

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **FABRICACIÓN DE ACCESORIOS DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO PARA UNIÓN FUERTE EN TUBERÍA DE ½” (12.7MM)**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**WILLAM ANDRES VALENCIA FLORES**

**wa\_valencia@yahoo.com**

**DIRECTOR: ING. PATRICIO ESTUPIÑAN**

**patricio.estupinan@epn.edu.ec**

**Quito, Julio 2010**

## DECLARACIÓN

Yo, Willam Andrés Valencia Flores, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Willam Andrés Valencia Flores**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Willam Andrés Valencia Flores, bajo mi supervisión.

---

**ING. PATRICIO ESTUPIÑAN, M.Sc.**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en este arduo camino y llenarme de sabiduría.

A toda mi familia por su amor, comprensión y apoyo incondicional.

Al Ing. Patricio Estupiñán por ser una figura a seguir desde mis tiempos de estudio y por brindarme todo su apoyo en este proyecto.

A los amigos que colaboraron de manera desinteresada en el desarrollo exitoso de este trabajo: Ing. Gabriel Velasteguí, Ing. Homero Barragán, Sr. César Argüello, a los amigos del Laboratorio de Soldadura y del Laboratorio de Metalografía.

***Willam***

## DEDICATORIA

A Dios, mis padres, que son lo más importante en mi vida, a mis hermanos y amigos por todo su apoyo.

A Lizeth por cada minuto brindado, por todo su amor y comprensión.

A Esteban Valencia por demostrarme que la vida siempre tiene retos y estos son superables.

***Willam***

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO DE FIGURAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>CONTENIDO DE TABLAS .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XX</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>XXI</b>
<b>1 ESTUDIO DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO, PROCESO DE SOLDADURA, LIMPIEZA Y CONFORMADO.....</b>	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ACERO INOXIDABLE. ....	1
1.1.1 COMPARACIÓN ENTRE EL ACERO INOXIDABLE Y ACERO AL CARBONO.....	2
1.2 DIAGRAMA DE FASES DE LOS ACEROS INOXIDABLES .....	3
1.2.1 DIAGRAMA DE FASE HIERRO CROMO <sup>15</sup> .....	3
1.2.2 DIAGRAMA HIERRO-CROMO-CARBONO EN BUCLE GAMMA <sup>15</sup> .....	4
1.3 INFLUENCIA DE LOS ALEANTES EN LOS ACEROS INOXIDABLES <sup>1</sup> .....	4
1.3.1 CROMO.....	5
1.3.2 NÍQUEL.....	5
1.3.3 MOLIBDENO.....	5
1.3.4 SILICIO.....	6
1.3.5 MANGANESO.....	6
1.4 ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS. <sup>1</sup> .....	6
1.4.1 MICROESTRUCTURA EN LA ZONA DE FUSIÓN <sup>15</sup> .....	9
1.4.2 ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AISI 304.....	12
1.5 SOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES.....	13
1.5.1 EFECTO DE LA SOLDADURA EN LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN <sup>19</sup> .....	13
1.5.2 FISURAS DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN CON COBRE <sup>18</sup> .....	15
1.5.3 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN LAS SOLDADURAS .....	16
1.5.3.1 PENETRACIÓN INCOMPLETA DE LAS SOLDADURAS.....	16
1.5.3.2 CONTAMINACIÓN POR HIERRO .....	16
1.5.3.3 DEFECTOS RELACIONADOS CON LA SOLDADURA.....	17

1.5.4	CALIFICACIÓN PARA LA SOLDADURA .....	17
1.5.4.1	ENTRENAMIENTO DEL SOLDADOR .....	18
1.5.5	CORTE Y PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS .....	18
1.5.6	DISEÑO DE LAS JUNTAS .....	19
1.5.6.1	MONTAJE DE JUNTAS DE TUBERÍAS PARA SOLDADURA TIG .....	20
1.5.7	PURGA DURANTE LA SOLDADURA DE RAÍZ EN TUBERIAS .....	20
1.6	LIMPIEZA POST FABRICACIÓN .....	21
1.6.1	CONTAMINANTES SUPERFICIALES .....	22
1.6.2	DETECCIÓN .....	22
1.6.3	REMOCIÓN .....	22
1.6.4	HIERRO EMBEBIDO .....	23
1.6.5	DETECCIÓN DEL HIERRO EMBEBIDO .....	23
1.6.6	REMOCIÓN DEL HIERRO EMBEBIDO <sup>19</sup> .....	24
1.6.6.1	EL DECAPADO .....	24
1.6.6.2	MÉTODOS DE DECAPADO .....	24
1.6.6.3	EL PASIVADO .....	26
1.6.6.4	TRATAMIENTOS DE PASIVADO .....	26
1.7	CONFORMADO DE ACERO INOXIDABLE <sup>10</sup> .....	27
1.7.1	TEORÍA DE LA EMBUTICIÓN .....	27
1.7.2	DEFINICION DE EMBUTICIÓN .....	28
1.7.3	CUANDO SE REALIZA LA EMBUTICIÓN EN FRÍO .....	28
1.7.4	DONDE SE REALIZA UNA EMBUTICION .....	29
1.7.5	PRINCIPIO DE EMBUTICIÓN CILÍNDRICA .....	29
1.7.6	EMBUTICIÓN SIMPLE (SIN PISACHAPAS O PISADOR) .....	30
1.7.7	ACABADOS DE LAS PIEZAS EMBUTIDAS .....	31
1.7.8	RADIOS DE MATRIZ Y PUNZÓN .....	31
1.7.8.1	RADIO DE MATRIZ "R": .....	32
1.7.8.2	RADIO DE PUNZÓN "r" .....	33
1.7.8.3	DETERMINACIÓN DEL RADIO DE LA MATRIZ SEGÚN EL ESPESOR DEL MATERIAL .....	33

1.7.9	VELOCIDAD DE EMBUTICIÓN .....	33
1.7.10	EMBUTICIÓN DE UN AGUJERO (ABOCARDADO).....	34
1.7.10.1	DETERMINACIÓN DE LA ALTURA MÁXIMA.....	35
1.7.11	EMBUTICIÓN CON ELEMENTOS DE PRESIÓN ELÁSTICA.....	35
<b>2</b>	<b>DISEÑO DE ACCESORIOS EN ACERO INOXODABLE</b>	
	<b>AUSTENITICO PARA UNION A TRASLAPE .....</b>	<b>38</b>
2.1	TUBERIA.....	38
2.1.1	CÓDIGOS Y ESTÁNDARES INVOLUCRADOS EN LA DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS. <sup>2</sup> .....	40
2.1.2	DEFINICIÓN DE TUBERIAS DE PARED DELGADA.....	41
2.1.3	DEFINICIÓN DE TUBERIAS DE ACERO INOXIDABLE.....	41
2.1.4	MATERIALES PARA TUBERÍAS.....	41
2.1.4.1	SELECCIÓN DE ACUERDO A SUS PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS.....	41
2.1.4.2	MATERIALES FERROSOS.....	42
2.1.4.3	MATERIALES NO FERROSOS.....	42
2.1.4.4	MATERIALES PLÁSTICOS.....	43
2.2	METODOS DE UNIÓN DE TUBERÍAS.....	43
2.2.1	CONCEPTOS GENERALES.....	43
2.2.2	CLASIFICACIÓN Y USOS.....	44
2.3	COMPONENTES PARA SISTEMAS DE TUBERÍAS POR UNION A TRASLAPE.....	46
2.3.1	COMO SE REALIZA LA JUNTA (SOLDADURA FUERTE).....	46
2.3.2	ACCESORIOS PARA UNIÓN A TRASLAPE .....	47
2.3.2.1	CODO.....	47
2.3.2.2	TEE .....	47
2.3.2.3	PUENTE.....	48
2.3.2.4	TAPÓN CAPA .....	48
2.3.2.5	ACOPLE UNIÓN .....	49
2.4	CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y DIMENCIONAMIENTO DE ACCESORIOS PARA UNION A TRASLAPE .....	49



2.4.1	CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO .....	50
2.5	DISEÑO EXTREMO EXPANDIDO.....	51
2.5.1	DISEÑO DADO EXPANSOR <sup>1</sup> .....	51
2.5.2	DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DEL EXTREMO EXPANDIDO .....	52
2.6	DISEÑO CODO 90° .....	52
2.6.1	TECNICAS DE DOBLADO DE TUBOS <sup>6</sup> .....	52
2.6.1.1	DOBLADO POR TRACCIÓN .....	53
2.6.1.2	DOBLADO POR COMPRESIÓN.....	54
2.6.1.3	DOBLADO POR ROLADO .....	54
2.6.1.4	DOBLADO EN PRENSA .....	55
2.6.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DOBLADO .....	56
2.6.3	MATRIZ DE DOBLADO.....	57
2.6.3.1	RADIO MÍNIMO DE CURVATURA.....	57
2.6.3.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA MATRIZ DE DOBLADO.....	58
2.6.4	MATRIZ PARA EXPANDIR EXTREMOS DEL CODO 90° .....	59
2.6.5	ESFUERZOS PRESENTES EN EL CONFORMADO DEL CODO 90°.....	59
2.6.6	MEDIDAS Y TOLERANCIAS CODO 90°.....	62
2.7	DISEÑO TEE.....	62
2.7.1	METODOS DE FABRICACIÓN TE IGUAL.....	62
2.7.1.1	EMBUTICIÓN INTERNA .....	62
2.7.1.2	INJERTO .....	63
2.7.1.3	INJERTO REFORZADO O SWEEPOLET.....	63
2.7.1.4	FUNDICIÓN Y FORJA .....	64
2.7.2	SELECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	64
2.7.3	MATRICES DE EMBUTICIÓN.....	64
2.7.3.1	DIMENSIONAMIENTO MATRIZ .....	65
2.7.3.2	DIMENSIONAMIENTO ESFERA Y PUNZÓN .....	66
2.7.4	DIMENCIONAMIENTO TE IGUAL .....	67

2.7.4.1	DETERMINACIÓN DE LA ALTURA MÁXIMA DE EMBUTICIÓN <sup>10</sup> :	67
1.1.1	ESFUERZOS PRESENTES EN EL PROCESO DE EMBUTICIÓN DEL AGUJERO	68
1.1.1.1	CÁLCULOS PARA EXPANSIÓN DEL AGUJERO O RAMIFICACIÓN	69
1.1.1.2	ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE DIMENSIONES	69
1.1.1.3	CILINDRO DE PAREDES DELGADAS (ESTADO BIAXIAL)	72
1.1.1.4	ESFUERZO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL (PRESIÓN INTERNA PERPENDICULAR)	72
2.7.5	MEDIDAS Y TOLERANCIAS TEE	73
2.8	DISEÑO PUENTE	73
2.8.1	VARIABLES DEL CURVADO DE TUBOS	74
2.8.1.1	VARIABLES DEL OPERADOR	74
2.8.1.2	VARIABLES FÍSICAS	74
2.8.2	AJUSTE O GANANCIA	75
2.8.3	RETROCESO	75
2.8.4	SUBSTRACCIÓN DE CURVATURA	76
2.8.5	LONGITUD DE CURVATURA	77
2.8.6	DIMENSIONAMIENTO DE CURVAS	77
2.8.7	MARCAS DE CURVADO	78
2.8.8	MEDIDAS Y TOLERANCIA PUENTE	80
2.9	DISEÑO DEL TAPON	80
2.9.1	MEDIDAS Y TOLERANCIAS TAPON	81
2.10	DISEÑO DE LA UNIÓN	81
2.10.1	MEDIDAS Y TOLERANCIAS UNION	81
<b>3</b>	<b>PROCESOS DE FABRICACIÓN DE ACCESORIOS</b>	<b>82</b>
3.1	CODO 90° PARA UNION A TRASLAPE POR DOBLADO	82
3.1.1	CONSTRUCCIÓN MATRIZ	82
3.1.2	CONSTRUCCIÓN CODO 90° POR DOBLADO	82
3.1.3	DEFECTOS EN EL CONFORMADO DEL CODO	84

3.2	TEE PARA UNION A TRASLAPE .....	84
3.2.1	CONSTRUCCIÓN MATRIZ.....	84
3.2.2	TABLA DE PROCESO DE FABRICACIÓN CODO 90° .....	86
3.2.3	COSTRUCCIÓN PUNZONES Y ESFERA;¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3.2.4	PROCESO DE SOLDADURA ..¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3.2.5	TEE (PROCEDIMIENTO FABRICACIÓN);¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3.2.5.1	ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	87
3.2.6	TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN TEE.....	89
3.3	PUENTE PARA UNION A TRASLAPE .....	90
3.3.1	TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN PUENTE .....	91
3.4	UNIONES PARA TUBERIA.....	91
3.4.1	TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN UNIÓN .....	92
3.5	TAPON PARA UNION FUERTE .....	92
3.5.1	TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN TAPÓN .....	93
<b>4</b>	<b>ENSAYOS REALIZADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>94</b>
4.1	CRITERIOS DE CALIFICACIÓN.....	94
4.1.1	INSPECCIÓN VISUAL .....	94
4.1.2	PRUEBAS HIDROSTATICAS DE ACCESORIOS.....	95
4.1.2.1	NORMAS APLICABLES PARA PRUEBAS DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA.....	95
4.1.2.2	HERMETICIDAD PARA EL ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA.....	99
4.1.2.3	PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA.....	100
4.1.3	ENSAYO METALOGRÁFICO .....	101
4.2	RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA FABRICACIÓN DE ACCESORIOS .....	103
4.2.1	ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONFORMADO .....	103
4.2.1.1	CONFORMADO SIN ELEMENTO SOPORTANTE .....	103
4.2.1.2	CONFORMADO CON ELEMENTO SOPORTANTE .....	103
4.2.2	ANÁLISIS DEL PROCESO DE SOLDADURA .....	104
4.2.2.1	PROCESO DE SOLDADURA FW.....	104

4.2.2.2	PROCESO DE SOLDADURA GTAW (TIG).....	106
4.2.2.3	ANÁLISIS FINAL DEL PROCESO DE SOLDADURA MÁS ADECUADO .....	108
4.2.3	ANÁLISIS DEL AGUJERO PARA INSERTAR LA RAMIFICACIÓN .....	108
4.2.3.1	ANÁLISIS FINAL PARA LA SELECCIÓN DEL AGUJERO .....	108
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ACCESORIOS .....	108
4.3.1	RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL.....	109
4.3.2	RESULTADOS DEL ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA.....	110
4.3.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA METALOGRAFÍA.....	111
4.3.3.1	MICROGRAFÍA DE PROBETAS SOLDADAS (TEE IGUAL) .....	111
4.3.3.2	MICROGRAFÍA DE PROBETAS REALIZADAS POR CONFORMADO (CODO 90°).....	114
4.4	ANÁLISIS FINAL DE RESULTADOS TOTALES.....	114
<b>5</b>	<b>ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS.....</b>	<b>119</b>
5.1	DEFINICION <sup>23</sup> .....	119
5.1.1	COSTOS FIJOS .....	119
5.1.2	COSTOS VARIABLES .....	119
5.2	DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE PRODUCCIÓN .....	120
5.2.1	PROMEDIO ESTIMATIVO DE FABRICACIÓN DE ACCESORIOS.....	120
5.2.2	COSTO DE UTILIZACIÓN DE LA MAQUINA POR UNIDAD DE PRODUCCIÓN .....	121
5.2.3	COSTO DE MATERIA PRIMA Y MATERIALES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO PRODUCTIVO.....	122
5.2.4	COSTO ESTIMATIVO DE PRODUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS .....	123
5.2.5	COSTO DE PRODUCCIÓN & COSTO DE VENTA .....	123

<b>6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>125</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	125
6.2 RECOMENDACIONES .....	126
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>131</b>
ANEXO 1 MEDIDAS Y TOLERANCIAS DE ACCESORIOS .....	132
ANEXO 2 PLANOS CONSTRUCTIVOS DE MATRICES.....	138
ANEXO 3 ESPECIFICACIONES TECNICAS TUBO HIDRINOX .....	139
ANEXO 4 TABLA DE CORROSION DEL ACERO INOXIDABLE .....	141
ANEXO 5 NORMA NTE INEN 2260: 2008.....	146

## CONTENIDO DE FIGURAS

### CAPITULO 1

FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE FASE FE-CR.....	3
FIGURA 1.2 EFECTO DE CARBONO EN LA EXPANSIÓN DEL BUCLE GAMMA.....	4
FIGURA 1.3 DESARROLLO DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.....	8
FIGURA 1.4 RELACIÓN DEL TIPO DE SOLIDIFICACIÓN DEL DIAGRAMA DE FASE PSEUDOBINARIO <sup>15</sup> .....	11
FIGURA 1.5 EFECTOS DEL CONTROL DEL CARBON .....	14
FIGURA 1.6 FISURAS DEBIDO A LA PRESENCIA DE COBRE.....	16
FIGURA 1.7 JUNTAS PARA SOLDADURA A TOPE DE CHAPAS .....	20
FIGURA 1.8 INSTALACIÓN TÍPICA PARA PURGA DE CAÑOS .....	21
FIGURA 1.9 DEFECTOS TÍPICOS DE FABRICACIÓN.....	22
FIGURA 1.10 PIEZAS EMBUTIDAS EN FRIO.....	29
FIGURA 1.11 MATRIZ Y PUNZÓN DE CONFORMADO .....	29
FIGURA 1.12 HERRAMIENTAS QUE CONFORMAN LA MATRIZ DE SIMPLE EFECTO .....	31
FIGURA 1.13 ACABADO DE PIEZAS EMBUTIDAS.....	31
FIGURA 1.14 RADIOS DE LA MATRIZ Y PUNZÓN .....	32
FIGURA 1.15 ALTURA DE EMBUTICIÓN .....	35

### CAPITULO 2

FIGURA 2.1 TUBERÍA .....	39
FIGURA 2.2 DUCTOS.....	39
FIGURA 2.3 TIROS.....	39
FIGURA 2.4 LÍNEAS DE TUBERÍA DE COBRE UNIDADES POR SOLDADURA A TRASLAPE .....	45
FIGURA 2.5 UNIONES CLAMP-ABRAZADERA PARA UN SISTEMA FARMACÉUTICO.....	45
FIGURA 2.6 ACCESORIOS PARA UNIÓN A TRASLAPE (ENCHUFABLE) .....	47
FIGURA 2.7 CODO 90° PARA UNIÓN A TRASLAPE.....	47
FIGURA 2.8 TEE IGUAL PARA UNIÓN A TRASLAPE .....	48

FIGURA 2.9 PUENTE PARA UNIÓN A TRASLAPE, PUEDE SER MACHO O HEMBRA .....	48
FIGURA 2.10 TAPÓN COPA, PARA FINAL DE TUBERÍA .....	49
FIGURA 2.11 ACOPLE UNIÓN.....	49
FIGURA 2.12 DADO PARA EXPANSIÓN DE EXTREMOS DE LOS ACCESORIOS <sup>1</sup> .....	52
FIGURA 2.13 DOBLADORA POR TRACCIÓN .....	53
FIGURA 2.14 DOBLADORA POR COMPRESIÓN .....	54
FIGURA 2.15 DOBLADORA POR ROLADO.....	55
FIGURA 2.16 DOBLADORA EN PRENSA.....	55
FIGURA 2.17 PARTES DE UNA DOBLADORA POR COMPRESIÓN .....	57
FIGURA 2.18 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE BARRAS CURVAS <sup>14</sup> .....	59
FIGURA 2.18 TEE IGUAL, REALIZADA POR EMBUTICIÓN INTERNA .....	62
FIGURA 2.19 TIPO DE CONEXIONES PARA LA RAMIFICACIÓN DE UNA TEE.....	63
FIGURA 2.20 INJERTO REFORZADO O SWEEPOLET .....	63
FIGURA 2.21 TEE RECTAS O REDUCTORAS.....	64
FIGURA 2.22 MATRIZ PARA EL PROCESO DE CONFORMADO DE LA TEE.....	65
FIGURA 2.23 ESFERA EXPANSORA .....	66
FIGURA 2.24 PUNZÓN PARA EXPANSIÓN (TRABAJA CONJUNTAMENTE CON LA ESFERA).....	66
FIGURA 2.25 MEDIDAS PARA LA ALTURA MÁXIMA DE EMBUTICIÓN.....	67
FIGURA 2.27 ESFUERZOS PRESENTES EN LA EMBUTICIÓN DEL AGUJERO <sup>10</sup> .....	68
FIGURA 2.28 DIAGRAMA CUERPO LIBRE DE LA ESFERA PARA EXPANDIR .....	69
FIGURA 2.27 AJUSTE O GANANCIA EN UNA CURVA <sup>7</sup> .....	75
FIGURA 2.28 DISTANCIA DE SUBSTRACCIÓN DE UNA CURVA <sup>7</sup> .....	76
FIGURA 2.29 LONGITUD DE CURVATURA .....	77
FIGURA 2.30 MARCAS DE CURVADO EN EL TUBO PARA LA FABRICACIÓN DEL PUENTE A PARTIR DEL INICIO.....	78

## CAPITULO 3

FIGURA 3.1 ALINEACIÓN ENTRE LA MATRIZ Y RODILLO .....	83
FIGURA 3.2 CONFORMADO DEL CODO, FUERZA EN LA PALANCA.....	83
FIGURA 5.3 CODO 90° TERMINADA, PARA UNIÓN A TRASLAPE.....	84
FIGURA 5.4 MATRIZ PARA EMBUTICIÓN DE LA TE .....	86
FIGURA 3.5 ESFERA DEFORMADORA Y PUNZÓN DE EMBUTICIÓN <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 3.6 UBICACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EMBUTICIÓN ... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 3.7 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) PARA SOLDADURA DE LA TEE .....	87
FIGURA 3.8 PRENSA PARA EL PROCESO DE EMBUTICIÓN..... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 3.9 BASE DE LA TEE TERMINADA..... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 3.11 SOLDADURA DE LA BASE Y LA RAMIFICACIÓN (PROCESO TIG) .....	88
FIGURA 3.12 EXPANSIÓN DE LOS EXTREMOS DE LA TEE.....	88
FIGURA 3.13 TEE IGUAL TERMINADA, PARA UNIÓN A TRASLAPE.....	89
FIGURA 3.14 PUENTE PARA UNIÓN A TRASLAPE.....	90
FIGURA 3.15 UNIÓN PARA TUBOS. ....	92
FIGURA 3.16 TAPÓN PARA UNIÓN A TRASLAPE .....	93

## CAPITULO 4

FIGURA 4.1 ACCESORIO PARA PRUEBA HIDROSTÁTICA .....	99
FIGURA 4.2 MAQUINA PARA ENSAYO HIDROSTÁTICO.....	99
FIGURA 4.3 VÁLVULA DE AJUSTE Y ACOPLER UNIVERSAL.....	100
FIGURA 4.4 PROBETA SOMETIDA A PRESIÓN MÁXIMA.....	101
FIGURA 4.5 PROCESO SEGUIDO PARA LA CALIFICACIÓN DE ACCESORIOS SOLDADOS.....	102
FIGURA 4.6 PROCESO SEGUIDO PARA LA CALIFICACIÓN DE ACCESORIOS CONFORMADOS.....	102
FIGURA 4.7 MORDAZA PARA SOLDADURA FW .....	105
FIGURA 4.8 CARAS PLANAS LISTAS PARA REALIZAR LA SOLDADURA ....	107



FIGURA 4.9 PROCESO DE SOLDADURA TIG.....	107
FIGURA 4.10 SISTEMA DE CONDUCCIÓN FORMADO POR ACCESORIOS EN ACERO INOXIDABLE 304.....	109
FIGURA 4.11 ZONAS ANALIZADAS EN LA MICROGRAFÍA CORTE LONGITUDINAL.....	111
FIGURA 4.12 METALOGRAFÍA DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR. 400X.....	112
FIGURA 4.13 METALOGRAFÍA DE LA ZONA PARCIALMENTE FUNDIDA. 400X.....	112
FIGURA 4.14 METALOGRAFÍA DE LA FORMACIÓN DE DENDRITAS, 400X.....	113
FIGURA 4.15 METALOGRAFÍA DE LA ZONA PARCIALMENTE FUNDIDA, 400X.....	113
FIGURA 4.16 METALOGRAFÍA DEL CORTE TRANSVERSAL, 400X.....	114
FIGURA 4.17 METALOGRAFÍA DEL CORTE LONGITUDINAL CODO90°, 400X.....	114

## CONTENIDO DE TABLAS

### CAPITULO1

TABLA 1.1 TABLA DE DESIGNACIÓN AISI.....	1
TABLA 1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS MÍNIMAS DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS. ....	7
TABLA 1.3 TIPOS DE SOLIDIFICACIÓN, REACCIONES Y MICROESTRUCTURAS RESULTANTES.....	10
TABLA 1.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO INOXIDABLE 304 Y 304L 16.....	12
TABLA 1.5 MÉTODOS DE CORTE DE ACERO INOXIDABLE .....	19
TABLA 1.6 SOLUCIÓN PARA LA PRUEBA DE FERROXILO.....	24

### CAPITULO2

TABLA 2.1 ESPECIFICACIONES DE TUBERÍA AISI 304 .....	50
TABLA 2.2 TABLA DE ESFUERZOS EN EXPANSIÓN DE TUBERÍA.....	51
TABLA 2.3 TABLA DE SELECCIÓN PARA EL EQUIPO DE DOBLADO SIN COSTO .....	56
TABLA 2.4 TABLA DE SELECCIÓN PARA EL EQUIPO DE DOBLADO TOMANDO EN CUENTA EL COSTO .....	56
TABLA 2.5 DATOS PARA CÁLCULOS DE EXPANSIÓN DE TUBERÍA AISI 304 .....	69
TABLA 2.6 ESFUERZOS Y DEFORMACIÓN UNITARIA AL VARIAR EL DIÁMETRO DEL AGUJERO .....	71
TABLA 2.7 RESUMEN DE CÁLCULOS DE ESFUERZOS EN EXPANSIÓN DE TUBERÍA.....	73

### CAPITULO3

TABLA 3.1 TABLA DE DEFECTOS Y SOLUCIONES EN EL CURVADO .....	85
TABLA 3.2 PROCESO FABRICACIÓN DEL CODO 90°.....	86
TABLA 3.3 PROCESO DE FABRICACIÓN TEE.....	89

TABLA 3.4 PROCESO DE FABRICACIÓN PUENTE .....	91
TABLA 3.5 PROCESO DE FABRICACIÓN UNIÓN .....	92
TABLA 3.6 PROCESO DE FABRICACIÓN TAPÓN .....	93

#### CAPITULO4

TABLA 4.1 CLASE DE ACCESORIOS PARA EL GRADO WP.....	96
TABLA 4.2 DIFERENCIA DE DIÁMETROS CON Y SIN ELEMENTO SOPORTANTE.....	103
TABLA 4.3 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE VARIACIÓN .....	106
TABLA 4.4 SELECCIÓN DE AGUJERO OPTIMO PARA LA FABRICACIÓN DEL CUELLO. <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
TABLA 4.5 CUPONES PARA ENSAYO HIDROSTÁTICO Y MICROGRAFIAS .....	109
TABLA 4.6 RESULTADOS DEL ENSAYO HIDROSTÁTICO .....	110

#### CAPITULO5

TABLA 5.1 DISTRIBUCIÓN DE FABRICACIÓN DE ACCESORIOS. ....	120
TABLA 5.2 TIEMPOS DE FABRICACIÓN DE LOS ACCESORIOS.....	120
TABLA 5.3 COSTO DE LA MANO DE OBRA POR UNIDAD DE TIEMPO .....	121
TABLA 5.4 PROCESOS UNITARIOS DE FABRICACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN DE MAQUINARIA.....	121
TABLA 5.5 VALOR AGREGADO UNITARIO POR UNIDAD DE PRODUCCIÓN .....	122
TABLA 5.6 COSTO UNITARIO DE MATERIA PRIMA Y MATERIALES DE CONSUMO.....	122
TABLA 5.7 PROCESOS O HERRAMIENTAS APLICADOS A CADA ACCESORIO.....	122
TABLA 5.8 COSTO ESTIMADO DE PRODUCCIÓN DE UN ACCESORIO.....	123
TABLA 5.9 COMPARACIÓN ENTRE CONTO DE PRODUCCIÓN Y COSTO DE VENTA .....	123

## RESUMEN

El presente trabajo busca desarrollar los pasos y métodos de construcción de accesorios en acero inoxidable austenítico AISI/SAE 304 de 12,7mm de diámetro y 0,8mm de espesor, que pueden ser unidos a tuberías por medio de soldadura fuerte. El objetivo es determinar variables o parámetros correctos que permitan aplicar las mejores técnicas de construcción sin sensibilizar el material base.

En el primer capítulo se presenta una descripción general de los aceros inoxidables austeníticos. Se analiza la influencia de los elementos aleantes y se describe el acero inoxidable 304. Se detalla la soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos, limpieza y conformado. Un punto importante es la corrosión intergranular que se genera al sensibilizar el acero inoxidable después de un proceso de soldadura, en el cual se presentan altas temperaturas.

El segundo capítulo corresponde a realizar el diseño de los accesorios, siguiendo las normas que rigen en la fabricación de accesorios, el diseño y construcción de las matrices permite obtener un accesorio de calidad, también se detallan las medidas establecidas, esfuerzos aplicados y tipo de soldadura que permitirán obtener un accesorio adecuado para el transporte de fluidos.

En el tercer capítulo se describe todo lo concerniente a los procesos constructivos de accesorios y matrices, se establecen los pasos básicos productivos de cada uno de los accesorios.

En el cuarto capítulo se realizan ensayos de hermeticidad y metalográficos para determinar parámetros que puedan influir en la obtención de un buen accesorio, también se detallan todos los resultados obtenidos de las pruebas y de los procesos constructivos.

En el quinto capítulo se realiza un pequeño análisis estimativo de costo de producción de cada uno de los accesorios y una pequeña comparación con

accesorios semejantes de venta en el mercado nacional. En el sexto capítulo se dan conclusiones y recomendaciones obtenidas en todo este estudio, las cuales son expuestas al lector para su fácil comprensión.

## **PRESENTACIÓN**

El acero inoxidable es un material que presenta buena resistencia mecánica y un alto poder anticorrosivo, lo que le proporciona grandes características para la conducción de fluidos.

Aprovechando que el acero inoxidable no contamina los fluidos que por él se transportan y que una tubería puede tener varias direcciones, se desarrolla este proyecto con el fin de facilitar la adecuada dirección de una línea de conducción, lo que implica diseñar accesorios que se ajusten a estas discontinuidades y que su método de unión a las tuberías sea lo más seguro posible, cumpliendo con los parámetros internacionales de diseño.

El estudio experimental busca determinar los métodos de fabricación más eficientes para la construcción de los accesorios, esto permitirá obtener accesorios de fácil fabricación y confiables para su utilización en la conducción de fluidos.

Para mantener los estándares bajo las normas establecidas en este documento, se realizaron varios tipos de probetas y diferentes métodos de fabricación, lo cual permitió obtener el diseño óptimo de fabricación y construcción. Las probetas fueron sometidas a prueba hidrostática superior a la establecida por la norma para determinar la calidad de la soldadura y del accesorio. Adicionalmente se realizó inspección visual macrográfica y metalografía para detectar defectos metalográficos y observar la zona de fusión después del proceso de soldadura.

## CAPÍTULO 1

# 1 ESTUDIO DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO, PROCESO DE SOLDADURA, LIMPIEZA Y CONFORMADO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL ACERO INOXIDABLE.

Los aceros inoxidable son aleaciones que pueden resistir casi todos los tipos de corrosión; todas las aleaciones tienen una base ferro-carbón-cromo, las propiedades de inoxidable las confiere el cromo en porcentajes que van desde el 10.5% al 30%, en algunas aleaciones se puede adicionar níquel y manganeso. El Cromo forma en la superficie del acero una película pasivante, extremadamente delgada, continua y estable. Esta película deja la superficie inerte a las reacciones químicas. Esta es la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables son designados por el sistema de clasificación de 3 números dígitos, establecidos por el Instituto Americano del Acero (American Iron and Steel Institute, AISI). Las especificaciones AISI son aceptadas por un numeroso grupo de ingenieros de casi toda América.

*Tabla 1.1 Tabla de designación AISI*

<b>DESIGNACION NUMERICA "AISI" DE ACESOR INOXIDABLES</b>		
<b>Series</b>	<b>Mayores elementos aleados</b>	<b>Características</b>
2XX	Cromo, Níquel, Manganeso	Austenítico. No se endurece
3XX	Cromo, Níquel	Austenítico. No se endurece
4XX	Cromo	(1) Martensítico. Sí se endurece (2) Ferrítico. No se endurece
5XX	Cromo (4 a 6 %)	Martensítico. Se endurece al aire

La tabla anterior muestra la relación de varios aceros, con respecto al contenido de cromo.

Un alto porcentaje de cromo hace más resistente al acero a los agentes corrosivos, tanto en altas como en bajas temperaturas.

Cuando se combina el cromo y el carbono se forma el carburo de cromo, que proporciona tenacidad, dureza y resistencia al desgaste. El contenido de níquel da resistencia a la corrosión y alta tenacidad.

El acero con alto contenido de cromo (sobre 10%), es conocido como martensítico, ferrítico o austenítico, aun cuando algunos aleados pueden tener otra estructura cristalina a temperatura ambiente, dependiendo esto del tratamiento térmico.

### **1.1.1 COMPARACIÓN ENTRE EL ACERO INOXIDABLE Y ACERO AL CARBONO.**

El acero inoxidable tiene propiedades que difieren del acero al carbón y de otros. Las comparaciones con el acero de bajo carbón, son las siguientes:

1. Su conductibilidad térmica es muy baja, y por esta razón es más susceptible de sobrecalentarse y torcerse durante la soldadura.
2. Su expansión térmica es mayor, tendiendo así a aumentar la distorsión durante el enfriamiento.
3. Tiene más resistencia a cierto tipo de corrosión que el acero al carbón, y es más resistente a la oxidación a altas temperaturas. La mayor parte de los aceros inoxidables no es afectado por algunos ácidos, inclusive el nítrico, excluyendo a los que contienen cloro como el hidrocórico que puede ocasionar corrosión por picadura.
4. Resistente a la oxidación, hasta que el calor llega cerca del punto de fusión en presencia del aire y forma un óxido de cromo refractario, que evita que las aleaciones puedan cortarse con el soplete, por cuya circunstancia deberá utilizarse un proceso de corte alterno. En la operación de soldadura el metal fundido deberá protegerse del aire-ambiente.
5. Algunas aleaciones martensíticas tienen muy alto grado de tendencia a la dureza; otras se cristalizan al calentarse y luego se enfrían, debiéndose esto al crecimiento excesivo del grano al llegar a temperaturas elevadas.

## 1.2 DIAGRAMA DE FASES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

### 1.2.1 DIAGRAMA DE FASE HIERRO CROMO <sup>15</sup>

Los diagramas de fase son utilizados para describir las transformaciones de fase y de las fases presentes en los aceros inoxidable, estos también se utilizan para predecir su microestructura. Todos los diagramas de fase están basados en condiciones de equilibrio.

En la figura 1.1 se muestra el diagrama Hierro-Cromo (Fe-Cr), en el cual existe solubilidad completa de cromo en hierro a elevadas temperaturas y una solidificación de todas las aleaciones de Fe-Cr en forma de ferrita.

A bajas concentraciones de cromo existe un Bucle Gamma de Austenita en los rangos de temperatura de 912 a 1394°C, en aleaciones menores al 12% en peso de cromo serán completamente austenita; un rápido enfriamiento de esta austenita puede transformarse en martensita.

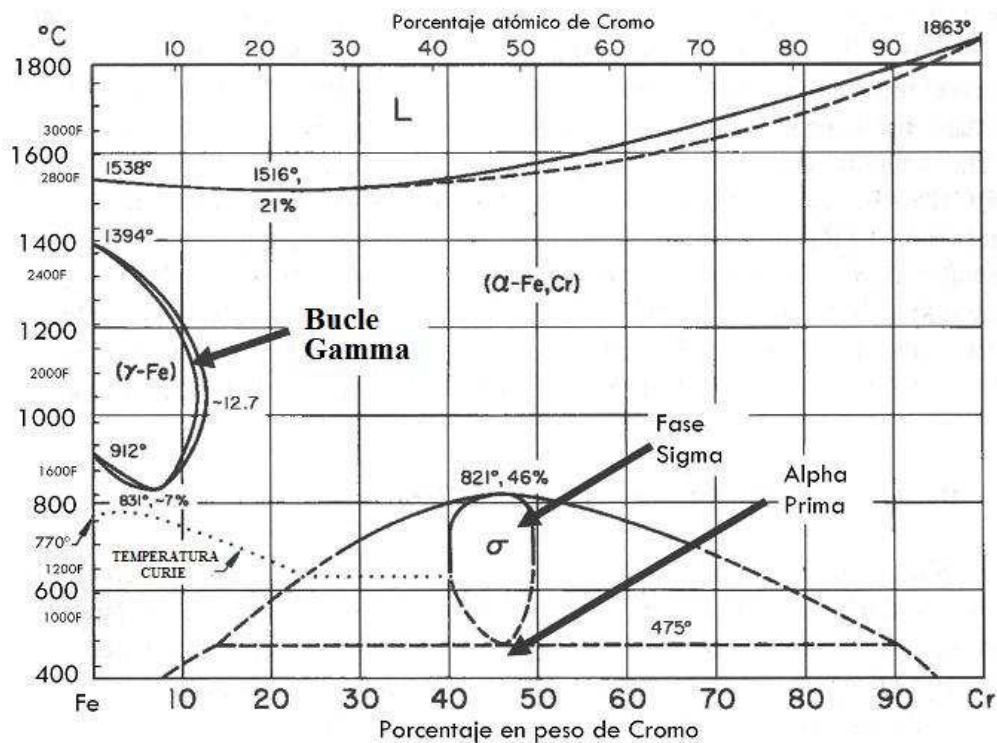


Figura 1.1 Diagrama de Fase Fe-Cr<sup>15</sup>

La fase sigma se forma fácilmente en aleaciones que exceden el 20% en peso de cromo, la precipitación a bajas temperaturas en el rango de 600 a 800°C y requiere gran cantidad de tiempo para su formación; esta es una fase indeseable



en los aceros inoxidable dado que presenta características de dureza y fragilidad.

