

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL SOBRE LA CAPILARIDAD  
DE LOS MATERIALES DE APORTE USADO EN  
SOLDADURA FUERTE PARA SOLDAR ACEROS, DE  
ACUERDO A LA NORMA AWS A 5.8.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
PROCESOS DE PRODUCCION MECANICA**

**CHASI RAMIREZ MARIA LORENA  
lore\_kitty1987@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. DIEGO MARCELO ESPINOSA CHAUVIN  
diego.espinosa@epn.edu.ec**

**QUITO, MARZO DEL 2011**

## DECLARACION

YO, MARIA LORENA CHASI RAMIREZ, DECLARO BAJO JURAMENTO QUE EL TRABAJO AQUÍ DESCRITO ES DE MI AUTORÍA; QUE NO HA SIDO PREVIAMENTE PRESENTADA 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.

---

MARIA LORENA CHASI RAMIREZ

## **CERTIFICACIÓN**

CERTIFICO QUE LE PRESENTE TRABAJO FUE DESARROLLADO POR LA MARIA LORENA CHASI RAMIREZ, BAJO MI SUPERVISIÓN.

---

**ING. DIEGO ESPINOSA**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

PRIMERAMENTE QUIERO AGRADECER A DIOS POR DARME LAS FUERZAS NECESARIAS EN LOS MOMENTOS EN QUE MÁS LAS NECESITÉ Y BENDECIRME CON LA POSIBILIDAD DE CAMINAR A SU LADO DURANTE TODA MI VIDA.

AGRADEZCO TAMBIÉN LA CONFIANZA Y EL APOYO DE MIS PADRES, PRIMOS Y AMIGOS, PORQUE HAN CONTRIBUIDO POSITIVAMENTE PARA LLEVAR A CABO ESTE DIFÍCIL PROYECTO.

A TODOS LOS MAESTROS DE LA ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL QUE ME ASESORARON, PORQUE CADA UNO, CON SUS VALIOSAS APORTACIONES, ME AYUDÓ A CRECER COMO PERSONA Y COMO PROFESIONISTA.

UN AGRADECIMIENTO MUY ESPECIAL, AL ING. DIEGO ESPINOSA, POR HABERME PROPORCIONADO VALIOSA INFORMACIÓN PARA REALIZAR MI TRABAJO DE TESIS.

*LORENA CHASI*

## DEDICATORIA

QUIERO DEDICAR ESTE TRABAJO AL TODOPODEROSO, QUIEN HA ILUMINADO MI SENDERO CUANDO MÁS OSCURO HA ESTADO, HA SIDO EL CREADOR DE TODAS LAS COSAS, EL QUE ME HA DADO FORTALEZA PARA CONTINUAR CUANDO A PUNTO DE CAER HE ESTADO; POR ELLO, CON TODA LA HUMILDAD QUE DE MI CORAZÓN PUEDE EMANAR, DEDICO PRIMERAMENTE MI TRABAJO A DIOS.

DE IGUAL FORMA, A MIS PADRES, QUIENES HAN SABIDO FORMARME CON BUENOS SENTIMIENTOS, HÁBITOS Y VALORES, LO CUAL ME HA AYUDADO A SALIR ADELANTE BUSCANDO SIEMPRE EL MEJOR CAMINO Y POR ESTAR A MI LADO EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES.

A MI “MAMITA” QUIEN CON SU SIMPLEZA ME HA AYUDADO A ENCONTRAR LA LUZ CUANDO TODO ES OSCURIDAD.

A MIS PRIMOS GERMÁN Y GEOVANNY, POR ESCUCHARME, Y CONVERTIRSE EN MIS MEJORES AMIGOS.

A MIS AMIGOS, QUIENES SE CONVIRTIERON EN MI FAMILIA ADOPTIVA EN ESPECIAL A ANITA MARÍA, LOLITA VELASCO Y XIMENA PÁEZ.

*LORENA CHASI*

## CONTENIDO

<b>DECLARACION.....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICADO.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>01</b>
SOLDADURA INDIRECTA.....	01
1.1 DEFINICIÓN DE SOLDADURA INDIRECTA.....	01
1.2 DESOLDADO DE PIEZAS.....	01
1.3 VENTAJAS DE LA SOLDADURA INDIRECTA.....	05
1.4 DESVENTAJAS DE LA SOLDADURA INDIRECTA.....	06
1.5 ELEMENTOS Y FACTORES EN LA PRODUCCIÓN POR SOLDADURA INDIRECTA.....	06
1.6 TIPOS DE UNIONES.....	10
1.6.1 UNIONES CON SOLAPA, A TOPE Y CON JUNTA BISELADA DE LAS PIEZAS DONDE UNA CONTINÚA LA OTRA.....	11
1.6.2 UNIONES EN ÁNGULO Y EN T DE LAS PIEZAS QUE SE CRUZAN.....	13
1.6.3 UNIÓN DE LAS PIEZAS OSCULATRICES.....	14
1.7 DISPOSICIÓN DE LA LIGA ANTES DE LA SOLDADURA INDIRECTA.....	15
1.8 POSICIONES PARA SOLDAR.....	16
1.9 DEFINICIÓN DE LA CAPILARIDAD.....	17
1.1 SOLDADURA INDIRECTA DE ACEROS Y SUS ALEACIONES.....	17
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>21</b>
SOLDADURA FUERTE O BRAZING.....	21
2.1 DEFINICIÓN.....	21
2.2 SOLDADURA FUERTE POR CAPILARIDAD.....	22
2.3 EL PROCESO DE SOLDADURA FUERTE.....	23
2.4 ACCIÓN CAPILAR.....	23
2.5 CLASES DE JUNTAS PARA SOLDADURA FUERTE.....	24
2.5.1 JUNTA A TOPE.....	24
2.5.2 JUNTA TRASLAPADA.....	25
2.5.3 JUNTAS BISELADAS.....	25

2.6 DISEÑO DE LA UNIÓN.....	26
2.7 HOLGURA DE LA UNIÓN.....	27
2.8 PREPARACIÓN DE LAS PARTES PARA SU UNIÓN.....	29
2.8.1 COLOCACIÓN POR GRAVEDAD.....	29
2.8.2 AJUSTE POR INTERFERENCIA.....	30
2.8.3 MOLETEADO.....	30
2.8.4 ESTACADO.....	31
2.8.5 EXPANSIÓN.....	31
2.8.6 ENGARGOLADO.....	31
2.8.7 RECALCADO.....	32
2.8.8 ACODILLADO.....	32
2.8.9 UNIÓN POR ROSCA.....	33
2.8.10 REMACHADO.....	33
2.8.11 PLEGADO.....	34
2.8.12 MARTILLADO.....	34
2.9 METALES DE RELLENO PARA SOLDADURA FUERTE.....	35
2.10 FUNDENTES.....	36
2.10.1 COMPOSICIÓN DE UN FUNDENTE.....	37
2.10.2 LAS PASTAS PARA SOLDADURA FUERTE .....	37
2.10.3 FACTORES QUE AFECTAN AL FUNCIONAMIENTO DEL FUNDENTE.....	38
2.10.4 APLICACIÓN DEL FUNDENTE.....	39
2.10.5 APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS PASTAS PARA SOLDADURA FUERTE.....	40
2.11 UTILLAJE ADECUADO .....	40
2.12 MÉTODOS DE CALENTAMIENTO PARA SOLDADURA FUERTE.....	40
2.12.1. SOLDADURA FUERTE CON SOPLETE.....	42
2.12.1.1 APLICACIONES:.....	42
2.12.1.2 HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	43
2.12.1.3 EQUIPO DE SOLDEO OXIACETILÉNICO.....	43
2.12.1.4 SOLDADURA FUERTE POR CAPILARIDAD.....	46
2.12.2. SOLDADURA FUERTE EN HORNO.....	47
2.12.2.1 HORNOS DEL TIPO DE LOTES.....	50
2.12.2.2 HORNOS CONTINUOS.....	51
2.12.2.3 HORNOS TIPO RETORTA.....	52
2.12.2.4 SOLDADURA FUERTE EN HORNO AL VACÍO.....	52
2.12.2.4.1 RETORTA CALIENTE, U HORNO DE RETORTA DE BOMBEO	

ÚNICO:.....	53
2.12.2.4.2 RETORTA CALIENTE DE BOMBEO DOBLE O DE DOBLE PARED.....	54
2.12.2.4.3 HORNO AL VACÍO DE PARED FRÍA.....	54
2.12.3. SOLDADURA FUERTE POR INDUCCIÓN.....	56
2.12.3.1 PRINCIPIO DEL PROCESO.....	58
2.12.3.1.1 GENERADORES DE ENERGÍA.....	59
2.12.3.1.2 INDUCTORES (BOBINAS) .....	59
2.12.3.3 LIMPIEZA POSTERIOR AL SOLDEO.....	60
2.12.4 SOLDADURA FUERTE POR RESISTENCIA.....	61
2.12.4.1 SOLDADURA POR PUNTOS.....	63
2.12.4.1.2 OTRAS VARIANTES DEL PROCESO .....	67
2.12.4.2.1 SOLDADURA POR PROTUBERANCIAS.....	67
2.12.4.2.2 SOLDADURA POR ROLDADAS .....	68
2.12.4.2.3 SOLDADURA POR RESALTES.....	69
2.12.4.2.4 SOLDADURA POR COSTURA.....	69
2.12.5 SOLDADURA FUERTE POR INMERSIÓN.....	70
2.12.5.1 BAÑO DE METAL FUNDIDO.....	71
2.12.5.2 BAÑO DE QUÍMICO (FUNDENTE) FUNDIDO.....	71
2.12.6 SOLDADURA FUERTE AL INFRARROJO.....	72
2.12.7 PROCESOS ESPECIALES.....	73
2.12.7.1 SOLDADURA FUERTE EXOTÉRMICA.....	73
2.13 AUTOMATIZACIÓN DE LA SOLDADURA FUERTE.....	74
2.14 SOLDADURA CON LATÓN.....	75
2.15 SOLDADURA CON UN FUNDENTE LÍQUIDO.....	80
2.15.1 APLICACIONES.....	81
2.16 SOLDADURA DE METALES FERROSOS.....	82
2.17 CALIDAD DE LA SOLDADURA FUERTE.....	82
2.17.1 ZONA AFECTADA POR EL CALOR.....	83
2.17.2 DISTORSIÓN Y AGRIETAMIENTO.....	83
2.17.3 SOLDABILIDAD.....	84
2.18 VENTAJAS DE LA SOLDADURA FUERTE.....	84
2.19 LIMITACIONES DE LA SOLDADURA FUERTE.....	86
2.20. SECTOR INDUSTRIAL QUE LOGRA OBTENER LOS MÁXIMOS BENEFICIOS UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE BRAZING.....	86
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>87</b>
MATERIALES DE APORTE PARA SOLDADURA FUERTE SEGÚN	



LA NORMA AWS A5.8.....	87
3.1 METALES DE APORTE PARA SOLDADURA FUERTE.....	87
3.2 CARACTERÍSTICAS.....	88
3.3 FUSIÓN Y FLUIDEZ.....	89
3.4 LICUACIÓN.....	90
3.5. MOJADO Y ADHESIÓN.....	91
3.6 SELECCIÓN DEL METAL DE APORTE.....	92
<b>NORMA AWS A 5.8.....</b>	<b>95</b>
3.7 METALES DE APORTE.....	95
3.7.1 METALES DE APORTE DE ALUMINIO – SILICIO.....	95
3.7.2 METALES DE APORTE DE MAGNESIO.....	95
3.7.3 METALES DE APORTE DE COBRE Y COBRE-CINC.....	96
3.7.4 METALES DE APORTE DE COBRE-FÓSFORO.....	96
3.7.5 METALES DE APORTE DE PLATA.....	97
3.7.6 METALES DE APORTE DE ORO.....	98
3.7.7 METALES DE APORTE DE NÍQUEL.....	98
3.7.8 METAL DE APORTE DE COBALTO.....	99
3.7.9 METALES DE APORTE PARA METALES REFRACTARIOS.....	99
3.8 APLICACIONES.....	101
3.8.1 SELECCIÓN DE LOS METALES BASE.....	101
3.8.1.1 ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO.....	102
3.8.2 MAGNESIO Y ALEACIONES DE MAGNESIO.....	103
3.8.3 BERILIO.....	104
3.8.4 COBRE Y ALEACIONES DE COBRE.....	105
3.8.5 ACEROS DE BAJO CARBONO Y DE BAJA ALEACIÓN.....	105
3.8.6 ACEROS DE HERRAMIENTAS DE ALTO CARBONO Y DE ALTA VELOCIDAD.....	106
3.8.7 HIERRO COLADO.....	106
3.8.8 ACEROS INOXIDABLES.....	107
3.8.8.1 HIERRO Y ACERO AL CROMO.....	108
3.8.8.2 ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN.....	108
3.8.9 ALEACIONES DE NÍQUEL Y DE ALTO NÍQUEL.....	108
3.8.10 ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR.....	109
3.8.11 TITANIO Y ZIRCONIO.....	110
3.8.12 CARBUROS Y CERMETS.....	110
3.8.13 CERÁMICAS.....	111

3.8.14 METALES PRECIOSOS.....	111
3.8.15 METALES REFRACTARIOS.....	112
3.8.15.1 TUNGSTENO.....	112
3.8.15.2 MOLIBDENO.....	112
3.8.15.3 TANTALIO Y COLOMBIO.....	112
3.8.16 COMBINACIONES DE METALES DISÍMILES.....	113
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>115</b>
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE APORTE.....	115
4.1 INSPECCIÓN.....	115
4.2 MÉTODOS DE PRUEBA NO DESTRUCTIVOS.....	115
4.2.1 DEFINICIÓN.....	115
4.2.2 INSPECCIÓN VISUAL.....	115
4.2.3 PRUEBA EN SERVICIO.....	116
4.2.4 PRUEBAS DE FUGAS.....	116
4.2.5 INSPECCIÓN CON LÍQUIDO PENETRANTE.....	117
4.2.6 INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.....	117
4.2.7 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA.....	118
4.2.8 INSPECCIÓN TÉRMICA POR TRANSFERENCIA DE CALOR.....	119
4.3. MÉTODOS DE PRUEBA DESTRUCTIVOS.....	119
4.3.1 DEFINICIÓN.....	119
4.3.2 INSPECCIÓN METALOGRAFÍA.....	119
4.3.3 PRUEBAS DE PELADO.....	120
4.3.4 PRUEBAS DE TENSIÓN Y CORTE.....	120
4.3.4 PRUEBAS DE TORSIÓN.....	120
4.4 DESCRIPCIÓN DE ACEROS DE BAJO, MEDIO Y ALTO CONTENIDO DE CARBONO.....	121
4.4.1 ACEROS BAJOS EN CARBONO.....	121
4.4.2 ACEROS MEDIOS EN CARBONO.....	121
4.4.3 ACEROS ALTOS EN CARBONO. ....	121
4.5. ANÁLISIS EFECTUADO.....	122
4.5.1. MATERIAL BASE.....	122
4.5.2. MATERIAL DE APORTE.....	125
4.6. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS PARA INICIAR LA SOLDADURA.....	127
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>128</b>
PRACTICAS DE SOLDADURA INDIRECTA.....	128
5.1 PRÁCTICA Nº 1.....	128

5.1.1 TITULO: REALIZAR LA SOLDADURA EN LAS PROBETAS EN BAJO	
CONTENIDO DE CARBONO.....	128
5.1.2 OBJETIVOS:.....	128
5.1.3 EQUIPO UTILIZADO.....	128
5.1.4 PROCEDIMIENTO.....	128
5.1.5 ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	129
5.2 PRÁCTICA Nº 2.....	130
5.2.1 TITULO: REALIZAR LA SOLDADURA EN LAS PROBETAS EN MEDIO	
CONTENIDO DE CARBONO.....	130
5.2.2 OBJETIVOS:.....	130
5.2.3 EQUIPO UTILIZADO.....	130
5.2.4 PROCEDIMIENTO.....	130
5.2.5 ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	131
5.3 PRÁCTICA Nº 3.....	132
5.3.1 TITULO: REALIZAR LA SOLDADURA EN LAS PROBETAS EN ALTO	
CONTENIDO DE CARBONO.....	132
5.3.2 OBJETIVOS:.....	132
5.3.3 EQUIPO UTILIZADO.....	132
5.3.4 PROCEDIMIENTO.....	132
5.3.5 ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	133
5.4 PRÁCTICA Nº 4.....	134
5.4.1 TITULO: RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DE LAS PROBETAS.....	134
5.4.2 OBJETIVOS: .....	134
5.4.3 EQUIPOS.....	134
5.4.4 PROCEDIMIENTO.....	134
5.4.5 RESULTADO .....	138
5.5 PRÁCTICA Nº 5.....	140
5.5.1 TITULO: LÍQUIDOS PENETRANTES EN LAS PROBETAS DE ACERO.....	140
5.5.2 OBJETIVOS: .....	140
5.5.3 EQUIPOS.....	140
5.5.4 PROCEDIMIENTO.....	140
5.5.5 RESULTADO .....	141
5.6. PRÁCTICA Nº 6.....	145
5.6.1 TITULO: METALOGRAFÍA EN LAS PROBETAS DE ACERO.....	145
5.6.2 OBJETIVOS: .....	145
5.6.2 EQUIPOS.....	145

5.6.3 PROCEDIMIENTO.....	145
5.6.4 RESULTADO .....	146
5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	149
5.7.1 MATERIAL DE APORTE: LATÓN.....	149
5.7.2 MATERIAL DE APORTE: PLATA 15%.....	149
5.7.3 MATERIAL DE APORTE: PLATA 30%.....	149
5.8 CALCULO DEL COEFICIENTE DE PENETRACIÓN.....	150
5.8.1 MATERIAL DE APORTE: LATÓN.....	151
5.8.1.1 RESULTADOS:.....	154
5.8.2 MATERIAL DE APORTE: PLATA 15%.....	155
5.8.2.1 RESULTADOS.....	158
5.8.3 MATERIAL DE APORTE: PLATA 30%.....	159
5.8.3.1 RESULTADOS.....	162
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>163</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	163
6.2 RECOMENDACIONES.....	163
6.3 BIBLIOGRAFÍA.....	164
<b>ANEXOS.....</b>	<b>166</b>
<b>ANEXO 1: COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD EN PLACAS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO.....</b>	<b>167</b>
<b>ANEXO 2: COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD EN PLACAS DE MEDIO CONTENIDO DE CARBONO .....</b>	<b>168</b>
<b>ANEXO 3: COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD EN PLACAS DE ALTO CONTENIDO DE CARBONO .....</b>	<b>169</b>
<b>ANEXO 4: MATERIALES DE APORTE PARA SOLDADURA FUERTE.....</b>	<b>170</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

FIG. 1.1 JUNTAS SOLDADAS. ....	03
FIG. 1.2 ELEMENTOS DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN POR SOLDADURA INDIRECTA.....	08
FIG. 1.3 TIPOS PRINCIPALES DE UNIONES SOLDADAS.....	11
FIG. 1.4. ESTRUCTURAS DE ALGUNAS UNIONES TUBULARES SOLDADAS.....	12
FIG. 1.5. EJEMPLOS DE DISEÑOS CORRECTOS E INCORRECTOS DE UNIONES SOLDADAS.....	14
FIG. 1.6. TIPOS DE UNIONES SOLDADAS DONDE LAS PIEZAS A SOLDAR ESTÁN EN CONTACTO.....	14
FIG. 1.7. DIFERENTES TIPOS DE UNIONES ANTES Y DESPUÉS DE LA SOLDADURA INDIRECTA OBTENIDOS EMPELANDO CHAPAS PLAQUEADAS CON LA ALEACIÓN A SOLDAR.....	15
FIG. 1.8. COLOCACIÓN DE LA ALEACIÓN SOLDANTE EN FORMA DE ANILLOS DE ALAMBRE ANTES DE REALIZAR LA SOLDADURA INDIRECTA.....	15
FIG. 1.9. POSICIONES PARA SOLDAR.....	16
FIG. 2.1 PIEZA SOLDADA CON SOLDADURA FUERTE.....	21
FIG. 2.2. CLASES DE JUNTAS PARA SOLDADURA FUERTE.....	24
FIG. 2.3. POSICIONADO POR GRAVEDAD .....	30
FIG. 2.4. AJUSTE POR INTERFERENCIA.....	30
FIG. 2.5. MOLETEADO.....	30
FIG.2.6.ESTACADO.....	31
FIG.2.7 EXPANSIÓN.....	31
FIG.2.8 ENGARGOLADO.....	32
FIG.2.9 RECALCADO.....	32
FIG.2.10 ACODILLADO.....	33
FIG. 2.11 UNIÓN POR ROSCA.....	33
FIG.2.12 REMACHADO.....	33
FIG. 2.13PLEGADO.....	34
FIG.2.14. MARTILLADO.....	34
FIG.2.15. FUNDENTES.....	36
FIG. 2.16 HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	43
FIG. 2.17 BOQUILLAS PARA SOPLETE.....	45
FIG. 2.18 SOLDADURA FUERTE POR CAPILARIDAD.....	47
FIG. 2.19. CALENTAMIENTO POR HORNO PARA SOLDADURA FUERTE DE	

PRODUCCIÓN.....	48
FIG. 2.20. BOBINA DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN PARA SOLDADURA FUERTE.....	56
FIG. 2.21. BOBINAS Y PLACAS TÍPICAS PARA SOLDADURA FUERTE POR INDUCCIÓN.....	57
FIG. 2.22. COLOCACIÓN Y DISEÑO DE LAS BOBINAS PARA SOLDADURA FUERTE POR INDUCCIÓN.....	60
FIG. 2.23. SOLDADURA FUERTE POR RESISTENCIA.....	62
FIG. 2.24. DIAGRAMA DE UNA MAQUINA SOLDADORA POR PUNTOS.....	64
FIG. 2.25. ESQUEMA DE LA CADENA DE RESISTENCIA GENERADORAS DE CALOR.....	65
FIG. 2.26. SOLDADO POR PUNTOS.....	68
FIG. 2.27. SOLDADURAS TERMINADAS.....	69
FIG. 2.28 TIPOS DE SOLDADURA.....	70
FIG. 2.29 ILUSTRACIÓN DE LA SOLDADURA FUERTE POR INMERSIÓN EN BAÑO QUÍMICO.....	71
FIG. 2.30 EQUIPO PARA SOLDADURA FUERTE AL INFRARROJO.....	73
FIG. 2.31 SOLDADURA FUERTE CON LATÓN.....	76
FIG. 2.32. EN LA SOLDADURA FUERTE CON BRONCE, LA SOLDADURA DEBE MOVERSE HACIA ARRIBA EN UNA INCLINACIÓN.....	77
FIG. 2.33. PORTA ELECTRODO PARA ARCO DE CARBÓN.....	78
FIG. 2.34. SOLDADURA FUERTE CON ARCOS ENTRE ELECTRODOS DE CARBÓN.....	79
FIG. 2.35. SOLDADURA FUERTE CON FUNDENTE LIQUIDO.....	80
FIG. 2.36 SOLDADURA DE METALES FERROSOS.....	82
FIG. 2.37 ZONA AFECTADA POR EL CALOR.....	83
FIG. 3.1. DIAGRAMA CONSTITUCIONAL PLATA-COBRE.....	89
FIG. 4.1 INSPECCIÓN CON LÍQUIDOS PENETRANTES.....	117
FIG. 4.2. INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA.....	118
FIG. 4.3. INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO.....	118
FIG. 4.4. INSPECCIÓN METALOGRÁFICA.....	119
FIG. 4.5 PRUEBAS DE TORSIÓN.....	120
FIG. 4.7 DESOXIDACIÓN DE LAS PIEZAS.....	127
FIG. 5.1 RECALDEO DEL EQUIPO.....	136
FIG. 5.2. PREPARACIÓN DE LAS PLACAS PARA LLEVARLA AL EQUIPO DE RAYOS X.....	137

FIG. 5.3. TOMA DE LA RADIOGRAFÍA.....	137
FIG. 5.3. REVELADO DE LAS RADIOGRAFÍAS .....	138
FIG. 5.4 EQUIPO DE TINTAS PENETRANTES.....	140
FIG. 5.5. APLICACIÓN DEL FUNDENTE.....	140
FIG. 5.6 APLICACIÓN DEL REVELADOR.....	141
FIG. 5.7. PENETRACIÓN DE LA TINTA.....	143
FIG. 5.8. PRESENCIA DE POROS.....	143
FIG. 5.9. NO HAY BUEN CORDÓN EN LAS PROBETAS.....	143
FIG. 5.10. PRESENCIA DE POROS.....	144
FIG. 5.11. LIJADO DE PROBETAS.....	145
FIG. 5.12. OBSERVAR LAS PROBETAS POR MICROSCOPIO.....	146
FIG. 5.13. FLUJO DEFICIENTE DEL METAL DE APORTE.....	147
FIG. 5.14. FLUJO APROPAIDO DEL METAL DE APORTE.....	147
FIG. 5.15 PRESENCIA DE POROS Y DIFUSION DEL METAL DE APORTE .....	148
FIG. 5.16 PRESENCIA DE POROS.....	148
FIG. 5.17 DIFUSIÓN DEL METAL DE APORTE.....	148
FIG. 5.18 COEFICIENTE DE PENETRACIÓN DEL LATÓN.....	154
FIG. 5.19 COEFICIENTE DE PENETRACIÓN DEL PLATA AL 15%.....	158
FIG. 5.20 COEFICIENTE DE PENETRACIÓN DE PLATA AL 30%.....	162

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1. FUNDENTES PARA SOLDADURA DE BAJO PUNTO DE FUSION PARA VARIOS METALES.....	39
TABLA 22. METALES POR SOLDAR Y RECOMENDACIONES PARA METALES DE RELLENO, FUNDENTES DE SOLDAR Y APLICACIONES.....	41
TABLA 2.3 GRAFICAS DE LA CADENA DE RESISTENCIA GENERADORAS DE CALOR.....	66
TABLA 3.1 MATERIALES DE APORTACIÓN MÁS USADOS, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SOLDADURA Y DE USO QUE SE VA A DAR.....	88
TABLA 3.2. COMBINACIONES DE METAL BASE METAL DE APORTE .....	94
TABLA 3.3 METALES DE APORTE DE SOLDADURA FUERTE PARA METALES REFRACTARIOS.....	100
TABLA 3.4 COMPOSICION NOMINAL E INTERVALO DE FUSION DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO SOLDABLES EN FUERTE COMUNES.....	102
TABLA 3.5. ALEACIONES DE MAGNESIO SOLDABLES EN FUERTE Y	

METALES DE APORTE.....	103
TABLA 5.1 DATOS DE LOS TANQUES DE ACETILENO Y OXIGENO.....	128
TABLA 5.2. ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	129
TABLA 5.3. DATOS DE LOS TANQUES DE ACETILENO Y OXIGENO.....	130
TABLA 5.4. ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	131
TABLA 5.5 DATOS DE LOS TANQUES DE ACETILENO Y OXIGENO.....	132
TABLA 5.6 ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	133
TABLA 5.7. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA DE RAYOS X, LABORATORIO DE END.....	134
TABLA 5.8. CALCULO DE LOS PARÁMETROS .....	135
TABLA 3.9. TIEMPOS CALCULADOS .....	137
TABLA 3.10 ANÁLISIS DE LAS RADIOGRAFÍAS. ....	139
TABLA 3.11. ANALISIS EN TINTAS PENETRANTES.....	142
TABLA 3.12. ANALISIS DE ENSAYO MACROGRAFIA.....	147
TABLA 3.13 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN MATERIAL DE APORTE LATÓN.....	149
TABLA 3.14. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN MATERIAL DE APORTE: PLATA 15%.....	149
TABLA 3.15. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN MATERIAL DE APORTE: PLATA 30%.....	150
TABLA 3.16. ANALISIS SEGÚN COEFICIENTE DE PENETRACION EN LATÓN.....	154
TABLA 3.17. ANALISIS SEGÚN COEFICIENTE DE PENETRACION EN PLATA AL 15%.....	158
TABLA 3.18. ANALISIS SEGÚN COEFICIENTE DE PENETRACION EN PLATA AL 30%.....	162



## RESUMEN

El proyecto de Tiltación se realizó, debido a la desinformación de los materiales de aporte para Soldadura Indirecta (Soldadura Fuerte), factores que afectan de una manera directa a la calidad y funcionalidad de una unión soldada, utilizando como referencia la Norma AWS A5.8.

Es provechoso mencionar que los tres primeros capítulos contienen el fundamento científico-tecnológico que va a ser empleado para el desarrollo de este proyecto, además decir que en el cuarto capítulo se encuentra el análisis de las propiedades de los materiales de aporte y material base y finalmente el análisis realizado en probetas que contienen bajo, medio y alto contenido de carbono, al ser soldadas con distintos materiales de aporte apropiados para soldadura fuerte, así como el cálculo del nivel de penetración del metal de aporte.

En el capítulo uno se encuentra los principios fundamentales de soldadura indirecta.

En el capítulo dos se detalla el uso apropiado de soldadura fuerte, tomando en cuenta los factores que pueden ocasionar daños a las piezas al momento de realizar la soldadura y determinar si la unión realizada es correcta.

En el capítulo tres se especifica los materiales de aporte apropiados para soldadura fuerte según indica la Norma AWS A5.8.

En el capítulo cuatro se encuentra el análisis de las propiedades del material de aporte a emplearse y las del material base, así como los pruebas y ensayos que se realizan para inspeccionar los ensambles soldados.

En el capítulo cinco se encuentra el análisis de resultados a partir de las prácticas y ensayos realizados.

El capítulo seis contiene conclusiones y recomendaciones

## INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es poder conocer las características operacionales de los distintos materiales de aporte para Soldadura Fuerte a través de diversa pruebas y ensayos y solucionar las inquietudes que tienen los estudiantes y las empresas que laboran en el área de Soldadura Fuerte con material de aporte para trabajos en aceros.

Para unir piezas mediante soldadura se utilizan varillas de relleno, denominadas material de aporte o electrodos, realizadas con diferentes aleaciones, en funciones de los metales a unir.

Las uniones lograda a través de soldadura fuerte de cualquier tipo, se ejecutan mediante el empleo de una fuente de calor y con la presencia de un metal de aporte que sufre un cambio a fase líquida cuando se lo calienta por encima de 450°C pero por debajo del cambio a fase sólida de los metales base; tomando en cuenta el nivel de capilaridad que va tener cada pieza, cuando se ha expuesto al proceso de soldadura seleccionado, siguiendo lo estipulado en la Norma AWS A5.8.

El presente documento tiene una recopilación de tablas y datos que conjuntamente con las recomendaciones prácticas, permitan una elección apropiada de los materiales de aporte para Soldadura Fuerte al utilizar como material base acero en distintas cantidades de carbono (bajo, medio y alto contenido de carbono).

## CAPITULO I

### SOLDADURA INDIRECTA

#### 1.1 DEFINICIÓN DE SOLDADURA INDIRECTA

Soldadura Indirecta es la unión térmica de dos materiales por medio de otro (el material de soldadura) y no forma aleación con ellos, cuyo punto de fusión es inferior al de la pieza que se trabaja. Su procedimiento se da, por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a las de las piezas que se han de soldar.

#### 1.2 DESOLDADO DE PIEZAS

El proceso de desoldado de piezas no se puede realizar en las uniones obtenidas mediante la soldadura indirecta con difusión, donde un elemento – la sustancia depresiva (depresor) en la aleación de soldar esta difundida por completo, o casi por completo, en los metales a soldar.

Si el material de soldadura empleado funde a más de 450° C, se habla de '*soldadura dura o fuerte*', y a temperaturas inferiores de '*soldadura blanda*'.

Aparte de los riesgos adicionales procedentes del material básico y los aglutinantes, en este tipo de soldadura los peligros son originados principalmente por el fundente y el material de soldadura.

En correspondencia con las particularidades de la soldadura indirecta, como proceso encaminado a obtener las uniones inseparables, en la junta soldada se diferencian los sectores siguientes:

La costura soldada, el sector de la junta soldada con estructuras fundidas, que se cristaliza en el proceso de soldadura indirecta.

El pie de la costura soldada, el sector de la costura soldada formado al borde de la holgura en las superficies exteriores de las piezas a unir, bajo la acción de las fuerzas capilares.

La zona de difusión de la junta soldada, el sector de la junta soldada que se caracteriza por la composición química alterada del metal básico, que se forma como resultado de la difusión de los componentes de la liga y de los materiales a soldar.

La zona de influencia térmica, el sector de la junta soldada con las zonas de difusión que forman parte de este, y que se caracteriza por el cambio de estructura, composición química y propiedades del material a soldar durante el calentamiento local.

En correspondencia con esto, en las juntas obtenidas mediante la soldadura indirecta, el recargue por soldadura y la unión por soldadura indirecta existen las tres siguientes superficies características que separan diferentes sectores de las juntas soldadas, recargadas y unidas (fig. 1.1):

Es la superficie que separa el material a soldar, sometido al calentamiento sin cambiar su composición y estructura, de la zona de difusión en la unión.

Es la superficie que separa la zona de difusión y el sector de la zona de fusión por contacto del material a soldar, que se formó como resultado de la interacción de este con la aleación de soldar líquida, se llama superficie de la junta.

Es la superficie que separa el sector de la fusión por contacto del material básico (sector de erosión química) y el sector restante de la costura en que se ha realizado el mezclado de la aleación de soldar líquida y del material básico que se ha fundido en contacto.

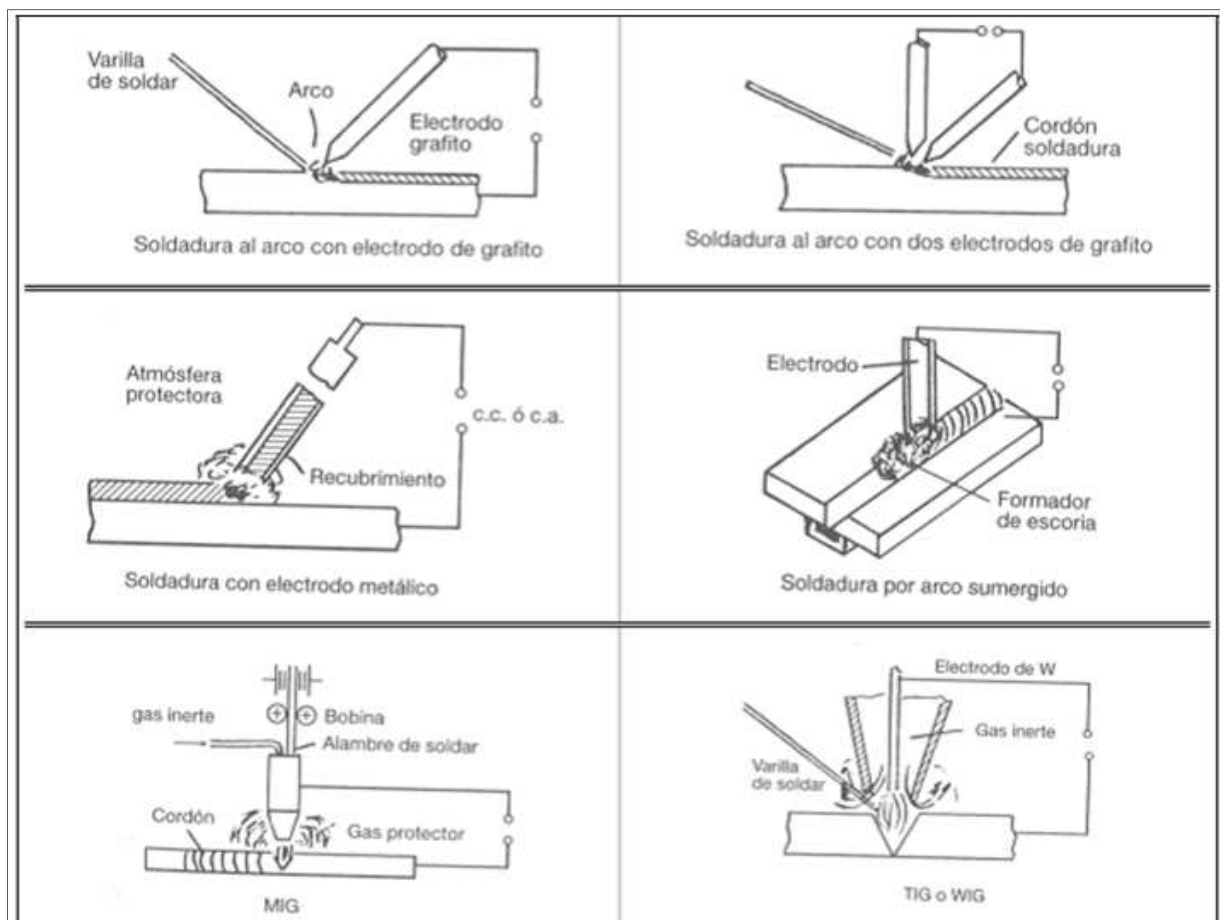


Fig. 1.1

Fuente: <http://www.spri.upv.es/pdf/anexo7gpamec.pdf>

El recargue por soldadura indirecta es el proceso para colocar una capa de aleación de soldar fundida por completo o en parte, sobre el material sólido con fusión local por contacto de este último y su adherencia durante la solidificación. En un caso particular, el recargue por soldadura puede tener un nombre especial: el recargue con estaño y sus aleaciones se llama estañadura, el recargue con cinc se llama cincado y con aluminio, etc.

La soldadura indirecta se describe como la existencia o ausencia de la capilaridad en la holgura al momento de unir piezas entre sí. La penetración en las holguras capilares bajo la acción de las *presiones capilares* durante el *mojado* del metal que se encuentra soldando.

Al aumentar la presión sobre las piezas a unir, durante la soldadura indirecta por fusión, es posible lograr un estado tal, en que la fase líquida haya sido eliminada de la holgura, es decir, el proceso de soldadura indirecta por fusión se transformara en proceso de soldadura directa por presión. En tal caso límite para unión de cuerpos sólidos puede alcanzarse en la costura una resistencia mecánica igual a la del metal soldado. La fase líquida, en este caso, contribuye a eliminar del metal sólido las películas de óxidos y a su dispersión.

