos elementos suelen afectar las condiciones materiales de soldabilidad, lo cual requiere la adopción de medidas y procedimientos de soldaduras especiales, a saber:

**Hidrógeno:** Puede causar rajaduras, al enfriarse después del estado de fusión.

**Nitrógeno:** Se encuentra en todos los aceros en cantidades hasta de 0,030%, porcentaje que no produce efectos perceptibles en la soldadura.

**Fósforo:** En cantidades menores de 0,30%, tiene muy poco efecto en la soldabilidad del acero de bajo carbono; la mayor parte contienen únicamente 0,01 a 0,02% de fósforo; pero el 0,12% de este elemento se convierte a los aceros de bajo carbono a baja aleación y a alta tensión. El fósforo proporciona tenacidad a los aceros; pero en igual cantidad en aceros de alto carbono los hará quebradizos. Se recomiendan bajas corrientes y rápidas soldaduras al soldar los aceros de alto fósforo y bajo carbono, para disminuir la posibilidad de segregación del fosfato de hierro.

**Azufre:** En cantidades hasta de 0,035%, no tiene efectos perjudiciales en la soldadura, a menos que se acumulen en capas, en cuyo caso ocasiona grietas y porosidad. El acero a bajo carbono es de fácil trabajo en máquina, cuando contiene hasta 0,33% de azufre, pudiendo fácilmente soldarse con electrodos de bajo hidrógeno; cualquier otro tipo de electrodo no es recomendable, en virtud de que existe propensión al agrietamiento y a la porosidad al soldarse aceros de alto azufre.

**Selenio:** Se usan en algunos aceros para mejorar el maquinado; por lo demás, tiene el mismo efecto que el azufre.

**Silicio:** En cantidades usuales de 0,15 a 0,35% y combinado con el contenido normal de manganeso, normalmente produce soldaduras sanas; pero de 0,35% en adelante tiene tendencia a la formación de agujeros en la superficie.

**Aluminio:** Puede estar presente como óxido de aluminio en el acero. En cantidades menores del 1% no afecta a la soldadura; pero en cantidades mayores forman capas de óxido de aluminio, presentando dificultades para soldarse.

**Oxígeno:** Se presenta en forma de óxido de hierro (herrumbre), provocando contracciones y sus consecuencias de agrietamientos; baja también la ductibilidad y ocasiona poros.

Otros elementos que pueden encontrarse en el acero al carbono, aumentan la dureza y por lo tanto, dificultan en su soldabilidad <sup>[6]</sup>.

## **2.5- EVALUACIONES QUE INTERVIENEN EN UN PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBERIAS.**

Durante el proceso de fabricación de tuberías es necesario realizar una serie de evaluaciones con el objetivo de cumplir con los estándares de calidad, para el método de arco sumergido de soldadura tales evaluaciones son las siguientes:

- Aprobación de colada
- Homologación de par (alambre y fundente)
- Homologación de máquinas conformadoras
- Homologación de empalme
- Aprobación de lote <sup>[4]</sup>

**2.5.1 Aprobación de colada:** Es un procedimiento que se realiza cada vez que es necesario evaluar una colada que puede tener varias bobinas, para comprobar que cumple con las normas de calidad de la materia prima y las especificaciones del cliente.

**2.5.2 Homologación del par (alambre y fundente):** Este es un procedimiento que tiene como objetivo que el par a utilizar (alambre y fundente) cumpla con los requisitos de calidad mínimos necesarios para ser empleados en el proceso de producción de la planta, se lleva a cabo cuando se requiera aprobar aquellas combinaciones de estos dos materiales para soldar que no se hayan empleado con anterioridad según la norma AWS A5-17<sup>[14]</sup>.

**2.5.3 Homologación de máquina conformadora:** Es un procedimiento en donde se establecen unos parámetros dentro del rango sugerido en las especificaciones del pedido, cuando se inicia o reinicia un pedido, o cuando se cambian los parámetros de soldadura (intensidad de corriente eléctrica, voltaje, velocidad y diámetro del alambre) o cambia el material de soldadura. Una vez fijados estos valores, es enviado el tubo homologado a fluroscopía donde se inspecciona el cordón de soldadura, de salir libre (sin defecto) se corta un anillo para tomar las probetas a ensayar; una vez realizado los ensayos se emite un certificado con todos los resultados de la prueba y se procede a continuar con la producción, manteniendo los parámetros para toda la fabricación.

2.5.3.1 Variables operacionales de soldadura que influyen en el proceso de homologación de máquinas conformadoras, se encuentran:

A.- Parámetros Eléctricos.

- Voltaje en el Arco: Este varia la longitud del arco entre el electrodo y el metal de soldadura en fusión, determinando así la forma del cordón, su sección transversal (penetración) y la apariencia externa. Si el voltaje es mayor al especificado, hay tendencias a fundir cantidades excesivas de fundentes y el cordón se hace ancho y plano, por el contrario los voltajes excesivamente pequeños hacen que el arco muera completamente bajo la superficie de la plancha, de modo que la penetración tiene sección transversal en forma parabólica pronunciada. Las variaciones inapropiadas de esta variable de soldadura provoca aparición de defectos tales como, falta de cordón y escorias.
- Intensidad de Corriente: Es el elemento que tiene mayor influencia en el proceso de soldadura automática por arco sumergido, porque alimenta la velocidad del alambre a la medida de su fusión y permite regular la penetración del depósito de material según la intensidad aplicada. La corriente que se utiliza en este tipo de soldadura puede ser continua o alterna, cuando se utiliza la corriente continua se pueden obtener dos tipos de polaridades, las cuales son: polaridad directa o negativa y polaridad invertida o positiva, en el caso específico de las máquinas estudiadas en este trabajo se usó la corriente continua con polaridad positiva y ésta es regulada realizando variaciones en la velocidad de alimentación del alambre la cual también fue considerada como otra variable en este análisis. Las variaciones inesperadas de la intensidad de corriente eléctrica por encima o por debajo del rango especificado, puede ser causal de la aparición de defectos, como perforaciones, porosidades o falta de penetración en el cordón.
- Velocidad de Soldadura: Es la velocidad a la cual se desplaza el electrodo sobre la junta de soldadura, el aumento o disminución de este parámetro es causal de aparición de defectos cuando esta variación se sale del rango especificado, el ajuste debe estar en concordancia con la intensidad de corriente eléctrica y el voltaje, para evitar la aparición de estos, para garantizar una penetración adecuada y una buena apariencia del cordón. La velocidad de soldadura tiene un marcado efecto en el ancho de la soldadura; esta se hace más estrecha y picuda al aumentar la velocidad y además se traduce en cordones mordidos y rugosos.

#### B.- Otras Variables.

- Temperatura del Fundente: La temperatura del fundente puede ser causal de defectos ésta debe mantenerse en una tolva aproximadamente a 107 °C y a 45 °C en el almacén, lográndose de esta manera controlar la humedad del fundente, para evitar la aparición de poros en el cordón de soldadura.
- Penetración de la soldadura: Ésta se ubica en la zona de soldadura donde convergen los cordones (internos y externos), y debe tener un ancho mínimo de 2,5 mm (Figura 2.8), si los dos cordones no llegaran a tocarse o a mantener un ancho menor a los 2,5 mm, se dice que la soldadura no alcanza la penetración adecuada, y por lo tanto no cumple con las especificaciones de la norma, en este tipo de proceso, se le aplica una prueba de inspección macrográfica a la soldadura, al inicio de cada jornada para asegurar que los parámetros de soldadura están cumpliendo con las especificaciones de penetración adecuada<sup>[3]</sup>.

**2.5.4 Homologación de empalme de bobina:** Es un procedimiento mediante el cual se determina los parámetros de soldadura interior del empalme, utilizados en la unión de dos bobinas, una vez hecho el tubo con el empalme es llevado a repaso automático donde se verifica el tipo de varilla de soldar, polvo, fundente, los parámetros eléctricos, la velocidad de banda con las especificaciones requeridas, para luego realizar el cordón de soldadura exterior, el tubo es llevado a fluoroscopia (RX-1) para inspeccionar el empalme y determinar si existe algún defecto o discontinuidad, si es favorable se continua con el proceso, en caso de que los resultados no sean favorables se vuelve a establecer otros parámetros eléctricos para el empalme.

#### **2.5.5 Aprobación de lote:**

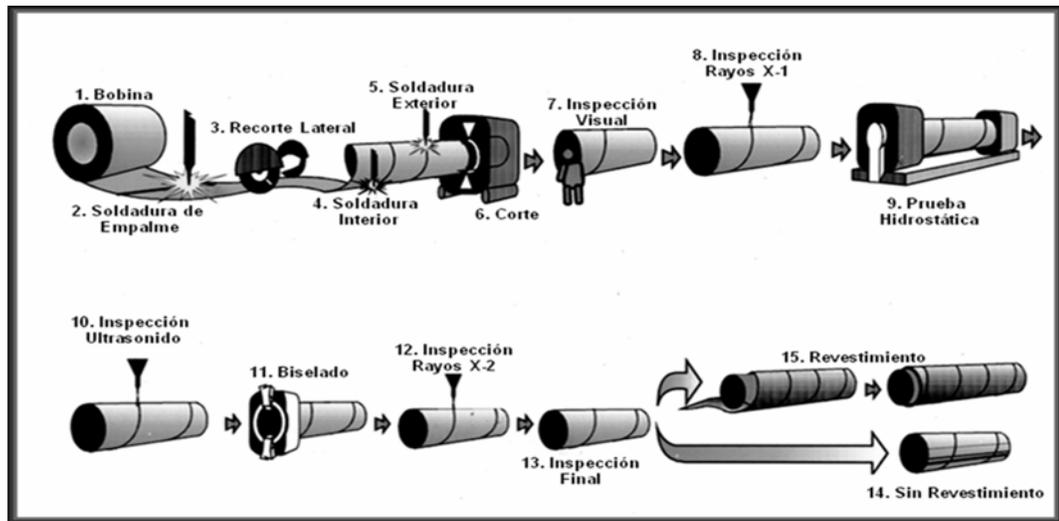
Cuando se programa un tubo probeta (lote de 100 ó cambio de colada) para certificación de lotes se emite una notificación de tubería probeta y se distribuye a conformación para que este tubo sea enviado directamente a fluoroscopia; supervisores de tubería, para que se le dé prioridad durante el proceso; supervisores de aseguramiento de la calidad para que se agilice su recepción en control final y planificación y control de la producción (P.C.P) para que sea enviada la ficha de recepción del tubo probeta al laboratorio, después que el tubo es inspeccionado por fluoroscopia, si esta libre (no presenta defectos) el cortador de probetas corta la sección del tubo de donde se van a extraer las probetas, corta los cupones y los lleva al taller de preparación de probetas donde se elaboran las probetas requeridas según la norma de fabricación, estas son llevadas al laboratorio donde se efectúa los ensayos mecánicos y químicos y se elabora el certificado de calidad, cuando el laboratorio recibe copia de las fichas del tubo probeta verifica si este ha cumplido con todo su proceso y emite el certificado de calidad correspondiente al lote liberado y lo envía a P.C.P para el posterior despacho.

### **2.6- PROCESO DE FABRICACIÓN**

HELVESA en su proceso de fabricación de tubos con soldaduras helicoidal, presta especial atención a la selección, conformación y capacitación de su personal, cumpliendo así con los códigos y normas industriales tanto a nivel nacional como internacional. Previo al proceso de fabricación se realiza la recepción de la materia prima, la cual es recibida, chequeada e identificada por el unidad de laboratorio, se realizan los ensayos respectivos a objeto de verificar que cumplen con las especificaciones requeridas por la empresa fabricante de tubos, en caso tal de no cumplir es rechazada y colocada en la zona determinada para materiales de rechazo, para posteriormente realizar reclamos al fabricante de la materia prima. Una vez aprobada la bobina por la unidad de laboratorio se desenrolla, aplana, alinea, corta y se fresan los bordes de la laminación de la banda, con el fin de facilitar el empalme cuando se termina la bobina que está en uso y asegurar mayor calidad en las soldaduras posteriores.

Al entrar en la unidad de preparación de borde, la lámina es ajustada al ancho de banda requerido a través de cizallas circulares que cortan los extremos y luego en la misma unidad se biselan con el uso de una fresadora circular o en algunos casos con el uso de una cuchilla como herramienta de corte (dependiendo del tipo de máquina), asegurando así una superficie de los bordes de buena calidad, para luego ser doblada en sus extremos en el dispositivo doblador, con el objeto de compensar los efectos de recogida por enfriamiento de la soldadura

helicoidal, esta operación garantiza que la tubería terminada sea uniformemente cilíndrica; en la Figura 2.6 se representa el proceso de fabricación de tubos con soldadura helicoidal.

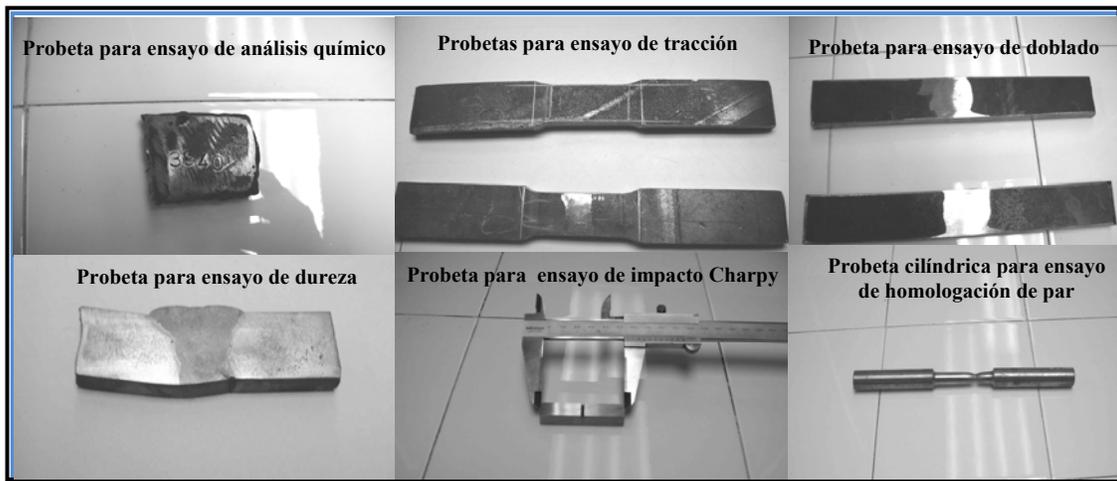


*Figura 2.6- Proceso de fabricación de tubos con soldadura helicoidal*

Seguidamente la banda es guiada hacia el cuerpo conformador donde se efectúa el proceso de conformación, es decir, transformar la banda en forma cilíndrica-helicoidal, dando forma al tubo según el ángulo dado al bastidor de entrada. Conocido el ancho de banda que se va a utilizar en la conformación, mediante las especificaciones de la orden, el operador de ángulo inicia el proceso de preparación y ajuste de los distintos componentes de las máquinas conformadoras. De acuerdo al diámetro de la tuberías que se desea obtener, se verifica la máquina conformadora; luego, se procede a la conformación del primer tubo, aplicándole una deformación en forma helicoidal, que se realiza utilizando soldadura por arco eléctrico manual para lograr los ajustes necesarios. Una vez que se alcanza las dos primeras espiras del tubo, se instala el sistema de soldadura automática (interno y externo), ajustándose los controles de soldadura a los parámetros descritos en los procedimientos e instructivos de soldadura y a la orden de producción. Para iniciar el proceso, el supervisor de conformación y el inspector de materia prima verifican la preparación y aptitud de los materiales para el proceso productivo. Finalizada la conformación del tubo, se corta a la longitud establecida en las especificaciones de recepción y laboratorio, se marca con la orden de producción, su número y la letra que identifica la máquina en el cual fue fabricado y se llena la ficha de control de procesos. El proceso de fabricación es suspendido sólo por la limitación física que impone la longitud de la bobina de acero, para la realización de los empalmes o uniones con otra. Esta unión se realiza en la máquina conformadora mediante una soldadura automática por arco sumergido. Una vez conformado el tubo, queda en la parte interna del mismo y con una disposición geométrica que resulta perpendicular al cordón helicoidal. Después de finalizada la conformación y el corte, automáticamente el tubo es trasladado a una zona de limpieza interior, donde es limpiado de los restos de fundente y escoria para así poder ser evaluado mejor en las inspecciones.

A continuación se somete a diferentes inspecciones destructivas y no destructivas para su verificación según las normas (tales como API 5L).

**2.6.1.- Ensayos de laboratorio:** En esta área se realizan ensayos mecánicos de tracción, doblado, resistencia a impactos del acero y ensayos químicos mediante mediciones espectrométricas; estos ensayos se llevan a cabo a través de una muestra tomada de la materia prima (bobinas) llamada probetas; las dimensiones de la misma va a depender del tipo de ensayo a la cual a ser sometida; en la Figura 2.7 se observan los diversos tipos de probetas para cada ensayo. <sup>[11]</sup>



**Figura 2.7-** Tipos de probetas

2.6.1.1.- Ensayo Químico: Es el método mediante el cual una pieza o probeta debidamente preparada es analizada a través de un espectrómetro de masa para determinar su composición química, tales como: carbono, manganeso, silicio, níquel, fósforo, etc.

- El carbono (C): Es uno de los elementos fundamentales que determina la aptitud para la soldadura de aceros, en los aceros especiales soldables rara vez sobrepasa el 0,25%, a partir de cierta proporción de este elemento, es preciso tomar precauciones su impacto puede ser perjudicial.
- El manganeso (Mn): Es un desoxidante energético y constituyente, un ingrediente de los electrodos o las varilla de aporte como elemento favorable por su reacción con el metal líquido. Elemento gammágeno favorece el temple del acero, es preciso limitar su contenido, excepto en casos especiales en que se busque obtener dureza o resistencia al desgaste, rara vez pasa del 2,0% en los aceros soldables.
- El silicio (Si): elemento alfégeno es un reductor enérgico del acero al igual que el manganeso, según sea su contenido aumenta la tendencia al agrietamiento durante la soldadura y varía según sea el tipo de acero, el modo de elaboración y las concentraciones de carbono y de manganeso, ha de limitarse en los aceros de construcción de 0,15 a 0,30%, si bien en metal fundido de los electrodos puede admitirse hasta un 0,40 ó 0,50%.