### 1.2.2 DIAGRAMA HIERRO-CROMO-CARBONO EN BUCLE GAMMA<sup>15</sup>

La adición de carbono al sistema Fe-Cr altera y complica significativamente la fase de equilibrio. Debido a que el carbono es promotor de austenita este expandirá el bucle gamma, permitiendo que la austenita sea estable a elevadas temperaturas y con altos contenidos de cromo.

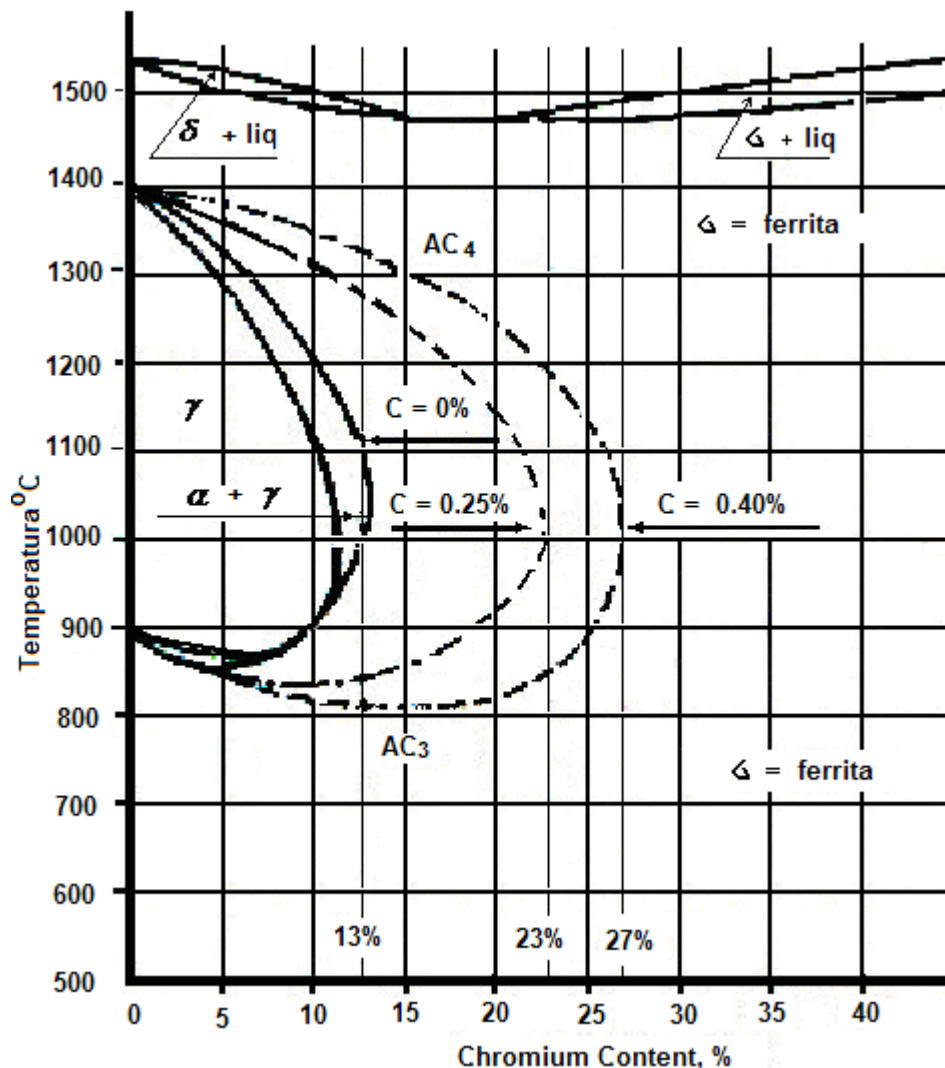


Figura 1.2 Efecto de carbono en la expansión del Bucle Gamma

### 1.3 INFLUENCIA DE LOS ALEANTES EN LOS ACEROS INOXIDABLES<sup>1</sup>

Se considera al cromo y al níquel como los principales elementos aleantes de los aceros inoxidable, existen otros elementos que son añadidos, para modificar la

microestructura, con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable.

### 1.3.1 CROMO

El cromo aumenta la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidable, etc. Este se emplea en cantidades diversas desde 0,30 a 30 % y se aplican en aceros de construcción, en aceros de herramientas, en los inoxidable, y los de resistencia en caliente. Formador de carburos, proporciona a los aceros características de inoxidable y refractarios, además que se utiliza para revestimientos embellecedores.

**Austenítico** 16 – 20 %    **Ferrítico** 10.5 – 30 %    **Martensítico** 11 – 18 %

### 1.3.2 NÍQUEL

La función principal de este elemento es de originar el predominio de la fase austenítica, por lo que mejora las propiedades mecánicas, la adición de 2 a 5% aumenta su resistencia y el límite de elasticidad, sin disminuir la tenacidad.

El Níquel no suele formar carburos ni compuestos inter metálicos. Aumenta la capacidad de temple de los aceros al disminuir la velocidad crítica de enfriamiento además que evita el crecimiento de grano en los tratamientos térmicos. A mayores contenidos de Ni en el acero, este muestra mayor facilidad a formar martensita. Infiuye para que los aceros resistan temperaturas elevadas y la corrosión.

**Austenítico** 7 – 20 %    **Ferrítico** 0    **Martensítico** Hasta 1 %

### 1.3.3 MOLIBDENO

El molibdeno es un elemento alfégeno y es añadido a la mayoría de los aceros inoxidable, este elemento mejora notablemente la resistencia a la tracción, la templabilidad y la resistencia al desgaste de los aceros, además aumenta la pasividad y resistencia química de los aceros inoxidable a los ácidos reductores, estabiliza la ferrita, favorece la resistencia mecánica en caliente de los aceros austeníticos.

Se añade cantidades de alrededor del 6% en los aceros inoxidable ferríticos, austeníticos y dúplex para mejorar su resistencia a la corrosión por cloruros, particularmente para la corrosión por picadura y por hendidura.

Cuando el contenido de Molibdeno pasa de 1 a 3 % para un mismo contenido de cromo, se debera incrementar la cantidad de níquel al 4 % para conservar la fase austenítica.

**Austenítico** 6 %      **Ferrítico** 6 %      **Martensítico** 0

#### 1.3.4 SILICIO

Es un desoxidante que se añade intencionalmente en todos los aceros con objeto de evitar que aparezcan poros y otros defectos internos. Estabilizador de la ferrita. En concentraciones entre 4% a 5% en peso, incrementa la resistencia a la corrosión, reduce la capacidad de temple al aire, aumenta la fluidez del acero fundido por lo que se le suele aumentar en materiales de aporte. El Silicio forma Siluros de Hierro y compuestos intermetálicos con el Cromo, todos los cuales fragilizan el acero.

**Austenítico** Hasta 0.75%    **Ferrítico** hasta 1%    **Martensítico** Hasta 1 %

#### 1.3.5 MANGANESO

Se añade en todos los aceros debido a que neutraliza la influencia del Azufre y Oxígeno, que surgen en el proceso de fabricación cuando el acero está líquido. Si los aceros no tuvieran Manganeso, no se podrían laminar ni forjar. El Manganeso actúa también como desoxidante y evita, que en la solidificación del acero se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material. Este es un gran estabilizador de la fase austenita a bajas temperaturas, ayudando a prevenir la formación de martensita.

**Austenítico** Hasta 2% (300)    **Ferrítico** Hasta 1%    **Martensítico** Hasta 1 %

### 1.4 ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS. <sup>1</sup>

Los aceros inoxidable austeníticos son clasificados como de la serie 300 por la AISI; su análisis comprende desde 16 hasta 26% de cromo, 6 hasta 16% de níquel y 0.03 hasta 0.25% de carbón, como máximo. Se pueden distinguir

fácilmente de otros aceros inoxidables y de hierros al cromo, en que no son magnéticos.

Los aceros inoxidables austeníticos tienen resistencia mecánica equivalente al acero dulce, aproximadamente 210 MPa (30 Ksi) de resistencia a la fluencia a temperatura ambiente, presentando elongaciones significantes (35% hasta 45%) durante cargas de tracción; pueden ser endurecidos con trabajo en frío más no por tratamientos térmicos<sup>15</sup>.

**Tabla 1.2 Propiedades Mecánicas mínimas de aceros inoxidables Austeníticos.**<sup>17</sup>

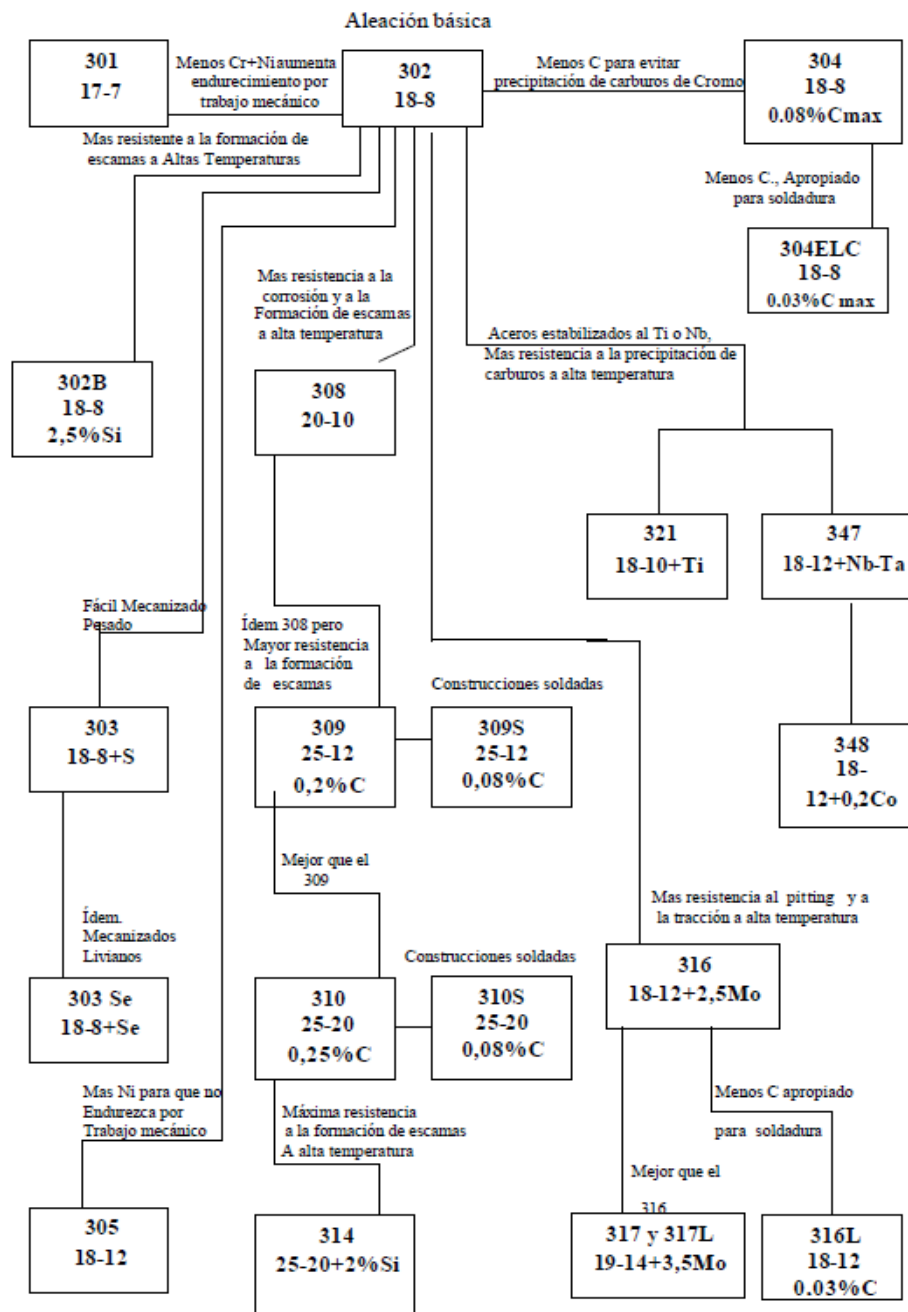
Aleación	Resistencia a la tracción		Resistencia a la fluencia		Elongación [%]	Reducción en área [%]
	[MPa]	[ksi]	[MPa]	[ksi]		
302	515	75	205	30	40	50
304	515	75	205	30	40	50
304L	480	70	170	25	40	50
308	515	75	205	30	40	50
309	515	75	205	30	40	50
310	515	75	205	30	40	50
316	515	75	205	30	40	50
316L	480	70	170	25	40	50
317	515	75	205	30	40	50
321	515	75	205	30	40	50
330	480	70	205	30	30	----
347	515	75	205	30	40	50

Debido a procesos de soldadura un recocido subsecuente (mayor a 900°C) puede requerirse para una óptima resistencia a la corrosión, ductilidad, etc. Luego del recocido se necesita de enfriamiento en agua o aire. Presenta buena tenacidad a bajas temperaturas debido a ello, son ampliamente utilizados en aplicaciones criogénicas.

La austenita tiene mejores propiedades de ductilidad y tenacidad debido a la plasticidad de la estructura cúbica centrada en las caras.

El Níquel mantiene la estructura austenítica a temperatura ambiente y debajo de ella, por eso estos aceros no producen martensita al templarse. La deformación en frío puede determinar la formación de estructuras martensíticas. Se obtienen con procesos de recocido a temperatura de 1000°C lo que impide la formación de Carburos de Cromo y esfuerzos residuales.

Los tratamientos térmicos en aceros inoxidable austeníticos generan aumento de grano pero a diferencia de los aceros al Carbono, no se provoca fragilidad elevada.



**Figura 1.3 Desarrollo de los aceros inoxidable austeníticos<sup>1</sup>**

Al calentarse los aceros austeníticos entre 525°C y 900°C, ocurre una migración interior del cromo que hace disminuir la resistencia a la corrosión, lo cual se debe a la precipitación del cromo hacia los contornos del grano, en forma de finas películas de cromo ricas en carburos, en cantidades hasta de 90% de aquel.

A este fenómeno se le denomina “precipitación carburosa”, que da lugar a la corrosión intergranular.<sup>16</sup>

Los aceros inoxidable austeníticos son generalmente más costosos que los de grado martensítico y ferrítico, debido al alto contenido de aleantes, pero presentan grandes ventajas como la fácil conformación y la soldabilidad.

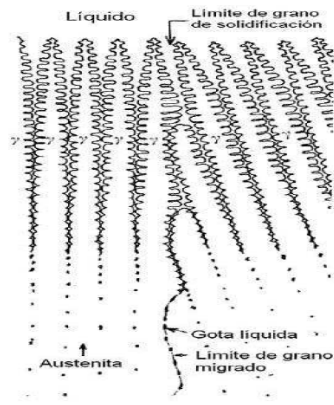
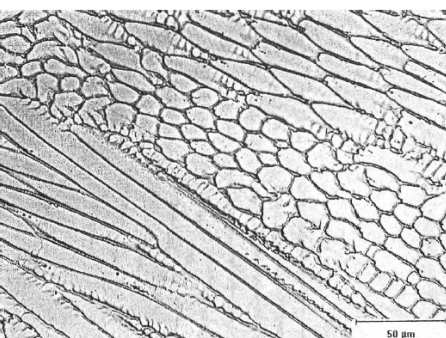
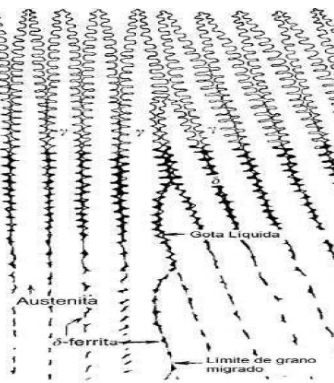
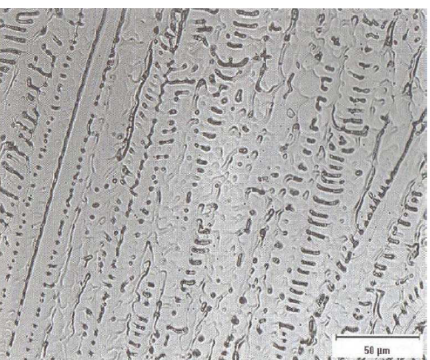
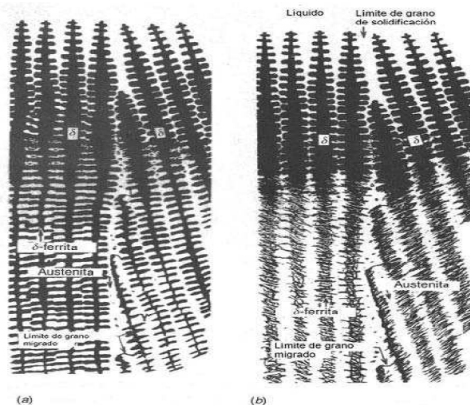
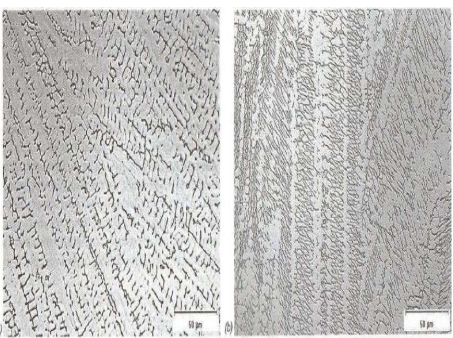
#### **1.4.1 MICROESTRUCTURA EN LA ZONA DE FUSIÓN<sup>15</sup>**

La micro estructura en la zona de fusión de los aceros inoxidable austenítico es dependiendo de dos factores, el comportamiento de la solidificación y las transformaciones subsecuentes en estado sólido. Todos los aceros inoxidable solidifican sea en ferrita o austenita como fase primaria. Los aceros inoxidable austeníticos pueden solidificar como ferrita primaria o austenita primaria, dependiendo de la composición específica.

Estos modos de solidificación son controlados por la fase del proceso y por las transformaciones en el estado sólido, que están asociados a la composición de la aleación, expresada por la relación  $Cr_{eq}/Ni_{eq}$ . Existen cuatro tipos de solidificación y transformaciones de estado sólido posibles para la soldadura de aceros inoxidable austeníticos.

Los modos de solidificación A y AF son asociados con la solidificación de la austenita primaria, razón por la cual la austenita es la primera fase que se forma durante la solidificación. Los modos de solidificación FA y F solidifican como ferrita delta como fase primaria. Las solidificaciones y las consiguientes modificaciones microestructurales ocurren en los estados FA y F, debido a la inestabilidad de la ferrita a bajas temperaturas.<sup>15</sup>

Tabla 1.3 Tipos de solidificación, reacciones y microestructuras resultantes<sup>15</sup>

Tipo de solidificación	Reacción  <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> Austenita                     <div style="background-color: black; width: 15px; height: 15px; display: inline-block;"></div> Ferrita Delta                 </div>	Microestructura
A	$L - L+A - A$  	Completamente austenítica, estructura solidificada bien definida.  
AF	$L - L+A - L+A + (A+F)_{eut} - A+F_{eut}$  	Islotes de Ferrita y bordes dendríticos  
FA	$L - L+F - L+F + (F+A)_{per/eut} - F+A$  	Ferrita esquelética y ferrita alargada resulta de la transformación ferita-austenita  

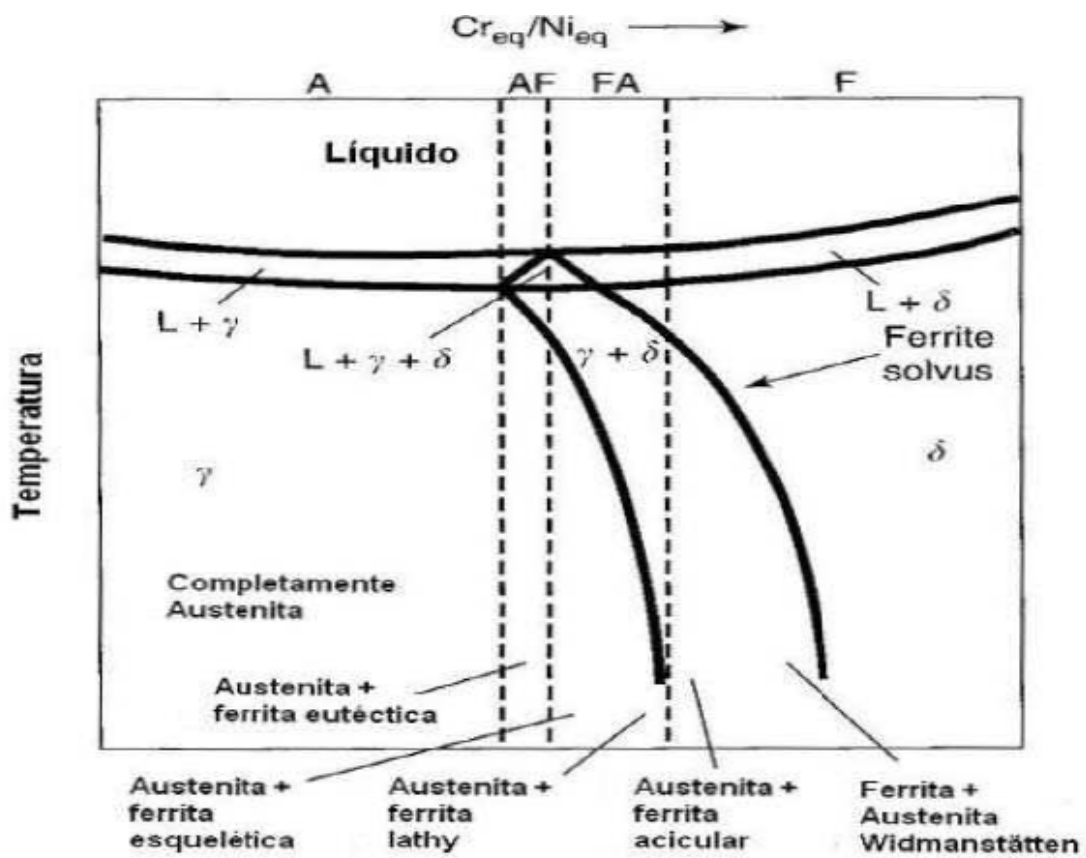
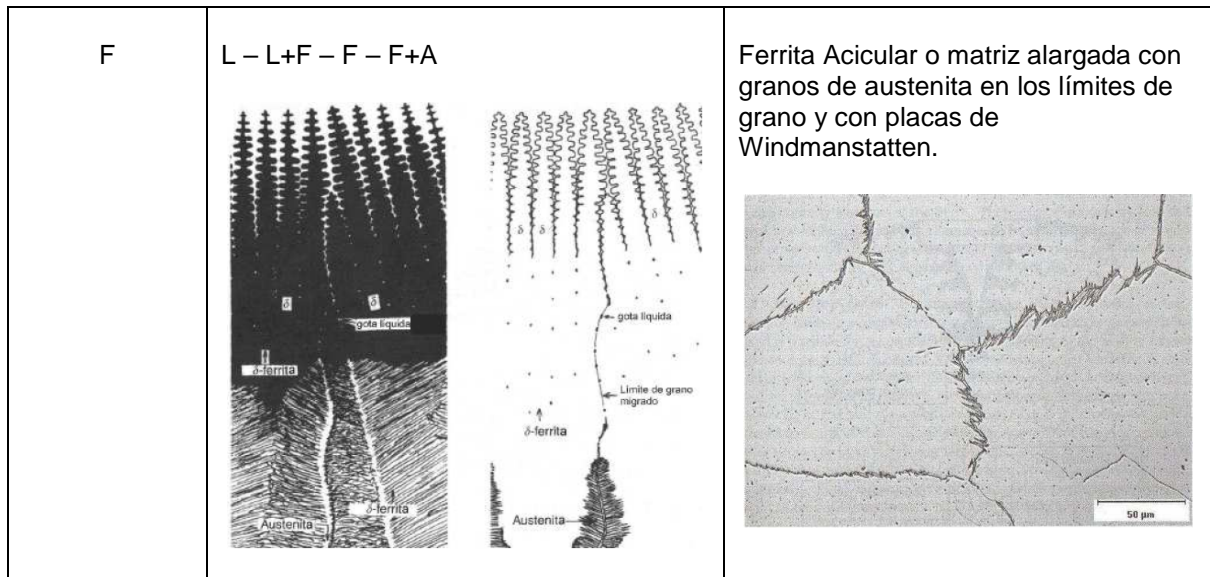


Figura 1.4 Relación del tipo de solidificación del diagrama de fase pseudobinario<sup>15</sup>



### 1.4.2 ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO AISI 304.

El acero AISI 304 forma parte de la familia de los aceros inoxidable Austeníticos, presenta una buena resistencia a la corrosión, no es necesario un tratamiento de recocido después de procesos de soldadura, tiene alta ductilidad pero es poco maquinable, este tipo de aceros es de fácil obtención en el mercado nacional.

Su área de aplicación es extremadamente amplia, siendo utilizado para la construcción de equipos utilizados en la industria alimenticia, fabricación de tanques de almacenamiento de leche, industria cervecera, intercambiadores de calor, equipos quirúrgicos, plantas de tratamiento de aguas, etc.

El acero 304L, presenta menor contenido en carbono, mejorando las propiedades anticorrosivas del material en comparación con el acero AISI 304. En la tabla a continuación se pueden observar los porcentajes de los elementos químicos de cada acero.

**Tabla 1.4 Composición química del acero inoxidable 304 y 304L**<sup>16</sup>

Grado		Porcentaje						
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
304	Máx	0.08	2	1	0.045	0.03	18-20	8-10.5
304L	Máx	0.03	2	1	0.045	0.03	18-20.1	8-12

El bajo contenido de Carbono favorece a la disminución de precipitaciones de carburos en la zona afectada por el calor durante el proceso de soldadura, logrando una baja susceptibilidad a la corrosión intergranular.

**Tabla 1. 1 Propiedades del acero inoxidable 304.**<sup>17</sup>

Propiedades	Métricas	Inglesas	Observaciones
<b>Propiedades físicas</b>			
Densidad	8 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	-
<b>Propiedades mecánicas</b>			
Dureza Rockwell B	70	70	-
Dureza Vickers	129	129	Convertida desde Rockwell B
Resistencia a la rotura	505 MPa	73200 psi	0% de trabajado en frío
Resistencia a la fluencia	215 MPa	31200 psi	-
Elongación a la rotura	70%	70%	En 50 mm (2 in)
Módulo de Elasticidad	193 – 200 GPa	28000 – 29000 ksi	-

Relación de Poisson	0,29	0,29	-
Impacto Charpy	325 J	240 ft-lb	-
Módulo de corte	86 GPa	12500 ksi	-
<b>Propiedades eléctricas</b>			
Resistividad eléctrica	$7,2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$	$7,2 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$	A 20 °C. A 650 °C: $1,6 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ .
Permeabilidad magnética	1.008	1.008	
<b>Propiedades térmicas</b>			
Calor específico	0.5 J/g-°C	0.12 BTU/lb-°F	-
Punto de fusión	1400 – 1455 °C	2550 – 2650 °F	-
Solidus	1400 °C	2550 °F	-
Liquidus	1455 °C	2650 °F	-
Conductividad térmica	16,2 W/cm-°C	112 BTU in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	A 20 °C
Coefficiente de expansión térmica	18.7 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{°C}$	10.4 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{°F}$	De 0 a 650 °C

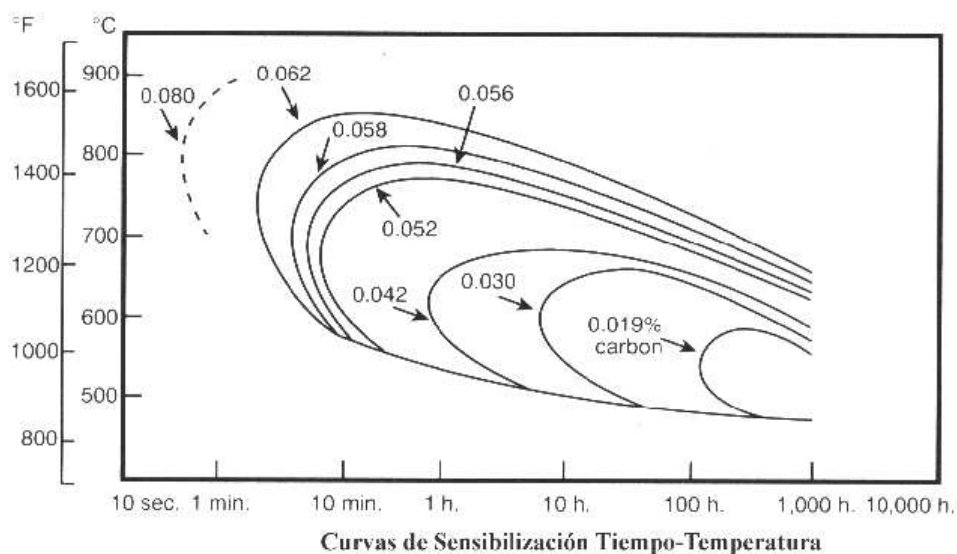
## 1.5 SOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES

### 1.5.1 EFECTO DE LA SOLDADURA EN LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN<sup>19</sup>

Los aceros inoxidable austeníticos se diferencian normalmente por su excelente resistencia a la corrosión, la soldadura puede reducir esa resistencia en ambientes agresivos. En la soldadura, el calor que se genera produce un gradiente de temperatura en el metal base e induce tensiones residuales en el área soldada, lo cual en ciertos ambientes puede resultar en roturas por corrosión bajo tensión. Uno de los primeros problemas de corrosión relacionados con la soldadura fue el ataque intergranular, en la zona soldada afectada por la temperatura. En el rango de temperaturas que va de 525 a 900 °C, el carbono se combina con el cromo para formar carburos de cromo en el borde de los granos. El área adyacente a los carburos tiene menor cantidad de cromo. Cuando la red de carburos es continua, la envoltura empobrecida en cromo alrededor de los granos puede ser atacada selectivamente, resultando en corrosión intergranular. En el peor de los casos, la capa empobrecida en cromo se corroe completamente y los granos se separan del metal base; se dice que las aleaciones están sensibilizadas, cuando por soldadura o tratamientos térmicos, existen áreas empobrecidas en cromo que puedan ser atacadas en estos ambientes corrosivos.

Las aleaciones sensibilizadas aún pueden prestar buenos servicios en muchos de los ambientes moderados en que se usan los aceros inoxidable. Hoy, con la tendencia de las fábricas a proveer productos con bajo carbono, el ataque intergranular de los aceros inoxidable austeníticos ocurre menos a menudo. El grado de sensibilización, o sea la cantidad de carburos de cromo formado en los límites de grano, está influenciado por la cantidad de carbono, la temperatura y tiempo de exposición.

La Figura 1.5 ilustra las curvas de sensibilización tiempo-temperatura para el acero inoxidable tipo 304. Las curvas para otros aceros inoxidable austeníticos son similares, con valores ligeramente diferentes. La aleación está sensibilizada (se ha formado una red de carburos de cromo en los límites de grano) cuando el tiempo a una temperatura determinada para un contenido en particular de carbono está a la derecha de la curva de % de carbono.



**Figura 1.5 Efectos del control del carbono**

Se puede ver que la temperatura a la cual la sensibilización ocurre más rápidamente varía desde 700 °C, con una aleación de 0.062 % de carbono, a 600 °C, para una aleación con 0.03 %. De la Figura 1.5 se puede ver que una aleación con el 0.062 % de carbono podría quedar sensibilizada en un tiempo tan pequeño como 2 a 3 minutos a 700 °C. Por otro lado, el tipo 304 con 0.030 % de carbono podría mantenerse a 595 °C por 8 horas antes de sensibilizarse. Por esta razón los grados bajos en carbono se utilizan más comúnmente en los equipos resistentes a la corrosión, donde la corrosión intergranular es un riesgo.

Con el grado "L", la zona afectada por el calor no permanece el tiempo suficiente para sensibilizarse. Se puede prevenir la formación de los carburos de cromo en los límites de grano agregando titanio (Ti) o niobio (Nb)-tantalio (Ta) a la aleación. Estos elementos tienen una afinidad más grande por el carbono que el cromo, y forman carburos distribuidos uniformemente, lejos de los límites de grano, con lo cual no se afecta la resistencia a la corrosión. El tipo 321 (UNS S32100) contiene titanio y el 347 (UNS S34700) contiene niobio-tantalio. Ambos son versiones estabilizadas del tipo 304. Los grados estabilizados se prefieren para aplicaciones donde la aleación estará un largo tiempo en el rango de temperaturas de sensibilización (525 a 900 °C). Un tercer método de prevenir el ataque intergranular en la zona afectada por el calor, en aleaciones conteniendo más de 0.03% de carbono, es redissolver los carburos de cromo por templado por disolución, entre 1040 °C y 1175 °C, seguido por un enfriamiento rápido. El templado por disolución es un buen método para restaurar completamente la resistencia a la corrosión cuando el tamaño, forma y geometría de las soldaduras permiten el tratamiento térmico. El templado por disolución debe ser muy bien controlado, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, para mantener la distorsión dentro de límites aceptables.

### **1.5.2 FISURAS DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN CON COBRE<sup>18</sup>**

Este fenómeno se presenta tanto en los aceros inoxidable austeníticos como en los aceros estructurales. Se origina cuando el cobre presente en las partes que se intervienen en la soldadura (elementos de soldar, electrodos, elementos de sujeción, etc) alcanza la temperatura de fusión aproximada de 1083°C y penetra en los bordes de grano austenítico.

Este efecto de fisuras debido a la contaminación con cobre se puede observar generalmente en áreas cercanas a la zona de fusión, el grado de fisuración depende del ciclo térmico de la soldadura y de los esfuerzos aplicados.

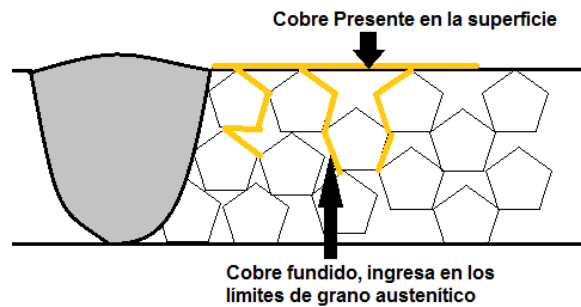


Figura 1.6 Fisuras debido a la presencia de cobre.

### 1.5.3 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN LA S SOLDADURAS

#### 1.5.3.1 Penetración incompleta de las soldaduras

Para lograr una óptima resistencia, las soldaduras a tope deben penetrar completamente. En servicio corrosivo, cualquier rendija resultante de la falta de penetración o penetración incompleta es un sitio potencial para el desarrollo de la corrosión por rendijas, la cual puede dar lugar a una falla en la junta soldada.

#### 1.5.3.2 Contaminación por hierro

Cuando un equipo nuevo de acero inoxidable desarrolla puntos de herrumbre, casi siempre es el resultado de la contaminación por partículas de hierro. En algunos ambientes el hierro no eliminado puede dar lugar a un severo ataque en forma de corrosión por picado. En atmósferas no tan exigentes, las partículas de hierro pueden actuar como un contaminante, afectando la pureza del producto, o presentar una apariencia superficial desagradable a la vista. El hierro libre resulta a menudo incluido en la superficie del acero inoxidable durante las operaciones de conformado o soldadura.

Para evitar la inclusión de partículas de hierro, no se deberá permitir el contacto de las superficies de acero inoxidable con elementos de hierro o acero. No usar herramientas, tales como discos abrasivos que hayan sido previamente usados con hierro o aceros ordinarios, ya que podrían tener hierro incrustado.

Se utilizará cepillos de acero inoxidable que nunca hayan sido usados con hierro o acero al carbono, nunca usar cepillos de alambre de acero al carbono, no dejar las planchas u hojas de acero inoxidable en el piso expuestas al tráfico. Se deben

guardar en posición vertical. Si es posible, realizar las operaciones de fabricación de los equipos de acero inoxidable en un lugar alejado de donde se realicen operaciones con hierro o acero al carbono, para evitar contaminaciones con partículas de hierro provenientes de amoladoras, herramientas de corte.

### **1.5.3.3 Defectos relacionados con la soldadura**

Las marcas de encendido del arco dañan la capa protectora del acero inoxidable y crean imperfecciones similares a rendijas. Los puntos de parada de la soldadura pueden crear defectos similares a pinchazos de alfiler en el metal soldado; ambas imperfecciones se deben eliminar mediante un ligero pulido con abrasivos de grano fino.