El problema más importante en la preparación de producción por soldadura indirecta, es el de asegurar la alta calidad que van a tener los artículos y su eficacia durante la producción. Se debe de tomar en cuenta el diseño de la estructura tecnológica del artículo y el diseño de los procesos.

Para obtener una alta calidad en las piezas a ser soldadas se debe de tener en cuenta la calidad del artículo a soldar como por ejemplo, la estructura del artículo, el material y el proceso tecnológico para soldadura indirecta. Si se realiza la soldadura indirecta en una pieza con ausencia de la *capilaridad*, el relleno se va a realizar bajo la acción de fuerzas externas como la gravedad, electromagnéticas presión reducida en la holgura.

La resistencia mecánica de las uniones soldadas, lo mismo que la de los artículos soldados, es su resistencia mecánica constructiva y se diferencia de la resistencia mecánica de los metales empleados para unirla, de la liga y de la costura soldada. La resistencia mecánica constructiva de una unión o artículo soldados se determina por la capacidad de oponerse a su deformación y destrucción en el elemento débil y, por consiguiente, depende de la calidad de los metales, la tecnología de soldadura indirecta, los campos de tensiones que surgen en el metal básico y la costura, así como de la composición de los medios activos durante la explotación. La resistencia mecánica de la unión soldada se determina, en lo fundamental, por el siguiente conjunto de factores:

- Estructura de la unión soldada y del artículo.
- Resistencia mecánica del metal básico.

- Resistencia mecánica de la aleación para soldar.
- Resistencia mecánica de la zona transitoria (de difusión).
- Resistencia mecánica de la zona soldada.
- Magnitud de las tensiones residuales en la unión.

El empalme es el proceso de unión de materiales en forma de piezas conmensurables, una de las cuales se encuentra en estado sólido y la otra en estado líquido, con su adherencia posterior durante la solidificación de la fase líquida.

En el sistema de soldadura indirecta el proceso de empalme se llama unión por soldadura indirecta. Es el proceso de adherencia completa o en parte, del material líquido al sólido con la fusión por contacto del último y su cohesión ulterior durante la solidificación. La unión por soldadura indirecta puede realizarse al verter el metal líquido (aleación de soldar) sobre aquel a que se adhiere, con su solidificación ulterior.

### 1.3 VENTAJAS DE LA SOLDADURA INDIRECTA

Lograr la unión en lugares de las piezas ocultos y de acceso difícil y, por consiguiente, fabricar estructuras complejas en una sola operación, reducir los gastos de metal para su producción, elevar el coeficiente de utilización del material.

Unir no por el contorno, sino simultáneamente por toda la superficie lo que, junto a asegurar el alto rendimiento del proceso, permite variar ampliamente la resistencia mecánica de las uniones.

Unir materiales metálicos y no metálicos heterogéneos que poseen una mayor diferencia de paredes, con respecto a la soldadura directa por fusión (mayor universalidad del proceso).

Evitar el desarrollo de considerables deformaciones térmicas y asegurar la

obtención de artículos, sin alterar su forma y dimensiones, es decir, con alta precisión

Separar las piezas y los conjuntos, mediante su desoldadura a temperatura inferior a la fusión autónoma del material soldado y reparar el artículo en condiciones de campo.

#### 1.4 DESVENTAJAS DE LA SOLDADURA INDIRECTA

Las juntas soldadas mediante este proceso no pueden ser fácilmente verificadas con ensayos no destructivos.

Desprendiendo de las combinaciones de materiales y del espesor de las piezas a unir, se puede producir una erosión del metal base.

Los materiales base que han sido trabajados en frío pueden ablandarse durante el proceso de soldadura fuerte.

#### 1.5 ELEMENTOS Y FACTORES EN LA PRODUCCIÓN POR SOLDADURA INDIRECTA

Entre los problemas más importantes en el sistema moderno para preparar la producción de soldadura indirecta, encaminados a asegurar la alta calidad de los artículos y la eficacia de la producción se encuentran:

El diseño de la estructura tecnológica del artículo

El diseño de los procesos tecnológicos.

Las condiciones para tal aseguramiento se basan en el estudio de los elementos principales del sistema de soldadura indirecta aceptado para la producción (E-Me-T), elegidos en correspondencia con las características de explotación del artículo (A).



Los elementos del sistema productivo que determinan la calidad de los artículos soldados son:

La estructura del artículo E

El material del artículo Me

El proceso tecnológico T para soldadura indirecta del artículo

Estos elementos del sistema de producción se caracterizan por diferentes factores (Fig. 1.2)

En la producción de soldadura indirecta el más importante entre estos elementos de producción es la estructura del artículo, que se caracteriza por dos grupos de factores:

1. Los que se refieren a la estructura, la clase del artículo, el tipo de unión, la magnitud de holgura, la magnitud de solapa.
2. Los de escala, el espesor mayor de la pared del artículo, la diferencia en espesor de paredes en las piezas del artículo, la masa del artículo y sus dimensiones máximas.

Los factores de escala influyen sobre el grado de heterogeneidad en el campo de temperatura y en el campo de tensiones por el artículo, acondicionados por la diferencia de espesores en sus paredes y las dimensiones; los factores de estructuras condicionan la influencia en el proceso tecnológico para la soldadura indirecta, que ejercen la clase del artículo soldado y el tipo de unión.

En el segundo elemento del sistema de producción es el material de la estructura se caracteriza por los factores fisicoquímicos (F-Q), muy importantes para la producción de soldadura indirecta y, en primer lugar, por la temperatura del solidus del material del artículo, los regímenes admisibles de su calentamiento durante la soldadura indirecta, sus propiedades físicas, entre ellas el coeficiente de dilatación térmica y el régimen del tratamiento térmico.

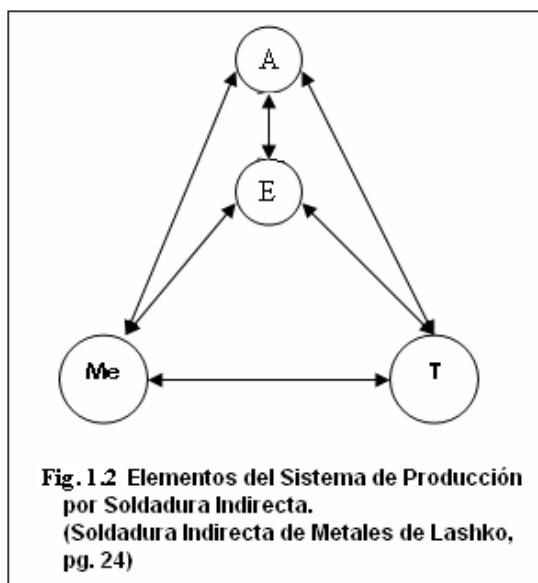
El tercer elemento del sistema de producción en el proceso tecnológico (T) que incluye tres grupos de factores:

**Tecnológicos** en las producciones de soldadura indirecta se incluyen los materiales tecnológicos (M1), o sea, aleaciones de soldar, fundentes, medios gaseosos activos, pastas inhibidoras y otros; los métodos de soldadura indirecta (MS); según la formación de la costura soldada, la eliminación de la película de óxidos y el calentamiento.

**Técnicos** que caracterizan el equipamiento del proceso tecnológico para soldadura indirecta son: equipos, utillaje, medios de mecanización y automatización.

**Económicos** del proceso se incluyen: el costo de los materiales tecnológicos, del utillaje, las normas de tiempo y el salario.

La calidad y fiabilidad alta del artículo soldado y su rendimiento económico pueden asegurarse solo a condición de la unidad y compatibilidad de estos tres elementos determinantes en el sistema de producción y de sus factores integrantes en las tres etapas de realización del artículo: durante su diseño, fabricación y explotación.



En el proceso preparatorio de la producción la compatibilidad de los tres elementos indicados se realiza, en particular, por una buena correspondencia a los parámetros técnico-económicos de la estructura diseñada.

Los parámetros técnico-económicos de una estructura es un conjunto de propiedades para la estructura del artículo, que se manifiestan en la posibilidad de reducir los gastos de trabajo, recursos, materiales y tiempo al preparar técnicamente la producción, fabricación, explotación y reparación, comparándolos con los correspondientes índices para estructuras de artículos similares, con un mismo destino, a condición de que aseguren los significados establecidos para los índices de calidad y las condiciones aceptadas de fabricación, explotación y reparación.

A pesar del carácter relativo sobre el concepto de la correspondencia a los parámetros técnico-económicos de una estructura actualmente existe una serie de principios generales que deben tenerse en cuenta en todas las etapas de diseño y fabricación de los artículos soldados. Estos principios se deducen al examinar la compatibilidad entre el material y la estructura (Me-E), entre el material y el proceso tecnológico (Me-T) o (T-E), o entre los tres factores en conjunto (E-Me-T).

Una de las condiciones usadas en soldadura indirecta (aleaciones de soldar, fundentes y medios gaseosos) no son suficientes los datos sobre su composición, temperaturas de fusión y, para las aleaciones de soldar además los datos acerca de sus propiedades mecánicas; también hacen falta datos referentes a la propiedades especiales de los materiales, que determinan su compatibilidad con los metales a soldar. En lo que concierne a las aleaciones de soldar, se necesitan datos sobre su compatibilidad con el material a soldar, que se activen sus superficies eliminando de estas, antes de soldarla y en el proceso de soldadura indirecta, las películas de óxidos y otras con enlace no metálico, que impiden su contacto. Para pasar la aleación de soldar al estado líquido o líquido-sólido, hay que calentar esta y el material base, en el lugar de su contacto, hasta la temperatura para la soldadura indirecta.

Para eliminar de la superficie de los metales a soldar y de aportación la película de óxidos se usan diferentes procedimientos. La holgura necesaria para la

soldadura indirecta se obtiene mediante la aplicación de una presión (de 0.1 a 1 kgf/ cm<sup>2</sup>) con ayuda de unos dispositivos mecánicos de apriete, dispositivos neumáticos, pesos, etc. El ciclo térmico de la soldadura indirecta y la presión necesaria se dan en el régimen de soldadura.

Las condiciones más importantes para asegurar la calidad y la fiabilidad de la unión soldada son: la obtención de una costura soldada de buena calidad; la conservación de las propiedades en el metal base, después de la acción ejercida por el metal aportado líquido y el ciclo térmico de soldadura indirecta, así como después que sobre este se extienda la aleación de soldar líquida y se forme la capa recargada por soldadura indirecta; el diseño correcto del artículo, teniendo en cuenta las singularidades del proceso tecnológico para la soldadura indirecta.

## 1.6 TIPOS DE UNIONES

Para que un artículo soldado tenga las correspondientes características de explotación, se necesitan alta calidad y fiabilidad de las uniones soldadas que, bajo condiciones desfavorables, pueden pasar a ser el –elemento débil- de la estructura soldada. Aquí juega un papel importantísimo elegir correctamente el tipo de la unión soldada y la compatibilidad de su estructura con el procesos tecnológico, es decir, con el método de soldadura indirecta, los materiales y el equipamiento. En soldadura, son muy importantes las uniones entre los metales, ya que de la buena unión de los metales a soldar, dependerá el buen acabado y la resistencia que tenga la soldadura.

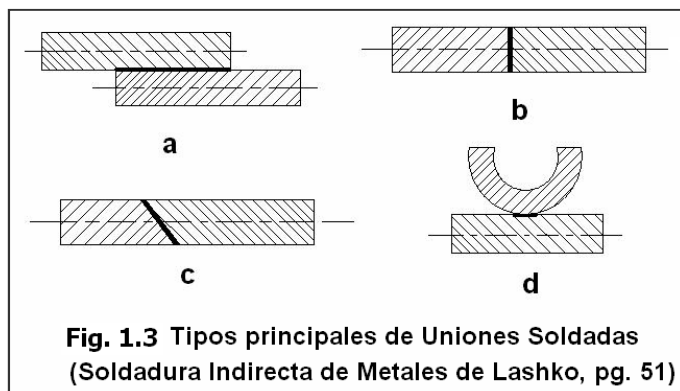
Los métodos de soldadura indirecta que se utilizan hasta hoy, en lo que se refieren la formación de la costura soldada, la eliminación de la película de óxidos, el calentamiento y el modo de realizar las operaciones de soldadura indirecta están previstos por GOST 17349-71.

El criterio constructivo más importante, que sirve para clasificar los métodos de soldadura indirecta, es la existencia o ausencia de la capilaridad en la holgura entre las piezas a unir. La penetración de la aleación de soldar en las holguras

capilares tiene lugar bajo la acción de la presión capilar durante el mojado del metal a soldar por la liga líquida. Si la soldadura indirecta se realiza en ausencia de la capilaridad, el relleno de la holgura puede originarse solo bajo la acción de fuerzas externas: de gravedad, electromagnéticas, presión reducida en la holgura, etc.

En la soldadura capilar pueden soldarse en T o en ángulo. En este caso la superficie de la junta se sitúa bajo un ángulo hacia la línea axial de las piezas o en forma paralela a una de estas y perpendicular a la otra. Las piezas en contacto se sueldan a lo largo de la línea de contacto o en el punto de tangencia. En todos estos tipos de uniones la superficie de junta puede ser plana o curvilínea.

Los tipos constructivos fundamentales de las uniones soldadas en la soldadura indirecta capilar son: a Tope (b), con solapa (a), con junta biselada (c) y osculatriz, (d); todos los demás son combinados. (Fig. 1.3)



#### 1.6.1 UNIONES CON SOLAPA, A TOPE Y CON JUNTA BISELADA DE LAS PIEZAS DONDE UNA CONTINÚA LA OTRA.

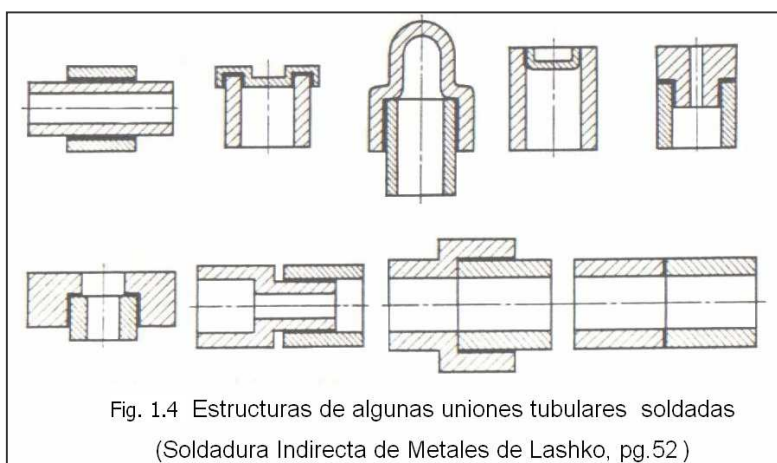
La unión mediante la soldadura indirecta de las piezas donde una continua la otra, obtiene una aplicación especialmente amplia.

La unión con junta biselada (que es transitoria entre la unión a tope y con solapa) se usa principalmente en los casos cuando se necesita aumentar la resistencia mecánica de la costura en la junta; esta es más resistente que la unión a tope, debido a una superficie mayor de la costura, pero su tecnología es complicada y por eso se usa rara vez.

En los artículos que durante el proceso de fabricación, después de la soldadura indirecta, se someten al encurvamiento o estampado, o que trabajan bajo altas cargas estáticas, así como en las condiciones de cargas de impacto o de una vibración fuerte, como regla, no se recomienda hacer las costuras soldadas a tope.

Las costuras obtenidas mediante la soldadura indirecta pueden ser cerradas y abiertas. Entre las uniones tubulares con costura cerrada las más empleadas son las telescópicas que sirven para ensamblar entre sí los tubos con diámetros diferentes, colocando la superficie interior del tubo con mayor diámetro sobre la superficie exterior del tubo con menor diámetro.

Las uniones con costuras soldadas abiertas, en las cuales la parte fundamental de la superficie de la junta es plana, se llaman laminares.



La unión con junta biselada por lo general se usa en la soldadura indirecta de tubos y chapas con espesor mayor que 1mm, así como en la soldadura indirecta de las paredes laterales en los recipientes con fondos positivos.

La longitud de la solapa en función del espesor de la chapa viene a continuación:

Espesor de la chapa, en mm. . . . .	1 - 1,5	2 - 3	3.5 - 5	5 - 8	8.5 - 13
Solapa, en mm. . . . .	10	15	20	25	30

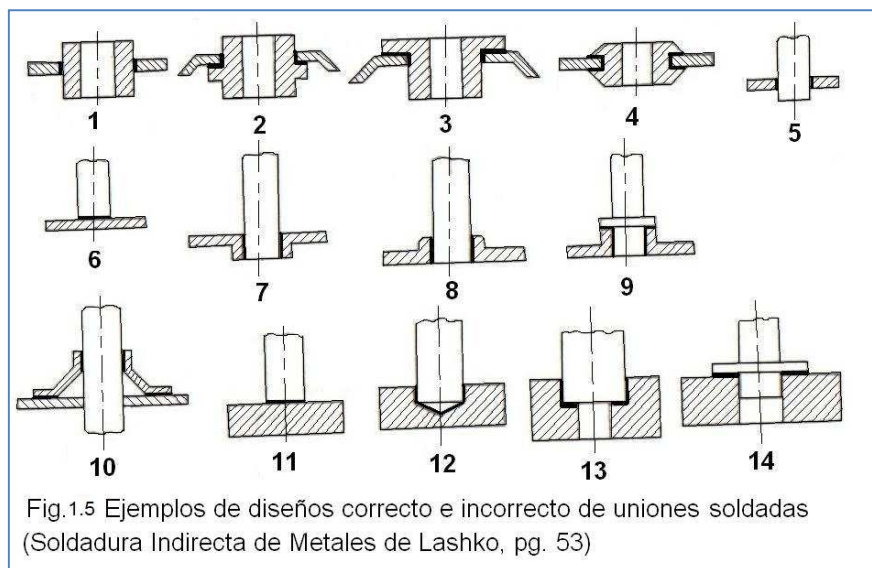
En la práctica las uniones soldadas telescópicas son las que obtuvieron mayor aplicación (uniones de bridas o casquillos con tubos, casquillos con vástagos, tubos con tapón, compensadores, etc.). Al realizar las uniones tubulares es conveniente evitar las uniones soldadas a tope. Se recomienda la soldadura Indirecta como solapa, pues permite aumentar la resistencia mecánica de la unión y aprovechar entalladuras para reducir la concentración de tensiones, sobre todo en caso de cargas de impacto. (Fig. 1.4).

#### 1.6.2 UNIONES EN ÁNGULO Y EN T DE LAS PIEZAS QUE SE CRUZAN.

Las uniones en ángulo y en T se usan relativamente poco. La resistencia mecánica de estas uniones depende en gran medida de la plasticidad que tiene la costura soldada, del modulo de elasticidad del metal a soldar y de la forma que toma la superficie de costura. Si la costura soldada tiene alta plasticidad y el metal a soldar un modulo relativamente pequeño de elasticidad, un pie de soldadura suficientemente reforzado en la costura soldada en tales uniones contribuye a la redistribución favorable de en la soldadura indirecta de las uniones en T y en ángulo la resistencia mecánica crece al aumentar el área de costura. Las uniones de los tipos 1,2, 5 y 6 son poco resistentes y se usan rara vez. Las uniones del tipo 1 se emplean, por ejemplo, en radiadores de aletas y estructuras de panel.

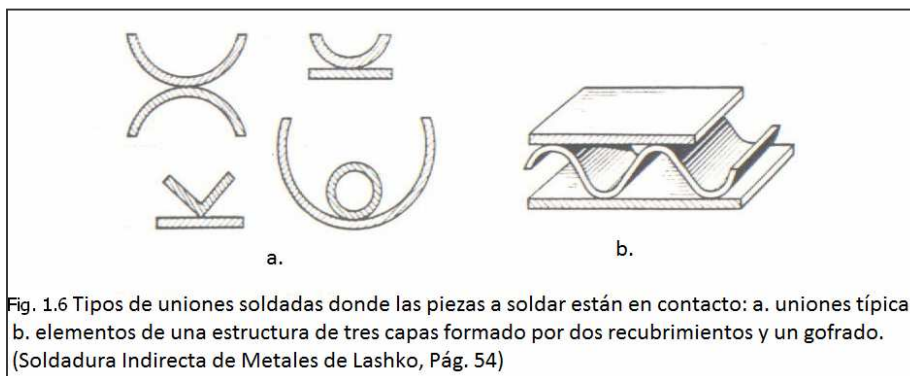
Las uniones 3, 4, 7 y 11 son más resistentes, puesto que sus costuras tienen mayor superficie.

En la soldadura indirecta de tubos o barras cruzadas por chapas o placas las uniones 1, 5, 6 y 11 (fig. 1.5), tienen baja resistencia mecánica. Las uniones de este tipo con mayor área de la costura soldada y por eso más resistentes, se muestran en los croquis 2-4; 7-10; 12-14.



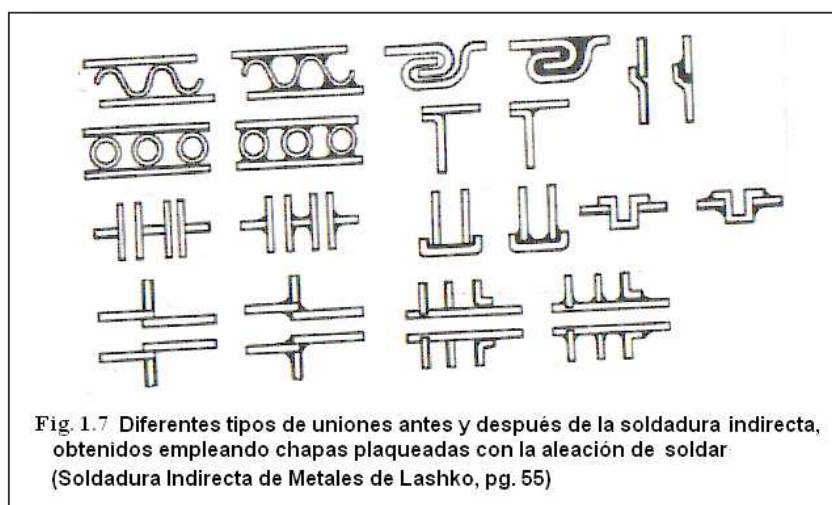
### 1.6.3 UNIÓN DE LAS PIEZAS OSCULATRICES

En las uniones de tipos examinados anteriormente la holgura entre las superficies que se unen permanece prácticamente constante. Si las piezas a soldar contactan por una línea o en un punto, la holgura en distintos sitios es desigual y varía desde capilar y en aumento (figs. 1.6 y 1.7). La holgura se llena solamente en su parte capilar, formando el pie de soldadura de la costura al pasar a la parte no capilar.



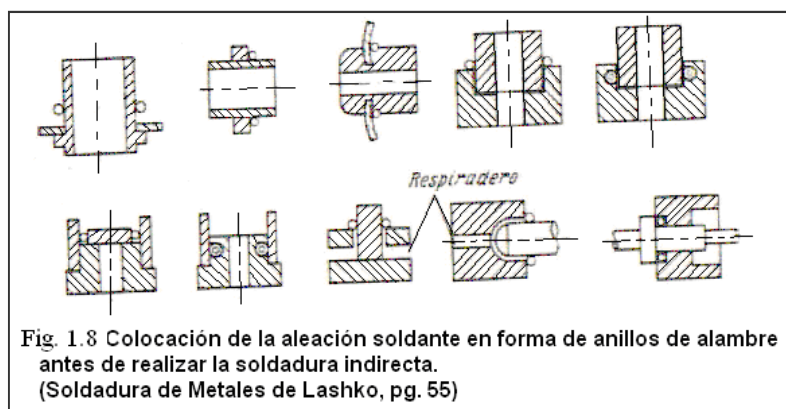


Estas uniones son admisibles al diseñar artículos cuyas costuras trabajan bajo condiciones de compresión o cuando las cargas aplicadas no son grandes.



### 1.7 DISPOSICIÓN DE LA LIGA ANTES DE LA SOLDADURA INDIRECTA.

Al realizar la soldadura indirecta a mano la liga se suministra, por lo general, en forma de barra o alambre. En muchos casos, sobre todo al realizar la soldadura indirecta en horno, al calentar por inducción, en baños, etc., la aleación de soldar se coloca en el proceso de montaje. La disposición previa de esta, es uno de los factores esenciales que determinan la calidad de las uniones soldadas. Es conveniente en el proceso de montaje colocar la liga, teniendo en cuenta las particularidades constructivas del artículo a soldar, las formas de la liga y sus características tecnológicas.



Cuando la liga se pone sobre una pieza cilíndrica como brida, el anillo de liga es conveniente situarlo por arriba de la brida, puesto que al colocarlo cerca del borde la aleación de soldar a veces no penetra en la holgura, sino que se extiende por el borde (fig. 1.8).

Cuando la holgura tiene sección variable la aleación de soldar se coloca de tal modo que fluya desde la parte ancha de holgura a la estrecha, puesto que en caso contrario pueden quedar sectores sin llenar con la liga. La aleación de soldar se coloca de tal modo que al penetrar está en la holgura, el aire y el fundente salgan libremente, sin formar las llamadas almohadas de aire o las inclusiones de fundente.

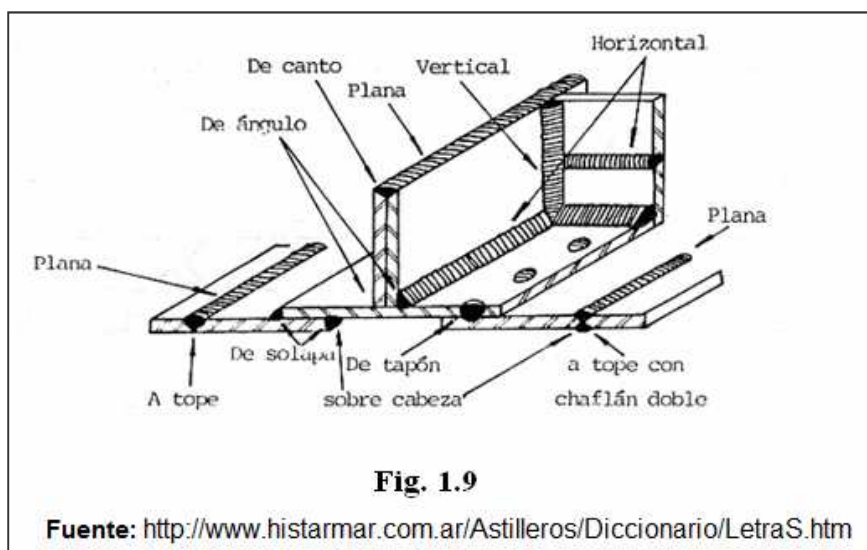
## 1.8 POSICIONES PARA SOLDAR

Hay cuatro posiciones básicas para soldar:

- Plana
- Vertical.
- Sobre cabeza
- Horizontal

Estas posiciones se usan para todos los procesos de soldadura, y son independientes del proceso que se use.

(Fig. 1.9).



**Soldadura plana**, el metal de la soldadura se deposita sobre el metal base. El metal base actúa como soporte.

**Soldadura vertical**, el metal base actúa como un soporte parcial solamente, y el metal que ya ha sido depositado debe usarse como ayuda. La soldadura vertical puede ejecutarse de dos maneras diferentes: Desde la parte de abajo de la unión hacia la parte superior llamada Superior vertical y de la parte superior de la unión hacia abajo llamada Bajada vertical.

**Soldadura sobre la cabeza**, el metal base sostiene ligeramente al metal de la soldadura depositado. Se experimentara poca dificultad en la soldadura vertical o sobre la cabeza, si el charco se conserva plano o poco profundo y no se permite que forme una gota grande.

**Soldadura horizontal**, como en la soldadura vertical, el metal base da sólo soporte parcial, y el metal de la soldadura que se deposita debe usarse como ayuda.

## 1.9 DEFINICIÓN DE LA CAPILARIDAD

Facilidad que tiene el liquidus de subir por poros o grietas muy pequeños y que se da en la base de los materiales soldados cuando no son recubiertos correctamente al momento de realizar un cordón de soldadura.

## 1.10 SOLDADURA INDIRECTA DE ACEROS Y SUS ALEACIONES

En la superficie de aceros, según sea su aleación, temperatura, medio y duración de calentamiento, se forman una o varias capas de óxidos que tienen composición y resistencia térmica diferentes.

El último óxido es estable a la temperatura por encima de 560° C y durante el enfriamiento se descompone en  $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_2\text{O}_4$ . La secuencia, composición y estructuras de los óxidos en distintos aceros se determinan por los procesos de mutua difusión del oxígeno a partir del medio gaseoso y de los elementos aleantes desde las capas interiores del acero hacia su superficie, así como por una zona amplia en la heterogeneidad de la estructura de los tipos de óxidos indicados anteriormente en relación con existencia de los óxidos isomorfos tipo  $\text{Me}_2\text{O}_3$  (Me-Fe, Ni, Co), tipo  $\text{Me}'\text{Me}_2\text{O}_3$  (Me'-Fe, Ni, Co; Me'-FE, Ni, Co, Cr, Ti, Al) y tipo MeO (Me-Fe, Ni, Co; Mn, Mg, Ti, etc.).

Las superficies de las piezas y de la aleación para soldar, pueden limpiarse antes de realizar la soldadura, mediante un procedimiento químico o mecánico utilizando escobillas metálicas, papel esmeril, muelas de rectificar, chorros de granalla o de arena. Las piezas sometidas al maquinado por corte con emulsión solo se desengrasan. Para producir en gran escala piezas de paredes finas, sus superficies se limpian de la película de óxidos mediante el decapado en soluciones acuosas de ácidos. Una solución acuosa para decapar los aceros tanto con bajo como alto contenido de carbono puede tener del 10 al 15% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

El proceso de tratamiento en semejante solución incluye el decapado, lavado en agua corriente caliente, neutralización en solución caliente de alcalí, lavado en agua caliente y el secado. Los compuestos de los baños para el decapado son:

- 1) Un volumen de ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (densidad 1.4); 3 volúmenes de ácido nítrico  $\text{HNO}_3$  (densidad 1.4); 50 g/l de fluoruro sódico NaF; el régimen de decapado es: temperatura de 17 a 28° C, duración de 5 a 20 min.
- 2) 85 g/l del ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; 215 g/l del ácido clorhídrico HCl; 10 g/l del ácido nítrico  $\text{HNO}_3$ ; régimen de decapado: temperatura de 50 a 70° C, duración de 5 a 10min, la solución de esta composición debe encontrarse en un recipiente cerámico.

- 3) 1 g/l del ácido clorhídrico; de 3<sup>a</sup> 5 g/l del inhibidor; de 1.5 a 2 g/l del cloruro sódico; régimen de decapado: temperatura de 17 a 28° C, duración de 10 a 30 min.

El proceso de decapado en las soluciones de los compuestos 1 y 3 se realiza en baños de acero revestidos con plástico vinílico. Los compuestos 1 y 2 se usan para decapar, antes de soldar, acero de aleación rica, cuya superficie está cubierta con una capa gruesa de óxidos. La solución del compuesto 3 se usa para decapar, antes de someter a la soldadura, el acero al carbono cubierto con costra y herrumbre.

Después de decapar en la solución 3 se realiza el lavado en agua caliente a la temperatura de 50 a 70 ° C, durante 30 o 40 s, la clarificación en una solución de ácido nítrico HNO<sub>3</sub> (de 350) a 400 g/l) y de ácido fluorhídrico HF ( de 4 a 5 ml/l) a la temperatura de 17 a 28° C, durante 10 o 20 s. luego se lava en agua caliente a la temperatura de 50 a 70° C durante 30 o 40 s y se seca en un armario secador a la temperatura de 80 a 100° C durante 20 o 30 min.

Una importancia sustancial tienen el grado de lisura de la superficie al colocar la aleación soldante cerca de la holgura; la superficie debe tener los siguientes parámetros de rugosidad: Ra = 2.5 – 0.63μ; Rz = 20 - 10 μ; la dirección de las rayas debe ser la misma que la de entrada de la aleación soldante.

Cuando esta se ubica en la holgura la rugosidad de la superficie no tiene gran importancia y puede corresponder a una clase más baja. Las piezas preparadas para la soldadura se guardan en un local seco al a temperatura no inferior a 16° C durante un plazo no mayor a 48h, después de los cuales necesario de nuevo limpiar la superficie del acero.

Los artículos de acero se montan adecuadamente con la holgura requerida determinada según sea la composición de la aleación soldante y el procedimiento de soldadura de acuerdo al calentamiento. Según el grado de actividad de los fundentes usados en soldadura indirecta para aceros de carbono, se pueden

situar en las series siguientes: JIK2, JITN120, solución acuosa de  $ZnCl_2$ , 368H, 10, prima II. Al soldar estos aceros los más activos son los fundentes 10 y prima II.

Para mejorar la calidad en las uniones soldadas de aceros al carbono y pobres de este, las superficies de piezas a unir se someten varias veces a estañadura previa, utilizando solución acuosa de cloruro de zinc, después se elimina este lavándolo cuidadosamente los residuos del fundente. Los artículos se sueldan con fundentes cuyos residuos no provocan considerable corrosión.

Las piezas de grandes dimensiones estañadas se sueldan calentándolas interrumpidamente con soldadores de gas, o sopletes oxhídricos; como fundente al soldar en la llama de soplete se usa trietanolamina; se considera que los residuos de trietanolamina no provocan corrosión en las uniones soldadas. Lo que se refiere a aleaciones para soldar se emplean estaño y aleaciones estaño plomo.

Al recalentar la aleación soldante en  $100^{\circ} C$  por encima de la temperatura del liquidus, la resistencia mecánica de las uniones a tope.

Las uniones soldadas de aceros, obtenidas mediante cobre, aleaciones cobre-cinc y cobre-plata tienen una resistencia mecánica más elevada (a excepción de las uniones con ligas que contienen una cantidad considerable de fósforo). Las costuras de uniones que se obtienen con cobre, plata técnica, latón son más resistentes que los propios metales de aportación iniciales. Así por ejemplo, el límite de rotura de una unión entre piezas de acero, soldada por medio de cobre en una atmósfera inerte es  $35 \text{ kgf/mm}^2$  y en algunos casos,  $40 \text{ kgf/mm}^2$ .

El límite de rotura de una unión entre piezas de acero, soldada mediante proceso técnico, es  $34 \text{ kgf/mm}^2$ , mientras que la resistencia mecánica de la plata es igual a  $16 \text{ kgf/mm}^2$ . El límite de rotura de una unión del acero al 0.6% de C, soldada en la llama de gas mediante latón (52% de Cu, 45% de Zn) varía dentro de los límites desde 26.6 hasta  $49 \text{ kgf/mm}^2$  a medida que cambia la holgura desde 2 hasta 0.2 mm.

## CAPITULO II

### SOLDADURA FUERTE O BRAZING

#### 2.1 DEFINICIÓN

Soldadura fuerte (conocida con la palabra inglesa "brazing") es el proceso de unir dos metales mediante el calentamiento a la temperatura de fusión del metal de aporte que promueve que la temperatura de fusión del metal base está por encima de los 450° C (840° F), utilizando en el metal de aporte de una varilla metálica el cual es distribuido entre las superficies apretadas de la junta por medio de acción capilar.

La soldadura fuerte se aplica en metal de aporte en estado líquido, pero este metal, por lo regular no ferroso, tiene su punto de fusión superior a los 430° C y menor que la

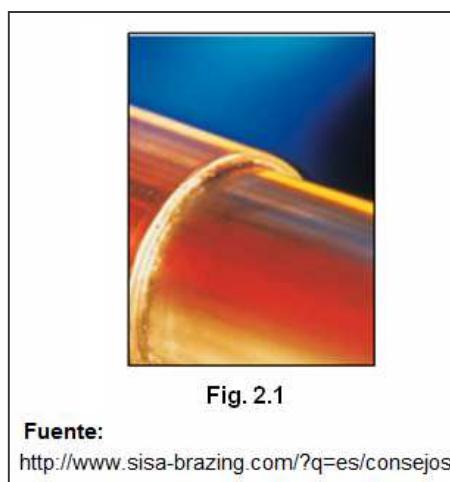


Fig. 2.1

Fuente:

<http://www.sisa-brazing.com/?q=es/consejos>

temperatura de fusión del metal base. Por lo regular se requiere de fundentes especiales para remover los óxidos de las superficies a unir y aumentar la fluidez al metal de aporte. Algunos de los metales de aporte son aleaciones de cobre, aluminio o plata (Fig. 2.1).

A continuación se presentan algunas de las aleaciones más utilizadas para las soldaduras fuertes:

1. Cobre. Su punto de fusión es de 1083° C.
2. Bronces y latones con punto de fusión entre los 870 y 1100° C.
3. Aleaciones de plata con temperaturas de fusión entre 630 y 845° C.
4. Aleaciones de aluminio con temperatura de fusión entre 570 y 640° C

## 2.2. SOLDADURA FUERTE POR CAPILARIDAD

La unión se produce por la combinación de tres efectos:

**HUMECTACIÓN:** Es la capacidad de un líquido para mojar un sólido, que le permite fluir sobre él y formar una película. Para facilitar la comprensión, podemos compararlo con el fenómeno que permite que una fina película de agua quede adherida a la superficie de un vidrio cuando se escurre una gota. En la soldadura fuerte, este efecto se identifica como la fluidez del metal de aporte sobre las superficies calientes.

**CAPILARIDAD:** Es un conjunto de fenómenos físicos que ejerce presión sobre los líquidos y hace que penetren entre dos superficies muy próximas entre sí. En la soldadura fuerte, la capilaridad hace que el metal de aporte llene la holgura entre las piezas a unir. Esta holgura debe ser, como máximo, de 0,05 mm para la soldadura fuerte en hornos de atmósfera controlada, y de 0,05 a 0,20 mm para la soldadura fuerte en horno de atmósfera no controlada.