- El níquel (Ni): Es un elemento gammágeno, que favorece el temple, como lo hace el carbono y el manganeso en los aceros poco carburados ( $C < 0,15\%$ ) y sin elemento de adición puede tolerarse del 3,0 al 5,0% de este elemento sin que la fragilidad del conjunto quede fuertemente afectada. En pequeña cantidad el níquel mejora la capacidad de deformación de la soldadura, afina el grano e interviene favorablemente en la temperatura de transición de fragilidad del acero.
- El cromo (Cr): Elemento alfégeno, suele estar unido a otros elementos como el níquel y el molibdeno en los aceros ligeramente aleados de construcción y entonces aumenta la templabilidad o dureza del acero. El cromo presenta otro inconveniente desde el punto de vista de la soldabilidad operatoria, y es que forma óxido de cromo, material refractario que es indispensable eliminar con un flujo decapante en el soldeo. Dado que el óxido de cromo se elimina fácilmente con escoria básica, los electrodos con alma de acero al cromo deben poseer preferentemente revestimiento básico, este elemento de adición actúa claramente sobre la templabilidad de la zona de transformación durante el soldeo, en un acero con 0,50% de cromo y 0,15% de carbono.
- El molibdeno (Mo): Aumenta el poder del temple del acero, su contenido suele estar limitado al 0,25 ó 0,35% en los aceros con bastante carbono. Este elemento incluso en pequeñas concentraciones, confiere a los aceros de mayor resistencia en caliente y la propiedad de resistir a la fluencia lenta, por lo cual presentan gran interés como elemento de adición en los aceros especiales ligeramente aleados.
- El vanadio (V): aumenta rápidamente el poder del temple del acero, pero su contenido debe ser muy limitado; rara vez excede del 0,1 al 0,2%.
- El cobre (Cu): Es soluble en el acero hasta un 0,40%; se recomienda no pasar este límite en los aceros a conjuntos soldados, ya que este elemento es un factor de agrietabilidad en estado libre.
- El fósforo (P): Es una impureza que favorece al agrietamiento, especialmente en presencia del azufre.
- El azufre (S): Impureza que favorece el agrietamiento junto con el fósforo. <sup>[12]</sup>

La característica principal del acero es que sea de bajo carbono y estos son generalmente tenaces, dúctiles y fáciles de conformar, maquinar y soldar; aun cuando estos aceros no son especialmente duros, su composición responde bien a los tratamientos térmicos, por ser accesibles al endurecimiento, los aceros de bajo carbono tiene un grado entre 0,05 y 0,30% de carbono.

Uno de los métodos más rápidos para determinar la soldabilidad es conocer el término del Carbono Equivalente (CE). Este término fue desarrollado como fórmula para normalizar la composición química del acero en un solo número que nos indica cómo la composición podría afectar el endurecimiento o la templabilidad del material, hay muchas fórmulas, pero este factor es el más indicado para aceros de baja aleación, incluso micro aleados y es la propuesta por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW).

Para un tubo PSL1 Y PSL2 (especificaciones de la norma de fabricación de tubería) con una fracción de masa carbono en el análisis del producto igual o menor que 0,12%, el carbono equivalente CE, debe ser determinado usando la ecuación 2.1. <sup>[8]</sup>

$$CE = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\text{Ec 2.1})$$

Para un tubo PSL1 Y PSL2 con una fracción de masa carbono en el análisis del producto mayor que 0,12%, el carbono equivalente CE, debe ser determinado usando la ecuación 2.2.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15} \quad (\text{Ec 2.2})$$

El porcentaje de carbono equivalente según lo que establece la norma API no debe ser mayor o igual a 0,43%, por lo tanto si se obtiene un valor mayor a éste, estaría fuera de especificación y el metal base puede ser rechazado; en las Tabla 2.2 y 2.3 se representa la composición química para tubos PSL1 y PSL2 respectivamente según la norma API- 5L.

En la Figura 2.8 se hace referencia del analizador químico espectrométrico (SPECTROLAB) donde se ensayaron las probetas para analizar su composición.



**Figura 2.8-** Analizador químico espectrométrico (SPECTROLAB)

**Tabla 2.2–** Composición química para tubos PSL 1 con  $t \leq 25,0$  mm (0,984 pulgadas) [8]

Grado del Acero (Nombre del Acero)	Fracción de masa, basado en los análisis de calor y producción							
	C max. <sup>b</sup>	Mn max. <sup>b</sup>	P %		S max.	V max.	Nb max.	Ti max.
			min.	max.				
<b>Tubo sin costura</b>								
L175 or A25	0,21	0,60	—	0,030	0,030	—	—	—
L175P or A25P	0,21	0,60	0,045	0,080	0,030	—	—	—
L210 or A	0,22	0,90	—	0,030	0,030	—	—	—
L245 or B	0,28	1,20	—	0,030	0,030	c,d	c,d	d
L290 or X42	0,28	1,30	—	0,030	0,030	d	d	d
L320 or X46	0,28	1,40	—	0,030	0,030	d	d	d
L360 or X52	0,28	1,40	—	0,030	0,030	d	d	d
L390 or X56	0,28	1,40	—	0,030	0,030	d	d	d
L415 or X60	0,28 <sup>e</sup>	1,40 <sup>e</sup>	—	0,030	0,030	f	f	f
L450 or X65	0,28 <sup>e</sup>	1,40 <sup>e</sup>	—	0,030	0,030	f	f	f
L485 or X70	0,28 <sup>e</sup>	1,40 <sup>e</sup>	—	0,030	0,030	f	f	f
<b>Tubo con costura</b>								
L175 or A25	0,21	0,60	—	0,030	0,030	—	—	—
L175P or A25P	0,21	0,60	0,045	0,080	0,030	—	—	—
L210 or A	0,22	0,90	—	0,030	0,030	—	—	—
L245 or B	0,26	1,20	—	0,030	0,030	c,d	c,d	d
L290 or X42	0,26	1,30	—	0,030	0,030	d	d	d
L320 or X46	0,26	1,40	—	0,030	0,030	d	d	d
L360 or X52	0,26	1,40	—	0,030	0,030	d	d	d
L390 or X56	0,26	1,40	—	0,030	0,030	d	d	d
L415 or X60	0,26 <sup>e</sup>	1,40 <sup>e</sup>	—	0,030	0,030	f	f	f
L450 or X65	0,26 <sup>e</sup>	1,45 <sup>e</sup>	—	0,030	0,030	f	f	f
L485 or X70	0,26 <sup>e</sup>	1,65 <sup>e</sup>	—	0,030	0,030	f	f	f
<p>a 0,50 % máximo para cobre, 0,50 % máximo para níquel, 0,50 % máximo para cromo, y 0,15 % máximo para molibdeno. Para grados hasta e incluso L360/X52, los elementos Cu, Cr, y Ni no deberán ser añadidos intencionalmente</p> <p>b para cada reducción de 0,01 % por debajo de la concentración máxima de carbono específica; un incremento de 0,05 % por encima de la concentración máxima específica de manganeso es permitida, hasta un máximo de 1,65 % para grados <math>\geq</math> L245 o B, pero <math>\leq</math> L360 o X52, hasta un máximo de 1,75 % para grados <math>&gt;</math> L360 o X52, pero <math>&lt;</math> L485 o X70, y hasta un máximo de 2,00 % para el grado L485 o X70.</p> <p>c A menos que algo mas sea acordado previamente, la suma de los contenidos de niobio y vanadio debe ser <math>\leq</math> 0,06 %.</p> <p>d La suma de las concentraciones de niobio, vanadio y titanio deben ser <math>\leq</math> 0,15 %.</p> <p>e A menos que algo mas sea acordado previamente.</p> <p>f A menos que algo mas sea acordado previamente, la suma de las concentraciones de niobio, vanadio y titanio deben ser <math>\leq</math> 0,15</p>								

**Tabla 2.3–** Composición química para tubos PSL 2 con  $t \leq 25,0$  mm (0,984 pulgadas)

Grado del Acero (Nombre del Acero)	Fracción de masa, basado en los análisis de calor y producción % máximo									Carbono equivalente <sup>a</sup> % máximo	
	C <sup>b</sup>	Si	Mn <sup>b</sup>	P	S	V	Nb	Ti	Other	CE <sub>IW</sub>	CE <sub>Pcm</sub>
<b>Tubo con y sin costura</b>											
L245R or BR	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	c	c	0,04	e	0,43	0,25
L290R or X42R	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L245N or BN	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	c	c	0,04	e	0,43	0,25
L290N or X42N	0,24	0,40	1,20	0,025	0,015	0,06	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L320N or X46N	0,24	0,40	1,40	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L360N or X52N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L390N or X56N	0,24	0,45	1,40	0,025	0,015	0,10 <sup>f</sup>	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L415N or X60N	0,24 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,40 <sup>f</sup>	0,025	0,015	0,10 <sup>f</sup>	0,05 <sup>f</sup>	0,04 <sup>f</sup>	g,h	previo acuerdo	
L245Q or BQ	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L290Q or X42Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L320Q or X46Q	0,18	0,45	1,40	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L360Q or X52Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L390Q or X56Q	0,18	0,45	1,50	0,025	0,015	0,07	0,05	0,04	d,e	0,43	0,25
L415Q or X60Q	0,18 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,70 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L450Q or X65Q	0,18 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,70 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L485Q or X70Q	0,18 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,80 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L555Q or X80Q	0,18 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,90 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	ij	previo acuerdo	
<b>Tubo con costura</b>											
L245M or BM	0,22	0,45	1,20	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L290M or X42M	0,22	0,45	1,30	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L320M or X46M	0,22	0,45	1,30	0,025	0,015	0,05	0,05	0,04	e	0,43	0,25
L360M or X52M	0,22	0,45	1,40	0,025	0,015	d	d	d	e	0,43	0,25
L390M or X56M	0,22	0,45	1,40	0,025	0,015	d	d	d	e	0,43	0,25
L415M or X60M	0,12 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,60 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L450M or X65M	0,12 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,60 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L485M or X70M	0,12 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,70 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	h	0,43	0,25
L555M or X80M	0,12 <sup>f</sup>	0,45 <sup>f</sup>	1,85 <sup>f</sup>	0,025	0,015	g	g	g	i	0,43 <sup>f</sup>	0,25
L625M or X90M	0,10	0,55 <sup>f</sup>	2,10 <sup>f</sup>	0,020	0,010	g	g	g	i	—	0,25
L690M or X100M	0,10	0,55 <sup>f</sup>	2,10 <sup>f</sup>	0,020	0,010	g	g	g	ij		0,25
L830M or X120M	0,10	0,55 <sup>f</sup>	2,10 <sup>f</sup>	0,020	0,010	g	g	g	ij		0,25

**Tabla 2.3-** Composición química para tubos PSL 2 con  $t \leq 25,0$  mm ó 0,984 pulgadas (continuación).

**A.** Basado en análisis del producto. Para tubo sin costura con  $t > 20,0$  mm (0.787 pulgadas), los límites del carbono equivalente deben establecerse bajo previo acuerdo. El límite CEI IW aplica si la fracción de masa del carbono es mayor a 0,12% y el límite CEPAM si la fracción de masa de carbono es menor o igual a 0,12 %.

**B.** Para cada reducción de 0,01 % por debajo el máximo específico de carbono, un incremento de 0,05 % por encima del máximo específico de manganeso es permisible, hasta un máximo de 1,65 para grados  $\geq$  L245 o B, pero  $\leq$  L360 o X52, hasta un máximo de 1,75 % para grados  $>$  L360 o X52 pero  $<$  L485 o X70, hasta un máximo de 2,00 % para grados  $\geq$  L485 o X70, pero  $\leq$  L555 o X80, y hasta un máximo de 2,20 % para grados  $>$  L555 o X80.

**C.** A menos que algo más sea acordado previamente, la suma de las concentraciones de niobio y vanadio deben ser  $\leq 0,06$  %.

**D.** La suma de las concentraciones de niobio, vanadio y titanio deben ser  $\leq 0,15$  %.

**E.** A menos que algo mas sea acordado previamente, 0,50 % máximo para cobre, 0,30 % máximo para níquel, 0,30 máximo para cromo y 0,15 % máximo para molibdeno.

**F.** A menos que algo más sea acordado previamente.

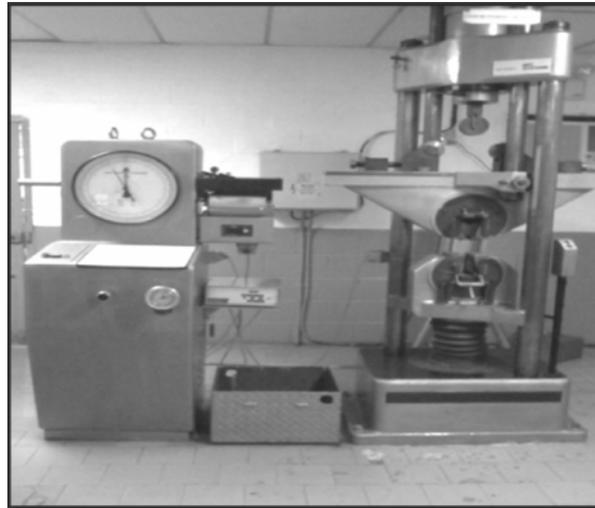
**G.** A menos que algo más sea acordado previamente, la suma de las concentraciones de niobio, vanadio y titanio deben ser  $\leq 0,15$  %.

**H.** A menos que algo más sea acordado previamente, 0,50 % máximo para cobre, 0,50 % máximo para níquel, 0,50 máximo para cromo y 0,50 % máximo para molibdeno.

**I.** A menos que algo mas sea acordado previamente, 0,50 % máximo para cobre, 1,00 % máximo para níquel, 0,50 máximo para cromo y 0,50 % máximo para molibdeno.

**J.** 0,004 % máximo para el boro.

2.6.1.2 Ensayo de Tracción: Es el método mediante el cual se somete una probeta normalizada a una fuerza de tracción uni-axial, en una máquina universal de ensayos que va aumentando progresivamente hasta la rotura del material, obteniéndose los valores de esfuerzo máximo, esfuerzo de rotura y alargamiento, este ensayo se le practica a la soldadura de la tubería una vez fabricada; en la Figura 2.9 se observa la máquina universal de ensayo de tracción <sup>[11]</sup>.



**Figura 2.9-** Máquina universal de ensayo de tracción.

En la Figura C.1 del Anexo C, se muestran las dimensiones de la máquina universal para ensayos de tracción según la ASTM.

Para pruebas en el cordón de soldadura se determina el esfuerzo máximo en Kg/mm<sup>2</sup> (T<sub>m</sub>), para conocer este valor se debe calcular en primer lugar el área transversal en mm<sup>2</sup> de la probeta a través de la ecuación 2.3:

$$A_o = \text{ancho} \times \text{espesor}$$

**(Ec 2.3)**

Donde:

Ancho: Ancho de la probeta, según API-5L: 38 (mm)

Espesor: espesor de la probeta, según API-5L: 12 (mm)

A<sub>o</sub>: Área transversal de la probeta en (mm<sup>2</sup>)

Luego se determina el esfuerzo de fluencia en Kg/mm<sup>2</sup> (σ<sub>f</sub>) a través de la ecuación 2.4:

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A_o}$$

**(Ec 2.4)**

Donde:

Pf: Carga de fluencia registrada por la máquina de ensayo (Kg).

Ao: Área transversal de la probeta (mm<sup>2</sup>)

σ f: Esfuerzo de fluencia en (Kg/mm<sup>2</sup>).

Posteriormente se determinará el esfuerzo máximo en Kg/mm<sup>2</sup> (Tm) a través de la ecuación 2.5:

$$T_m = \frac{P_m}{A_o} \quad (\text{Ec 2.5})$$

Donde:

Pm: Carga máxima registrada por la máquina de ensayo (Kg)

Ao: Área transversal de la probeta (mm<sup>2</sup>)

Tm: Esfuerzo máximo en (Kg/mm<sup>2</sup>)

Para determinar el porcentaje de alargamiento de la probeta se utiliza la ecuación 2.6.

$$\% \text{Alargamiento} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100 \quad (\text{Ec 2.6})$$

Donde:

Lo= longitud de la probeta al iniciar el ensayo (mm)

Lf= Longitud de la probeta al final del ensayo (mm).

Las dimensiones de una probeta que es sometida a un ensayo de tracción se pueden observar en la Figura C.2 del Anexo C.

2.6.1.3 Ensayo de Dureza: Es el método mediante el cual, se determina la resistencia que ofrecen los materiales al ser penetrados, cuando se aplica sobre su superficie una carga dinámica o estática; en la Figura 2.10 se observa el durómetro Rockwell. <sup>[11]</sup>



*Figura 2.10- Durómetro Rockwell*

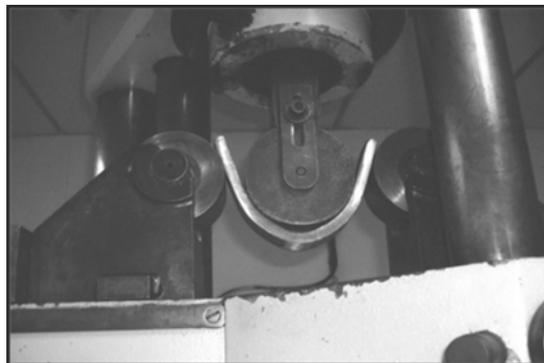
En la Tabla C.1 del Anexo C se representan la conversión de valores aproximados de dureza para aceros autenísticos en la escala Rockwell B.

2.6.1.4 Ensayo de Microdureza: Es el método mediante el cual, se imprime en una pieza o probeta debidamente preparada metalográficamente, un penetrador de diamante normalizado. Mediante una carga gradual menor que 5 kg, durante un tiempo determinado (entre 5 y 20 s) y se mide la diagonal de la impresión dejada sobre la superficie ensayada; en la Figura 2.11 se representa el micro durómetro. <sup>[11]</sup>



*Figura 2.11- Microdurómetro*

2.6.1.5 Ensayo de Doblado: Es el método en el cual una probeta es doblada por medio de un mandril; de forma tal que alcance un ángulo de valor especificado; tiene como objetivo la inspección visual de la soldadura cuando ésta es sometida a un doblés y se realiza para determinar la ductilidad y otras características del acero y de los tubos; en la Figura 2.12 se observa el ensayo de doblado en la parte superior de la máquina de tracción.



*Figura 2.12- Ensayo de Doblado*

Las dimensiones de una probeta estándar se representan en las Figura C.3 y C.4 del Anexo C.



Nótese que no se realizan ensayos de análisis químico a la soldadura y que en la aprobación de lotes para la norma API se realiza análisis químico al metal base y prueba de doblado a la soldadura cada 50 tubos.