Las salpicaduras de soldadura crean pequeñas marcas donde el metal fundido toca la superficie y se adhiere. La capa protectora de óxido del acero inoxidable es penetrada y se crean pequeñas rendijas donde esta capa es más débil. Las salpicaduras de soldadura se pueden eliminar fácilmente aplicando una pasta a ambos lados de la soldadura, luego la pasta junto con las salpicaduras se lava en el proceso de limpieza.

La escoria de algunas soldaduras con electrodos revestidos es de difícil remoción. Pequeñas partículas de escoria resisten la limpieza y permanecen particularmente donde hay pequeñas hendiduras u otras irregularidades. Estas partículas deben ser eliminadas mediante cepillado o un ligero pulido con materiales libres de hierro.

### **1.5.4 CALIFICACIÓN PARA LA SOLDADURA**

Los fabricantes de equipos desarrollan o mantienen especificaciones para procedimientos de soldadura; los soldadores se prueban y certifican mediante la realización de soldaduras de calidad aceptable. Hay un número de códigos de Sociedades Industriales que gobiernan las calificaciones para la soldadura, los dos más usados en Estados Unidos para equipos resistentes a la corrosión son:

- American Society of Mechanical Engineers, ASME, Boiler and Pressure Vessel Code - Sección IX, Welding and Brazing Qualifications;

- American Welding Society, AWS, Standard for Welding Procedure and Performance Qualification - AWS B2.1

Internacionalmente, cada país tiene sus propias normas o códigos individuales. Afortunadamente, hay una tendencia hacia la aceptación o intercambio de especificaciones y el interés de eliminar recalificaciones no deseadas.

#### **1.5.4.1 Entrenamiento del Soldador**

Para cumplir con las especificaciones para calificación en soldadura, tales como la ASME y ASTM, los soldadores deben pasar por una prueba de calificación. Un programa de entrenamiento previo no sólo es esencial antes de tomar las pruebas de calificación, sino que también aseguran la calidad en la ejecución de la soldadura. Los aceros inoxidable son tan diferentes de los aceros ordinarios en sus características, que se debe dar tiempo a los operarios para entrenamiento y práctica. Una vez que están familiarizados con los aceros inoxidable, muchos de ellos los prefieren; los entrenamientos deben cubrir no sólo los diferentes metales base y procesos de soldadura, sino también las formas a ser soldadas, tales como tubos o chapas finas, o soldaduras en posiciones poco usuales.

#### **1.5.5 CORTE Y PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS**

Con excepción del corte oxiacetilénico, el acero inoxidable puede ser cortado con los mismos métodos utilizados para el acero al carbono. El corte oxiacetilénico resulta en la formación de óxidos de cromo refractarios, que impiden un corte preciso y parejo. El espesor y la forma de las partes a ser cortadas o preparadas para la soldadura, son los que determinan cuáles de los métodos que se muestran en la tabla siguiente serán los más apropiados.

**Tabla 1.5 Métodos de corte de acero inoxidable**

<b>Método</b>	<b>Espesor</b>	<b>Comentario</b>
Guillotina	Láminas, cintas, placas finas	Preparar el borde expuesto al ambiente para eliminar rendijas
Corte por sierra y abrasivo	Amplio rango de espesor	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes de la soldadura o tratamiento térmico.
Maquinado	Amplio rango de formas	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes de la soldadura o tratamiento térmico.
Corte con arco de plasma	Amplio rango de espesores	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal
Corte con polvo metálico	Amplio rango de espesores	Corte menos preciso que con plasma, se deben eliminar todas las escorias
Corte por arco de grafito	Usado para acanalar la parte de atrás de soldaduras y cortar formas irregulares.	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal.

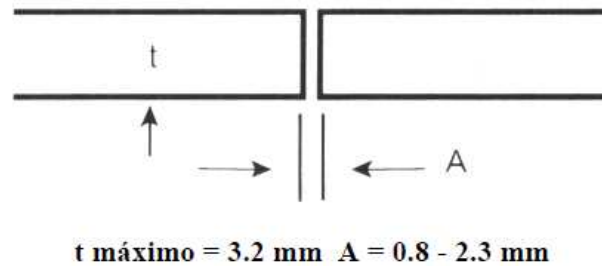
### 1.5.6 DISEÑO DE LAS JUNTAS

El diseño de juntas utilizadas para acero inoxidable, es similar a las de los aceros ordinarios. La junta seleccionada debe producir una soldadura de resistencia apropiada y desempeño en servicio, manteniendo bajos costos. Las soldaduras a tope deberán ser con penetración completa, para servicio en atmósferas corrosivas. Los filetes de soldadura no necesitan tener penetración completa, siempre que se suelden ambos lados para evitar espacios vacíos que puedan juntar líquido y permitir la corrosión por rendijas.

La conexión de secciones de tubería mediante filetes de soldadura deja una rendija grande en el interior del diámetro, lo cual favorece una corrosión por rendijas, esta debe ser prohibida en toda construcción de cañerías de acero inoxidable, para todo servicio.

El acero inoxidable fundido de la soldadura es bastante menos fluido que el acero al carbono y la profundidad de la penetración de la soldadura no es tan grande. Para compensar, las juntas de soldadura en acero inoxidable deberán tener un chaflán y un espacio para el pase de raíz más anchos. El proceso de soldadura también influye en el diseño óptimo de junta; por ejemplo, la soldadura MAG por spray de arco, da una penetración mucho más profunda que la MAG por cortocircuito.





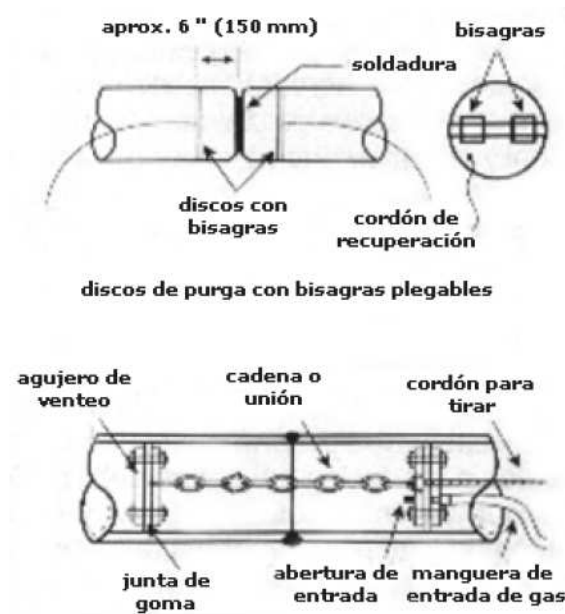
**Figura 1.7 Juntas para soldadura a tope de chapas**

### 1.5.6.1 Montaje de juntas de tuberías para soldadura TIG

La necesidad de mantener una separación adecuada durante el pase de raíz se debe a dos razones. La primera es que un espaciado uniforme ayuda al soldador a producir un contorno óptimo en el diámetro interno del tubo; cuando la junta es muy cerrada, hay una tendencia a raíces cóncavas en lugar de la deseable, que es levemente convexa. La segunda es que se necesita mantener una composición química uniforme en el pase de raíz; para muchas aplicaciones en corrosión, la adición de metal de aporte es esencial para que la soldadura tenga una resistencia a la corrosión similar a la del metal base. Si la junta es muy chica, será imposible fundir una cantidad adecuada de metal de aporte dentro de la soldadura de raíz. Por ejemplo, los aceros inoxidable con el 6% de molibdeno requieren una adecuada separación de la raíz y el agregado de un metal de aporte adecuado.

### 1.5.7 PURGA DURANTE LA SOLDADURA DE RAÍZ EN TUBERIAS

El interior del tubo debe ser purgado con un gas inerte adecuado antes del pase de raíz con TIG, la falta de purga puede resultar en una superficie muy oxidada en la parte interior del tubo, con una resistencia a la corrosión menor. La purga se realiza normalmente con argón puro, pero también se suele utilizar el nitrógeno, debido a su bajo costo. Con los aceros inoxidable dúplex, el respaldo gaseoso con nitrógeno compensa la pérdida del mismo en el metal soldado, y devuelve a la soldadura su resistencia a la corrosión. La purga es una operación en dos pasos; la primera se realiza antes de la soldadura para desplazar el aire que contiene la tubería, para ahorrar tiempo y gas, se usan tapones a ambos lados de la junta, con el fin de reducir el área de purga.



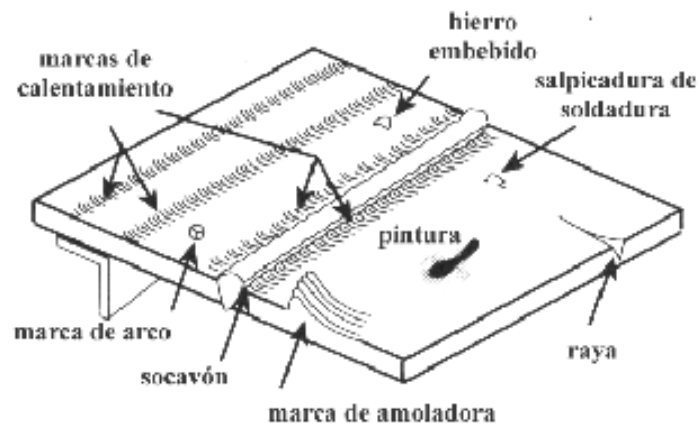
**Figura 1.8** *Instalación típica para purga de caños*

Las juntas de la soldadura de raíz abierta deberán ser encintadas y los espacios muertos venteados antes de la purga. El contenido interno de oxígeno deberá bajarse a menos del 1% antes de la soldadura, el flujo de la purga deberá reducirse hasta un punto donde sólo haya una ligera presión positiva. La cinta que cubre la junta deberá ser quitada sólo momentos antes de realizar la soldadura. Después del primer pase, la purga deberá mantenerse durante las próximas dos pasadas con metal de aporte, con el fin de minimizar el desarrollo de color en la zona de soldadura y evitar problemas de corrosión en el interior de la tubería, esto es especialmente importante cuando no sea práctico el decapado después de la soldadura.

## 1.6 LIMPIEZA POSTERIOR A LA FABRICACIÓN

Muy a menudo se supone que el producto, ya sea un tanque, un recipiente a presión, la junta de un tubo, un accesorio, etc., está listo para el servicio después de que se haya realizado la última soldadura. La limpieza después de la fabricación debe ser tan importante como cualquiera de los pasos discutidos anteriormente. La condición superficial de los aceros inoxidable es crítica, bien cuando el producto no debe ser contaminado (plantas farmacéuticas, alimenticias o nucleares), o cuando el acero debe resistir ambientes agresivos, tales como en plantas de procesos químicos. Las condiciones superficiales que pueden reducir

La resistencia a la corrosión se pueden agrupar en cuatro categorías: contaminación superficial, incrustaciones de hierro, daño mecánico, o defectos relacionados con la soldadura. La Figura 1.9 ilustra algunas de las condiciones más comunes.



**Figura 1.9 Defectos típicos de fabricación<sup>5</sup>**

### **1.6.1 CONTAMINANTES SUPERFICIALES**

En ambientes agresivos, los contaminantes orgánicos sobre las superficies de acero inoxidable pueden favorecer la corrosión por rendijas, tales contaminantes incluyen grasas, aceites, marcas de crayones, pinturas, cintas adhesivas, y otros depósitos pegajosos. Las superficies a ser decapadas o tratadas con ácido deben estar libres de contaminantes orgánicos para que el ácido sea efectivo en remover la contaminación por hierro, óxidos superficiales o condiciones similares. Debido a que poco se puede hacer durante la fabricación para reducir la contaminación orgánica, el fabricante lo debe hacer durante la limpieza final.

### **1.6.2 DETECCIÓN DE CONTAMINANTES**

La inspección visual se utiliza normalmente para detectar la contaminación orgánica, mientras que se puede usar un trapo o papel para la detección de aceite o grasa.

### **1.6.3 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES**

Para el desengrasado se utiliza un solvente no clorado. La prueba de ruptura de la película de agua es una manera simple de juzgar la efectividad del

desengrasado. Una fina cortina de agua, aplicada con una manguera sobre la pared del recipiente, se romperá alrededor de las superficies contaminadas con grasa o aceite, el desengrasado se deberá repetir hasta que la película de agua deje de romperse. Los solventes clorados no se recomiendan debido a los restos de cloruros que pueden permanecer y causar procesos de corrosión cuando la unidad sea puesta en servicio.

#### **1.6.4 HIERRO EMBEBIDO**

Algunas veces, los tanques, recipientes o accesorios se oxidan poco tiempo después que son despachados. Esto se puede deber a partículas de hierro embebidas en la superficie durante el proceso de fabricación. Las partículas de hierro se corroen en el aire húmedo o cuando son mojadas, dejando marcas de óxido, además de ser desagradables a la vista, las partículas más grandes de hierro embebido pueden iniciar procesos de corrosión por rendijas en el acero inoxidable subyacente.

La corrosión por rendijas iniciada por grandes partículas de hierro embebido, pueden llevar a fallas por corrosión, que de otra manera no hubieran sucedido. En las industrias farmacéuticas, alimenticias y de otros procesos en los cuales el acero inoxidable se usa principalmente para prevenir la contaminación del producto, el hierro embebido no puede ser tolerado.

#### **1.6.5 DETECCIÓN DEL HIERRO EMBEBIDO**

La prueba más simple para la detección del hierro embebido es mojar la superficie con agua limpia y dejar que se escurra el exceso, después de 24 horas, se inspecciona la superficie para detectar manchas de óxido; esta es una prueba muy simple que cualquier taller puede realizar. Para asegurar la ausencia de hierro embebido, esta prueba debe ser especificada en los documentos de fabricación. Una prueba más sensible se obtiene mediante el uso de la prueba del ferroxilo, esta solución se prepara mezclando los componentes indicados en la tabla 1,6.

**Tabla 1.6 Solución para la prueba de ferroxilo**

<b>Componentes</b>	<b>%</b>	<b>Cantidad (volumen en peso)</b>
Agua destilada	94	1.000 cm <sup>3</sup>
Acido nítrico, 60-67%	3	30 cm <sup>3</sup>
Ferrocianuro de potasio	3	30g

La solución se aplica mejor mediante un rociador, la contaminación con hierro se indica por la aparición de un color azul después de pocos minutos; la profundidad del color es un indicador del grado de contaminación, la solución debe ser limpiada después de algunos minutos mediante agua o un paño húmedo.

La prueba del ferroxilo es muy sensible y se puede aplicar tanto en el taller como durante el montaje. Se puede entrenar al personal para realizarla en unas pocas horas; esta prueba generalmente se requiere para equipos de acero inoxidable utilizados en plantas farmacéuticas, alimenticias, nucleares, al igual que para equipos de proceso en industrias químicas. Una excelente guía básica para estas pruebas es la norma ASTM A380, "Standard Recommended Practice for Cleaning and Descaling Stainless Steel Parts".

## **1.6.6 REMOCIÓN DEL HIERRO EMBEBIDO<sup>19</sup>**

### **1.6.6.1 El decapado**

El decapado, que a menudo se realiza después del desengrase, es el método más efectivo para eliminar el hierro embebido. En el decapado, una capa superficial menor que 0.025 mm se elimina por corrosión, normalmente con un baño ácido de nítrico / fluorhídrico a 50 °C. El decapado no sólo elimina la contaminación por hierro y otros metales, sino que deja la superficie brillante y limpia, y en su condición más resistente. Dado que el decapado es una corrosión controlada y generalizada, se prefieren los aceros inoxidables de bajo carbono o estabilizados.

### **1.6.6.2 Métodos de Decapado**

Existe una serie de métodos de decapado que pueden emplearse en los elementos, módulos de construcción y materiales de edificios de acero

inoxidable. Los principales componentes de los productos de decapado del acero inoxidable son el ácido nítrico y el ácido fluorhídrico; los principales métodos, empleados por los especialistas, en el decapado de elementos enteros o grandes superficies son:

- Decapado por inmersión en tanque
- Decapado por aspersion

La inmersión en tanque normalmente conlleva el decapado fuera del lugar habitual; en las instalaciones del fabricante o en las del especialista en decapado.

El decapado por aspersion puede realizarse en sitio (in situ), pero debe ser ejecutado por especialistas con los procedimientos y equipos adecuados de seguridad y eliminación de ácido. La inmersión en tanque tiene la ventaja de tratar todas las superficies del elemento para lograr una óptima resistencia a la corrosión y un acabado uniforme. Es también la mejor opción en aspectos de salud y seguridad puesto que siempre se realiza en sitio. El decapado llevado a cabo en las instalaciones de un fabricante o minorista de acero inoxidable especializado, puede ser minuciosamente controlado y minimiza además el impacto medioambiental del proceso.

Las áreas más pequeñas, especialmente alrededor de las zonas de soldadura, pueden decaparse mediante:

- Cepillado con pasta o gel
- Limpieza electroquímica

Estos métodos pueden aplicarse en sitio y no requieren conocimientos especializados para su ejecución efectiva y segura. Es importante disponer de una experiencia y supervisión adecuadas para minimizar los riesgos a la salud, seguridad y medio ambiente al tiempo que se obtiene una superficie correctamente decapada. Puede producirse corrosión en las zonas tratadas si los tiempos de contacto con el ácido y los procedimientos de aclarado final no fuesen controlados adecuadamente conforme a las instrucciones del proveedor. Los tiempos de contacto para los diferentes grados (tipos) de aceros inoxidables

pueden variar. Es importante que los operarios sean conscientes del tipo particular de acero que se está decapando y los riesgos de los productos empleados, de forma que se obtengan resultados seguros y satisfactorios. Es importante que todos los rastros de productos, residuos y desechos de decapado se eliminen completamente de la superficie de las piezas de acero, para conseguir una superficie completamente resistente a la corrosión y sin manchas de óxido. Los especialistas reconocidos en limpieza y recuperación de acero inoxidable suelen emplear agua destilada (desionizada) en el aclarado final para obtener los mejores resultados en materiales de construcción.

### **1.6.6.3 El pasivado**

El pasivado se suele producir de modo espontáneo en las superficies de acero inoxidable, pero a veces puede ser necesario favorecer el proceso con tratamientos de ácido oxidante. A diferencia con el decapado, durante el pasivado mediante ácido no se elimina metal alguno de la superficie. En cambio la calidad y el espesor de la capa pasiva crecen rápidamente en el proceso de pasivado mediante ácido. Pueden darse circunstancias en que los procesos de decapado y pasivado se produzcan sucesivamente (en lugar de simultáneamente), durante tratamientos que empleen ácido nítrico, si bien el ácido nítrico por sí mismo sólo podrá pasivar las superficies de acero inoxidable. No es un ácido efectivo para decapar aceros inoxidables.

### **1.6.6.4 Tratamientos de Pasivado**

La capa pasiva sobre los aceros inoxidables no es el simple óxido o cascarilla, que se formaría calentando el acero. Durante el calentamiento la capa pasiva natural transparente aumenta de grosor formando manchas de termocoloración y finalmente una cascarilla gris de óxido. La consecuencia de estas capas visibles de óxido es normalmente una reducción de la resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Los componentes de acero inoxidable, como los elementos de hornos, diseñados para funcionamiento a altas temperaturas hacen uso de estos recubrimientos de cascarilla de óxido más gruesos, y resistentes, para la protección frente a la oxidación a altas temperaturas.

En cambio, los componentes pensados para condiciones de trabajo a temperatura ambiente dependen de una fina capa pasiva transparente para la protección frente a la corrosión.

Aunque este proceso de pasivado se suele producir espontáneamente, el proceso de formación de la capa pasiva de óxido rico en cromo puede favorecerse en entornos muy oxidantes. El ácido nítrico es extremadamente útil para ello, y su uso está muy extendido en los tratamientos de pasivado de acero inoxidable disponibles comercialmente. Ácidos menos oxidantes, como el ácido cítrico, también pueden ayudar a la formación de la capa pasiva.

Es importante que las superficies de acero estén libres de cualquier cascarilla de óxido (descascarilladas), tengan sus capas exteriores de metal protegidas por cromo de la formación de óxido o de las que se hayan eliminado las manchas de termocoloración mediante decapado, y estén limpias (sin contaminación orgánica, lubricantes de máquinas, aceites y grasa), antes de realizar los tratamientos de pasivado por ácido. Si no fuese así, estos tratamientos de pasivado no tendrán plena efectividad.

## **1.7 CONFORMADO DE ACERO INOXIDABLE<sup>10</sup>**

El conformado del acero austenítico es factible debido a las características mecánicas que presenta este tipo de acero, como base fundamental se realizara un ligero estudio de los procesos de conformado por embutición, el mismo que es utilizado en esta tesis.

### **1.7.1 TEORÍA DE LA EMBUTICIÓN**

La embutición es una operación consistente en obtener una pieza hueca de superficie no desarrollable y del mismo espesor que el recorte primitivo.

Es una transformación de superficie por desplazamiento molecular. Si ha habido estiramiento se puede constatar una disminución del espesor del metal.



### **1.7.2 DEFINICION DE EMBUTICIÓN**

La embutición es un procedimiento para el conformado de piezas no desarrollables, que requiere generalmente el empleo de máquinas (prensas) y de utillajes (matrices); por ello está reservada:

1. A la fabricación en serie, en la cual permite rebajar considerablemente el precio de coste. Se emplea mucho en construcción de automóviles y para la fabricación de objetos de uso corriente (artículos de menaje, envases, etc.).
2. Se distinguen: la embutición en frío, practicada a la temperatura ambiente y la embutición en caliente, para la cual la chapa se calienta a temperaturas de forja (800 a 850° C) para el acero suave.

Los gastos de amortización que entraña la compra de las prensas y la fabricación del utillaje para el trabajo en caliente, son generalmente mayores que para el trabajo en frío. Por el contrario, los ritmos de producción son bastante más bajos.

Por otra parte, en caliente no es posible lograr unas tolerancias de cotas tan precisas como en frío, ya que, aunque el utillaje se fabrica teniendo en cuenta la contracción, ésta puede variar de una pieza a otra según la temperatura del material y de los útiles.

### **1.7.3 CUANDO SE REALIZA LA EMBUTICIÓN EN FRÍO**

- Siempre que sean necesarias las fabricaciones de grandes series de piezas, y por tratarse de un procedimiento que mejora la productividad respecto al sistema de la embutición en caliente.
- Cuando no se desea alterar, modifican o cambian las propiedades de los materiales a causa del calentamiento.



Figura 1.10 Piezas embutidas en frío

#### 1.7.4 DONDE SE REALIZA LA EMBUTICION

El puesto de trabajo constituido por una prensa de embutir, no requiere mano de obra cualificada, sino más o menos especializada. En este trabajo sólo se requiere el montaje de los útiles y el reglaje de los diversos órganos de la máquina, que realiza un matricero con atención y cierta dosis de fuerza física, solo necesita algunos conocimientos tecnológicos para poner en marcha la máquina, alimentar y retirar las piezas terminadas.

Las máquinas de embutir se utilizan corrientemente en los talleres de estampación de piezas metálicas, y por ello conviene que el estampador y el matricero conozcan los principios básicos de las embuticiones.

#### 1.7.5 PRINCIPIO DE LA EMBUTICIÓN CILÍNDRICA

La chapa, previamente cortada en forma de disco llamado “desarrollo”, es conformada por la acción de un punzón, que la obliga a penetrar en una matriz de diámetro mayor que el punzón en dos espesores de chapa más un huelgo muy pequeño.

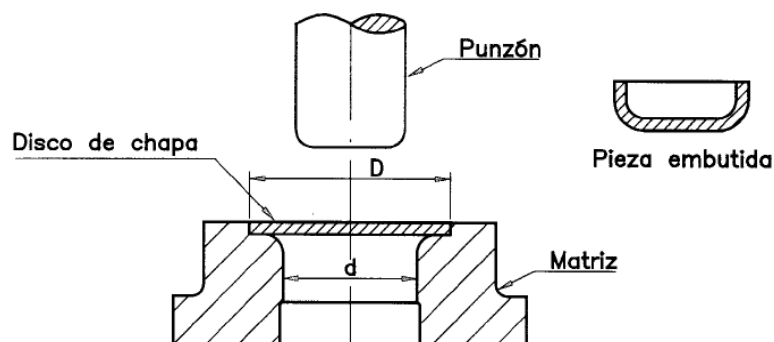


Figura 1.11 Matriz y punzón de conformado

Puesto que el espacio entre las paredes de la matriz y las del punzón es igual al espesor de la chapa, la pieza “embutida” conserva el espesor inicial de la chapa.

Desde el punto de vista tecnológico, la embutición mecánica no es comparable a la manual, ya que ésta implica siempre el trabajo del metal por alargamiento, con la consiguiente disminución de espesor.

#### **1.7.6 EMBUTICIÓN SIMPLE (SIN PISACHAPAS O PISADOR)**

El trabajo de recalado se realiza fácilmente si el cilindro es poco profundo, es decir, si la relación entre el diámetro  $d$  del cilindro y el  $D$  de la chapa es pequeña;

$$D/d \geq 0.55 \quad (\text{NO NECESITA PISADOR})$$

En este caso, se comprueba que cuando el punzón entra en contacto con la chapa, ésta se enrolla sobre los dobles siempre redondeados y se inicia el recalado. La chapa comprimida en sentido circular, se engrosa ligeramente, el desarrollo adquiere una forma cónica, formándose pliegues. Continuando su acción, el punzón obliga a la chapa a deslizarse entre él y la matriz; se produce entonces una laminación, llamada “estirado” de la chapa, que devuelve a ésta su espesor inicial y suprime los pliegues.

La formación y el tamaño de los pliegues están igualmente en relación con el espesor del metal, ya que una chapa delgada se pliega más fácilmente que una gruesa. También pueden absorberse los pliegues si la diferencia entre el diámetro  $D$  del desarrollo y el diámetro  $d$  de la pieza es inferior a 20 veces el espesor del material:

$$D - d \leq 20 * e \quad (\text{NO NECESITA PISADOR})$$

#### **1.7.7 EMBUTICIÓN DE SIMPLE EFECTO**

La herramienta se compone de:

1. P = Punzón de embutición cuya sección tiene la forma de la embutición a realizar.
2. M = Matriz de embutición provista de un agujero que permite el paso de punzón, disponiendo de un espacio igual al espesor del metal.

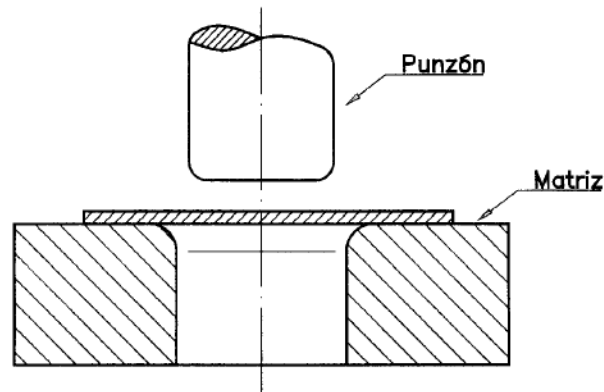


Figura 1.12 Herramientas que conforman la matriz de simple efecto

### 1.7.8 ACABADOS DE LAS PIEZAS EMBUTIDAS

Por múltiples razones, la altura de la pieza embutida no es uniforme o, si se deja un borde alrededor, la anchura de éste se calcula ligeramente por exceso. En cualquier caso y de forma general, siempre se prevé un exceso de metal.

La operación que consiste en suprimir ese sobrante se llama recorte o contorneado y se realiza en una prensa cortadora o bien en una de embutir, con un útil de “embutición-recorte”, o también en el torno, con cizalla o con una sierra.

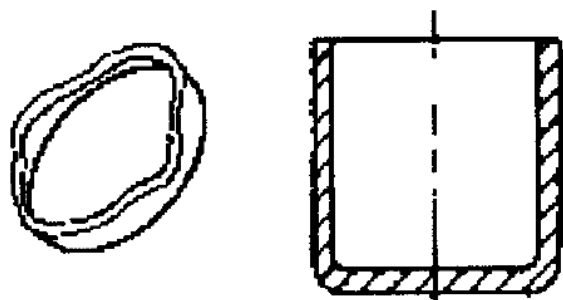


Figura 1.13 Acabado de piezas embutidas

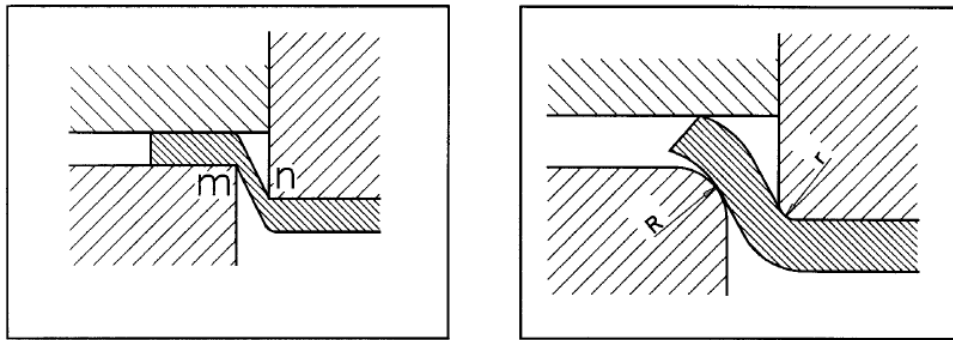
En casi todos los casos, siempre deberemos prever que las piezas embutidas necesitarán de una operación de recorte final, puesto que la irregularidad de la superficie más alta de su cuello hará necesaria esta operación.

### 1.7.9 RADIOS DE MATRIZ Y PUNZÓN

Si los bordes del punzón y la matriz identificados con las letras **n** y **m** respectivamente no estuviesen redondeados, la chapa se engancharía

fuertemente en dichos bordes produciéndose la rotura del fondo de la chapa embutida.

Por otra parte, si se hace un radio **R** muy grande en la matriz, a poco que la pieza sea embutida, la acción del sujeta chapas será nula y se producirán ondulaciones y arrugas en el disco.



**Figura 1.14** *Radios de la matriz y punzón*

#### 1.7.9.1 RADIO DE MATRIZ “R”:

Por consiguiente, el radio **R** de la matriz debe ser cuidadosamente estudiado y su valor oscilará entre 3 y 8 veces el espesor **e** de la chapa. También se puede calcular por medio de la fórmula:

$$R = 0,8 * \sqrt{(D - d)} * e$$

**Ecuación 1.1** *Ecuación para el cálculo del radio de la matriz*

Siendo:

D= el diámetro del disco (mm)

(Para esta tesis se tomara como referencia 25 mm)

d= el diámetro de la matriz (mm).

e= el espesor de la chapa del disco (mm).

### 1.7.9.2 RADIO DE PUNZÓN “r”

En cuanto al radio  $r$  del punzón debe adaptarse progresivamente a la forma del recipiente embutido, pero en todo caso, no conviene que sea inferior al espesor  $e$  de la chapa:

$$r = 3 \text{ a } 5 * e$$

*Ecuación 1.2 Ecuación para el cálculo del radio del punzón*

### 1.7.9.3 DETERMINACIÓN DEL RADIO DE LA MATRIZ SEGÚN EL ESPESOR DEL MATERIAL

Teniendo en cuenta el espesor de material  $e$  también se pueden adoptar los siguientes valores:

Para:  $e < 1\text{mm}$   $R = 6 \text{ a } 8 \cdot e$

$>1 \text{ a } < 3\text{mm}$   $R = 4 \text{ a } 6 \cdot e$

$>3 \text{ a } < 4\text{mm}$   $R = 2 \text{ a } 4 \cdot e$

En casos especiales de embuticiones poco profundas, nos podemos encontrar que si damos al radio el valor hallado, el sujetador perderá rápidamente su eficacia y podrán aparecer arrugas o roturas en la pieza. En este caso, se puede intentar disminuir ligeramente el valor del radio hallado o bien buscar otras alternativas, como reducir la velocidad de embutición, cambiar de material, modificar la pieza.

### 1.7.10 VELOCIDAD DE EMBUTICIÓN

Por velocidad de embutición (mm/s) se entiende la velocidad que tiene el carro de la prensa en el momento de entrar el punzón en contacto con el material, es decir, cuando empieza la operación de embutición.

Según algunos estudios, el valor de la resistencia del material al cambio de forma viene influenciado por la recuperación, la recristalización en determinados materiales y también por su envejecimiento. Los procesos que tienen lugar, como por ejemplo, el desplazamiento o la nueva reagrupación de los granos de material son debido a la transposición y es por ello que estos procesos, que tienen lugar

en el interior de la estructura, se hacen evidentes exteriormente al afectar a la curva de fluencia a través de la velocidad de deformación.

Las experiencias y pruebas realizadas con velocidades de embutición bajas, medias y altas, demuestran que la influencia de la velocidad de embutición de cuerpos cilíndricos es pequeña. Sólo es importante realizar la embutición muy lentamente cuando se trata de chapas de cinc o de aleaciones con un notable contenido de cinc.

También las chapas de acero austeníticas han de deformarse lentamente. En formas difíciles, especialmente no cilíndricas, una disminución notable de la velocidad puede evitar la debilidad del material en los puntos críticos y eliminar el peligro de formación de resquebrajaduras.

Como se indico anteriormente, la velocidad de embutición es la que posee el punzón en el momento en que ataca la chapa. Así pues, existe una velocidad óptima para cada metal, a fin de permitirle el tiempo necesario para pasar al estado plástico sin que se produzcan roturas o adelgazamientos superlativos en su espesor.

A continuación se tiene las velocidades de embutición recomendadas para piezas cilíndricas.

Zinc y acero inoxidable: 200 mm/s.           (12metros minuto)

Acero dulce: 280 mm/s.                       (18metros minuto)

Aluminio: 500 mm/s.                         (30metros minuto)

Latón: 750 mm/s.                             (45metros minuto)

Para embutir piezas de zinc es aconsejable calentarlas a unos 20° C.

#### **1.7.11 EMBUTICIÓN DE UN AGUJERO (ABOCARDADO)**

Esta operación es siempre crítica ya que es muy frecuente que se presenten grietas en el borde del agujero embutido. Para evitar este defecto, se debe prestar especial atención a los siguientes tres factores:

1. Que la altura del embutido sea admisible.

2. Regularidad en las características del material empleado.
3. Nitidez del borde cortado del agujero.

Para determinar la altura admisible se presenta el siguiente proceso de cálculo, si los valores sobrepasan a los valores de cálculo, se obtendrán piezas agrietadas, excepto que se sometan a un recocido previo.

El segundo factor depende, exclusivamente, del suministro de material.

La nitidez del corte depende del estado de conservación de la herramienta, del huelgo entre punzón y matriz, calidad del material, etc.

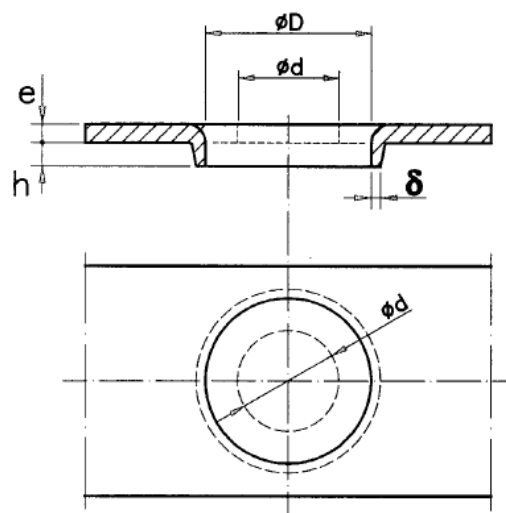
#### 1.7.11.1 Determinación de la altura máxima

$$\text{Diámetro del agujero: } d = \frac{D}{1 + \frac{A}{110}}$$

$$\text{Altura del embutido: } h = \frac{D^2 - d^2}{4.D}$$

$$\text{Espesor del borde: } \delta = \frac{d.e}{D}$$

*Ecuación 1.3 Ecuaciones para determinar la altura de embutición.*



**Figura 1.15** *Altura de embutición*

#### 1.7.12 EMBUTICIÓN CON ELEMENTOS DE PRESIÓN ELÁSTICA

El empleo de punzones o matrices de goma no es una cosa muy común en la embutición de piezas de chapa, su utilización mas habitual acostumbra a ser en



operaciones de abombamiento o ensanchamiento de objetos que previamente han sido embutidos.

Para poder realizar esta operación, es necesario contar con un elemento elástico capaz de expandirse y contraerse sin perder sus propiedades pero que pueda variar su forma. Esta característica solo la podemos encontrar en ciertos materiales elásticos como la goma, el caucho, el poliuretano o similares.

Los trabajos más habituales donde se emplean estos elementos de presión acostumbran a ser series pequeñas de piezas de Aluminio u otros materiales muy dúctiles que obligan a renunciar a útiles convencionales por su elevado coste. El empleo de materiales elásticos para este tipo de transformaciones ya es practicado desde hace mucho tiempo porque ofrece soluciones interesantes y económicas en la embutición y ensanchamiento de piezas.

Los elastómeros sintéticos del tipo caucho-poliuretano ofrecen ventajas notables si se emplean correctamente de acuerdo a sus características de presión y deformación, pudiendo estar en contacto con la mayoría de lubricantes utilizados en las transformaciones de corte, doblado o embutición.

Estos materiales pueden encontrarse en el mercado en forma de barras macizas o huecas, en planchas rectangulares o cuadradas, en perfiles en forma de "U", triangulares, etc., etc., y también en durezas diferentes del tipo Shore A.