**DIFUSIÓN MOLECULAR:** Es un proceso espontáneo de transporte de moléculas del sistema cristalino de un material al otro. Al calentarse, las moléculas del material base se distancian y el metal de aporte en estado líquido penetra entre ellas. Al enfriarse, las moléculas se atraen y contraen el metal de aporte, produciendo la adhesión entre el metal base y el metal de aporte.

Hay dos reglas que es necesario respetar categóricamente.

Utilice la soldadura adaptada al esfuerzo de las piezas a unir con el material de aportación correspondiente y el desoxidante del metal que necesite.

Caliente el metal a la temperatura adecuada:

630°C para la soldadura a la plata.

820°C para la soldadura al cobre.



### 2.3. EL PROCESO DE SOLDADURA FUERTE

Es sin duda, uno de los métodos más versátiles, seguros, fáciles y de bajo costo para unir metales hoy en día. Las uniones con brazing son fuertes, en metales no ferríticos y aceros, la fuerza tensil de una soldadura, apropiadamente hecha, muchas veces supera la de los metales bases, son dúctiles, considerablemente fáciles y rápidas de hacer y cuando son hechas debidamente, prácticamente no hay necesidad de usar esmeril, rellenar o usar cualquier acabado mecánico. La Soldadura Fuerte (Brazing) se realiza a bajas temperaturas, reduciendo la posibilidad de deformaciones, sobrecalentamientos, o diluir a los metales a ser soldados, además, es económico y altamente adaptable a métodos de automatización.

La Soldadura Fuerte (Brazing) suelda los metales creando una unión metalúrgica entre el metal de aporte y la superficie de los dos metales a ser soldados, el principio por el cual el material de aporte es conducido por las hendiduras y cavidades de la junta para crear esta unión es conocido como **Acción Capilar**.

### 2.4. ACCIÓN CAPILAR

El Flujo Capilar es el principio físico dominante que garantiza una buena unión por soldadura fuerte en todos los casos en que el metal de aporte fundido moja ambas superficies de empalme. La unión deberá espaciarse de modo que permita una acción capilar eficiente y la resultante coalescencia. En términos más específicos, la capilaridad es un resultado de la tensión superficial entre el o los metales base y el metal de aporte, protegido por un fundente, y promovido por el ángulo de contacto entre el metal base y el metal de aporte.

El flujo del metal de aporte en soldadura fuerte influyen consideraciones dinámicas que atañen la fluidez, la viscosidad, la presión de vapor, la gravedad y sobre todo los efectos de las reacciones metalúrgicas entre el metal de aporte y el metal base.

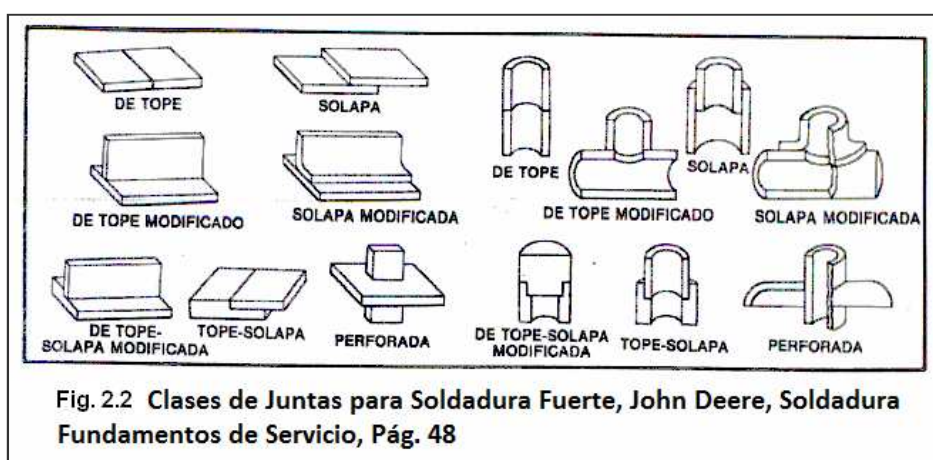
## 2.5. CLASES DE JUNTAS PARA SOLDADURA FUERTE

La forma de la junta que se usa en la soldadura fuerte es un factor importante para determinar la carga máxima que puede soportar, sin hallar fracturas o deformación.

Las dos juntas básicas para soldadura fuerte son (Fig. 2.2):

Junta a Traslape.

Junta de Tope.



### 2.5.1. JUNTA A TOPE

La Junta a tope tiene la ventaja de un solo espesor en ella. La preparación es sencilla y la unión tiene suficiente resistencia para muchas aplicaciones. Pero, la resistencia de cualquier unión depende, en parte, de la zona disponible para el ligado y, en la unión a tope, esta zona y la resistencia máxima de la unión la determina el componente más delgado de ella; una desventaja de la unión a tope es que casi toda la carga se trasmite en forma de esfuerzos de tracción que, como se menciona, no es deseable. Por tanto, la unión a tope solo se debe emplear cuando el espesor es un factor crítico y la resistencia es secundaria.

### 2.5.2 JUNTA TRASLAPADA

La unión traslapada tiene espesor doble en la unión, pero la carga se transmite como esfuerzo cortante; lo cual es deseable. Como regla empírica, un traslapeo de, cuando menos, tres veces el espesor del componente más delgado, produce una unión de máxima eficiencia.

La resistencia es solo una de las razones por las cuales la mayoría de las uniones con soldadura fuerte son del tipo traslapado. Estas uniones son fáciles de diseñar para que traslapen por sí solas o sean de auto alineación en el caso de tubos.

Además, el material de aporte colocado previamente se puede sujetar mejor en su lugar en esta unión. Las variantes de las dos uniones básicas son la de escuadra a tope y la unión biselada. En la primera se trata de combinar la ventaja de un solo espesor con una zona de ligado y resistencia máxima.

### 2.5.3 JUNTAS BISELADAS

La unión biselada se hace en intento por aumentar el área transversal de la unión sin aumentar su espesor. Al poner a tope las superficies en ángulo, se aumenta la zona efectiva de unión. Estas uniones son difíciles de preparar y más difícil todavía de alinear, en particular con componentes delgados. También se pueden lograr muchas otras variaciones para piezas de configuración especial.

La distancia entre las caras de las piezas, es un factor importante en el rendimiento de una junta de soldadura fuerte, sea que la junta esté sujeta a cargas de fatiga, impacto, o cargas estáticas. Una junta demasiado apretada puede que impida el flujo plástico del metal de relleno, mientras que un despejo demasiado grande puede que impida los plenos efectos de la acción capilar, dejando vacíos y distribución desigual del relleno. En general, el despejo de la junta deberá ser de entre **0.025 y 0.25 mm**.

## 2.6 DISEÑO DE LA UNIÓN

El diseño de una unión para soldar cualquier pieza, se debe de tomar en cuenta la concentración de cargas, elevadores de esfuerzos, cargas estáticas y dinámicas y fatiga que se aplica a las piezas maquinadas o fabricadas. Pero, el diseño de la unión requiere algunas consideraciones debidas a la naturaleza del proceso de unión:

*Composición y resistencia del metal de aporte.* La resistencia total del metal de aporte es menor que la de los metales de base y, por tanto se necesita una unión bien diseñada para obtener la resistencia mecánica adecuada.

*Atracción capilar.* Dado que la soldadura fuerte depende de la atracción capilar para distribuir el metal de aporte fundido, el espacio libre en la unión es un factor crítico en el proceso.

*Desplazamiento del fundente y aire.* No solo es necesario que el metal de aporte penetre en la unión, pues también hay que desplazar el fundente y el aire desde ella. Este requisito influye en el diseño y tolerancias en la unión.

*Tipo de esfuerzo.* Por lo común, se prefiere que cualquier carga en la unión con soldadura fuerte se transmita como esfuerzo cortante en vez de esfuerzo de tracción o tensión. Los diferentes estilos de uniones someten a la película de aleación y, por ello, alteran su comportamiento con los esfuerzos. Estos esfuerzos suelen ser de tensión en la unión a tope, cortante en la unión traslapada y de tensión o cortantes en la unión biselada.

*Composición y resistencia de los metales base.* En una unión hecha según las recomendaciones en metales de alta resistencia, la película de metal de aporte puede ser más fuerte que la aleación. La rigidez a la falta de cadencia de los componentes de la unión confina a la película de aleación entre ellos, con lo cual la película tiene propiedades distintas a las de la aleación. Por ello, es posible que

las uniones de tipo idéntico tengan mayor resistencia en los metales de base de alta resistencia que en los de menor resistencia.

Para obtener buenos resultados es esencial la limpieza y la colocación correcta de las partes del ensamble, la eliminación de óxido, mugre, grasa, humedad y aceite, para lograr una buena cohesión y penetración del material de aporte de la soldadura. Los procesos de limpieza que se utilizan comúnmente son: ácidos, disolventes, desengrasado a vapor, cepillado mecánico, esmerilado, limpieza a chorro de arena.

## 2.7. HOLGURA DE LA UNIÓN

La consideración más importante de diseño para lograr una buena soldadura es la holgura o separación en la unión entre las piezas que se van a unir. La holgura de la unión influye en el comportamiento mecánico de la unión soldada en varias formas:

- El efecto puramente mecánico de la restricción a la fluencia plástica del metal de aporte que presenta la resistencia más alta del metal base.
- La posibilidad de que quede atrapada la escoria, que reduce la calidad de la unión.
- La posibilidad de huecos.
- La relación entre el espesor de la unión y la fuerza capilar, que ocasiona la distribución del metal de aporte.

La holgura correcta para una unión hecha con soldadura fuerte depende del tipo de fundente, el acabado de superficie de las piezas, la interacción entre el metal base y el de aporte, del metal base, del metal de aporte y el tipo de proceso que se empleara. En general, la holgura mínima posible producirá una unión más fuerte. La holgura ideal para trabajo de producción es de 0.002 a 0.005 de pulgada; cuando se utiliza metal de aporte con aleación de plata se pueden tener holguras hasta de 0.006 a 0.008 de pulgada. Pero, algunos metales requieren un

ajuste de interferencia, mientras que otros necesitan una holgura hasta de 0.010 de pulgada.

Un factor que complica el diseño de la unión, es que la holgura debe ser la correcta a la temperatura para soldar. Aunque esto es fácil de lograr con metales de base iguales, los metales con diferentes coeficientes de expansión pueden ocasionar complicaciones; se debe de mantener la holgura permitida durante todo el proceso de soldadura fuerte. Esto se logra fácilmente con piezas de metales iguales, en los que se puede emplear ajuste a presión o deslizable. En algunos conjuntos, puede ser deseable utilizar alambres espaciadores, marcas con punzón de centrar, limpieza con chorro de abrasivo u otro sistema para tener seguridad de que se mantiene la holgura correcta para una optima acción capilar.

Otro factor importante al diseñar la unión es como se introducirá el metal de aporte en la unión. En la mayoría de la soldadura manual, el metal de aporte se coloca en la cara y solo se necesita tener un punto accesible para su aplicación.

En la soldadura fuerte en horno y otros métodos para alta producción, a menudo se coloca primero el metal de aporte y puede incluir algún equipo alimentador automático. Se necesita alguna preparación para colocar la preforma y la pasta y fijarlas en su lugar. En general, la carga en una unión exige las mismas consideraciones de diseño en una unión o un cambio en la sección transversal. A este respecto, cualquier diseño de unión que cambie la concentración de esfuerzos grandes de la unión al metal base, es un buen diseño. Se deben tener en cuenta los requisitos particulares del servicio a que se someterá la unión y se puede dividir en cuatro categorías básicas:

La resistencia mecánica, se logra en holguras pequeñas, superficies paralelas, uniones traslapadas y con cualquier método que impida alta concentración de esfuerzos en la zona soldada. Una unión bien diseñada no debe aumentar en forma apreciable la resistencia en un circuito eléctrico, aunque el metal base sea cobre.

Conductividad Eléctrica: Los metales de aporte, por lo común, tienen muy baja conductividad eléctrica en comparación con el cobre y se emplea tan poco metal de aporte que su influencia es insignificante. Las holguras pequeñas y una zona grande de soldadura ayudan a mantener buena conductividad eléctrica.

La hermeticidad a las presiones requiere uniones traslapadas y tolerancias precisas para maximizar la resistencia física y reducir la posibilidad de huecos, que podrían permitir fugas.

Resistencia a la Corrosión: Un requisito esencial para una unión resistente a la corrosión es que solo este descubierta una parte mínima del metal de aporte; por ello, la holgura debe ser pequeña. Cuando se usan metales de aporte que contengan plata u otros metales nobles, la resistencia a la corrosión de la soldadura será mejor que la del metal base.

## 2.8 PREPARACIÓN DE LAS PARTES PARA SU UNIÓN

La preparación de las partes para su unión se caracteriza en que aseguran que al ser ensambladas permanecerán en la posición correcta durante todo el ciclo de soldadura, sin ayuda de dispositivos auxiliares. A continuación se indican algunos métodos:

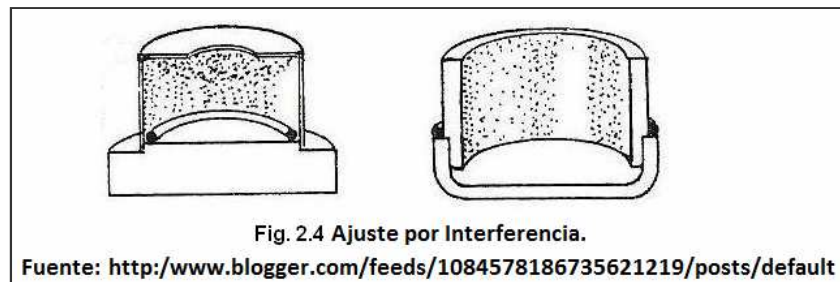
### 2.8.1 Colocación por gravedad

Es el método más sencillo para ensamblar dos componentes. La desventaja es el medio confiable para orientar los componentes, para lograr que no se muevan uno en relación del otro es muy utilizado cuando el componente superior es relativamente pesado. (Fig. 2.3).



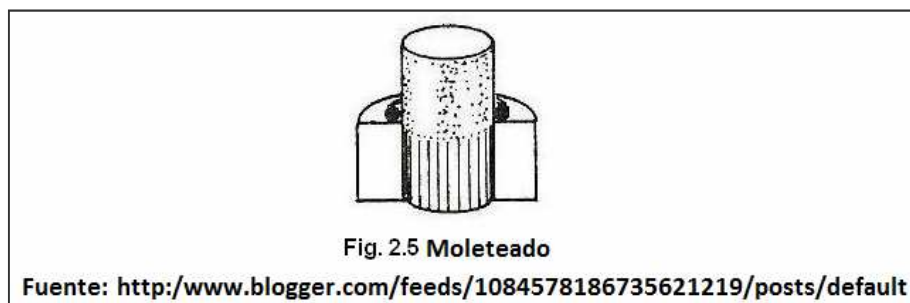
### 2.8.2 Ajuste por interferencia

Se requiere de la dilatación o la contracción de las superficies empatantes de los componentes. El grado de interferencia rara vez excede 0.001 pulgada por pulgada de diámetro. Sin embargo la mayoría de los ajustes requieren una fuerza considerable para lograr el ensamble, esta fuerza es suministrada por una prensa de columna o una herramienta similar. (Fig. 2.4).



### 2.8.3 Moleteado

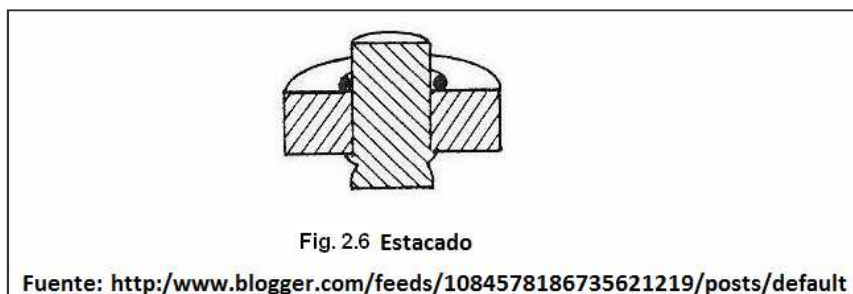
Haciendo un Moleteado al extremo del miembro macho se logran corregir algunos errores para obtener uniformidad entre las juntas unidas por soldadura fuerte. (Fig. 2.5).





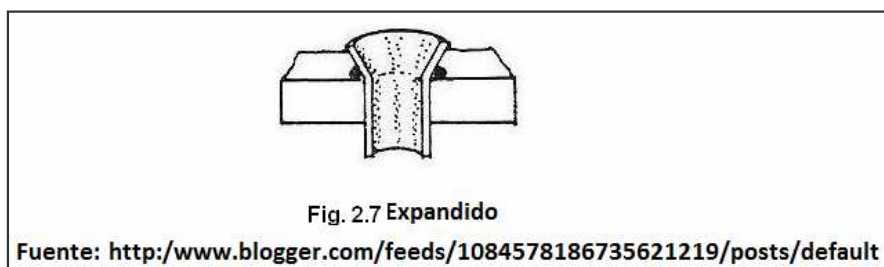
### 2.8.4 Estacado

Este método se utiliza comúnmente para mantener la orientación de ensamblajes tales como levas, palancas y engranajes. (Fig. 2.6).



### 2.8.5. Expansión

Se usa para el ensamble de tubos a las láminas con tubos. Pueden colocarse sobre el tubo anillos de metal de aporte para soldar antes o después de la operación de expansión, también puede colocarse una guía en la herramienta de expansión que se proyecte a la parte inferior del tubo soportando la pared de este para evitar deformaciones. (Fig. 2.7).



### 2.8.6. Engargolado

Cuando el diámetro de un agujero no puede alterarse durante el ensamble, puede asegurarse firmemente por engargolado. Este método se usa en las partes de diversos tipos de ensamblajes para maquinas de oficina, muchas de las cuales se ensamblan previamente por taladrado cruzado y abocinado de los cubos. (Fig. 2.8).

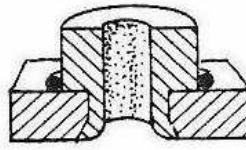


Fig. 2.8 Engargolado por rotación

Fuente: <http://www.blogger.com/feeds/1084578186735621219/posts/default>

### 2.8.7. Recalcado

Cuando no es necesario mantener mucha exactitud en el diámetro del agujero y cuando puede tolerarse la saliente en la brida. La ventaja principal es que no se tiene que mantener tolerancia estrecha por que la operación fuerza los componentes a un contacto íntimo. (Fig. 2.9).

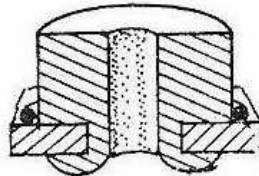


Fig. 2.9 Recalcado

Fuente: <http://www.blogger.com/feeds/1084578186735621219/posts/default>

### 2.8.8 Acodillado

Se emplea un ensamble de este tipo colocándolo parado en el horno de manera que el material de aporte fluya hacia abajo a través de las juntas. Si el diámetro del tubo es de dos pulgadas o más, el material de aporte y las superficies de acero adyacentes deben recubrirse con pasta en polvo de cobre, que se endurece evitando que el aporte cuelgue alejándose de la junta, la pasta también sirve como suministro adicional de material de aporte (fig. 2.10).

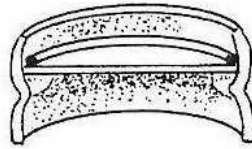


Fig. 2.10 Acodillado

Fuente: <http://www.blogger.com/feeds/1084578186735621219/posts/default>

### 2.8.9. Unión por Rosca

Se utiliza para ensamblar componentes de porta punzones de repuesto para los juegos de dados que se emplean en las prensas punzonadoras. Se requiere hacer taladrado y machuelado, este método está limitado a la producción de cantidades pequeñas. (fig. 2.11).

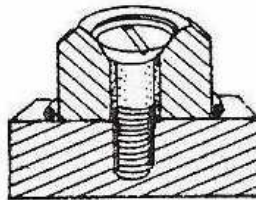


Fig. 2.11 Unión por Rosca

Fuente: <http://www.blogger.com/feeds/1084578186735621219/posts/default>

### 2.8.10. Remachado

Modificación de los métodos de engargolado y recalado que emplean un remache como parte de ensamble. La combinación del remachado y la soldadura fuerte con cobre prolonga la vida de servicio del ensamble. (Fig. 2.12).

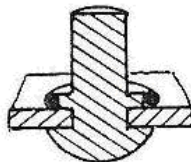


Fig. 2.12 Remachado

Fuente: <http://www.blogger.com/feeds/1084578186735621219/posts/default>

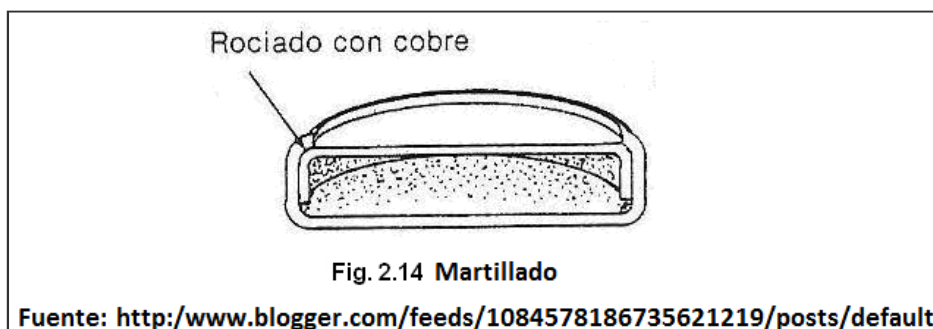
### 2.8.11. Plegado

Este método se aplica en la manufactura de tubos o de conjuntos tubulares unidos por soldadura fuerte, el cobre se utiliza como material de aporte y la acción capilar arrastra el metal de aporte a todas las partes de la junta. (Fig. 2.13).



### 2.8.12. Martillado

Los componentes estampados se juntan a presión y el casco exterior se repliega con un martillo de aire a lo largo de su periferia. Para aplicar el material de aporte puede rociarse cobre fundido sobre las entre caras de la junta con un aplicador de rociado oxiacetilénico antes de ensamblar. (Fig. 2.14).



## 2.9 METALES DE RELLENO PARA SOLDADURA FUERTE

Un metal de relleno para soldadura fuerte deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

1. Suficiente fluidez para que el metal fluya uniformemente por acción capilar.
2. Derretimiento bueno para formar una liga sólida de los metales.
3. Punto de derretimiento consistente con el tipo del metal por unir.

Los metales de relleno para soldadura fuerte caben en siete grupos:

1. Plata
2. Aluminio – Silicio
3. Cobre – Fósforo
4. Oro
5. Cobre y Cobre – Zinc
6. Magnesio
7. Níquel

## 2.10 FUNDENTES

La elección del fundente es importante como la elección del material de aporte. (Fig. 2.15).

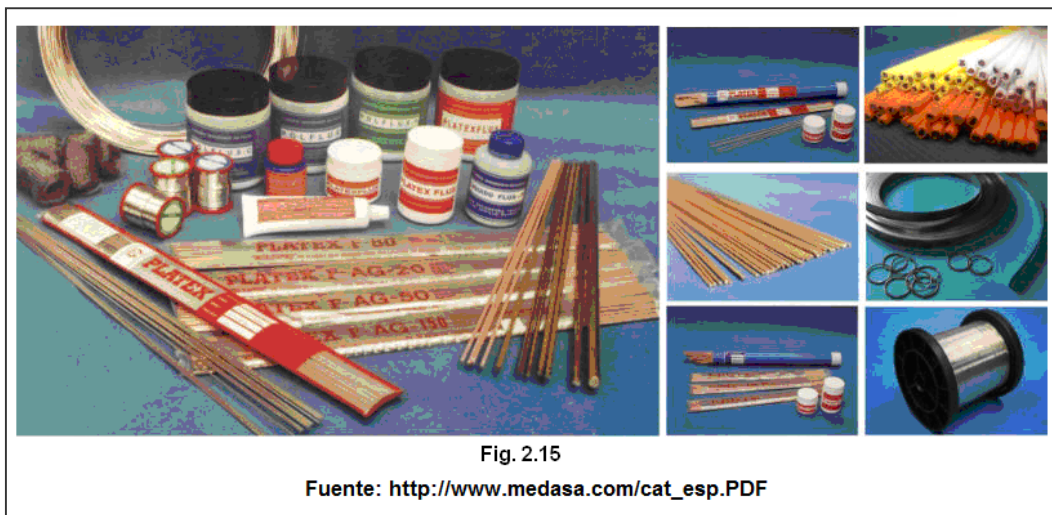


Fig. 2.15

Fuente: [http://www.medasa.com/cat\\_esp.PDF](http://www.medasa.com/cat_esp.PDF)

Utilizar un fundente incorrecto o una técnica de aplicación pobre, puede tener un dramático efecto en la calidad de la unión. El calentamiento de la superficie de un metal acelera la formación de óxidos, que son el resultado de una reacción química entre el metal caliente y el oxígeno del aire. Esos óxidos han de eliminarse o evitarán el mojado y la unión de las superficies.

Cuando el material de aporte funde, desplaza al fundente ya que la atracción entre el metal base y el de aportación es mayor que entre el fundente y el metal base. Si las superficies que están siendo soldadas se oxidan debido a la falta de fundente o a un fundente inadecuado, el fundente saturado de óxidos aumenta su viscosidad y no puede ser completamente desplazado por el material de aporte. Este es un nuevo caso de discontinuidad en la unión, y se conoce con el nombre de **flux** atrapado.

FLUX (Desoxidante). El desoxidante para soldadura evita que se oxiden las piezas que se van a soldar.

En algunos de los materiales de aportación, el desoxidante está incorporado. Existen diferentes tipos de desoxidantes dependiendo del tipo de soldadura y del material a soldar.

### 2.10.1. COMPOSICIÓN DE UN FUNDENTE

La composición de un fundente depende del material básico, material de soldar y del uso a que vaya destinado el artículo. Actualmente se hallan a la venta más de 300 tipos distintos de fundentes, todos los cuales contienen sustancias químicas agresivas. El fundente básicamente, proporciona un escudo que evita la formación de óxidos, absorbiéndolos durante el calentamiento. Por tanto, deberá cumplir las siguientes funciones:

1. Fundir y llegar a estar activo por debajo del punto de fusión del material de aporte. Los fundentes basados en el boro no funden a bajas temperaturas con materiales de aporte con base de plata por lo que deben ser utilizados fundentes basados en fluoruro, del tipo Easyflo.
2. Debe ser capaz de disolver y eliminar los óxidos de la superficie del metal, además de proteger las superficies de los metales base de nuevas oxidaciones. Al suprimirse los productos de oxidación permite que el material de aporte moje con mayor eficacia el material base.
3. El fundente debe permanecer activo a la temperatura de soldeo y durante el tiempo suficiente como para permitir que la operación de soldadura pueda ser llevada a cabo adecuadamente, favoreciendo además el mojado del metal base por parte de la aleación.

Los fundentes son compuestos químicos que alcanzan un punto donde se saturan, son incapaces de disolver más óxidos, sus residuos toman una apariencia ennegrecida y acristalada, quedando el fundente exhausto. Las superficies de trabajo quedaran oxidadas y la limpieza posterior de la zona será mucho más difícil. Los fundentes se diseñan solamente para eliminar las películas

de óxidos producidas durante la soldadura, cualquier otro contaminante como grasa, polvo, debe ser eliminado con anterioridad.

Los fundentes más comúnmente utilizados son:

Se especifica para aplicaciones que utilizan cobre, latón, aceros poco aleados e inoxidables siempre que la temperatura de soldadura fuerte (brazing) sea inferior a 700°.

<b>FUNDENTE</b>	<b>RANGO DE ACTIVIDAD (*)</b>
Easyflo	550 – 800 °C

Esta recomendado para aceros inoxidables soldados con aleaciones base plata y que tengan un liquidus de 725° C, su mayor contenido en flúor aumenta su actividad en la disolución de óxidos.

<b>FUNDENTE</b>	<b>RANGO DE ACTIVIDAD (*)</b>
Easyflo <i>Stainless Steel Grade</i>	<b>550-775° C</b>

Se recomienda para aceros inoxidables que requieran temperaturas de soldadura por encima de 700° C o en materiales de cobre donde el calor aplicado sea prolongado.

<b>FUNDENTE</b>	<b>RANGO DE ACTIVIDAD (*)</b>
<b>Tenacity No 5</b>	<b>600-900° C</b>

El fundente no constituye una parte de la junta soldada. Los fundentes para este tipo de soldadura fuerte pueden dividirse en cuatro grupos:

- El tipo de cloruro o ácido
- El tipo orgánico
- El tipo de colofonia o de resina
- Los fundentes para aluminio.

---

(\*) El primer número del rango es la temperatura a la que el fundente es capaz de eliminar los óxidos del metal, el último es la máxima temperatura a la que el fundente permanecerá activo durante un tiempo determinado que depende de los parámetros de calentamiento.



Los fundentes comerciales comunes vienen en forma de pasta, líquido, o polvo (Tabla 2.1).

Tabla 2.1

FUNDENTES PARA SOLDADURA DE BAJO PUNTO DE FUSION PARA VARIOS METALES				
REQUISITOS DEL FUNDENTE				
METAL DE BASE, ALEACION, O ACABADO APLICADO	NO CORROSIVO	CORROSIVO	FUNDENTE Y/O SOLDADURA ESPECIAL	NO SE RECOMIENDA LA SOLDADURA DE BAJO PUNTO DE FUSION
Acero		X		
Acero inoxidable			X	
Aluminio			X	
Berilio				X
Bronce al aluminio			X	
Bronce al manganeso (de alta resistencia a la tensión)				X
Bronce al estaño	X	X		
Cadmio	X	X		
Cobre	X	X		
Cobre al berilio		X		
Cobre al silicio		X		
Cromo				X
Cromo-cobre		X		
Estaño	X	X		
Estaño-níquel	X	X		
Estaño-plomo	X	X		
Estaño-zinc	X	X		
Hierro fundido			X	
Inconel			X	
Latón	X	X		
Magnesio			X	
Monel		X		
Nicrom			X	
Níquel		X		
Níquel-cobre		X		
Oro	X			
Paladio	X			
Piezas de zinc vaciadas en matrices			X	
Plata	X	X		
Platino	X			
Plomo	X	X		
Rodio		X		
Titanio				X
Zinc		X		

Los fundentes tienen como sus ingredientes principales:

- Boratos
- Bórax fundido
- Ácido bórico
- Fluoruros
- Cloruros
- Fluoboratos

No hay un solo fundente que sirve para todas las operaciones de soldadura fuerte. Hay que remover todo vestigio de residuos del fundente después de soldar para evitar corrosión. Para unos trabajos de producción en masa, la aplicación de los fundentes es un trabajo que consume mucho tiempo. Por lo tanto, se usan atmósferas controladas para remover el óxido y evitar la formación de la misma durante la soldadura fuerte. Este método muchas veces es utilizado con la soldadura fuerte por inducción de titanio, circonio y otros metales refractarios.

En una atmósfera controlada, un gas está suministrado en forma continua a un horno y circulado dentro del mismo a una presión ligeramente más alta que la presión atmosférica. Este gas puede consistir de hidrógeno de alta pureza, dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, argón, amoníaco o alguna forma de gas combustible.

## 2.10.2. LAS PASTAS PARA SOLDADURA FUERTE

Una pasta para soldadura fuerte consta de una aleación de metal de aportación en polvo. Estos componentes se aglutinan en una pasta homogénea con un sistema aglutinante de formulación especial. El producto definitivo es una solución personalizada para la soldadura fuerte que facilita beneficios singulares a los clientes.

Las pastas para soldadura fuerte se utilizan especialmente cuando se necesita fabricar un gran número de uniones. Los beneficios potenciales que pueden obtenerse de utilizar un producto en pasta para la soldadura fuerte, frecuentemente sólo pueden materializarse gracias al respaldo pleno que aportan los equipos técnicos expertos en los productos.

### 2.10.3. FACTORES QUE AFECTAN AL FUNCIONAMIENTO DEL FUNDENTE

La habilidad del fundente para realizar satisfactoriamente la operación de soldadura fuerte, dependerá del material base, temperatura, tiempo del proceso y volumen del fundente aplicado.

#### Material base – Temperatura

Para que el fundente sea efectivo se debe de fundir y estar activo antes de que el material de aporte funda, y debe permanecer activo mientras que el material de aporte fluye a través de la unión y solidifica. Por tanto el solidus del metal de aporte determina la mínima temperatura de trabajo del fundente y el liquidus dictamina la máxima temperatura que debe soportar.

Generalmente se selecciona el fundente para que esté activo al menos 50° C por debajo del solidus del material de aporte y que permanezca activo 50° C por encima del liquidus del material de aporte. Esto asegurará que el fundente sea efectivo durante la operación de soldadura. En el caso de que pueda darse sobrecalentamiento, como sucede con el soplete, este valor se debería incrementar idealmente hasta los 100° C, lo que daría al fundente la suficiente capacidad para eliminar los óxidos a mayores temperaturas de las esperadas.

#### Tiempo

El tiempo de soldadura fuerte (brazing) afecta a las actuaciones del fundente. Este tiene que eliminar los óxidos del componente durante todo el ciclo de soldadura. El fundente disuelve los óxidos y evita la oxidación solamente durante un período limitado. Cuanto más largo sea el ciclo de trabajo más posibilidades de que el fundente se sature finalizando su actividad, exhibiendo los residuos el color negro habitual. No hay un tiempo fijo por el cual el fundente deja de ser efectivo, dependerá de la temperatura de operación y del tipo de metal base. Si el tiempo es suficientemente largo puede saturarse por debajo de su temperatura de trabajo. Para ciclos de larga duración se recomienda fundentes con amplios rangos de trabajo. Para ciclos de cortos de calentamiento rápido, tipo inducción, se puede utilizar fundentes de baja

temperatura que trabajen incluso por encima de su rango de temperatura recomendada. De tal forma que los utilizados serán solubles en agua y por tanto más fáciles de eliminar.

#### Volumen de flujo

El volumen de flujo requerido varía dependiendo de la naturaleza de la aplicación. Normalmente es suficiente cubrir las caras de unión y los alrededores de las superficies de los componentes con una capa de pasta.

#### 2.10.4. APLICACIÓN DEL FUNDENTE

El fundente suele presentarse en polvo, se mezcla con agua y unas gotas de detergente, para mejorar el mojado sobre el metal base, hasta formar una pasta relativamente consistente. También se presenta en forma de pasta lo que reduce los tiempos de preparación. El mejor modo de aplicar el fundente, es cubriendo con una pasta las piezas individuales antes de ser unidas. La aplicación en los alrededores de la unión reduce también la oxidación de esas áreas. Es importante aplicarlo después de su preparación ya que se deteriora rápidamente, así como mantener cerrada la tapa del contenedor cuando no se utilice.

Es muy corriente ver a los operarios calentando el final de la varilla y/o sumergirla dentro del fundente y luego aplicar ambos a la unión. Esta técnica por sí sola, tiene la desventaja de que el fundente no protege la unión durante el ciclo de calentamiento y además la cantidad limitada de fundente aplicada, no evita la oxidación de los metales bases en las proximidades de la unión. A su vez se restringe la penetración capilar del material de aporte fundido.

El uso de demasiado fundente rara vez resulta en una mala unión, sin embargo poco fundente genera uniones de baja calidad ya que este queda exhausto rápidamente.

### 2.10.5 APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS PASTAS PARA SOLDADURA FUERTE

Las pastas para soldadura fuerte se han adoptado con éxito en una amplia gama de aplicaciones industriales. Las pastas han posibilitado la unión firme en aplicaciones que van desde pequeñas tareas de gran calidad a pequeña escala hasta producciones en masa en las que es fundamental conseguir un elevado porcentaje de componentes de buena calidad.

### 2.11. UTILLAJE ADECUADO

El modo más sencillo de mantener dos piezas unidas siempre que el peso y la forma lo permita es la gravedad. Si la configuración es demasiado compleja para la auto-sujeción o el *crimpado*, el utillaje será diseñado para tener la mínima masa, y el área de contacto con el conjunto. De tal manera, que si el utillaje tiene gran área de contacto con las piezas a soldar, conducirá hacia el exterior una cantidad de calor importante de la unión, alargando el proceso de soldadura. En el soldeo por antorcha habrá que facilitar el espacio suficiente para que la llama alcance sin restricción la unión. Los materiales utilizados para la fabricación del utillaje tendrán que soportar altas temperaturas y ciclos térmicos. Se recomiendan las aleaciones base níquel, aceros inoxidable, y compuestos cerámicos.

Cuando exista riesgo de que el utensilio pueda soldarse al conjunto, el material utilizado en su fabricación deberá ser resistente al mojado. Para los materiales de aporte base plata el titanio es el elemento recomendado, aunque este tiene una gran avidez por los gases circundantes por encima de los 600° C, oxidándose fácilmente.

### 2.12. MÉTODOS DE CALENTAMIENTO PARA SOLDADURA FUERTE

Se designan los procesos de Soldadura Fuerte de acuerdo con las fuentes o los métodos de calentamiento. La aplicación de calor para soldadura fuerte se

hace dependiendo del tipo de material por soldar, cantidad de producción, y tamaño de piezas por unir.

Los métodos que actualmente gozan de importancia industrial son los siguientes (tabla 2.2):

1. Soldadura Fuerte con Soplete.
2. Soldadura Fuerte en Horno
3. Soldadura Fuerte por Inducción.
4. Soldadura Fuerte por Resistencia.
5. Soldadura Fuerte por Inmersión.
6. Soldadura Fuerte al Infrarrojo.