**2.6.2.-Propiedades Mecánicas:** Son aquellas que caracterizan la capacidad que tienen los materiales para reaccionar a la deformación o destrucción bajo la acción de fuerzas externas. Las propiedades mecánicas dependen del tipo de material, su tratamiento, estructura interna, forma de la pieza y otros factores que son calculados por medio de una gráfica originada por un extensómetro; algunas de las propiedades mecánicas son <sup>[13]</sup>:

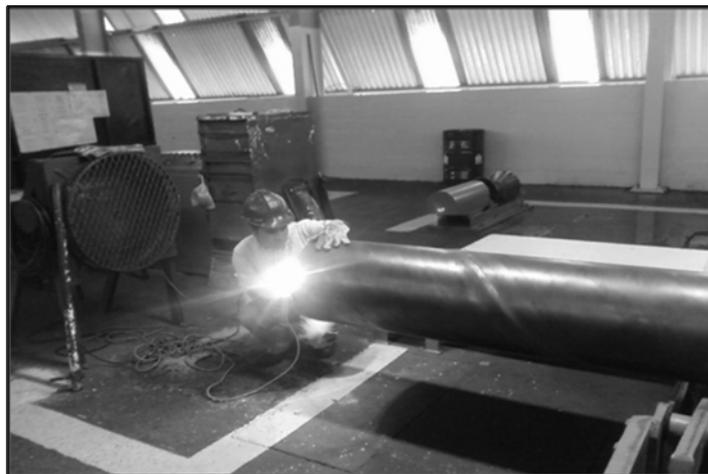
- Longitud calibrada: es el área donde se realiza el ensayo mecánico para determinar algunas propiedades mecánicas: límite de fluencia, esfuerzo máximo y porcentaje de alargamiento.
- Deformación de la rotura: Es la relación entre el incremento de la longitud calibrada de la probeta luego de ser sometida a la aplicación de una carga hasta el momento de la rotura y la longitud original de la zona calibrada, expresada en porcentaje.
- Punto de fluencia o punto cedente: Es el esfuerzo para el cual un material sigue deformado sin incremento en la carga aplicada.
- Límite elástico: Es el esfuerzo máximo, que al dejar de actuar no produce deformaciones permanentes en el material. Se usa en aquellos materiales cuyo punto de fluencia en la curva esfuerzo-deformación (o carga de elongación) no está bien definido.
- Límite elástico convencional: Es el esfuerzo correspondiente a una pequeña deformación plástica especificada, generalmente es el 0,2 de la longitud calibrada de la probeta y se obtiene trazando una paralela a O/P, pasando por el punto de deformación que ha sido fijado hasta que corte la curva esfuerzo-deformación.
- Ductilidad: Es la propiedad de un material a deformarse plásticamente antes de la rotura.
- Resistencia de la tracción: Es el valor del esfuerzo correspondiente al valor máximo de carga aplicada que se obtiene durante el ensayo.
- Punto de rotura: Es el punto en el cual la probeta se fractura al aplicar una carga.
- Área de estricción: Es la relación que existe entre la disminución del área de la sección transversal antes del ensayo, expresada en porcentaje.
- Límite de proporcionalidad: Es el punto a partir del cual, la proporcionalidad lineal existente entre deformación y los esfuerzos aplicados no se presenta.
- Sección calibrada: Es el trozo de menor sección uniforme de la probeta de ensayo de tracción.
- Sección de agarre: Es la zona de la probeta sobre la cual la mordaza de la máquina de ensayo realiza la sujeción.
- Radio de Curvatura: Es el radio de la curva localizada entre la sección calibrada y la sección de agarre de la probeta y que determina que el esfuerzo aplicado a la sección calibrada sea uniformemente distribuido.
- Zona elástica: Parte de la recta de la gráfica en donde las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos, es en esta zona en donde se puede aplicar una carga al material el cual va a sufrir una deformación y si en ese momento se quita la carga el material regresaría a su estado natural sin presentar una deformación permanente.

- Zona plástica: Al pasar la zona elástica se entra a la zona plástica que es en donde la grafica comienza a tener forma curva y es la zona en donde si se aplica una carga y luego se quita sufre una deformación permanente, ya que el material no recupera su estado original.<sup>[13]</sup>

**2.6.3.- Inspecciones y ensayos no destructivos realizados a la tubería:** Una vez conformado el tubo se inicia la detección de un defectos en el mismo; se basa en técnicas de inspección utilizadas y en ensayos no destructivos como (fluroscopía, rayos X-1, ultrasonido manual o automático, rayos X-2), con personal calificado para evaluar estas posibles discontinuidades (imperfecciones que interrumpen la continuidad normal del material o soldadura y se encuentran dentro de un rango aceptable de tolerancia según la norma, pudiendo ser removidas o reparadas). El orden de las técnicas utilizadas en este proceso son las siguientes:

- Inspección visual.
- Examen fluoroscópico (rayos X-1).
- Examen de ultrasonido manual y automático.
- Prueba hidrostática.
- Inspección radiográfica (rayos X-2).
- Control final.

2.6.3.1.- Inspección Visual: Es un ensayo no destructivo, que puede ser un excelente método para discernimiento que no debe ser nunca despreciado por técnicas más sofisticadas, en el caso de la tubería, una vez conformado el tubo, se debe examinar interna y externamente la soldadura y el comportamiento metálico; en la Figura 2.14 hace referencia a la inspección visual del tubo.



*Figura 2.14- Inspección visual*

2.6.3.2.- Examen fluoroscópico (rayos X-1):

Es un ensayo no destructivo que utiliza rayos X invisibles a través de un tubo emisor, un intensificador y una cámara de video para examinar internamente el cordón de soldadura en un 100%. Este examen radiográfico reporta un registro a través de un monitor, donde se

visualizan los defectos que no se pueden apreciar a simple vista; se debe contar con personal calificado para la interpretación del registro, este método es rápido y sencillo de aplicar; en la Figura 2.15 se representa la inspección por fluroscopía<sup>[14]</sup>.



*Figura 2.15- Inspección por fluroscopía*

2.6.3.3.- Puesto de reparaciones: Al salir el tubo de la inspección visual y de fluoroscopia es llevado, si es necesario, a los puestos de reparaciones; allí se subsana cualquier defecto que sea reparable de acuerdo a la norma API- 5L. Los defectos superficiales se reparan generalmente con el uso del esmeril, si el defecto es más profundo lo reparan los soldadores calificados que laboran en ese puesto de reparación; en la Figura 2.16 se observa el puesto de reparación.



*Figura 2.16- Puesto de reparación*

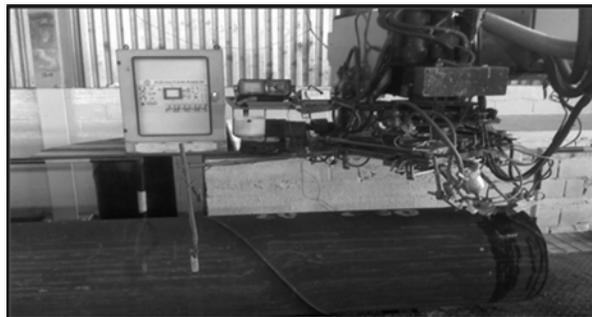
2.6.3.4 Prueba hidrostática: Es un ensayo que se realiza introduciendo dentro del tubo agua a alta presión, esta prueba permite revelar si la soldadura es capaz de soportar una presión determinada de acuerdo a la norma o alguna presión requerida por el cliente sin presentar fugas o filtraciones. La presión de prueba para tuberías con diámetro igual o menor a 18 pulgadas deberá ser mantenida por un tiempo no menor de 5 segundos; cuando el diámetro es igual o mayor a 20 pulgadas, la presión de prueba debe mantenerse por lo menos 10 segundos; en la Figura 2.17 se representa la maquina hidrostática (prensa).



*Figura 2.17- Maquina hidrostática (prensa)*

2.6.3.5.- Ultrasonido automático: En esta prueba se inspecciona un 98% de la soldadura del tubo, mediante uso de dos palpadores como dispositivos utilizados para la inyección de ondas ultrasónicas en un material dado, uno longitudinal y dos transversales. No se cubre el 100% por limitaciones físicas del equipo; esta inspección permite detectar posibles fallas después de la prueba hidrostática y la calidad de las reparaciones efectuadas.

2.6.3.6.- Ultrasonido manual: Este ensayo utiliza un equipo portátil de ultrasonido que posee un palpador angular de 70°, el cual se hace pasar por los defectos marcados por el ultrasonido automático a fin de confirmar la presencia de defectos y discontinuidades de la soldadura para determinar su tamaño y aplicar criterios de aceptación y rechazo según la norma de fabricación; en la Figura 2.18 se observa el ultrasonido automático <sup>[14]</sup>.



*Figura 2.18- Prueba Ultrasonido Automático*

2.6.3.7.- Biseladora: Es una máquina que utiliza una cuchilla para devastar el material en la boca del tubo y realizar un bisel de acuerdo a la norma de fabricación, logrando así una buena unión al momento de la junta de dos tubo; en la Figura 2.19 hace referencia al puesta de la biseladora.



*Figura 2.19- Biselado del tubo*

2.6.3.8.- Inspección radiográfica (rayos X-2): Es un ensayo no destructivo que utiliza rayos X para examinar el interior de la soldadura, este examen reporta una película radiográfica del cordón para detectar defectos y discontinuidades de acuerdo con la norma de fabricación; en la Figura 2.20 se observa la inspección radiográfica por Rayos X-2<sup>[14]</sup>.



*Figura 2.20- Inspección radiográfica (Rayos X-2)*

2.6.3.9.- Control final: Una vez sometida la tubería a sus diferentes pruebas y encontrándose en óptimas condiciones, se realiza una inspección visual en un 100% y luego se procede a realizar el sellado final para el debido despacho; en la Figura 2.21 se observan los tubos en patio ya relacionados para su despacho.



*Figura 2.21-Tubos relacionados para su despacho*

## **2.7.- DEFECTOS DE LA SOLDADURA.**

Un defecto de la soldadura es una interrupción de la estructura típica de un material como por ejemplo una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas y físicas en la cual el producto no es capaz de satisfacer las normas o especificaciones de aceptación <sup>[5]</sup>.

Las numerosas variables en la soldadura además del nivel de experticia del operador pueden conllevar a defecto, tales como: vacíos, inclusiones, grietas, y variaciones químicas, además de los cambios metalúrgicos usualmente esperados que se relacionan con el tratamiento térmico y la deformación plástica.

En la fabricación de tubería con soldadura helicoidal por arco sumergido, los defectos más comunes presentes en las uniones soldadas son:

- Porosidad: Cavidades producidas por inclusiones gaseosas que pueden presentarse dispersas y de pequeño tamaño, o aparece concentradas, generalmente hacia el centro del cordón de la soldadura, dando lugar a cavidades de mayor tamaño.
- Inclusiones de escoria: Están formadas por escoria u otras materias extrañas aprisionadas durante el proceso de soldadura. Suelen presentarse con más frecuencia en las uniones efectuadas por pase de soldadura interno y externo.
- Falta de fusión: Defectos en dos dimensiones, debido a una falta de unión entre el metal base y el de aportación.
- Falta de penetración: Es en realidad, una falta de fusión en la raíz de la soldadura, debido a que el metal aportado no ha rellenado la raíz.
- Grietas: Las grietas son discontinuidades producidas por rotura en el metal como resultado de tensiones producidas en el mismo durante la soldadura.
- Mordedura de bordes: Se presenta como una ranura o garganta en la superficie de la pieza a lo largo de la soldadura.

## 2.8.- NORMAS O ESTÁNDARES DE CALIDAD

**2.8.1.- Norma API-5L:** American Petroleum Institute (API) 5L, es una norma de fabricación de tuberías, sin embargo, a solicitud del cliente, se pueden satisfacer requerimientos especiales y/o adicionales, así como normas específicas del cliente. La norma API 5L establece dos niveles de especificación de producto, PSL1 y PSL2 (Product Specification Level, PSL por sus siglas en inglés). Estas dos designaciones definen diferentes niveles de requerimientos de especificaciones técnicas.

**2.8.2.- Norma ISO 9001:** La ISO 9001 es una norma internacional que se aplica a los sistemas de gestión de calidad (SGC) y que se centra en todos los elementos de administración de calidad con los que una empresa debe contar para tener un sistema efectivo que le permita administrar y mejorar la calidad de sus productos o servicios. Los clientes se inclinan por los proveedores que cuentan con esta acreditación.

**2.8.3.- Norma COVENIN:** Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN, se aplica de acuerdo con el tema a estudiar, para cubrir los objetivos de este tema se utilizan: Norma COVENIN 2702, Norma COVENIN 998, Norma COVENIN 299.

**2.8.4 Norma ASTM A- 370:** Esta Norma permite determinar las propiedades mecánicas de esfuerzo, de fluencia y de resistencia a la tracción, y las variables que intervienen en el ensayo de tracción.

**2.8.5.- Norma AWWA:** American Water Works Association (AWWA), esta norma se aplica para la fabricación de tuberías para agua <sup>[12]</sup>.

### 2.8.6 Norma AWS A5-17:

Se refiere a los electrodos para soldadura de aceros al carbono <sup>[14]</sup>. La especificación AWS A5.17 de materiales de aporte por proceso de arco sumergido para aceros al carbono, identifica los alambres con el prefijo E (electrodo), seguidos de la letra que indica el contenido de manganeso y que puede ser L (bajo), M (medio), ó H (alto). A continuación sigue uno o dos dígitos que dan el contenido nominal de carbono en centésima de porcentaje. Finalmente, algunos alambres traerán una letra K, para significar que son aceros calmados. Las propiedades mecánicas del depósito dependen del fundente que se use con cada alambre.

La denominación completa fundente alambre puede ser por ejemplo, F6A2 EM12K la cual significa:

F: Fundente.

6: 60.000 Psi de resistencia a la tracción mínima.

A: Propiedades mecánicas obtenidas sin tratamiento post soldadura (as welded).

2: Resistencia al impacto de 27 mínimo a 20°F.

E: Electrodo.

M: Contenido medio de manganeso.

12: 0.12% de carbono (nominal).

K: Acero calmado.

## ***CAPÍTULO III*** ***DESARROLLO DEL TRABAJO***

### **3.1.- DESCRIPCIÓN DE CADA PASO DURANTE LA ETAPA DE HOMOLOGACIÓN DE LA MÁQUINA CONFORMADORA**

La fabricación del tubo con soldadura helicoidal comienza con el proceso de conformación en frío al cual es sometido el acero, iniciándose a partir de bobinas laminadas en caliente, pudiendo ser éstas largas, anchas y de espesores múltiples. En este primer proceso, las bobinas se desenrollan, mediante la acción de rodillos de presión de la máquina conformadora, procediéndose luego a la preparación de los bordes de laminación de la banda a través del corte y fresado, con el objetivo de lograr una buena penetración en la soldadura, según la Norma API-5L, se homologa cuando:

1. Se inicia la producción.
2. Existe cambio de alambre y/o fundente.
3. Existe cambio de los parámetros de operación.
4. La máquina pasa más de una semana sin producir.

Y el procedimiento para homologación es:

- Recepción de materia prima.
- Toma de muestra de la materia prima para realizar ensayos.
- Aprobación de colada.
- Fijación de parámetros de la conformadora.
- Selección del tubo para la homologación.
- Verificación y ensayo.
- Elaboración del certificado de homologación de la máquina conformadora.
- Certificación de la máquina.

Al iniciar la producción se fijan los parámetros dentro de los rangos sugeridos en las especificaciones del pedido, luego se envía el primer tubo de la producción para homologar la máquina conformadora al puesto de fluroscopía donde se define el extremo para cortar el anillo y posteriormente se toman las muestras para realizarse el ensayo.

### **3.2.- DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN**

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se contó con el apoyo del personal de la empresa Helvesa (Helisold de Venezuela) dedicada a la fabricación de tubos con soldadura helicoidal mediante el proceso de arco sumergido. En estas instalaciones se desarrollaron actividades que permitieron evaluar (ensayos) la información de campo necesaria haciendo una selección de datos (diámetros y espesores), para determinar los parámetros de operación de las máquinas conformadoras basándose en la información teórica recopilada y las entrevistas no estructuradas a los operadores y supervisores.

**3.2.1.- Valores obtenidos en los seguimientos de producción**

Para realizar la toma de datos en producción, se diseñó una tabla con los valores necesarios durante el control del proceso, tal como se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1-** Normas de fabricación de tubos de diferentes diámetros.

Norma de fabricación de tubería	Calidad de acero	Diámetro del tubo (Pulg)	Espesor de la lámina (mm)	Alambre de soldadura L-61 (mm)	Fundente de soldadura
API-5L-PSL1+EM-18/03	API-5L-°B	20	9,52	3,98	780
API-5L-PSL1	API-5L-°B	30	9,52		
AWWA-C-200:05	API-5L-°B	16	6,35		
AWWA-C-200:05	API-5L-°B	20	6,35		
API-5L-PSL2+EM-18/03	API-5L-X52	16	9,52		
API-5L-PSL2+EM-18/03	API-5L-X52	16	7,92		
API-5L-PSL1+EM-18/03	API-5L-°B	20	9,52		
API-5L-PSL1	API-5L-X60	20	9,52		
API-5L-PSL1+EM-18/03	API-5L-°B	16	12,7		
API-5L-PSL1	API-5L-X52	16	9,52		
API-5L-PSL1+EM-18/03	API-5L-°B	24	9,52		
API-5L-PSL2+EM-18/03	API-5L-X52	16	9,52		

En la Tabla 3.1 se muestran diferentes normas de fabricación de tuberías para distintas calidades de aceros variando los diámetros y los espesores, manteniendo un mismo par (alambre y fundente) para los distintos pedidos.

**3.2.2.- Ensayos realizados:** Durante el inicio de cada producción es necesario aprobar la materia prima y el material de aporte (alambre y fundente), por lo tanto hay que considerar los cuatro ensayos que se describen a continuación.

**3.2.2.1.- Análisis químico de la materia prima**

La composición química de la materia prima utilizada es analizado mediante un espectrómetro de masas, marca Spectro Analytical Instrumets, modelo M-3, se rigió por la práctica operativa cuyos puntos más importantes son los siguientes:

1. Se encendió el equipo.
2. Se verificó el regulador de voltaje, si no está encendida, se presionó el breaker que está situado en la parte lateral del equipo.
3. Se verificó que el equipo haya hecho vacío.
4. Se observó que el indicador de vacío situado en la parte superior del equipo está por encima de 50 dígitos, ya que si está por debajo, el equipo no realiza la medición.
5. Se abrió la llave del cilindro de argón, asegurándose que la presión del cilindro indique un valor mayor de 50 libras.
6. Se introdujeron los datos de la muestra.

7. Se encendió la impresora por medio del botón situado en la parte lateral izquierda de la misma.
8. Se observaron en la pantalla los programas analíticos de acero y se ubicó el cursor en la opción adecuada de acuerdo al tipo de acero a analizar:  
 FE-HIGH= acero alto Cr-Ni  
 FE-LOW= acero bajo Carbono  
 FE-TOOL= acero aleado
9. Se presionó la tecla N° 1 del panel de mando del equipo, ubicado en la parte delantera del equipo y se presionó la tecla “Enter”
10. Se presionó el botón de ensayo (Source) situado en la parte posterior del equipo.
11. Se abrió la cámara de chispeo, se limpió el electrodo e introdujo la muestra a analizar de 2 x 2" aproximadamente con un pulido intermedio, con la cara preparada hacia el electrodo.
12. Se bajo el brazo sujetador de la muestra, se cerró la cámara de chispeo y se presionó la tecla F9 “Start”.
13. Se realizaron las tres mediciones recomendadas como mínimo a la misma muestra, tratando de realizar la medición en el mismo sitio.
14. En un lapso de 30 segundos apareció en la pantalla el resultado del análisis debajo de cada elemento. Se Abrió la cámara y se retiró la muestra.
15. Se presionó la tecla F5 (Print) para imprimir los datos.
16. Se presionó la tecla F6 (Average) para obtener el promedio de los resultados, después de obtener tres valores como mínimo.
17. Se analizaron los resultados de acuerdo a la norma de fabricación aplicando el método del carbono equivalente.
18. Aplicando el método del carbono equivalente:  
 Para un tubo PSL1 y PSL2 con una fracción de masa carbono en el análisis del producto igual o menor que 0,12%, el carbono equivalente CE, debe ser determinado usando la ecuación 2.1 Y 2.2. En Tabla 3.2 se muestran las coladas que se tomaron como datos para realizar los ensayos de análisis químicos por espectrometría de masas.