En las operaciones de abombado o ensanchamiento de piezas hay que tener presente una regla de oro fundamental para los elementos elásticos:

### **VOLUMEN DESPLAZADO = VOLUMEN DE ENSANCHAMIENTO**

Al plantearse una operación de este tipo, hay que partir de la base de que, independientemente del grado de deformación que sufra el elemento, el volumen del material continúa siendo idéntico en cada momento. Por consiguiente, el elastómero tiene que tener siempre espacio suficiente para su escape teniendo en cuenta la regla indicada anteriormente.

Otro factor muy importante a tener en cuenta son los útiles y las prensas en las que han de trabajar. La deformación progresiva de la goma siempre es más

adecuada si se realiza con prensas hidráulicas lentas que con prensas mecánicas rápidas, por lo tanto, siempre que se pueda sería aconsejable la utilización de las primeras que las segundas.

Otro punto importante es la forma que deben tener los elementos elásticos antes de su deformación. Hay que prestar mucha atención al hecho de que al expandirse la goma, esta pueda adaptarse a la nueva forma tratando por todos los medios de que no quede atrapada o limitada por aristas, rebabas o cantos muy violentos.

La duración de los elementos de goma es un factor que puede generar cierta preocupación, para alargar su vida lo máximo posible, siempre deberemos respetar los límites de compresión y deformación aconsejados por los fabricantes de cada material.

## CAPÍTULO 2

### **2 DISEÑO DE ACCESORIOS EN ACERO INOXODABLE AUSTENITICO PARA UNION A TRASLAPE**

Toda instalación que conduzca algún tipo de fluido rara vez se construye en línea recta, estas líneas de conducción presentan obstáculos que pueden alterar la dirección del sistema; por lo tanto es indispensable el adecuado diseño de accesorios que permitan sortear estos obstáculos. Para poder lograr un accesorio de calidad, es importante conocer la materia prima de la cual se fabricara dicho accesorio, para el diseño de los accesorios se utilizara una tubería con costura de acero inoxidable austenítico de 12,7mm (1/2") de diámetro y 0,8 mm de espesor.

#### **2.1 TUBERIA<sup>2</sup>**

Se puede llamar tubería a cualquier cuerpo hueco, el cual puede al realizarse un corte transversal presentar una silueta con cualquier forma geométrica; puede seguir cualquier dirección (regular o irregular) sobre su eje longitudinal; además puede conducir entre sus paredes a líquidos, gases, vapores, o mezclas de los anteriores. Generalmente se trabaja con cuerpos cilíndricos, de trayectoria recta (o por lo menos regular); dejando las demás formas y trayectorias para tuberías especiales (tubos con aletas, serpentines, corrugados, perforados, etc.).

A través de la historia se han usado diferentes tipos de materiales para conducir líquidos (agua generalmente o drenaje):

Canales de piedra o cerámica.

Tubos de piedra o cerámica.

Tubos de cobre o bronce.

Tubos de hierro fundido o de acero.

Siempre buscando el material que no contaminara el liquido o gas trasportado con un precio accesible. A partir de la revolución industrial los materiales más comunes en usar fueron los de hierro, cobre y aleaciones diversas.

Cabe mencionar el cambio de denominación que sufre una tubería al cambiar el fluido que conduce:

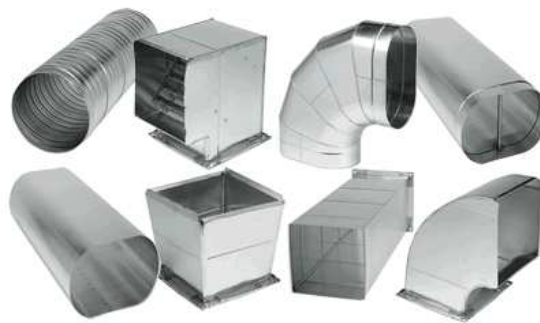
Al manejar líquidos se le llamara tubería.

Cuando maneja gases o vapores comúnmente a baja presión y velocidad se los llama ductos.

Si conduce sólidos en caída por gravedad se les nombra como tiros.



**Figura 2.1 Tubería**



**Figura 2.2 Ductos**



**Figura 2.3 Tiros**

### 2.1.1 CÓDIGOS Y ESTÁNDARES INVOLUCRADOS EN LA DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS.<sup>2</sup>

El diámetro de la tubería se identifica por el tamaño nominal del tubo (NPS, Nominal Pipe Size). Para soportar diferentes presiones, la tubería en un diámetro dado puede ser diseñada con diferentes espesores; los cuales pueden ser definidos por las siguientes fuentes:

ANSI “*American National Standards Instituto*” ( Instituto Nacional Americano de Estándares ), el cual anteriormente se llamaba ASA “*American Standards Asociation*”, esta norma lo define por su número de cedula, el número de cedula esta dado por las formulas:

$$t = \frac{PD}{2(SE + Py)}$$

$$t = \frac{PD}{2SE}$$

**Ecuación 2.1** *Formula para el cálculo de la cedula en tubería*

t = espesor mínimo de pared de diseño, pulgadas.

P = presión de diseño (Psi).

D = diámetro exterior de tubería, pulgadas.

S = esfuerzo permisible (Psi).

E = factor de eficiencia de la soldadura de junta.

y = factor a dimensional que varia con la temperatura.

ASME “*American Society of Mechanical Engineers* “ ( Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ) y ASTM “*American Society for Testing and Materials*” (Sociedad Americana para pruebas y materiales ). Estas sociedades designan las tuberías por el peso de manufactura como: STD ( Standard- común en ingles ), XS ( extra strong- extra fuerte ), y XXS (doblé extra strong - doble extra fuerte ). API “ *American Petroleum Institute* “ ( Instituto Americano del petróleo ) los define con sus normas 5L y 5LX.

La descripción de una tubería basada en su peso de manufactura, fue el primer medio para especificarla; pero ha sido sustituida por el numero de cedula, aunque aun se sigue haciendo hincapié en el peso de manufactura. Un compendio de los

tres puntos anteriores se resumieron por la norma ANSI B36.10-1970, para tuberías de hierro IPS (iron pipe size), y sus grosores designados como: STD, XS y XXS. Pero la tubería de hierro ha sido completamente sustituida por la de acero. Antes que el esquema del número de cedula predominara al ser publicado por el ASA ( ANSI ) en 1935, los IPS fueron modificados para ajustarse a la tubería de acero, decreciendo ligeramente su grosor de pared ( manteniendo como estándar su diámetro exterior constante ) de manera que los pesos por pie son iguales para las tuberías de hierro ó acero.

### **2.1.2 DEFINICIÓN DE TUBERIAS DE PARED DELGADA.**

Es una designación comercialmente aceptada correspondiente a las Cedula 10 y 10S (ANSI B36.10) comúnmente usada para tubería de acero inoxidable o de aleaciones.

### **2.1.3 DEFINICIÓN DE TUBERIAS DE ACERO INOXIDABLE.**

Se establece en el ANSI B36.19 la cual indica un rango de espesor pared para aceros inoxidables, identificados como cedula 5S y 10S.

### **2.1.4 MATERIALES PARA TUBERÍAS.**

#### **2.1.4.1 Selección de acuerdo a sus propiedades mecánicas y químicas.**

Todo fluido a ser conducido por una tubería tiene un material idóneo que soporte sus propiedades de resistencia química bajo las condiciones de presión, temperatura, viscosidad, etc. Todas las compañías manufactureras de tuberías, y de equipos y accesorios relacionados con ellas tienen tablas de resistencia química que sugieren materiales adecuados a cada fluido. Es enteramente razonable la designación de un material de tubería idóneo, pero muchas veces se dificulta su uso desde el punto de vista económico. Por lo que debe existir una relación adecuada entre la corrosión, erosión y contaminación de producto contra el costo. También se debe tomar en cuenta las propiedades de este material para los esfuerzos mecánicos que va a ser sometido, así como las facilidades de soldadura y montaje. Diferentes pueden ser los puntos de vista y parámetros para clasificar los materiales de tuberías: comportamiento químico, mecánico, dureza, rugosidad, resistencia a la fatiga, a la vibración, conductividad térmica, etc. En este caso se clasificaran de la siguiente manera:

Tuberías hechas con materiales ferrosos.

Tuberías hechas con materiales no ferrosos.

Tuberías hechas con materiales no metálicos.

#### **2.1.4.2 Materiales ferrosos.**

Desde que se inicio la revolución industria los materiales como el hierro fundido, acero y sus aleaciones, han probado ser los materiales que presentan mejores condiciones de resistencia química y mecánica con relación a su costo, en la actualidad estos son los materiales más utilizados para la fabricación de tuberías. Por lo tanto las naciones productoras han realizado diferentes esfuerzos para normalizarlos, las cuales se enlistan a continuación:

AISI/SAE	American Iron & Steel Institute / Society of Automotive Engineers.- Los cuales usan un numero de cuatro dígitos, en los cuales los dos primeros dígitos indican la concentración de carbono y los siguientes dos dígitos el elemento de aleación.
UNS	Unified Numbering System.- Debido a la globalización mundial fue necesario llegar a un numero de clasificación mundial.
ASME/ASTM	American Society of Mechanical Engineers / American Society for testing and materials.- Las cuales estudian sus propiedades mecánicas y las pruebas que se les deberán realizar.

Dependiendo del procedimiento de manufactura las tuberías de acero se fabrican: con costura, la cual se realiza rolando placa de acero y luego soldándola; sin costura, la cual se manufactura con un lingote incandescente de acero que se estira y se rola.

#### **2.1.4.3 Materiales no ferrosos.**

De acuerdo a la historia los materiales ferrosos se han utilizado desde mucho antes que los materiales de hierro, pero debido a su difícil manufactura, resistencia física, comportamiento mecánico, resistencia química y costo; han sido relegadas a un papel secundario. Se puede hablar entonces de tuberías de

cobre, plomo, níquel, bronce, latón, aluminio, zirconio, titanio, etc. Estos materiales siguen normas diferentes a las de acero al carbón, son relativamente de alto costo, y su selección se basa generalmente en su resistencia particular a ciertos fluidos de proceso, a su buena transferencia de calor o a sus propiedades mecánicas a altas temperaturas.

#### **2.1.4.4 Materiales plásticos.**

Las tuberías plásticas se han desarrollado como un buen medio para conducir fluidos con gran actividad química; generalmente están compuestas de un polímero único o como resultado de una mezcla de diferentes polímeros. En el primer caso tenemos: tuberías de polímeros de vinilo ( PVC ), de propileno, de etileno ( PE ), de butileno ( PB ), poliolefinas y poliésteres. En el segundo caso tenemos: Acrilo nitrilo butadieno estireno (ABS), Celulosa acetato butirato (CAB), etc. Haciendo hincapié en que las tuberías hechas de poliéster y epoxy, son generalmente reforzadas con fibra de vidrio. Cabe hacer notar que en contraposición a su alta resistencia química, se opone su generalmente pobre resistencia mecánica; por lo que es muy común soportarla con camisas de tubería metálica u otros tipos de soporte.

También en la actualidad se puede tener tuberías con recubrimientos o de cristal, dependiendo del uso:

1. Tuberías de Vidrio.
2. Tuberías con baños y recubrimientos.
3. Tuberías de asbesto y concreto.
4. Tuberías de formas especiales.

## **2.2 METODOS DE UNIÓN DE TUBERÍAS**

### **2.2.1 CONCEPTOS GENERALES.**

Ante la imposibilidad física de interconectar equipos en general por medio de una tubería que fuera de trazo continuo, se hace necesario usar piezas que cambien de dirección, elevación a las tuberías y que les permitan divergir a dos o más direcciones; ya que no existe hasta el presente ningún sistema que pueda



realizar este trabajo, es necesario trabajar con tramos de tubería, que se unen por medio de diversos artículos llamados accesorios que aumentan su versatilidad.

Accesorios se llama a todos aquellos artículos que se conectan a las tuberías y que le permiten cambiar de dirección, cambiar de diámetro, o divergir en dos o más ramales. Los accesorios se fabrican de placa maquinada, tubería, fundición o forja, en el caso de plásticos puede moldearse.

### **2.2.2 CLASIFICACIÓN Y USOS.**

Para reunir los tramos de tubería con sus accesorios se puede hacer usos de los siguientes métodos de unión:

1. Unión por cordón de soldadura a tope.
  2. Unión por soldadura a enchufe o traslape.
  3. Unión por medio de roscado.
  4. Unión por bridas atornilladas ( Uniones bridadas )
  5. Uniones de sujeción rápida ( uniones rápidas )
  6. Uniones Especiales.
1. La unión por cordón de soldadura a tope es generalmente tratándose de acero al carbón, el medio más económico a prueba de fugas para unir tuberías, pero estas virtudes se ven opacadas por su nula facilidad de desarme.
  2. La unión de tuberías por soldaduras a enchufe o traslape tiene varios casos: uniones de alta presión de acero forjado, uniones de media y baja presión para cobre por medio de soldadura fuerte o blanda (Fig 2.4).
  3. Las tuberías pueden ser unidas roscando el lado exterior de la tubería (roscado macho) y unirlo con un accesorios roscado interior (roscado hembra). Este sistema de unión sería universal si no fuera que a partir de 2"Ø se vuelve cada vez más difícil enroscar una pieza contra otra; los tubos deben de ser de pared gruesa (para poder realizar la rosca), en este tipo de uniones el fluido tiende a meterse entre los hilos de la rosca.



**Figura 2.4** Líneas de tubería de cobre unidades por soldadura a traslape

4. La unión bridada es el método más versátil para unir tuberías y sus accesorios, este sistema de unión incrementa sus costos de mantenimiento; las bridas son caras y frecuentemente su uso se limita a ser compañeras de bridas de tanques, equipos, válvulas, instrumentos, o líneas de proceso que requieren de limpieza periódica.
5. Este tipo de accesorios se utiliza cuando se necesita aumentar el tiempo de desarme de una conexión (por ejem. casos de emergencia). En los últimos tiempos y debido a su amplio uso, estos accesorios han aumentado la confiabilidad para el manejo de medias y bajas presiones. Su uso ha crecido drásticamente en la industria farmacéutica y alimenticia.



**Figura 2.5** Uniones Clamp-abrazadera para un sistema farmacéutico

## **2.3 COMPONENTES PARA SISTEMAS DE TUBERÍAS POR UNION A TRASLAPE**

Este tipo de componentes generalmente se utiliza en líneas de mediana y alta presión; las cuales son más fáciles de alinear en tuberías pequeñas, que las soladas a tope. Pueden ser usadas en líneas que conduzcan materiales costosos, tóxicos, inflamables, etc; donde las fugas no se puedan permitir; si existen condiciones corrosivas se deberá verificar el espacio entre junta, algunos códigos de instalaciones no permite el uso de este tipo de uniones, dado que entre la unión tubería y accesorio se forma remolinos de fluido que de acuerdo al tipo de fluido podrían ocasionar erosión severa o corrosión.

### **2.3.1 COMO SE REALIZA LA JUNTA (SOLDADURA FUERTE).**

El proceso de realización de esta junta se encuentra compuesto por operaciones que, en su conjunto, permiten obtener un buen resultado si son realizadas de manera adecuada, ordenada y con precisión. Entre las operaciones que son previas a la aplicación de la soldadura fuerte, se pueden mencionar: el corte a medida, el desbarbado, el recalibrado, la limpieza.<sup>4</sup>

Las uniones en la instalación de tuberías se realiza mediante capilaridad, a través de accesorios de acero inoxidable o entre tubos y usando materiales de aporte para soldadura fuerte. Se debe expandir un extremo del tubo para obtener soldadura fuerte por capilaridad, siempre que después de realizarse la unión, el espesor resultante sea como mínimo el espesor original del tubo.<sup>1</sup>

Las técnicas de soldadura y los materiales de aporte deben cumplir con características mínimas de temperatura, tiempos de aplicación, resistencia a la tracción y presión. El proceso de soldadura y los operadores que lo apliquen deben estar calificados según ASME IX, AWS A5.8 o NTE INEN 128.<sup>1</sup>

### 2.3.2 ACCESORIOS PARA UNIÓN A TRASLAPE



**Figura 2.6** *Accesorios para unión a traslape*

En una instalación en general los accesorios más utilizados para el cambio de dirección de una tubería pueden ser: codos 90°, codos 45°, tees, acoples, tapones, reducciones, curva de retorno, cruz, uniones roscadas, puentes, etc. Todos estos accesorios podrán ser utilizados de forma completa o parcial en un sistema de tuberías, su utilización dependerá de la complejidad del sistema.

#### 2.3.2.1 Codo

Realiza el cambio de dirección de una tubería en 45° ó 90°. Normalmente se utilizan codos de radio largo (lo cual indica que su radio de curvatura es 1.5 veces su diámetro nominal para tubos de 1/2"Ø y mas grandes).<sup>2</sup> Los codos de radio corto es aplicable para diámetros mayores a 1" Ø.



**Figura 2.7** *Codo 90° para unión a traslape*

#### 2.3.2.2 Tee

Se emplean para sacar ramales a 90° de la trayectoria de la tubería; las tees rectas tienen la salida del ramal, de igual diámetro que las demás, y son

fácilmente obtenibles; las tees reductoras son de más difícil obtención y frecuentemente se adquieren solo bajo pedido.



**Figura 2.8 Tee para unión a traslape**

### 2.3.2.3 Puente

Esta se utiliza para realizar el salto de una tubería que se encuentra perpendicular a la misma, puede venir con los extremos expandidos o no.



**Figura 2.9 Puente para unión a traslape, puede ser macho o hembra**

### 2.3.2.4 Tapón capa

Se usa para sellar el final de tuberías de diámetro mediano o pequeño. Se pueden usar tapones planos los cuales son placas cortadas especialmente en campo. Es recomendable revisar mecánicamente estos tapones, ya que las placas planas no resisten bien la presión.



**Figura 2.10** *Tapón copa, para final de tubería*

### **2.3.2.5 Acople unión**

Generalmente utilizado para la unión de tuberías, en líneas de conducción. Sus dos extremos son expandidos.



**Figura 2.11** *Acople unión*

## **2.4 CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE ACCESORIOS PARA UNIÓN A TRASLAPE**

Un sistema de tuberías está compuesto por varias partes que generan un todo y una de ellas son los accesorios que permiten el cambio de dirección de dicho sistema, cada accesorio deberá cumplir una norma de diseño y dimensionamiento para que pueda ser apta para su uso en la industria, como base se toma la norma ANSI/ASME B16.9 y la norma Chilena Nch 2674.cR2002, las cuales se utilizarán como referencia para el dimensionamiento de accesorios en acero inoxidable austenítico para unión fuerte.

La materia prima para la fabricación de los accesorios, es la tubería de Acero Inoxidable 304 bajo la norma ASTM A-240 de 1/2" o 12.7mm de diámetro nominal

**Tabla 2.1 Especificaciones de Tubería AISI 304<sup>5</sup>**

<b>ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA<sup>5</sup></b>								
<b>Producción</b>	Norma JIS G 3448 para conducción de fluidos, ASTM A 544.							
<b>Descripción</b>	Tubos de Acero Inoxidable 304 con costura por el método TIG.							
<b>Dimensión y Peso</b>	Medida nominal	Equiv. pulgadas	Diam. Externo mm.	Tolerancia en diámetro mm.	Tolerancia en espesor mm.	Espesor de pared mm	Longitud m	Peso kg/m
	13	1/2	15,88	- 0,37	+/- 0,12	0,80	4	0,301
<b>Materia prima</b>	Acero inoxidable 304 bajo la norma ASTM A-240							
<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Resistencia mínima a la tracción</b> N/mm <sup>2</sup> (psi)				520 (77 000)			
	<b>Elongación mínima (%)</b>				35			

#### 2.4.1 CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO

1. Los accesorios tendrán como parámetro fundamental la unión a un sistema de tuberías acoplable por medio de soldadura fuerte, esto quiere decir que sus extremos serán expandidos formando un acople hembra (recibirá interiormente al tubo de acero inoxidable).
2. Desde la antigüedad el diseño y tamaño de los accesorios que forman parte de un sistema de tuberías han cambiado, reduciendo su tamaño y complejidad, para facilitar su instalación y disminuir las pérdidas de carga del sistema. Es por esta razón que el tamaño de los accesorios deberá ser el más pequeño posible, para poder alcanzar una relación entre costo-construcción-diseño.
3. Dado que no existe una norma que contenga el método específico de diseño y fabricación de accesorios en acero inoxidable con junta a traslape, se tomara como referencia las normas indicadas anteriormente.

## 2.5 DISEÑO EXTREMO EXPANDIDO

Los extremos expandidos de todos los accesorios descritos en esta sección, deberán cumplir con las dimensiones indicadas en los párrafos siguientes.

Se puede expandir la tubería para insertar uno de los extremos dentro de la sección deformada, los esfuerzos necesarios para esta deformación no superan la resistencia mecánica. El límite elástico del acero AISI 304 es de 20,39Kg/mm<sup>2</sup> (29000 psi) mientras que del cobre está por 18,28Kg/mm<sup>2</sup> (26000 psi).<sup>1</sup>

En la tabla a continuación se detallan los esfuerzos aplicados para producir la deformación (expansión) de la tubería. Los esfuerzos transversales son más críticos en relación a los esfuerzos longitudinales porque tienden a abrir al tubo.

Los esfuerzos transversales aplicados a cierto ángulo (en este caso 37°) son menores que el rango de fluencia e incluso menores a los esfuerzos transversales aplicados perpendicularmente. De esta manera se determina que el diseño del dado es importante porque la curva del mismo ayuda a expandir el tubo sin generar daños en la pared de la tubería.<sup>1</sup>

**Tabla 2.2** *Tabla de esfuerzos en expansión de tubería<sup>1</sup>*

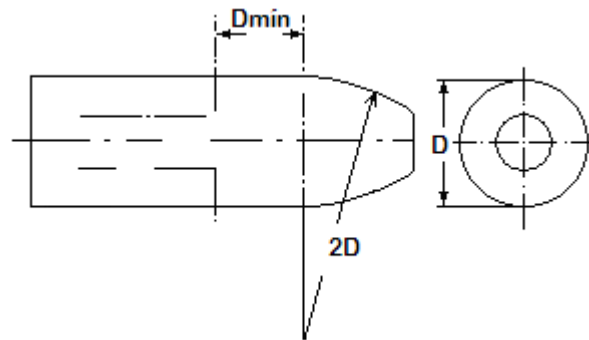
<b>Esfuerzo<sup>1</sup></b>	<b>Valor aproximado (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
Fluencia	24 - 36
Aplicado (q)	3.5
Longitudinal con fuerza aplicada perpendicularmente	15.6 – 17.33
Transversal con fuerza aplicada perpendicularmente	31.23 – 34.73
Longitudinal con fuerza aplicada a 37°	12.47- 13.8
Transversal con fuerza aplicada a 37°	18.8 – 20.9

### 2.5.1 DISEÑO DADO EXPANSOR<sup>1</sup>

Para facilitar la expansión de los extremos de cada accesorio es importante obtener un buen diseño de dado expansor, dado que de esto dependerá las características de las matrices para cada accesorio.

El estudio y dimensionamiento completo del mismo se podrá encontrar en el ítem 1 de esta bibliografía, por lo tanto en esta sección del capítulo 2 solo se darán las pautas y diseños principales del mismo.





**Figura 2.12 Dado para expansión de extremos de los accesorios<sup>1</sup>**

El diseño del dado depende directamente del diámetro externo del tubo que se va a deformar más una holgura que satisfaga el principio de capilaridad.

Dado que el diámetro externo del tubo es de 15.88mm y de acuerdo a los datos recopilados la holgura deberá ser de 0.2mm a cada lado; esto da como resultado:

$$D = 16.28\text{mm}^1 \quad (+ 0.1, -0.05\text{mm})$$

En base a esta medida se fabricara el dado expansor; el material del dado o matriz de expansión deberán ser maquinados en un acero de alta resistencia mecánica, la cual debe ser mayor a la del acero inoxidable 304.

## **2.5.2 DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DEL EXTREMO EXPANDIDO**

Las medidas (Anexo 1) del extremo expandido serán aplicables para la expansión de todos los accesorios descritos en este documento. Esta expansión da como resultado una holgura de 0.2 mm por lado.

## **2.6 DISEÑO CODO 90°**

### **2.6.1 TECNICAS DE DOBLADO DE TUBOS<sup>6</sup>**

En los últimos años se han desarrollado varias técnicas de doblado y con ellas maquinas dobladoras; las cuales conllevan como resultado la mejora de los parámetros de doblado.

Para poder obtener la mejor técnica de doblado, que garantice una curvatura perfecta sin defectos es importante conocer primero la maquina dobladora.

1. Doblado por tracción
2. Doblado por compresión
3. Doblado por rolado
4. Doblado en prensa

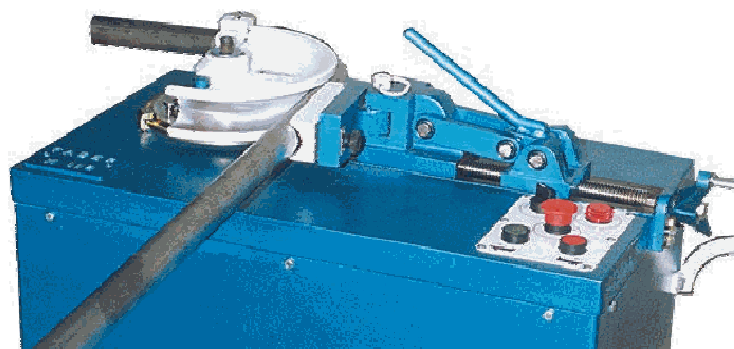
#### **2.6.1.1 Doblado por tracción**

Este es uno de los métodos más usados para doblar tubos de paredes delgadas y otras secciones tanto solidas como huecas. Estas maquinas dobladoras son fabricadas con total precisión y sus principales componentes móviles pueden ser activados hidráulica o mecánicamente.

La matriz de dobladora está conformada de tal manera que puede recibir la mitad de la sección transversal del tubo a ser doblado; el diámetro o contorno de la pieza determinada forma, tamaño y profundidad del canal de la matriz.

La mordaza, de presión móvil, viaja conjuntamente con la pieza, produciendo el doblado conforme la matriz dobladora gira. Durante esta operación, el material hacer doblado, es introducido en el canal de la matriz mientras está girando.

Cuando se trabaja con tubo de paredes delegadas, estos tienden a aplastarse durante el doblado, por lo cual es necesario el uso de un mandril de soporte interno, este permanece fijo mientras se realiza el conformado del tubo.



**Figura 2.13 Dobladora por tracción**

### 2.6.1.2 Doblado por compresión

Esta matriz de doblado es estacionaria, un rodillo montado sobre el brazo de doblado aprieta el tubo contra la matriz de doblado; este gira alrededor de la matriz apretando y conformando el tubo de esta manera.

Este método es empleado cuando se desea evitar un elevado adelgazamiento de las paredes del tubo. Este tipo de máquinas es generalmente utilizará para la producción de grandes radios de curvatura, usualmente mayores a tres veces el diámetro exterior nominal del tubo.

Cuando se desea realizar dobleces de radios pequeños se debe sujetar firmemente el tubo a la matriz, de otra manera, se puede producir arrugas o imperfecciones; en este tipo de doblado no se puede utilizar una matriz que soporte internamente al tubo.



**Figura 2.14 Dobladora por compresión**

### 2.6.1.3 Doblado por rolado

En el doblado por rolado se usan tres o más rodillos, los ejes de los rodillos inferiores se encuentran fijos en un plano horizontal; mientras que el rodillo superior (rodillo de doblado) desciende hacia el plano de los rodillos inferiores, produciendo de esta manera la curvatura del tubo. Los rodillos inferiores con los que producen el movimiento por medio de un sistema de transmisión interno.



**Figura 2.15 Dobladora por rolado**

Este proceso de doblado no permite hacer más de un doblado a la vez, es difícil controlar la recuperación elástica del material y puede requerirse varios pases para obtener el doblado necesario; no se puede aplicar en producción en serie.

#### **2.6.1.4 Doblado en prensa**

Este método doblado consiste en empezar la pieza de trabajo entre una matriz móvil y uno o dos rodillos de presión que rotan sobre ejes fijos. Cuando se ejerce una fuerza en la matriz está se desplaza presionando el tubo contra los rodillos, los cuales al girar sobre sus ejes provocan el curvado del tubo, tomando de esta manera la forma de la matriz.

Este método es utilizado generalmente para el doblado tubos de paredes gruesas, dado que a mayor espesor del tubo la fuerza necesaria para realizar un doblado es mayor.



**Figura 2.16 Dobladora en prensa**

## 2.6.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DOBLADO

Para poder seleccionar el mejor equipo de doblado es necesario realizar un análisis de factibilidad que ayude con la selección de dicho equipo, para este análisis se tomara como base los siguientes factores:

- a. Productividad.- Capacidad de producción en serie
- b. Maniobrabilidad.- Capacidad de mano de obra y número de personas para realizar un trabajo en dicha maquina
- c. Rigidez.- Se evalúa la robustez de máquina, este factor influye en la vida útil de la misma.
- d. Precisión en el doblado.- Con que exactitud se realiza una curva deseada, y los defectos que se pueden causar por la misma.
- e. Automatización.- Posibilidad de automatizar dicho proceso.
- f. Costos.- Este es indispensable dado que se deberá tomar en cuenta que este es un proyecto base de diseño de accesorios, pero como tal no se puede descartar los otros factores.

Para este análisis se tomara como máximo valor 1 siendo este es más apto y 0 el punto más bajo de la referencia.

**Tabla 2.3** *Tabla de selección para el equipo de doblado sin costo*

	Productividad	Maniobrabilidad	Precisión Doblado	Rigidez	Automatización	Total 1
<b>D. Tracción</b>	0,9	0,7	1	0,9	1	<b>4,5</b>
<b>D.Compresión</b>	0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	<b>4,2</b>
<b>D. Rolado</b>	0,3	0,7	0,3	0,9	0,6	<b>2,8</b>
<b>D. Prensa</b>	0,5	0,8	0,5	0,9	0,7	<b>3,4</b>

**Tabla 2.4** *Tabla de selección para el equipo de doblado tomando en cuenta el costo*

	Total 1	Costo	Total 2
<b>D. Tracción</b>	<b>4,5</b>	0,8	<b>5,3</b>
<b>D.Compresión</b>	<b>4,2</b>	0,4	<b>4,6</b>
<b>D. Rolado</b>	<b>2,8</b>	0,5	<b>3,3</b>
<b>D.Prensa</b>	<b>3,4</b>	0,4	<b>3,8</b>

De acuerdo a la tabla 2.3 se puede determinar, que la maquina más adecuada para el trabajo en producción en serie, sería una maquina de doblado por

tracción; pero para se debe tomar en cuenta el costo de la maquina, ya que los cálculos realizados son la base para la fabricación de dichos accesorios en serie.

Por lo tanto la opción más adecuada será la maquina dobladora por compresión, siendo esta la de más alto resultado en la tabla de relación con costos de equipo.

### 2.6.3 MATRIZ DE DOBLADO

El componente más importante de una maquina de doblado es la matriz de la dobladora, ya que es esta la que dará las medidas y características finales del accesorio o curva a fabricar.

La matriz de doblado se mantiene fija mientras que el rodillo es el que gira en torno a la matriz, manteniendo un arco de radio constante durante el doblado y de esta manera dando la forma deseada al tubo.



**Figura 2.17** Partes de una dobladora por compresión

Para obtener un buen doblado la matriz deberá tener un acabado de precisión, con las cavidades hechas para emparejar perfectamente con la forma de la sección del tubo a ser doblado, en la Figura 2.17 se puede mirar las partes básicas que conforman una dobladora por compresión.

#### 2.6.3.1 Radio mínimo de Curvatura

En la antigüedad el criterio de dobleces se centraba en la producción de curvaturas con radios grandes, que pudiera satisfacer las necesidades y equipos existentes.

El radio mínimo seguro para un tubo de diámetro y material dados y un método determinado de doblado dependerá del espesor de la pared del tubo siendo posible, por ejemplo un tubo de pared estándar puede ser doblado con facilidad a un radio igual a seis veces el diámetro nominal del tubo. El diámetro mínimo para un tubo deberá ser, por regla general, de tres y media a cuatro veces el diámetro<sup>8</sup>. Debe entenderse, sin embargo, que el radio mínimo puede variar considerablemente, dependiendo del método de doblado y de la función que esta curva cumplirá.

Gracias a la introducción de Nomas y cálculos empleados para la fabricación de accesorios, estos han reducido su tamaño y aumentado su eficiencia dentro de un sistema de tuberías.

Por lo tanto, como base fundamental para este diseño se tomaran las siguientes normas:

ASME B 16.9            Accesorios de acero forjado para soldadura a tope hechos en fábrica.

ASME B 16.11        Accesorios de acero forjado, soldados y roscados.

ASME B 16.49        Norma para la fabricación de curvas en acero forjado.

En las cuales se indica que el radio de curvatura óptimo para tubería de ½" es de 38 mm, los cálculos y parámetros para la selección de este radio se los puede encontrar en la norma ASME B 16.49.

### **2.6.3.2 Dimensionamiento de la Matriz de Doblar**

La matriz deberá tener una forma de semicircunferencia para conseguir dobleces de hasta 180° y un sistema de sujeción para la parte inicial del tubo.

Para poder obtener una curva sin defectos es necesario dimensionar la matriz, manteniendo los parámetros de fabricación de las Normas establecidas. En base a este criterio se ha dimensionado la matriz. (Anexo 2)

#### 2.6.4 MATRIZ PARA EXPANDIR EXTREMOS DEL CODO 90°

Para lograr la expansión de los extremos del codo es necesario el diseño de una matriz que permita sujetar el codo, sin que este se deforme al realizar la expansión. El espesor de la misma dependerá de los esfuerzos generados por el proceso de expansión. (Anexo 2)

#### 2.6.5 ESFUERZOS PRESENTES EN EL COBFORMADO DEL CODO 90°

Para realizar el cálculo de los esfuerzos de tracción y compresión presentes en un tubo curvado, se analizara el mismo considerándolo como un eje sólido, dado que para su conformado se coloca arena soportante dentro del tubo.

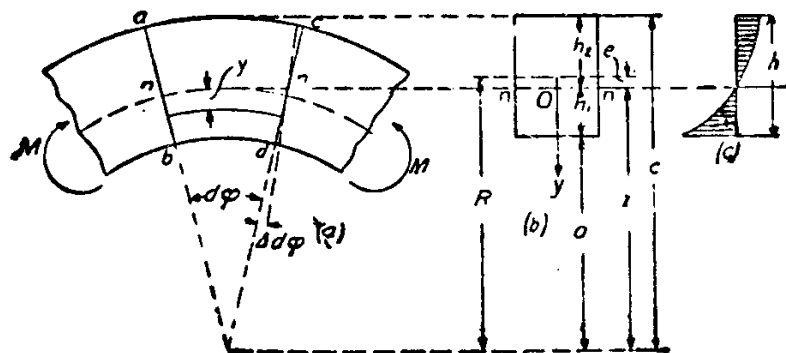


Figura 2.18 Parámetros para el cálculo de barras curvas<sup>14</sup>

Como se ve en la Figura 2.18 las fibras del lado convexo se encuentran comprimidas y las fibras del lado cóncavo extendidas, cuando se realiza un proceso de curvado la línea neutra se ve desplazada una cierta distancia hacia el centro de curvatura, la cual se encuentra determinada por la siguiente fórmula<sup>14</sup>:

$$e = R \frac{m}{1 + m}$$

$$m = \frac{1}{4} \left( \frac{h}{2R} \right)^2 + \frac{1}{8} \left( \frac{h}{2R} \right)^4 + \frac{5}{64} \left( \frac{h}{2R} \right)^6$$

Ecuación 2.2 Distancia de desfase del eje neutro<sup>14</sup>



Los esfuerzos más alejados en las fibras son los máximos, valen:

$$(\sigma_x)_{\max} = \frac{Mh_1}{Aea} \quad (\sigma_x)_{\min} = \frac{Mh_2}{Aec}$$

**Ecuación 2.3 Esfuerzos de tracción y compresión<sup>14</sup>**

$$r = R - e$$

$$h_1 = r - a$$

$$h_2 = c - r$$

**Ecuación 2.4 Radio de curvatura del eje neutro y distancias relativas<sup>14</sup>**

Aplicando las ecuaciones a los datos encontrados en la tabla siguiente, se podrá encontrar los esfuerzos máximos.

	<b>R</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>h</b>	<b>P</b>	<b>L</b>
<b>Codo 90°</b>	38mm	30,1mm	45,9mm	15,8mm	34Kgf	760mm

**Ecuación 2.5 Datos básicos para el cálculo de esfuerzos codo 90°**

R = Radio de curvatura del codo.

a = Radio de curvatura de la fibra interna del tubo.

c = Radio de Curvatura de la fibra externa del tubo.

h = Diámetro del externo del tubo.

P = Fuerza aplicada a la palanca para curvar el tubo.

L = Distancia de aplicación de la fuerza P.