**Tabla 2.2**

METALES POR SOLDAR Y RECOMENDACIONES PARA METALES DE RELLENO, FUNDENTES DE SOLDAR Y APLICACIONES						
FUNDENTE SOLDADOR No. DE TIPO AWS	COMBINACIONES DE METALES PARA LAS CUALES LOS VARIOS FUNDENTES SON ADECUADOS		LIMITES DE TEMPERATURA EFECTIVO DEL FUNDENTE, °C	MATERIALES PRINCIPALES DEL FUNDENTE	FORMA FISICA	METODOS DE APLICACIONES
	METALES POR SOLDAR	METALES DE RELLENO				
1	Aluminio y aleaciones de aluminio	BAiSi	371-644	Fluoruros; Cloruros	Polvo	1, 2, 3, 4
2	Aleaciones de Magnesio	BMg	483-650	Fluoruros; Cloruros	Polvo	3, 4
3A	Cobre y aleaciones de cobre (excepto aquellas, con aluminio); aleaciones de hierro; hierro fundido; acero de carbono y aleaciones; níquel y aleaciones de níquel; aceros inoxidables; metales preciosos.	BCuP, BAg	566-672	Acido bórico, Boratos, Fluoruros, Agentes Humedecedores de Fluoboratos	Polvo Pasta Líquido	1, 2, 3
3B	Cobre y aleaciones de cobre (excepto aquellas, con aluminio); aleaciones de hierro; hierro fundido; acero de carbono y aleaciones; níquel y aleaciones de níquel; aceros inoxidables; metales preciosos.	Bcu, BCuP, BAg, Bau, Rb, CuZn, BNi	733 - 1150	Acido bórico, Boratos, Fluoruros, Agentes Humedecedores de Fluoboratos	Polvo Pasta Líquido	1, 2, 3
4	Aluminio - bronce; Aluminio - latón	BAg, BCuZn, BCuP	566 - 872	Boratos, Fluoruros, Cloruros	Polvo Pasta	1, 2, 3
5	Cobre y aleaciones de cobre (excepto aquellas, con aluminio); níquel y aleaciones de níquel; aceros inoxidables; aceros de carbono y aleaciones; hierro fundido; y aleaciones; níquel y aleaciones misceláneas de hierro; metales preciosos (excepto el oro y la plata)..	Bcu, BCuP, BAg - (8-19), Bau, BCuZn, BNi	760 - 1205	Bórax, Acido Bórico, Boratos	Polvo Pasta Líquido	1, 2, 3

### 2.12.1. SOLDADURA FUERTE CON SOPLETE

El calentamiento por soplete probablemente es el método más común para soldadura fuerte. La mezcla de gas puede ser de oxi-acetileno, aire-gas, u oxi-hidrógeno. El tipo de mezcla de gas depende de la conductividad térmica, tipo y grosor del material por unir

En este proceso se obtiene el calor mediante una llama de gas que se dirige a la junta por soldar, es totalmente manual, parcialmente mecanizado o en forma automática.

**El oxi-acetileno** es más versátil para soldadura fuerte por soplete, debido a su amplia gama de control de calor. Una llama ligeramente reductora es requerida y hay que tener cuidado de evitar contacto entre el cono de la llama y el metal por unir. Un contacto cercano de la llama puede que cause que el metal por unir se derrita y restringe el flujo del metal de soldadura fuerte.

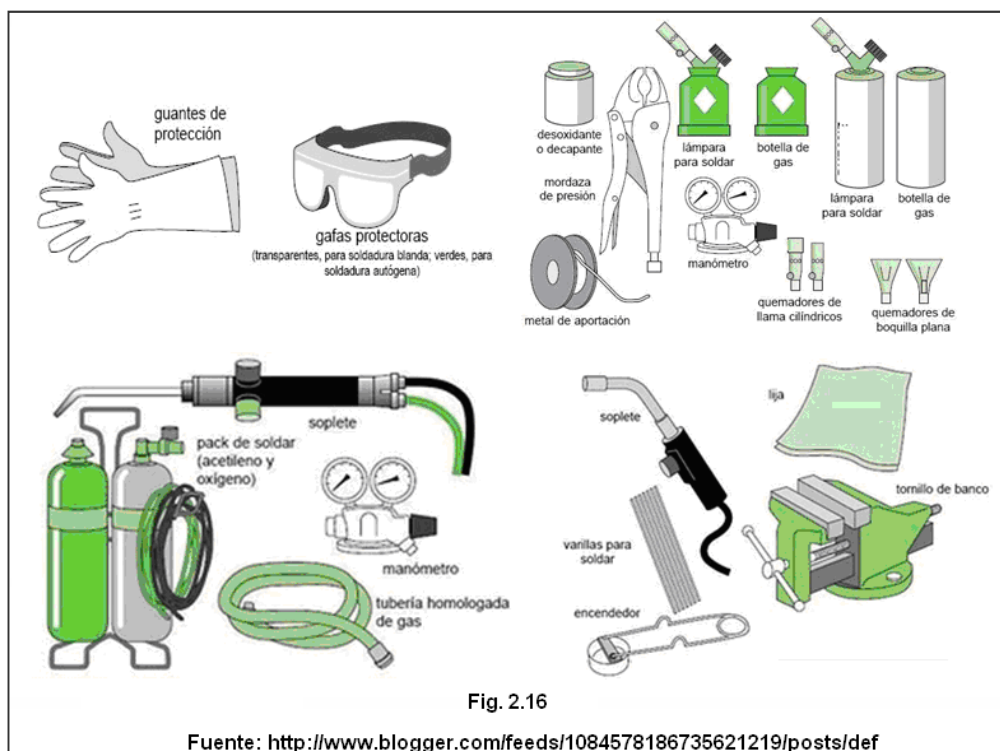
El soplete de **aire-gas** proporciona el calor más bajo y es mucho más adaptable para soldadura fuerte en secciones delgadas. La mezcla de aire-gas puede consistir de aire a la presión atmósfera y gas del servicio público, o aire y acetileno.

El proceso de **gas-oxígeno** utiliza oxígeno con gas natural, gas enfrascado, propano, o butano. Esta mezcla produce una llama de temperatura alta y es útil donde se requiera mayor calor para soldadura fuerte.

#### 2.12.1.1. APLICACIONES

Esta soldadura puede aplicarse en aceros al carbono, aceros con bajo contenido de aleación y aceros inoxidable, el equipo que se utiliza es similar al de la soldadura con gas combustible y oxígeno en ocasiones es el mismo.

### 2.12.1.2 HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN (fig. 2.16).



Guantes de protección

Quemadores de llama cilíndricos

Botella de gas

Desoxidante o decapante

Metal de aportación

Tanque de soldar (acetileno y oxígeno)

Manómetro

Tubería homologa de gas

Lija

Gafas protectoras.

Quemadores de boquilla plana

Lámpara para soldar

Mordaza de presión

Soplete

Varilla para soldar

Encendedor

Tornillo de bancos

### 2.12.1.3. EQUIPO DE SOLDEO OXIACETILÉNICO

La principal función de estos equipos es la de suministrar la mezcla de gases a una velocidad, presión y proporción adecuadas. El equipo necesario para la soldadura se compone de:

<http://www.blogger.com/feeds/1084578186735621219/posts/default>



**Tanque de Acetileno:** Explota si se comprime solo, por lo que para almacenarlo se disuelve en acetona guardándose en botellas rellenas de una sustancia esponjosa. La presión de los cilindros es de 15 Kg. /cm<sup>2</sup> y la presión de servicio no deberá superar 1 bar. La velocidad de salida no deberá ser mayor de 7 m/s.

**Tanque de Oxígeno:** No es un gas inflamable pero inicia y mantiene la combustión de materiales combustibles. No se deberá almacenar cerca de los gases combustibles. Las materias grasas en contacto con oxígeno arden espontáneamente, por lo que está prohibido lubricar sus conexiones.

**Manorreductores:** Son válvulas reductoras de presión encargadas de suministrar el gas comprimido de los cilindros a la presión y velocidad de trabajo. Estos dispositivos permiten que la presión permanezca invariable a pesar de la disminución del gas en el tanque. Disponen de dos manómetros, uno de alta y otro el de trabajo. Cada manorreductor debe ser destinado para el gas especificado.

**Mangueras:** Son tubos flexibles generalmente de caucho de buena calidad y con gran resistencia al corte y la abrasión. Las mangueras de oxígeno son de color azul o verde y rosca a derechas al soplete, mientras que las de gas combustible son rojas y rosca a izquierdas al soplete. Nunca deben intercambiarse las mangueras de diferentes gases

**Soplete:** Aseguran la correcta mezcla de los gases de forma que exista equilibrio entre la velocidad de inflamación y la de salida. El soplete controla las características de la llama y su manejo durante la operación de soldeo. Su potencia se mide en litros/hora de consumo de gas combustible.

Está compuesto de:

Válvulas de entradas de gas que regulan la presión, velocidad, caudal y proporción de gases.

Cámara de mezcla donde se realiza la mezcla íntima de los gases. Hay de dos tipos:

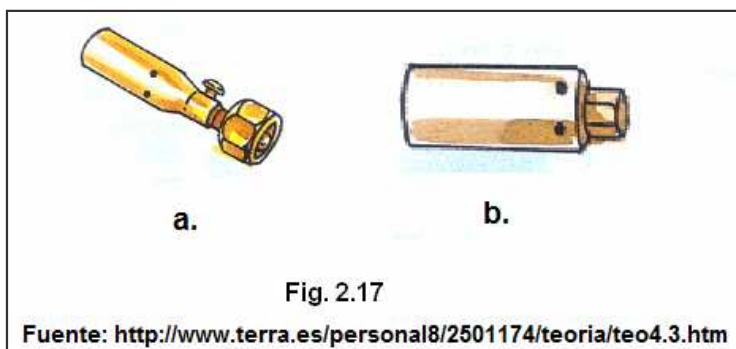
- a) De sobre presión en la que el oxígeno y el acetileno están a la misma presión y velocidad, mezclándose a medida que circulan por la cámara.
- b) De aspiración en la que el oxígeno aspira el acetileno a menor presión, a través de una tobera practicada en la cámara.

Boquillas intercambiables que se ajustan en la parte final, controlando el flujo de gas por medio del orificio de salida. Pequeños diámetros producen llamas pequeñas para pequeñas secciones. La llama debe ser siempre uniforme. Es esencial seleccionar el caudal adecuado para cada tipo de boquilla, ya que si es escaso se tendrá una llama no efectiva y podría producirse retroceso de llama, por el contrario un caudal excesivo dificulta el manejo del soplete y el proceso de soldadura.

Se pueden adaptar diferentes tipos de boquillas a los sopletes, los principales son:

La boquilla de punta fina, con llama de dardo. Fig. 2.17a.

La boquilla de punta súper fina. Se deberán toma las siguientes precauciones: fig. 2.17 b.



**Válvulas anti retroceso de llama:** Cuando se produce un retroceso de llama, esta se puede introducir en el soplete, pudiendo llegar a través de las mangueras a los cilindros de gas y provocar su explosión.

Estas válvulas evitan:

- 1) La entrada de oxígeno o de aire en el conducto de suministro de acetileno.
- 2) Un retroceso de llama dentro del soplete, mangueras etc.
- 3) El suministro de gas durante y después del retroceso de llama. El suministro de gas se corta cuando la temperatura ha aumentado entre 90 ó 100° C.

Están formadas por:

- a) Válvula anti retroceso que permite el gas en un solo sentido.
- b) Sinterizado micro poroso que permita apagar una llama en retroceso.
- c) Válvula de corte térmico que se cierra al detectar un aumento de temperatura. Este dispositivo es prescindible si el suministro de gas se realiza a partir de cilindros.

El soplete de **oxi-hidrogeno** es muy útil para soldar aluminio y otros metales no ferrosos debido a su bajo calor. Este evita la posibilidad de sobrecalentar el metal. El hidrogeno también proporciona una acción de limpiar adicional y un escudo protector durante el proceso de soldadura fuerte.

La **soldadura oxhídrica** es producto de la combinación del oxígeno y el hidrógeno en un soplete. El hidrógeno se obtiene de la electrólisis del agua y la temperatura que se genera en este proceso es entre 1500 y 2000°C.

#### 2.12.1.4. SOLDADURA FUERTE POR CAPILARIDAD

Se realiza a una temperatura superior a 450° C, debido a que la boquilla del soplete es diferente y concentra el calor de una manera más intensa. El material de aportación tiene por tanto un punto de fusión superior a 450°C y su elección dependerá del tipo de material que se vaya a soldar, y del esfuerzo posterior que tenga que soportar.

Limpie las dos superficies a ensamblar con lija o con lana de acero. Fig. 218a.

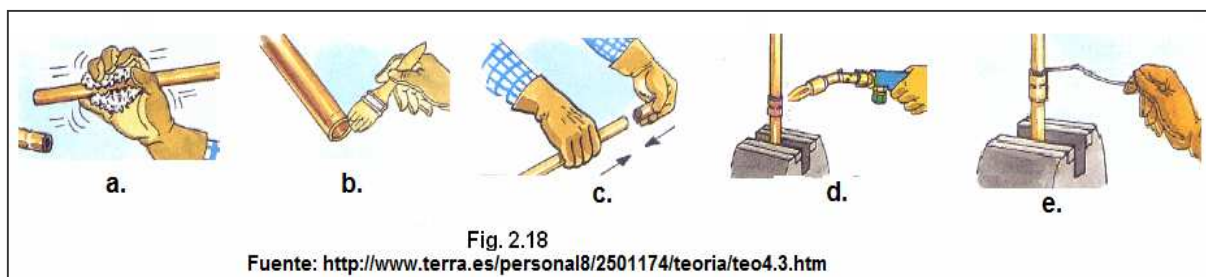
Unte las partes a soldar con pasta desoxidante. Fig. 2.18b.

Encaje las piezas a unir. Las piezas a soldar deben encajar perfectamente por los extremos, estar limpias y sin restos de grasa. Fig. 2.18c.

Elija el material de aportación en función de los metales que vaya a ensamblar y de la resistencia deseada.

Caliente las piezas a ensamblar y no el metal de aportación: la temperatura de calentamiento debe permitir la fusión del metal de aportación al entrar en contacto con las piezas calentadas. Fig. 2.18d.

Aparte la llama y sitúe el hilo de soldadura sobre la unión de los dos elementos. El metal de aporte se fundirá y fluirá por capilaridad entre las dos piezas. Fig. 2.18 e.



### 2.12.2. SOLDADURA FUERTE EN HORNO

En este tipo de soldeo, el calor necesario para fundir el material de aporte se obtiene introduciendo la pieza en un horno. Existen tres variantes de este proceso: de atmósfera controlada, al aire y en vacío. Las dos primeras variantes pueden ser continuas o discontinuas, mientras que la última generalmente es discontinua. Este proceso se emplea para la producción de piezas pequeñas y/o de forma irregular donde la zona de unión no está accesible durante el soldeo. El tiempo de soldeo en este proceso es largo si se compara con el resto de procesos "brazing" por lo que hay que tener cuidado para que el calor no afecte a los materiales. La Soldadura Fuerte en Horno, se emplea cuando:

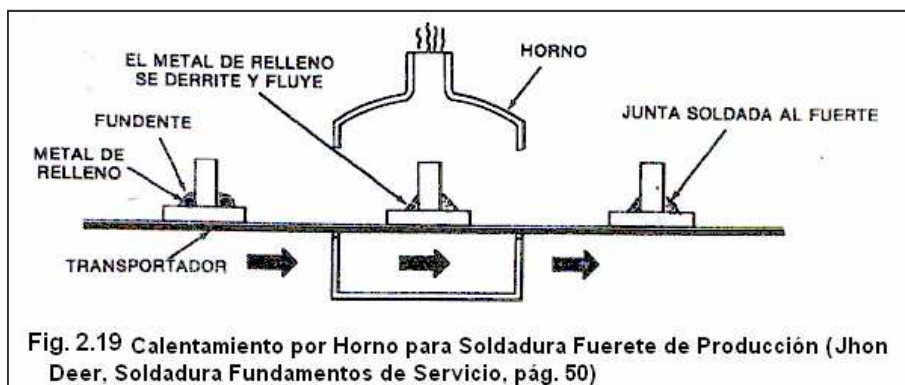
Las piezas que van a ser soldadas pueden preensamblarse en la posición correcta por medio de guías.

El metal de aporte puede calentarse al contacto con la unión.

Se van a formar simultáneamente varias uniones por Soldadura Fuerte.

Se van a unir muchos ensambles similares.

Hay necesidad de calentar de manera uniforme piezas complejas a fin de evitar la distorsión que resultaría de un calentamiento local del área de unión.



En soldadura fuerte se usan Hornos Eléctricos de gas o de petróleo con un control automático capaz de mantener la temperatura con una variación máxima de  $\pm 60^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 10^{\circ}\text{F}$ ). Es preciso incluir fundentes o atmósferas especialmente controladas que realicen las funciones de los fundentes.

Las piezas que se van a soldar se deben ensamblar con el metal de aporte y el fundente. El metal de aporte precolocado puede venir en forma de alambre, papel metálico, limaduras, cilindros, polvo, pasta o cinta.

El ensamble se calienta en el horno hasta que las piezas alcanzan la temperatura de soldadura fuerte y se efectúa la unión. A continuación se retira el ensamble. Los pasos del proceso se muestra en la figura 2.19.

Existen muchos fundentes comerciales para operaciones de soldadura fuerte tanto generales como específicos.

Se obtienen resultados satisfactorios si se rocía fundente seco en polvo a lo largo de la unión. En la mayor parte de los casos la pasta de fundente es adecuada, pero en algunos retarda el flujo de la aleación de aporte. Las pastas de fundente que contienen agua se pueden secar calentando el ensamble a 175 o 200° C (350 o 400° F) durante 5 a 15 minutos en estufas de secado u hornos con circulación de aire.

El tiempo de soldadura dependerá hasta cierto punto del espesor de las piezas y de la masa de las fijaciones que se necesiten para posesionarlas. El tiempo de soldadura deberá ser el minuto necesario para que el metal de aporte fluya al interior de la unión, a fin de evitar una interacción excesiva entre el metal de aporte y el metal base. Normalmente bastan uno o dos minutos a la temperatura de soldadura fuerte para formar la unión. Un tiempo más largo a la temperatura de soldadura fuerte puede resultar benéfico en los casos en que es preciso elevar el punto de refusión del metal de aporte, o en los que la difusión mejora la ductibilidad y la resistencia mecánica de la unión. Es frecuente usar tiempos a la temperatura de soldadura fuerte de 30 a 60 minutos cuando se desea elevar el punto de refusión de la unión soldada.

Los hornos que se emplean para soldadura fuerte se clasifican como De lotes, ya sea con aire o atmósfera controlada, Continuos, ya sea con aire o atmósfera controlada, De retorta con atmósfera controlada, De vacío.

Casi todos los hornos para soldadura fuerte cuentan con un control de temperatura del tipo potenciómetro conectado a termopares y válvulas de control de gas o contactores. La mayor parte de los hornos se calientan por resistencia eléctrica empleando elementos de calefacción de carburo de silicio, níquel-cromo o un metal refractario (Mo, Ta, W). Si se usa una flama de gas o petróleo para calentar, la flama no debe incidir directamente sobre las piezas.

En los hornos de atmósfera controlada se debe mantener un flujo continuo del gas protector en la zona de trabajo a fin de evitar la contaminación por los gases que pudieran generarse por desgasificación de las piezas metálicas o disociación de los óxidos. Si la atmósfera controlada es inflamable o tóxica, se

requerirá una ventilación adecuada del área de trabajo y protección contra explosiones.

Cuando se efectúa el calentamiento en un tubo de vacío o en una atmósfera controlada, las piezas resultantes no contienen oxidación, incrustaciones ni acumulaciones de carbón. En sistemas integrados de calentamiento totalmente listos para funcionar incorporan la ventaja de la manufactura por flujo continuo en los procesos de soldadura fuerte, soldadura, carburación y temple, y otros procesos de calentamiento general.

#### 2.12.2.1. HORNOS DEL TIPO DE LOTES

Calientan cada carga de trabajo individualmente. En este tipo de hornos la unión se produce en lotes, es decir, discontinua. Son hornos que ofrecen un proceso sencillo, económico y flexible de varios cientos de piezas al día. Los ciclos del proceso pueden ser bastante rápidos, llegando a durar 15 o 20 minutos, dependiendo del tipo de horno, masa de las piezas a unir, y si están precalentadas o no antes de introducirlas en el horno.

Pueden ser del tipo de carga por arriba (tipo de foso), de carga lateral o de carga de abajo. Si el horno desciende sobre el trabajo, recibe el nombre de **Horno de Campana**.

Los sistemas de campana de vacío son ideales para los laboratorios, ya que permiten acceder con facilidad a las diversas piezas y accesorios. Los sistemas de tubo de vacío se pueden ampliar para acomodar operaciones de gran volumen y presentan una pantalla táctil muy fácil de usar que permite el control manual o automático del calor. Cuando se trata de procesos de menor volumen, especialmente aquéllos que exigen un control más directo del calor, nuestros sistemas atmosféricos de cajas de guantes producen resultados rápidos y limpios cuando se trabaja con níquel, titanio, superaleaciones, acero inoxidable y materiales refractarios. Los hornos por lotes que usan flamas de gas o petróleo para calentar y que no tienen retortas requieren la aplicación de fundente a las piezas por soldar. Los hornos por lotes de calefacción eléctrica a

menudo están equipados para soldadura fuerte con atmósfera controlada, ya que los elementos de calentamiento por lo regular pueden funcionar en la atmósfera controlada.

#### 2.12.2.2. HORNOS CONTINUOS

Reciben un flujo constante de ensamble por soldar. En este tipo de hornos se produce un flujo continuo de uniones. La fuente de calor puede consistir en flamas de gas o petróleo, o en elementos de calefacción eléctricos. Las piezas a soldar se transportan al horno ya sea individualmente, en bandejas o canastas. Con frecuencia se usan hornos continuos con banda transportadora (de malla de alambre o de rodillos), de obra vibratoria, de empujador o de ranura para soldadura fuerte de alta producción. Los hornos continuos por lo general cuentan con un área de precalentamiento en la que entran primero las piezas. En esta área, las piezas se llevan lentamente a una temperatura por debajo de la temperatura de soldadura fuerte. Si se usa atmósfera protectora en la zona de soldadura fuerte, también fluye sobre las partes y alrededor de ellas en la zona de precalentamiento, bajo presión positiva. El flujo de gas elimina el aire atrapado e inicia la reducción de los óxidos superficiales.

Cuando llegan a la zona de enfriamiento, las piezas arrastran una estela de gas protector. Los hornos continuos tienen tres zonas bien diferenciadas:

Zona de precalentamiento, en donde las piezas se calientan lentamente hasta una temperatura inferior a la de soldeo, Zona de soldeo, Zona de enfriamiento.

Los dos tipos de hornos continuos más utilizados son:

Hornos continuos con transportador de cinta de tela metálica: ofrecen la ventaja de todo proceso continuo, alta capacidad y precisión, y los ciclos de calentamiento, enfriamiento y tiempo de permanencia a temperatura de soldeo son automáticos.

Hornos continuos con sistema de transporte mediante rodillos refractarios: generalmente se emplean cuando se desean altas producciones, y cuando la



carga tiene unas dimensiones y pesos considerables. No existe un límite a la hora de diseñar la longitud de la cámara de calentamiento y enfriamiento. La producción típica está entre 160 y 910Kg por hora.

#### 2.12.2.3. HORNOS TIPO RETORTA

Son hornos de lotes en los que los ensambles se colocan en una retorta sellada para soldarlos. En estos hornos, las piezas que van a ser soldadas se colocan en una bandeja de transporte que se introduce, pasando por la retorta cilíndrica, en la zona denominada "vestíbulo". Una vez que la bandeja está dentro de esta cámara se cierra la puerta de entrada y se purga la cámara para que no se contamine la atmósfera de la cámara de calentamiento. Finalizada esta purga, la bandeja se pasa a la cámara de calentamiento. Cuando las piezas han alcanzado la temperatura suficiente se pasan a la cámara de soldeo, donde se produce la unión de las piezas. Finalizada esta etapa, la bandeja se pasa a la zona de enfriamiento. Cuando la bandeja llega a una temperatura de enfriamiento aceptable, se retira del horno los ensambles soldados y se vuelve a comenzar el proceso con otra carga de piezas. En ocasiones se emplea una atmósfera protectora dentro de los hornos de alta temperatura para reducir las incrustaciones externas en las retortas.

Existen una serie de hornos de retorta discontinuos. En estos, las piezas que van a ser soldadas se introducen en una retorta cerrada, seguidamente se purgan las piezas y la retorta se introduce en el horno. Después de que las piezas hayan sido soldadas, la retorta se lleva a una zona de enfriamiento. Finalmente, se purga la atmósfera controlada de la retorta, se abre y se retiran las piezas.

#### 2.12.2.4. SOLDADURA FUERTE EN HORNO AL VACÍO

Aseguran una precisa y repetitiva unión, debido al sistema de controles automáticos que regulan la temperatura, tiempo y, cuando es necesario, atmósfera. Con ello se evitan los problemas de oxidación a alta temperatura. El equipo de soldeo por vacío se usa en la actualidad para unir por "brazing"

Acero inoxidable, superaleaciones, aleaciones de Aluminio, aleaciones de Titanio, refractarios y otros elementos de difícil soldeo por otros métodos. Se utiliza mucho en los campos aeroespaciales y nucleares, cuando se unen metales reactivos o cuando el atrapamiento de fundente sería intolerante. Si el vacío se mantiene con bombeo continuo, eliminará los constituyentes volátiles que se liberen durante la soldadura. El vacío es una atmósfera relativamente económica que evita la oxidación al eliminar el aire del entorno del ensamble.

De todos modos se requiere limpieza superficial para que el metal de aporte moje y fluya como es debido. Los metales base que contienen cromo y silicio se pueden soldar en fuerte al vacío. Los metales base que por lo general solo pueden soldarse al vacío son los que contienen proporciones apreciables de aluminio, titanio, zirconio u otros elementos con óxidos particularmente estables. Con todo, es preferible usar una barrera chapeada de níquel para obtener otra calidad óptima.

Los hornos para soldadura fuerte al vacío son de tres tipos:

#### 2.12.2.4.1. RETORTA CALIENTE, U HORNO DE RETORTA DE BOMBEO ÚNICO.

Consiste en una retorta aislada, normalmente de un material con un espesor considerable, donde se colocan las piezas. Posteriormente, la retorta con el trabajo adentro se sella, evacua y calienta por el exterior con un horno. Casi todos los trabajos de soldadura fuerte requieren un bombeo continuo durante todo el ciclo de calentamiento a fin de eliminar todos los gases despedidos por la carga de trabajo. Los hornos de flama de gas o eléctricos. Estos hornos están limitados por el tamaño de la retorta, la máxima temperatura de trabajo que oscila y el tiempo de producción, debido a que en cada proceso es necesario calentar y enfriar la retorta. La temperatura máxima para los hornos de soldadura fuerte de este tipo es del orden de 1150° C (2100° F).

A menudo se introduce argón, nitrógeno u otro gas a la retorta a fin de acelerar el enfriamiento después de soldar.

#### 2.12.2.4.2. RETORTA CALIENTE DE BOMBEO DOBLE O DE DOBLE PARED

El horno típico de este tipo consiste en una retorta interna que contiene el trabajo, situada dentro de una pared exterior o cámara de vacío que contiene las piezas que se van a unir. También dentro de la pared exterior se encuentran el aislamiento térmico y los elementos de calentamiento eléctricos.

En esta zona (dentro de la pared exterior) se mantiene una presión más o menos reducida, por lo regular de 1.0 a 0.1 toro (133 a 13.3 Pa.), y una presión mucho más baja por debajo de  $10^{-2}$  toro (1.3 Pa.) dentro de la retorta interna. Una vez más, casi siempre se requiere un bombeo de vacío continuo de la retorta interna durante todo el ciclo de calentamiento al fin de eliminar los gases despididos por la carga de trabajo.

Estos hornos presentan la ventaja de que los elementos de calefacción y el aislamiento térmico no se someten al alto vacío. Los elementos de calentamiento suelen ser de una aleación níquel-cromo, de grafito, de acero inoxidable o de carburo de silicio. El aislamiento térmico por lo regular consiste en tabiques de silicio o aluminio, o de materiales colables o fibrosos.

#### 2.12.2.4.3 HORNO AL VACÍO DE PARED FRÍA

Un horno de pared fría típico tiene una sola cámara de vacío, con el aislamiento térmico y los elementos eléctricos de calefacción situados dentro de la cámara, la cual por lo regular cuenta con enfriamiento por agua. La temperatura máxima de operación está determinada por los materiales que se emplean para el aislamiento térmico (el escudo de calor) y los elementos de calefacción, que se someten al alto vacío y a la temperatura de operaciones de la cámara.

Los elementos de calentamiento de muy alto punto de fusión con presión de vapor bajan, como el molibdeno, tungsteno, grafito o tantalio. Los escudos de calor por lo regular se fabrican con múltiples capas de molibdeno, tantalio, níquel o acero inoxidable. El aislamiento térmico puede consistir en tabiques de aluminio de alta pureza, grafito o fibras de aluminio forradas de acero

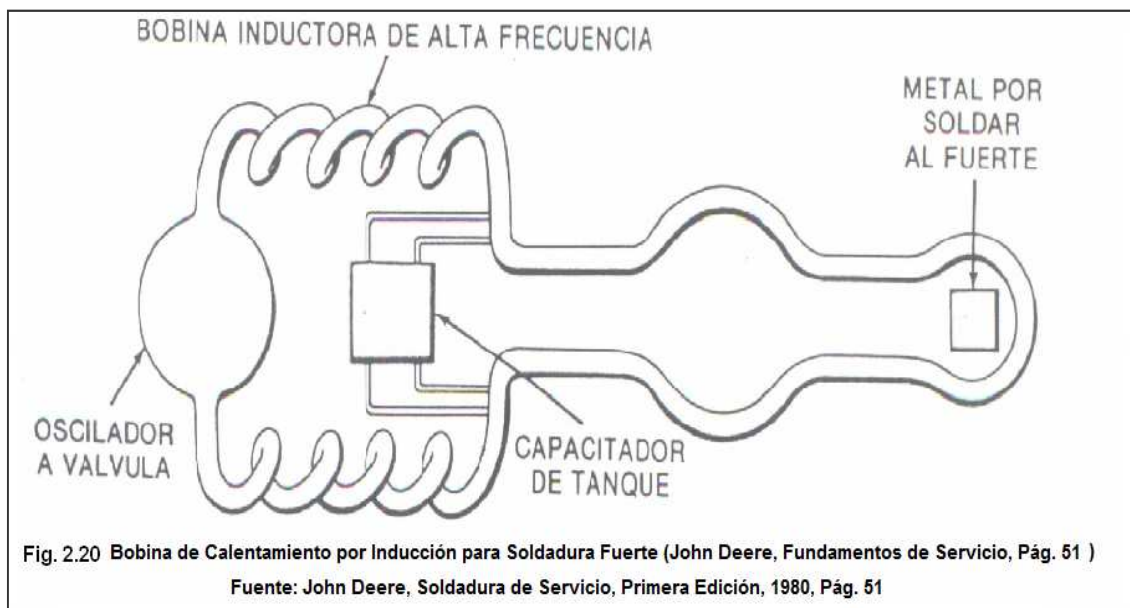
inoxidables. La temperatura de operación máxima y el vacío que pueden obtener con los hornos de pared fría dependen del material de los elementos de calefacción y del aislamiento térmico o de los escudos de calor. Es posible alcanzar temperaturas de hasta 2200° C (4000° F) y presiones tan bajas como  $10^{-6}$  toros ( $1.33 \times 10^{-4}$  Pa.).

Los tres tipos de hornos tienen configuraciones que incluyen las de carga lateral (horizontal), de carga por debajo y de carga por arriba (tipo foso). Las zonas de trabajo por lo regular son rectangulares en el caso de los hornos de carga lateral y circulares para los de carga por abajo o por arriba.

Las bombas de vacío para los hornos de soldadura fuerte pueden ser del tipo mecánico con sello de aceite para presiones de 0.1 a 10 toro (1.3 a 1300 Pa.). La soldadura fuerte de metales base que contiene cromo, silicio u otros materiales que forman óxidos resistentes por lo regular requieren presiones de  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  toro (1.3 a 0.13 Pa.) que se obtienen de preferencia con una bomba Rotas seca de alta velocidad o de tipo turbo mecánico. Las bombas de vacío de este tipo no pueden trabajar con escape directo a la atmósfera y requieren una bomba de prevacío.

Para la soldadura fuerte de materiales base que contienen proporciones apreciables de aluminio, titanio o zirconio, los cuales forman óxidos muy estables, se necesita vacío de  $10^{-3}$  toro (0.13 Pa.) o menos. Los hornos al vacío para tales trabajos por lo regular requieren una bomba de difusión capaz de alcanzar presiones de  $10^{-2}$  a  $10^{-6}$  toro (1.3 a 0.0001 Pa.). La bomba de difusión debe estar respaldada por una bomba de vacío mecánica o por una bomba tipo Rotas respaldada a su vez por una bomba mecánica.

### 2.12.3. SOLDADURA FUERTE POR INDUCCIÓN



Es un proceso por el cual las superficies de los componentes que van a ser unidos son selectivamente calentados a la temperatura de soldeo mediante la energía eléctrica suministrada por un equipo de inducción (generador de corriente de alta frecuencia), de ahí el nombre de Soldadura Fuerte por Inducción (fig.2.20). El metal de aporte se coloca previamente en la junta cuidadosamente diseñada y la bobina se acomoda de manera que todos los componentes de la junta alcancen la temperatura de soldadura al mismo tiempo.

Cuando una corriente alterna circula a través de una bobina se genera un campo magnético que varía con la intensidad de la corriente y el número de espiras.

Si un objeto metálico se sitúa en el campo de acción de la bobina se inducen corrientes eléctricas en él. La resistencia que ofrece el material al paso de la corriente es la que proporciona el calor necesario para la realización de la soldadura.

Por tanto el calor va a estar limitado a unas capas delgadas cercanas al inductor. La distribución del calor a otras áreas va a ser por conducción. La respuesta del campo electromagnético generado, depende de la frecuencia de la corriente alterna, la naturaleza de los materiales, el diseño de la bobina y la distancia entre el inductor y el componente a soldar.

El metal de aporte de soldadura fuerte se coloca previamente en la unión. Se requiere un diseño cuidadoso de la unión y de la configuración de la bobina para asegurar que las superficies de todos los miembros de la unión alcancen la temperatura de soldadura fuerte al mismo tiempo. Se utiliza fundente excepto cuando se introduce una atmósfera especial que desempeña la misma función.

Los diversos diseños de bobinas de inducción se ilustran en la figura 2.21. Un generador puede usarse para energizar varias estaciones de trabajo individuales en secuencia, empleando un interruptor de transferencia, o bien los ensamblajes retenidos con fijaciones se pueden procesar secuencialmente por una bobina tipo transportador y así calentarse hasta la temperatura de soldadura fuerte.



La soldadura fuerte para inducción se emplea cuando se requiere un calentamiento muy rápido. El tiempo de procesamiento por lo regular es del orden de segundos cuando se manejan grandes cantidades de piezas en forma automática.

Los ensambles se pueden unir mediante soldadura fuerte por inducción en una atmósfera controlada colocando los componentes y la bobina en una cámara no metálica, o colocando la cámara y el trabajo dentro de la bobina. La cámara puede ser de cuarzo Vycor o de vidrio templado.

#### 2.12.3.1. PRINCIPIO DEL PROCESO

En este proceso, los componentes a ser soldados se colocan dentro del campo magnético creado por una bobina inductora por la cual pasa una corriente de alta frecuencia. Esta bobina produce o induce la creación de las "Eddy currents" en la pieza que se encuentra dentro del campo magnético de la bobina. Estas corrientes circulan por la superficie de la pieza y su efecto se traduce en la siguiente fórmula:

$$H = I^2 \times R$$

Donde:

H = Calor producido (Kelvin)

I = Corriente inducida (Amperios)

R = Resistencia eléctrica del material. (Ohm)

Se suele utilizar alta frecuencia, generalmente entre 10 y 450KHz, debido a que cuanto más alta es la frecuencia más superficiales son las corrientes inducidas y, por lo tanto, más superficial es el calentamiento.

El método de inducción puede ser empleado para soldadura fuerte en materiales no féreos, pero se aplica más ampliamente para soldar materiales ferromagnéticos, como por ejemplo Hierro, Níquel, Cobalto, en los cuales se produce un calentamiento adicional debido a los efectos de la histéresis magnética. También se pueden soldar materiales disimilares mediante el método de inducción, aunque en este caso, cuando se quiere igualar el

calentamiento producido en metales magnéticos y no magnéticos, se deben emplear técnicas especiales. Estas técnicas también son aplicables cuando se desea unir materiales con distintos coeficientes de conductividad térmica.