**Tabla 3.2-** Datos de las coladas que se estudiaron para el análisis químico

<b>Norma de fabricación de tubería</b>	<b>COLADA</b>	<b>BOBINA</b>	<b>TUBO</b>
API-5L-PSL1+EM-18/03	170936	258450	01
API-5L-PSL1	573663	393756	02
AWWA-C-200:05	281334	483261	03
AWWA-C-200:05	181575	483254	03
API-5L-PSL2+EM-18/03	563498	213369	03
API-5L-PSL2+EM-18/03	263232	211018	01
API-5L-PSL1+EM-18/03	571789	314271	01
API-5L-PSL1	271058	269194	01
API-5L-PSL1+EM-18/03	580395	415780	06
API-5L-PSL1	654544	48216	02
API-5L-PSL1+EM-18/03	670668	246028	05
API-5L-PSL2+EM-18/03	263232	211018	01

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.2 donde se muestran las coladas según su orden de producción trabajadas con la maquina conformadora "A".

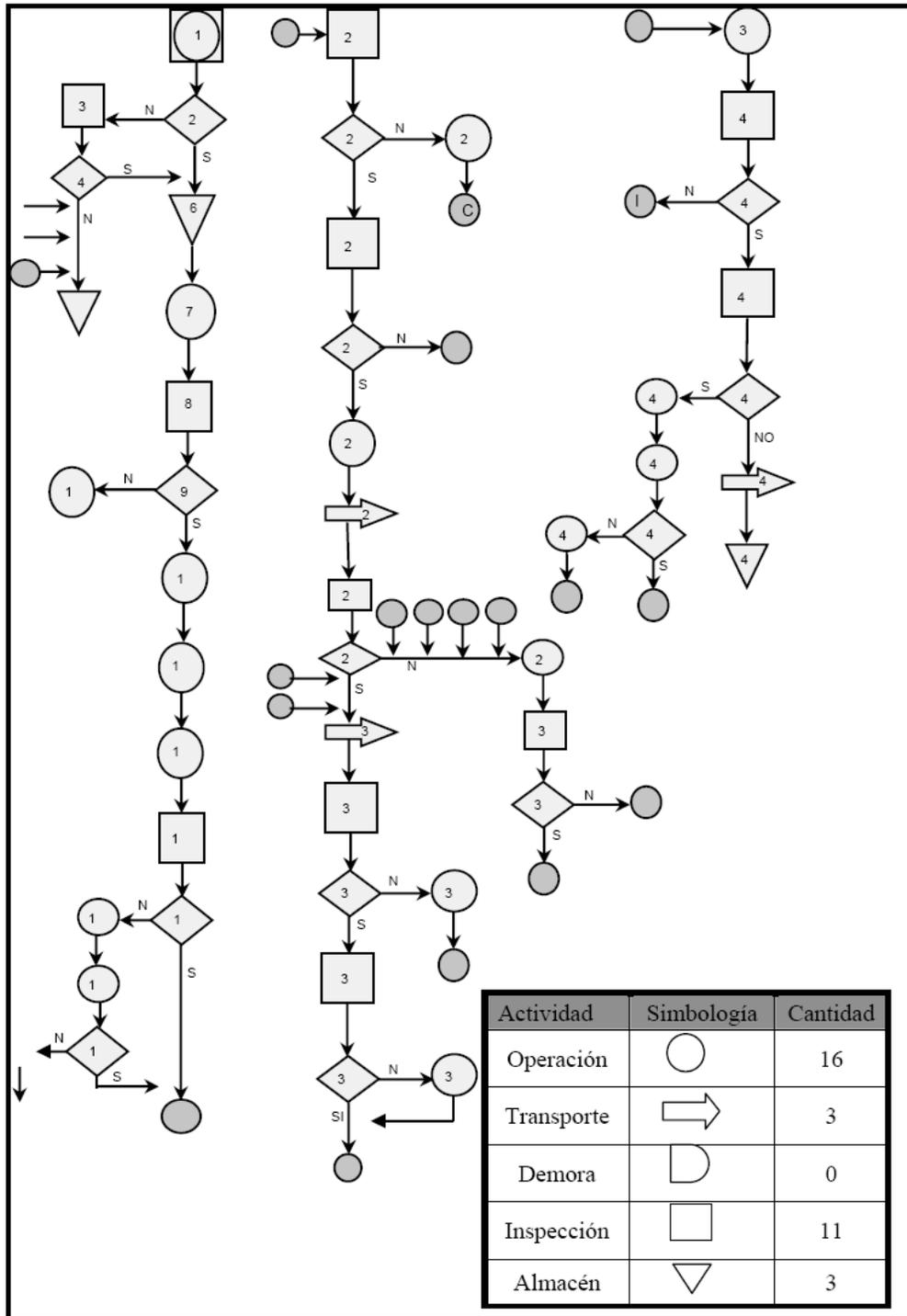
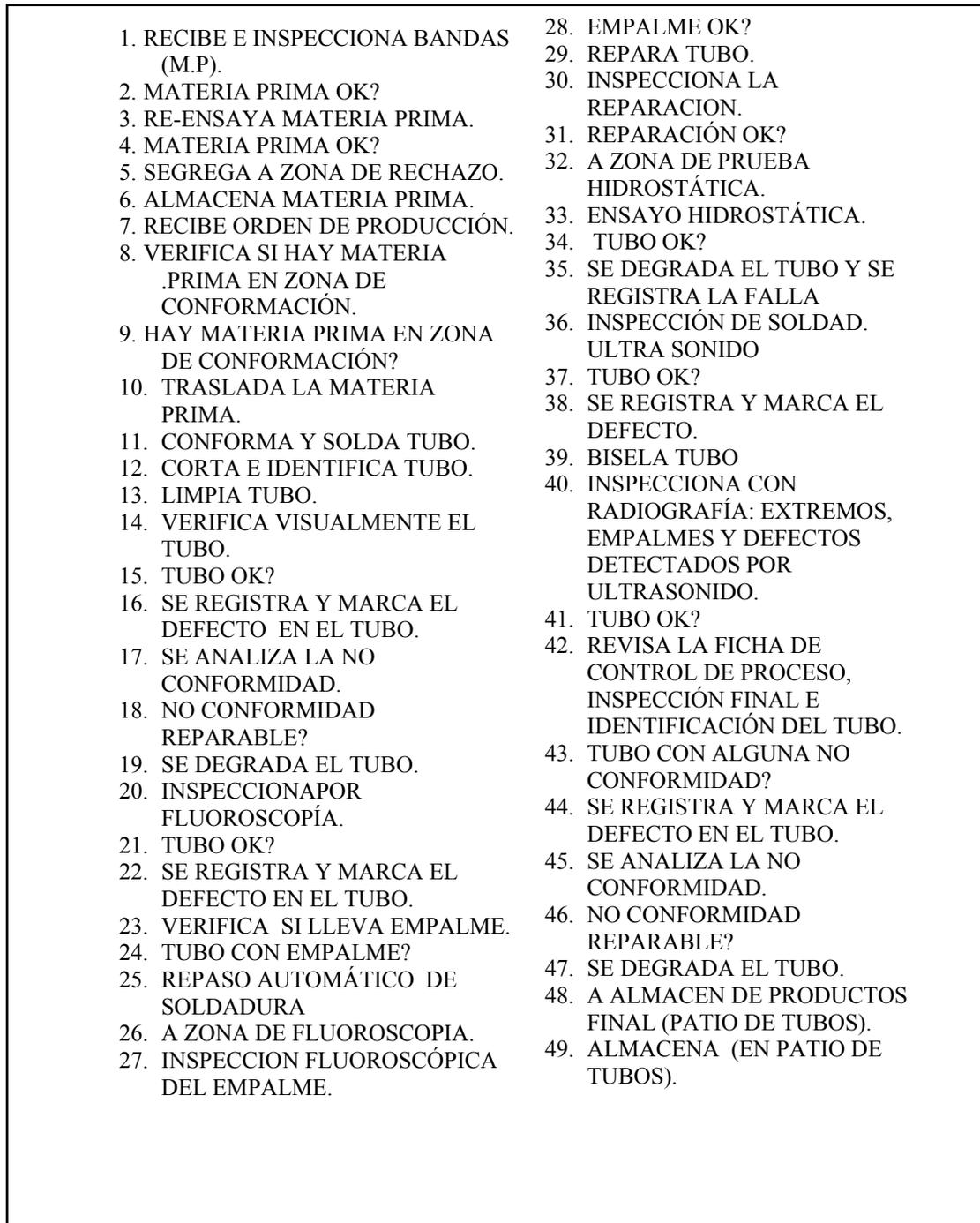


Figura 3.1- Diagrama de flujo del proceso de producción de tubos.



**Figura 3.1-** Diagrama de flujo del proceso de producción de tubos (continuación).

3.2.2.2.- Ensayo de Tracción

El análisis mecánico de las propiedades del material (materia prima) recogidas en los seguimientos de producción determinada a través de la gráfica (fluencia vs deformación del material) realizados en la máquina de tracción universal, marca Morh Federhaff Losenhausen, modelo UPD 60, código CC-E-001, se rigió por la práctica operativa cuyos puntos más importantes son los siguientes:

1. Se inspeccionaron las probetas.
2. Se ensayó la probeta para tracción cordón de soldadura y luego la probeta para tracción metal base.
3. Se encendió la máquina de ensayo universal, pulsando el botón verde, situado en la parte delantera del equipo, y se esperaron aproximadamente 5 minutos para su calentamiento.
4. Se giró totalmente la válvula de descarga en sentido horario y se comprobó que las pesas colocadas en la parte posterior del pupitre de mando fueran las adecuadas para la escala a utilizada; estos valores se presenta en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3-** Valores de pesas de acuerdo a la escala adecuada

<b>PESAS</b>	<b>ESCALA</b>
A+B+C+D	60000 KP
A+B+C	30000 KP
A+B	12000 KP

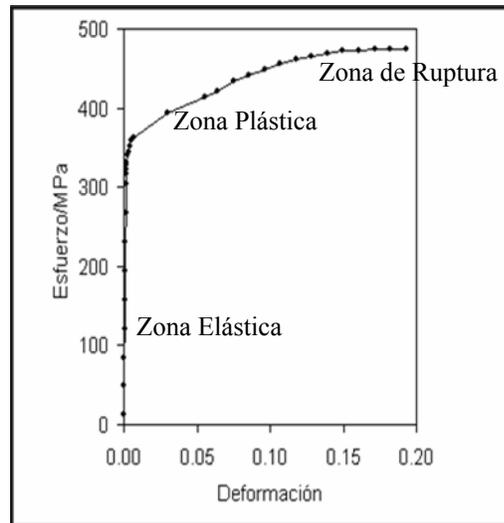
5. Se abrió la válvula de carga, girando el volante en sentido anti-horario, de manera que la aguja del cuadrante indicador de fuerza se mueva y quede en cero (0), momento en el cual se cerró la válvula de carga. Si la aguja del cuadrante no está en posición cero (0), se ajusta con las manos el tornillo situado en el lado derecho del pupitre de mando.
6. Se cerro la válvula de carga, regresando la aguja a la posición cero (0).
7. Se colocó la hoja de papel milimetrado alrededor del tambor registrador y la plumilla en la porta plumilla ubicada en la parte superior del tambor registrador.
8. Se conectó el amplificador de carga. Este paso se omite para ensayos de tracción del cordón de soldadura, porque no se calcula el esfuerzo de fluencia.
9. Se determinó el área transversal de la probeta por la ecuación 2.3:
10. Se colocó la probeta en la máquina, montando la probeta en el cabezal superior de la máquina mediante el contacto de accionamiento y se subió el cabezal inferior hasta una longitud adecuada de fijación, tratando que los extremos de la probeta estén bien centrados y bien sujetos por las cuñas de amarre.
11. Se preparó el extensómetro, colocándolo en el centro de la longitud calibrada (sección reducida) de la probeta, solo para probetas de metal base.

12. Se giró el tornillo del extensómetro en sentido horario hasta colocarlo en posición de funcionamiento (letra “F” hacia abajo) y asegurándose que el cabezal del mismo no haga contacto con las cuñas de fijación.
13. Se verificó que el indicador de cero del tambor este en posición inicial, para lo cual la ventana en el registrador del extensómetro debió estar en la zona blanca.
14. Se inició el ensayo, bajando el tambor hasta su tope, para lo cual el tambor de registro debió caer en el canal de rotación del amplificador de carga.
15. Se colocó la plumilla en la porta plumillas verificando que la tinta fluya libremente, y marcando sobre el papel 120 mm hacia abajo (0,5% de 50,8 mm por ampliación del extensómetro 450 veces), la gráfica que se dibujó sobre el papel milimetrado indicando la carga de fluencia.
16. Se abrió la válvula de carga hasta 3,5 mm/min girando la perilla en sentido anti horario y cuando la perilla hizo el recorrido los 120 mm, se desconectó el amplificador de carga rápidamente, bloqueando el extensómetro (letra “b” retirando de la probeta).
17. Se Aplicó una carga de 4,5 mm/min hasta que se rompiera la probeta y en ese momento la aguja indicadora de fuerza quedó fija indicando la carga máxima soportada por la probeta.
18. Luego se determinó el esfuerzo de fluencia en Kg/mm<sup>2</sup> ( $\sigma_f$ ) a través de la ecuación 2.4:
19. Se cerró la válvula de carga y se abrió la de descarga hasta que el cabezal móvil bajó completamente, luego se retiraron los trozos de probeta de la máquina.
20. Se calculó la carga de fluencia, para los casos de ensayo de tracción del metal base.
21. Se tomó la longitud final de la probeta, utilizando como referencia las dos 2 pulgadas (50 mm) marcadas antes del ensayo, para calcular el porcentaje de alargamiento.
22. Se retiró la probeta de la máquina y luego de unir los trozos de la misma, se midió la longitud final con un vernier. Para pruebas en el cuerpo del tubo, deben determinarse, el esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y el % de alargamiento después de la fractura.
23. Se retiró el papel milimetrado y se calculó la carga de fluencia de acuerdo a la gráfica estos valores son reflejados en la Tabla 3.4 y la escala utilizada. Multiplicando los milímetros que recorrió la grafica por la escala, el resultado será la carga de fluencia.

**Tabla 3.4-** Valores de la escala de acuerdo a los resultados equivalentes del gráfico

ESCALA	EQUIVALENTE GRAFICO
12000 KP	1 mm =75 Kg
30000 KP	1 mm = 150 Kg
60000 KP	1 mm = 300 Kg

24. Se calculó el esfuerzo máximo en Kg/mm<sup>2</sup> ( $T_m$ ) a través de la ecuación 2.5:
25. Se calculó el porcentaje de alargamiento de la probeta a través de la ecuación 2.6:
26. Se revisaron que los resultados de los cálculos cumpla con las especificaciones requeridas por las normas de fabricación.



**Figura 3.2-** Grafica de esfuerzo vs deformación.

En la Figura 3.2 se observa que en los materiales elásticos, en particular en muchos metales dúctiles, un esfuerzo de tracción pequeño lleva aparejado un comportamiento elástico. Eso significa que pequeños incrementos en la tensión de tracción comporta pequeños incrementos en la deformación, si la carga se vuelve cero de nuevo el cuerpo recupera exactamente su forma original, es decir, se tiene una deformación completamente reversible. Sin embargo, se ha comprobado experimentalmente que existe un límite, llamado límite elástico, tal que si cierta función homogénea de las tensiones supera dicho límite entonces al desaparecer la carga quedan deformaciones remanentes y el cuerpo no vuelve exactamente a su forma. Es decir, aparecen deformaciones no-reversibles. Este tipo de comportamiento elasto-plástico descrito más arriba es el que se encuentra en la mayoría de metales conocidos, y también en muchos otros materiales. El comportamiento perfectamente plástico es algo menos frecuente, e implica la aparición de deformaciones irreversibles por pequeña que sea la tensión, la arcilla de modelar y la plastilina se aproximan mucho a un comportamiento perfectamente plástico. Otros materiales además presentan plasticidad con endurecimiento y necesitan esfuerzos progresivamente más grandes para aumentar su deformación plástica total e incluso los comportamientos anteriores pueden ir acompañados de efectos viscosos, que hacen que las tensiones sean mayores en casos de velocidades de deformación altas, dicho comportamiento se conoce con el nombre de visco-plasticidad. La plasticidad de los materiales está relacionada con cambios irreversibles en esos materiales. A diferencia del comportamiento elástico que es termodinámicamente reversible, un cuerpo que se deforma plásticamente experimenta cambios de entropía, como desplazamientos de las dislocaciones. En el comportamiento plástico parte de la energía mecánica se disipa internamente, en lugar de transformarse en energía potencial elástica <sup>[9]</sup>.

Los datos utilizados para la homologación de la máquina conformadora en los ensayos de tracción metal base y tracción cordón se representan a continuación en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5-** Datos utilizados para los ensayos de tracción metal base y tracción cordón.

Norma de Fabricación	Orden de Producción (OP)	Tipo	Ancho de la probeta (mm)	Espesor de la probeta (mm)	Long Inicial (mm)
API- 5L- PSL1+EM+18/03	14-07	TB	38,3	9,6	50,8
		TC	38,3	9,2	50,8
API- 5L- PSL1	01-08	TB	37,5	12,7	50,8
		TC	37,5	12,7	50,8
AWWA-C-200:05	03-08	TB	38,0	6,5	50,8
		TC	38,1	6,5	50,8
AWWA-C-200:05	04-08	TB	38,0	6,5	50,8
		TC	38,0	6,5	50,8
API- 5L- PSL2+EM+18/03	08-07	TB	38,0	9,6	50,8
		TC	37,7	9,0	50,8
API- 5L- PSL2+EM+18/03	03-07	TB	38,0	8,0	50,8
		TC	38,0	8,0	50,8
API- 5L- PSL1+EM+18/03	19-07	TB	38,0	9,6	50,8
		TC	37,6	9,3	50,8
API- 5L- PSL1	12-07	TB	37,8	9,6	50,8
API- 5L- PSL1+EM+18/03	02-08	TB	37,7	12,8	50,8
		TC	38,0	12,7	50,8
API- 5L- PSL1+EM+18/03	02-06	TB	38,0	9,6	50,8
		TC	38,0	9,5	50,8
API- 5L- PSL2+EM+18/03	15-07	TB	38,0	8,0	50,8
		TC	38,0	8,0	50,8

Donde:

TB: Tracción base

TC: Tracción cordón.

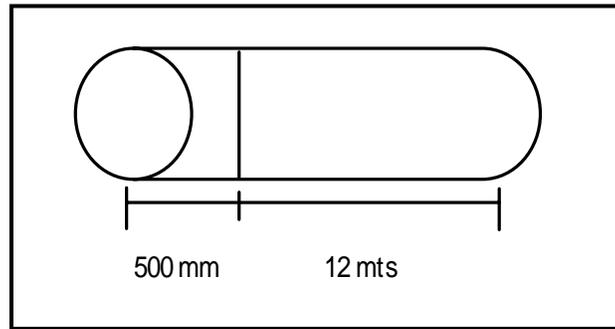
### 3.2.2.3.- Ensayo de impacto Charpy

El ensayo por impacto Charpy tiene como objetivo determinar la cantidad de energía absorbida por el material, este ensayo se aplica para aquellas tuberías PSL2 ya que son especialmente para la conducción de gas o a exigencia del cliente; se realiza en la máquina de impacto Charpy, marca Tinius Olsen, modelo 84 Impact. Para realizar el ensayo existe práctica operativa, el método utilizado comprende los siguientes pasos:

Para cortar la probeta:

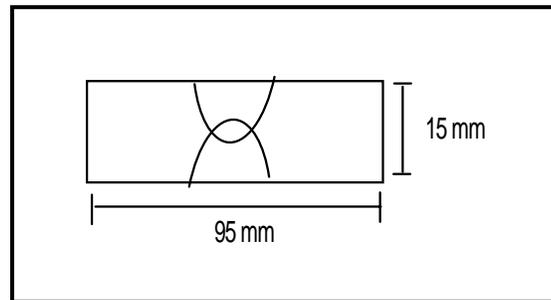
1. Preparación de probetas, marcando con un anillo de color blanco el extremo del tubo para identificar el tubo asignado para el ensayo.
2. Se cortó un anillo de 500 mm o 600 mm adicionales a la longitud del tubo identificado, utilizando el equipo de oxicorte, ubicando el carro de oxicorte a una distancia aproximada de 3m y asegurándose de colocar el tendido de la manguera, de tal manera que no entrara

en contacto con el anillo cortado al momento de la caída del mismo tal como se muestra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3-** Dimensiones del anillo del tubo para el ensayo Charpy

3. Se marcó con las plantillas respectivas los cupones de doblado tracción y Charpy en el anillo en cuestión, procediendo con el equipo de oxicorte a cortar los cupones marcados para el ensayo Charpy, aproximadamente 15 mm x 95 mm como se representa en la Figura 3.4.