Aplicando las ecuaciones:

$$m = \frac{1}{4} \left( \frac{15,8}{2 * 38} \right)^2 + \frac{1}{8} \left( \frac{15,8}{2 * 38} \right)^4 + \frac{5}{64} \left( \frac{15,8}{2 * 38} \right)^6$$

$$m = 0,0473$$

$$e = 38 \frac{0,0473}{1 + 0,0473}$$

$$e = 1,72mm$$

$$r = 38 - 1,72$$

$$r = 36,28$$

$$A = \frac{\pi}{4} h^2$$

$$A = 196mm^2$$

$$h_1 = 36,28 - 30,1$$

$$h_1 = 6,18mm$$

$$h_2 = 45,9 - 36,28$$

$$h_2 = 9,62$$

*Momento Flector aplicado al tubo*

$$M = P * L$$

$$M = 34Kgf * 760mm$$

$$M = 25840Kg.mm$$

$$(\sigma_x)_{\max} = \frac{25840 * 6,18}{196 * 1,72 * 30,1}$$

$$(\sigma_x)_{\max} = 15,73kg / mm^2$$

$$(\sigma_x)_{\min} = -\frac{25840 * 9,62}{196 * 1,72 * 45,9}$$

$$(\sigma_x)_{\min} = -16,06Kg / mm^2$$

Dado que el esfuerzo de fluencia promedio es de 30 Kg/mm<sup>2</sup>, los esfuerzos presentes en el proceso de conformado del codo no excede este límite, por lo tanto es factible el conformado con arena soportante.

#### **2.6.6 MEDIDAS Y TOLERANCIAS CODO 90°**

Las medidas y tolerancias de este accesorio se han realizado de acuerdo a los cálculos realizados anteriormente. (Anexo 1)

### **2.7 DISEÑO TEE**

El nombre de este accesorio se da por su parecido a la letra T. Este tipo de accesorio se utiliza para realizar derivaciones a la línea principal de conducción de un fluido.

#### **2.7.1 METODOS DE FABRICACIÓN TE IGUAL**

##### **2.7.1.1 Embutición interna**

Este es un proceso aplicable para la fabricación de Te de diámetros y espesores pequeños. Dado que al aumentar el diámetro del accesorio su proceso de fabricación se vuelve muy complejo, elevando su costo y tiempo de fabricación.

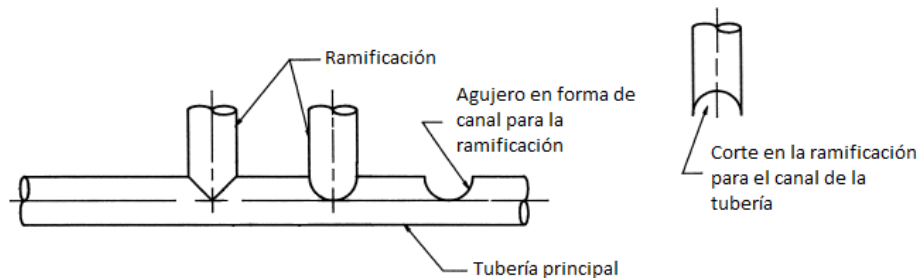


**Figura 2.19 Tee Igual, realizada por embutición interna**

Este método consiste, en realizar, una derivación del mismo tubo, dicha derivación o ramal puede ser del mismo diámetro del tubo original o una reducción del mismo; luego de extraer la derivación se puede o no soldar una extensión a la misma, esto dependerá de la Norma a trabajar y los para metros solicitados por el cliente.

### 2.7.1.2 Injerto

Otro método para la fabricación de Te se conoce como injerto, este es utilizado generalmente como una alternativa para la fabricación de Te reductoras.



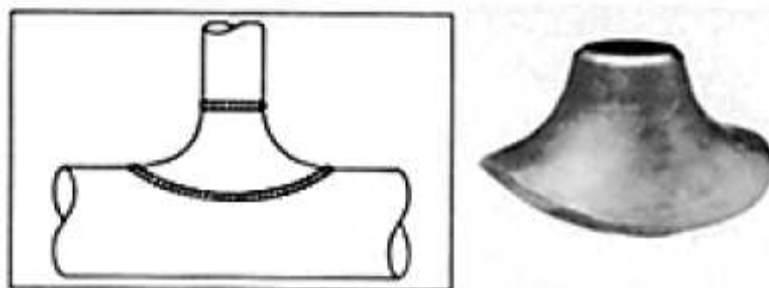
**Figura 2.20** Tipo de conexiones para la ramificación de una Tee.

El injerto no es un accesorio real sino más bien una descripción de cómo se realiza una conexión ramificada. Por lo tanto este proceso se utiliza para la fabricación de ramificaciones en tuberías de gran diámetro.

Un agujero es perforado en la tubería de forma perpendicular, ya sea el tamaño del diámetro interno o externo de la ramificación, entonces la ramificación tomara la forma de dicho agujero; por último las dos tuberías son ensambladas y soldadas. No se puede realizar en tuberías menores de 51 mm de diámetro, dado que el material de la soldadura podría restringir el flujo.

### 2.7.1.3 Injerto reforzado o Sweepolet

El uso del injerto reforzado está limitado por la presión, temperatura y el producto dentro de una tubería, su uso es progresivamente más popular. Su ventaja principal sobre la Te es la reducción del costo de fabricación, por la facilidad de producción.



**Figura 2.21** Injerto reforzado o Sweepolet

Cuando las condiciones internas como la presión o la temperatura del producto o las fuerzas externas como las vibraciones o las pulsaciones están colocadas en la ramificación, el refuerzo proporciona mayores características para prevenir que la ramificación se separe de la línea principal.

#### **2.7.1.4 Fundición y forja**

Como su nombre lo indica, este tipo de Se te los fabrica por medio de procesos de fundición y forjado, pudiendo obtener fácilmente Te iguales o Te reductoras.



**Figura 2.22 Tee recta o reductora**

### **2.7.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN**

Dado que la base de la fabricación de los accesorios, es partir de una tubería preformada de diámetro y espesor pequeño, para la fabricación de las Tes, se escoge el proceso de conformado por embutición interna, para conseguir una Te con sus tres ramales del mismo diámetro, a la ramificación que forme la Te se le deberá soldar una extensión, para poder mantener los requerimientos de diseño de dicho accesorio.

### **2.7.3 MATRICES DE EMBUTICIÓN**

Una matriz de embutición está formada de dos partes; la parte fija que es la que se encarga de dar la forma concreta de elemento embutido y la parte móvil que permite realizar la embutición por medio de una fuerza externa aplicada a los punzones de conformado.

Dado que este proceso de embutición se realiza de adentro hacia afuera del tubo, la matriz y punzón tendrán una forma distinta a los equipos normales de embutición.

### 2.7.3.1 Dimensionamiento Matriz

De acuerdo a las necesidades de un buen proceso de fabricación se ha diseñado la siguiente matriz, manteniendo los parámetros fundamentales de una matriz de embutición normal. Para mantener esta relación es necesario cumplir con algunos cálculos básicos.



Figura 2.23 Matriz para el proceso de conformado de la Tee.

El radio en la matriz deberá cumplir la siguiente regla

$R$  = Radio de la matriz

$e$  = Espesor de la pared del tubo (0.8mm)

$$R = 3 a 8 * e$$

Ecuación 2.6 Radio para el diseño de la matriz<sup>10</sup>

Para este diseño se ha tomado

$$R = 3 e$$

$$R = 3 * 0.8$$

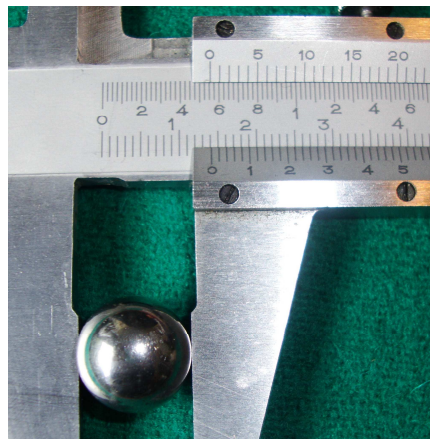
$$R = 2.4mm$$

Las cavidades de la matriz deberán tener un ajuste que garantice, que la pieza a conformar, no se mueva de su sitio cuando esta se encuentre cerrada (Figura 2.23).

El espesor de la matriz dependerá directamente de los esfuerzos presentes al momento de realizar el proceso de embutición, si se considera la matriz como un recubrimiento encamisado, el espesor del mismo deberá ser igual o un poco superior al espesor del tubo a conformar, dado que de este dependen los esfuerzos presentes, por estabilidad del sistema y por efectos de facilidad para el proceso de manufactura se determina que el espesor de la matriz sea el diámetro del tubo más la suma de un radio a cada extremo (parámetros semejantes para la construcción de una polea); por lo tanto el espesor de la matriz será de 15mm aproximadamente. (Anexo 2)

### 2.7.3.2 Dimensionamiento Esfera y Punzón

Para poder utilizar la esfera como punzón expansor, esta deberá tener un diámetro igual o ligeramente menor a diámetro interno del tubo, que en este caso es de 14.28mm.



**Figura 2.24** *Esfera expansora*

Los punzones, son los encargados de aplicar la fuerza para que la esfera deforme el material, se diseñaran de tal manera que puedan ingresar dentro del tubo, manteniendo una holgura prudente, las puntas de cada punzón tendrán un ángulo de inclinación que garantice la salida total de la esfera. (Anexo 2)



**Figura 2.25** *Punzón para expansión (trabajan conjuntamente con la esfera)*

## 2.7.4 DIMENSIONAMIENTO TE IGUAL

Para realizar un buen dimensionamiento hay que tomar en cuenta las características del material, por lo tanto para una buena embutición es importante que el material a deformar presente un alto porcentaje de elongación; el porcentaje de elongación del Acero Inoxidable AISI 304 Hidrinox se encuentra entre 35% y 45%.

En base a este parámetro, se realizarán los cálculos para el dimensionamiento del agujero adecuado para la embutición. Este dimensionamiento será la base para los procesos experimentales de fabricación de la Te, por lo tanto estos valores podrán cambiar si en necesario y serán definidos en los análisis de resultados.

### 2.7.4.1 Determinación de la altura máxima de embutición<sup>10</sup>:

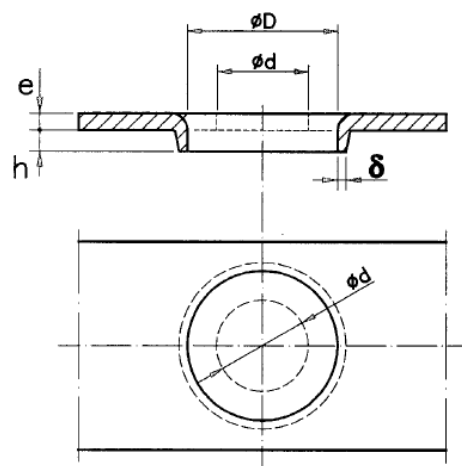


Figura 2.26 Medidas para la altura máxima de embutición

$$d = \frac{D}{1 + \frac{A}{110}}$$

Ecuación 2.7 Diámetro del agujero<sup>10</sup>

d = Diámetro de la perforación

D = Diámetro final de embutición

A = % de Elongación (Acero Inoxidable 304 Hidrinox A = 35%)



$$d = \frac{14.3}{1 + \frac{35}{110}} = 10,85$$

$$d = 10,85mm$$

La perforación principal se realizara con una broca de 10,85mm de diámetro o la más cercana a la misma.

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4 * D}$$

**Ecuación 2.8 Altura de embutido<sup>10</sup>**

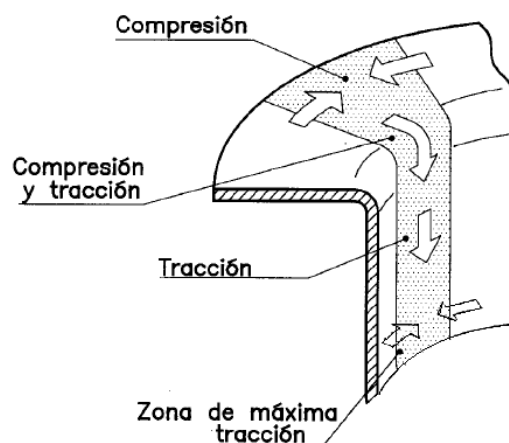
h = Altura de Embutido como se indica en la fig. 2.24

$$h = \frac{14,3^2 - 10,85^2}{4 * 14,3} = 1,5$$

$$h = 1,5mm$$

La altura obtenida después del proceso de embutición es de 1.5mm, en base a estos valores obtenidos sabemos que la fabricación de la Te por embutición interna dará resultados, una altura de embutido adecuada permitirá un buen maquinado, el cual servirá para luego unir la base con la ramificación.

### 2.7.5 ESFUERZOS PRESENTES EN EL PROCESO DE EMBUTICIÓN DEL AGUJERO



**Figura 2.27 Esfuerzos presentes en la embutición del agujero<sup>10</sup>**

En un proceso de embutición se presentan varios esfuerzos los cuales determinaran si el material utilizado puede o no someterse a un proceso de

embutición. Para este caso el esfuerzo más importante es el que se presenta al momento de expandir la tubería (Esfuerzo de tracción)

### 2.7.5.1 Cálculos para expansión del agujero o ramificación

A continuación se desarrollan cálculos para determinar los esfuerzos que se obtienen en los tubos al conformarlos con la esfera de expansión. Después del proceso de expansión se debe obtenerse un espesor casi igual al inicial, para no debilitar a la pared que forma parte fundamental del accesorio.

En la tabla siguiente se detallan los datos básicos para realizar los cálculos de esfuerzos.

Tabla 2.5 Datos para cálculos de expansión de tubería AISI 304<sup>5</sup>

Propiedad	Mpa (N/mm <sup>2</sup> )	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi
Resistencia mecánica	520	53,06	75400
Presión (prensa)	34,48	3,5	5000
Módulo de proporcionalidad (E)	196000	20000	2,84E+07
Esfuerzo de fluencia mín.	240	24	34800
Esfuerzo de fluencia máx.	350	36	50750

### 2.7.5.2 Análisis de variación de dimensiones

Para los cálculos siguientes se tomara como base una perforación de 10,4 mm, los resultados de las otras perforaciones se tabulara en las tablas.

Dado que la expansión del agujero se realiza con dos punzones y una esfera, es necesario realizar un diagrama de cuerpo libre para poder encontrar las fuerzas que actúan en el sistema.

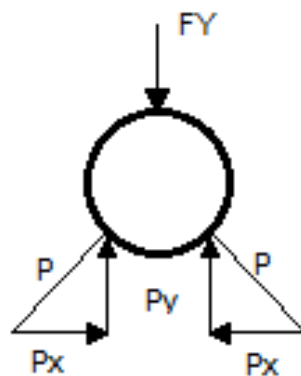


Figura 2.28 Diagrama cuerpo libre de la esfera para expandir

$F_y$  = Acción generada por la presión  $P_Y$

$P_y$  = Presión en dirección Y

$P_x$  = Presión en dirección X

$P = 0,9843 \text{ Kg} / \text{mm}^2$  (1400 psi)

$$P_y = P * \text{Sen}(60)$$

$$P_y = 0,9843 * \text{Sen}(60)$$

$$P_y = 0,8524 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_y = 2P_y = \sigma_y$$

$$F_y = 2 * 0,8524$$

$$F_y = 1,7 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

De donde el esfuerzo necesario para realizar la expansión del agujero será de  $1,7 \text{ kg/mm}^2$  (2425 psi).

El esfuerzo promedio de fluencia del acero 304 es de  $30 \text{ kg/mm}^2$ , con un factor de seguridad  $n=5$  para los accesorios, se tiene un esfuerzo admisible  $S_y = 6 \text{ kg/mm}^2$  y si se aplican  $1,7 \text{ kg/mm}^2$  de presión, se comparan los valores:

$$\sigma < S_y$$

$$1,7 \text{ kg/mm}^2 < 6 \text{ kg/mm}^2$$

El esfuerzo necesario para deformar el tubo debe ser menor que el esfuerzo admisible, lo contrario ocasionaría que las paredes de la sección deformada sean demasiado delgadas o lleguen a romperse, quedando inservible el extremo para realizar la unión<sup>1</sup>.

Para determinar el porcentaje de deformación en relación a los diámetros internos, se considera que la deformación mínima del Acero 304 es del 35% y la máxima es del 45%. Si el diámetro inicial a deformar es de 10,4 mm y el final es de 14,3 mm, se tendrá:

$$\varepsilon = \left| \frac{\phi_{fi} - \phi_{oi}}{\phi_{oi}} \right|$$

**Ecuación 2.9 Deformación Unitaria en relación a diámetros internos<sup>28</sup>**

De la ecuación 2,5

$\phi_{oi}$  = diámetro inicial interno (mm)

$\phi_{fi}$  = diámetro final interno (mm)

$$\varepsilon = \left| \frac{14,2 - 10,4}{10,4} \right| * 100$$

$$\varepsilon = 36,5\%$$

Esta deformación también es menor al máximo porcentaje de deformación del acero que es del 45%. Esto determina que la deformación plástica realizada en el acero AISI 304 no produce cambios considerables en el espesor de la tubería; estos cálculos corroboran la ecuación 2.6 que determina que el diámetro óptimo de perforación debe ser de 10.4 mm.

**Tabla 2.6 Esfuerzos y deformación unitaria al variar el diámetro del agujero**

Presión (psi)	Perforación mm	Esfuerzo Kg/mm	$\varepsilon$ (%)
4900	7	5,97	102,9%
2900	7,54	3,53	88,3%
2600	8,4	3,17	69,0%
1600	9,4	1,95	51,1%
1400	10,4	1,70	36,5%

En la tabla 2.6 se determinan los esfuerzos y deformación unitaria, al realizar el cambio en el diámetro de perforación, esta disminución en la perforación nos permitirá obtener una mayor altura de ramificación, por lo tanto se deberá llevar al límite las propiedades del acero inoxidable. De acuerdo a los cálculos se realizaran las perforaciones con todas estas brocas para analizar los resultados.

### 2.7.5.3 Cilindro de paredes delgadas (estado biaxial)

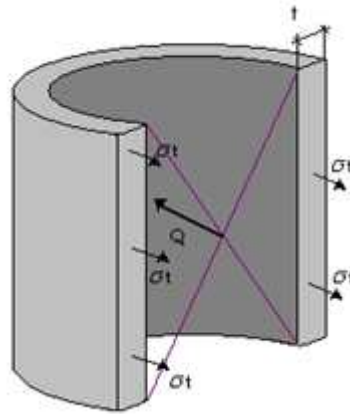


Figura 2.29 Distribución de esfuerzos transversales ocasionados por presión interna<sup>1</sup>

Para considerar que un cilindro es de paredes delgadas deberá cumplir con la siguiente relación:

$$D \geq 10 t$$

Ecuación 2.10 Consideración de un cilindro de paredes delgadas<sup>1</sup>

Área del espesor de pared delgada ( $A_c$ )

$$A_c = \pi D t$$

Ecuación 2.11 Área del espesor de paredes delgadas<sup>14</sup>

De la ecuación 2.7:

$$A_c = \text{área cilindro pared delgada (mm}^2\text{)}$$

$$D = \text{diámetro externo (mm)}$$

$$t = \text{espesor (mm)}$$

$$A_c = \pi(15.88) * 0,8 = 40\text{mm}^2$$

### 2.7.5.4 Esfuerzo Longitudinal y Transversal (Presión Interna Perpendicular)

$$\sigma_t = \frac{qD}{2t}$$

Ecuación 2.12 Esfuerzo transversal <sup>14</sup>

$\sigma_t = \text{esfuerzo transversal (kg/mm}^2\text{)}$

$q = \text{presión interna (kg/mm}^2\text{)}$

$$\sigma_t = \frac{1,70 * 10,4}{2 * 0,8}$$

$$\underline{\sigma_t = 11,05 \text{ Kg/mm}^2}$$

**Tabla 2.7 Resumen de cálculos de esfuerzos en expansión de tubería**

Presión (psi)	Perforación mm	Esfuerzo Transversal Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo Fluencia Kg/mm <sup>2</sup>
4900	7	26,10	24 - 36
2900	7,54	16,55	
2600	8,4	16,62	
1600	9,4	11,44	
1400	10,4	11,05	

En la Tabla 2,7 se recopila la información de los esfuerzos aplicados para producir la deformación de la tubería. Los esfuerzos transversales son más críticos en relación a los esfuerzos longitudinales porque tienden a abrir al tubo y son los que se toman en cuenta en esta sección.

### **2.7.6 MEDIDAS**

### **2.7.7 Y TOLERANCIAS TEE**

Las medidas y tolerancias de este accesorio se han realizado de acuerdo a los cálculos realizados anteriormente (Anexo 1).

## **2.8 DISEÑO PUENTE**

El equipo utilizado para la fabricación del Puente es el mismo con el que se construirá el Codo 90°, es decir una maquina curvadora por tracción, se conservará la misma matriz (Anexo 2), permitiendo esto la reducción de costos. Dado que para la fabricación del puente se realizaran tres curvas es importante conocer algunos criterios básicos que ayudaran a la realización del mismo.

## **2.8.1 VARIABLES DEL CURVADO DE TUBOS**

Dado que este tipo de accesorios cuenta con múltiples curvas, es necesario realizar una planeación precavida y cuidadosa, con el fin de obtener los resultados deseados.

Dado que la construcción del Puente se da de forma manual, es necesario poder controlar algunas variables para poder obtener un tubo curvado de forma exitosa, estas variables pueden ser, algunas relacionadas con el operador, posibles restricciones de las herramientas y materiales que se están utilizando.

### **2.8.1.1 Variables del Operador**

Es importante recordar que la curvadora por tracción que se está utilizando es una herramienta controlada manualmente. Como tal, esta herramienta es tan rápida, precisa y repetibles como la persona la utilice. Al momento de realizar las curvas para la fabricación del Puente, el grado de precisión logrado dependerá en gran medida de las habilidades de la persona para:

- Leer el plano de ingeniería.
- Realizar de manera precisa las mediciones, cálculos y marcas de mediciones requeridas.
- Utilizar la curvadora para realizar curvaturas según las tolerancias requeridas para la aplicación.
- Inspeccionar la calidad de la curvatura según se requiera.
- Proporcionar el cuidado adecuado para la curvadora.

### **2.8.1.2 Variables Físicas**

Las limitaciones mecánicas de la maquina que se está utilizando y las propiedades físicas del tubo que se curvará proporcionan variables adicionales.

Muchas variables físicas podrían vencerse. Algunas son:

- Cambios en la dirección y plano.

- Longitud mínima del tubo requerida a partir de la última curvatura hasta el extremo del tubo.
- Retroceso y alargamiento del tubo.

### 2.8.2 AJUSTE O GANANCIA

El ajuste o ganancia se considera la diferencia entre la longitud real del tubo utilizada para curvar el tubo alrededor de un radio y la longitud teórica del tubo que tendría que utilizarse si se pudiera crear el ángulo agudo de 90°. A mayor ángulo de curvatura, mayor es la cantidad del ajuste o ganancia.

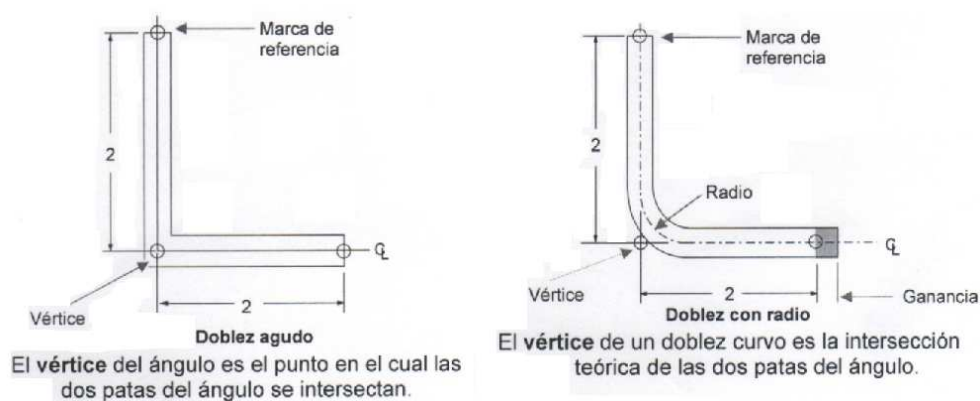


Figura 2.30 Ajuste o ganancia en una curva<sup>7</sup>

$$G = R \left[ \left( 2 \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right) - \left( \frac{\pi}{180} * \alpha \right) \right]$$

$\alpha = \text{Ángulo de curvatura}$

Ecuación 2.13 Formula para la Ganancia<sup>7</sup>

### 2.8.3 RETROCESO

El retroceso ocurre cuando un material que se está curvando no ha sido sometido a esfuerzo más allá de su límite elástico. Esto permite que el tubo curvado “retroceda” levemente hacia su forma original previa al curvado a medida que se libera la presión ejercida sobre éste durante el curvado.

Este retroceso puede vencerse curvando el tubo más allá del ángulo de curvatura deseado, luego permitiendo el retroceso para regresarlo hasta el ángulo deseado.



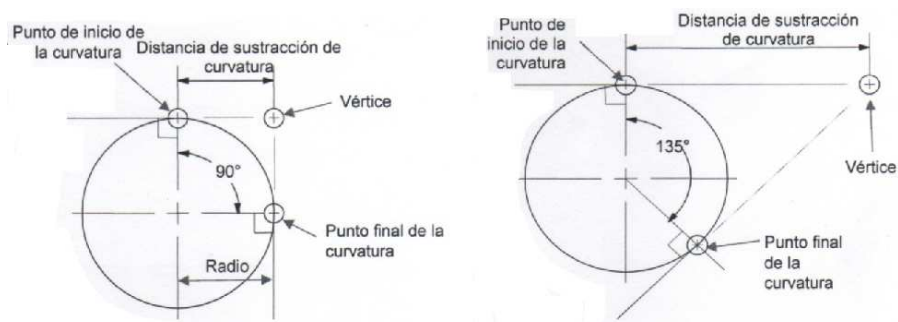
Tabla 2.5 Ajuste (Ganancia) para Curvas Metricas<sup>7</sup>

Radio de curvatura R = 38 mm		
Ángulo de curvatura	Ajuste (Ganancia)	
	mm	El más cercano a 0,5mm
25	0,27	0,5
30	0,5	0,5
45	1,6	1,5
50	2,3	2,5
55	3,1	3,0
60	4,1	4,0
65	5,3	5,5
70	6,8	7,0
75	8,6	8,0
80	10,7	10,5
85	13,3	13,5
90	16,3	16,5

#### 2.8.4 SUBSTRACCIÓN DE CURVATURA

Algunas veces denominada como “reversión” o “absorción”, la distancia de substracción de curvatura es la distancia desde el vértice del ángulo de REGRESO hasta el punto donde comienza la curvatura. A mayor ángulo de curvatura mayor ángulo de substracción de curvatura.

Teóricamente, la distancia de substracción de curvatura para una curva de 90° es igual al radio de curvatura, sin embargo en la práctica, esto no siempre es cierto debido al alargamiento del tubo.

Figura 2.31 Distancia de substracción de una curva<sup>7</sup>

$$SC = R \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

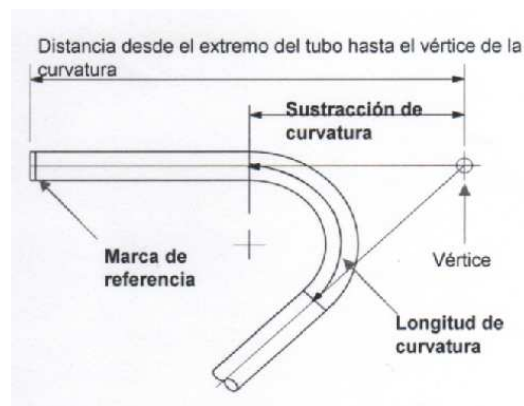
$\alpha = \text{Ángulo de curvatura}$

$R = \text{Radio de curvatura}$

**Ecuación 2.14 Substracción de curvatura<sup>7</sup>**

### 2.8.5 LONGITUD DE CURVATURA

La longitud de es la distancia entre el punto de inicio y el punto final de la curvatura según se mide a lo largo del radio de curvatura. Es la cantidad real de tubo consumida por la curvatura. A mayor ángulo de curvatura, mayor la longitud de curvatura.



**Figura 2.32 Longitud de Curvatura**

$$LC = R\pi \frac{\alpha}{180}$$

**Ecuación 2.15 Longitud real de curvatura**

### 2.8.6 DIMENSIONAMIENTO DE CURVAS

Para poder obtener un accesorio (puente) que se ajuste a las medidas y tolerancias establecidas es importante realizar algunos cálculos básicos, los cuales permitirán realizar las marcas de curvado en el tubo; estas marcas son las que indican el inicio y final de una curvatura, una curva bien realizada permite el ahorro de material, disminuyendo los desperdicios y por ende bajando el costo del producto.

## 2.8.7 MARCAS DE CURVADO

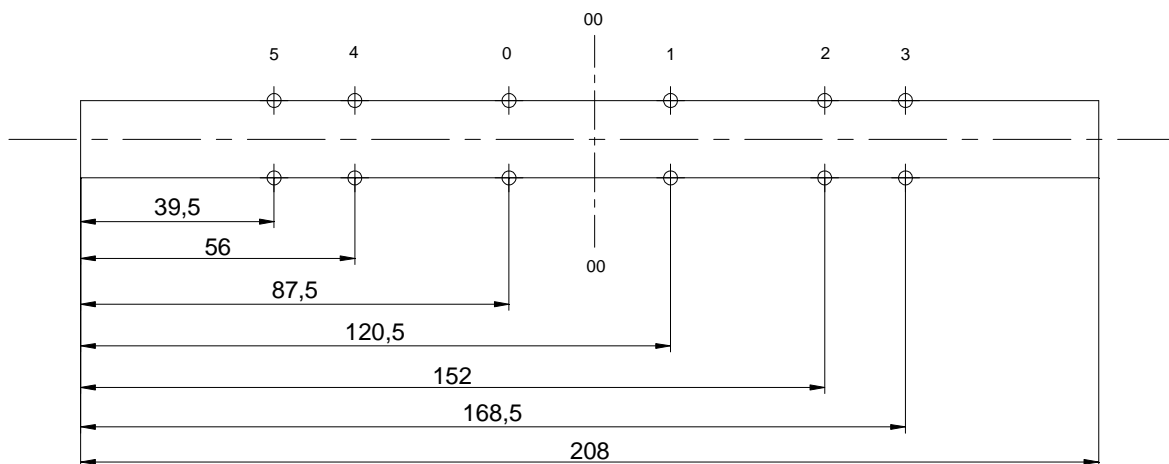
### Marca 0

Longitud de pata requerida a cada lado de la curva = 104mm

Ganancia, de acuerdo a la tabla 2.4 la ganancia para un ángulo de 50° es 2.3mm, esta se divide para dos, dado que se desea obtener paras iguales.

Substracción de la curva de 50°, de acuerdo a la ecuación 2.6

$$SC = 38 \operatorname{tg}\left(\frac{50}{2}\right) = 17,72\text{mm}$$



**Figura 2.33** Marcas de curvado en el tubo para la fabricación del puente a partir del inicio

Por lo tanto la Marca 0 se ubicara:

$$104 + 2,3/2 - 17,7 = 87,45 \text{ mm} \approx \mathbf{87,5\text{mm}}$$

### Marca 1

Longitud de la curva de 50° , de la ecuación 2,7 se tendrá:

$$LC = 38\pi \frac{50}{180} = 33,16$$

Longitud de la Marca 0, desde el punto de inicio: 87,5mm

Por lo tanto la Marca 1 se ubicara:

$$33.16 + 87,5 = 120,66\text{mm} \approx \mathbf{120,5 \text{ mm}}$$

### **Marca 2 y Marca 4**

Para poder formar el puente es necesario lograr un arco de unos 20mm de altura, por lo tanto es importante encontrar la longitud del tubo exacta que nos permita esta altura después de realizada la curvatura.

Longitud entre vértice y curva de 50°:

$$Lv = \frac{38}{\sin(65)} - 38 = 3,93\text{mm} + 20\text{mm} = 23,93\text{mm}$$

Longitud del tubo entre curvas:

$$L = \frac{23,93}{\sin(25)} = 56,6\text{mm} \approx 56,5\text{mm}$$

En este punto la ganancia no interesa dado que ya logramos el final del tubo.

Substracción de la curva de 25°, de acuerdo a la ecuación 2.6:

$$SC = 38 \operatorname{tg}\left(\frac{25}{2}\right) = 8,42\text{mm}$$

Por lo tanto la Marca 2 y la marca cuatro se ubicara a partir de la mitad del tubo, a la derecha e izquierda de la misma:

$$56,5 - 8,42 = 48,08 \approx \mathbf{48\text{mm}}$$

### **Marca 3 y Marca 5**

Longitud de la curva de 25°, de la ecuación 2,7 se tendrá:

$$LC = 38\pi \frac{25}{180} = 16,58\text{mm}$$

Longitud de la Marca 2, desde el punto medio es: 48 mm

Por lo tanto la Marca 3 y Marca 5 se ubicaran a partir de la marca 2 y 4 respectivamente:

$$16,58 + 48 = 64,58 \approx \mathbf{64,5 \text{ mm}}$$

Por lo tanto este producto de medidas permite dimensionar de mejor manera la fabricación del puente, ahorrando desperdicios de material que a la larga resulta en una disminución del costo del producto.

### 2.8.8 MEDIDAS Y TOLERANCIA PUENTE

Las medidas y tolerancias de este accesorio se han realizado de acuerdo a los cálculos realizados anteriormente. (Anexo 1)

## 2.9 DISEÑO DEL TAPON

Como su nombre lo indica este se utiliza especialmente en los finales de línea, cuando se desea dejar una extensión para una posible expansión de la misma.

El diseño de este accesorio se da por la unión de dos piezas, una que será el tubo como materia prima base y la otra una placa de forma circular que actuara como tapón o copa.

Las placas circulares serán de 16mm de diámetro y se unirán al tubo por el proceso de soldadura Tig, manteniendo un flujo interno de gas para evitar problemas de corrosión.

La fuerza necesaria para expandir el tapón es de 5000 psia, la misma se obtiene de los cálculos de expansión del extremo del tubo, con esto se lograra una altura de expansión de la copa de:

$$E \leq 0,3 * \sqrt[3]{d^2} * \sqrt{e}$$

$d = \text{Diámetro interior copa}$   
 $e = \text{Espesora material base}$

**Ecuación 2.16 Cálculo de la altura de la copa**

El espesor de la placa base utilizada es de  $e = 1,5\text{mm}$ , dando como resultado una altura de embutición de la copa de:

$$E = 0,3 * \sqrt[3]{14,3} * \sqrt{1,5}$$

$$E = 2,2mm$$

Si la embutición de la copa se realiza de forma separada, la altura de embutición podrá variar, con la variación del proceso de embutición.

### **2.9.1 MEDIDAS Y TOLERANCIAS TAPON**

Dado que es un accesorio básico, las medidas del mismo están regidas por la expansión del extremo, por lo tanto su longitud y tolerancias se encuentran determinadas en el Anexo1.

### **2.10 DISEÑO DE LA UNIÓN**

La unión está compuesta por dos partes expandidas (accesorio hembra), y se utiliza para la conexión de líneas de conducción de fluidos, este accesorio evita que el constructor, tenga un equipo extra para expandir el extremo de la tubería, permitiendo disminuir costos de instalación y aumentando el tiempo del mismo.

#### **2.10.1 MEDIDAS Y TOLERANCIAS UNION**

Las medidas del mismo están sujetas a al dado expansor, estas se encuentran en el Anexo 1.

## **CAPITULO 3**

### **3 PROCESOS DE FABRICACIÓN DE ACCESORIOS**

Para poder empezar con la construcción de cualquier accesorio, es necesario tener la herramienta adecuada, por lo tanto es indispensable indicar los pasos básicos para la construcción de las matrices, las cuales permitirán agilizar el proceso constructivo de cada accesorio; las medida y tolerancias de los accesorios, se encuentran en el capítulo de “Diseño de Accesorios”. El proceso de fabricación para estos accesorios, se da por medio de métodos comunes de construcción, los cuales se encuentran detallados en los capítulos anterior

#### **3.1 CODO 90° PARA UNION A TRASLAPE POR DOBLADO**

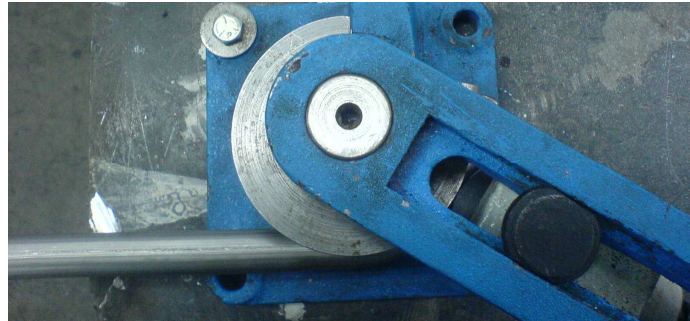
##### **3.1.1 CONSTRUCCIÓN MATRIZ**

La matriz para el curvado de tubos se deberá fabricar con un material que pueda soportar las cargas y las presiones en el momento de doblado. Uno de los aceros más utilizados para el trabajo en matricería, dadas sus características de maquinado y templado, el Acero DF2 es utilizado en la fabricación de matrices para trabajo en frio. La construcción de este tipo de matrices deberá ser fabricada por personal capacitado y con la herramienta adecuada, de tal manera que se garantice las medidas establecidas.