Este proceso se puede usar en todos los intervalos de temperatura y con todos los materiales que tengan una alta conductividad eléctrica. Es por tanto un proceso muy versátil que se emplea para gran cantidad de aplicaciones sobre todo en grandes producciones en serie en las que las piezas tienen la misma forma. El equipo necesario para realizar la soldadura "brazing" por inducción está formado básicamente por:

#### 2.12.3.1. GENERADORES DE ENERGÍA

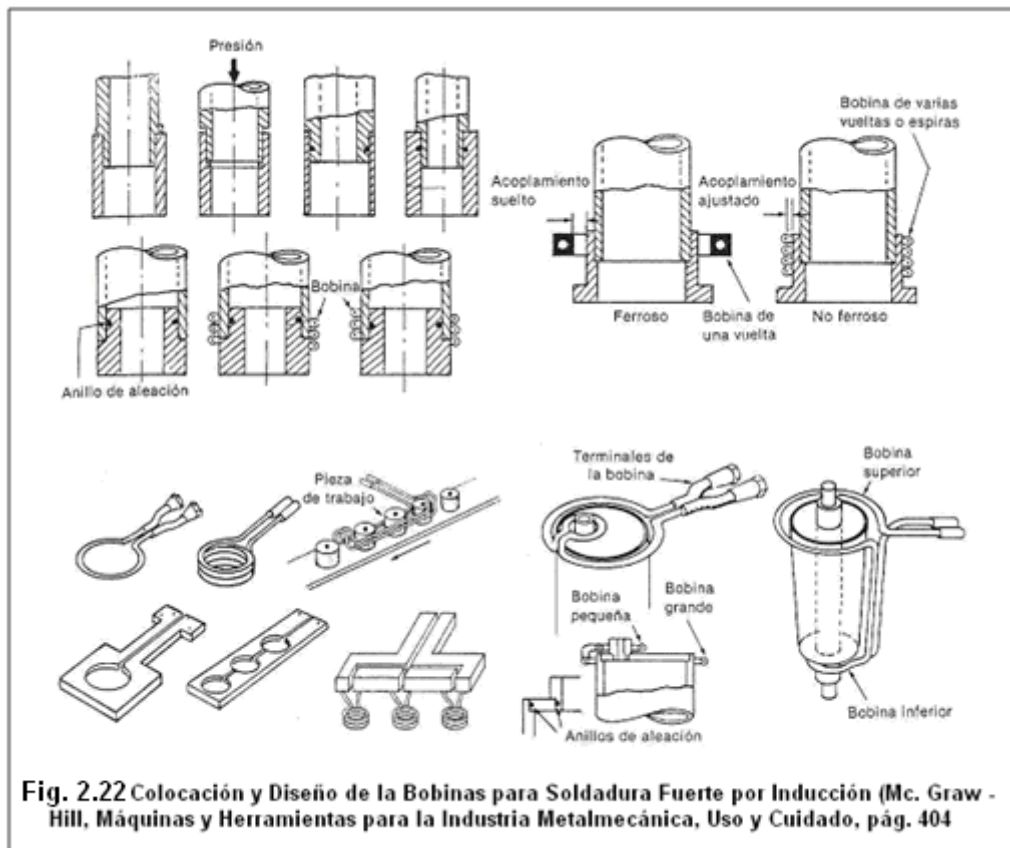
Los equipos de inducción son de tres tipos: motor-generator, espinterómetros y unidades de tubo-vacío. Para esta clasificación se puede decir que los motores-generadores son de baja frecuencia (sobre 10KHz), los chispa-gap (espinterómetros) son unidades de media frecuencia (20 a 300KHz), y los tubos-vacío son de media a alta frecuencia (100 a 450KHz).

##### 2.12.3.1.2. INDUCTORES (BOBINAS)

Para obtener por este procedimiento la unión deseada, es necesario un estudio riguroso del diseño del inductor, el cual se debe adaptar a las dimensiones y configuraciones de la junta a ser soldada, la energía aplicada, el tiempo de soldeo, y la potencia requerida.

Inductores diseñados para efectuar uniones en zonas internas de las piezas. Se emplean en aquellas aplicaciones en donde un inductor externo no puede lograr la temperatura adecuada para que se produzca la unión, debido a su inaccesibilidad. (fig.2.22).





### 2.12.3.3. LIMPIEZA POSTERIOR AL SOLDEO

La limpieza posterior al brazing se hace principalmente para eliminar los residuos del fundente; los cuales son corrosivos y si no se eliminan pueden atacar al material base o al material de aporte y debilitar la unión.

El método de eliminación de residuos depende del tipo de fundente utilizado:

Fundentes tipo Easyflo, se pueden eliminar mediante su inmersión en agua caliente a 60° C durante 10 a 15 minutos, siempre y cuando los residuos no se hayan quemado, es decir no exhiban un color negruzco. Después del remojo la zona de la unión puede requerir de unos ligeros frotamientos para asegurar completamente su limpieza.

Mc. Graw-Hill, Maquinas y Herramientas para la Industria Metalmeccánica, Uso y Cuidado, impreso en México, editorial Litografica de México, S.A. de C.V., Pág. 404

Fundente Tenacity No 5, no son solubles en agua y se eliminan bien mediante medios mecánicos como chorreado, aunque también puede ser utilizada una solución hirviendo de sosa cáustica al 10 %.

#### 2.12.4. SOLDADURA FUERTE POR RESISTENCIA

Es un proceso de unión por resistencia en el cual se calientan localmente las piezas de trabajo y se coloca el material de aporte entre estas para que se funda por el calor generando el paso de la corriente eléctrica por los electrodos y la pieza de trabajo. Se forman pequeños charcos de metal fundido en el área de soldadura a medida que la elevada corriente (1.000 a 100.000 A) pasa a través del metal. La presión de los electrodos es el medio usual para dar el ajuste necesario de la junta para el buen comportamiento capilar. La soldadura por resistencia es una de las técnicas de soldadura más antiguas y ofrece un gran número de ventajas sobre otras, incluyendo rapidez y eficiencia energética.

Los métodos de la soldadura por resistencia son eficientes y causan poca contaminación, pero sus aplicaciones son algo limitadas y el costo del equipo puede ser alto. Es una soldadura de tipo autógeno ya que en la unión entre las piezas no intervienen materiales ajenos a ellas.

Las piezas que forman la unión se convierten en parte del circuito eléctrico. El metal de aporte de soldadura fuerte, en alguna forma que resulte conveniente, se coloca previamente en la unión o se alimenta durante la soldadura. (fig. 2.23).

La aplicación de fundente se hace con la debida consideración de la conductividad de los fundentes (la mayor parte de los fundentes son aislantes cuando están secos.) Se utilizan fundente siempre que no se introduzca específicamente una atmósfera que realice la misma función. Las partes por soldar se sostienen entre dos electrodos y se aplica una presión y una corriente adecuadas. La presión deberá mantenerse hasta que la unión se haya solidificado.

El metal de aporte de soldadura fuerte se aplica previamente en forma de alambre, calzas, rondanas, anillos, polvo o pasta.

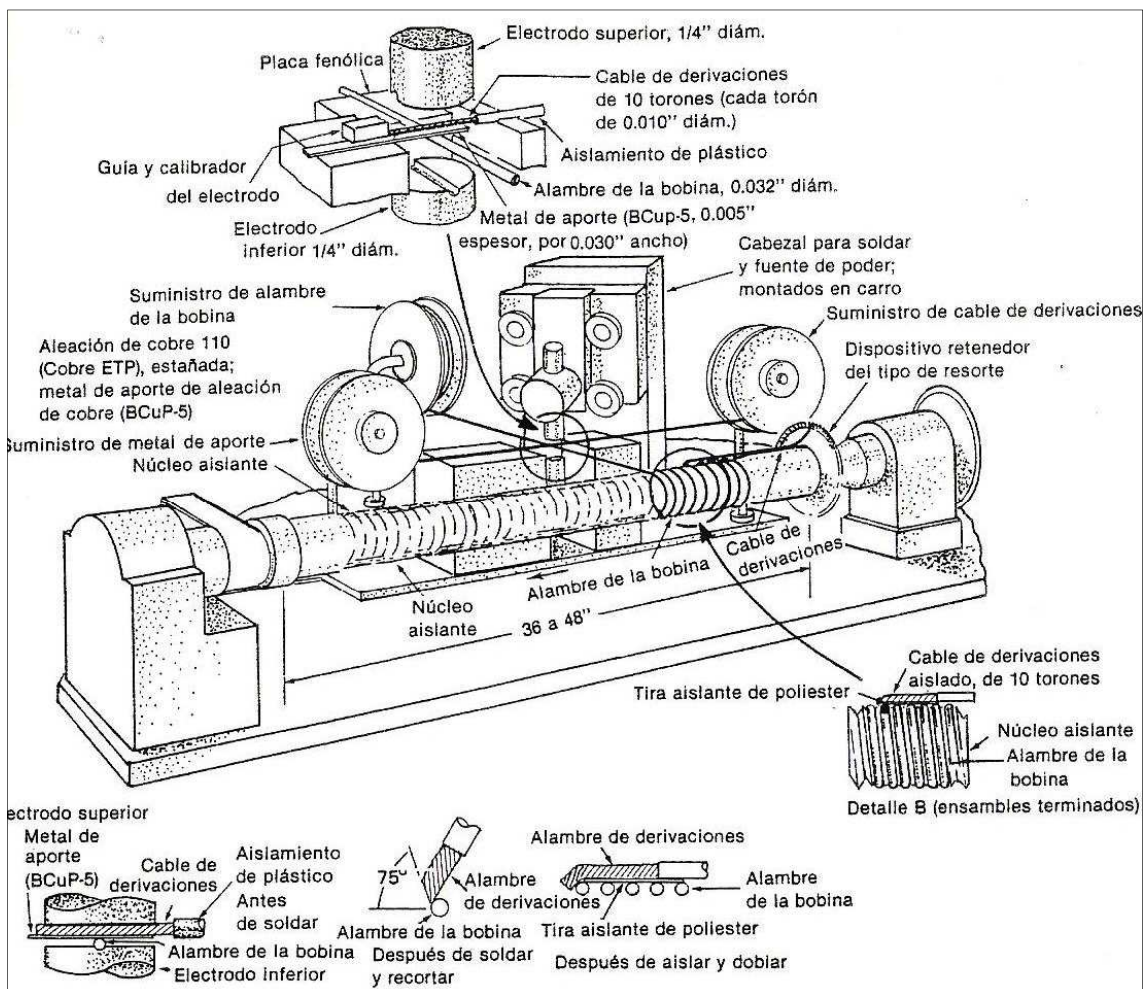


Fig. 2.23. Fuente <http://soldadurafuerte.blogspot.com/>

En unos cuantos casos es posible la alimentación durante la soldadura. Es el caso del cobre y sus aleaciones, los metales de aporte de cobre-fósforo son los más satisfactorios, ya que son auto fundente. Es factible usar metales de aporte con base de plata, pero se requerirá un fundente o una atmósfera protectora. Los fundentes húmedos son los que se aplican en forma de una mezcla muy aguada justo antes de colocar el ensamble en la fijación para soldadura fuerte, no se usan fundentes secos porque son aislantes y no permiten el paso de suficiente corriente.

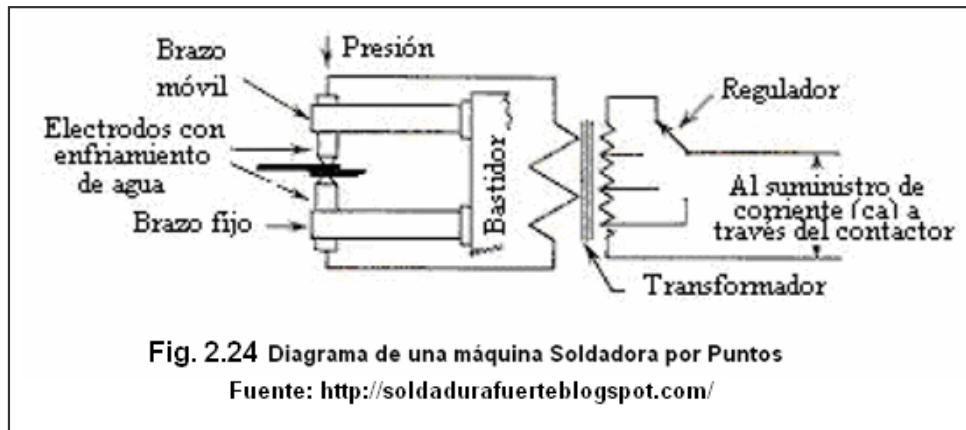
Las piezas por soldar deben de estar limpias. Ellas, junto con el metal de aporte y el fundente, se ensamblan y colocan en la fijación, y reaplica presión. Conforme fluye la corriente, los electrodos se calientan, a menudo hasta la incandescencia, y el fundente y el metal de aporte se derriten y fluyen. La corriente deberá ajustarse a un nivel tal que se logre un calentamiento rápido y uniforme de las piezas. Si hay sobrecalentamiento se corre el riesgo de oxidar o fundir el trabajo, y los electrodos se deterioraran. Si la corriente es muy baja, se prolongara el tiempo de soldadura. La mejor combinación de calentamiento rápido con una vida útil razonablemente larga de los electrodos se determina experimentando con diferentes composiciones de electrodos, geometrías y voltajes. El enfriamiento rápido desde una temperatura elevada de las piezas facilitara la eliminación del fundente. El ensamble soldado primero deberá enfriarse lo suficiente para que la soldadura fuerte pueda mantener unidas las piezas.

La corriente eléctrica pasa por un transformador en el que se reduce el voltaje de 120 o 240 a 4 o 12 V y se eleva el amperaje considerablemente para elevar la temperatura. La corriente variara entre 50A en el caso de trabajos pequeños y delicados hasta varios miles de amperes para trabajos más grandes. Los electrodos para soldadura fuerte por resistencia se fabrican con conductores eléctricos de alta resistencia, como los bloques de grafito o de carbón, las varillas de tungsteno o molibdeno, o incluso acero en algunos casos.

La soldadura por resistencia es aplicable a casi todos los metales, excepto el estaño, zinc y plomo. En los procesos de soldadura por resistencia se incluyen los de:

#### 2.12.4.1. SOLDADURA POR PUNTOS

Es el proceso de soldadura por resistencia más utilizado en la unión de piezas formadas con chapas y láminas de acero de espesores pequeños o medianos, (fig. 2.24).



Durante el proceso, una corriente eléctrica fluye directamente desde un electrodo a otro atravesando las láminas a ser soldadas, a su paso encuentra una serie de resistencias que disipan energía en forma de calor. Las máquinas soldadoras de puntos pueden ser fijas o móviles o bien estar acopladas a un robot o brazo mecánico. Según la Ley de Joule,

$$Q = I^2 \times R \times t$$

Dinde:

Q = Es el calor producido (kelvin)

I = La corriente que fluye en la zona de soldadura (amperios)

R = La resistencia total (ohm)

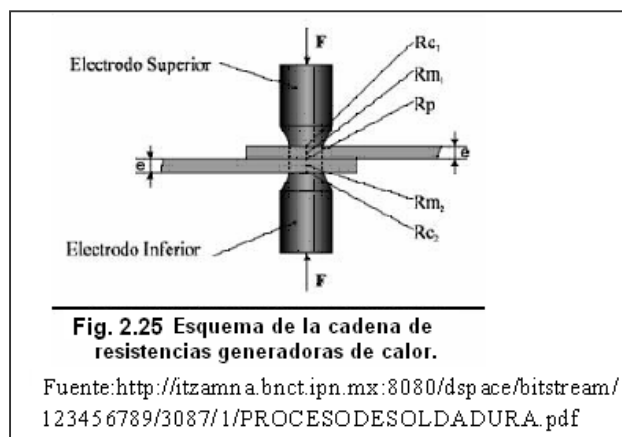
t = La duración total del flujo de corriente. (Segundos)

Ajustando correctamente los parámetros, se forma un núcleo de material fluido que se denomina lenteja de soldadura. Las dimensiones de la lenteja dependen del balance térmico en la zona de soldadura por lo que es muy importante estabilizar el aporte de calor en esa región.


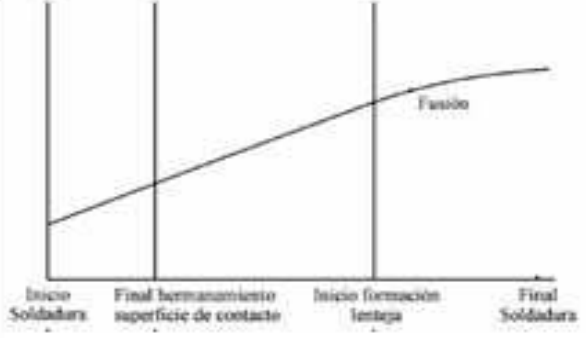
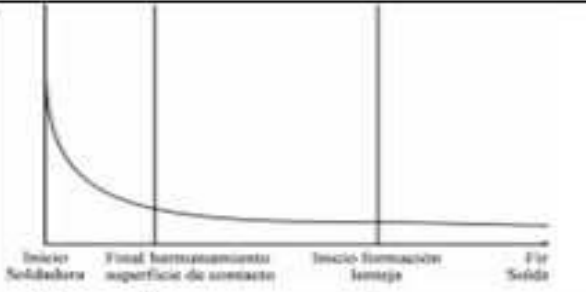
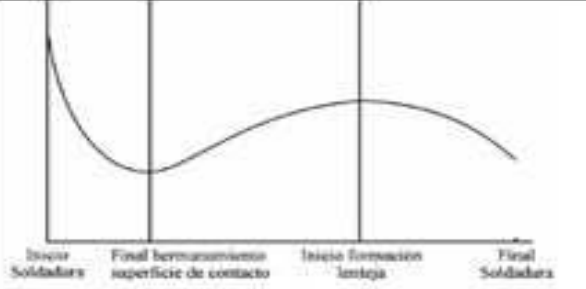
El equilibrio térmico se ha de conseguir variando las resistencias que intervienen para mantener la simetría y para ello se puede actuar sobre el diámetro de la cara activa de los electrodos y con la conductibilidad de los cobres empleados en los electrodos. Las piezas se mantienen prensadas en todo momento por los propios electrodos ya que la unión íntima sólo se verifica por la aplicación de un esfuerzo adecuado de forja.

A su paso por las chapas, la corriente eléctrica encuentra cinco resistencias diferentes generadoras de calor que configuran la evolución de la resistencia total, fig. 2.25.

Un punto de soldadura por resistencia óptimo es aquel que cumple con los parámetros de diámetro y penetración requeridos. En general, un punto de soldadura debe tener un diámetro aproximadamente igual al diámetro del electrodo más pequeño y una penetración en el metal mayor del 20% y menor del 80% respecto al espesor de las piezas. Pero en ocasiones, la soldadura puede no haber conseguido estos requisitos dando lugar a uniones defectuosas, (tabla 2.3).



**Tabla 2.3. Graficas de la cadena de resistencia generadoras de calor**

<p><u><math>R_c</math></u> Es la resistencia de contacto entre las piezas a soldar y representa la zona donde convendría que se depositase todo el calor generado durante el proceso.</p>	
<p><u><math>R_{nr}</math> y <math>R_{na}</math></u> Son las resistencias propias del material a soldar. En frío, estas resistencias tienen un valor pequeño pero aumentan con la temperatura generando un calor que a lo largo del proceso se convertirá en el principal componente del calor total.</p>	
<p><u><math>R_{ce}</math> y <math>R_{ca}</math></u> Son las resistencias de contacto del electrodo con la pieza. Reducir estas resistencias es primordial para alargar la vida de los electrodos y reducir las huellas en la superficie de las piezas.</p>	
<p><u>Resistencia total</u> El conocimiento del comportamiento de la resistencia dinámica es fundamental para un buen control del proceso.</p>	

Para la formación del punto de soldadura no es sólo suficiente el paso de una corriente a través de las piezas y que se alcance en ellas el punto de fusión, también se necesita la aplicación de un esfuerzo entre los electrodos que suelde y forje la lenteja.

Cada material presenta su propia presión de electrodo óptima. Para evitar proyecciones y soldaduras de mala calidad hay que asegurar que los electrodos, no sólo lleguen a apretar las láminas sino que estén aplicando la magnitud de esfuerzo correcta.

Para cuantificar la secuencia de tiempo del proceso se emplean los ciclos (1 ciclo =  $1/50$  s = 20 ms). Existen cinco intervalos de tiempo fundamentales en una secuencia de soldadura por puntos:

*Tiempo de apriete:* es el intervalo de tiempo en el que se asegura que el esfuerzo aplicado es el correcto antes de que fluya la corriente.

*Tiempo de soldadura:* es el intervalo de tiempo durante el cual la corriente de soldadura está pasando.

*Tiempo de mantenimiento o de forja:* es el intervalo de tiempo durante el cual los electrodos permanecen juntos efectuando presión después del tiempo de soldadura.

*Tiempo de enfriamiento:* es el tiempo de ausencia de corriente entre pulsos sucesivos de corriente.

*Tiempo de separación:* intervalo, que transcurre entre el tiempo de forja de una soldadura y el de apriete de la siguiente, durante el cual se repositionan los electrodos.

#### 2.12.4.1.2. OTRAS VARIANTES DEL PROCESO

##### 2.12.4.2.1. SOLDADURA POR PROTUBERANCIAS

El lugar donde se produce el punto está determinado por una protuberancia creada artificialmente en la pieza en un proceso previo o por un borde o resalte natural de la pieza. Ahora la corriente y la presión mecánica las reciben las piezas en toda su superficie posible y se concentran en los únicos lugares donde se establece contacto entre estas dos chapas o piezas a soldar, que son esas protuberancias o resaltes situados en una de las dos piezas.

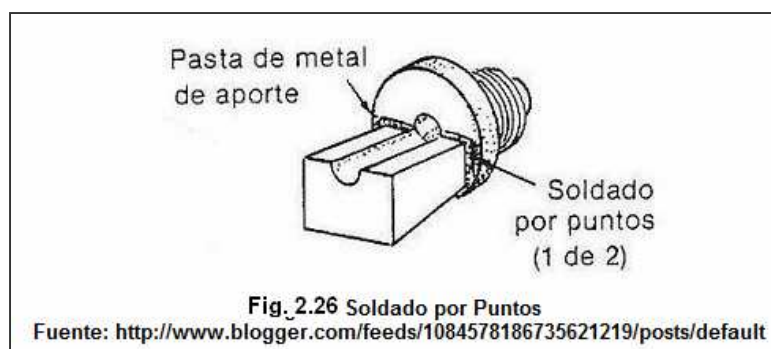


Con la soldadura por protuberancias se consigue que el punto se produzca a intensidades del mismo orden que en la soldadura por puntos pero como la pieza recibe la corriente por una gran superficie, los cobres que se emplean la transmiten sin sufrir deformaciones o desgastes. Pueden soldarse varios puntos a la vez y obtener soldaduras de gran sección teniendo como límite la intensidad y el esfuerzo aportados por el equipo. El aspecto exterior de las piezas soldadas es mejor debido a la ausencia de huellas irregulares y de zonas sobre-oxidadas por la aparición de puntos calientes.

El campo principal de aplicación está en piezas de dimensiones no muy grandes y se obtienen apreciables ventajas sobre la soldadura por puntos en el caso de piezas de difícil presentación y con mal acceso para los electrodos. Además, se consigue una gran precisión dimensional del conjunto soldado. Es un proceso apto para el soldeo de chapas con recubrimiento, emplomadas, galvanizadas, aluminizadas, etc. aunque requiere especial atención la aparición de problemas de encolado por desparrame de las protuberancias. Se pueden soldar piezas de distinta composición, acero con latón, piezas de material sinterizado, etc.

#### 2.12.4.2.2. SOLDADURA POR ROLDADAS

Una máquina de soldar por roldadas puede asimilarse a una máquina de soldadura por puntos en la cual los electrodos superior e inferior han sido sustituidos por unos discos del mismo material que los electrodos. Los discos giran, ambos a la misma velocidad periférica, desplazándose presionadas entre ellos las dos láminas o chapas a soldar, fig. 2.26.



Se puede utilizar la soldadura a tope con roldadas con aportación y laminación de una cinta auxiliar, que permite empalmes sin huella visible después de un esmerilado debido a que el volumen de la lámina que se incorpora al cordón cubre la depresión que en una soldadura normal se produce. Por economía debe mantenerse el mínimo de puntos por ensamble. La resistencia de estas juntas depende de la penetración entra las superficies más que de los cordones externos.

#### 2.12.4.2.3. SOLDADURA POR RESALTES.

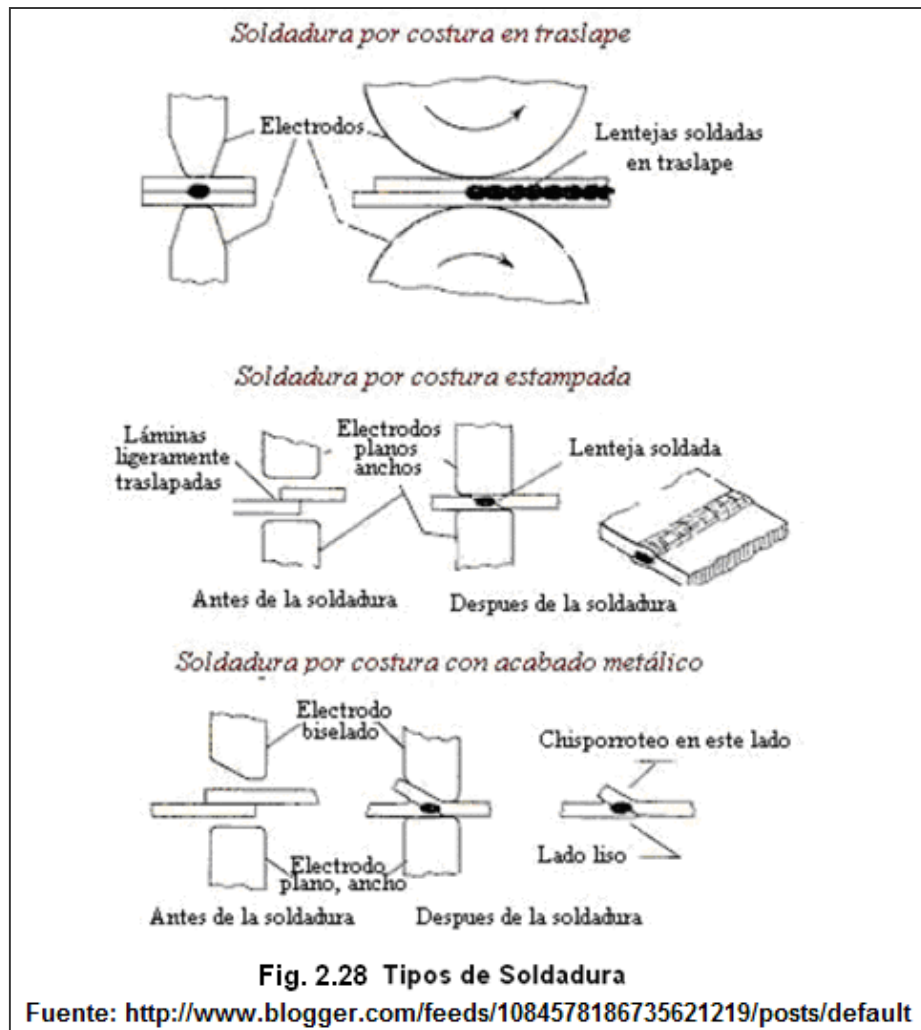
Es un proceso similar al de puntos sólo que en esta se producen varios puntos a la vez en cada ocasión que se genera el proceso. Los puntos están determinados por la posición de un conjunto



de puntas que hacen contacto al mismo tiempo, fig. 2.27.

#### 2.12.4.2.4. SOLDADURA POR COSTURA

Consiste en el enlace continuo de dos piezas de lámina traslapadas. La unión se produce por el calentamiento obtenido por la resistencia al paso de la corriente y la presión constante que se ejerce por dos electrodos circulares. Este proceso de soldadura es continuo.



### 2.12.5. SOLDADURA FUERTE POR INMERSIÓN

Esta variación en el proceso de soldadura fuerte está limitada a conjuntos muy pequeños.

Hay dos métodos de soldadura fuerte con Inmersión:

1. Baño de metal fundido.
2. Baño de químico (fundente) fundido.

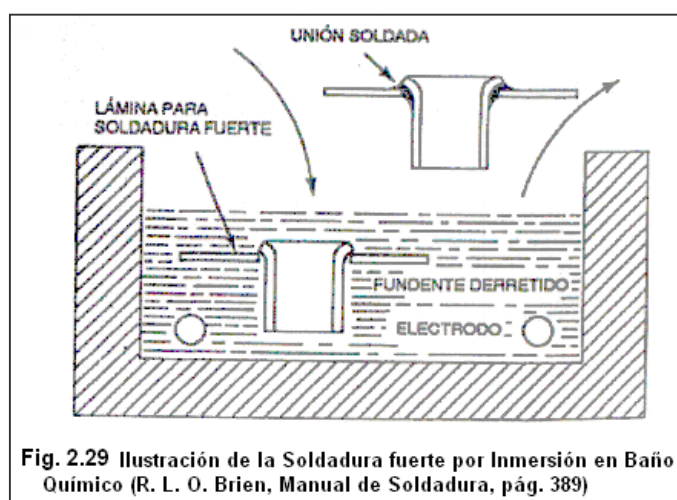
### 2.12.5.1. BAÑO DE METAL FUNDIDO

Esta técnica consiste de sumergir las piezas en un baño de metal fundido de soldadura fuerte. El material de soldadura fuerte es fundido en un crisol generalmente de grafito, se calienta externamente hasta la temperatura requerida para mantener el material de aporte de soldadura fuerte en estado fluido. Una capa de fundente cubre el metal de aporte fundido. El tamaño del baño fundido (crisol) y el método de calentamiento deben ser tales que la inmersión de las piezas en el baño no baje la temperatura de este último por debajo de la temperatura de soldadura fuerte. Las piezas por soldar primero se limpian y cubren con fundente y luego sumergidas en el baño.

Los extremos de los alambres o las piezas deberán mantenerse firmemente juntos desde que se saque del baño hasta que el metal de aporte se haya solidificado por completo. El proceso está limitado a la soldadura fuerte de ensamblajes pequeños tales como conexiones de alambres o cintas de metal cuando estos pueden sujetarse fácilmente en plantillas.

### 2.12.5.2. BAÑO DE QUÍMICO (FUNDENTE) FUNDIDO

Este método de Soldadura fuerte requiere un recipiente metálico o de cerámica para el fundente y un mecanismo para calentar el fundente hasta la temperatura de soldadura fuerte. El calor puede aplicarse externamente con un soplete o internamente con un elemento de calefacción por resistencia eléctrica, fig. 2.29.



Un tercer método implica el calentamiento por resistencia eléctrica del fundente mismo, en este caso, el fundente debe derretirse primero mediante calentamiento externo. Se dispone de controles apropiados para mantener el fundente dentro del intervalo de temperatura de soldadura fuerte.

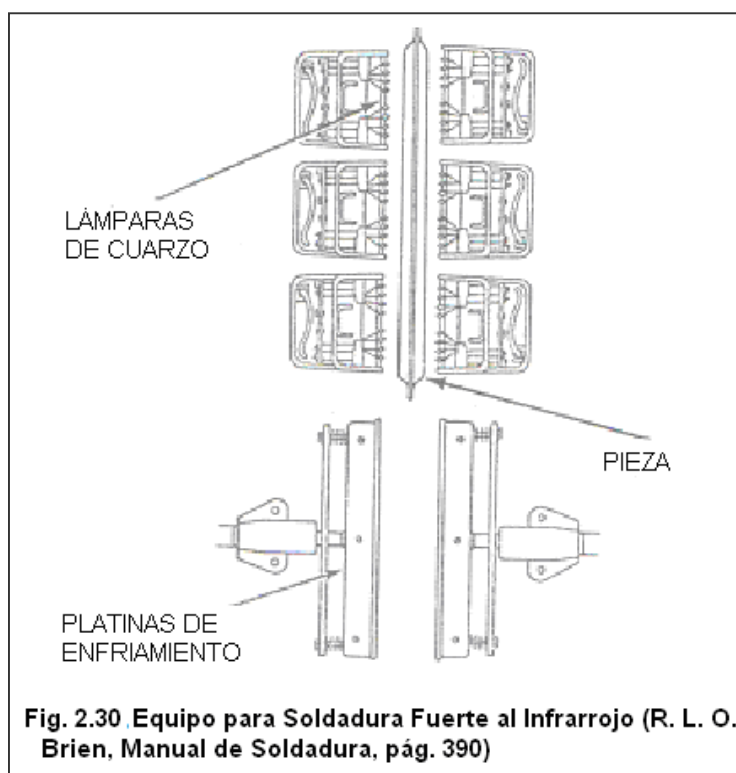
El tamaño del baño debe ser tal que la inmersión de las piezas que se van a soldar no enfrié el fundente por debajo de la temperatura de soldadura fuerte. Las piezas deberán limpiarse, ensamblarse y de preferencia sujetarse con guías antes de sumergidas en el baño. El metal de aporte de soldadura fuerte se coloca previamente en forma de anillos, rondanas, barras, pasta o como revestimiento sobre el metal base. Puede requerirse precalentamiento para asegurar que las piezas estén secas y evitar la congelación de fundente en las piezas, lo que podría causar una fusión selectiva del fundente y el metal de aporte de soldadura fuerte. Las temperaturas de precalentamiento por lo regular son cercanas al punto de fusión del fundente. Una cierta cantidad de fundente queda adherida al ensamble soldado. El fundente derretido debe escurrir de las piezas mientras estas están calientes. El fundente que permanezca en las piezas frías deberá eliminarse con agua o agentes químicos.

#### 2.12.7 SOLDADURA FUERTE AL INFRARROJO

La soldadura fuerte al infrarrojo puede considerarse como una variación de la soldadura fuerte en horno en lo que el calor se suministra por radiación luminosa de onda larga situada en el espectro por debajo de los rayos X visibles. (fig. 2.30)

El calentamiento se produce por la radiación invisible de lámparas de cuarzo de alta intensidad capaces de proporcionar hasta 5000watts de energía radiante. El aporte de calor varía en proporción inversa con el cuadrado de la distancia de la fuente, pero no es usual que las lámparas se moldeen de modo que sigan el contorno de las piezas que se van a calentar. Se usan reflectores concentradores para enfocar la radiación sobre las piezas.

Si es preciso soldar al vacío o con protección de gas inerte, el ensamble y las lámparas se colocan en una campana de cristal o retorta que pueda evacuarse o llenarse con gas inerte. En seguida se calienta la unidad hasta una temperatura controlada, indicada por termopares. La pieza se lleva a las platinas de enfriamiento una vez soldada. La figura muestra una disposición para soldadura fuerte al infrarrojo.



## 2.12.7. PROCESOS ESPECIALES

### 2.12.7.1. SOLDADURA FUERTE EXOTÉRMICA

La soldadura fuerte exotérmica es un proceso especial que calienta el metal de aporte comercial mediante una reacción química exotérmica en estado sólido. Dicha reacción genera calor por la energía libre que libera los reactivos. La naturaleza ofrece un sinnúmero de reacciones exotérmicas metal-óxido de metal en estado sólido o semisólido que pueden servir para unir piezas por soldadura fuerte exotérmica.

En la soldadura fuerte exotérmica se emplea herramental y equipo simplificado. El calor de la reacción lleva las zonas de unión de los metales adyacentes hasta una temperatura en la que el metal de aporte previamente colocado se funde y moja las superficies del metal base. Varios metales de aporte comerciales para soldadura fuerte poseen una temperatura de flujo apropiada. El proceso solo está limitado por el espesor del metal base y el efecto del calor de soldadura fuerte o de cualquier tratamiento térmico previo sobre las propiedades del metal.

### 2.13. AUTOMATIZACIÓN DE LA SOLDADURA FUERTE

Las variables importantes que intervienen en la soldadura fuerte son:

- La temperatura

- El tiempo de permanencia en la temperatura.

- El metal de aporte

- La atmósfera

Otras variables son:

- El embonamiento de las uniones.

- La cantidad del metal de aporte

- Modo de calentamiento.

Todas estas características pueden automatizarse.

El calentamiento con sopletes para soldadura autógena puede ser automático. Lo mismo puede decirse de la soldadura fuerte en horno, la soldadura fuerte por resistencia, la soldadura fuerte por inducción, la soldadura fuerte por inmersión y la soldadura fuerte al infrarrojo. En general, la cantidad de calor que se suministra a la unión se automatiza controlando la temperatura y el tiempo que el trabajo permanece a esa temperatura.

El metal de aporte para soldadura fuerte se puede colocar previamente en las uniones durante el ensamble de los componentes, o alimentarse automáticamente a las uniones cuando ya alcanzaron la temperatura de soldadura fuerte. El fundente puede aplicarse de la misma forma.

La automatización puede incluir además inspección y limpieza (eliminación de fundente) en línea, soldadura fuerte simultánea de múltiples uniones de un ensamble y operaciones de soldadura fuerte continuas. Por lo regular, el mayor costo de la automatización se compensa con el aumento de la productividad. En el caso de la soldadura fuerte, bien puede haber la justificación adicional del ahorro de energía por el calentamiento más eficiente de las uniones.

La soldadura fuerte manual con soplete, sin grado alguno de automatización, es la técnica de soldadura fuerte más sencilla, pero tiene justificación económica. En primer lugar, el operador puede ver la unión que está soldando y ajustar el proceso con base en sus observaciones. Segundo, el calor se dirige solo al área de la unión. Siempre que los costos de energía representan una fracción importante del costo de una unión soldada, esta es una consideración importante; la soldadura fuerte con soplete es de mano de obra intensiva y baja productividad.

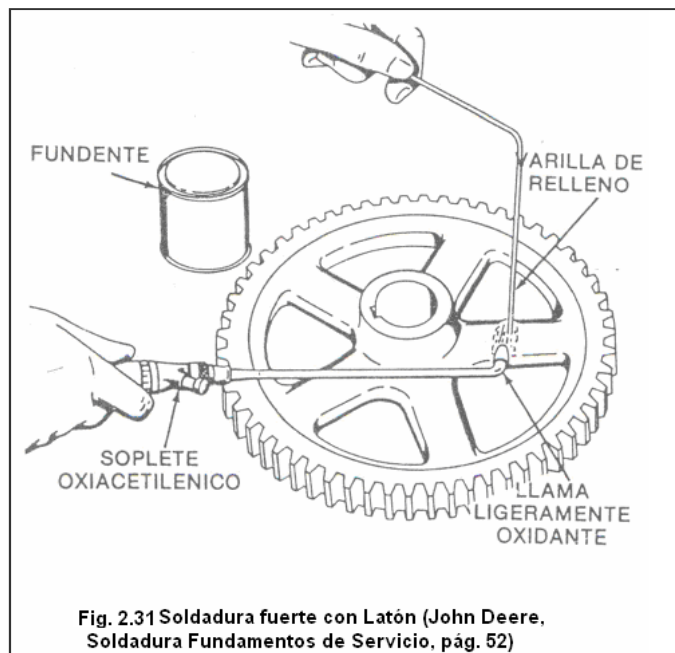
Un horno de banda continua incrementa la productividad pero no permite la inspección en línea y reduce la eficiencia energética porque se calienta todo el ensamble. Las máquinas de soldadura fuerte automática mejoran la técnica de soplete. Por lo regular, el calor se dirige exclusivamente al área de la unión con uno o más sopletes. Se puede obtener efectos similares mediante calentamiento inductivo.