**Figura 3.4-** Plantillas de los cupones para el ensayo Charpy

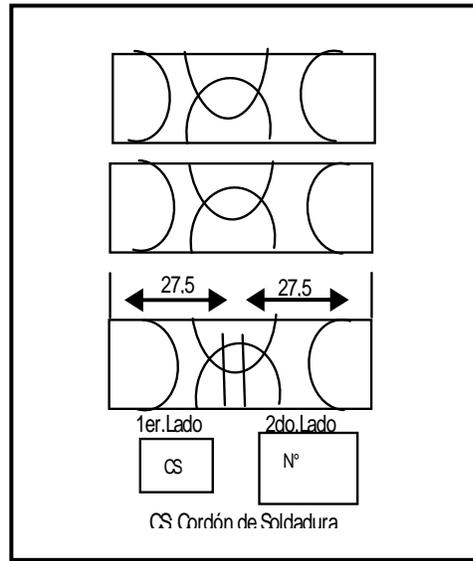
Aprobación de lote: 3 probetas

Aprobación de colada: 3 probetas

Homologación de par: 5 probetas.

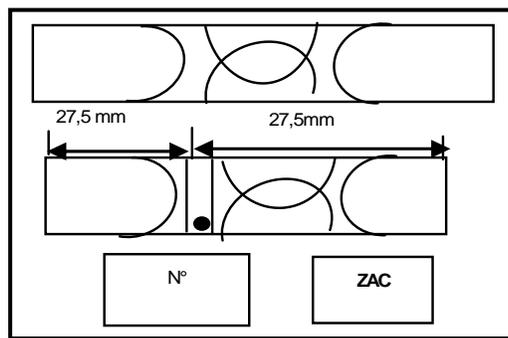
Para la soldadura:

1. En la soldadura, se esmerilaron los cordones de soldadura a nivel material base.
2. Se preparó una solución de nital al 20% (Acido Nítrico 20% y 80% de alcohol etílico).
3. Se atacó el cordón de soldadura por su parte frontal con la solución de nital (esto permite ubicar el cordón de soldadura y observar su ubicación y geometría).
4. Se marcó con el centro punto, en la Figura 3.5 se muestra el punto central de unión de ambas soldaduras.



**Figura 3.5-** Punto de unión entre ambas soldadura

5. Se midió del punto marcado anteriormente 27,5 mm a ambos lados de la probeta.
6. Se cortó la probeta, usando la sierra, en la marca de ambos extremos, para así dejar una longitud de 55 mm, identificando la probeta en ambos lados.
7. Se procedió con el uso de la rectificadora, al acabado de la probeta, de acuerdo a las dimensiones, este acabado debe ser dado usando los cuatro lados de la probeta, ya que sus extremos han sido acabados y marcados.
8. La zona afectada por el calor se representa en la Figura 3.6, según lo observado, la marca con un centro punto; a partir de ese punto se midió 27,5 mm a cada lado de la probeta.



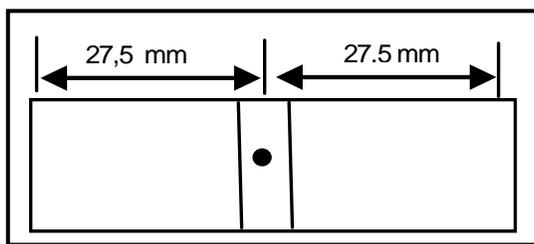
**Figura 3.6-** Zona afectada por el calor

9. Se realizó cortes con la sierra cinta en ambos lados, para obtener una longitud de 55 mm, en cuyos lados se identificó la probeta.

10. Se procedió con el uso de la rectificadora al acabado de la probeta según las dimensiones.

Para la probeta metal base:

1. Se preparó la probeta marcándole sus dimensiones de 27,5 mm en ambos lados a partir del centro de la probeta como se muestra en la Figura 3.7.



*Figura 3.7- Preparación de probeta metal base*

2. Se realizó cortes en ambos lados con el uso de la sierra cinta, para dejar una probeta de 55 mm, identificando la probeta.
3. Se procedió con el uso de la rectificadora al acabado de la probeta de acuerdo a las dimensiones establecidas en la norma.
4. Se realizó la entalla de la probeta en la máquina. (2 mm de profundidad).
5. Se verificó las medidas de cuatro probetas, con las dimensiones estándar con vernier y midió la longitud, ancho y espesor de cada una de las mismas.
6. Se ensayó 5 probetas para la homologación del par de soldadura, a temperatura de baño (Alcohol etílico + CO<sub>2</sub>), se ensayaron 3 probetas para aprobación de tuberías y/o materia prima, durante 5 min a 0° C.

Preparar el ensayo:

1. Se colocaron las probetas en el recipiente que contuvieran suficiente alcohol de modo que quedaran sumergidas, posteriormente se introdujo el termómetro en el orificio superior izquierdo del recipiente para medir la temperatura de la probeta.
2. Se conectó la manguera de la bombona CO<sub>2</sub>, dentro del orificio del recipiente, se abrió la llave de la bombona para que las probetas tomaran el baño correspondiente en un lapso de 5 min. Bajo temperatura requerida.
3. e abrió la rejilla y con una pinza de Charpy, se tomó la probeta justamente en la ranura y se colocó dentro de la zona de ensayo, ubicado sobre la base del equipo los valores individuales para cualquier pieza de prueba deben ser  $\geq 75\%$  de los valores mínimos de la energía real absorbida promedio (para un conjunto de tres piezas de prueba).

S

4. Se quitó el seguro, tomó la palanca y se haló hacia abajo, para que el péndulo cayera y golpeará el lado contrario de la entalla de la probeta, se retiraron los pedazos de probetas y se colocaron en la mesa de evaluación.
5. Se registró el resultado obtenido en la escala del equipo, en el cuaderno de ensayos Charpy, se calculó el promedio correspondiente y finalmente los resultados en el formulario “Informe de Ensayo por Impacto Tipo Charpy”.

Determinación de la energía real absorbida:

$$Energia Real Absorbida = \frac{80 \cdot Energia Absorbida}{Área bajo la Ranura (mm^2)} \quad (Ec. 3.1)$$

En la Tabla 3.6 se muestran los datos para los ensayos de impacto de Charpy.

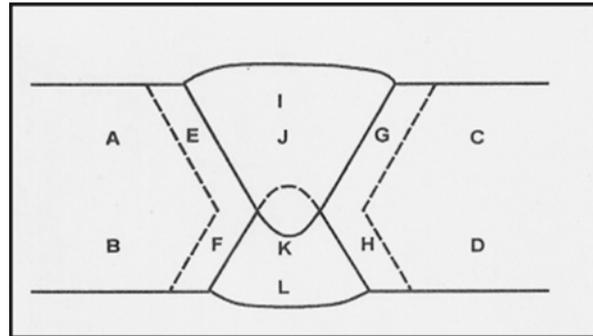
**Tabla 3.6-** Datos para los ensayos de impacto Charpy.

Norma de fabricación de tubería	Calidad de acero	Tubo N°
API- 5L-PSL1+EM+18/03	°B	01
API- 5L- PSL2+EM+18/03	X52	03
API- 5L- PSI2+EM+18/03	X52	01
API- 5L-PSL1+EM+18/03	°B	01
API- 5L- PSL1+EM+18/03	X60	01
API- 5L- PSL1+EM+18/03	°B	01
API- 5L- PSL1+EM+18/03	X52	02
API- 5L- PSL1+EM+18/03	°B	05

#### 3.2.2.4.-Ensayo de dureza

El ensayo de dureza se realiza, cuando el cliente requiera fabricar tuberías bajo los requerimientos de la Especificación EM-18-00/03, este estudio se lleva a cabo a una muestra transversal de un tubo de cada colada y ningún valor individual debe exceder 250HV (HRC 22); el equipo utilizado es un durómetro de marca Willson / Rockwell, modelo 504-R y se rigió por la práctica operativa cuyos puntos más importantes son los siguientes:

1. Se verificó que la superficie de la muestra a ensayar este completamente plana, preferiblemente rectificada, y cortada de tal manera que pueda ser firmemente apoyada sobre la superficie del tornillo elevador.
2. Se colocó la muestra a ensayar sobre la superficie del tornillo elevador como se muestra en la Figura 3.8.



**Figura 3.8-** Superficie de la probeta para el ensayo de dureza.

3. Se colocó la manivela de agarre, ubicada a la derecha del equipo, en su posición más adelantada.
4. Se seleccionó la escala, la carga y el penetrador, según el material a ensayar. Dichas escalas fueron:

- Rockwell B:

Escala = roja

Penetrador = bola de acero  $\varnothing 1/16''$

Carga mayor = 100 kgf.

Carga menor = 10 kgf.

- Rockwell C:

Escala = negra

Penetrador = Punta de Diamante

Carga mayor = 150 kgf.

Carga menor = 10 kgf.

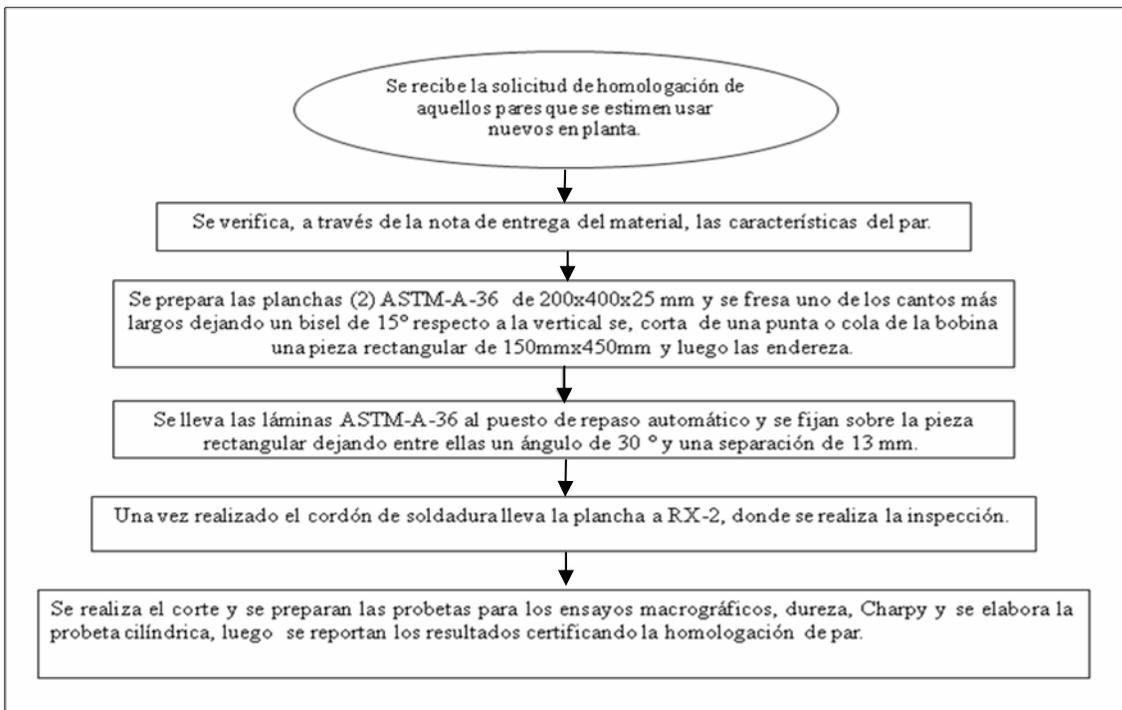
Si no se conoce el material a ensayar, se debe empezar por la escala más alta (Rockwell C). Si el material es muy duro puede dañar el penetrador, aquellas durezas inferiores a 21RC se hacen en Rockwell B.

5. Se giró suavemente el volante elevador hasta que el penetrador haga contacto con la probeta.
6. Se presionó la barra liberadora de carga, la manivela de agarre se mueve hacia atrás.
7. Se retornó la manivela de agarre, la cual se mueve hacia atrás, cuando la aguja grande se detiene. Según manual del instructivo.
8. Se leyó el valor de dureza en la escala seleccionada. Todos los datos de estos ensayos se representan en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7-** Datos para realizar el ensayo de dureza

Norma de fabricación de tubería	Calidad del acero	Tubo N°
API- 5L-PSL1+EM+18/03	°B	01
API- 5L- PSL2+EM+18/03	X52	03
API- 5L- PSL2+EM+18/03	X52	01
API- 5L-PSL1+EM+18/03	°B	01
API- 5L-PSL1+EM+18/03	X60	01
API- 5L-PSL1+EM+18/03	°B	06
API- 5L-PSL1+EM+18/03	X52	02
API- 5L-PSL1+EM+18/03	°B	05

**3.2.3.- Homologación del par (alambre y fundente):** Este procedimiento se lleva a cabo según las especificaciones de la norma AWS-A5-17, el proceso se describe a continuación en la Figura 3.9<sup>[14]</sup>.



**Figura 3.9-** Diagrama de flujo del proceso homologación de par (alambre y fundente).

Los datos para llevar a cabo la homologación de par (alambre-fundente) fueron los mismos para las distintas producciones de tubos, obviamente de cambiar el par (alambre-fundente) todas las demás características entre par y el metal base cambiarían, ya que cada uno de ellos poseen propiedades químicas y mecánicas definidas, es importante determinar la

combinación entre los tres materiales. Los datos usados se muestran en las siguientes Tablas 3.8, 3.9 y 3.10 los cuales fueron obtenidos en la unidad de laboratorio de la empresa HELVESA.

**Tabla 3.8-** Datos del análisis químico de la homologación del par (alambre y fundente)

ANALISIS QUIMICO				
% Si	% Mn	% C	% P	% S
0,930	1,780	0,050	0,016	0,003

**Tabla 3.9-** Datos del ensayo de tracción para la homologación del par (alambre-fundente)

ENSAYO DE TRACCIÓN	
ESPESOR (mm)	LONGITUD INICIAL (mm)
12,7	50,8

**Tabla 3.10-** Datos de la homologación del par (alambre y fundente)

HOMOLOGACIÓN DE PAR ALAMBRE - FUNDENTE			
HOMOLOGACION REALIZADA SEGÚN LA NORMA AWS A5.17			
ESPECIFICACIONES DE LA PRUEBA			
MATERIAL DE APORTE:			
ALAMBRE			
MARCA: LINCOLN WELD	TIPO: L-61		
CLASIFICACIÓN AWS: EMI2K	DIAMETRO: 5/32"		
FUNDENTE:			
MARCA: LINCOLN WELD	TIPO: 780	CLASIFICACION AWS: F7A2	
PARAMETROS DE SOLDADURA:			
CORRIENTE: X	INTENSIDAD (A): 510	TENSIÓN (V): 32-33	VELOCIDAD (m/min.): 0.50
NUMERO DE PASES: 18		TEMPERATURA ENTRE PASES (°C): 149	
<p>PREPARACION DEL BISEL:</p> <p>MATERIAL BASE ASTM A 36</p>			

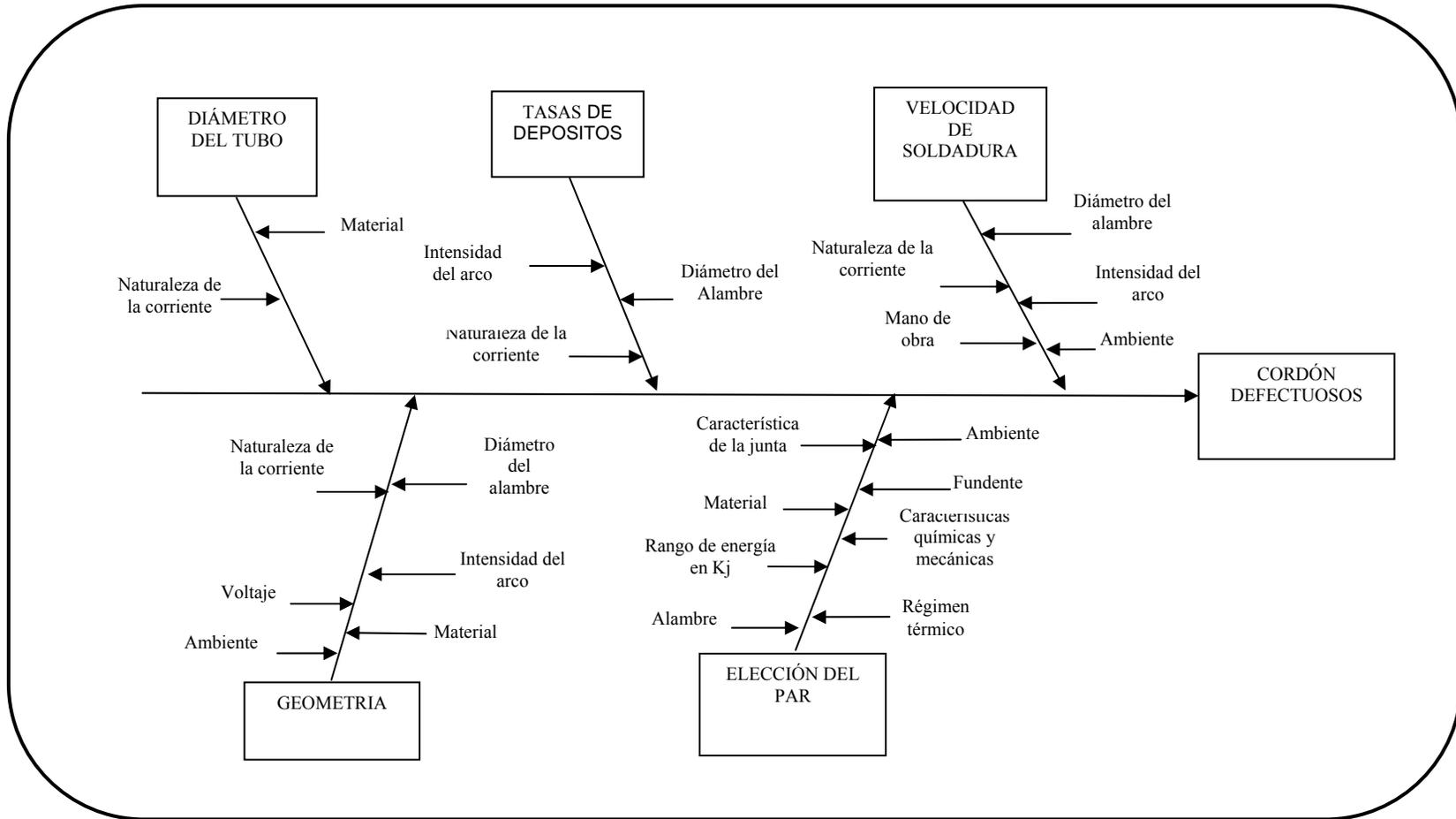
El resultado de la grafica (esfuerzos vs deformación) se observa en el Anexo D en la Figura D.1. Luego de aprobar la materia prima mediante los ensayos químicos y mecánicos realizados, se estiman los parámetros para la máquina conformadora partiendo de las especificaciones del fabricante del equipo de acuerdo al espesor de la lámina y el diámetro del tubo, estos parámetros se representan en la Tabla 3.11. Las especificaciones dadas por el fabricante no consideraban la calidad del material y no coincidían con los espesores solicitados por los clientes de la empresa, razón por la cual dichos parámetros (los del fabricante) han tenido poca aplicabilidad y por ende surge la necesidad de elaborar una nueva tabla donde se hagan estas consideraciones.