##### **3.1.2 COSTRUCCIÓN CODO 90° POR DOBLADO**

Para la fabricación del codo para unión a traslape, se corta el tubo (materia prima) en una longitud de 110mm, verificando que este corte sea lo más perpendicular posible, se redondean las aristas para eliminar rebabas, se coloca un tapón metálico en uno de sus extremos, el mismo deberá permitir su fácil extracción, se llena el tubo con un material no compresible (arena sílice, partículas de metal extra fino, grafito, etc), se coloca otro tapón en el segundo extremo, se debe verificar que la tierra quede totalmente a presión dentro del mismo. Una vez colocada la arena y taponados los extremos del tubo, se coloca este en la máquina de doblado, verificando la alineación entre la matriz y el rodillo conformador, se alinea perfectamente la matriz, el tubo y el rodillo, para evitar defectos en el doblado (Figura 3.1). Se aplica una fuerza a la palanca de la

maquina dobladora, de forma lenta pero constante, permitiendo que el material fluya y se deforme, se gira unos  $93^\circ$ , esta sobredimensión del ángulo permite que el codo se recupere y llegue a tener  $90^\circ$  exactos (Fig. 3.2).



**Figura 3.1** *Alineación entre la matriz y rodillo*



**Figura 3.2** *Conformado del codo, fuerza en la palanca*

Una vez conformado el codo, se retira de la dobladora y se maquina sus extremos, por medio de (se puede utilizar cualquier proceso de arranque de viruta) lima o disco abrasivo, verificando siempre las medidas finales que deberá tener dicho accesorio. Por último se coloca el codo en la matriz de embutición para expandir los extremos del mismo; una vez realizados todos estos pasos, se verifican las medidas y tolerancias, para luego enviar el accesorio a un baño de decapante y pasivante, los cuales permiten limpiar y proteger el accesorio ante agentes oxidantes (Fig. 3.3)





**Figura 3.3** *Codo 90° terminada, para unión a traslape*

### **3.1.3 DEFECTOS EN EL CONFORMADO DEL CODO**

Los defectos de conformado del codo aparecen cuando se da una mala utilización de las herramientas de conformado, en la siguiente tabla se dan los problemas y soluciones en el conformado (Tabla 3.1).

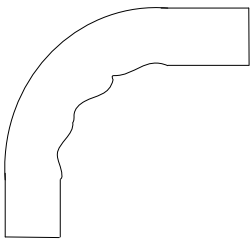
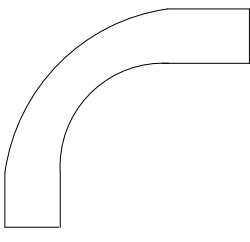
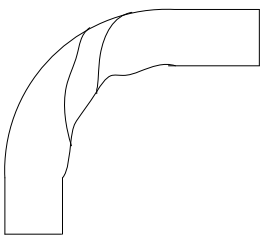
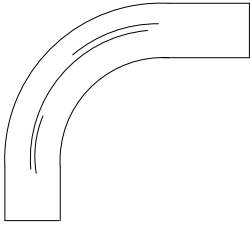
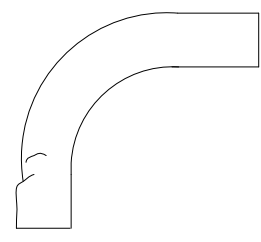
## **3.2 TEE PARA UNION A TRASLAPE**

### **3.2.1 CONSTRUCCIÓN MATRIZ**

La matriz para la Tee deberá cumplir plenamente con las medidas establecidas en los planos, ya que, de esto dependerá la calidad de embutición del agujero.

Para construir este tipo de matriz, se deberá obtener dos placas de acero DF2 de 100x50x15 mm, se rectifica una de las caras de cada placa, luego por medio de un proceso de soldadura se una las dos placas con las caras rectificadas frente a frente. Luego de esto se realizan las perforaciones con una broca de 15,8mm (5/8") de diámetro, la primera perforación será pasante en el largo y la segunda perforación será hasta la mitad en su ancho, las perforaciones deben ser de tal manera que su centro sea justo en la mitad de cada placa, de esta manera se formara una Tee, luego se realizan unas perforaciones de 5mm de diámetro en los lugares como se indica en los planos, luego se separan las dos placas las cuales serán semejantes.

Tabla 3.1 *Tabla de defectos y soluciones en el curvado<sup>1</sup>*

<b>DEFECTOS DE CURVADOS DE TUBOS</b>	<b>CAUSAS BÁSICAS</b>	<b>SOLUCIONES</b>
 <p><b>CURVA ARRUGADA</b></p>	<p>Se está utilizando una curvadora sub-dimensionada.</p> <p>Espesor de pared demasiado delgado.</p>	<p>Utilice una matriz de diámetro correcto.</p> <p>Aumente el espesor de pared si es posible.</p>
 <p><b>CURVA APLANADA</b></p>	<p>Posicionamiento del rodillo en una alineación no perpendicular a la matriz.</p> <p>Se está utilizando una matriz sub-dimensionada</p>	<p>Antes de realizar la curvatura asegúrese que el rodillo se encuentre perpendicular a la matriz.</p> <p>Utilice una matriz de diámetro correcto</p>
 <p><b>CURVA RETORCIDA</b></p>	<p>Se está utilizando una curvadora sobre-dimensionada para el diámetro del tubo</p>	<p>Utilice una matriz de diámetro correcto</p>
 <p><b>TUBO CON MUESCAS</b></p>	<p>Se esta utilizando una matriz sub-dimencionada</p> <p>Matriz dañada</p> <p>Suciedad o materiales extraños en la matriz</p> <p>Rodillo inmovilizado</p>	<p>Utilice una matriz de diámetro correcto</p> <p>Reemplace la matriz</p> <p>Limpie la curvadora</p> <p>Reemplace o engrase el rodillo</p>
 <p><b>EXCESIVA DEFORMACIÓN DEL TUBO</b></p>	<p>Alineación inapropiada</p> <p>Excesiva presión sobre el cerrojo del tubo</p>	<p>Asegúrese que la matriz y el rodillo se encuentren alineados al momento de realizar el doblado.</p> <p>Reduzca la presión del cerrojo.</p>

### 3.2.2 TABLA DE PROCESO DE FABRICACIÓN CODO 90°

Tabla 3.2 Proceso fabricación del codo 90°

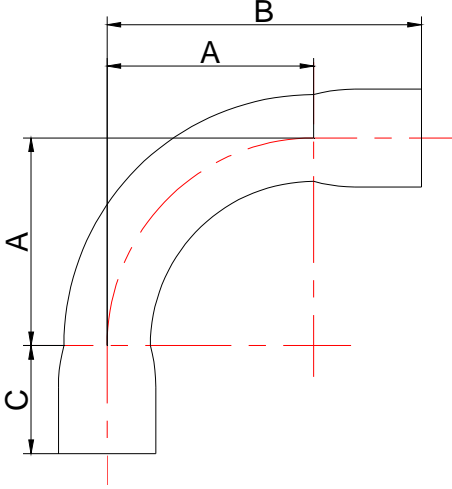
CODO 90° PARA UNIÓN A TRASLAPE	
FIGURA	PASOS
	Cortar el tubo a medida determinada, refrentar y eliminar rebabas. $L = 110\text{mm}$
	Introducir arena o elementos que no se compriman y taponar el tubo en sus dos extremos.
	Posicionar el tubo en la maquina dobladora.
	Aplicar fuerza en la palanca de manera constante y lenta, llevar el ángulo a $93^\circ$ para permitir la recuperación.
	Extraer el codo, retirar los tapones, la arena y colocarlo en la matriz de expansión.
	Expandir los dos extremos simultáneamente.
	Maquinar el codo hasta las medidas establecidas.
	Realizar el proceso de decapado y pasivado.



Figura 3.4 Matriz para embutición de la Te

El radio de la matriz deberá ser de aproximadamente  $R = 2.4\text{ mm}$ , su maquinado se realizara con una lima redonda, teniendo especial cuidado en no dañar las aristas de la matriz.

### 3.2.2.1 Especificación Del Procedimiento de Soldadura

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)									
<b>Nombre Compañía:</b> TESIS-EPN-WV					<b>WPS No.:</b> WPS – WV – 01				
<b>Según norma :</b> ASME IX (BOILER & PRESSURE VESSEL CODE, PART WELDING AND BRAZING QUALIFICATION)					<b>Fecha :</b> 09/03/2010				
					<b>Realizado por:</b> Willam Valencia				
ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA					ARTÍCULO V. POSICIÓN DE SOLDADURA				
Tipo de junta:		A TOPE			Posición de Soldadura:		1GR		
Abertura raíz:		0,0 <sup>+0.1</sup>			Progresión:		N/A		
Placa de respaldo:		Si No } Si No }			Técnica:		Un pase } Varios pases		
Preparar bisel:									
ARTÍCULO II. METAL BASE									
Especificación:		ASTM A 240							
Espesor:		0.8mm							
Diámetro:		15.8mm (5/8")							
ARTÍCULO III. ELECTRODO					ARTÍCULO VI. TÉCNICA DE SOLDADURA				
Denominación AWS		EWTh2			Soldadura de :		RANURA		
Diámetro		2.4mm(3/32")			Proceso de soldadura:		GTAW		
Denominación Comercial		EWTh2			Tipo de Soldadura:		<b>Manual }</b>		
Casa Comercial		AGA			Soldadura a:		Semiautomática		
ARTÍCULO IV. GAS DE PROTECCIÓN					Cordón de respaldo:		Un lado } Dos lados		
Tipo:		Argón			Cordón Recto u Oscilante		Si No }		
Caudal:		3lt/min			Limpieza:		Oscilante		
					Primer pase		N/A		
ARTÍCULO VIII. NOTAS									
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar limpieza de las partes.</li> <li>• Verificar alineación de la junta.</li> <li>• Flujo interno de gas Argón: 2lt/min</li> </ul>				
<b>Detalle de la Junta</b>									
ARTÍCULO IX. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN									
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Progresión	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad	Intensidad (Amperios)				oscilado	Recto
1	-	-	DC <sup>+</sup>	20-23	8-10	33	-	X	

Figura 3.5 Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para soldadura de la TEE

La forma más adecuada para unir la base con la ramificación, es la soldadura GTAW (TIG), esta se realizara de acuerdo a los parámetros especificados en el WPS.

Luego de la unión entre la base y ramificación, se procederá a realizar las expansiones en los tres extremos de la Tee, esto se realizara con el dado expansor, para evitar deformaciones en la Tee, al efectuar la expansión es necesario colocar un alma perpendicular a la boca que se expandirá, esta alma puede ser un eje sólido que ingrese en el tubo.



**Figura 3.6 Soldadura de la base y la ramificación (Proceso TIG)**



**Figura 3.7 Expansión de los extremos de la Tee**

Por último se verifican las medidas y tolerancias, para luego enviar el accesorio a un baño de decapante y pasivante, los cuales permiten limpiar y proteger el accesorio ante agentes oxidantes.



Figura 3.8 Tee Igual terminada, para unión a traslape

### 3.2.3 TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN TEE

Tabla 3.3 Proceso de fabricación Tee

<b>TEE PARA UNIÓN A TRASLAPE</b>	
<b>FIGURA</b>	<b>PASOS</b>
	Cortar la base y ramificación a medidas determinadas en los planos.
	Perforar la base para realizar el cuello, broca de 7.5 mm
	Colocar la base en la matriz para proceso de embutición.
	Introducir la esfera y posicionarla justo en el agujero
	Introducir los punzones y ejercer presión hasta que la esfera realice cuello y salga de la matriz.
	Maquinar el cuello hasta obtener una superficie plana.
	Unir la base y ramificación con proceso TIG, de acuerdo a WPS.
	Realizar la expansión de los extremos.
	Verificar medidas y tolerancias.

### 3.3 PUENTE PARA UNION A TRASLAPE

La función básica del puente, es permitir el paso de una tubería cuando estas se cruzan; para empezar con la construcción de este accesorio, se recortara el tubo de una longitud de 200mm, eliminado rebabas y refrentando las dos caras del tubo, luego se expande los dos extremos, seguidamente se rellena con arena el tubo y se taponan los extremos; una vez realizados estos pasos se coloca el tubo en la curvadora, (utilizando la matriz con la que se realizo el codo) para realizar una curva de 45° en la mitad del mismo, luego en las dos patas se realiza una curva de 25° pero en sentido contrario al doblado inicial, se retira el tubo doblado de la curvadora y se realizan las mediciones indicadas en los planos; por ultimo se realiza una limpieza del puente.



**Figura 3.9** *Puente para unión a traslape.*

### 3.3.1 TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN PUENTE

Tabla 3.4 *Proceso de fabricación Puente*

<b>PUENTE PARA UNIÓN A TRASLAPE</b>	
<b>FIGURA</b>	<b>PASOS</b>
	Cortar el tubo de una longitud de 205mm.
	Eliminar aristas vivas y rectificar las caras.
	Colocar arena soportante (Sílice), verificando que este apisonada y luego taponar los extremos.
	Realizar las marcas de doblado. (Ítem 2.8.7)
	Colocar el tubo en la matriz y proceder a realizar el primer dobles, en con un ángulo $R1 = 50^\circ$
	Realizar los dobleces $R2$ seguidamente con un ángulo $R2 = 25^\circ$
	Extraer el puente doblado y sacar la arena.
	Realizar la expansión de los extremos.
Verificar medidas y tolerancias.	

### 3.4 UNIONES PARA TUBERIA

Este es uno de los accesorios de fabricación más sencilla, primeramente se recorta el tubo de unos 40 mm de largo y luego se procede a expandir los extremos con el dado expansor, introduciendo el mismo aproximadamente unos 23 mm, lo que nos dará como resultado una expansión de 13 mm. Una vez terminado de expandir se procede a la verificación de medidas y limpieza.





Figura 3.10 Unión para tubos.

### 3.4.1 TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN UNIÓN

Tabla 3.5 Proceso de fabricación Unión

<b>UNIÓN A TRASLAPE</b>	
<b>FIGURA</b>	<b>PASOS</b>
	Cortar el tubo de una longitud de 50mm.
	Eliminar aristas vivas y pulir las caras.
	Colocar el tubo en la prensa, junto con el dado expansor.
	Realizar la expansión a los dos extremos, cuidado las medidas de expansión.

### 3.5 TAPON PARA UNION FUERTE

Este se utilizará para los finales de tubería, su fabricación es sencilla, primero se recorta el tubo en una longitud de 20 mm y una platina del mismo material de 2 mm de espesor de forma circular (no es necesario que sea completamente perfecto en círculo), se une el tubo con la tapa por medio de un proceso de soldadura, el cual es igual al utilizado en la fabricación de la Tee, es importante la introducción de argón en el mismo para obtener un buen acabado interno.

Luego de estos paso se procede a expandir el tapón, en este paso no solo se expanden las paredes, sino también la parte inferior del tapón, la cual tomara una forma circular, su altura será de aproximadamente 3 mm. Se comprueban medidas y se da los acabados finales.

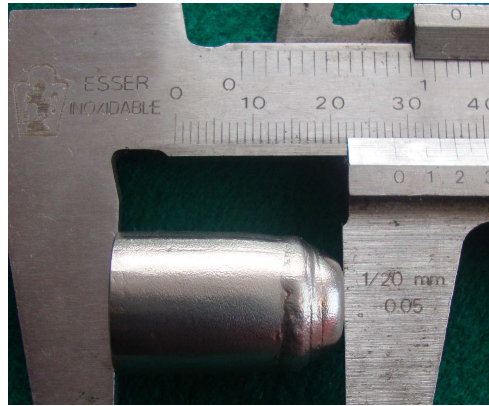


Figura 3.11 Tapón para unión a traslape

### 3.5.1 TABLA DE PROCESOS FABRICACIÓN TAPÓN

Tabla 3.6 Proceso de fabricación Tapón

<b>TAPÓN PARA UNIÓN A TRASLAPE</b>	
<b>FIGURA</b>	<b>PASOS</b>
	Cortar el tubo de una longitud de 30mm.
	Eliminar aristas vivas y pulir las caras.
	Colocar el tapón soldándolo a uno de sus extremos
	.
	Colocar el tubo soldado en la prensa, junto con el punzón.
	Extraer el punzón y verificar medidas.

## **CAPITULO 4**

### **4 ENSAYOS REALIZADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

Una vez que se han realizado las pruebas de los accesorios en el Laboratorio de Soldadura de la Escuela Politécnica Nacional, se tienen dos grupos de resultados. El primer grupo corresponde a los resultados obtenidos para la construcción adecuada de cada accesorio y el segundo grupo corresponde a los resultados obtenidos de los accesorios fabricados.

#### **4.1 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN**

En las figuras 4.5 y 4.6 se indican los pasos a seguir para la calificación y aceptación de pruebas que se realizaron a los accesorios, dichos pasos se detallaran a continuación

##### **4.1.1 INSPECCIÓN VISUAL**

Inspección visual del área de soldadura, consiste en verificar que se cumplan los parámetros dados en el WPS, tomando real atención en la existencia de cráteres o falta de penetración que puede genera problemas de fugas de fluido. Estos defectos pueden deberse a factores como: limpieza inadecuada, mala técnica de soldadura, gases de protección deficiente, amperaje inadecuado, movimiento de piezas al momento de la soldadura.

Internamente se deberá observar si la protección con gas Argón fue satisfactoria y que no se tiene la presencia de puntos de flor (oxidación de la capa de cromo en presencia del aire presente).

Inspección visual de accesorios conformados; consiste en verificar si el accesorio terminado presenta alguna discontinuidad descrita en la tabla 3.1. Una mala posición de los accesorios al momento de conformado puede ocasionar un aumento de los esfuerzos y presentarse micro fisuras.

Si los accesorios no se encuentran dentro de los parámetros de fabricación del Capítulo 3, los mismos serán desechados.

## **4.1.2 PRUEBAS HIDROSTATICAS DE ACCESORIOS**

Esta prueba consiste en someter a los accesorios a una presión establecida durante un tiempo dado, estas condiciones están dadas por Normas que regulan la construcción y prueba a los accesorios.

### **4.1.2.1 Normas Aplicables para pruebas de Presión Hidrostática**

Una prueba de presión Hidrostática debe cumplir algunos requisitos, que permitirán obtener resultados óptimos.

Para establecer valores de parámetros de prueba, se debe seleccionar la norma a utilizar y el alcance de las mismas, la cual deberá corresponder a las condiciones de operación de los accesorios:

- Establecer un accesorio que pueda ser utilizado para la conducción segura de fluidos de presión como agua potable o gas licuado de petróleo.

Los accesorios que se ensayados tienen como base la tubería fabricada mediante costura por el método GTAW (TIG) y cumple la norma ASTM A 544. La materia prima de la tubería es acero inoxidable AISI 304 según ASTM A 240.

Las características de rendimientos de la tubería, son establecidas por el fabricante, según las cuales la presión de servicio a condiciones críticas es 1,72MPa (250 psi<sup>5</sup>). Estas especificaciones muestran que para tubería de 12,7mm (½") de diámetro, la presión de prueba es de 15,7MPa (2276 Psi) a la que revienta la tubería.

La Norma ASTM A403, establece las especificaciones estándares para accesorio fabricados de la tubería de acero inoxidable Austenítico. La cual indica las normas a seguir y las pruebas que se realizaran a dichos accesorios, los artículos de esta norma se detallan a continuación:<sup>12</sup>

Artículo 1.2 Existen varias calificaciones de aleaciones de acero inoxidable austenítico que son incluidas en esta especificación, las calificaciones son

llamadas con el prefijo, WP o CR, aplicables en la Norma ASME o MSS las cuales indican las dimensiones y los estándares de evaluación, respectivamente.

Artículo 1.3 El grado WP para aceros inoxidables, cubre varias clases de accesorios, el cual indica si la construcción fue sin costura o soldados. Las designaciones de clase son también usadas para indicar el método no destructivo de prueba y la extensión de examen no destructivo (NDE). La tabla 1 siguiente es un resumen general de las clases apropiadas aplicables para el grado WP para aceros inoxidables al amparo de esta especificación. No hay clases para las calificaciones CR. Los requisitos específicos son poco notorios en algún otro sitio.

**Tabla 4.1 Clase de accesorios para el grado WP**

<b>CLASE</b>	<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<b>EXAMINACIÓN NO DESTRUCTIVA</b>
S	Sin Costura	No Aplica
W	Soldados	Radiografía y Ultrasonido
WX	Soldados	Radiografía
WU	Soldados	Ultrasonido

Artículo 5.3 Establece que los accesorios de grado WP, ordenados por la clase S estarán regidos por la Norma ASME B16.9, B16.28, o MSS SP-79.

Artículo 5.4 Establece que los accesorios de grado WP, ordenados por la clase W, estarán regidos por las normas ASME B16.9 o B16.28

Artículo 5.4.1 Toda tubería o accesorios soldados con la adición de metal de aporte hechos por el fabricante, se realizara un análisis radiográfico a lo largo de toda la soldadura, en conformidad a los requisitos de Código manifestó en 5.5

Artículo 5.4.2 La inspección Radiográfica no se necesita en soldaduras de costura longitudinales hechas por el fabricante de la tubería, realizadas sin la adición de metal de aporte

Artículo 5.4.3 La inspección Radiográfica no se necesita en soldaduras de fusión de costura longitudinales hechas por el fabricante del accesorio cuando todas las siguientes condiciones han sido reunidas:

5.4.3.1 Ninguna adición de metal de aporte,

5.4.3.2 Sólo una pase de soldadura por costura

#### 5.4.3.3 Fusión de soldadura de un lado sólo.

Artículo 5.9 Los accesorios de Grado CR se responsabilizarán por los requisitos de MSS SP-43 y no requerirán examen no destructivo.

Artículo 5.10 Todos los accesorios que sean fabricados por soldadura, es necesario, soldador calificado y un WPQ conforme a la Sección IX del ASME y el Código de la tanques de Presión, excepto, las soldaduras hechas sin la adición de metal de aporte, no requiera tal capacitación.

### 9 Prueba Hidrostática<sup>12</sup>

Artículo 9.2 Todos los accesorios de grado WP deberán soportar sin fallar, sin fugar y sin disminución de su funcionalidad, una presión igual a la presión reglamentada para tuberías o el material equivalente a 1,5 veces la presión nominal.

Artículo 9.3 Todos los accesorios de grado CR, excepto la Tee descrita 9.3.1, deben soportar sin fallar, sin fugar y sin disminución de su funcionalidad, una presión base, establecida en la norma MSS SP-43.

La Norma ASME B31.9 establece las condiciones para el diseño, materiales, fabricación, instalación, inspección, y prueba de sistemas de tubería para servicio industrial, institucional, comercial, multifamiliares y de edificios públicos. La norma cubre materiales para esta tubería como aceros al carbono sin y con costura, tubería de hierro dúctil, acero inoxidable, cobre y otros.<sup>11</sup>

Según el artículo 937.3.1 de esta norma se puede usar como medio de prueba de hermeticidad: agua a temperatura ambiente o cualquier otro líquido que sea seguro para los operadores y además compatible con la tubería que va a ser probada. La presión de prueba hidrostática está definida por el artículo 937.3.4. Todo punto en el sistema de tubería instalada a ser probado debe estar sometido a una presión mínima de 1.5 veces la presión de diseño (presión igual o mayor que la máxima presión de trabajo usada para determinar el mínimo espesor permisible de pared). La presión de prueba en la tubería no debe exceder la máxima presión para cualquier recipiente, bomba, válvula u otro componente incluido en el sistema de tubería. El esfuerzo ocasionado por la presión en el

fondo de las tuberías verticales no debe exceder el 90% del mínimo esfuerzo de fluencia.<sup>11</sup>

Según 937.3.5, el tiempo de aplicación de la presión de prueba hidrostática debe ser de al menos 10 minutos para revisar si existen fugas en la tubería, junta o conexión. Si aparecen fugas, estas deben ser eliminadas por reparación, impermeabilización o reemplazo hasta que no exista fuga alguna en el sistema. Según esta condición de prueba hidrostática se concluye que no puede haber restricción de longitud para un elemento del sistema de tubería sobre el que se realizará la mencionada prueba.<sup>11</sup>

Por lo tanto de acuerdo a la norma ASME B16.9 y a la fórmula de Barlow, la presión de prueba hidrostática deberá ser:<sup>12</sup>

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

**Ecuación 4.1 *Formula de Barlow, para prueba Hidrostática***<sup>12</sup>

P = Presión Hidrostática (lb/plg<sup>2</sup>)

S = tensión en la pared del tubo (lb/plg<sup>2</sup>)

t = Espesor de la pared del tubo en pulgadas

D = diámetro exterior en pulgadas

En el caso del acero inoxidable 304 y 316 el límite elástico es de 30,000 lb/plg<sup>2</sup>, S es igual al 50% del límite elástico del acero.<sup>12</sup>

$$P = \frac{2 * 15000 * 0.0315}{0.5}$$

$$P = 13MPa \text{ (1890 psi)}$$

Esta será la presión a la que someterá a los accesorios y de acuerdo a la norma ASME B31.9 el tiempo de la prueba será de 10 min.

#### 4.1.2.2 Hermeticidad para el Ensayo de Presión Hidrostática

La salida debe estar provista de tapones que proporcionen hermeticidad. No se permite el uso de madera, corcho u otro material inadecuado.<sup>13</sup> Para la realización de este ensayo, los tapones y accesorios de conexión serán en acero inoxidable, serán soldados al accesorios por medio de soldadura TIG; manteniendo los mismos estándares de fabricación de la Tee.



Figura 4.1 Accesorio para prueba hidrostática

El equipo para la prueba está compuesto por una bomba hidráulica manual de desplazamiento positivo que requiere previamente un desairado, la capacidad máxima es de 13,8MPa (2000 psi), esta consta de una válvula para fijar la presión de prueba y acople universal de 13mm (1/2").



Figura 4.2 Maquina para Ensayo Hidrostático



Al momento de realizar el ensayo de hermeticidad, si existen fugas, se deberá realizar las reparaciones correspondientes y someter nuevamente la probeta a un ensayo de presión. Para iniciar la prueba, se aplicará una presión baja, para comprobar si existen fugas en alguna parte de la probeta.

#### 4.1.2.3 Procedimiento del Ensayo de Presión Hidrostática.

Verificar que la bomba no contenga aire y conectar la probeta de prueba al acople universal de 13mm ( $\frac{1}{2}$ " ). Comprobar que no existan fugas en el sistema presurizando la línea sin cerrar la válvula. Dado que la presión de prueba es alta, es necesario sumergir la probeta en un recipiente con agua, para minimizar daños si existiese algún tipo de fuga.



**Figura 4.3** *Válvula de ajuste y acople universal.*

Primeramente se verificar la hermeticidad del sistema, presurizar el mismo hasta 600 psi, luego introducir el accesorio en un recipiente con agua y elevar a la de prueba más un 10% en accesorios soldados.

Presión prueba Codo 90° = 13MPa (1890 psi)

Presión prueba Tee = 13,2MPa (1910 psi)

Una vez establecida la presión de prueba, cerrar la válvula para fija la misma; esperar 10 minutos para determinar si hay una diferencia de presión. La presión que se observa en la escala del manómetro debe ser controlada periódicamente y por una sola persona. Al mismo tiempo se debe controlar visualmente el tubo de

prueba porque pueden darse fugas que causan una caída de presión que no es muy perceptible.

Dado que estos accesorios deben soportar cargas variables y están sometidos a una sola prueba, se elevara la presión al máximo y se aumentara el tiempo de permanencia de la presión, por lo tanto para todos los accesorios sometidos a prueba hidrostática se aplicara lo siguiente:

**Presión de prueba = 13,8MPa (2000 psi)**

**Tiempo de permanencia = 15 min**

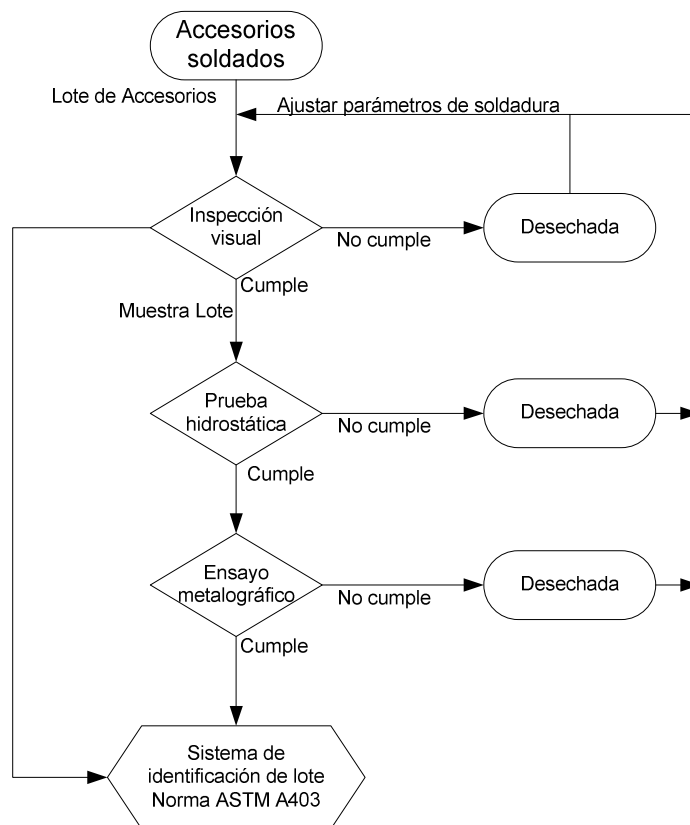


**Figura 4.4** *Probeta sometida a presión máxima*

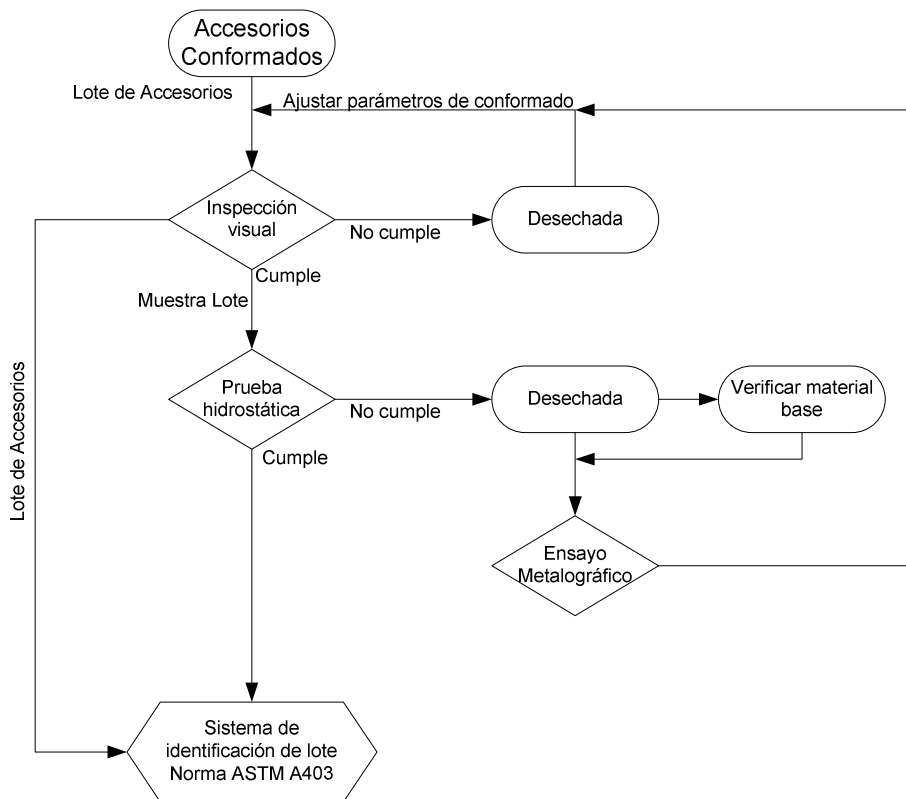
#### **4.1.3 ENSAYO METALOGRAFICO**

Dado que este tipo de ensayos es destructivo, no se aplica a cada uno de los accesorios, por lo tanto se deberá obtener una muestra al azar del lote de accesorios, el tamaño de la muestra estará dada por el fabricante, la cual garantizara la misma calidad en todos los accesorios.

Este ensayo consiste en cortar los accesorios longitudinalmente para obtener la probeta de metalografía, dicha probeta deberá ser pulida en varias lijas y Alúmina, las superficies se atacan con reactivo Marble para revelar la zona fundida y posibles discontinuidades existentes.



**Figura 4.5** *Proceso seguido para la calificación de accesorios soldados*



**Figura 4.6** *Proceso seguido para la calificación de accesorios conformados*

## 4.2 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA FABRICACIÓN DE ACCESORIOS

### 4.2.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE CONFORMADO

Cuando se desea curvar un tubo de paredes delgadas, se presentan problemas de deformación del tubo, esto quiere decir que genera un cambio en su forma. Puesto que tanto las fuerzas extensoras del lado convexo del tubo como las compresoras del lado cóncavo tienen resultantes hacia la línea neutra, estas flexibilidades afectan a la deformación de las fibras longitudinales del tubo<sup>14</sup>. Para disminuir este efecto es indispensable realizar un análisis del tubo conformado sin un elemento interior y con un elemento interior que soporte las paredes del tubo, para este caso se utilizara arena sílice.

#### 4.2.1.1 Conformado sin elemento soportante

Al realizar un conformado sin un elemento soportante interior, se puede apreciar cómo se presenta una disminución en su diámetro y un deterioro de su forma original, este factor es perjudicial para un accesorio, dado que se incrementan las pérdidas por presión en la conducción de un fluido.

#### 4.2.1.2 Conformado con elemento soportante

La adición de un elemento soportante (arena sílice), permite una mejor redistribución de los esfuerzos en el tubo, disminuyendo de esta manera considerablemente el efecto de aplastamiento en la parte externa del tubo conformado, para obtener buenos resultados es necesario que la misma que completamente compacta dentro del tubo.

En la siguiente tabla se puede apreciar la diferencia en el diámetro los accesorios conformados y su diámetro original.

Tabla 4.2 Diferencia de diámetros con y sin elemento soportante

	Probeta 01	Probeta 02	Probeta 03
<b>Sin Elemento Soportante</b>	13,0	13,2	12,9
<b>Con elemento Soportante</b>	15,5	15,7	15,3
<b>Tubo Original</b>	15,8		

Realizando un promedio de las medidas se obtiene:

Diámetro sin elemento soportante: **13,03 mm**

$$13,03 - 15,8 = 2,77 \text{ mm}$$

Diámetro con elemento soportante: **15,50 mm**

$$15,50 - 15,8 = 0,30 \text{ mm}$$

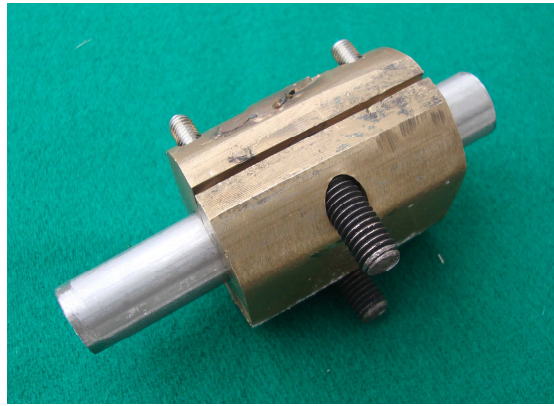
De acuerdo a estos resultados, en el proceso de fabricación de accesorios se utilizara un elemento soportante, el cual puede ser arena sílice o cualquier otro material que brinde un soporte interno a la tubería.

## **4.2.2 ANÁLISIS DEL PROCESO DE SOLDADURA**

El proceso de soldadura más adecuado para la fabricación de los accesorios, deberá ser económico, rápido y fácil de realizar, para cumplir estos parámetros es indispensable escoger y analizar un proceso de soldadura que se ajuste de la mejor manera a lo solicitado, en base a los conocimientos y la práctica en soldadura se ha logrado escoger dos proceso para su debido análisis, el proceso de soldadura eléctrica por resistencia de contacto por chispa (FW) y el proceso de soldadura eléctrica por arco con electrodo de tungsteno bajo protección de gas (GTAW), en base a estos dos procesos, se realizaran las pruebas de soldadura para unir la base con la ramificación de la Tee. Las pruebas se han realizado en el laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional

### **4.2.2.1 Proceso de Soldadura FW**

La maquina existente en el laboratorio, se utiliza generalmente para soldadura de cintas de cierra, varillas de acero de bajo carbono de diámetro 1/8"; por lo tanto para la soldadura de tubos es necesario la fabricación de nuevas mordazas que sujeten el tubo y que permitan el paso de corriente hacia el mismo.











**Figura 4.7 Mordaza para soldadura FW**

Las mordazas se ajustaran se diseñaran y fabricaran de acuerdo a las necesidades y características de la maquina soldadora. Una vez construida las mordazas, se empezar con la calibración de la maquina y las pruebas de soldadura.

Para realizar la soldadura por chispa, primeramente se colocan las probetas en las mordazas, hay que asegurarse que las mismas se encuentren alineadas una con la otra y que las caras de contacto sean lo más perpendicular posible, esto se puede obtener refrentando las paredes del tubo; como parte inicial se da una separación entre tubos, luego se aprieta las matrices y por último se activa la palanca para que empiece el proceso de soldadura, luego de un tiempo ya establecido por la maquina, el proceso de soldadura se detiene y se retira la probeta. En este tipo de maquina se pueden controlar los siguientes parámetros: separación inicial y fuerza de soldadura, los parámetros que no se controlan, dado que estos, se encuentran establecidos por la maquina son: tiempo de soldadura e intensidad de corriente.

De acuerdo a las pruebas realizadas y las variaciones de la separación inicial y del porcentaje de fuerza del resorte, se puede observar claramente en la Tabla 4.4 que existen puntos en los cuales no se tienen una soldadura, el material es expulsado hacia afuera o dentro del tubo, estos problemas se dan por una falta en el control de la corriente y del tiempo fundamental de soldadura.