#### 2.14. SOLDADURA CON LATÓN

La soldadura de latón es ligeramente distinta a la soldadura fuerte regular. Aunque la soldadura fuerte es la unión de dos superficies por una liga delgada de metal de soldadura fuerte, la soldadura con latón es muy parecida a la soldadura por fusión, excepto que el metal por soldar no se derrite. El metal por soldar es calentado hasta su temperatura de estañar y luego se deposita un cordón de soldadura sobre la costura con una varilla de relleno.



Aunque el metal por soldar en realidad nunca se derrita, la liga formada por los metales de soldadura fuerte con latón son muchas veces comparables con aquellas logradas por la soldadura por fusión.



**La soldadura con bronce** es una operación típica de soldadura con latón. Esta técnica está utilizada con frecuencia para unir o reparar metales tales como hierro fundido, piezas fundidas maleables, cobre, metal amarillo, y varios metales desemejantes. (fig. 2.31)

La varilla de relleno de bronce que se aplica a la costura consiste de cobre y cinc con pequeñas cantidades de estaño, hierro, manganeso y silicio.

El procedimiento de soldar consiste de limpiar la superficie y luego aplicar una capa de fundente para difundir el óxido. El fundente es aplicado sumergiendo la varilla calentada en el fundente pulverizado. El fundente también puede mezclarse con agua y distribuirse sobre la costura.

Cualquier clase de junta es adaptable para soldadura fuerte con bronce.

En secciones gruesas, los bordes deberán biselarse para formar una ranura en V de 90°. El metal por soldar está colocado de manera que la soldadura se mueve hacia arriba en una inclinación. (Fig. 2.32). En esta posición, el bronce fundido no puede fluir delante del área calentada de soldar, y la superficie en frente de la soldadura está abierta para calentarse.



Generalmente, la soldadura fuerte con bronce es efectuada con un soplete oxiacetilénico con una llama **ligeramente oxidante**.

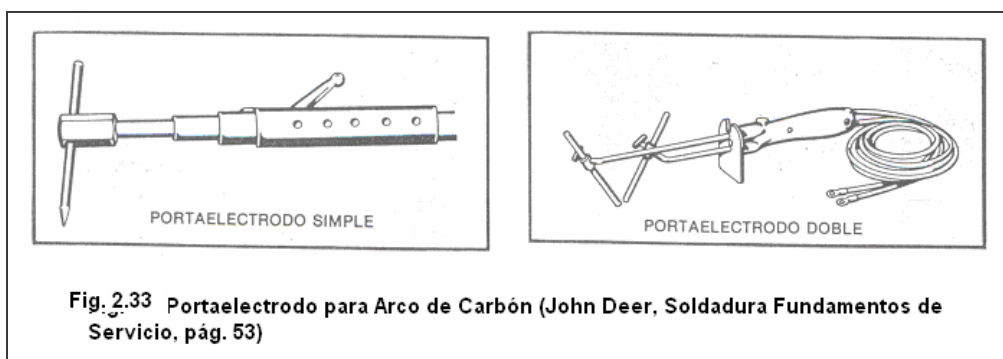
La llama está concentrada en el extremo de comienzo hasta que el metal empiece a enrojecerse. Se derrite una cantidad pequeña de bronce en la superficie y este se distribuye a lo largo de la costura. El flujo de esta película de bronce se llama la operación de estañar.

A menos que las superficies se estañen correctamente, el resto de la soldadura con bronce no puede lograrse con éxito.

Si la superficie del metal este tratado correctamente, el bronce deberá distribuirse uniformemente sobre el metal.

Una superficie que este demasiado caliente causara que el bronce forme burbujas o gotas como el agua en una estufa caliente. Cuando el bronce se forma en bolas que tienden a rodar, el metal por soldar necesita calentarse más. Una vez que el metal por soldar este bien estañado, se deposita un cordón de soldadura sobre la costura utilizando un movimiento ligeramente circular. La varilla deberá sumergirse constantemente en el fundente a medida que la soldadura avance.

Una parte de la soldadura fuerte está lograda con un arco entre electrodo de carbón. El proceso es muy parecido al arco de electrodos de metal, excepto que el electrodo no se derrite ni proporciona metal de relleno. Aquí el electrodo de carbón solamente sirve como el medio de generar el arco. El electrodo es de grafito puro o en la forma de carbón revestido con cobre, y está sujeto en un portador especial, fig.2.33.

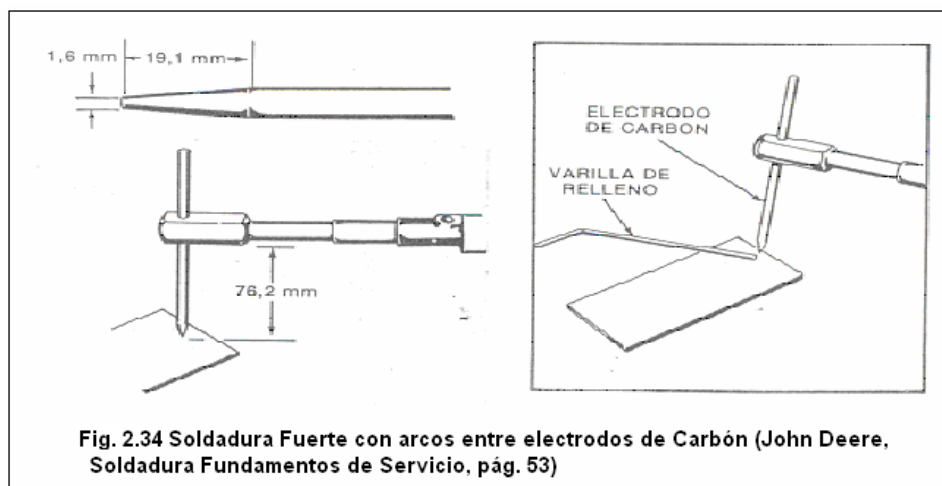


El porta electrodo regular no es adecuado porque el electrodo de carbón se vuelve muy caliente y el calor intenso muy pronto destruye al portador regular. Un escudo muchas veces está colocado cerca del mango para proteger la mano del operador contra el calor.

El mango del portador está diseñado de manera que el aire puede circular alrededor del mismo para enfriarlo. Cuando el arco del carbón se use para operaciones continuas, el portador muchas veces tiene enfriamiento por agua. El electrodo para soldadura fuerte es formado moliéndolo a un punto largo y ahusado. (Fig. 2.34).

Se puede usar una fuente de fuerza CD o CA para la soldadura fuerte. Con una unidad de CA, el arco está formado entre dos electrodos de carbón sostenidos en un portador. En el método de un solo electrodo de carbón con corriente CD, la maquina deberá ajustarse para polaridad directa. La polaridad inversa produce un arco demasiado inestable y causa cantidades mayores de carbón vaporizado a entrar al material fundido de soldadura fuerte.

La soldadura fuerte se hace estableciendo un arco y alimentado una varilla soldadora en el arco. La mayoría de la soldadura por arco entre electrodos de carbón esta efectuada con una varilla de bronce-silicio sin revestimiento. La varilla de relleno es agarrada y movida a través de la superficie con el arco sobre la varilla.

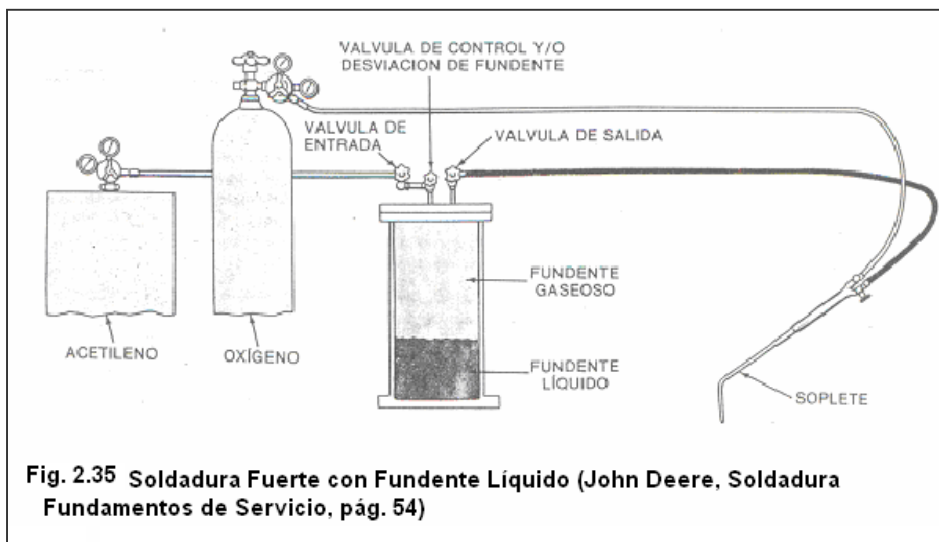


Con el portador CA, el arco formado entre los dos electrodos se queda intacto aunque los electrodos se retiren del metal por soldar. El arco está establecido moviendo los electrodos con un botón colocado en el portador hasta que los electrodos se toquen entonces se suelta la presión en el botón para permitir las puntas de los electrodos a separarse y establecer el arco. Cuando la distancia entre los dos electrodos sea correcta, habrá una llama suave y silenciosa.

## 2.15. SOLDADURA CON UN FUNDENTE LÍQUIDO

El uso de un fundente líquido elimina la necesidad de aplicar el fundente a las superficies metálicas de comenzar la operación de soldadura misma. Un material fundente en líquido está contenido en un tanque separado, lo que está conectado a la línea regular de gas (Fig. 2.35). El flujo del gas al tanque vaporiza el fundente, induciéndolo en el flujo de gas donde este pasa a través del soplete soldador y a la llama.

Cuando la llama hace contacto con el metal, el fundente en la llama limpia la superficie y aplica el fundente para la soldadura fuerte. No se requiere limpiezas previas o posteriores de las piezas.



Por regla general, se requiere menos calor con los fundentes líquidos que lo que se requiere con el uso de un fundente en polvo o un fundente húmedo. El metal de la soldadura no se oxida y la resistencia de la pieza soldada es mayor. Con la excepción del tanque para el fundente, no se requiere ningún otro equipo especial, pues se utiliza un soplete soldador tipo regular. El tanque está equipado con una unidad de control de tres válvulas.

La válvula de admisión regula la entrada del gas al tanque, la válvula de fundente o de desviación controla la cantidad de fundente utilizado o elimina el fundente por completo y la válvula de salida suministra el gas con el fundente a través de la línea del soplete.

### 2.15.1 APLICACIONES

El proceso de soldadura fuerte se usa para unir diversos materiales con numerosos propósitos. Si se emplea un diseño de unión adecuado, la soldadura resultante puede funcionar mejor que los metales base que se unieron. En muchos casos conviene unir diferentes materiales a fin de obtener el beneficio máximo de ambos y producir una unión óptima desde el punto de vista de la efectividad de costos o de peso. Las aplicaciones de la soldadura fuerte abarcan todas las áreas de fabricación, desde juguetes baratos hasta motores de aviones de la más alta calidad y vehículos aeroespaciales. Se usa la soldadura fuerte porque puede producir resultados que no siempre pueden obtenerse con otros procesos de unión. Las ventajas de soldadura fuerte para la unión de componentes incluyen los siguientes:

1. Es económica para ensambles complejos.
2. Es una forma sencilla de unir áreas de empalme grandes.
3. La distribución de esfuerzos y técnica es excelente.
4. Conservar los recubrimientos y revestimientos.
5. Puede unir materiales disímiles.
6. Permite unir metales y no metales.
7. Puede unir espesores muy diferentes.
8. Permite unir piezas de precisión.
9. Las uniones requieren poco o ningún acabado.
10. Se puede unir muchas piezas al mismo tiempo (procesamiento por lotes).

## 2.16. SOLDADURA DE METALES FERROSOS

Utilice una soldadura de plata con el desoxidante correspondiente.

Proceda igual que para la soldadura por capilaridad.

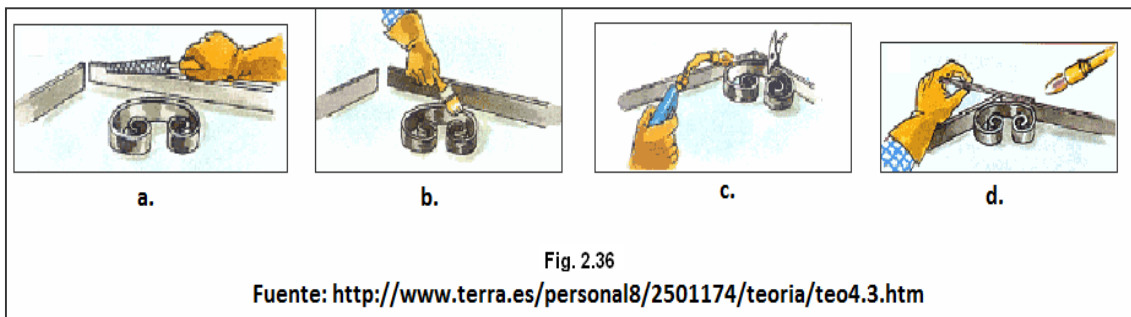
Limpie las partes a soldar.

Pule con la lima. Fig. 2.36a

Aplique el desoxidante con la brocha. Fig. 2.36b.

Sujete las piezas con ayuda de unas mordazas de presión y caliente a la temperatura adecuada. Fig. 2.36c.

Acerque la varilla de material de aportación fuera de la llama inclinándola ligeramente. Fig. 2.36d.

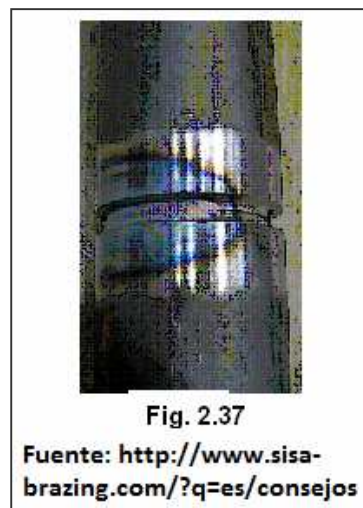


## 2.17 CALIDAD DE LA SOLDADURA FUERTE

La medida principal usada para juzgar la calidad de una soldadura es su fortaleza y la fortaleza del material alrededor de ella. Muchos factores distintos influyen en esto, incluyendo el método de soldadura, la cantidad y la concentración de la entrada de calor, el material base, el material de relleno, el material fundente, el diseño del empalme, y las interacciones entre todos estos factores. Para probar la calidad de una soldadura se usan ensayos no destructivos como ensayos destructivos, para verificar que las soldaduras están libres de defectos, tienen niveles aceptables de tensiones y distorsión residuales, y tienen propiedades aceptables de zona afectada por el calor.

### 2.17.1 ZONA AFECTADA POR EL CALOR

El área azul resulta de la oxidación en una temperatura correspondiente a 316 ° C. Esto es una manera precisa de identificar la temperatura, pero no representa el ancho de la zona afectada por el calor (ZAT). La ZAT es el área estrecha que inmediatamente rodea el metal base soldado (Fig. 2.37).



Los efectos de soldar pueden ser perjudiciales en el material rodeando la soldadura. Dependiendo de los materiales usados y la entrada de calor del proceso de soldadura usado, la zona afectada por el calor (ZAT) puede variar en tamaño y fortaleza. La difusividad térmica del material base es muy importante - si la difusividad es alta, la velocidad de enfriamiento del material es alta y la ZAT es relativamente pequeña. Inversamente, una difusividad baja conduce a un enfriamiento más lento y a una ZAT más grande. La cantidad de calor inyectada por el proceso de soldadura también desempeña un papel importante, pues los procesos como la soldadura oxiacetilénica tienen una entrada de calor no concentrado y aumentan el tamaño de la Zona Afectada.

### 2.17.2 DISTORSIÓN Y AGRIETAMIENTO

Los métodos de soldadura que implican derretir el metal en el sitio del empalme son necesariamente propensos a la contracción a medida que el metal calentado se enfría. A su vez, la contracción puede introducir tensiones residuales y tanto distorsión longitudinal como rotatoria. La distorsión puede plantear un problema importante, puesto que el producto final no tiene la forma deseada.



Para aliviar la distorsión rotatoria, las piezas de trabajo pueden ser compensadas, de modo que la soldadura dé lugar a una pieza correctamente formada.

Otros métodos de limitar la distorsión, como afianzar en el lugar las piezas de trabajo con abrazaderas, causa la acumulación de la tensión residual en la zona afectada por el calor del material base. Estas tensiones pueden reducir la fuerza del material base, y pueden conducir a la falla catastrófica por agrietamiento frío. El agrietamiento en frío está limitado a los aceros, y está asociado a la formación de la martensita mientras que la soldadura se enfría. El agrietamiento ocurre en la zona afectada por calor del material base. Para reducir la cantidad de distorsión y estrés residual, la cantidad de entrada de calor debe ser limitada, y la secuencia de soldadura usada no debe ser de un extremo directamente al otro, sino algo en segmentos.

El otro tipo de agrietamiento, el agrietamiento en caliente o agrietamiento de solidificación, puede ocurrir en todos los metales, y sucede en la zona de fusión de la soldadura. Para disminuir la probabilidad de este tipo de agrietamiento, debe ser evitado el exceso de material restringido, y debe ser usado un material de relleno apropiado.

### 2.17.3 SOLDABILIDAD

La calidad de una soldadura también es dependiente de la combinación de los materiales usados para el material base y el material de relleno. No todos los metales son adecuados para la soldadura, y no todos los metales de relleno trabajan bien con materiales bases aceptables.

### 2.18 VENTAJAS DE LA SOLDADURA FUERTE

El Brazing es la facilidad con la que se pueden unir metales no similares, si los metales bases no se derriten en realidad no importa si ellos tienen diferentes puntos de fusión.

Siempre y cuando las temperaturas requeridas puedan ser alcanzadas rápidamente, sin sobrecalentamiento local y evitando zonas frías, estas aleaciones producen uniones de alta calidad.

Las soldaduras con brazing posee una excelente apariencia, esta característica es especialmente importante en productos de consumo donde la apariencia es crítica como en la industria relacionada con los alimentos o bebidas donde los suaves acabados del brazing no se convierten en una trampa para los materiales sólidos o líquidos.

La soldadura fuerte produce uniones resistentes. Al contrario de lo que se puede pensar, la resistencia de la unión no tiene nada que ver con las características del material de aporte. Sorprendentemente y dependiendo del material base, la unión de un brazing realizado adecuadamente proporciona una resistencia mucho mayor que el material de aporte.

Produce uniones dúctiles capaces de soportar considerables choques y vibraciones y capaz de unir metales cuyas secciones transversales difieren notablemente.

Las uniones tienen una excelente distribución de esfuerzos, siendo el filete formado ideal para resistir fatiga.

Esta técnica es ampliamente utilizada en instalaciones de tuberías de líquidos y gases debido al impedimento que ofrece a la presencia de fugas.

Es idóneo en procesos donde no está permitida la fusión. Por ejemplo, la soldadura de pequeños soportes y casquillos a tuberías de motores, o en la unión de piezas de pequeño espesor y tamaño, donde las técnicas de fusión podrían destruir el material base.

También este proceso ofrece una buena conductividad eléctrica, siendo usado en aplicaciones donde esta propiedad es importante.

Es esencialmente una operación de un único proceso, si este se realiza adecuadamente. No requiere de rectificado o de acabados mecánicos después de que la unión se ha completado.

Permite la soldadura de los materiales base con recubrimientos y plaqueados, en el caso de *brazing* por horno de materiales base níquel que contengan titanio y aluminio, se requiere de un plaqueado de níquel en la zona de unión para mejorar el proceso.

## 2.19 LIMITACIONES DE LA SOLDADURA FUERTE

La preparación de las piezas puede resultar más costosa que en un proceso por fusión.

El brazing proporciona para algunos casos menos resistencia mecánica y continuidad en la unión que un proceso de fusión, aunque una soldadura correctamente diseñada y ejecutada puede ser tan resistente como los materiales base.

Las uniones óptimas están generalmente solapadas por lo que incrementa el peso del conjunto.

## 2.20. SECTOR INDUSTRIAL QUE LOGRA OBTENER LOS MÁXIMOS BENEFICIOS UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE BRAZING:

Industria Automotriz

Aire Acondicionado

Calefacción

Electrónica

Refrigeración

Cuando se desea disminuir el índice de rechazo.

Cuando se desea incrementar la seguridad en la operación.

Cuando se desea eliminar los costos de mantenimiento del generador.

## CAPITULO III

### 3. MATERIALES DE APORTE PARA SOLDADURA FUERTE SEGÚN LA NORMA AWS A5.8

#### 3.1. METALES DE APORTE PARA SOLDADURA FUERTE

Se han desarrollado aleaciones de formas y tamaños especialmente para ser usada en el proceso de Soldadura Fuerte o Brazing, empleándose para su fabricación metales puros, tales como, plata y cobre. Las aleaciones fabricadas tienen, un muy bajo punto de fusión y cuando, por cualquier método de calentamiento, se llega a la temperatura de soldadura, estas aleaciones funden y fluyen con facilidad sobre superficies metálicas limpias y por supuesto también convenientemente calentadas. Estas aleaciones fabricadas con metales puros y formulados con exactitud, tienen un gran poder humectante y fluidez capilar, siendo capaces de fluir a la temperatura de soldadura a través de intersticios, luz o separaciones de la unión, tan estrechas como 0,03mm.

Una vez que el material de aportación funde, entra en estado de fluidez capilar, penetrando y fluyendo a través de la pequeña separación de las caras de las piezas a soldar, la porción líquida que está en inmediato contacto con la superficie de las partes a unir reacciona con ella metalúrgicamente a nivel molecular, mientras que la otra porción queda fuertemente adherida a éste sustrato, obteniéndose así, una unión extraordinariamente firme y dúctil. El material de aportación que se ha de utilizar depende de la naturaleza de las piezas a unir y del uso que tengan. El siguiente cuadro relaciona los diferentes materiales de aportación más usados, en función del tipo de soldadura y de uso que se va a dar. (Tabla 3.1)

Tabla 3.1

Metal añadido	Lamp. Sold.	Sopl.	Sopl. Bi-Gas	Punto fusión	Usos	Resist. Mecánica	Desox.
Varilla de aluminio 1,5 mm	X	X	X	575° C	Exclusivamente unión de aluminio	10 Kg./mm <sup>2</sup>	Especial aluminio
Varilla de plata (40%) 1,5 mm	X	X	X	630° C	Unión de todos metales excepto aluminio, estaño, plomo, hierro colado	42 Kg./mm <sup>2</sup>	Especial plata
Varilla cobre fósforo 1,5 mm	X	X	X	820° C	Exclusivamente unión de cobre	50 Kg./mm <sup>2</sup>	Incorporado
Varilla cobre fósforo plata (5%) 1,5 mm	X	X	X	810° C	Exclusivamente unión de cobre	65 Kg./mm <sup>2</sup>	Incorporado

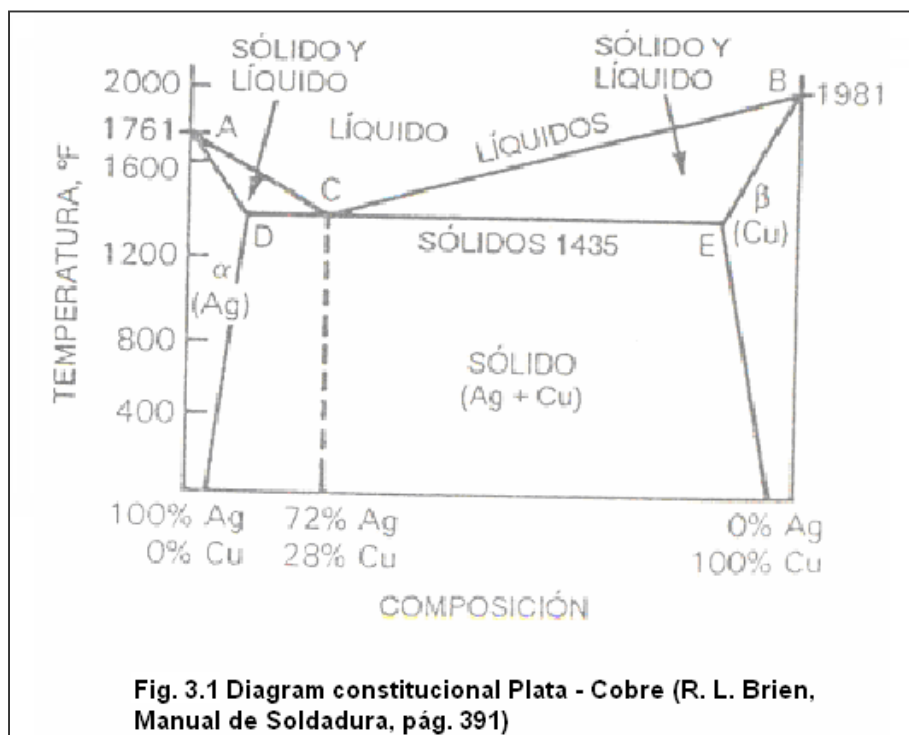
### 3.2. CARACTERÍSTICAS

Los metales de aporte para soldadura fuerte deberán tener las siguientes propiedades:

1. Capacidad de formar uniones soldadas con propiedades físicas y mecánicas apropiadas para la aplicación de servicio propuesta.
2. Punto de fusión o intervalo de fusión compatible con los metales base que se van a unir, y suficiente fluidez a la temperatura de soldadura fuerte para penetrar y distribuirse por acción capilar en las uniones debidamente preparadas.

3. Composición con la suficiente homogeneidad y estabilidad para minimizar la reparación de los constituyentes (licuación) durante la soldadura fuerte.
4. Capacidad para mojar las superficies de los metales base y formar una unión fuerte e íntegra.
5. Dependiendo de lo que se necesite, capacidad para producir o evitar las interacciones del metal de aporte y los metales base.

### 3.3. FUSIÓN Y FLUIDEZ



Los metales puros se funden a una temperatura constante y generalmente son muy fluidos. Las composiciones binarias (dos metales) tienen diferentes características, dependiendo de las proporciones de los dos metales.

La figura 3.1 es el diagrama de equilibrio del sistema binario plata-cobre. La línea de cambio a fase sólida (solidus), ADCEB, indica la temperatura de comienzo de la fusión de las aleaciones, en tanto que la línea de cambio a fase líquida (liquidus), ACB, indica las temperaturas a las que las aleaciones se vuelven completamente líquidas.

En el punto C las dos líneas se unen (72% plata – 28% cobre), lo que indica que esa aleación se funde esa temperatura específica (la temperatura eutéctica). Esta aleación tiene la composición eutéctica; es tan fluida como un metal puro, en tanto que las demás combinaciones de aleación son pastosas entre sus temperaturas de solidus y de liquidus. Cuanto mayor sea la separación entre estas dos temperaturas, más trabajos costarán que la aleación fluya al interior de una unión capilar.

La región  $\alpha$  es una solución sólida de cobre en plata, y la región  $\beta$  es una solución sólida de plata en cobre. La zona sólida central consiste en una mezcla íntima de soluciones sólidas  $\alpha$  y  $\beta$ . Por encima de la línea de liquidus, los átomos de plata y de cobre están distribuidos en forma totalmente homogénea en una solución líquida.

### 3.4. LICUACIÓN

Como las fases de aleación sólida y líquida de un metal de aporte para soldadura fuerte generalmente no son iguales, la composición del metal fundido cambiara gradualmente conforme se incremente la temperatura desde el solidus hasta el liquidus. Si se permite que la porción que se funde primero fluya hacia fuera, es posible que el sólido restante no se funda y permanezca como un residuo o calavera. Los metales de aporte con intervalos de fusión estrechados no tienden a separarse, de modo que fluya libremente al interior de uniones con separaciones extremadamente angostas. Los metales de aporte con intervalos de fusión amplios deben calentarse rápidamente o colocarse en la unión después de que el metal base haya alcanzado la temperatura de soldadura fuerte, a fin de minimizar la separación, que se denomina licuación. Los metales de aporte propensos a la licuación fluyen lentamente, solo penetran en uniones bastante separadas y forman filetes grandes en las extremidades de las uniones.

### 3.5. MOJADO Y ADHESIÓN

Para ser efectivo, un metal de aporte de soldadura fuerte debe alearse con la superficie del metal base sin (1) difundirse de manera indeseable al interior del metal base, (2) diluir el metal base, (3) erosionar el metal base y (4) no formar compuestos quebradizos.

Los efectos 1,2 y 3 dependen de la solubilidad mutua entre el metal de aporte y el metal base, de la cantidad de metal de aporte presente y de la temperatura y duración del ciclo de soldadura fuerte.

Algunos metales de aporte se difunden excesivamente y alteran las propiedades del metal base. Si se desea controlar la difusión se debe escoger un metal de aporte apropiado, aplicar la mínima cantidad posible y seguir el ciclo de soldadura fuerte correcto. Si el metal de aporte moja el metal base, mejorara el flujo capilar. Si los capilares entre las piezas metálicas son largos, la solubilidad mutua puede modificar la composición del metal de aporte por aleación. Por lo regular, esto elevara su temperatura de liquidus y hará que solidifique antes de llenar por completo la unión.

La erosión del metal base ocurre cuando el metal base y el metal de aporte de soldadura fuerte son mutuamente solubles. Hay ocasiones en que tal aleación fuerte es mutuamente soluble. Hay ocasiones en que tal aleación produce compuestos ínter metálico quebradizo que reducen la ductibilidad de la unión.

La composición de los metales de aporte para soldadura fuerte se ajusta con el fin de controlar los factores anteriores y conferir características deseables, como resistencia a la corrosión en medios específicos, temperaturas de soldadura fuerte favorables o ahorro de materiales. Así por ejemplo, para sobreponerse a la capacidad de aleación (humectabilidad) limitada de las aleaciones plata-cobre que se usan para soldar en fuerte hierro y acero, esos metales de aporte contienen cinc o cadmio, o ambos, que bajan las temperaturas de liquidus y solidus. Se añade estaño en lugar de cinc o cadmio en los casos en que son indeseables los constituyentes con presión de vapor



alta. De manera similar, se usa silicio para bajar las temperaturas de liquidus y solidus de los metales de aporte para soldadura fuerte de aluminio y con base níquel. Otros metales de aporte contienen elementos como litio, fósforo o boro, que reducen los óxidos superficiales del metal base y forman compuestos con punto de fusión por debajo de la temperatura de soldadura fuerte; esos óxidos fundidos pueden entonces fluir y salir de la unión, dejando una superficie metálica limpia para la soldadura fuerte.

### 3.6. SELECCIÓN DEL METAL DE APORTE

Hay que considerar cuatro factores en el momento de seleccionar un metal de aporte para soldadura fuerte:

Compatibilidad con el metal base y el diseño de la unión.

Requisitos de servicio del ensamble soldado.: La composición elegida debe satisfacer los requisitos de operación, como temperatura de servicio (alta o criogénica), ciclaje térmico, vida útil, esfuerzos de carga, condiciones corrosivas, estabilidad ante radiaciones y operación en vacío.

Temperatura de soldadura fuerte requerida: En general se prefieren las temperaturas de soldadura fuerte bajas a fin de economizar energía calorífica, minimizar los efectos térmicos sobre el metal base (recocido, crecimiento de granos, deformación), minimizar la interacción metal base-metal de aporte y prolongar la vida de las fijaciones y otras herramientas. Se usan temperaturas de soldadura fuerte altas cuando se desea: utilizar un metal de aporte con punto de fusión más alto pero que resulta más económico; combinar con la soldadura fuerte el recocido, la liberación de tensiones o el tratamiento térmico del metal base; realizar un procesamiento subsecuente a temperatura elevada; promover las interacciones metal base metal de aporte a fin de elevar la temperatura de refusión de la unión; o promover la eliminación de ciertos óxidos refractarios al vacío o con una atmósfera especial.

Método de calentamiento: Los metales de aporte con intervalos de fusión angostos-de menos de 28°C (50° F) entre solidus y liquidus- pueden usarse

con cualquier método de calentamiento, y el metal de aporte de soldadura fuerte se puede colocar previamente en el área de la unión en forma de anillos, rondandas, alambres moldeados, calzas, polvo o pasta.

Como alternativa, este tipo de aleaciones se puede alimentar en forma manual o automática a la unión una vez que se ha calentado el metal base. Los metales de aporte que tienden a la licuación solo deben usarse con métodos de calentamiento que lleven la unión a la temperatura de soldadura fuerte con mucha rapidez, o bien introducirse después de que el metal base haya alcanzado dicha temperatura.

Con objeto de simplificar la selección del metal de aporte, ANSI/ AWS A5.8, *Especificación para metales de aporte de soldadura fuerte*, divide los metales de aporte en siete categorías y en varias clasificaciones dentro de cada categoría. La especificación abarca los productos que son metales de aportes comunes, disponibles comercialmente.

En la tabla 3.2 se dan las combinaciones metal base-metal de aporte sugerido.

Combinaciones metal base metal de aporte											
	Al y sus aleaciones	Mg y sus aleaciones	Cu y sus aleaciones	Aceros al carbono y de baja aleación	Hierro colado	Acero inoxidable	Ni y sus aleaciones	Ti y sus aleaciones	Be, Zr y aleaciones (metales reactivos)	W, Mo, Ta, Cb y aleaciones (metales refractarios)	Aceros de herramientas
Al y sus aleaciones	BAISi										
Mg y sus aleaciones	X	BMg									
Cu y sus aleaciones	X	X	BAG, BAu, BCuP RbCuZn	BNi							
Aceros al carbono y de baja aleación	BAISi	X	BAG, BAu, RbCuZn BNi	BAG, BAu, RbCuZn BNi, BCu							
Hierro colado	X	X	BAG, BAu, RbCuZn BNi	Bag RbCuZn BNi	Bag RbCuZn BNi						
Acero inoxidable	BAISi	X	BAG, BAu,	BAG, BAu, BNi, BCu	BAG, BAu, BNi, BCu	BAG, BAu, BNi, BCu					
Ni y sus aleaciones	X	X	BAG, BAu, RbCuZn BNi	BAG, BAu, BCu, BNi RbCuZn	BAG, BAu, RbCuZn	BAG, BAu, BCu, BNi					
Ti y sus aleaciones	BAISi	X	BAG	BAG	BAG	BAG	BAG	Y			
Be, Zr y aleaciones (metales reactivos)	x	x	BAG	BAG, BNi*	BAG, BNi*	BAG, BNi*	BAG, BNi*	Y	Y		
W, Mo, Ta, Cb y aleaciones (metales refractarios)	X	X	BAG, BNi	BAG, BCu, BNi*	BAG, BCu, BNi*	BAG, BCu, BNi*	BAG, BCu, BNi*	Y	Y	Y	
Aceros de herramientas	X	X	BAG, BAu, RbCuZn BNi	BAG, BAu, RbCuZn BNi, BCu	BAG, BAu, RbCuZn BNi	BAG, BAu, BNi, BCu	BAG, BAu, BCu RbCuZn, BNi	X	X	X	BAG, BAu, BCu RbCuZn, BNi
Nota: Consulte la especificación AWS A5.8 si desea información sobre composiciones dentro de cada clasificación.											
X - No se recomienda, aunque se puede usar con técnicas especiales para ciertas combinaciones de metales disímiles											
Y - No es posible hacer generalizaciones sobre estas combinaciones. Consulte el Manual de soldadura fuerte para averiguar cuáles metales de aporte se puede usar.											
* - Existen metales de aporte de soldadura fuerte especiales y se usan con éxito con combinaciones de metales específicas.											
Metales de Aporte											
BAISi	Aluminio		BCuP	Cobre fósforo							
BAG	Base de Plata		RbCuZn	cobre cinc							
BAu	Base de Oro		BMg	Base de magnesio							
BCu	Cobre		BNi	Base de níquel							

## **NORMA AWS A 5.8**

### **3.7. METALES DE APORTE**

#### **3.7.1. METALES DE APORTE DE ALUMINIO – SILICIO**

Este grupo se usa para unir aluminio de los grados 1060, 1100, 1350, 3003, 3004, 5005, 6053, 6061, 6951, y las aleaciones coladas A712.0 y C711.1. Todos estos tipos se prestan a la soldadura fuerte en horno y por inmersión, y algunos de ellos también pueden soldarse en fuerte con soplete empleando uniones traslapadas en lugar de uniones a tope.

Las laminas o tubos para soldadura fuerte son fuertes útiles de metal de aporte de aluminio. Consisten en un núcleo de aleaciones de aluminio y un recubrimiento de metal de aporte con más bajo punto de fusión. Los recubrimientos son aleaciones aluminio-silicio, aplicadas a uno o ambos lados de la lámina. Con frecuencia se utiliza lámina para soldadura fuerte como uno de los miembros de un ensamble; el otro miembro se fabrica con una aleación soldable en fuerte sin revestimiento. El recubrimiento de la lámina o tubo para soldadura fuerte se funde a la temperatura de soldadura fuerte y fluye por atracción capilar y la acción de la gravedad hasta llenar las uniones.

#### **3.7.2. METALES DE APORTE DE MAGNESIO**

Se usa metal de aporte de magnesio (BMg-1) para unir las aleaciones de magnesio AZ10A, K1A y M1A empleando procesos de soldadura fuerte con soplete, por inmersión o en horno. El calentamiento se debe controlar con precisión para evitar la fusión del metal base. La separación óptima de las uniones para la mayor parte de las aplicaciones está entre 0.10 y 0.25 mm (0.004 y 0.010 pulg.). La resistencia a la corrosión es buena si el fundente se elimina por completo después de la soldadura fuerte. Los ensambles soldados en fuerte generalmente son apropiados para servicio continuo hasta 120° C

(250° F o servicio intermitente hasta 150° C (300° F), sujetos a las limitaciones usuales del entorno de operación real.

### 3.7.3. METALES DE APORTE DE COBRE Y COBRE-CINC

Estos metales de aporte de soldadura fuerte sirven para unir metales ferrosos y no ferrosos. En general, la resistencia a la corrosión de los metales de aporte de aleaciones cobre-cinc no es suficiente para unir cobre, bronce de silicio, aleaciones cobre-níquel ni acero inoxidable.