**Tabla 3.11-** Especificaciones de los parámetros eléctricos de la Lincoln <sup>[15]</sup>.

ESPEJOR (mm)	DIAMETRO (")	AMPERAJE (amp)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (m/min)
12	16	710	28	0,85
13	16	730	28	0,80
6	16	580	27	1,40
7	16	600	27	1,30
9	16	660	28	1,15
10	16	680	28	1,00
7	16	600	27	1,30
8	16	630	27	1,20
9	20	640	26	1,15
10	20	660	26	1,00
6	20	570	26	1,40
7	20	600	26	1,30
9	20	640	26	1,50
10	20	660	26	1,00
9	24	660	26	1,95
10	24	700	27	1,00
9	30	660	26	1,15
10	30	670	27	1,00

A medida que el tubo se va fabricando, se ajustan los parámetros de operación con el objetivo de lograr un cordón de soldadura libre de impurezas y discontinuidades. Una vez elaborado el tubo es sometido a ensayos de fluoroscopia, donde se inspecciona el cordón de soldadura en un 100%, si el tubo está libre de discontinuidades se corta el anillo del cual se toman las probetas a ensayar aplicando tracción y doblado de acuerdo a los requisitos de la norma API-5L; se anotan las condiciones de fabricación en cuanto a parámetros de soldadura interna, externa. De aprobar el tubo en todos los ensayos realizados, sin presentar ninguna anomalía la máquina conformadora queda homologada e inmediatamente se emite, por parte del Departamento de Control de Calidad, un certificado de homologación para dicha máquina. A partir de esta certificación, se comienza la fabricación de los demás tubos y se supone que no deberían presentarse defectos a lo largo de la ejecución del pedido, pero se pueden presentar durante el proceso variaciones inesperadas en los parámetros operacionales (fallas eléctricas, condiciones ambientales adversas), la presencia de impurezas y materiales extraños en la materia prima, además de las malas condiciones mecánicas y eléctricas de los equipos. Las discontinuidades que pueden generarse durante el proceso son las siguientes: poros, grietas, desalineación del cordón, mordedura, escorias, falta de penetración y fusión.

A fin de diagnosticar los parámetros que producen las fallas en el cordón de soldadura, se elaboraron los diagramas causa-efecto, basándose en la información teórica recopilada y las entrevistas no estructuradas a los operadores y supervisores, representándolas en la Figura 3.10.



*Figura 3.10- Diagrama de causa y efecto de los parámetros de operación de la máquina conformadora.*

**3.3.- RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN CON LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DESDE EL 2006 HASTA LA FECHA.**

Se realizó este objetivo elaborando tablas donde se representa la composición química de la materia prima variando el diámetro y el espesor, analizando cómo influyen los parámetros operacionales, basándose en la experiencia durante los años (2006 al 2008).

En la Tabla 3.12 se representa la variación de los parámetros de operación para un mismo espesor de lámina y calidad de acero al variar el diámetro del tubo. La intensidad de corriente de las soldaduras interna y externa aumenta al incrementar el diámetro del tubo, lo que causa una disminución de la velocidad mientras el voltaje permanece constante y así obtener una buena penetración, logrando un buen cordón de soldadura.

**Tabla 3.12-** Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 variando el diámetro del tubo.

CALIDAD DEL ACERO	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO					DIÁMETRO DEL TUBO (Pulgadas)	ESPESOR DE LA LÁMINA (mm)	PARÁMETROS DE LA MÁQUINA				
	C	Mn	Ti	S	P			Velocidad (m/min)	Sold Inter (Amp)	Voltaje (Voltio)	Sold Exter (Amp)	Voltaje (Voltio)
API-5L-°B	0,19	1,02	0	0,03	0,03	20	9,52	0,85	630	29	720	31
API-5L-°B	0,17	0,92	0	0,03	0,03	30	9,52	0,82	640	28	740	31

Donde:

Sold Inter: soldadura interna

Sold Exter: soldadura externa

En la Tabla 3.13 se representa la variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos AWWA variando el diámetro del tubo. La intensidad de corriente de la soldadura interna disminuye, mientras que en la soldadura externa aumenta al incrementar el diámetro del tubo, lo que causa un aumento de la velocidad mientras el voltaje se reduce y así obtener una buena penetración, logrando un buen cordón de soldadura.<sup>[16]</sup>

**Tabla 3.13-** Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos AWWA variando el diámetro del tubo.

CALIDAD DEL ACERO	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO					DIÁMETRO DEL TUBO (Pulgadas)	ESPESOR DE LA LÁMINA (mm)	PARÁMETROS DE LA MÁQUINA				
	C	Mn	Ti	S	P			Velocidad (m/min)	Sold Inter (Amp)	Voltaje (Voltio)	Sold Exter (Amp)	Voltaje (Voltio)
AWWA°B	0,20	1,01	0	0,03	0,03	16	6,35	0,85	408	29	484	29
AWWA°B	0,21	1,00	0	0,03	0,03	20	6,35	0,90	405	27	510	28

En la Tabla 3.14, se representa la variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL2 variando el espesor de la lámina. La intensidad de corriente de la soldadura interna y externa disminuye al reducir el espesor de la lámina, lo que causa un aumento de la velocidad mientras el voltaje se mantiene constante, obteniéndose así una buena penetración y logrando un buen cordón de soldadura.

**Tabla 3.14-** Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL2 variando el espesor de la lámina

CALIDAD DEL ACERO	COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO					DIÁMETRO DEL TUBO (Pulg)	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	PARÁMETROS DE LA MÁQUINA				
	C	Mn	Ti	S	P			Velocida (m/min)	Sold Inter (Amp)	Voltaje (V)	Sold Exter (Amp)	Voltaje (V)
X52	0,11	1,28	0	0,015	0,025	16	9,52	0,85	620	29	690	31
X52	0,10	1,35	0	0,015	0,025		7,92	0,90	580	29	660	31

En la Tabla 3.15, se representa la variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API- PSL1 variando la calidad del acero. La intensidad de corriente de la soldadura interna y externa aumenta al tener una calidad de acero X60, lo que quiere decir que posee mayor cantidad manganeso y que su límite de fluencia mínimo es de 60000Psi a diferencia de un acero grado B, manteniendo una velocidad y un voltaje constantes, obteniéndose entonces una buena penetración y logrando un buen cordón de soldadura.

**Tabla 3.15-** Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API- PSL1 variando la calidad del acero.

CALIDAD DEL ACERO	COMPOSICIÓN QUIMICA DEL ACERO					DIÁMETRO DEL TUBO (Pulgadas)	ESPESOR DE LA LÁMINA (mm)	PARÁMETROS DE LA MÁQUINA				
	C	Mn	Ti	S	P			Velocidad (m/min)	Sold Inter (Amp)	Voltaje (Voltio)	Sold Exter (Amp)	Voltaje (Voltio)
°B	0,19	0,93	0	0,03	0,03	20	9,52	0,85	630	29	720	31
X60	0,15	1,19	0	0,015	0,025			0,85	640	29	740	31

En la Tabla 3.16, se representa la variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API- PSL1 variando la calidad del acero y espesor de la lámina. La intensidad de corriente de la soldadura interna y externa disminuye cuando se reduce el espesor de la lámina, causando un incremento de la velocidad y del voltaje, para obtener una buena penetración y lograr un buen cordón de soldadura.

**Tabla 3.16-** Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API- PSL1 variando la calidad del acero y espesor de la lámina.

CALIDAD DEL ACERO	COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO					DIAMETRO DEL TUBO (Pulgadas)	ESPESOR DE LA LAMINA (mm)	PARAMETROS DE LA MAQUINA				
	C	Mn	Ti	S	P			Velocidad (m/min)	Sold Inter (Amp)	Voltaje (Voltio)	Sold Exter (Amp)	Voltaje (Voltio)
°B	0,13	0,95	0,00	0,03	0,03	16	12,7	0,75	752	28	790	30
X52	0,10	1,35	0,04	0,03	0,03		9,52	0,85	640	29	740	31

### 3.4- ESTABLECER UNA TABLA DE PARÁMETROS OPERACIONALES DE ACUERDO CON LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA.

Durante el desarrollo de este objetivo se necesitó como punto de partida las especificaciones del fabricante de la máquina conformadora, tomando en cuenta sólo los espesores que coinciden con las normas de fabricación de los diferentes diámetros de tubos; de manera que se pudieran comparar estas especificaciones con lo que realmente se tiene. Luego se elaboró una tabla considerando las características de las órdenes de producción tales como:

- Normas de fabricación del tubo
- Calidad del acero
- Composición química del acero
- Diámetro del tubo

- Espesor de la lámina
- Alambre de la soldadura
- Fundente de la soldadura
- Parámetros de operación

Cuyos valores se obtuvieron durante la homologación de la máquina conformadora al medir la velocidad, amperaje y voltaje. Todo esto con la finalidad de proporcionar una información más detallada y adecuada a los requerimientos del cliente.

## ***CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***

### **4.1- MUESTRA DE LAS HOMOLOGACIONES DE MÁQUINA CONFORMADORA RECOLECTADAS DURANTE LOS SEGUIMIENTOS**

Todas las pruebas que fueron obtenidas de los seguimientos se muestran en la Tabla 4.1, especificando el tubo donde ocurre la homologación de la máquina conformadora de acuerdo a cada caso; es importante destacar que la distribución de las ordenes de producción (OP) va de acuerdo al número de homologación, no al año de fabricación del pedido y el orden que guarda fue de acuerdo a la relación que se estableció en la sección 3.3 del capítulo III.

**Tabla 4.1-** Resultados de las homologaciones de la máquina conformadora “A”.

<b>Calidad del acero</b>	<b>Norma de fabricación</b>	<b>Diámetro del tubo (pulg)</b>	<b>Espesor de la lamina (mm)</b>	<b>OP</b>	<b>Tubo en que se homologo</b>
API-5L-°B	API-5L-PSL1+EM-18/03	20	9,52	14-07	01
API-5L-°B	API-5L-PSL1	30	9,52	01-08	02
API-5L-°B	AWWA-C-200:05	16	6,35	03-08	03
API-5L-°B	AWWA-C-200:05	20	6,35	04-08	03
API-5L-X52	API-5L-PSL2+EM-18/03	16	9,52	08-07	03
API-5L-X52	API-5L-PSL2+EM-18/03	16	7,92	03-07	01
API-5L-°B	API-5L-PSL1+EM-18/03	20	9,52	19-07	01
API-5L-X60	API-5L-PSL1	20	9,52	12-07	01
API-5L-°B	API-5L-PSL1+EM-18/03	16	12,7	02-08	06
API-5L-X52	API-5L-PSL1	16	9,52	02-06	02
API-5L-°B	API-5L-PSL1+EM-18/03	24	9,52	15-07	05
API-5L-X52	API-5L-PSL2+EM-18/03	16	9,52	03-07	01

Como se puede observar en la Tabla 4.1 las homologaciones de la máquina conformadora no siempre ocurren en la fabricación del primer tubo que sería lo ideal, a medida que transcurre este proceso los parámetros se van ajustando tratando de buscar la mejor penetración de los dos materiales (alambre y fundente) en el metal base, hasta garantizar un cordón de soldadura que cumpla con las especificaciones y la normativa.

### **4.2- ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS QUÍMICOS Y MECÁNICOS DURANTE LA HOMOLOGACIÓN.**

En el desarrollo del trabajo, se tomaron los datos para la realización de los ensayos durante la homologación de máquinas conformadoras, de esta práctica experimental se obtuvieron las siguientes tablas de resultados para cada una de las producciones.

**4.2.1- Resultados de los ensayos de análisis químicos**

Con el fin de facilitar la discusión de resultados, se tomaron los análisis químicos realizados a cada una de las producciones según su orden, obteniendo el valor del carbono equivalente para cada colada, de donde se tomó el tubo probeta para homologar la máquina conformadora, estos resultados se muestran en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2-** Resultados de la composición química de las coladas según su orden de producción trabajada con la máquina conformadora “A”

Calidad del acero	Diámetro del tubo (pulg)	Espesor de la lamina (mm)	Tubo	Colada	% C	% Mn	% Cr	% Mo	% V	% Cu	% Ni	CE %
PSL1-°B	16	12,7	06	580395	0,1300	0,9540	0,0047	0,0013	0,0067	0,0551	0,0162	0,30
	20	9,52	01	170936	0,1940	1,0200	0,0017	0,0009	0,0073	0,0523	0,0039	0,38
				571789	0,1910	0,9330	0,0007	0,0008	0,0086	0,0402	0,0022	0,35
	24		05	670668	0,2000	0,9830	0,0007	0,0008	0,0073	0,0559	0,0055	0,37
30	02		573663	0,1740	0,9260	0,0007	0,0008	0,0072	0,0590	0,0072	0,33	
AWWA-°B	16	6,35	03	281334	0,2000	1,0100	0,0007	0,0008	0,0006	0,0325	0,0070	0,37
	20			181575	0,2100	1,0000	0,0007	0,0008	0,0066	0,0476	0,0017	0,39
PSL2-X52	16	7,92	01	263232	0,1040	1,3500	0,0068	0,0008	0,0673	0,0589	0,0073	0,35
		9,52	01	263232	0,1040	1,3500	0,0068	0,0008	0,0673	0,0589	0,0073	0,35
			02	654544	0,1020	1,2000	0,0007	0,0008	0,0567	0,0413	0,0017	0,32
			03	563498	0,1130	1,2800	0,0007	0,0008	0,0628	0,0571	0,0194	0,34
PSL1-X60	20	9,52	01	271058	0,1500	1,1900	0,0015	0,0047	0,0680	0,0513	0,37	

En la Tabla 4.2 se observan cuatro calidades de aceros a diferentes diámetros del tubo y espesores de lámina, especificando las coladas que fueron sometidas al análisis químico por espectrometría de masa, para luego determinar el porcentaje de carbono equivalente. Las producciones de tuberías PSL1-°B, cumplen con las especificaciones de la norma según la API-5L, el porcentaje de carbono máximo no se debe exceder de 0,28% y del manganeso 1,20%; obteniendo un carbono equivalente dentro del rango entre [0,25-0,43]. Para un PSL1-X52 el porcentaje de carbono máximo no debe exceder de 0,28% y para el manganeso 1,40%; obteniendo un carbono equivalente dentro del rango entre [0,25-0,43]. Para un PSL1-X60 el porcentaje de carbono máximo no debe exceder de 0,28% y para el manganeso 1,40%; obteniendo un carbono equivalente dentro del rango entre [0,25-0,43], tal como se muestra en la Tabla 2.2.

Para las producciones de tuberías PSL2-X52, cumplen con la norma según la API-5L, el porcentaje de carbono máximo no se debe exceder de 0,18%; del manganeso 1,50%; obteniendo un carbono equivalente dentro del rango entre [0,25-0,43], tal como se muestra en la Tabla 2.3. En términos generales todas las composiciones de las coladas analizadas

satisfacen los requerimientos de la norma, aquella colada que presente una composición química fuera de especificación será rechazada.

**4.2.2- Resultados de los ensayos de tracción**

El primer paso que se dio para realizar el análisis de los ensayos mecánicos fue clasificar las producciones de tuberías según el planteamiento de la tabla 3.1. Luego para conocer las propiedades mecánicas del material a utilizar se realizó el ensayo de tracción base y tracción cordón con la finalidad de determinar las mismas a través de la máquina de ensayo de tracción universal, emitiendo la gráfica de fluencia vs deformación, para obtener los valores de la carga de fluencia y del esfuerzo de fluencia; ya que estos son necesario para cálculo de porcentaje de alargamiento de la probeta, cumpliendo con los requisitos de la norma API-5L, los resultados de los ensayos de tracción realizados en el tubo probeta y las gráficas de esfuerzo vs deformación del material se muestran en la Tabla 4.3 y en el Anexo D respectivamente.

**Tabla 4.3-** Resultados de los ensayos mecánicos tracción base (TB) y tracción cordón (TC).

Calidad del acero	Tubo	Diámetro del tubo (pulg)	Espesor de la lámina (mm)	TIPO	Área Trans Ao (mm <sup>2</sup> )	Carga fluencia Pf (Kg)	Esfuerzo Fluencia $\sigma_f$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima Pm (Kg)	Esfuerzo Máximo Tm (Kg/mm <sup>2</sup> )	Long Final Lf (mm)	Alargam
PSL1-°B	01	20	9,52	TB	367,68	14100,00	38,35	17500,00	47,60	72	42
				TC	352,36	-----	-----	18400,00	52,22	-----	-----
PSL1-°B	02	30	9,52	TB	360,00	15900,00	44,17	17800,00	49,44	72,5	43
				TC	362,88	-----	-----	18400,00	50,71	-----	-----
AWWA-°B	03	16	6,35	TB	248,30	96000,00	38,67	12350,00	49,74	71	40
				TC	236,84	-----	-----	13050,00	55,10	-----	-----
AWWA-°B	03	20	6,35	TB	248,30	96000,00	38,67	12350,00	49,74	71	40
				TC		-----	-----	13050,00	55,1	-----	-----
PSL2-X52	03	16	9,52	TB	364,80	16500,00	45,23	19700,00	54,01	70	38
				TC	339,30	-----	-----	19300,00	56,89	-----	-----
PSL2-X52	01	16	7,92	TB	304,00	13500,00	43,10	15000,00	49,35	71	40
				TC		-----	-----	16100,00	-----	-----	-----
PSL1-°B	01	20	9,52	TB	364,80	12600,00	34,54	16400,00	44,96	72	42
				TC	349,68	-----	-----	17500,00	-----	-----	-----
PSL1-X60	01	20	9,52	TB	362,88	18000,00	49,61	21800,00	60,08	70,5	39
				TC	363,85	-----	-----	22000,00	-----	-----	-----
PSL1-°B	06	16	12,7	TB	364,80	15000,00	41,12	17800,00	48,79	72,5	43
				TC	357,12	-----	-----	18800,00	52,64	-----	-----

**Tabla 4.3-** Resultados de los ensayos mecánicos tracción base (TB) y tracción cordón (TC) (continuación).

Calidad del acero	Tubo	Diámetro del tubo (pulg)	Espesor de la lámina (mm)	TIPO	Área Trans Ao (mm <sup>2</sup> )	Carga fluencia Pf (Kg)	Esfuerzo Fluencia $\sigma f$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima Pm (Kg)	Esfuerzo Máximo Tm (Kg/mm <sup>2</sup> )	Long Final Lf (mm)	Alargam
PSL1- °B	05	24	9,52	TB	364,80	12900,00	35,37	17500,00	47,98	72	42
				TC	362,90	-----	-----	17800,00	49,05	-----	-----
PSL2- X52	01	16	9,52	TB	304,00	13500,00	43,10	15000,00	49,35	71	40
				TC	-----	-----	-----	16100,00	50,71	-----	-----

**4.2.3- Resultados de los ensayos de impacto Charpy**

El ensayo de impacto Charpy se les realizó a aquellas fabricaciones de tuberías para transportar gas que fueran PSL2 y en aquellas exigidas por el cliente para una fabricación PSL1. Con el objetivo de conocer la cantidad de energía que absorbe el material se tomaron un total de tres muestras para obtener un promedio de la energía absorbida, hay que resaltar que los niveles de exigencia para la fabricación de tuberías PSL2 son mayores. Los valores obtenidos por la máquina de ensayo de impacto Charpy para determinar la cantidad de energía absorbida promedio y la cantidad de energía real absorbida se muestran en las Tablas 4.4 y 4.5 respectivamente.