**Tabla 4.3** *Resultados de los parámetros de variación*

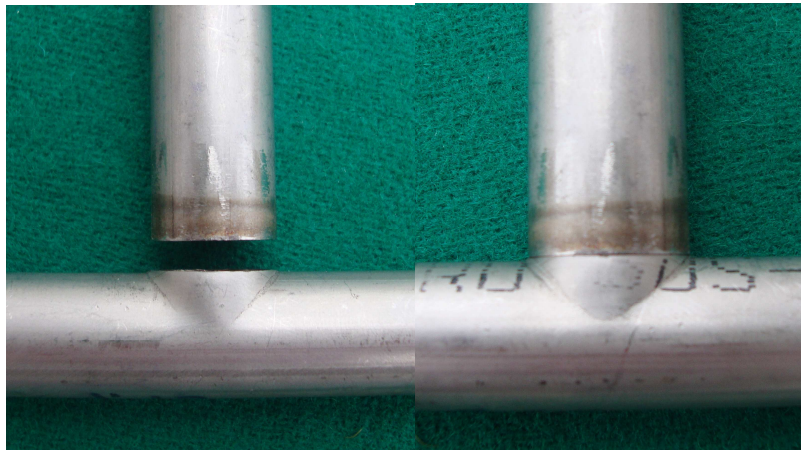
Separación inicial (mm)	% de Fuerza Resorte	
	50	70
1.5		
1.6		
1.8		
1.9		

Por lo tanto se deduce que en este tipo de máquina soldadora que posee el laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional, no se pueden controlar los parámetros importantes, como para obtener una buena soldadura.

De esta manera queda descartado el proceso FW para aplicarla como soldadura principal en la construcción de los accesorios.

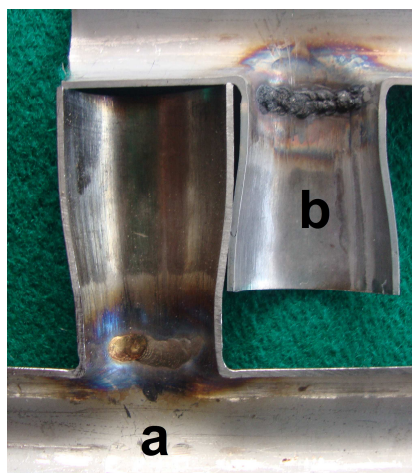
#### **4.2.2.2 Proceso de Soldadura GTAW (TIG)**

Para lograr que este tipo de proceso sea mucho más económico, es necesario realizar una soldadura sin material de aporte, por lo tanto para lograr esto se realizara una junta a tope, garantizando que las caras a unir sean totalmente planas.



**Figura 4.8** *Caras planas listas para realizar la soldadura*

Una vez se encuentre la junta lista, se procede a identificar el amperaje óptimo de soldadura, el cual fue de 20 a 23 A, este amperaje se consiguió realizando varios cupones de soldadura. El acero inoxidable debe mantener una atmosfera inerte para lograr obtener un cordón limpio y sin defectos, esto quiere decir que el cupón que se va a soldar, deberá ser protegido tanto externamente como internamente por medio de un flujo de gas.



**Figura 4.9** *Proceso de soldadura Tig. En la figura (a) se puede observar una soldadura con protección interna de Argón, la figura (b) muestra una soldadura del acero inoxidable sin protección interna de Argón*

En la Figura 1.9.b. sin protección gaseosa, se puede mirar cómo reacciona el cromo ante la presencia del aire y la alta temperatura del proceso, produciendo una oxidación en todo el cordón de soldadura.



#### **4.2.2.3 Análisis final del proceso de soldadura**

En base a lo expuesto en los ítems 4.2.2.1 y 4.2.2.2, y a las pruebas realizadas se concluye que la soldadura que presenta mayor fiabilidad, es la realizada bajo el proceso TIG, la misma será ejecutada en la fabricación de los accesorios que lo necesiten.

#### **4.2.3 ANÁLISIS DEL AGUJERO PARA INSERTAR LA RAMIFICACIÓN**

Es importante realizar un pequeño análisis de selección del agujero que va en la base de la Tee, dado que de este depende en tiempo de fabricación y la calidad de la Tee.

Por lo tanto es indispensable variar los diámetros de perforación y expandir los mismos, hasta encontrar el agujero óptimo que se ajuste a las necesidades de construcción. En la tabla a continuación se encuentra el resumen de las variaciones en los diámetros de la base.

##### **4.2.3.1 Análisis final para la selección del agujero**

Al realizar una variación en el diámetro del agujero que va desde 7.04mm hasta 10.4mm, se puede determinar que la perforación de 7,5mm presenta las mejores condiciones para ser maquinado y poder soldar la ramificación.

No se puede utilizar una broca de mayor diámetro, dado que, al momento de realizar el maquinado se tiene una falta de material o disminución del espesor en las paredes laterales de la boca, eso dificulta el proceso de soldadura, dada que la misma es realizada a tope y sin material de aporte para cumplir con la Norma ASTM A403.

#### **4.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ACCESORIOS**

En la figura 4.10 se muestra los accesorios terminados formando un sistema de tuberías, los cuales fueron sometidos de forma individual a los ensayos hidrostáticos y pruebas metalográficas, dado que el codo, puente y unión están

regidos por el mismo principio de conformado, se realizaran las pruebas tan solo al codo de 90° el cual resulta ser el más crítico por su ángulo de curvatura.



**Figura 4.10** Sistema de conducción formado por accesorios en acero inoxidable 304.

Para el análisis de las pruebas y ensayos se tomó una muestra de los accesorios fabricados, la cual esta descrita en la tabla a continuación.

**Tabla 4.4** Cupones para ensayo hidrostático y micrografías

PRUEBA O INSPECCIÓN	Nº DE CUPONES	ACCESORIO
<b>Hidrostática</b>	3	Codo
	3	Tee
<b>Micrografías</b>	3	Tee
	3	Codo

#### 4.3.1 RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL

En base a una inspección visual se detectaron las siguientes características como:

- Amperaje demasiado alto, el cual provoca que el material base se debilite y se formen agujeros; un accesorio que no presente una soldadura continua deberá ser desechado.

- Cráteres al final de la soldadura, estos pueden ser un punto de oxidación y principio de micro fisuras.
- Buen acabado de la soldadura
- La protección interna de gas permite tener un cordón limpio sin defectos
- En el puente se presentan pliegues, causados por la mala sujeción al momento de curvar el tubo.
- El elemento soportante (arena sílice) disminuye la deformación del tubo al momento de curvarlo.

#### 4.3.2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA

Del ensayo que se realiza para comprobar si existe hermeticidad en el accesorio, se obtienen los resultados en la Tabla 5.6, a continuación.

**Tabla 4.5 Resultados del Ensayo Hidrostático**

Probeta	Presión inicial (PSI)	Presión final (PSI)	Tiempo de prueba (min)	Observaciones
Codo 01	700	2000	15	No existen fugas
Codo 02		2000	15	No existen fugas
Codo 03		2000	15	No existen fugas
Tee 01		2000	15	No existen fugas
Tee 02		2000	15	No existen fugas
Tee 03		2000	15	No existen fugas

Dado que el codo es un accesorio conformado sin puntos de soldadura, no se registran fugas ni variación considerable en sus medidas, este tipo de accesorios fue probado a una presión máxima de 13,8MPa (2000 psi), con una presión inicial de 4,8MPa (700 psi) la cual se aumenta paulatinamente hasta su máximo.

Para ensayar las Tees se realizó primeramente una inspección visual y se descarto las que no se ajustan a los parámetros de la inspección visual, esto se realizó para preservar la calidad del ensayo y de las personas que lo realizan.

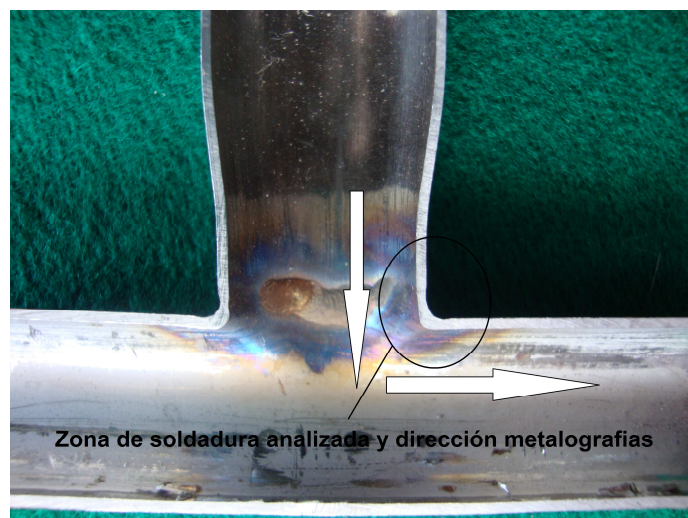
De igual manera como se puede apreciar en la tabla 4.6 no se presento ninguna fuga ni deformaciones en la Tee, garantizando de esta manera el proceso de soldadura.

Este ensayo es de mucha importancia dado que permite determinar si el proceso de soldadura se efectuó de acuerdo al WPS y garantiza la integridad del accesorio a altas presiones de trabajo.

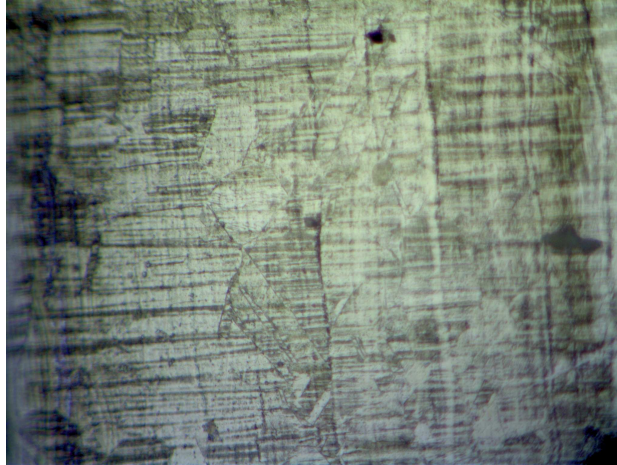
### 4.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA METALOGRAFÍA

El objetivo de realizar la metalografía (micrografía) es para determinar las características o cambios del metal base después de un proceso de conformado o soldadura. Para esto se ataca las probetas con el reactivo Marble, en cual deja en evidencia los bordes de grano.

#### 4.3.3.1 Micrografía de probetas soldadas (Tee)

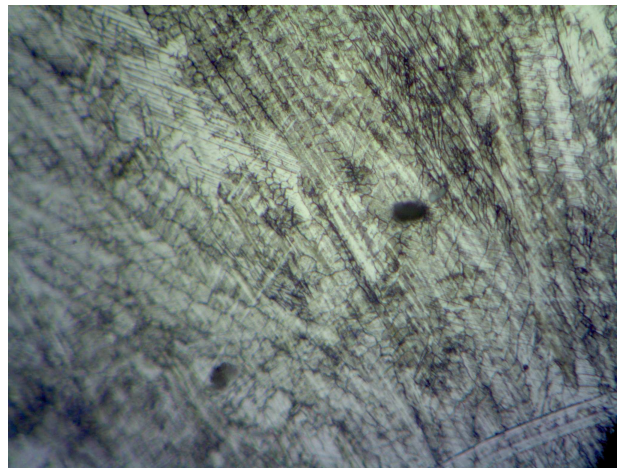


**Figura 4.11 Zonas analizadas en la micrografía corte longitudinal**



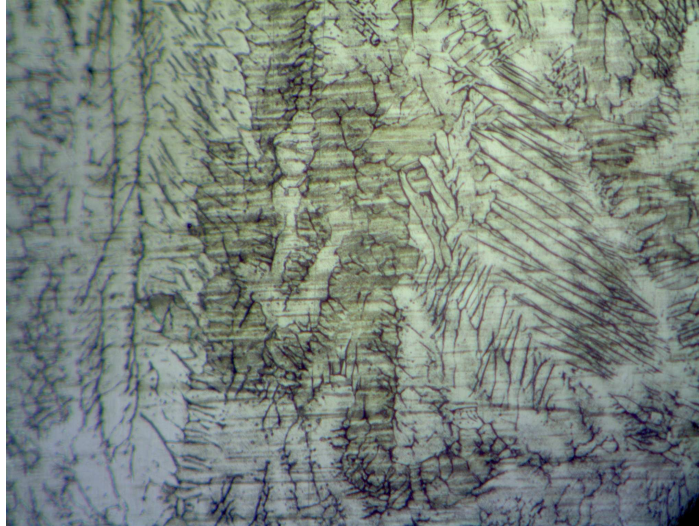
**Figura 4.12** Metalografía de la *Zona afectada por el calor. 400X*

En la figura 4.12 se puede observar la zona afectada por el calor (ZAC), en esta se evidencia la formación de granos austeníticos normales y la zona de crecimiento anormal de granos enormes.



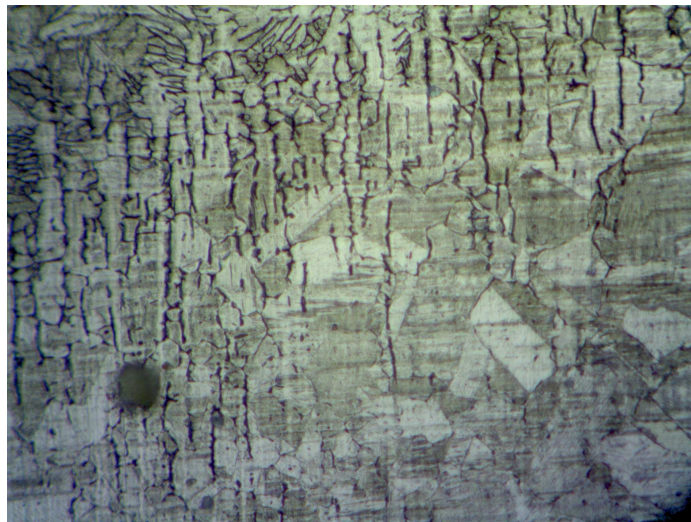
**Figura 4.13** Metalografía de la *Zona Parcialmente Fundida. 400X*

En la figura 4.13 se puede observar la zona parcialmente fundida, en la cual se encuentran granos alargados columnares y en su interior la formación de dendritas del proceso de solidificación, se puede observar la presencia de micro porosidades (Puntos negros).



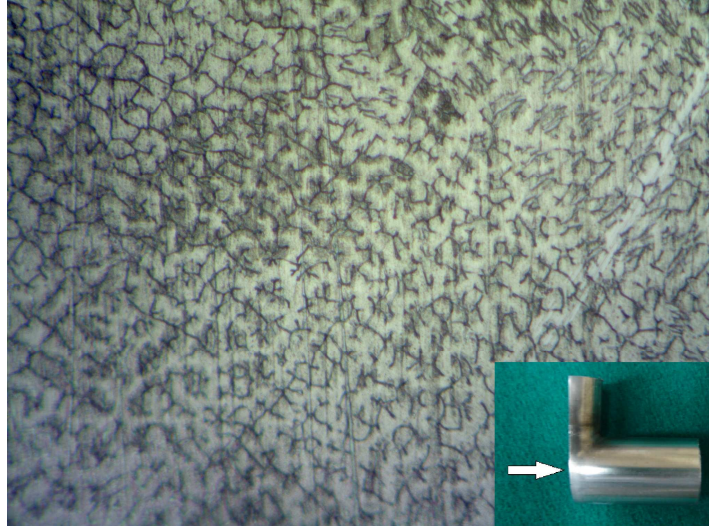
**Figura 4.14** Metalografía de la *Formación de Dendritas*, 400X

En la figura 4.14 se puede observar la formación de dendritas dentro del proceso de solidificación en la junta soldada.



**Figura 4.15** Metalografía de la *Zona Parcialmente Fundida*, 400X

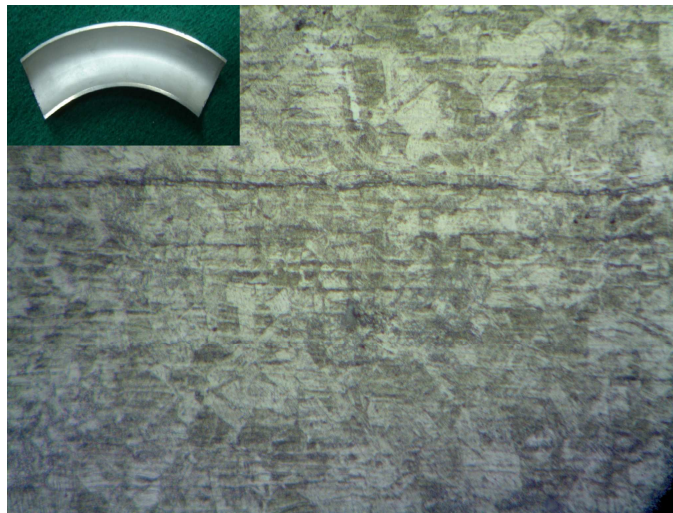
En la figura 4.15 se observa la inter cara entre el material base con la estructura de granos austenítico y los granos columnares formados por el proceso de solidificación en la zona parcialmente fundida.



**Figura 4.16** Metalografía del corte transversal, 400X

En la figura 4.16 se puede un corte transversal de la zona fundida de los granos columnares.

#### 4.3.3.2 Micrografía de probetas realizadas por conformado (Codo 90°)



**Figura 4.17** Metalografía del corte longitudinal codo 90°, 400X

En la figura 4.17 se puede observar granos austenítico normales, no se presentan defectos al momento de conformar en frío el tubo.

## 4.4 ANÁLISIS FINAL DE RESULTADOS TOTALES

Para la fabricación de un buen accesorio es importante verificar la materia prima a utilizar dado que de esto dependerá la calidad de los accesorios, como base fundamental la materia prima será un tubo de acero inoxidable 304 austenítico con o sin soldadura, al ser un tubo con soldadura se deberá garantizar la misma,

la cual deberá ser capaz de soportar sin fallar ni romperse, los esfuerzos que se aplican al momento de conformar un accesorio.

Las dimensiones de las matrices, dado de curvado y de los dados expansores se relacionan directamente con el diámetro externo e interno de la tubería y de las tolerancias que se desean obtener, por lo tanto para fabricar un accesorio no se encuentra una limitación tanto por el diámetro de la tubería, sino, en el costo que implica realizar una matriz o equipo que se ajuste a estos diámetros.

Cuando se trabaja con tubo de paredes delgadas, es importante utilizar un material soportante interno que ayude a disminuir la deformación del tubo, este deberá estar a presión, limitada dentro del tubo por medio de tapones de fácil remoción, si se desea trabajar en serie o realizar accesorios de diámetros mayores, se podría utilizar otro proceso de conformado, el cual se explica en el Capítulo 2 y ayudara a disminuir los costos de fabricación.

La expansión de los extremos hembra de acople se realizan por medio de un dado, el cual presenta dificultades al ser extraído del tubo y es necesaria una pequeña maquina de extracción; existe otro método de embutición, que son elementos de presión elástica, la cual expande el tubo ejerciendo presión a un elemento elástico y este a su vez deforma el tubo, este tipo de maquina puede ser construida, implicando un estudio de los elastómeros y de la máquina de embutición.

El proceso de soldadura manual GTAW (TIG) que se utiliza en la fabricación de accesorios, resulta ser el más adecuada dado que brinda una excelente resistencia mecánica a la unión y evita la utilización de material de aporte; pero si se desea producir este tipo de accesorios en serie se deberá estudiar la capacidad de obtener un equipo totalmente automático u otro proceso de soldadura, como puede ser, el proceso por chista. El proceso de soldadura por chispa puede brindar un tipo de soldadura rápida y de buena calidad, pero para esto es importante controlar los parámetros de corriente, tiempo de paso de corriente y fuerza de soldadura; los cuales pueden dar como resultado un proceso de producción en serie, sin ahondar en gastos de un equipo robotizado.



El agujero para la embutición interna en la base de la Tee, deberá ser realizada con una herramienta adecuada, la cual permitirá obtener un agujero sin defectos o con una mínima cantidad de los mismos, esto es importante dado que al momento de realizar la embutición se disminuye el riesgo de formación de fisuras en la parte del cuello, estas fisuras pueden llegar hasta la base del cuello embutido y por ende se desecha dicha pieza. De acuerdo a las pruebas realizadas y al debido análisis se encontró, que el diámetro del agujero óptimo para este proceso es de 7,5 mm, al embutir este agujero se puede obtener un cuello alto y fácil de maquinarse, luego de este maquinado se obtiene una superficie plana, la cual permite realizar una buena junta a tope con la ramificación.

Para preparar las partes que conforman la Tee es importante seguir los siguientes pasos básicos, cortar a medida las partes y eliminar rebabas, luego, se somete a cada una de estas a un refrentado, que garantice la perpendicularidad de las caras, se realiza la perforación en la base y se expande, creando un cuello con una forma sinusoidal, este cuello se pule controlando parámetros de perpendicularidad, una vez obtenidas estas dos piezas se las une por un proceso de soldadura.

Una vez que se ha concluido el proceso de producción de un accesorio, es importante realizar un último paso, que es la limpieza del mismo, existen algunos tipos de limpieza para los aceros inoxidable, esto dependerá del proceso constructivo y tipo de acero, para este caso se realizarán dos procesos de limpieza que garantizarán la vida útil del accesorio conformado y soldado, sin presentar puntos de oxidación por picadura.

El primer proceso de limpieza es el decapado, este consiste en la eliminación de una fina capa de metal de la superficie del acero inoxidable. Se suelen emplear mezclas de ácido nítrico y fluorhídrico para el decapado de los aceros inoxidables. El decapado es un proceso utilizado para eliminar las manchas de termocoloración causadas por soldadura del acero inoxidable, en los que se ha reducido el contenido de cromo de la superficie del acero.

El método de decapado que se utilizó para la limpieza de los accesorios es el de cepillado con pasta o gel, este no implica un conocimiento amplio del decapado,

se unta el gel con una esponja y se la deja que actúe por unos 2 minutos, una vez transcurrido este tiempo, se puede apreciar que el acero inoxidable tiene una coloración blanquecina, se toma una esponja sintética y con agua destilada se limpia hasta que desaparezca la mancha, hay que tomar adecuada precaución en utilizar guantes y mascarilla para no inhalar los gases que genera el proceso.

El segundo proceso es el pasivado, este proceso suele producir de modo espontáneo en las superficies de acero inoxidable, pero en ocasiones puede ser necesario favorecer el proceso con tratamientos de ácido oxidante. A diferencia con el decapado, durante el pasivado mediante ácido no se elimina metal alguno de la superficie. En cambio la calidad y el espesor de la capa pasiva crecen rápidamente en el proceso de pasivado mediante ácido.

El objetivo principal de los accesorios de ½" AISI 304, es la conducción de fluidos, en la aplicación específica de GLP el cual presenta una presión crítica es 17,58 Kg/cm<sup>2</sup> (250 psi). El análisis del conformado y soldadura de los accesorios, se analiza como cilindro de paredes delgadas, el cual presenta esfuerzos longitudinales y transversales causados por esta presión crítica, la presión que se aplico a estos accesorios es mucho mayor a la presión crítica de servicio, por lo que no podría presentar el riesgo de que los accesorios fallen por reventamiento.

Justamente el ensayo de hermeticidad pretende hallar las posibles causas por las que se podrían producir fugas de fluidos en los accesorios soldados o conformados. Los parámetros de soldadura en la Tee y de conformado en el resto de accesorios es similar en todas las probetas a las que se les realizo la prueba hidrostática, dado que estos parámetros fueron realizados de acuerdo a normas, no se presento ningún tipo de fuga en los accesorios ni disminución de presión, tomando en cuenta que la presión a la que fueron sometidos los accesorios fue de 140,6 Kg/cm<sup>2</sup> (2000 psi); si se presentara algún tipo de fuga en el punto de soldadura de la Tee, se deberá revisar los parámetros de soldadura estipulados en el WPS y calidad de la misma, en cambio si la fuga se diese en los accesorios conformados se tendría un problema con el material base que se debería solucionar de inmediato.

Para realizar el ensayo de hermeticidad, es necesario instalar tapones en los accesorios y un acople roscado para unirlos a la bomba, la soldadura entre el accesorio y los acoples deberá estar regida al mismo WPS con el que se soldó la ramificación de la Tee.

La inspección visual mediante macrografía permite observar la fusión del material base y su comportamiento micro estructural; en el caso de la Tee se puede apreciar que existe una buena fusión del material base y por ende una buena soldadura, que garantiza la vida útil del accesorio, si existiese alguna fuga o reventamiento de la Tee en la prueba hidrostática, este tipo de inspecciones permitirá entender cómo y por qué se produjo la falla; en los accesorios que solo fueron conformados no es indispensable este tipo de pruebas, dado que los granos no sufren cambios grandes que pudieran afectar la integridad del accesorio, pero si se diese el caso de una falla en el accesorio se deberá realizar obligatoriamente un análisis metalográfico, para determinar si la falla se produjo por un mal conformado o un defecto de fabricación del material base.

Por lo tanto, de acuerdo a los análisis y pruebas realizadas se concluye, que el método de fabricación de los accesorios para unión a traslape es el más adecuado y se rige a las normas de fabricación vigentes como es la ASTM A 403 y ASME B 16.9, este tipo de accesorios de acero inoxidable austenítico pueden ser utilizados para instalaciones de gas licuado de petróleo. La Norma NTE INEN 2260 permite realizar las instalaciones de gas con tubería negra, de acero inoxidable y de cobre; de estas opciones el acero inoxidable presenta grandes ventajas las cuales son: alta resistencia a la corrosión; de fácil instalación, bajo costo de instalación, mejor resistencia mecánica que el cobre y por último la facilidad que tiene este producto de ser reciclado y apoyo al medio ambiente. Este tipo de tubería es fabricada localmente y con la adición de los accesorios para unión a traslape se puede obtener instalaciones similares a las de cobre, dado que su proceso de unión es semejante, capaz de brindar una unión permanente con la tubería, este tipo de unión no tiene restricciones como las instaladas a través de uniones por alta compresión.

## **CAPITULO 5**

### **5 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS**

#### **5.1 DEFINICION<sup>23</sup>**

Una estimación es una predicción independiente y realista de lo que costará elaborar un producto dado. Se debe llegar de forma independiente a la estimación, esto significa que se debe ser imparcial, libre de caprichos y que no sea afectada por emociones o preferencias preconcebidas.

La estimación de costo de fabricación y fijación de precio son completamente diferentes, este trabajo se basara en la estimación de costos, dado que el precio dependerá de muchos factores que tendrán que ser tratados por el fabricante de los accesorios.

Para una buena estimación es importante conocer algunos criterios básicos de mercadotecnia, que serán tratados a continuación.

#### **5.1.1 COSTOS FIJOS**

A los costos fijos también se los denomina costos indirectos, costos constantes, costos de periodo, etc. Un costo fijo es aquel que no varía con cambios en las actividades. Cualquier costo sobre el que se esté de acuerdo que es fijo en realidad esta fijo solo para un nivel dado de actividad; si la producción a aumenta en un 30 o 40%, por lo general se requerirá herramientas, equipos adicionales y posiblemente mayor espacio de trabajo.

#### **5.1.2 COSTOS VARIABLES**

El segundo tipo importante de costos son los variables. Para que un costo sea de este tipo, deberá existir una relación directa entre el costo y la actividad, conforme aumente la actividad aumenta el costo y conforme baja la actividad baja el costo; estos pueden ser la mano de obra, materia prima, insumos, etc.

Por lo tanto para determinar el costo de producción se analizara solo los costos variables que se encuentran ligados directamente al producto.

## 5.2 DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE PRODUCCIÓN

En la determinación de los costos de producción por estimación es importante, establecer la mayor cantidad de costos que intervienen dentro de un proceso de fabricación, esto permitirá tener una idea clara de los parámetros que se pueden cambiar para disminuir dichos valores. A continuación se muestran las en las cuales se detalla de una forma sencilla los costos que podrían intervenir en la fabricación de los accesorios.

### 5.2.1 PROMEDIO ESTIMATIVO DE FABRICACIÓN DE ACCESORIOS

Para poder estimar el número de accesorios de producción, se tomara como base una empresa pequeña de carácter manual de fabricación, la cual estará compuesta por 2 trabajadores, Ing. De Venta (Gerente) y una contadora, con esto se estima una producción mensual de 1000 accesorios, la cual se encuentra dividida de la siguiente manera:

**Tabla 5.1 Distribución de fabricación de accesorios.**

<b>Unión</b>	200
<b>Tapón</b>	100
<b>Codo</b>	400
<b>Puente</b>	100
<b>Tee</b>	200
<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>

Esta distribución del número de fabricación de accesorios se halla establecida por los parámetros de venta de empresas.

Los tiempos de fabricación por cada accesorio se han encontrado en laboratorio, el cual se divide de la siguiente manera:

**Tabla 5.2 Tiempos de fabricación de los accesorios**

<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo. Total (min)</b>
<b>Unión</b>	200	8	1600
<b>Tapón</b>	100	12	1200
<b>Codo</b>	400	10	4000
<b>Puente</b>	100	12	1200
<b>Tee</b>	200	15	3000
<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>	<b>57</b>	<b>11000</b>

Una persona promedio deberá trabajar 160 horas al mes lo cual equivale a 9600 min al mes, como para fabricar 1000 accesorios se necesita 11000 minutos de trabajo, es necesario dos personas, lo cual justifica los dos trabajadores que forman parte de la micro empresa. El sueldo promedio para cada trabajador es de \$ 300, dividiendo los \$600 para el tiempo total de fabricación en el mes, se tendrá que el costo por minuto que fabricación que implica la producción de un accesorios será de \$ 0,054 centavos/min, por lo tanto si un accesorio necesita 20 min para su fabricación, el costo agregado por mano de obra será \$ 1,08 por cada accesorio fabricado.

**Tabla 5.3 Costo de la mano de obra por unidad de tiempo**

<b>Nº trabaja</b>	<b>Sueldo \$</b>	<b>Total Sueldo.\$</b>	<b>MOU (\$/min)</b>
2	300,000	600,000	<b>0,056</b>

Cada accesorio presenta un diferente proceso de producción, el cual puede ser el pulido, soldado, doblado, etc. De cada uno de estos procesos dependerá el tipo de maquinaria y capacidad que se utilizara, para realizar dichos procesos.

**Tabla 5.4 Procesos unitarios de fabricación para la utilización de maquinaria.**

<b>Accesorio</b>	<b>Cantidad Unitaria</b>	<b>Soldadura</b>	<b>Embutido</b>	<b>Curvado</b>	<b>Pulido</b>
<b>Unión</b>	1	0	2	0	2
<b>Tapón</b>	1	1	1	0	2
<b>Codo</b>	1	0	2	1	2
<b>Puente</b>	1	0	2	3	2
<b>Tee</b>	1	1	3	0	3

Sumados los valores de la tabla 5.3 las cantidades reales de fabricación, se podrá establecer la cantidad de trabajo de una maquina, de la cual dependerá su mantenimiento.

### **5.2.2 COSTO DE UTILIZACIÓN DE LA MAQUINA POR UNIDAD DE PRODUCCIÓN**

Para lograr un estimativo del costo que aporta una maquina a un accesorio dado que realizaran varias estimaciones, tratando de ajustarse a la realidad, el promedio de vida útil de una maquina nueva es de 10 años, esto se tomara como base para las siguientes tablas.

**Tabla 5.5 Valor agregado unitario por unidad de producción**

<b>Maquina</b>	<b>Costo Inicial \$</b>	<b>% de mantenimiento</b>	<b>Costo total en 10 años \$</b>	<b>Costo por Año \$</b>	<b>Costo por mes \$</b>	<b>Cantidad producción Unid</b>	<b>Valor agregado unitario \$</b>
<b>Soldadura</b>	1800	100%	3600	360	30	300	0,10
<b>Prensa y Matrices</b>	4000	100%	8000	800	67	2100	0,03
<b>Curvadora y matriz</b>	300	400%	1500	150	13	700	0,02
<b>Pulidora y lijas</b>	2000	100%	4000	400	33	2200	0,02

El porcentaje de mantenimiento se establece de acuerdo al tipo de mantenimiento que se puede realizar a la maquina y a las matrices.

### 5.2.3 COSTO DE MATERIA PRIMA Y MATERIALES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO PRODUCTIVO

Además de la maquinaria que interviene en un proceso productivo también es importante la materia prima y herramientas menores que se desgastan con mayor facilidad, generando un costo constante. En la tabla a continuación se detallan algunos costos estimativos y vida útil de los mismos.

**Tabla 5.6 Costo unitario de materia prima y materiales de consumo**

	<b>Costo Unitario</b>	<b>Unidades de producción</b>	<b>Valor agregado unitario</b>
<b>Tobo Hidrinox</b>	10 \$	400 cm	0,025 c/cm
<b>Hoja de sierra</b>	1,47 \$	200 Cortes	0,008 c/corte
<b>Broca 19/64" Cobalto</b>	7,4 \$	200 Perforaciones	0,037 c/perforación
<b>Arena soportante (Sílice)</b>	5 \$/Kg	800 Accesorios	0,0062 c/ accesorio
<b>Tapones de retención (Acero)</b>	5 \$	800 Accesorios	0,0062 c/accesorio
<b>Decapante</b>	7 \$	100 Accesorios	0,07 c/accesorio
<b>Gas Protección (Cilindro)</b>	300 \$	400 Soldaduras	0,75 c/soldadura

**Tabla 5.7 Procesos o herramientas aplicados a cada accesorio**

<b>Accesorio</b>	<b>Tobo Hidrinox (Cm)</b>	<b>Hoja de sierra (Nº de cortes)</b>	<b>Broca 19/64" (Nº de perfo.)</b>	<b>Arena soportante</b>	<b>Tapones de retención</b>	<b>Decapante</b>	<b>Gas Protección Argón</b>
<b>Unión</b>	5	2	0	0	0	1	0
<b>Tapón</b>	3	2	0	0	0	1	1
<b>Codo</b>	12	2	0	1	1	1	0
<b>Puente</b>	22	2	0	1	1	2	0
<b>Tee</b>	12	4	1	0	0	1	1

## 5.2.4 COSTO ESTIMATIVO DE PRODUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS

Una vez obtenidos todos los costos individuales que puedan generarse en el proceso productivo de un accesorios, se sumas los mismos y se obtendrá el costo esto estimado de producción total de un accesorios.

**Tabla 5.8 Costo estimado de producción de un accesorio**

<b>Accesorio</b>	<b>Producción Total (Mes)</b>	<b>CMO</b>	<b>CPE</b>	<b>CTPA</b>
<b>Unión</b>	200	0,436	0,236	<b>0,67</b>
<b>Tapón</b>	100	0,655	0,780	<b>1,43</b>
<b>Codo</b>	400	0,545	0,354	<b>0,90</b>
<b>Puente</b>	100	0,655	0,585	<b>1,24</b>
<b>Tee</b>	200	0,818	1,171	<b>1,99</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>			

CMO = Costo de la mano de obra para cada accesorio

CPE = Costo de producción por accesorio (maquinaria, herramientas, etc)

CTPA = Costo total de producción (CMO + CPE)

Los costos de producción se realizaron con una base de 1000 accesorios producidos al mes, estos valores pueden cambiar con la demanda y el aumento o disminución de la mano de obra.

## 5.2.5 COSTO DE PRODUCCIÓN & COSTO DE VENTA

Para lograr una relación entre los costos de producción y los costos de venta se deberá tener un punto de referencia, para esto se toma como base los costos de venta de los accesorios de HIDRINOX, dado que estos cumplen la misma función que los accesorios por unión a traslape.

**Tabla 5.9 Comparación entre costo de producción y costo de venta**

<b>Accesorios</b>	<b>CTPA</b>	<b>CTVA</b>	<b>% Venta</b>
<b>Unión</b>	0,67	1,380	105%
<b>Tapón</b>	1,43	2,240	56%
<b>Codo</b>	0,90	1,680	87%
<b>Puente</b>	1,24	1,300	5%
<b>Tee</b>	1,99	4,200	111%



En la tabla 5,9 se puede apreciar que existe una relación considerable entre los dos costos, permitiendo esto generar un margen de utilidad considerable para los accesorios por unión a traslape.

Este margen de utilidad puede verse incrementado con un pequeño incremento de la cantidad de accesorios fabricados, estos puntos de venta y de capacidad de producción se verán afectados directamente por las condiciones del mercado y la capacidad productiva de la empresa, cabe mencionar que si la empresa empieza un proceso de automatización, disminuyendo los costos de fabricación esto generara una disminución drástica de los costos de producción.

Por lo tanto con una producción promedio de 1000 unidades al mes, es factible empezar la creación de una micro empresa dedicada directamente a la fabricación de accesorios, y conjuntamente la prestación de servicios de instalación de tuberías, tanto para agua o gas.

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

1. Se desarrollan los accesorios de Acero Inoxidable Austenítico para suplir las instalaciones convencionales de cobre y porque este tipo de accesorios no son fabricados en el país.
2. Se puede hacer instalaciones de gas centralizado utilizando como alternativa el Acero Inoxidable con uniones soldadas y no con uniones de presión solamente.
3. El costo de este tipo de instalaciones resultan muy atractivo dados los altos costos del tradicional sistema de tuberías de cobre.
4. La finalidad del presente proyecto de titulación es de desarrollar una micro industria local propia, que permita la fabricación de los accesorios objeto de estudio.
5. Esta tesis no solo se limita a la construcción de accesorios de 12.7mm (1/2"), sino que da las pautas para la fabricación y construcción de accesorios de diferentes diámetros.