Los metales de aporte de soldadura fuerte de cobre prácticamente puro se usan para unir metales ferrosos, aleaciones con base de níquel y aleaciones cobre-níquel. Estos metales de aporte fluyen libremente y a menudo se usan para soldadura fuerte en horno con una atmósfera de gas quemada, hidrogeno o amoniaco disociado y sin fundente. Los metales de aporte de cobre están disponibles en formas forjadas y pulverizadas.

Un metal de aporte de cobre es un óxido de cobre que se suspende en un vehículo orgánico.

Los metales de aporte de cobre-cinc sirven para unir aceros, cobre, aleaciones de cobre, níquel, aleaciones con base de níquel y acero inoxidable en los casos en que no se requiere resistencia a la corrosión. Se emplean con los procesos de soldadura fuerte con soplete, en horno y por inducción. Se usa fundente, por lo regular de bórax con ácido bórico.

### 3.7.4. METALES DE APORTE DE COBRE-FÓSFORO

Estos metales de aporte sirven principalmente para unir cobre y aleaciones de cobre, y tienen aplicaciones limitadas en la unión de plata, molibdeno y tungsteno; no deben usarse en aleaciones ferrosas o con base de níquel, ni con aleaciones cobre cobre-níquel que tengan más del 10% de níquel. Estos metales de aportes son apropiados para todos los procesos de soldadura

fuerte, y tienen propiedades auto fundentes cuando se usan para unir cobre, tienden a la licuación si se calientan con lentitud.

### 3.7.5. METALES DE APORTE DE PLATA

Estos metales de aporte sirven para unir la mayor parte de los metales ferrosos y no ferrosos, con excepción del aluminio y magnesio, con todos los métodos de calentamiento. El metal de aporte puede colocarse previamente en la unión o alimentarse a la unión ya calentada.

Las aleaciones plata-cobre con alto contenido de plata no mojan bien el acero cuando la soldadura fuerte se realiza en aire y con fundente. El cobre forma aleaciones con cobalto y níquel con mucha mayor facilidad que la plata; por ello, el cobre moja muchos de estos metales y sus aleaciones satisfactoriamente, en tanto que la plata no lo hace. Si se suelda en fuerte en ciertas atmósferas protectoras sin fundente, las aleaciones plata-cobre mojan la mayor parte de los aceros y fluye libremente si la temperatura es la adecuada.

Si usa comúnmente cinc para bajar las temperaturas de fusión y el flujo de las aleaciones de plata-cobre es por mucho, el mejor agente mojadador para unir aleaciones con base de hierro, cobalto o níquel. Solo, o combinado con cadmio o estaño, el cinc produce aleaciones que mojan los metales del grupo del hierro pero que no se alean con ellos a profundidades que puedan percibirse.

Se agrega cadmio a algunos metales de aporte de aleaciones plata-cobre-cinc a fin de bajar todavía más las temperaturas de fusión y de flujo, y de incrementar la fluidez y la acción de mojado sobre diversos metales base. Puesto que los vapores de óxido de cadmio son peligrosos para la salud, se debe tener mucho cuidado al usar metales de aporte que contengan cadmio.

El estaño tiene baja presión de vapor a las temperaturas de soldadura fuerte normales, por lo que sustituye al cinc o al cadmio en los metales de aporte para soldadura fuerte cuando los constituyentes volátiles son objetables, como cuando la soldadura fuerte se realiza sin fundente en hornos de atmósfera

especial o de vacío, o cuando los ensambles soldados en fuerte se van a usar al alto vacío a temperaturas elevadas. Los metales de aporte de plata-cobre con adiciones de estaño tienen intervalos de fusión amplios. Los metales de aporte que contienen cinc mojan los metales ferrosos con mayor efectividad que los que contiene estaño, por lo que siempre se prefieren en los casos en que puede tolerarse el cinc.

Las estelitas, los carburos cementadas y otras aleaciones refractarias ricas en molibdeno y tungsteno se sueldan en fuerte con metales de aporte a los que se ha agregado manganeso, níquel y, raras veces, cobalto a fin de incrementar la acción de mojado.

Cuando los aceros inoxidable y las aleaciones que forman óxidos refractarios se sueldan en fuerte en atmósferas reductoras o inertes sin fundentes, los metales de aporte de plata que contienen litio como agente mojadador son muy efectivos. El calor de formación del  $\text{Li}_2\text{O}$  es muy alto, por lo que el litio metálico reduce los óxidos adheridos al metal base. El metal de aporte de soldadura fuerte desplaza con facilidad el óxido de litio que se produce.

### 3.7.6. METALES DE APORTE DE ORO

Los metales de aporte de oro sirven para unir piezas en ensambles de tubos de electrones en los que no pueden tolerarse componentes volátiles. Se usan para soldar en fuerte metales con base de hierro, de níquel y de cobalto en los que se requiere alta resistencia a la corrosión. Por lo regular se usan con secciones delgadas en virtud de su reducida tasa de interacción con el metal base.

### 3.7.7. METALES DE APORTE DE NÍQUEL

Los metales de aporte de níquel para soldadura fuerte generalmente se usan con aceros inoxidable de las series 300 y 400, aleaciones con base de cobalto y de níquel, e incluso acero al carbono, aceros de baja aleación y cobre cuando se desean propiedades específicas. Estos metales de aporte presentan

buenas propiedades de resistencia a la corrosión y al calor, y normalmente se aplican en forma de polvos, pastas, varillas, papel metálico, o en forma de láminas o cordones con aglomerantes plásticos.

Los metales de aporte de níquel tienen la característica de presión de vapor muy baja que se requiere en los sistemas al vacío y en aplicaciones de tubos al vacío o temperaturas elevadas.

Los metales de aporte que contienen fósforo tienen baja ductibilidad porque forman fósforos de níquel. Los metales de aporte que contienen boro se deben controlar con cuidado cuando se usan para soldar en fuerte secciones delgadas, a fin de prevenir la corrosión.

### 3.7.8. METAL DE APORTE DE COBALTO

Este metal de aporte se utiliza por sus propiedades a alta temperatura y por su compatibilidad con los metales con base de cobalto. La soldadura fuerte en una atmósfera de alta calidad o por difusión produce óptimos resultados. Existen fundentes especiales de alta temperatura para soldar en fuerte con soplete.

### 3.7.9. METALES DE APORTE PARA METALES REFRACTARIOS

La soldadura fuerte es excelente para fabricar ensambles de metales refractarios, sobre todo aquellos en los que intervienen secciones delgadas. No obstante, son pocos los metales de aporte que se han diseñado específicamente para aplicaciones de alta temperatura y alta corrosión.

Los metales de aporte y metales puros que se usan para soldar en fuerte metales refractarios se presentan en la tabla 3.3.

Los metales de aporte de bajo punto de fusión, como plata-cobre-cinc, cobre-fósforo y cobre sirven para unir tungsteno en aplicaciones de contactos eléctricos, pero son los metales de aporte no pueden dar servicio a temperaturas elevadas. En tales casos conviene usar metales raros de más alto punto de fusión, como tantalio y colombio.



Los metales de aporte con base de níquel y de metales preciosos también pueden servir para unir tungsteno.

Hay diversos metales de aporte para soldadura fuerte que unen molibdeno, pero es preciso considerar el efecto de la temperatura de soldadura fuerte sobre la re cristalización del metal base. Si se suelda en fuerte por encima de la temperatura de re cristalización, el tiempo de soldadura debe ser muy corto. Si no se requiere servicio a alta temperatura, es factible usar metales de aporte con base de cobre y plata.

**Tabla 3.3.**

<b>METALES DE APORTE DE SOLDADURA FUERTE PARA METALES REFRACTARIOS (a)</b>					
<b>Metal de Aporte</b>	<b>Temperatura de liquidus</b>		<b>Metal de Aporte</b>	<b>Temperatura de liquidus</b>	
	<b>°F</b>	<b>°C</b>		<b>°F</b>	<b>°C</b>
Cb	4340	2416	Mn-Ni-Cu	1870	1021
Ta	5425	2997			
Ag	1760	960	Co-Cr-Si-Ni	3450	1899
Cu	1980	1082	Co-Cr-W-Ni	2600	1427
Ni	2650	1454	Mo-Ru	3450	1899
Ti	3300	1816	Mo-B	3450	1899
Pd-Mo	2860	1571	Cu-Mn	1600	871
Pt-Mo	3225	1774	Cb-Ni	2175	1190
Pt-30W	4170	2299			
Pt-50Rh	3720	2049	Pd-Ag-Mo	2400	1306
			Pd-Al	2150	1177
Ag-Cu-Zn-Cd-Mo	1145-1295	619-701	Pd-Ni	2200	1205
Ag-Cu-Zn-Mo	1324-1450	718-788	Pd-Cu	2200	1205
Ag-Cu-Mo	1435	780	Pd-Ag	2400	1306
Ag-Mn	1780	971	Pd-Fe	2400	1306
			Au-Cu	1625	885
Ni-Cr-B	1950	1066	Au-Ni	1740	949
Ni-Cr-Fe-Si-C	1950	1066	Au-Ni-Cr	1900	1038
Ni-Cr-Mo-Mn-Si	2100	1149	Ta-Ti-Zr	3800	2094
Ni-Ti	2350	1288			
Ni-Cr-Mo-Fe-W	2380	1305	Ti-V-Cr-Al	3000	1649
Ni-Cu	2460	1349	Ti-Cr	2700	1481
Ni-Cr-Fe-Si-C	2600	1427	Ti-Si	2600	1427
Ni-Cr-Si	2050	1121	Ti-Zr-Be (b)	1830	999
			Zr-Cb-Be (b)	1920	1049
			Ti-V-Be (b)	2280	1249
			Ta-V-Cb (b)	3300-3500	1816-1927
			Ta-V-Ti (b)	3200-3350	1760-1843
a. No todos los metales de aporte que se muestran están disponibles comercialmente					
b. Depende de la composición específica					

El colombio y el tantalio se sueldan en fuerte con diversos metales de aporte con base de metal refractario o metal reactivo. Los sistemas metálicos Ti-Zr-Be y Zr-Cd-Be son representativos, así como los metales de aporte con base de platino, de paladio, de platino-iridio, de platino-rodio, de titanio y de níquel (como las aleaciones níquel-cromo-silicio).

Las aleaciones cobre-oro que contienen oro en proporciones entre el 46 y el 90% forman compuestos endurecidos por envejecimiento que son quebradizos. Los metales de aporte con base de plata no se recomiendan porque pueden hacer quebradizos el metal base.

### 3.8. APLICACIONES

#### 3.8.1. SELECCIÓN DE LOS METALES BASE

Es necesario considerar el efecto de la soldadura fuerte sobre las propiedades mecánicas del metal de un ensamble soldado y la fortaleza final de la unión. Los metales base que se hayan fortalecido mediante trabajado en frío sufrirán un recocido si las temperaturas y tiempos del procesos de soldadura fuerte están en el intervalo de recocido del metal base que se está procesando. Los metales resistentes al calor “trabajados en caliente –frío” que se sueldan en fuerte solo presentan las propiedades físicas del metal recocido. Por su naturaleza, el ciclo de soldadura fuerte casi siempre recuece el metal base trabajado en frío, a menos que la temperatura de soldadura fuerte sea muy baja y el metal permanezca muy poco tiempo en esta temperatura. No resulta practico trabajar en frío el metal base después de la operación de soldadura fuerte.

Si un ensamble soldado en fuerte debe tener una resistencia mecánica superior a la que corresponde a las propiedades del metal base recocido, se debe seleccionar un material susceptible de tratamiento térmico, el metal base puede ser un tipo extingible en aceite, un tipo extingible en aire que se pueda soldar en fuerte y endurecer en la misma operación o en operaciones independientes,

o un tipo endurecible por precipitación que queda soldarse en fuerte y tratarse en solución en un ciclo combinado. Las piezas ya endurecidas se pueden soldar en fuerte con un metal de aporte de baja temperatura empleando cortos a temperatura para evitar que se pierdan las propiedades mecánicas.

### 3.8.1.1 ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO

Las aleaciones de aluminio forjadas no tratables por calor que mejor se pueden soldar en fuerte son las series ASTM 1XXX y 3XXX, y las aleaciones de bajo magnesio de la serie ASTM 5XXX. Los metales de aporte disponibles se funden por debajo de las temperaturas de solidus de todas las aleaciones forjadas comerciales que no son susceptibles de tratamiento térmico.

**Tabla 3.4.**

COMPOSICION NOMINAL E INTERVALO DE FUSION DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO SOLDABLES EN FUERTE COMUNES											
Designación comercial	Aleación ASTM	Clasificación de soldabilidad en fuerte (b)	Composición nominal (a)						Intervalo de fusión aproximado		
			Cu	Si	Mn	Mg	Zn	Cr	°F	°C	
EC	EC	A		Al 99,45% min						1195-1215	646-657
1100	1100	A		al 99% min						1190-1215	643-657
3003	3003	A	-	-	1,2	-	-	-	-	1190-1210	643-654
3004	3004	B	-	-	1,2	1	-	-	-	1165-1205	629-651
3005	3005	A	0,3	0,6	1,2	0,4	0,25	0,1	-	1180-1215	638-657
5005	5005	B	-	-	-	0,8	-	-	-	1170-1210	632-654
5050	5050	B	-	-	-	1,2	-	-	-	1090-1200	588-649
5052	5052	C	-	-	-	2,5	-	-	-	1100-1200	593-649
6151	6151	C	-	1	-	0,6	-	0,25	-	1190-1200	643-649
6951	6951	A	0,25	0,35	-	0,65	-	-	-	1140-1210	615-654
6053	6053	A	-	0,7	-	1,3	-	-	-	1105-1205	596-651
6061	6061	A	0,25	0,6	-	1	-	0,25	-	1100-1205	593-651
6063	6063	A	-	0,4	-	0,7	-	-	-	1140-1205	615-651
7005	7005	B	0,1	0,35	0,45	1,4	4,5	0,13	-	1125-1195	607-646
7072	7072	A	-	-	-	-	1	-	-	1125-1195	607-646
Colado 43	Colado 443,0	A	-	5	-	-	-	-	-	1065-1170	629-632
Colado 356	Colado 356,0	C	-	7	-	0,3	-	-	-	1035-1135	557-613
Colado 406	Colado 406	A		Al 99% min						1190-1215	643-657
Colado A612	Colado A712,0	B	-	-	-	0,7	6,5	-	-	1105-1195	596-646
Colado C612	Colado C172,0	A	-	-	-	0,35	6,5	-	-	1120-1190	604-643

a. Porcentaje de elementos de aleación; el resto es aluminio e impurezas normales.  
b. Clasificaciones de soldabilidad en fuerte: A = Aleaciones que se sellan en fuerte fácilmente con todos los métodos y procedimientos comerciales.  
B = Aleaciones que pueden soldarse en fuerte con todas las técnicas si se tiene un poco de cuidado.  
C = Aleaciones que requieren cuidado especial para soldarse en fuerte.

Las aleaciones forjadas susceptibles de tratamiento térmico que con más frecuencia se sueldan en fuerte son las de la serie ASTM 6XXX. Las series de aleaciones de aluminio ASTM 2XXX y 7XXX tienen bajo punto de fusión y, por tanto, normalmente no pueden soldarse en fuerte, con la excepción de las aleaciones 7072 y 7005.

Las aleaciones de aluminio coladas en molde de arena y molde permanente que más comúnmente se sueldan en fuerte son ASTM 443.0, 356.0 y 712.0. Las piezas de aluminio coladas en troquel generalmente no se sueldan en fuerte porque su alto contenido de gases puede originar ampollas.

En la tabla 3.4 se presentan los metales base de aluminios comunes que pueden soldarse en fuerte. La soldadura fuerte de aluminio casi siempre se efectúa con los procesos de soplete, inmersión u horno. La soldadura fuerte en horno puede efectuarse en aire o bajo atmósfera controlada, o incluso al vacío.

### 3.8.2. MAGNESIO Y ALEACIONES DE MAGNESIO

Para soldar en fuerte en fuerte aleaciones de magnesio se emplean técnicas similares a las que se usan con aluminio.

**Tabla 3.5.**

ALEACIONES DE MAGNESIO SOLDABLES EN FUERTE Y METALES DE APORTE										
Clasificación de AWS A5.8	Designación de aleación ASTM	Formas Disp.	Sólidos		Líquidos		Intervalo de Soldadura Fuerte		Metal de Aporte Apropriado	
			°F	°C	°F	°C	°F	°C	BMg - 1	BMg - 2a
<b>Metal base</b>										
-	AZ10A	E	1170	632	1190	643	1080 - 1140	582 - 616	X	X
-	AZ31B	E, S	1050	566	1160	627	1080 - 1100	582 - 593		X
-	K1A	C	1200	649	1202	650	1080 - 1140	582 - 616	X	X
-	M1A	E, S	1198	648	1202	650	1080 - 1140	582 - 616	X	X
-	ZE10A	S	1100	593	1195	646	1080 - 1100	582 - 593		X
-	ZK21A	E	1159	626	1187	642	1080 - 1140	582 - 616	X	X
<b>Metal de Aporte</b>										
BMg - 1	AZ92A	W.R. ST.P	830	443	1110	599	1120 - 1140	604 - 616	-	-
E = Formas extrudidas y secciones estructurales S = Láminas y placas C = Piezas coladas			R = Vanilla ST = Tira P = Polvo							

Se puede soldar en horno, con soplete y por inmersión, aunque este último proceso es el más utilizado. Las aleaciones de magnesio que se consideran soldables en fuerte se presenta en la tabla 3.5. La experiencia de soldadura fuerte en horno y con soplete se limita a la aleación M1A. La soldadura fuerte por inmersión se puede usar con las aleaciones AZ10A, AZ31B, AZ61A, K1A, M1A, ZE10A, ZK21A y ZK60A.

En la tabla se resumen los metales de aporte que se utilizan para soldar en fuerte magnesio. El metal de aporte BMg-1 es apropiado para los procesos de soldadura fuerte con soplete, por inmersión o en horno. La aleación BMg-2 suele ser la preferida para la mayor parte de las aplicaciones de soldadura fuerte porque su intervalo de fusión es más bajo. Un metal de aporte con base de cinc conocido como GA432 tiene una composición de punto de fusión todavía más bajo que solo es adecuada para soldadura fuerte por inmersión.

### 3.8.3. BERILIO

La soldadura fuerte es el método preferido para unir metalúrgicamente el berilio. Los sistemas de metal de aporte para soldadura fuerte, con sus intervalos de temperatura, son, entre otros:

1. Cinc: 427 - 454° C (800 – 850° F)
2. Aluminio – silicio: 566 – 677° C (1050 – 1250° F)
3. Plata – cobre: 694 – 904° C (1200- 1660° F)
4. Plata: 882 – 954° C (1620 – 1750° F)

El cinc funde por debajo de 450° C (840° F), la temperatura definida por la AWS para los metales de aporte de soldadura fuerte. No obstante, generalmente se le acepta como el metal de aporte de más bajo punto de fusión para soldar en fuerte berilio. Los metales de aporte de aluminio – silicio pueden usarse en ensambles de berilio forjados de alta resistencia mecánica porque la temperatura de soldadura fuerte está bastante por debajo de la temperatura de re cristalización del metal base. El metal de aporte tipo Balsa-4 suelda en fuerte bien si se usa fundente, para soldar sin fundente se requiere un control estricto.

Los metales de aporte con base de aluminio tienen menor interacción metalúrgica con el metal base que los metales de aporte con base de plata.

Esta es una ventaja importante en la unión de secciones delgadas o papeles de berilio.

Los metales de aporte para soldadura fuerte de plata y con base de plata resultan útiles en estructuras que se van a exponer a temperaturas elevadas. La soldadura fuerte en atmósfera protectora con estos sistemas de aleaciones es sencilla y puede efectuarse bajo atmósferas purificadas o al vacío.

#### 3.8.4. COBRE Y ALEACIONES DE COBRE

Los metales base de aleaciones de cobre incluyen las aleaciones cobre-cinc (latón), cobre-silicio (bronce al silicio), cobre-aluminio (bronce de aluminio), cobre-estaño (bronce fosforado), cobre-níquel y varias más.

#### 3.8.5. ACEROS DE BAJO CARBONO Y DE BAJA ALEACIÓN

Los aceros de bajo carbono y de baja aleación se sueldan en fuerte sin dificultad. A menudo se sueldan a temperaturas por encima de 1080° C (1980° F) con metal de aporte de cobre en una atmósfera controlada, o a temperaturas más bajas con metales de aporte con base de plata.

En los aceros de aleación, el metal de aporte debe tener un solidus bastante por encima de cualquier temperatura de tratamiento térmico a fin de evitar daños a uniones que recibirán tratamientos térmicos después de la soldadura fuerte. En algunos casos, los aceros endurecibles al aire se pueden soldar en fuerte y luego endurecerse extinguiéndolos desde la temperatura de soldadura fuerte.

Se puede usar un metal de aporte con una temperatura de soldadura fuerte menor que la temperatura crítica del acero si no se desea alterar las propiedades metalúrgicas del metal base.

### 3.8.6. ACEROS DE HERRAMIENTAS DE ALTO CARBONO Y DE ALTA VELOCIDAD

Los aceros de alto carbono contienen más del 0.45% de carbono. Los aceros de herramientas de alto carbono por lo regular contienen entre 0.60 y 1.40% de carbono.

Es mejor efectuar la soldadura fuerte de los aceros de alto carbono antes de la operación de endurecimiento, o simultáneamente. Las temperaturas de endurecimiento para los aceros al carbono varían entre 760 y 820° C (1400 y 1500° F), por lo que conviene usar metales de aporte con temperatura de soldadura fuerte mayores que 820° C (1500° F). Si la soldadura fuerte y el endurecimiento se realizan en la misma operación, el metal de aporte deberá tener un solidus igual o mayor que la temperatura de austenitización.

Es posible combinar el templado y la soldadura fuerte en el caso de aceros de herramienta de alta velocidad y aceros de herramienta de aleación de alto carbono y alto cromo que tienen temperaturas de templado del orden de 540 a 650° C (1000 a 1200° F). Se emplean metales de aporte con tratamientos térmicos de soldadura fuerte en ese intervalo. La pieza se saca del horno de templado, se suelda en fuerte empleando métodos de calentamiento localizado, y se regresa al horno para completar el ciclo de templado.

### 3.8.7. HIERRO COLADO

Los hierros colados generalmente requieren consideraciones especiales para la soldadura fuerte. Los tipos de hierro colado son, entre otros, el blanco, el gris, el maleable y el dúctil. El hierro colado blanco casi nunca se suelda en fuerte.

Antes de la soldadura fuerte, las superficies de empalme casi siempre se limpian electroquímica mente, se chamuscan con una flama oxidante o se someten a ráfagas de abrasivo. Si se usan metales de aporte de plata de bajo punto de fusión, se facilita el mojado con el metal de aporte. Los hierros

colados dúctiles y maleables deben soldarse en fuerte por debajo de los 760° C (1400° F).

Cuando el hierro colado de alto carbono se suelda en fuerte con cobre, la temperatura debe ser baja para evitar la fusión de áreas localizadas del hierro colado, sobre todo en secciones delgadas.

### 3.8.8. ACEROS INOXIDABLES

Todas las aleaciones de acero inoxidable son difíciles de soldar en fuerte por su elevado contenido de cromo. La mejor forma de soldar en fuerte estas aleaciones es bajo hidrogeno purificado (seco) o en el vacío. Es preciso mantener puntos de rocío por debajo de -51° C (-60° F) porque el mojado se dificulta después de la formación del óxido de cromo. La soldadura fuerte con soplete requiere fundente para reducir la cantidad de óxidos de cromo presentes.

La mayor parte de los metales de aporte de aleación de plata, de cobre y de cobre-cinc sirven para soldar en fuerte aceros inoxidables. Las aleaciones de plata que contienen cinc generalmente son las mejores cuando se busca resistencia a la corrosión.

Los metales de aporte que contiene fósforo no deben usarse en piezas sometidas a esfuerzos grandes porque es posible que se formen fosforosos de níquel y hierro quebradizos en la zona de la unión.

Los metales de aporte de níquel que contiene fósforo generalmente son los mejores para aceros inoxidables que contienen titanio o aluminio, o ambos, porque el boro tiene una acción fundente moderada que ayuda a mojar estos metales base. La soldadura fuerte por difusión produce uniones con propiedades físicas mejoradas.



### 3.8.8.1 HIERRO Y ACERO AL CROMO

Los aceros inoxidable martensíticos (403, 410, 414, 416, 420 y 431) se endurecen al aire cuando se enfrían desde la temperatura de soldadura fuerte, la cual excede su intervalo de temperatura de austenización. Por tanto, es preciso recocerlo después de la soldadura fuerte o durante el proceso. Además estos aceros son propensos al agrietamiento por esfuerzo con ciertos metales de aporte de soldadura fuerte.

Los aceros inoxidable ferríticos (4.5, 4096 y 430) no se pueden endurecer, y su estructuras de grano no se puede refinar, mediante tratamiento térmico. Las propiedades de estas aleaciones se degradan cuando se sueldan en fuerte a temperaturas por encima de 980° C (1800° F) porque hay un crecimiento excesivo del grano. Pierden ductibilidad después de un calentamiento prolongado entre 340 y 600° C (650 y 1100° F), pero parte de la ductilidad perdida puede recuperarse calentando el ensamble soldado a acerca de 790° C (1450° F) durante un lapso apropiado.

### 3.8.8.2 ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN

Estos aceros son básicamente aceros inoxidable con adiciones de uno o más de los siguientes elementos: cobre, molibdeno, aluminio, y titanio. Estas adiciones permiten fortalecer las aleaciones mediante tratamientos térmicos de endurecimiento por precipitación. Cuando se sueldan en fuerte aleaciones de este tipo, el ciclo de soldadura fuerte y la temperatura deben coincidir con el ciclo de tratamiento térmico de la aleación. Los fabricantes de estas aleaciones han desarrollado procedimientos de soldadura fuerte que recomiendan para sus aceros.

### 3.8.9. ALEACIONES DE NÍQUEL Y DE ALTO NÍQUEL

El níquel y las aleaciones de alto níquel pierden ductibilidad por el cobre y los metales de bajo punto de fusión presentes en las aleaciones de soldadura fuerte, como cinc, plomo, bismuto y antimonio. Las superficies de los metales

base se deben limpiar exhaustivamente antes de la soldadura fuerte a fin de eliminar cualesquier sustancias que pudieran contener los elementos mencionados. Además, hay que excluir el azufre y sus compuestos de la atmósfera de soldadura fuerte.

El níquel y sus aleaciones son propensos al enfriamiento por esfuerzos en presencia de metales de aporte de soldadura fuerte fundidos. Las piezas deben recorrer antes de la soldadura fuerte a fin de eliminar esfuerzos residuales, o someterse a un tratamiento cuidadoso de liberación de tensiones durante el ciclo de soldadura fuerte.

Es común usar metales de aporte de soldadura fuerte de plata. En los entornos corrosivos se prefieren las aleaciones de soldadura fuerte con alto contenido de plata, y cuando se desea evitar el agrietamiento por corrosión por esfuerzos se escogen metales de aporte libres de cadmio.

Los metales de aporte para soldadura fuerte con base de níquel ofrecen la más alta resistencia a la corrosión, a la oxidación y a las temperaturas elevadas.

La soldadura fuerte es el método preferido para unir aleaciones de níquel fortalecidas por dispersión que deben funcionar a temperaturas elevadas. Se han soldado en fuerte ensambles de alta resistencia mecánica con metales de aporte con base de níquel especial, y se han probado hasta 1300° C (2400° F).

### 3.8.10 ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR

Las aleaciones resistentes al calor generalmente se sueldan en fuerte en una atmósfera de hidrogeno o en hornos de alta temperatura al vacío empleando metales de aporte con base de níquel o especiales.

Las aleaciones con base de cobalto son las más fáciles de soldar en fuerte de todas las superaleaciones porque la mayor parte de ellas no contiene titanio ni aluminio. Las aleaciones con alto contenido de titanio o de aluminio son difíciles de soldar en fuerte en hidrogeno seco porque los óxidos de titanio y de aluminio no se reducen a las temperaturas de soldadura fuerte.

### 3.8.11 TITANIO Y ZIRCONIO

El titanio y el zirconio se combinan fácilmente con el oxígeno, y reaccionan para formar compuestos intermetálicos quebradizos con muchos metales y con hidrógeno y nitrógeno. Las piezas deben limpiarse y soldarse en fuerte inmediatamente después de la limpieza.

En las primeras ocasiones en que se soldó en fuerte titanio se usaron metales de aporte de plata y con base de plata, pero se formaban compuestos intermetálicos quebradizos y había corrosión por las fisuras. El papel de aluminio tipo 3003 puede unir estructuras delgadas y ligeras, como los tableros de emparedado de panal complejos. Si se electrodepositan diversos elementos sobre las superficies de empalme de los metales base podrán reaccionar *in situ* con el titanio durante la soldadura fuerte para formar una aleación eutéctica de titanio. Esta fase líquida transitoria fluye bien y forma filetes, y luego se solidifica a causa de la interdifusión.

Otros metales de aporte para soldadura fuerte con alta capacidad de servicio y resistencia a la corrosión son las aleaciones Ti-Zr-Ni-Be, Ti-Zr-Ni-Cu y Ti-Ni-Cu. Los mejores resultados se obtienen con estufas de alto vacío controlando con precisión la temperatura dentro del intervalo de 900 a 955° C (1650 a 1750° F).

### 3.8.12. CARBUROS Y CERMETS

Los carburos de los metales refractarios tungsteno, titanio y tantalio aglomerados con cobalto se usan para fabricar herramientas de corte y troqueles. Unos materiales de naturaleza muy similar denominados *cermets* consisten en partículas cerámicas aglomeradas con diversos metales.

La soldadura fuerte de carburos y cermets es más difícil que la de metales. Se emplea calentamiento con soplete, por inducción o en horno, a menudo con una técnica de soldadura fuerte en emparedado; se interpone una capa de metal dúctil débil (níquel o cobre puros) entre el carburo o el cermet y un

soporte de metal puro. Los esfuerzos de enfriamiento hacen que el metal blando se deforme en lugar de agrietar la cerámica.

Con frecuencia se usan aleaciones de soldadura fuerte con base de palta, de cobre-cinc y de cobre con las herramientas de carburo. Las aleaciones de palta que contienen níquel se prefieren porque mejoran mejor. Las aleaciones con base de níquel que contienen boro, y una aleación 60% Pd-40% Ni, pueden ser satisfactorias para soldar cermetes de carburo de tungsteno, de carburo de titanio y de carburo de colombio aglomerados con níquel y con cobalto.

### 3.8.13. CERÁMICAS

La alúmina, zirconio, magnesia, fosterita ( $Mg_2SiO_4$ ), berilia y toria son materiales cerámicos que pueden unirse por soldadura fuerte. Por su naturaleza son difíciles de mojar con los metales de aporte convencionales. Las diferencias de expansión térmica, conducción del calor y ductibilidad producen grietas y propagación de grietas con esfuerzos relativamente bajos.

Si la cerámica se permetaliza para facilitar el mojado, se usan metales de aporte de cobre, de plata-cobre y de oro-níquel. El hidruro de titanio o de zirconio se puede descomponer en la fase cerámica – metal para formar un enlace íntimo.

Las cerámicas no metalizadas se sueldan en fuerte con alambres de titanio revestidos con plata-cobre o con níquel. Las aleaciones de titanio y de zirconio útiles son Ti-Zr-Be, Ti-V-Zr, Zr-V-Cd, Ti-V-Be y Ti-V-Cr.

### 3.8.14. METALES PRECIOSOS

Los metales preciosos plata, oro, platino y paladio presentan pocas dificultades para soldarse en fuerte. La capa de óxidos tan delgada que tienen se elimina fácilmente con fundentes y atmósferas reductoras.

Es común usar soldadura fuerte por resistencia o en horno para contactos eléctricos. Los metales de aporte de plata (B<sub>Ag</sub>) y de metal precioso (B<sub>Au</sub>) sueldan en fuerte contactos metálicos a retenes.

### 3.8.15. METALES REFRACTARIOS

La soldadura fuerte de tungsteno, molibdeno, tantalio y colombio todavía está en las etapas de desarrollo.

#### 3.8.15.1. Tungsteno

El tungsteno puede soldarse en fuerte consigo mismo y con otros metales y no metales empleando metales de aporte con base de níquel, pero la interacción entre el tungsteno y el níquel recristaliza el metal base. Se recomienda liberar las tensiones del tungsteno mediante un tratamiento térmico antes de soldarlo en fuerte, y el ciclo de soldadura fuerte deberá ser corto para limitar la interacción con el metal de aporte.

#### 3.8.15.2. Molibdeno

El molibdeno y sus aleaciones se sueldan en fuerte con metales de aporte con base de paladio y metales con base de molibdeno (Mo-0.5Ti) que tengan temperatura de re cristalización alta, el chapeado con cromo, como capa de barrera, evita la formación de compuestos inter metálicos. La mayor parte de los metales de aporte de soldadura fuerte a alta temperatura son apropiados para servicio resistente a la oxidación en aplicaciones de recubrimiento.

#### 3.8.15.3. Tantalio y Colombio

El tantalio y el colombio requieren técnicas especiales para soldarse en fuerte satisfactoriamente. Es preciso eliminar todos los gases reactivos de la atmósfera de soldadura fuerte, estos incluyen oxígeno, monóxido de carbono, amoníaco e hidrógeno. El tantalio forma óxidos, nitruros, carburos e hidruros con mucha facilidad, lo que lleva a una pérdida de ductilidad. Como protección contra la oxidación a altas temperaturas, el tantalio y el colombio a menudo se chapean con cobre o níquel; el metal de aporte de soldadura fuerte debe ser compatible con el chapeado.

### 3.8.16. COMBINACIONES DE METALES DISÍMILES

Muchas combinaciones de metales disímiles se pueden soldar en fuerte, incluso los que tienen una incompatibilidad metalúrgica que imposibilita la soldadura autógena.

Los criterios importantes por considerar son en primer término las diferencias en la expansión térmica. Si un metal con expansión térmica alta rodea a un metal de baja expansión, las separaciones que resultan satisfactorias por el flujo capilar a temperatura ambiente serán excesivas a la temperatura de soldadura fuerte. Por otro lado, si un metal de baja expansión rodea a uno de alta expansión, es posible que no haya separación alguna a la temperatura de soldadura fuerte. Por ejemplo, al soldar en fuerte un tapón de molibdeno en un bloque de cobre, las piezas se deberán ensamblar a presión a temperatura ambiente; si en tapón de cobre se va a soldar en fuerte dentro de un bloque de molibdeno, se requerirá un embonamiento flujo debidamente centrado a temperatura ambiente.

Para soldar en fuerte uniones del tipo de tubo y cañón entre metales base disímiles, el tubo deberá ser el metal de baja expansión y el cañón el metal de alta expansión. A la temperatura de soldadura fuerte, la separación será máxima y el capilar se llenará con la aleación de soldadura fuerte. Cuando la unión soldada se enfríe a la temperatura ambiente, ella y el tubo estarán en compresión.

En las uniones de lengüeta en surcos, este último deberá estar en el material de baja expansión. El embonamiento a temperatura ambiente se deberá diseñar de modo que deje separaciones capilares a ambos lados de la lengüeta cuando se alcance la temperatura de soldadura fuerte. Los esfuerzos de corte longitudinales en el metal de aporte se limitarán si se reducen las distancias de traslapeo.

Es común usar la “soldadura fuerte en emparedado” para fabricar herramientas de corte de metal con punta de carburo. Un metal relativamente dúctil se recubre por ambos lados con metal de aporte de soldadura fuerte, y el material compuesto se coloca en la unión. Así queda en la unión un tercer material que se deformara durante el enfriamiento y reducirá los esfuerzos causados por una contracción diferencial de las piezas soldadas en fuerte.

El metal de aporte que se use para soldar en fuerte metales disímiles deberá ser compatible con ambos metales base. Deberá tener una resistencia a la corrosión o a la oxidación por lo menos tan buena como la del menos resistente de los metales que se van a soldar. No deberá formar pares galvanicos que promuevan la corrosión de fisuras en el área soldada. Los metales de aporte de soldadura fuerte forman fases de bajo punto de fusión con muchos metales base, por lo que se requiere adaptaciones del ciclo de soldadura fuerte, de la cantidad y punto de colocación del metal de aporte, y del diseño de la unión.

Las reacciones metalúrgicas entre el metal de aporte de soldadura fuerte y metales base disímiles pueden ser objetables. Un ejemplo es la soldadura fuerte de aluminio a cobre. El cobre reacciona con el aluminio para formar un compuesto quebradizo de bajo punto de fusión. Estos problemas pueden resolverse si se recubre uno de los metales base con un metal que sea compatible con el metal de aporte. Si se desea soldar en fuerte aluminio a cobre. El cobre se chapeara con plata o con una aleación alta en plata. La unión se soldara en fuerte a 816° C (1500° F) con un metal de aporte estándar para soldadura fuerte de aluminio. El chapeado con níquel también forma una barrera de difusión apropiada.

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE APORTE

#### 4.1 INSPECCIÓN

La inspección de ensambles soldados mediante soldadura Fuerte siempre debe ser obligatoria a fin de proteger al resultado final. La inspección puede realizarse con especímenes de prueba o probando el ensamble ya terminado. Las pruebas pueden ser destructivas o no destructivas.

En general, las discontinuidades de soldadura fuerte pertenecen a tres clases generales:

1. Las asociadas a requisitos dimensionales.
2. Las asociadas a discontinuidades estructurales de la unión soldad en fuerte.
3. Las asociadas al metal de soldadura fuerte o a la unión soldada.

#### 4.2. MÉTODOS DE PRUEBA NO DESTRUCTIVOS.

##### 4.2.1 DEFINICIÓN

Se denomina **ensayo no destructivo** (también llamado END, o en inglés NDT de *nondestructive testing*) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo.

##### 4.2.2. INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual (IV), es sin duda una de las Pruebas No Destructivas más ampliamente utilizada, ya que gracias a esta, uno puede obtener información rápidamente, de la condición superficial de los materiales que se estén inspeccionando, con el simple uso del ojo humano.