**Tabla 4.4-** Resultados de los ensayos por impacto Charpy para la energía absorbida promedio.

Calidad del acero	Diámetro del tubo (pulg)	Espesor de la lámina (mm)	COLADA	TUBO	UBICACIÓN ENTALLA		ENERGIA ABSORBIDA (Kg-m)			
					METAL BASE	SOLDADURA	1	2	3	PROMEDIO
PSL1- °B	20	9,52	170936	01-A	----	X	8,00	9,00	5,50	7,50
					X	----	13,00	13,00	15,00	13,67
PSL2- X52	16	9,52	563498	03-A	----	X	14,00	13,00	13,00	13,33
					X	----	11,00	12,00	13,00	12,00
PSL2- X52	16	7,92	263232	01-A	----	X	10,00	9,00	11,00	10,00
					X	----	19,00	16,00	16,00	17,00
PSL1- °B	20	9,52	571789	01-A	----	X	7,00	7,00	8,00	7,33
					X	----	16,00	16,00	22,00	18,00
PSL1- X60	20	9,52	271058	01-A	----	X	5,00	5,00	5,00	5,00
					X	----	14,00	14,00	15,00	14,33
PSL1- X52	16	9,52	654544	02-A	----	X	8,00	8,90	11,00	9,30
					X	----	30,00	30,00	30,00	30,00
PSL1- °B	24	9,52	670668	05-A	----	X	5,00	7,00	6,00	6,00
					X	----	20,00	15,00	20,00	18,33

Para determinar la cantidad de energía realmente absorbida por el material se utilizó la ecuación 3.1, obteniendo un promedio de esta propiedad y estos resultados se representan en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5-** Resultados de los ensayos por impacto Charpy para la energía real absorbida.

Calidad del acero	Diámetro del tubo (pulg)	Espesor de la lámina (mm)	Colada	Tubo	UBICACIÓN ENTALLA		ENERGIA REAL ABSORBIDA (kg-m)			
					METAL BASE	SOLDADURA	1	2	3	PROMEDIO
PSL1-°B	20	9,52	170936	01		X	10,64	11,97	7,32	9,98
					X		17,29	17,29	19,95	18,18
PSL2-X52	16	9,52	563498	03		X	24,00	22,00	22,00	22,67
					X		20,00	21,00	23,00	21,33
PSL2-X52	16	7,92	263232	01		X	20,00	18,00	22,00	20,00
					X		38,00	32,00	32,00	34,00
PSL1-°B	20	9,52	571789	01		X	9,31	9,31	10,64	9,75
					X		21,28	21,28	29,26	23,94
PSL1-X60	20	9,52	271058	01		X	6,65	6,65	6,65	6,65
					X		18,62	18,62	19,95	19,06
PSL1-X52	16	9,52	654544	02		X	10,64	11,83	14,63	12,37
					X		39,90	39,90	39,90	39,90
PSL1-°B	24	9,52	670668	05		X	6,65	9,31	7,98	7,98
					X		26,6	19,95	26,6	24,38

**4.2.4- Resultados de los ensayos de dureza**

En los análisis de los ensayos de dureza se le realizaron a aquellas producciones de tuberías PSL2 para cumplir con las exigencia de las especificaciones EM- 18/03 para la conducción de tuberías de gas y al PSL1 por requerimiento del cliente, determinando la resistencia que tiene el material al ser penetrado en las distintas zonas de la soldadura, estos resultados se muestran en la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6-** Resultados de los ensayos de dureza.

NORMA DE FABRICACION DE TUBERIA	TUBO	COLADA	MATERIAL BASE				ZONA DE TRANSICION				SOLDADURA			
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
PSL1+EM-18/03	01	170936	85	84	85	83	82	80	81	80	90	89	90	90
PSL2+EM-18/03	03	563498	81	87	85	85	82	88	85	84	87	86	89	89
PSL2+EM-18/03	01	263232	88	85	85	85	85	83	87	86	91	91	90	90
PSL1+EM-18/03	01	571789	82	85	88	88	90	86	89	86	90	90	88	90
PSL1+EM-18/03	01	271058	93	93	91	93	94	93	93	94	96	95	97	97
PSL1+EM-18/03	06	580395	95	79	82	81	83	80	82	84	88	86	83	88
PSL1+EM-18/03	02	654544	85	85	85	85	90	83	87	83	91	89	89	89
PSL1+EM-18/03	05	670668	83	80	78	84	85	82	86	82	78	84	85	85

**4.2.5- Análisis de la homologación del par (alambre y fundente)**

El resultado de gráfica correspondiente del ensayo de tracción de la fluencia vs la deformación en la homologación par (alambre y fundente) se representa en la Figura D.1 del Anexo D y los resultados de los ensayos de los análisis químicos y mecánicos se expresan en la Tabla 4.7.

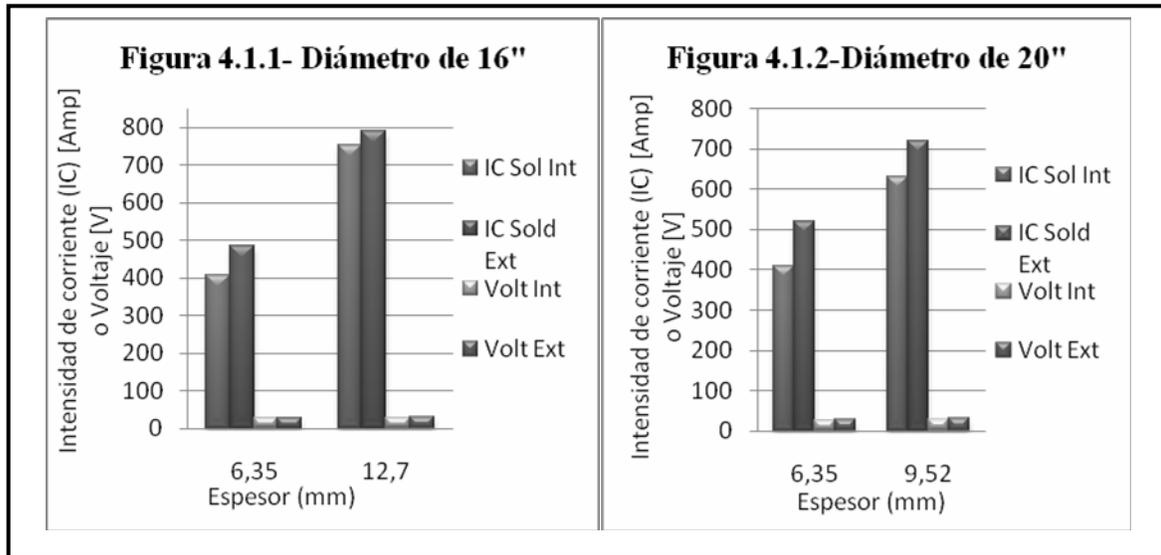
**Tabla 4.7-** Resultados de los ensayos químicos y mecánicos de la homologación del par (alambre y fundente).

<b>PROPIEDADES MECANICAS</b>				
	<b>REQUERIDO</b>		<b>RESULTADOS</b>	
<b>TRACCION MAX. kg./mm<sup>2</sup></b>	<b>49.29 - 66.90</b>		<b>60.78</b>	
<b>LIMITE ELASTICO kg./mm<sup>2</sup></b>	<b>40.84</b>		<b>53.68</b>	
<b>% ELONGACION 1"</b>	<b>22</b>		<b>28</b>	
<b>DUREZA</b> <input type="checkbox"/> HBW <input type="checkbox"/> RA <input checked="" type="checkbox"/> HB <input type="checkbox"/> RC	<b>NO REQUIERE</b>		<b>CS-90.94 Z/T-89.63</b>	
<b>IMPACTO CHARPY</b> Lb/Fie	<b>20 Min.</b>		<b>24.16</b>	
<b>ANALISIS QUIMICOS</b>				
	<b>ALAMBRE</b>		<b>SOLDADURA</b>	
	<b>REQUERIDO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>REQUERIDO</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>% C</b>	<b>0.05-0.15</b>	—	—	<b>0.054</b>
<b>% Mn</b>	<b>0.80-1.25</b>	—	—	<b>1.78</b>
<b>% Si</b>	<b>0.10-0.35</b>	—	—	<b>0.93</b>
<b>% P</b>	<b>0.030 Max.</b>	—	—	<b>0.016</b>
<b>% S</b>	<b>0.030 Max.</b>	—	<b>NO REQUIERE</b>	<b>0.003</b>
<b>% Cu (Total)</b>	<b>0.35 Max.</b>	—	—	<b>0.034</b>
<b>% Mo</b>	—	—	—	—

Se observa discrepancia en los resultados obtenidos en los análisis químicos en el manganeso (Mn) y silicio (Si) en los valores teóricos del alambre, posiblemente se deba a que el acero empleado para depósito no es ASTM-A-36, fue utilizado un acero H.NA-36, tomando en cuenta que este es usado sólo como depósito de la soldadura se considera aceptado. Se analizó la composición química después de haber realizado la soldadura con el par (alambre y fundente) homologado y se determinó que los resultados son los mismos que los de la homologación, pues obviamente lo que forma la soldadura con el metal base son estos dos materiales y de ello depende la calidad del producto.

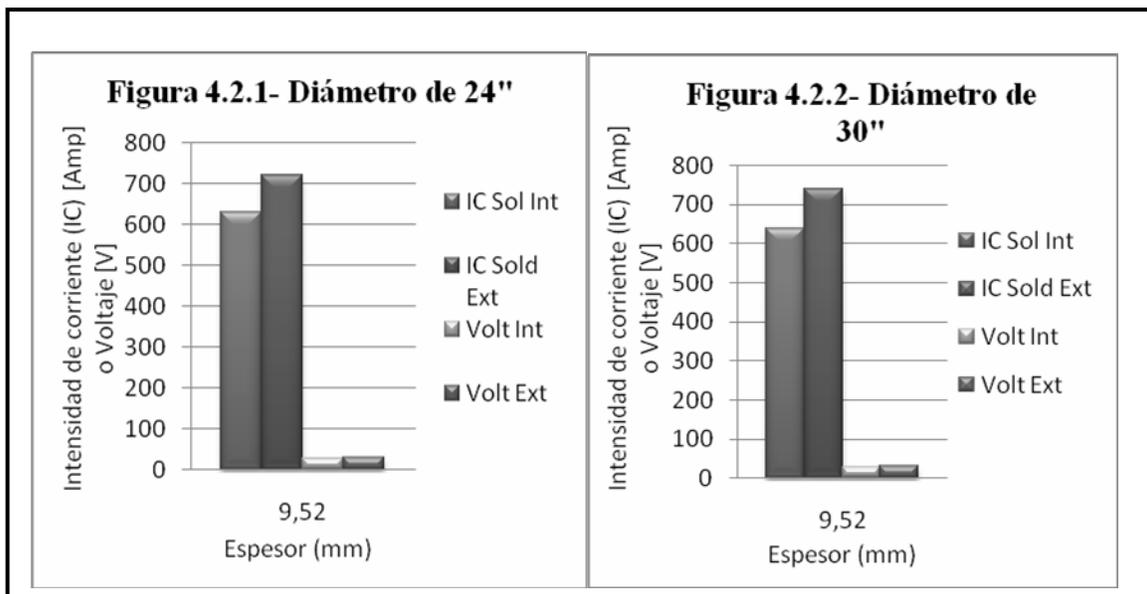
**4.3- Resultados de las relaciones entre la calidad de acero y los parámetros de operación**

Luego de haber aprobado la materia prima aplicando los distintos ensayos se establecieron comparaciones entre las distintas producciones de tubería; relacionando calidades de acero, diámetros de los tubos y espesores de láminas. A través de estas relaciones se observaron los resultados obtenidos durante las homologaciones de máquinas conformadoras de los parámetros operacionales, el comportamiento de la intensidad de corriente, voltaje; entre otros, expresándolos gráficamente. Tal como se representan en la Figura 4.1.



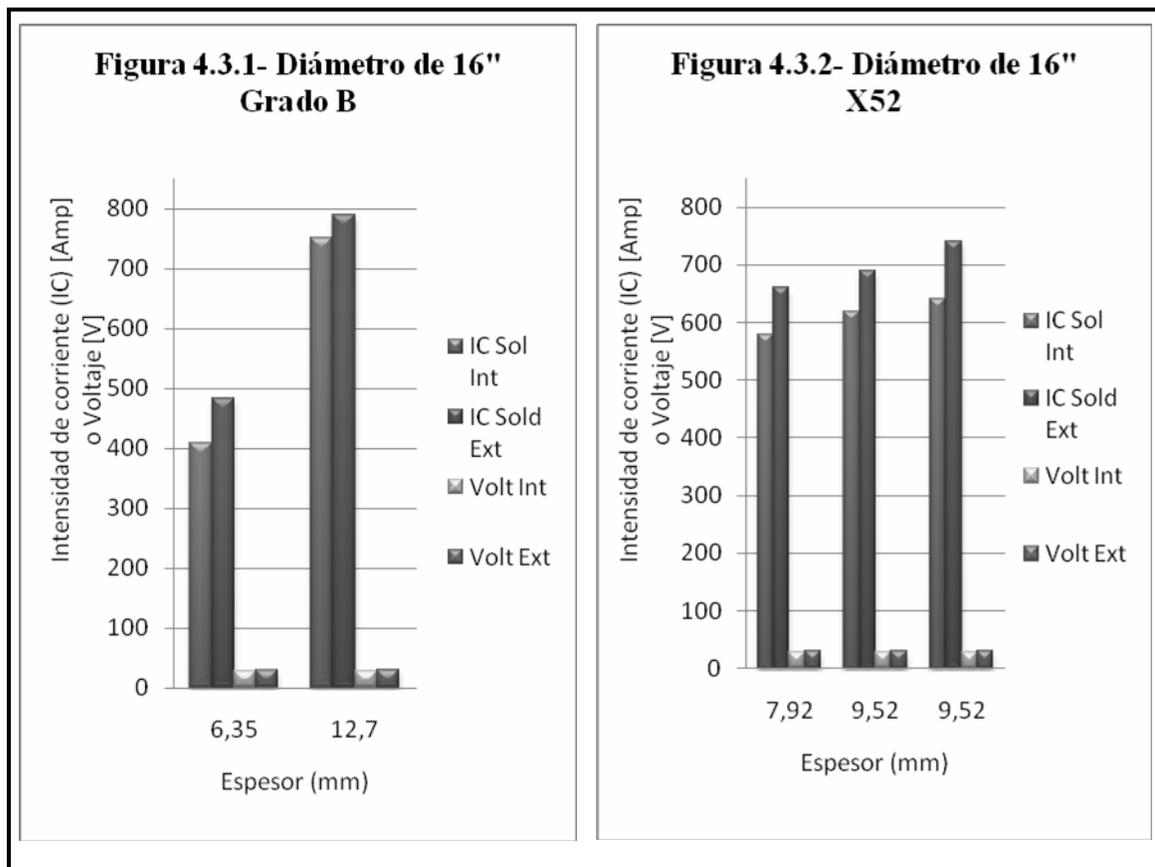
**Figura 4.1-** Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 Grado B variando el espesor.

En la Figura 4.1, se observa al aumentar el diámetro del tubo y el espesor, se requiere mayor cantidad de intensidad de corriente. Mientras que el voltaje se mantiene dentro de un rango muy cerrado [28-31] V, en el caso de un espesor de (6,35 y 12,7) disminuye en un 1V.



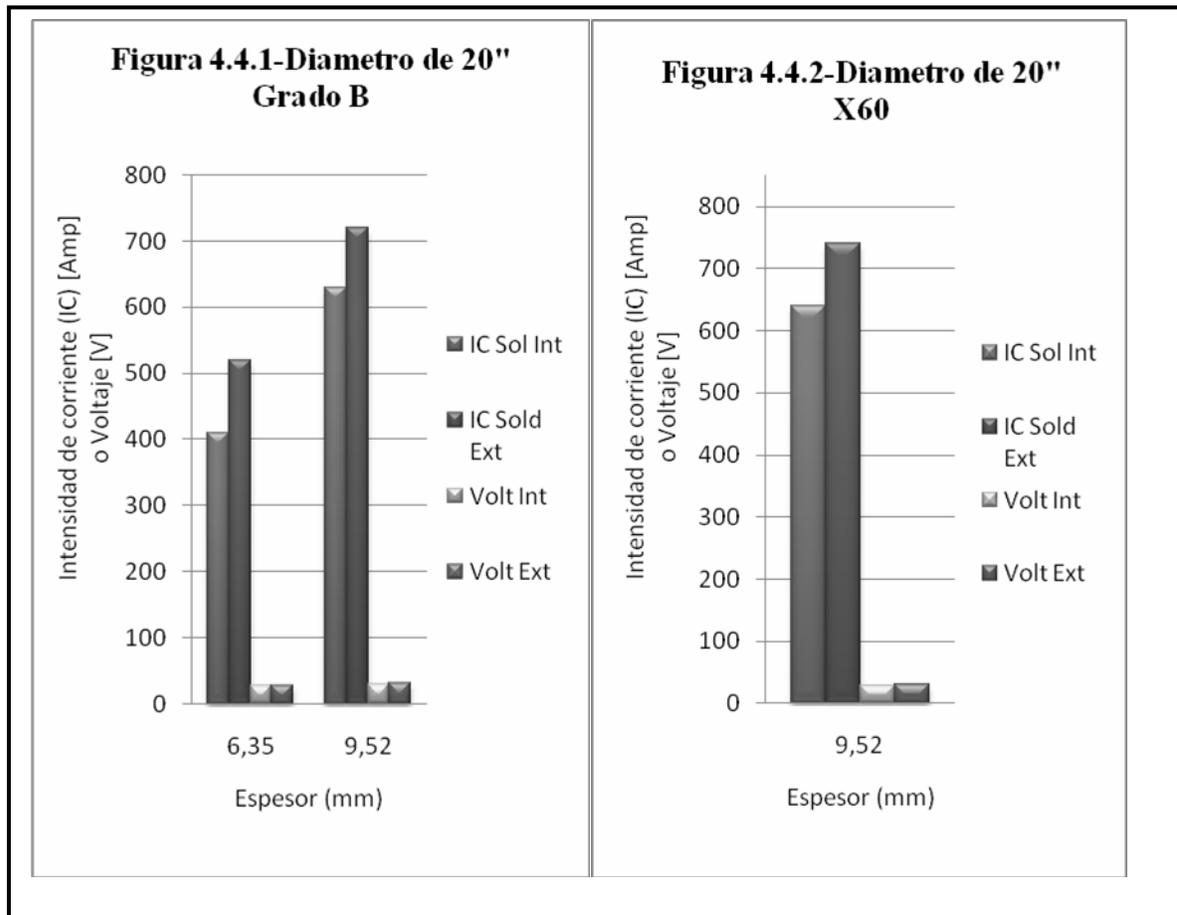
**Figura 4.2-** Variación de los parámetros de operación para la fabricación de tubos API-PSL1 Grado B variando el diámetro.