## 6.2 RECOMENDACIONES

1. Un proceso de doblado exitoso, requiere de un buen diseño de la matriz de curvado, para evitar la formación de imperfecciones, la introducción de arena soportante en el tubo permite reducir drásticamente el problema de aplastamiento que se presenta en las fibras externas del tubo.
2. La investigación del proceso de soldadura FW en acero inoxidable, permite entender que la misma puede ser ejecutada con gran eficiencia, si se logran mantener los parámetros de corriente, presión y tiempo, en los estándares adecuados, este tipo de soldadura puede permitir disminuir drásticamente los costos de fabricación de los accesorios y aumentar el proceso de producción. Por tanto esta investigación es una nueva alternativa al proceso GTAW.
3. Para evitar que se presenten fisuras al momento de realizar la embutición del agujero, es importante utilizar una herramienta en buen estado y sujetar de forma firme el tubo a perforar.
4. La esfera de embutición deberá ser de diámetro igual o un poco menor al diámetro interno de la tubería, para alcanzar los resultados deseados.
5. Los radios de curvatura en las matrices de conformado, deberán tener un radio igual o superior al espesor del tubo a conformar.
6. Al momento de realizar el conformado de los extremos en accesorios y del agujero, es importante mantener lubricados los punzones, para su fácil extracción.
7. El proceso de soldadura GTAW (TIG) en los accesorios deberá realizarse con una junta a tope, penetración completa, un solo pase y en el menor tiempo posible, para disminuir la precipitación carburos de cromo.
8. Todos los accesorios son trabajados al frío, por lo tanto se deberá evitar el calentamiento de la matriz o de los mismos accesorios para su conformado.

9. El decapado y pasivado de los accesorios conformados y soldados, deberá ser realizada con los estándares de seguridad que la empresa o personal a cargo disponga.
10. Evitar la contaminación de los accesorios con partículas de hierro presentes en el taller de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALMEIDA, S; VILLENA, L. Soldadura fuerte del acero inoxidable austenítico. Escuela Politécnica Nacional. 2009.
2. BENJAMIN SERRATON. Curso elemental de diseño de tuberías industriales. Volumen 1. México. 2008
3. NORMA CHILENA. NCh 2674. Cobre y Aleaciones de Cobre-Accesorios de unión Estampados a Soldar y Roscados - Para Tubos de Cobre. Chile. 2002.
4. INACAP. Instalaciones de gas natural. Procobre. 4ta Edición. Chile 2004
5. MÁRQUEZ, C. CONDUIT DEL ECUADOR S.A. Especificaciones Técnicas. Denominación de la Tubería Hidrinox. Código DTP.15. Ecuador. 2004.
6. PALACIOS, L; MOYA, J. Diseño y Construcción de una Máquina Dobladora de Tubos. Escuela Politécnica Nacional. Marzo. 1995
7. SWAGELOK. Programa de certificación en curvado de tubos manuales. [www.swagelok.com/MANUAL\\_DE\\_TRABAJO/.pdf](http://www.swagelok.com/MANUAL_DE_TRABAJO/.pdf)
8. EUGENE F. Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo. Editorial LIMUSA. Primera Edición. México. 1989.
9. ROY A. PARISHER. Pipe Drafting and Design. Primera Edición. Estados Unidos. 1995
10. FUNDACIÓN ASCAMM. Teoría de la Embutición. Brasil. 2003. [www.fundacion.ascamm/matriceria/teoria\\_de\\_la\\_embutición.pdf](http://www.fundacion.ascamm/matriceria/teoria_de_la_embutición.pdf).
11. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME B31.9. Building Services Piping, Asme Code for Pressure Piping. Estados Unidos 1996.

12. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME A403. Standard Specification for Wrought Austenitic Stainless Steel Fittings. Estados Unidos 1998.
13. ICONTEC. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2505. Instalaciones para Suministro de Gas Combustible Destinadas a Usos Residenciales y Comerciales. Colombia. 2006.
14. TIMOSHENKO. Resistencia de Materiales. Segunda Parte. Madrid. 1957
15. LIPPOLD KOTECKI. Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel. Wiley-Interscience. United States of America. 2005.
16. CONDUIT. Información Técnica. Propiedades de los Aceros Inoxidables. <[www.conduit.com.ec](http://www.conduit.com.ec)>. 2004.
17. MEDRANO, J. Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas de las Juntas Soldadas de Aceros Inoxidables Austeníticos Mediante los Tratamientos Térmicos. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador. 2006.
18. GUSTAVO, M. Estudio de la Soldadura por Resistencia de aceros Inoxidables austeníticos de hasta 3mm de Espesor. Escuela Politecnica Nacional. Mayo 2009.
19. LIQUID GAS, S.L. Limpieza de Aceros Inoxidables. 2003. <[www.liquidgas.es/limpieza/aceros/inoxidables.pdf](http://www.liquidgas.es/limpieza/aceros/inoxidables.pdf)>.
20. VAN VLACK. Elementos de la Ciencia de los Materiales. Editorial Continental. México. 1961.
21. SHAFFER. Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería. Editorial CECSA – Continental. Primera Edición. México. 2000.
22. DELATTRE, F. Soldadura de los Aceros Inoxidables. Editorial Urmo. España. 1972.
23. LAWRENCE M. MATTHEWS. Estimación de costos de producción. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición. Mexico. 1986

24. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. INEN 2260. Instalaciones Para Gas Combustible en Edificaciones de Uso Residencial, Comercial o Industrial. Requisito. Ecuador. 2008. Primera revisión. Primera Edición.
25. MIROLIUBOV, I. Problemas de Resistencia de Materiales. Ediciones Bandeirantes. Brasil. 1985.
26. JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. Light Gauge Stainless Steel Tubes for Ordinary Piping. JSA JIS: G 3448. Japón 2004.
27. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME B31.9. Building Services Piping, Asme Code for Pressure Piping. Estados Unidos 1996.
28. MIROLIUBOV, I. Problemas de Resistencia de Materiales. Ediciones Bandeirantes. Brasil. 1985.

## **ANEXOS**



**ANEXO 1**  
**MEDIDAS Y TOLERANCIAS DE ACCESORIOS**

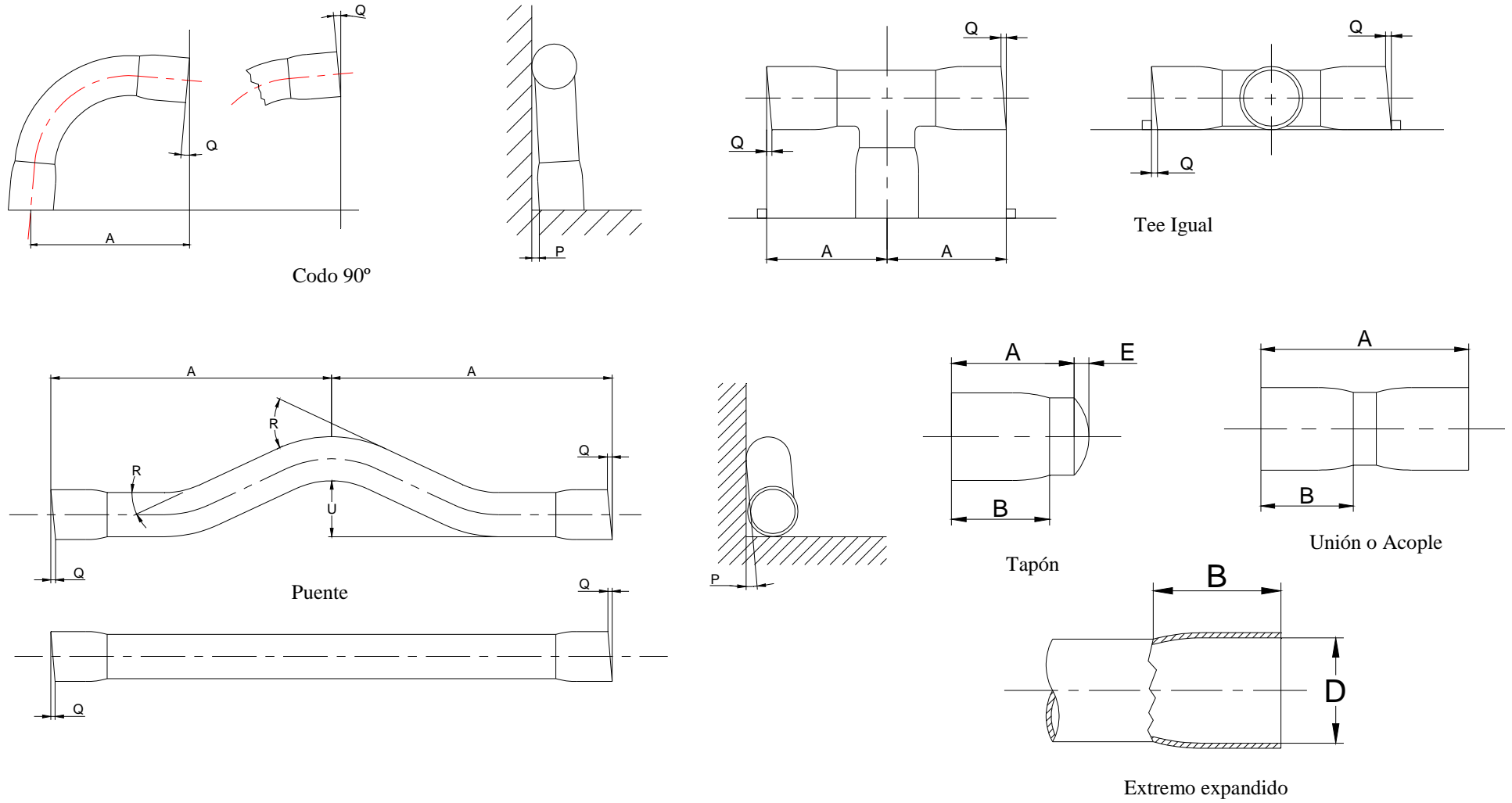


Figura 0.1 Ilustraciones de la tabla de tolerancias

**Tabla 0.1 Tolerancias de los Accesorios para Unión a Traslape**

Todos los accesorios		Tolerancia Dimensional			Tolerancia Angular		
Diámetro Nominal (NPS)	(DN)	Codo 90°, Tee, Puente, Unión, Etc. A, B, C, M, U	Copa E	Diámetro Interno Extremo Expandido D	Angulo Q	Plano P	Angulo R
½"	15	2	1	+0.1 -0.05	1	2	3°

**NOTA GENERAL:**

- (a) Para referencia ver la figura 0.1 de ilustraciones.
- (b) Todas las dimensiones están en milímetros
- (c) Las tolerancias son máximas y mínimas excepto alguna nota.

**Tabla 0.2 Dimensiones del Codo radio largo para unión a traslape**

	<b>Diámetro Nominal (NPS)</b>		½"
	<b>(DN)</b>		15
	<b>Dimensiones Codo 90° para unión a traslape</b>	<b>A</b>	58
		<b>B</b>	20

NOTA GENERAL: Todas las medidas están en milímetros

NOTA:

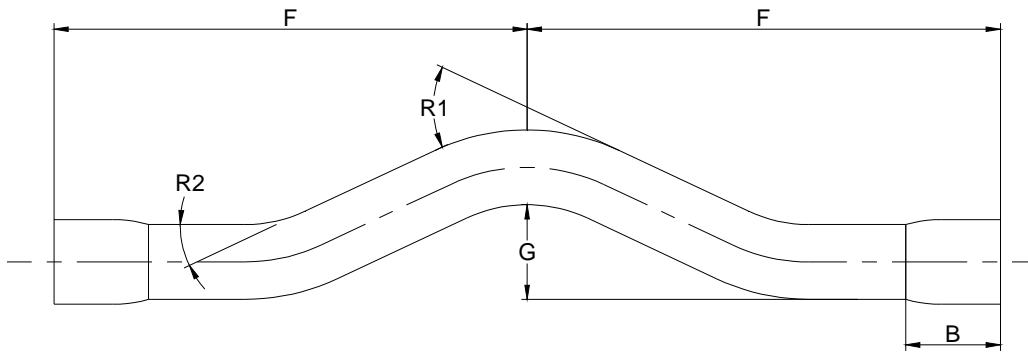
- 1) Si varía la dimensión A hasta el máximo de la tolerancia, no podrá variar la dimensión B o viceversa.

**Tabla 0.3 Dimensiones de la Tee Igual para unión a traslape**

	<b>Diámetro Nominal (NPS)</b>		½"
	<b>(DN)</b>		15
	<b>Dimensiones Tee Igual para unión a traslape</b>	<b>C</b>	34
		<b>M</b>	34
		<b>B</b>	20

NOTA GENERAL: Todas las medidas están en milímetros

**Tabla 0.4 Dimensiones del Puente para unión a traslape**



Diámetro Nominal (NPS)	(DN)	Dimensiones Puente para unión a traslape			Ángulo curvatura	
		F	G	B	R1 (1) (2)	R2 (1) (2)
1/2"	15	100	20	20	50°	25°

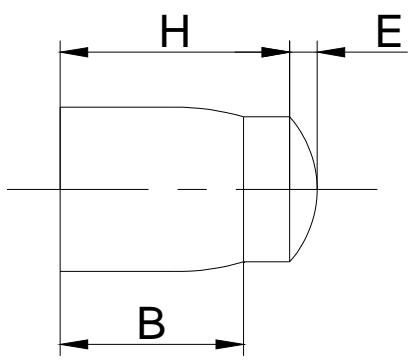
NOTA GENERAL:

- a) Todas las medidas están en milímetros
- b) Para realizar este tipo de accesorio es necesario utilizar un tubo de 210mm de longitud

NOTA:

- 1) Los trazos y pasos para su fabricación se encuentran en el Capítulo Procesos de Fabricación de Accesorios.
- 2) Los cálculos para determinar variables de las curvas se encuentran el Capítulo Diseño de Accesorios para Unión a Traslape

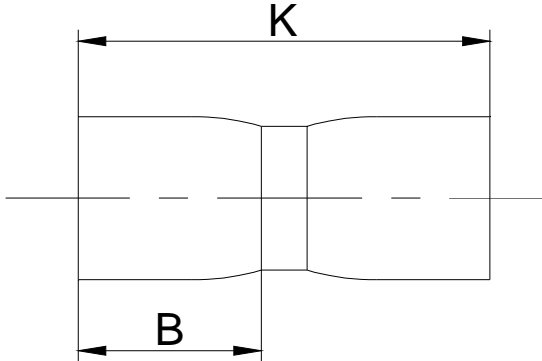
**Tabla 0.5 Dimensiones del tapón para unión a traslape**



Diámetro Nominal (NPS)		1/2"
(DN)		15
Dimensiones Tapón para unión a traslape	H	25
	E	3
	B	20

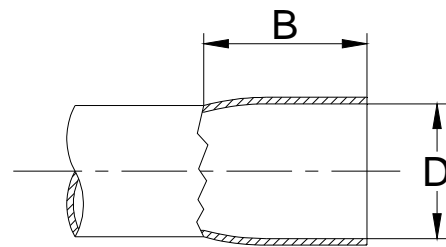
NOTA GENERAL: Todas las medidas están en milímetros

**Tabla 0.6 Dimensiones del (unión) acople para unión a traslape**

	<b>Diámetro Nominal (NPS)</b>		1/2"
	<b>(DN)</b>		15
	<b>Dimensiones Tapón para unión a traslape</b>	<b>K</b>	45
		<b>B</b>	20

NOTA GENERAL: Todas las medidas están en milímetros

**Tabla 0.7 Dimensiones del extremo expandido<sup>1</sup>**

	<b>Diámetro Nominal (NPS)</b>		1/2"
	<b>(DN)</b>		15
	<b>Dimensiones Tapón para unión a traslape</b>	<b>D</b>	16.2
		<b>B</b>	20

NOTA GENERAL:

- Todas las medidas están en milímetros
- Estas medidas del extremo expandido se aplican a todos los accesorios en este documento.
- Los cálculos que sustentan este diseño se podrán encontrar en el Ítem 1 de esta bibliografía.

**ANEXO 2**  
**PLANOS CONSTRUCTIVOS DE MATRICES**

**ANEXO 3**  
**ESPECIFICACIONES TECNICAS TUBO HIDRINOX**



COD.: DTP.15



## ESPECIFICACIONES TECNICAS

Revisión anterior: 07/11/02  
 Última Revisión: 21/06/04

**DENOMINACION DE LA TUBERIA: HIDRINOX  
 PRODUCIDO BAJO NORMA JIS G 3448  
 PARA CONDUCCION DE FLUIDOS:**

**DESCRIPCION: TUBOS DE ACERO INOXIDABLE 304 CON  
 COSTURA POR EL METODO TIG**

### 1.- DIMENSIONES Y PESOS

MEDIDA NOMINAL	EQUIV. PULGADAS	DIAMETRO EXTERNO mm.	TOLERANCIA EN DIAMETRO mm.	TOLERANCIA EN ESPESOR mm.	ESPESOR DE PARED mm.	PESO Kg/m
13	1/2"	15,88	-0,37	+/- 0,12	0,80	0,301
20	3/4"	22,22	-0,37	+/- 0,12	1,00	0,529
25	1"	28,58	-0,37	+/- 0,12	1,00	0,687
30	1 1/4"	34,00	+/- 0,34	+/- 0,12	1,20	0,980
40	1 1/2"	42,70	+/- 0,43	+/- 0,12	1,20	1,240
50	2"	48,60	+/- 0,49	+/- 0,12	1,20	1,420
60	2 1/2"	60,50	+/- 0,60	+/- 0,15	1,50	2,200

Los tubos se producen en longitudes de 4,00 m.

### 2. MATERIA PRIMA

Acero Inoxidable 304 bajo la norma ASTM A-240

### 3. PROPIEDADES MECANICAS

Resistencia a la tracción: Mínima 520N/mm<sup>2</sup>

Elongación: Mínima 35%

### 4. TOLERANCIAS

Longitud: ± 6,35 mm

### 5. RENDIMIENTOS

Presión de servicio en condiciones críticas 250 PSI

DIAMETRO	13	20	25	30	40	50	60
PRUEBA HIDRA. Kg/cm <sup>2</sup>	160	130	100	140	110	90	100
VIBRACION (2 millones de vibraciones)	SATISFACTORIO						
GOLPES DE PRESION A 40 Kg/cm <sup>2</sup> (10.000 golpes)	SATISFACTORIO						

**ANEXO 4**  
**TABLA DE CORROSION DEL ACERO INOXIDABLE**

## TABLA DE CORROSIÓN

SUBSTANCIA		Temperatura		Condición	Tipo	
		oC	oF		304	316
Acetato de etilo		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acetileno		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acetona		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acido acético	Solución al 10%	21	70	Agitado	Muy resistente	Muy resistente
	Vapor al 30%	-	-	Caliente	Mediano	Resistente
	Vapor al 100%	-	-	Caliente	No resistente	Mediano
Acido benzoico		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acido carbónico seco		-	-	-	Muy resistente	Muy resistente
Acido fosfórico	10%	-	-	Agitado	Muy resistente	Muy resistente
	10%	-	-	Ebullición	Muy resistente	Resistente
	25%	-	-	Ebullición	Resistente	Resistente
	40%	-	-	Ebullición	Poco resistente	Resistente
Acido hidrociorhídrico		21	70	-	No resistente	No resistente
Acido láctico	5%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	10%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Mediano	Resistente
SUBSTANCIA		Temperatura		Condición	Tipo	
		oC	oF		304	316
Acido nítrico	5%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	5%	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
	65%	-	-	Ebullición	Resistente	Resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Resistente	Resistente
	Concentrado	-	-	Vaporización	Poco resistente	Poco resistente
Acido nitroso al 5%		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acido oxálico	10%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	50%	-	-	Ebullición	Poco resistente	Mediano
SUBSTANCIA		Temperatura		CONDICIÓN	TIPO	

		°C	°F		304	316
Acido sulfúrico	5%	21	70	-	Mediano	Resistente
	5%	-	-	Ebullición	No resistente	Mediano
	10%	21	70	-	Mediano	Resistente
	10%	-	-	Ebullición	No resistente	Poco resistente
	50%	21	70	-	Poco resistente	Mediano
	50%	-	-	Ebullición	No resistente	Poco resistente
	Concentrado	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Poco resistente	Poco resistente
	Humeante	-	-	-	Mediano	Resistente
SUBSTANCIA	Temperatura		Condición	Tipo		
	oC	oF		304	316	
Agua clorinada saturada		21	70	-	Mediano	Resistente
Agua de mar		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Agua oxigenada		21	70	-	Muy resistente	Resistente
Alcohol etílico		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
		-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
Alcohol metílico		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Amoniaco	En general	21 - 100	70 - 212	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
	Anhídrido	43+	109+	Ventilado	No resistente	No resistente
	Hidróxido	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
Anhídrido acético	90% anhídrido	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	90% anhídrido	82	180	Ventilado	Poco resistente	Mediano
Azúcar (jugo)		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Bencina (benzal)		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Bórax solución al 5%		-	-	Caliente	Muy resistente	Muy resistente
Carbonato de calcio		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
SUBSTANCIA		Temperatura		CONDICIÓN	TIPO	

		°C	°F		304	316
Carbonato de sodio	5%	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
	50%	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
SUBSTANCIA		Temperatura		Condición	Tipo	
		oC	oF		304	316
Cerveza	Malta y mezclas	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	3.5% - 4.5%	71	160	-	Muy resistente	Muy resistente
Cloro	Gas	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	Gas seco	21	70	-	Poco resistente	Mediano
	Gas húmedo	100	212	-	No resistente	No resistente
Clorobenzina		-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
Cloroformo seco		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Cloruro de acético seco		-	-	Caliente	Resistente	Resistente
Cloruro de aluminio		21	70	-	Poco resistente	Mediano
Cloruro de bario 5% y saturado		21	70	-	Resistente	Muy resistente
Cloruro de etileno		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Cloruro de etilo		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Cloruro de sodio	2%	21	70	Ventilado	Muy resistente	Muy resistente
	Saturado	-	-	Ebullición	Resistente	Muy resistente
Cloruro férrico	1% saturación	21	70	-	No resistente	No resistente
Cloruro ferroso	sol. saturada	21	70	-	No resistente	Mediano
Eter		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
SUBSTANCIA		Temperatura		Condición	Tipo	
		oC	oF		304	316
Flúor (gas)		21	70	-	No resistente	No resistente
Frutas (jugo)		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Gasolina		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
SUBSTANCIA		Temperatura		CONDICIÓN	TIPO	
		°C	°F		304	316

Hidróxido de sodio	20%	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
	30%	-	-	Ebullición	Resistente	Resistente
Leche		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Madera (pulpa)		21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Monóxido de carbono		760	1400	-	Muy resistente	Muy resistente
		871	1600	-	Muy resistente	Muy resistente
Nitrato de sodio		-	-	-	Resistente	Muy resistente
Sulfato de aluminio	10%	-	-	Ebullición	Resistente	Muy resistente
	Saturado	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
Sulfato de amonia	5%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	10%	-	-	Caliente	Resistente	Muy resistente
Sulfato de cobre		100	212	-	Muy resistente	Muy resistente
Sulfito de sodio	25%	-	-	-	Muy resistente	Muy resistente
	50%	-	-	-	Muy resistente	Muy resistente
<b>SUBSTANCIA</b>		Temperatura		Condición	Tipo	
		oC	oF		304	316
Vegetales (jugo)		-	-	-	Muy resistente	Muy resistente
Vino		24	75	-	Muy resistente	Muy resistente
Whisky Escocés		-	-	-	Muy resistente	Muy resistente

**ANEXO 5**  
**NORMA NTE INEN 2260: 2008**



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 260:2008**

**Primera Revisión**

## **INSTALACIONES DE GASES COMBUSTIBLES PARA USO RESIDENCIAL, COMERCIAL E INDUSTRIAL. REQUISITOS.**

INSTALLATION OF COMBUSTIBLE GAS RESIDENCIAL, COMERCIAL OR INDUSTRIAL USE. SPECIFICATIONS.

### **7.3 Tuberías**

- a) Estas deben resistir la acción del gas combustible y del medio exterior, al que deben estar protegidas, mediante un sistema eficaz.
- b) Los espesores de las tuberías, deben cumplir como mínimo con las condiciones de ensayo de presión impuestas a estas instalaciones, y deben tener una resistencia mecánica que cumpla con los requisitos de las normas de cada tipo de tubería.
- c) Las tuberías vistas deben ser señaladas e identificadas con los colores de acuerdo a la NTE INEN 440 y las ocultas (embebidas, enterradas o por ductos) señalizadas.

**7.3.1** Tipos de tubería. Los tipos de tubería que se pueden utilizar son: metálicas y plásticas.

#### **7.3.1.1 Tuberías metálicas.**

a) *Material*. Las tuberías deben ser de acero al carbono, acero inoxidable o cobre, cuya composición química no sea atacada por el gas combustible, ni por el medio exterior con el que estén en contacto. Para la conducción de gas combustible, en ningún caso se debe utilizar tubería de hierro fundido. Los tipos de tubería metálica que pueden ser utilizados en las instalaciones para suministro de gas son:

- a.1) Tubería de acero al carbono, mínimo cédula 40 y de acuerdo con las siguientes normas: ASTM A53 (grado A y B) ó ISO 65 (serie Heavy); negro o galvanizada por inmersión en caliente.
- a.2) Tuberías de cobre rígida o flexible, sin costura, según las normas: ISO 1635 o ASTM B 88 de tipo K o L.



- a.2.1) No se debe emplear tuberías de cobre si el contenido de sulfuro de hidrógeno por cada metro cúbico del combustible gaseoso es superior a 7 mg en condiciones normales.
- a.2.1) Se debe utilizar tubo rígido (temple duro) con un espesor mínimo de 0.89 mm, pudiéndose utilizar tubo flexible con un espesor mínimo de 1,2 mm y un diámetro exterior máximo de 28,58 mm (en estado recocido).
- a.3) Tubería flexible corrugada de acero inoxidable tipo CSST fabricada según las especificaciones de la norma ANSI/AGALC1.
- a.4) Tubería rígida de acero inoxidable tipo AISI 304 L y AISI 316 según ASTM A 240, fabricada según las especificaciones dimensionales y de presión de las normas JIS G 3448 o UNE 19 – 049 – 1, ASTM A 312 M, hasta que se elabore la norma NTE INEN correspondiente.

#### **7.4 Uniones para tubería, elementos y accesorios.-**

Las uniones de los tubos entre sí y de éstos con los accesorios y elementos de las instalaciones, se deben hacer de forma que el sistema utilizado asegure la estanqueidad, sin que esta sea afectada por los distintos tipos y presiones de gas que se pueden suministrar, ni por el medio exterior que esté en contacto.

##### **7.4.1 Uniones mediante soldadura**

- 1) Los procesos de soldadura utilizables dependen de los materiales de los tubos y/o accesorios a unir y de si son del mismo o de diferente material.
- 2) En general las técnicas de soldadura y, en su caso, los materiales de aportación para su ejecución, deben cumplir con unas características mínimas de temperaturas y tiempo de aplicación, resistencia a la tracción, resistencia a la presión y al gas distribuido y deben ser adecuadas a los materiales a unir. El proceso de soldadura y los soldadores que lo apliquen deben estar calificados, según Código ASME Sección IX o AWS A 5.8 o NTE INEN 128.ç
- 3) En la realización de las soldaduras se deben seguir las instrucciones del fabricante de los tubos, de los accesorios y del material de aporte, teniendo especial precaución en la limpieza previa de las superficies a soldar, en la utilización del decapante adecuado al tipo de soldadura y en la eliminación de los residuos del fundente.
- 4) Las uniones soldadas deben ser siempre por soldadura fuerte para presiones de operación hasta 4 bar (60 PSIG).
- 5) Se denomina soldadura fuerte, cuando los materiales de aporte se funden a mínimo 500°C.
- 6) Para la soldadura fuerte por capilaridad, el material de aporte debe cumplir con los parámetros de la norma ANSI/AWS A5.8.
- 7) Se prohíbe el uso de la soldadura blanda incluidas las aleaciones de plomo – estaño y estaño – plata, cuyas temperaturas de fusión son menores a 500°C.

**7.4.1.2 Unión Cobre-cobre o aleación de cobre.-** Las uniones de tubos de cobre se deben realizar mediante soldadura por capilaridad, a través de accesorios de cobre o de aleación de cobre y utilizando materiales de aporte clasificados como soldadura fuerte.

- a) No se debe utilizar el abocardado del tubo de cobre para soldar por capilaridad, excepto en la construcción de baterías de contadores centralizados, siempre que una vez realizada la unión soldada, el espesor resultante sea como mínimo el espesor del tubo.
- b) No se debe realizar la extracción o perforación de la tubería principal para soldar derivaciones, excepto en los módulos de centralización de contadores.

**7.4.1.3 Unión acero-acero.-** Las uniones de los tubos y accesorios de acero deben realizarse mediante soldadura eléctrica al arco. Para diámetros nominales, (DN), inferiores o iguales a 50 mm, se podrá utilizar soldadura oxiacetilénica.

**7.4.1.4 Unión acero inoxidable-acero inoxidable.-** Las uniones de los tubos de acero inoxidable deben realizarse mediante capilaridad, a través de accesorios de acero inoxidable o de aleación de cobre, ó bien a tope directamente entre tubos y utilizando materiales de aporte en soldadura fuerte.

- a) No se debe utilizar el abocardado del tubo de cobre para soldar por capilaridad, excepto en la construcción de baterías de contadores centralizados, siempre que una vez realizada la unión soldada, el espesor resultante sea como mínimo el espesor del tubo.

**7.4.1.5 Unión cobre o bronce-acero.-** No se permite la unión directa de tubos de cobre y acero. La unión de un tubo o accesorio de cobre con un tubo o accesorio de acero se debe realizar intercalando un accesorio de bronce.

- a) La unión de dicho accesorio de bronce con un tubo o accesorio de acero, debe realizarse por soldadura fuerte a tope, con material de aporte de aleación de cobre y punto de fusión mínimo de 850°C.

**7.4.1.6 Unión cobre – acero inoxidable.-** No se deben unir de forma directa tubos de cobre y de acero inoxidable. La unión de un tubo ó accesorio de cobre con un tubo o accesorio de acero inoxidable, se debe realizar intercalando un accesorio de bronce.

- a) Este tipo de soldadura debe realizarse con las técnicas de soldadura que se han descrito en los literales 2 y 4 del numeral 7.4.1.

#### **7.4.4 Uniones mediante Juntas a Presión en Frío (Press Fit)**

**7.4.4.1** El sistema de uniones mediante Juntas a Presión en Frío (Press Fit) debe cumplir con los requerimientos de la Norma Técnica Bases de ensayo VP 614 de la DVGW (Asociación Alemana del Departamento Técnico Agua y Gas), hasta que se elabore la norma NTE INEN correspondiente.

- a) En estas uniones deben utilizarse material con certificación de conformidad con norma.



<b>TERRENO (SÓTANOS, PARQUEADEROS Y OTROS USOS)</b>						
<b>EN DORMITORIOS Y BAÑOS</b> (ver aclaración en nota 8)	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO
EN ZONAS COMUNALES DENTRO DE EDIFICIOS (ver requisitos adicionales nota 9)	PROHIBIDO	ACEPTADO (ver requisito adicional en nota 13, a)	ACEPTADO	ACEPTADO	ACEPTADO	ACEPTADO
HUECOS DE ASCENSORES O MONTACARGAS	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO
LOCALES QUE CONTENGAN TRANSFORMADORES ELECTRICOS DE POTENCIA	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO
LOCALES QUE CONTENGAN RECIPIENTES DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO (ver aclaración en nota 11)	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO
DUCTOS DE EVACUACIÓN DE BASURAS O PRODUCTOS RESIDUALES	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO
CHIMENEAS O DUCTOS DE EVACUACIÓN DE PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO
DUCTOS O BOCAS DE AIREACIÓN O VENTILACIÓN, (ver excepción en nota 12)	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO	PROHIBIDO

NOTA 1: Se podrá instalar tuberías de polietileno sobre el nivel del suelo en acometidas que discurran por muros externos que requieran conectarse al conjunto regulador y medidor. La tubería debe estar dentro de una camisa para protección mecánica y radiación ultravioleta( ver tabla 4, a una altura máxima de 1,80 mts, con su extremo superior sellado.

NOTA 2 : La tubería de acero enterrada debe tener protección contra la corrosión activa y pasiva.

NOTA 3: Las tuberías que pasen por un sótano o subsuelo deben ser continuas (soldadas), sin uniones mecánicas y dentro de una camisa o ducto de ventilación ; los extremos de la camisa o ducto deben terminar en una zona externa a la edificación, al menos un extremo debe estar abierto.

- a) El venteo del extremo(s) debe ser hacia el exterior por encima del nivel del suelo y estar instalado de modo que se evite el ingreso de agua e insectos, la sección de la camisa de protección debe ser 1,5 veces el diámetro de la tubería.

NOTA 4: El techo falso por donde discurra la tubería, debe tener una ventilación hacia cualquiera de los siguientes lugares: 1) exterior del edificio, 2) local que contenga los artefactos de gas, 3) zona comunal ventilada hacia el exterior del edificio. Las ventilaciones serán mínimo de 100 cm<sup>2</sup>.

NOTA 5: Tuberías embebidas que se instalan incrustadas en una edificación y cuyo acceso solo puede lograrse mediante la remoción de parte de muros o pisos del inmueble. Las tuberías embebidas serán ubicadas en sitios que brinden protección contra daños mecánicos.

- a) Las tuberías embebidas en paredes se recubrirán con mortero mezcla 1:3:3 de espesor mínimo de 20 mm alrededor de toda la tubería.
- b) Las tuberías embebidas en pisos se recubrirán con un mortero de 20 mm de espesor. El concreto no contendrá acelerante, agregados de escoria o productos amoniacales ni aditivos que contengan productos que ataquen los metales.
- c) Las tuberías embebidas no podrán estar en contacto físico con otros elementos mecánicos, tales como varillas de refuerzo, ductores eléctricos o tuberías de otros servicios.

NOTA 6: Las tuberías enterradas deben estar a una profundidad mínima de 60 cm y cuando crucen calles a 80 cm mínimo. Si no se puede cumplir con estas profundidades entonces debe instalarse en la parte superior de la tubería protecciones con ladrillos o algún material de obra de similar característica.

- a) Cuando se ponga protección la tubería debe estar a una profundidad mínima de 30 cm y para cruces de calles a 60 cm mínimo.
- b) Cuando la tubería esté ubicada en jardines debe estar protegida en su parte superior.
- c) Toda tubería enterrada debe estar señalizada mediante una cinta amarilla e impresa con la leyenda PELIGRO TUBERÍA DE GAS. Las tuberías enterradas serán instaladas de tal forma que en sentido paralelo se encuentren mínimo a 20 cm de otros servicios y sus cajas de revisión y en cruces mínimo a 10 cm. Si no es posible mantener estas distancias mínimas entonces la tubería debe instalarse dentro de un ducto o protegida por algún material de obra incombustible, en la longitud del cruce.
- d) En ningún caso la tubería podrá estar en contacto con los materiales de protección.

NOTA 7: Las tuberías que discurren por un sótano o subsuelo deben ser soldados y dentro de un camisa o ducto de ventilación; los extremos de la camisa o ducto deben terminar en una zona externa a la edificación, al menos un extremo debe estar abierto.

- a) El venteo de los extremo (s) debe ser hacia el exterior por encima del nivel del suelo y está instalado de modo que se evite el ingreso de agua e insectos, la sección de la camisa de protección debe ser 1,5 veces el diámetro de la tubería.
- b) Cuando sean materiales disímiles debe utilizarse separadores o aislantes para evitar la corrosión galvánica.

NOTA 8: Se incluye la prohibición a techos falsos, pisos, paredes de los dormitorios y baños.

NOTA 9: La zona comunal del edificio debe tener al menos una ventilación inferior hacia el exterior del edificio de mínimo  $200 \text{ cm}^2$  esta ventilación podrá ser un ducto el que debe ventilarse hacia fuera el edificio y sobre el nivel del terreno, no tendrá una abertura hacia gradas o ductos.

NOTA 10: Las distancias mínimas de separación de un tubería vista a conducciones de otros servicios deben estar de acuerdo al siguiente cuadro:

<b>Tubería de otros servicios</b>	<b>Curso paralelo (cm)</b>	<b>Cruce (cm)</b>
Conducción agua caliente	3	1
Conducción eléctrica	3	1
Conducción de vapor	5	5
Chimeneas y ductos de extracción de gases de combustión	60	60
Suelo por donde discurren	5	Ninguno

NOTA 11: Los vehículos a motor o un vehículo cisterna móvil, no tienen la consideración de tanques de combustible líquido.

NOTA 12: Las tuberías podrán discurrir por aquellos ductos que sirvan para la ventilación de los locales con instalaciones y equipos que utilicen el propio gas suministrado.

NOTA 13: Las tuberías de cobre, acero inoxidable corrugado y PE-AL-PE, deben estar protegidas con una lámina metálica de acero de mínimo 1,5 mm de espesor o con mortero (masillado) de mínimo se 50 mm para que lo proteja contra los daños mecánicos.