En la Figura 4.2, se observa que; para un acero de calidad Grado B a distintos diámetros del tubo (24 y 30”), en términos generales el voltaje interno y externo se puede decir que permanece constante con un espesor de lámina (9,52mm); analizando la intensidad de corriente se observa, que su comportamiento en la soldadura externa tiende a ser mayor que la de la soldadura interna debido a que se requiere mayor cantidad de corriente para eliminar las impurezas en el cordón de soldadura , así como se muestran las Figura 4.1 y 4.2.



**Figura 4.3-** Variación de los parámetros de operación variando el espesor de la lámina y la calidad de acero.

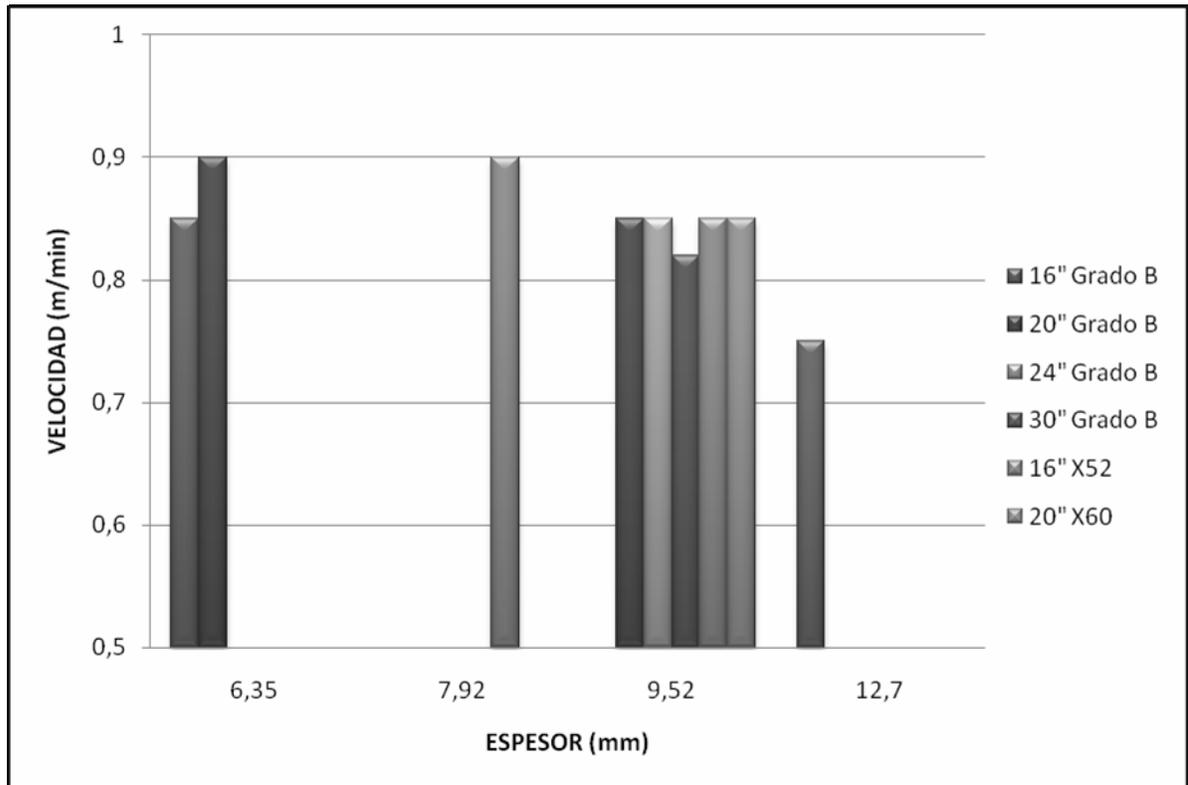
En la Figura 4.3, se muestra el comportamiento de los parámetros de operación con un diámetro de tubo constante y distintas calidades de acero (Grado B y X52) variando los espesores de lámina. El comportamiento del voltaje permanece constante para las figuras 4.3.1 y 4.3.2, con un valor de 29 V para el voltaje interno y 31 V para el voltaje externo; en el caso de la intensidad de corriente va depender básicamente del espesor de la lámina debido a que se aplica mayor intensidad de corriente cuando se incrementa el espesor, manteniéndose siempre mayor cantidad en la soldadura externa que en la interna, debido a la eliminación de impurezas en el cordón de soldadura.



**Figura 4.4-** Variación de los parámetros de operación variando la calidad del acero.

Para el estudio de la Figura 4.4, se relacionaron las Figura 4.4.1 y 4.4.2 donde se tienen diferentes calidades de acero fijando un diámetro (20") y un espesor (9,52mm); se observa que el voltaje interno y externo es igual para las dos calidades de tuberías con un valor de 29v para el voltaje interno y 31v para el voltaje externo, con respecto al amperaje existe un incremento de intensidad de corriente, a medida que aumenta la calidad del acero aumenta el amperaje a utilizar, manteniendo un diámetro del tubo y un espesor de la lámina constante.

Según las comparaciones realizadas poseen una similitud entre sí, generalmente el voltaje permanece constante en todas las relaciones estudiadas y este parámetro proporciona el ancho del cordón de soldadura. Analizando el amperaje se observó que su valor en la soldadura interna siempre es menor que la de la soldadura externa, esto se debe a que la soldadura interna se realiza primero ocasionando impurezas, cuando se aplica la soldadura externa saca las impurezas ocasionadas por la soldadura interna buscando la mejor penetración en el cordón de soldadura.



**Figura 4.5-** Comportamiento de la calidad de acero a diferentes diámetros y espesores con respecto a la velocidad de soldadura.

En la Figura 4.5 se relaciona las diferentes calidades de acero con diferentes diámetros del tubo y espesores de lámina; se observa que para una tubería grado B de 16" de diámetro que necesita mayor velocidad a menor espesor, para una tubería grado B de 20" de diámetro ocurre el mismo efecto a menor espesor mayor velocidad, a medida que aumenta la calidad del acero se requiere mayor velocidad como es el caso de la tubería de 16" de diámetro grado B y la de X60 de 20" de diámetro; observando que para un espesor de 9,52mm la velocidad es igual para un grado B de diámetro 20 y 24", lo mismo ocurre con la tubería X52 y X60 ya que estas calidades de aceros son muy cercana según su clasificación, en el caso de un grado B de diámetro 16" con un grado B de 30" requiere menor velocidad a menor espesor. La velocidad es un factor conjugado que va variando de acuerdo al amperaje y al voltaje.

En general los resultados arrojados por la comparación de las distintas calidades del material, los parámetros de operación (amperaje, voltaje y velocidad) de la homologación de máquinas conformadoras se ven más afectados es por el diámetro del tubo y el espesor del metal base, pero lo que sí afecta la composición química de la materia prima es la elección de par (alambre y fundente) que se debe utilizar. Sin embargo se ha planteado de acuerdo a los resultados los valores de los parámetros de operación en función de la composición de la materia prima expresados en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8-** Parámetros de operación obtenidos para la máquina conformadora “A” para su homologación.

NORMA DE FABRICACION LA TUBERIA	CALIDAD DEL ACERO	COMPOSICION QUIMICA DEL ACERO					DIAMETRO DEL TUBO (pulga)	ESPESOR DE LA LAMINA (mm)	ALAMBRE DE SOLDADURA L-61 (pulga)	FUNDENTE DE SOLDADURA	PARAMETROS DE LA MAQUINA				
		C	Mn	Ti	S	P					Velocidad (m/min)	Sold Inter (Amp)	Voltaje (Voltio)	Sold Exter (Amp)	Voltaje (Voltio)
API-5L-PSL1+ EM-18/03	°B	0,13	1,20	0	0,030	0,03	16	12,7	5/32	780	0,75	752	28	790	30
API-5L-PSL1+ EM-18/03	°B	0,19	1,02	0	0,030	0,03	20	9,52	5/32	780	0,85	630	29	720	31
API-5L-PSL1+ EM-18/03	°B	0,19	0,93	0	0,030	0,03	20	9,52	5/32	780	0,85	630	29	720	31
API-5L-PSL1+ EM-18/03	°B	0,20	0,98	0	0,030	0,03	24	9,52	5/32	780	0,85	630	29	720	31
API-5L-PSL1	°B	0,17	0,92	0	0,030	0,03	30	9,52	5/32	780	0,82	640	28	740	31
AWWA-C-200:05	°B	0,20	1,01	0	0,030	0,03	16	6,35	5/32	780	0,85	408	28	484	29
AWWA-C-200:05	°B	0,21	1,00	0	0,030	0,03	20	6,35	5/32	780	0,90	405	27	510	28
API-5L-PSL1	X52	0,10	1,20	0,04	0,030	0,03	16	9,52	5/32	780	0,85	640	29	740	31
API-5L-PSL2+ EM-18/03	X52	0,10	1,10	0	0,015	0,02	16	9,52	5/32	780	0,85	620	29	690	31
API-5L-PSL2+ EM-18/03	X52	0,10	1,35	0	0,015	0,02	16	7,92	5/32	780	0,90	580	29	660	31
API-5L-PSL1	X60	0,15	1,19	0	0,015	0,02	20	9,52	5/32	780	0,85	640	29	740	31

#### 4.4- Conclusiones

1. Para que una homologación de máquina conformadora sea eficiente va depender básicamente de la calidad de la materia prima y su compatibilidad con el par (alambre y fundente) a utilizar.
2. Conociendo el diámetro del tubo y el espesor de la lámina se puede estimar los valores para los parámetros de operación, de manera de proporcionar una respuesta más efectiva para el proceso productivo.
3. Los parámetros de operación obtenidos durante la homologación de máquina son los que definen el comportamiento de un cordón de soldadura libre de discontinuidades.
4. Variando el diámetro del tubo que la intensidad de corriente aumenta a mayor diámetro para PSL1.
5. Para una especificación de tubería (AWWA) la intensidad de corriente interna disminuye y la externa aumenta permaneciendo constante el voltaje interno y externo.
6. Un acero de calidad X60 necesita mayor consumo de intensidad de corriente que un acero grado B.
7. Un mismo diámetro del tubo y espesor de lámina, aumenta la dureza del material, manteniendo una velocidad y un voltaje constantes.
8. Durante todas las variaciones establecidas se mantuvo que el valor de la intensidad de corriente en la soldadura externa es mayor que el de la soldadura interna, debido a que la primera soldadura en realizarse es la interna y por los tato esta proporciona impureza que luego son eliminadas por el paso de soldadura de la corriente externa logrando obtener la penetración del cordón de soldadura.
9. EL comportamiento de la intensidad de corriente es directamente proporcional al espesor de lámina.

#### 4.5- Recomendaciones

1. Realizar la homologación al inicio de cada orden de producción, evita pérdidas y disminuye el tiempo de fabricación durante el proceso de conformación.
2. Se debe cumplir con las especificaciones establecidas en las normas de calidad.
3. El personal específico en el área de producción del proceso detectaría alguna irregularidad en el momento de la transformación de la banda en tubo.
4. La capacitación y adiestramiento del personal que labora en la empresa mejora la calidad y eficiencia de la producción.
5. Como medida a corto plazo, realizar constantemente mantenimiento preventivo a todos los equipos para aumentar su disponibilidad y eficiencia.
6. Sustituir las máquinas conformadoras de tubos por otras de nueva tecnología.
7. Realizar una estricta inspección y control de la materia prima, ya que de esto depende proporcionar al mercado la garantía de un buen producto.
8. Establecer programas de simulación para determinar los parámetros de operación con las especificaciones del cliente.
9. Es importante ajustar y mantener los valores de los parámetros de operación que se establecen dentro de las especificaciones de las distintas órdenes de producción.
10. Mantener el fundente a una temperatura de 43°C con un precalentamiento, para el inicio del proceso y un alambre limpio y libre de óxido.
11. Utilizar un fundente aglomerado y neutro para evitar la aparición de poros, escorias y fragilidad del material.
12. Verificar los controladores de soldaduras a fin de garantizar el amperaje adecuado.
13. Utilizar la Tabla de Parámetros de operación obtenidos para la máquina conformadora “A” para su homologación.

## ***BIBLIOGRAFÍA***

- [1]- González, A (2004) “Estudio y evaluación y análisis mineral hierro para la realización de ensayos de sistemas de calidad ISO-17025. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui.
- [2]- Aray, R. y Aguilera, J. (2003) “Análisis de las Causas que Generan Defectos de Soldadura en la Fabricación de Tubos con Soldadura Helicoidal”. Tesis de Grado, Departamento de Sistemas Industriales, Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui.
- [3]- Rosas, G (2002) “Estudio de la Evolución Inclusionaria de Acero Líquido Durante su Tratamiento en la Metalurgia Secundaria de una Serie de Planchas”. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui.
- [4]- Sánchez, J y Missel, (1999) “Estudio y Análisis de los Elementos que intervienen en el Proceso de Conformación de Tuberías Soldados Helicoidalmente”. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente – Núcleo Anzoátegui.
- [5]- Muñoz, C. y Ríos, J. (1998) “Estudio de los Defectos de Soldadura por Arco Sumergido”. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui.
- [6]- Fernández, Guillermo, (1966) “Soldadura y Metalurgia”. Editorial Continental, S.A de C.V., México.
- [7]-Arancibia, F.(2009) Ingeniería y Construcción, [www.bibliotecadigital.Pla.adu.mx](http://www.bibliotecadigital.Pla.adu.mx). el acero.
- [8]- API-5L. (2004) “Instituto Americano del Petróleo”. Especificaciones para tuberías.
- [9]- AWS A5.17, (2007) “Especificación de materiales de aporte por proceso de arco sumergido para aceros al carbono”.
- [10]- Ternium SIDOR, (2007) “Especificación técnica de producto, LAC para tubería soldada SIDOR-HELVEVA”.
- [11]- ASTM. (2008) “Sociedad Americana de Pruebas de Materiales”.
- [12]- Rosario, S y Villacorta, H (1999) “Desarrollo de un proceso y procedimiento de reparación de la soldadura.
- [13]- Seferian, D. (1997) “Las Soldadura”, Ediciones URMO S.A., España.

[14]- Terradas, Esteban. “Introducción a los Métodos de Ensayos no destructivos de Control de Calidad de los Materiales”. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Madrid, España.

[15]- AWWA Standard. (2005) Asociación Americana de Trabajos para Agua.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LAS MÁQUINAS CONFORMADORAS DE LAS TUBERÍAS DE ACERO EN FUNCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

AUTOR(ES)

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CVLAC / E_MAIL</b>	
<b>Yo Castillo H., Dayana Y</b>	<b>CVLAC:</b>	<b>12.484.054</b>
	<b>E_MAIL</b>	<b>daycast-@hotmail.com</b>
	<b>CVLAC:</b>	
	<b>E_MAIL</b>	

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Homologación

Conformación

Helicoidal

Amperaje

Charpy

Tracción

Ultrasonido

**METADATOS PARA  
TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
<b>INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS</b>	<b>INGENIERIA QUIMICA</b>

**RESUMEN (ABSTRACT):**

El presente proyecto corresponde a la determinación de los parámetros de operación que se aplican durante la conformación de las máquinas fabricadoras de los tubos de acero con soldadura helicoidal en función de la composición de la materia prima en la empresa Helisold de Venezuela S.A, utilizando una máquina conformadora “A” y un par (alambre y fundente). Para alcanzar el objetivo general del tema, se describieron cada uno de los pasos de la homologación del equipo que forma los tubos; luego se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa en el área de producción analizando distintas calidades de acero de acuerdo con la norma, para el cual se tomaron muestras de materia prima (bobinas) que fueron sometidas luego a ensayos químicos (espectrometría de masa), una vez aprobada la materia prima se procedió a iniciar el proceso de conformación ajustando los parámetros de operación tales como (intensidad de corriente eléctrica, voltaje y velocidad); se seleccionó el tubo para la homologación con el objetivo verificar y demostrar que cumple con las normas de calidad, clasificando distintos grados de acero de acuerdo a la norma de fabricación y los niveles de especificación del producto (PSL1) y el (PSL2); que posee requerimientos adicionales y obligatorios para la composición química, tomado en cuenta la dureza como una propiedad. Se comprobó que todo el lote de tubos fabricados utilizaba la misma materia prima, debido a que no sufre reacción de acuerdo a la manufactura en el proceso como una garantía de la norma. Posteriormente se observó, según la clasificación de los pedidos de producción analizados que los parámetros de operación variaban de acuerdo al espesor del material base y al diámetro del tubo durante la conformación de la máquina, de acuerdo a éstos se relacionaron los parámetros de operación de la homologación con la composición química de la materia prima analizando distintos grados de acero comparándolos mediante métodos gráficos; determinando que el comportamiento del diámetro es directamente del tubo al espesor de lámina, la intensidad de corriente proporciona la penetración de la soldadura, el voltaje el ancho del cordón y la velocidad de la máquina, que se ve afectado prácticamente por el espesor de la lámina ya que a medida que su valor aumenta requiere de menor velocidad de avance, debido a que la soldadura necesita de mayor cantidad de material de aporte (alambre y fundente). Finalmente se estableció una tabla partiendo de la composición química de la materia prima, de acuerdo con la calidad del acero, diámetro del tubo, espesor de la lámina, con los resultados óptimos de estas variables basados en la práctica y la experiencia.

**METADATOS PARA TBAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / Código CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Ochoa Osvaldo</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS X</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>4.077.552</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>Ochoa.osvaldo@gmail.com</b>			
<b>Moreno Yuvi</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>12.980.821</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>yuvimoreno@yahoo.com</b> <b>yuvimoreno@cantv.net</b>			
<b>Parra Frank</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>8.265.531</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>frankparrag@gmail.com</b>			

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DIA</b>
<b>2010</b>	<b>04</b>	<b>09</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:  
ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Determinación de los parámetros	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M  
N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h ; j k l m n o p q r s t u y w x y Z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.**

**ALCANCE**

**ESPACIAL: Departamento de Gestión de la Calidad/HELVESA (OPCIONAL)**

**TEMPORAL: Desde la carta de aprobación hasta defender la tesis (OPCIONAL)**

**Ingeniero en Química**

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

**Pregrado**

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Química

INSTITUCIÓN(ES) QUE GARANTIZA(N) EL TÍTULO DE GRADO:

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****DERECHOS:**

“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo quien lo participará al Consejo Universitario.”

---

**AUTOR**

---

**Ing.**

**TUTOR**

---

**Ing.**

**JURADO**

---

**Ing.**

**JURADO**

---

**Ing.**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**