El examen visual deberá revelar fallas debidas a daños, faltas de alineación y embonamiento deficiente de las piezas, inexactitudes dimensionales, flujo insuficiente de metales de aporte de soldadura fuerte, huecos expuestos en la unión, defectos superficiales como grietas o porosidades y daños térmicos al metal base.

La inspección visual no revela defectos internos, como atrapamiento de fundente en la unión o flujo incompleto del metal de aporte entre las superficies de empalme.

#### 4.2.3. PRUEBA EN SERVICIO

La prueba en servicio es un método de inspección que somete a la unión soldadas a cargas ligeramente superiores a las que experimentara durante su vida de servicio subsecuente. Estas cargas se pueden aplicar como métodos hidrostáticos, cargas de tensión, pruebas centrifugas, o muchos a otros métodos. Hay ocasiones en que no es posible asegurar que la pieza servirá empleando los otros métodos de inspección no destructivos, y entonces las pruebas en servicio se convierten en el método más satisfactorio.

#### 4.2.4. PRUEBAS DE FUGAS

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de prueba no destructiva que se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por éstas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, etc., donde puede recluirse o escaparse algún fluido.

Las pruebas a presión determinan la hermeticidad de un recipiente cerrado. Se pueden usar como método de preselección para encontrar fugas obvias antes de adoptar métodos de pruebas más sensibles.

El propósito de estas pruebas es asegurar la confiabilidad y servicio de componentes y prevenir fallas prematuras en sistemas que contienen fluidos trabajando a presión o en vacío

#### 4.2.5. INSPECCIÓN CON LÍQUIDO PENETRANTE

El método de líquidos penetrantes (LP), se basa en el principio físico conocido como "Capilaridad" y consiste en la aplicación de un líquido, con buenas características de penetración en pequeñas aberturas, sobre la superficie limpia del material a inspeccionar (Fig. 4.1). Una vez que ha transcurrido un tiempo suficiente, como para que el líquido penetrante

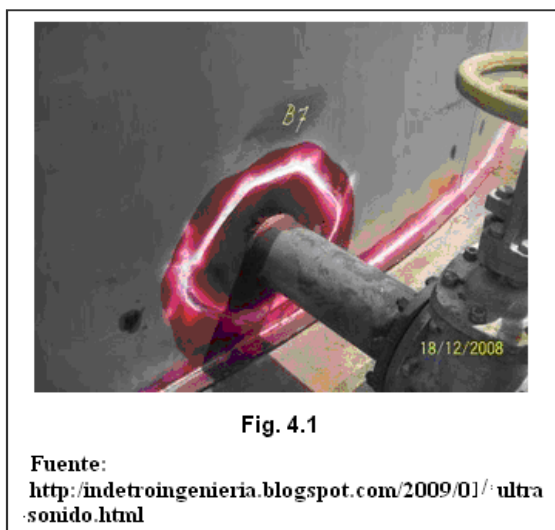


Fig. 4.1

Fuente:  
<http://indetroingenieria.blogspot.com/2009/01/ultra-sonido.html>

recién aplicado, penetre considerablemente en cualquier abertura superficial, se realiza una remoción o limpieza del exceso de líquido penetrante, mediante el uso de algún material absorbente (papel, trapo, etc.) y, a continuación se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado en las aberturas superficiales.

Por consiguiente, las áreas en las que se observe la presencia de líquido penetrante después de la aplicación del líquido absorbente, son áreas que contienen discontinuidades superficiales (grietas, perforaciones, etc.)

#### 4.2.6 INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

La inspección radiográfica de ensambles soldados en fuerte detecta la falta de adhesión o el flujo incompleto de metal de aporte. Las uniones deberán tener espesor uniforme y la exposición deberá realizarse en una línea normal a la unión. La sensibilidad de este método por lo regular está limitada al 2% del espesor de la unión. La absorción de los rayos X por ciertos metales de aporte, como el oro y la plata, es mayor que la de la generalidad de los metales base; por tanto, las áreas de la unión en las que no hay metal de aporte se ven mucho más oscuras que el área soldada en la película o en la pantalla.



Fig. 4.2

Fuente: <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/ensayosm6.htm>

#### 4.2.7 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

El método de prueba ultrasónica empleando vibraciones mecánicas de baja energía y alta frecuencia (ondas sonoras) detecta, localiza o idéntica con facilidad discontinuidades en las uniones soldadas. La aplicabilidad de este método a los ensambles depende en buena parte del diseño de la unión, la condición de la superficie, el tamaño de grano de los materiales y la configuración de las áreas adyacentes.

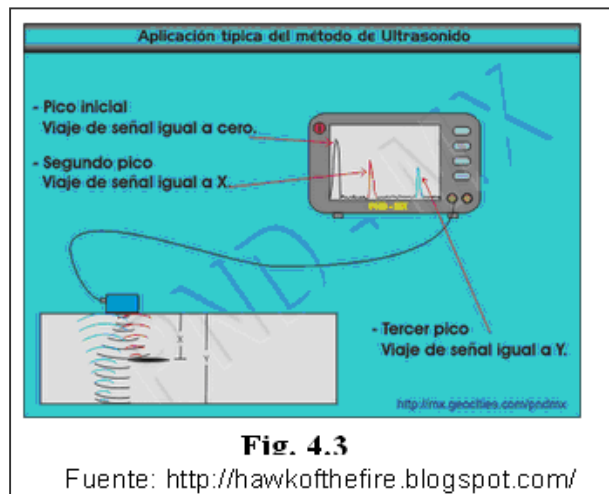


Fig. 4.3

Fuente: <http://hawkofthefire.blogspot.com/>

Fig. 4.2 <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/ensayosm6.htm>

Fig. 4.3 <http://hawkofthefire.blogspot.com/>

#### 4.2.8 INSPECCIÓN TÉRMICA POR TRANSFERENCIA DE CALOR

La inspección por transferencia de calor detecta falta de adhesión en ensambles soldados en fuerte tales como las superficies de tableros de panel y de piel sobre armazón.

Con una de las técnicas, las superficies se recubren con un revelador que es un polvo de bajo punto de fusión. El revelador se funde y migra hacia las áreas menos calientes cuando se aplica calor con una lámpara de luz infrarrojo. Las áreas en que hubo adhesión actúan como disipadores de calor y producen un gradiente térmico ante el cual el revelador reacciona. Las técnicas más avanzadas usan materiales fosforescentes, cristales líquidos y materiales sensibles a la temperatura.

Hay dispositivos sensibles al infrarrojo provistos con algún tipo de lectura para detectar diferencias de temperatura de menos de 1° C (2° F), que indican variaciones en la calidad de la soldadura fuerte.

#### 4.3. MÉTODOS DE PRUEBA DESTRUCTIVOS

##### 4.3.1 DEFINICIÓN

Los métodos de inspección destructivos muestran claramente si un diseño de ensamble soldado en fuerte satisface o no los requisitos del servicio al que se le destinarán. Los métodos destructivos deben limitarse a un muestro parcial; se usan para verificar los métodos de inspección no destructivos mediante el muestro de materiales de producción a intervalos apropiados.

##### 4.3.2 INSPECCIÓN METALOGRÁFICA

Este método requiere el corte de secciones de las uniones soladas en fuerte y su preparación para un examen macroscópico o microscópico.

<http://www.cientec.com.mx/>



**Fig. 4.4**

Fuente: <http://www.cientec.com.mx/>

La inspección metalografía detecta defectos (sobre todo porosidad), flujo deficiente de metal de aporte, erosión excesiva del metal base, difusión del metal de aporte y embonamiento incorrecto de la unión, y además revela la micro estructura de la unión soldada en fuerte.

#### 4.3.3 PRUEBAS DE PELADO

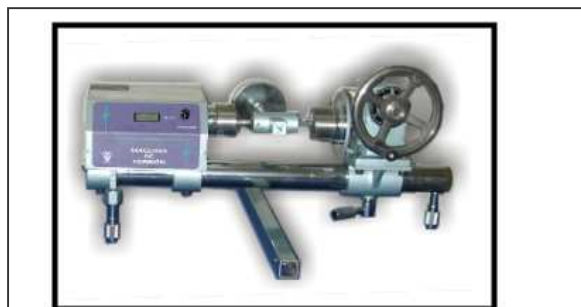
A menudo se emplean pruebas de pelado para evaluar uniones traslapadas. Un miembro del espécimen soldado en fuerte se sujeta rígidamente en una prensa, y el miembro libre se “pela” de la unión. Las piezas rotas revelan la calidad general de la adhesión y la presencia de huecos e inclusiones de fundentes en la unión.

#### 4.3.4 PRUEBAS DE TENSIÓN Y CORTE

Estas pruebas determinan cuantitativamente las propiedades mecánicas de las uniones soldadas en fuerte cuando se le somete a esfuerzos, para verificar el rendimiento de la unión.

#### 4.3.5 PRUEBAS DE TORSIÓN

La prueba de torsión evalúa las uniones soldadas en fuerte cuando un miembro es un perno, tornillo o tubo soldado a un miembro base. Este se sujeta con rigidez y el perno, tornillo o tubo se gira hasta que hay falla, sea en el metal base o en la aleación de soldadura fuerte.



**Fig. 4.5**

Fuente: <http://www.crodechihuahua.edu.mx/equipos.htm>

#### 4.4. DESCRPCION DE ACEROS DE BAJO, MEDIO Y ALTO CONTENIDO DE CARBONO

##### 4.4.1. ACEROS BAJOS EN CARBONO.

Constituye la mayor parte de todo el acero fabricado. Contienen menos del 0.25 % en peso de **Carbono**, no responde al tratamiento térmico para dar martensita ni se pueden endurecer por acritud. La micro estructura consiste en ferrita y perlita. Por tanto, son relativamente blandos y poco resistentes pero con extraordinaria ductilidad y tenacidad.

Son de fácil mecanizado, soldables y baratos. Se utilizan para fabricar vigas, carrocerías de automóviles, y láminas para tuberías edificios y puentes. Otro grupo de aceros de bajo contenido en carbono son los de *alta resistencia y baja aleación*. Contienen concentraciones variables de **Cu, V, Ni y Mo** totalizando  $\approx$  10 % en peso. Poseen mucha más resistencia mecánica, que puede aumentar por tratamiento térmico y mantienen las propiedades de fácil mecanizado. Se emplean en componentes donde la resistencia mecánica es crítica: puentes, torres, columnas de soportes de edificios altos, bastidores de camiones y vagones de tren.

##### 4.4.2. ACEROS MEDIOS EN CARBONO.

Contienen entre el 0.25 y 0.60 % en peso de **C**. Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante austenización, temple y revenido para mejorar las propiedades mecánicas. La micro estructura generalmente es martensita revenida. Las adiciones de **Cr, Ni y Mo** facilitan el tratamiento térmico que en su ausencia es difícil y útil solo para secciones de pieza relativamente delgadas. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono pero menos dúctiles y maleables. Se suelen utilizar para fabricar cinceles, martillos, cigüeñales, pernos, etc.

##### 4.4.3. ACEROS ALTOS EN CARBONO.

Generalmente contienen entre el 0.60 y 1.4 % en peso de **C**. Son más duros y resistentes (y menos dúctiles) que los otros aceros al carbono. Casi siempre se

utilizan con tratamientos de templado y revenido que lo hacen muy resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte. Generalmente contienen **Cr**, **V**, **W** y **Mo**, los cuales dan carburos muy duros como Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, V<sub>4</sub>C<sub>3</sub> y WC. Se utilizan como herramientas de corte, matrices para fabricar herramientas de herrería y carpintería. Por ejemplo, cuchillos, navajas, hojas de sierra, brocas para cemento, corta tubos, troqueles, herramientas de torno, muelles e hilos e alta resistencia.

#### 4.5. ANALISIS EFECTUADO

El análisis se realiza con materiales base en acero de bajo, medio y alta contenido de carbono.

##### 4.5.1. MATERIAL BASE

*Acero de bajo contenido de carbono: ACERO A36*

Material Base: A36

Longitud: 100 x 50 x 3 mm

ACERO A36

\* *Descripción:* A36 el acero es un estándar acero la aleación que es un acero estructural común

\* *Normas involucradas:* ASTM A-36

\* *Propiedades mecánicas:* Límite de elasticidad, mín. 36 ksi

Resistencia a la tracción. 58/80 ksi

Placas de más de 8 "- Punto de fluencia: 32 ksi

\* *Propiedades físicas:* Limite de Fluencia 36 ksi

Resistencia a la Tensión: 58 – 80 ksi

Elongación: 20 % min.

\* *Propiedades químicas:* 0.25 % C

0.80 – 1.20 % Mn

0.040 % P máx.

0.050 % S máx.

0.40 % Si máx.

*Acero de medio contenido de carbono ACERO SAE 1045*

Material Base: SAE 1045

Longitud: 100 x 50 x 5 mm

ACERO SAE 1045

\* *Descripción:* Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

\* *Normas involucradas:* ASTM A108

\* *Propiedades mecánicas:* Dureza 170 HB

Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)

Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)

Elongación 16% (en 50 mm)

Reducción de área (40%)

Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

Resistencia a la tracción

\* *Propiedades físicas:* Densidad  $7.87 \times 10^{-3}$  kg/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

Conductividad térmica: 15 w/ mk

Resistencia Eléctrica: Mm<sup>2</sup> / m

Modulo de Elasticidad: 210 GPA

\* *Propiedades químicas:* 0.43 – 0.50 % C

0.60 – 0.90 % Mn

0.04 % P máx.

0.05 % S máx.



\* *Usos:* los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

\* *Tratamientos térmicos:* se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

*Acero de alto contenido de carbono K100*

Material Base: K100

Longitud: 100 x 50 x 6 mm

ACERO K100.

\* *Descripción:* Utilizado en soldadura Brazing, para el diseño de punzones para el servicio de corte de alta y complicada progresiva e integral, usado principalmente para las industrias en la fabricación de equipos eléctricos, accesorios, cartón, latas de conserva, y los relojes, dientes de sierra de corte, raspado y herramientas de corte para máxima producción de carreras, de alto rendimiento para cortar chapa de hasta 4 mm de espesor, herramientas de desbastado, y cortadores de alambre para la fabricación de clavos.

\* *Normas involucradas:* AISI D3

\* *Propiedades físicas:* Densidad: 770 Kg. / dm<sup>3</sup>

Conductividad térmica: 20 w/ mk

Resistencia Eléctrica: 0.65 Ohm. Mm<sup>2</sup> / m

Modulo de Elasticidad: 210x10<sup>3</sup> N / mm<sup>2</sup>

Conformado en caliente

Forja: 1050 a 850 °C enfriamiento lento en hor no del Material.

\* *Propiedades Mecánicas:* Dureza: 248 HB

Aliviar el estrés: aprox. 650 °C

\* *Propiedades químicas:* 2.00 % C

0.25 % Si

0.35 % Mn

11.50 % Cr

\* Tratamiento térmico: Recocido: 800 a 850 °C lento enfriamiento controlado en el horno a una velocidad de 10 a 20 °C / hr hasta aprox. 600 °C, además de enfriamiento en el aire.

#### 4.5.2. MATERIAL DE APORTE

Tipo de Junta: Juntas a traslape.

Los materiales de aporte utilizados son:

##### Material de Aporte: RbCuZn Cobre Zinc (Latón)

\* *Descripción:* Latón, generalmente cobre aleado con el zinc, es fácil de forma, estampado y dibujado de profundidad. Tiene conductividad eléctrica justa, excelente conformación y propiedades de dibujo y una buena resistencia. Material de aporte de latón, tipo 60-40, con adición de estaño y silicio.

\* *Norma:* AWS RbCuZn - C

\* *Propiedades Mecánicas:* Resistencia a la tracción. 35 Kg. / mm<sup>2</sup>

Temperatura de trabajo: 900 °C

\* *Propiedades químicas:* 58 - 60 % C

39 – 41 % Zn

0.5 % Sn

\* *Metal de aporte:* Latón

\* *Soldadura:* Oxiacetilénica

\* *Aplicaciones:* Se emplea para soldaduras por fusión de latón. Soldadura por adhesión de aceros, hierro fundido, cobre.

\* *Importante:* Úsese con fundente.

\* *Longitud de cada varilla:* 900 mm

\* *Peso por paquete:* 5 kg. / 11 lbs.

### Varilla de Plata 15%

\* *Descripción:* Para la soldadura de cobre y sus aleaciones Tiene amplia aplicación en la unión por soplete de oxi gas en tuberías de refrigeración y sistemas de aire acondicionado. Puede aplicarse también sobre latones y bronce, pero en este caso si es necesario el uso de un fundente. No es recomendable para soldar aceros, ya que produce compuestos fragilizantes que pueden conducir a la ruptura del componente. Resiste vibración e impacto.

\* *Norma:* AWS 5.8. Class BCuP-S

\* *Propiedades Mecánicas:* Resistencia a la Tracción: 86.00 lbs. / pulg.<sup>2</sup>

Temperatura de Liga: 704 – 815 ° C

\* *Composición Química:* 15 % Ag. (No contiene cadmio)

80 % Cu

5.0 % P

\* *Proceso:* Oxiacetilénico (Autógena)

\* *Aplicaciones:*

Para unir cobre cuando es necesaria una gran ductilidad para la unión.

Cuando suelde cobre con cobre, no requiere el uso de fundente.

Para cobre con bronce, latón y otras uniones disímiles debe usarse fundente.

Siempre realice una buena limpieza de la parte a soldar.

\* *Peso por paquete:* 5 kg. / 11 lbs.

### Varilla de Plata 30%

\* *Descripción:* aleación al 30% de plata, de baja temperatura de trabajo. Presenta buenas características de fluidez y capilaridad.

\**Norma:* AWS B Ag-2a

DIN L-Ag 30 Cd

\* *Propiedades Mecánicas:* Resistencia a la Tracción: 382 – 471 N/ mm.<sup>2</sup>

Temperatura de Trabajo: 680 ° C

Intervalo fusión: 600 – 690 ° C

Conductividad eléctrica: 15 (Sn/ mm.<sup>2</sup>)

\* *Composición Química:* 30% Ag.

21% Zn.

0.3% Si.

21% Cd

Resto Cu

\* *Proceso:* Soplete Oxiacetilénico (lama carburante), lámpara de soldar, soplete aire-gas, horno con atmósfera protectora, inducción de alta frecuencia.

#### 4.6. PREPARACION DE LAS PROBETAS PARA INICIAR LA SOLDADURA.

- DESOXIDACIÓN DE LAS PIEZAS. - Se procede a eliminar el oxido de las probetas con lija y amoladora. Figura 4.7



Fig. 4.7

## CAPITULO V

### PRACTICAS DE SOLDADURA INDIRECTA

#### 5.1. PRÁCTICA Nº 1

##### 5.1.1. TITULO: REALIZAR LA SOLDADURA EN LAS PROBETAS EN BAJO CONTENIDO DE CARBONO.

##### 5.1.2. OBJETIVOS:

Analizar los materiales de aporte (latón, plata al 5% y al 15% de carbono) que van a ser utilizados en materiales de base de aceros de bajo porcentaje de carbono.

##### 5.1.3. EQUIPO UTILIZADO

Soldadora oxiacetilénica

Varillas de aporte de latón y plata al 5% y 15%

Probetas en bajo contenido de carbono.

Flux (Fundente)

Cepillo metálico

Fragua (cilindro de gas industrial, ventilador, termómetro)

##### 5.1.4. PROCEDIMIENTO

1. Preparación de la junta en traslape previo a la soldadura
2. Pre calentamiento de las probetas:
  - 2.1. Calentar a las probetas a temperatura indicada para soldar latón.
  - 2.2. Calentar a las probetas en la fragua hasta llegar a la temperatura de fusión para soldar con material de aporte de plata.
3. Enfriamiento el aire libre.

**Tabla 5.1. Datos de los tanques de acetileno y oxígeno**

Tanque del acetileno:	Tanque del oxígeno:
Mide 1m.	Mide 1.4m.
Regulador del acetileno. Si	Manómetro de presión del tanque. 20 psi
Manómetro de presión. 5 psi	Manómetro de presión de la línea. 20 psi

### 5.1.5. ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

**Tabla 5.2.**

Nombre de la compañía: EPN-Tesis PQR No: Norma: AWS A5.8	No. Identificación: Lorena Chasi Fecha: 2010/06/14 Realizado por: Lorena Chasi
Junta Utilizada Tipo de junta: A traslape Método: amoladora	Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: OAW Tipo de soldadura: Manual Soldadura a: Un solo lado Cordón de respaldo: Si Limpieza: Cepillo metálico, grata
Metal Base Especificación: A36 Espesor: 3mm Ancho: 50mm	Posición de Soldadura Posición de Soldadura: 2F Progresión: De izquierda a derecha
Metal de Aporte Diámetro: 2.50mm Denominación AWS: Rb CuZn-C Casa Comercial: AGA Denominación Comercial: Bronce C	Precalentamiento: 450° C  Notas Verificar alineación de la junta Asegurar limpieza de las partes
<p>The diagram illustrates a butt joint (A overlap) between two metal plates. The top part shows the joint with dimensions: a 100mm overlap on the right side and a 100mm length for the left plate. The bottom part shows the joint with a 10mm gap between the plates.</p>	

## 5.2. PRÁCTICA Nº 2.

### 5.2.1. TITULO: REALIZAR LA SOLDADURA EN LAS PROBETAS EN MEDIO CONTENIDO DE CARBONO.

#### 5.2.2. OBJETIVOS:

Analizar los materiales de aporte (latón, plata al 5% y al 15% de carbono) que van a ser utilizados en materiales de base de aceros de bajo porcentaje de carbono.

#### 5.2.3. EQUIPO UTILIZADO

Soldadora oxiacetilénica

Varillas de aporte de latón y plata al 5% y 15%

Probetas en medio contenido de carbono.

Flux (Fundente)

Cepillo metálico

Fragua (cilindro de gas industrial, ventilador, termómetro)

#### 5.2.4. PROCEDIMIENTO

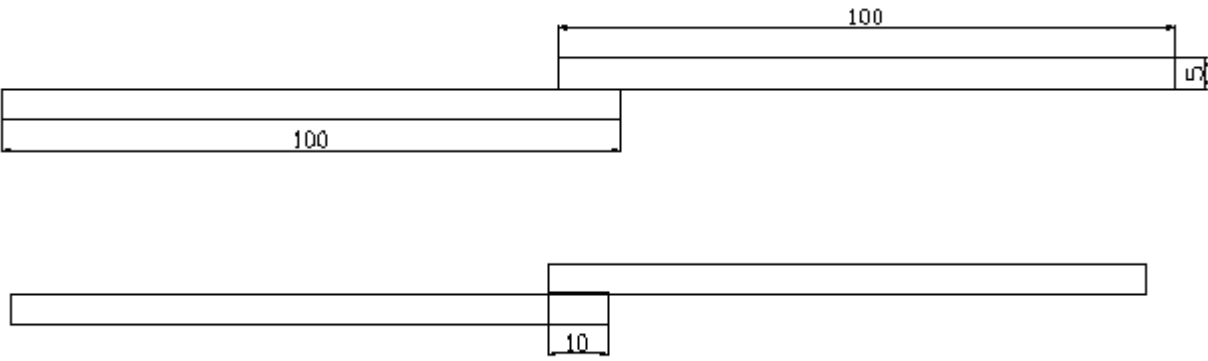
1. Preparación de la junta en traslape previo a la soldadura
2. Pre calentamiento de las probetas:
  - 2.1. Calentar a las probetas a temperatura indicada para soldar latón.
  - 2.2. Calentar a las probetas en la fragua hasta llegar a la temperatura de fusión para soldar con material de aporte de plata.
3. Enfriamiento el aire libre.

**Tabla 5.3. Datos de los tanques de acetileno y oxígeno**

Tanque del acetileno:	Tanque del oxígeno:
<p>Mide 1m.</p> <p>Regulador del acetileno. Si</p> <p>Válvula del tanque.</p> <p>Manómetro de presión. 5 psi</p>	<p>Mide 1.4m.</p> <p>Manómetro de presión del tanque.</p> <p>Válvula del tanque</p> <p>Manómetro de presión de la línea.</p> <p>Regulador.</p>

### 5.2.5. ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

**Tabla 5.4.**

Nombre de la compañía: EPN-Tesis PQR No: Norma: AWS A5.8	No. Identificación: Lorena Chasi Fecha: 2010/06/14 Realizado por: Lorena Chasi
Junta Utilizada Tipo de junta: A traslape Método: amoladora	Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: OAW Tipo de soldadura: Manual Soldadura a: Un solo lado Cordón de respaldo: Si Limpieza: Cepillo metálico, grata
Metal Base Especificación: SAE 1045 Espesor: 5mm Ancho: 50mm	Posición de Soldadura Posición de Soldadura: 2F Progresión: De izquierda a derecha
Metal de Aporte Diámetro: 2.50mm Denominación AWS: 5.8 Class BCuP-5 Casa Comercial: AGA Denominación Comercial: 15% de Plata	Pre calentamiento: 900° C  Notas Verificar alineación de la junta Asegurar limpieza de las partes
	



### 5.3. PRÁCTICA Nº 3

#### 5.3.1. TITULO: REALIZAR LA SOLDADURA EN LAS PROBETAS EN ALTO CONTENIDO DE CARBONO.

#### 5.3.2. OBJETIVOS:

Analizar los materiales de aporte (latón, plata al 5% y al 15% de carbono) que van a ser utilizados en materiales de base de aceros de bajo porcentaje de carbono.

#### 5.3.3. EQUIPO UTILIZADO

Soldadora oxiacetilénica

Varillas de aporte de latón y plata al 5% y 15%

Probetas en alto contenido de carbono.

Flux (Fundente)

Cepillo metálico

Fragua (cilindro de gas industrial, ventilador, termómetro)

#### 5.3.4. PROCEDIMIENTO

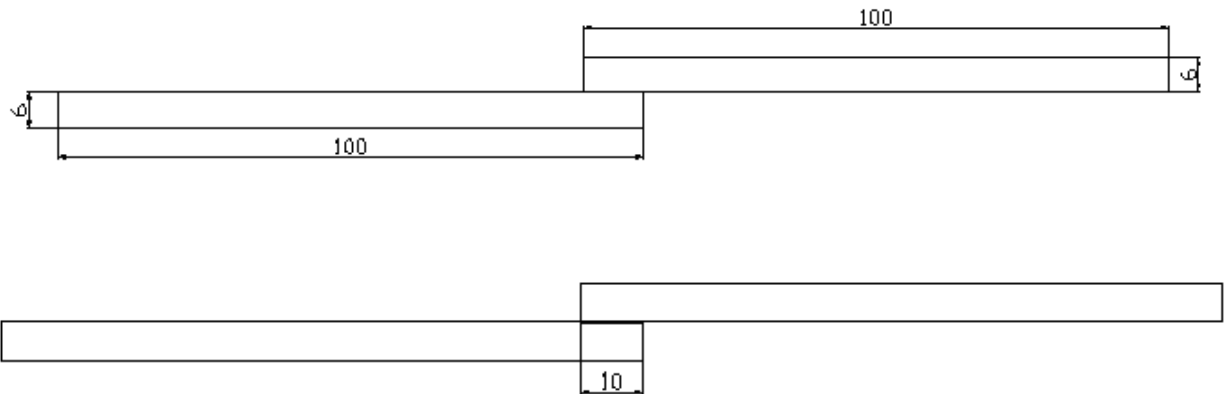
1. Preparación de la junta en traslape previo a la soldadura
2. Pre calentamiento de las probetas:
  - 2.1. Calentar a las probetas a temperatura indicada para soldar latón.
  - 2.2. Calentar a las probetas en la fragua hasta llegar a la temperatura de fusión para soldar con material de aporte de plata.
3. Enfriamiento el aire libre.

**Tabla 5.5. Datos de los tanques de acetileno y oxígeno**

Tanque del acetileno:	Tanque del oxígeno:
<p>Mide 1m.</p> <p>Regulador del acetileno. Si</p> <p>Válvula del tanque.</p> <p>Manómetro de presión. 5 psi</p>	<p>Mide 1.4m.</p> <p>Manómetro de presión del tanque.</p> <p>Válvula del tanque</p> <p>Manómetro de presión de la línea.</p> <p>Regulador.</p>

### 5.3.5. ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

**Tabla 5.6**

Nombre de la compañía: EPN-Tesis PQR No: Norma: AWS A5.8	No. Identificación: Lorena Chasi Fecha: 2010/06/14 Realizado por: Lorena Chasi
Junta Utilizada Tipo de junta: A traslape Método: amoladora	Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: OAW Tipo de soldadura: Manual Soldadura a: Un solo lado Cordón de respaldo: Si Limpieza: Cepillo metálico, grata
Metal Base Especificación: K100 Espesor: 6mm Ancho: 50mm	Posición de Soldadura Posición de Soldadura: 2F Progresión: De izquierda a derecha
Metal de Aporte Diámetro: 2.50mm Denominación AWS: B AG-2 <sup>a</sup> DIN L-Ag30Cd Casa Comercial: COLIMPO CIA. LTDA. Denominación Comercial: Exolat 305	Precalentamiento: 900° C  Notas Verificar alineación de la junta Asegurar limpieza de las partes
	

## 5.4. PRÁCTICA Nº 4

### 5.4.1 TITULO: RADIOGRAFIA INDUSTRIAL DE LAS PROBETAS

#### 5.4.2 OBJETIVOS:

- Determinar la calidad del cordón de soldadura
- Determinar la calidad radiográfica en cada probeta realizada tomando en cuenta la variación del metal base y el metal de aporte.
- Interpretar la radiografía y evaluar las posibles fallas

#### 5.4.3. EQUIPOS

- Máquina de rayos X

#### 5.4.4 PROCEDIMIENTO

- Se midió el espesor de la junta soldada (17mm) para escoger el tamaño de la película (tabla 5.7).

**Tabla 5.7. Datos**

DENSIDAD		PELICULA		DISTANCIA	
N = 1	T x 1	Gevaert	Structurix	35 cm (14")	Tx0,25
N = 1,5	T x 1,6	D10	D7 Tx1	50 cm (20")	Tx0,5
N = 2	T x 2,2	Tx1	D4 Tx3,7	70 cm (27,5")	Tx1
N = 2,5	T x 3	D7 Tx4	D2 Tx15	100 cm (40")	Tx2
		D4		140 cm (55")	Tx4
		Tx15		200 cm (80")	Tx8,8
		A	B		

Diagrama de operación de la máquina de rayos X, laboratorio de END

N= densidad= 2,2

P= película= 1,4

D= distancia= 0,5

### Calculo de los parámetros

Tabla 5.8

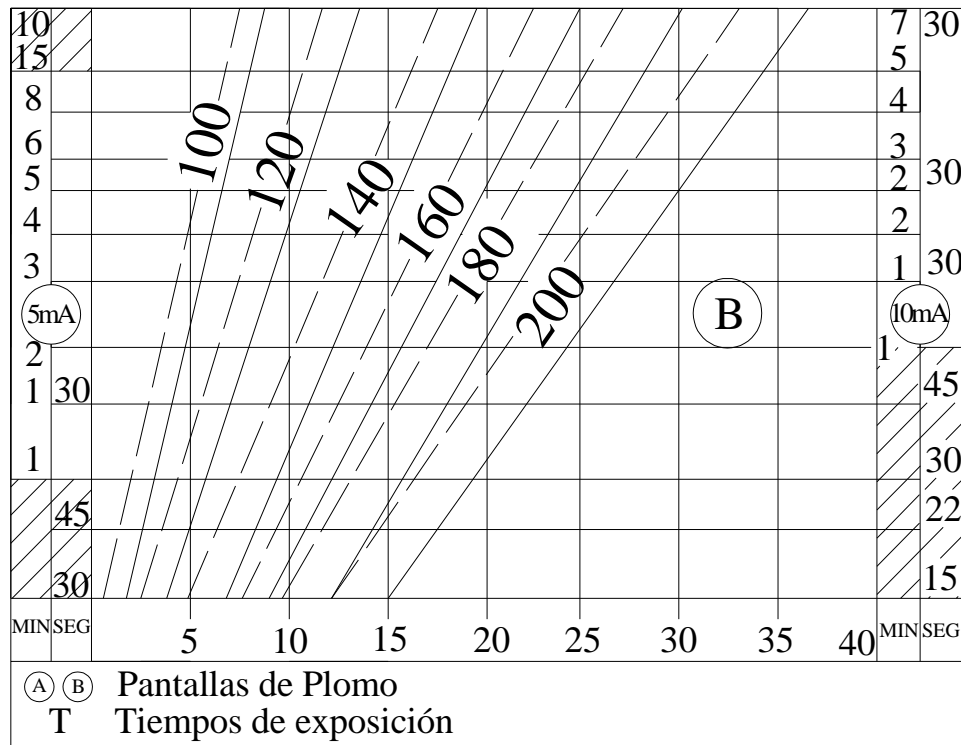


Tabla 5.8. Diagrama de operación de la máquina de rayos X, laboratorio de END

$$t_{\text{exp}} = t_c \cdot f_n \cdot f_p \cdot f_D \cdot f_v$$

$t_{\text{exp}}$  = Tiempo de exposición

$t_c$  = Tiempo de diagrama de exposición

$f_n$  = Factor de corrección por densidad

$f_p$  = Factor de corrección por película

$f_D$  = Factor de corrección por distancia

$f_v$  = Factor de corrección por varios

Para Espesor de 5 mm

$$t_{\text{exp}} = 70 \times 2.2 \times 1.4 \times 0.5 \times 1$$

$$t_{\text{exp}} = 107.8 \text{ seg.} \implies t_{\text{exp}} = 1.3 \text{ min.}$$

Para Espesor de 6 mm

$$t_{\text{exp}} = 124 \times 2.2 \times 1.4 \times 0.5 \times 1$$

$$t_{\text{exp}} = 190.96 \text{ seg.} \Rightarrow t_{\text{exp}} = 3.18 \text{ min.}$$

Para Espesor de 3 mm

$$t_{\text{exp}} = 75 \times 2.2 \times 1.4 \times 0.5 \times 1$$

$$t_{\text{exp}} = 115.5 \text{ seg.} \Rightarrow t_{\text{exp}} = 1.93 \text{ min.}$$

- Recaldeo de la máquina de rayos X (Figura 5.1)



Fig. 5.1 Recaldeo del equipo

En la valija de comando, llevar a cero el medidor de Kv y el de mA

Para espesor de 5 y 6 mm

$$\text{Kv} = 140 \qquad \text{mA} = 20$$

Para espesor de 3 mm

$$\text{Kv} = 120 \qquad \text{mA} = 20$$

Calcular el tiempo de permanencia del equipo en el Kv de ascenso, de acuerdo con el tiempo en el que, el equipo no ha estado funcionando.

Tiempo de permanencia = 30 seg.

Tiempo de parada = 8 H – 7 días

### Tiempos calculados (Tabla 5.9)

TIEMPO DE PARADA	TIEMPO DE PERMANENCIA HASTA LLEGAR AL KV DESEADO
1 a 8 horas	10 s
8 horas a 7 días	30 s
1 a 4 semanas	1 min
Más de un mes	2 min

- Preparación de las placas para llevarla al equipo de rayos X.



Fig. 5.2. Preparación de las placas para llevarla al equipo de rayos X

- Toma de la radiografía de las probetas.

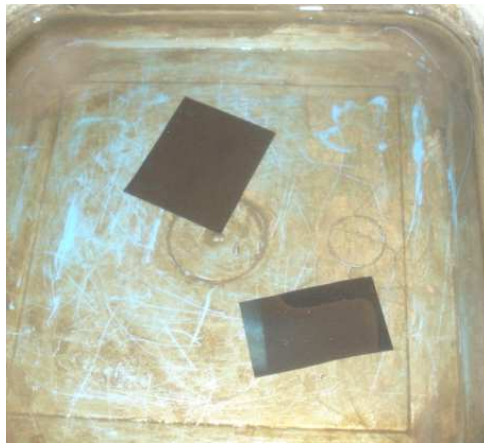


Fig. 5.3. Toma de la radiografía

- Revelado de la radiografía.

Se procede a llevar la película al cuarto de revelado para pasarla por cuatro líquidos:

- 1) Revelador: 5 min
- 2) Baño de parada: 2 min
- 3) Fijador: 10 min
- 4) Lavado final: 20 min



**Fig. 5.3. Revelado de las radiografías**

#### **5.4.5 RESULTADO**

En las radiografías se pudo observar los siguientes datos (tabla 5.10)

Tabla 5.10.

MATERIAL BASE	MATERIAL DE APORTE		
	LATON	PLATA 15%	PLATA 30%
A 36	Se observa unos pequeños poros menores de 1mm, el cordón es uniforme, no presenta mordeduras ni fisuras	Se observa pequeños poros menores de 2mm una separación entre poros de 4mm, el cordón es uniforme, no presenta mordeduras ni fisuras	Se observa pequeños poros menores de 1mm una separación entre poros de 4mm, el cordón es uniforme, no presenta mordeduras ni fisuras
SAE 1045	Se observa seis pequeños poros de 2mm con una separación entre poros de 1 y 2mm, el cordón es uniforme, no presenta mordeduras ni fisuras.	Se observa poros de 1mm con una separación entre poros de 4mm, el cordón es uniforme, no presenta mordeduras ni fisuras	
K 100	Se observa pequeños poros de de 1mm separados entre 1, 2 y 5mm uno del otro, el cordón es uniforme, no presenta mordeduras ni fisuras.	Se puede ver un pequeño poro.	

#### RESULTADOS:

Se logra observar que mediante cuando se utiliza para soldar como material de aporte latón, se logra una buena soldadura en materiales base de acero en bajo, medio y alto contenido de carbono, mientras que al utilizar como material plata se observa, que en piezas con material base de bajo contenido de carbono hay una adherencia, mientras que al soldar plata en aceros de medio y alto contenido de carbono, el metal de aporte se adhiere pero al someter un cierto esfuerzo esta se desuelda.



## 5.5 PRÁCTICA Nº 5

### 5.5.1 TITULO: LIQUIDOS PENETRANTES EN LAS PROBETAS DE ACERO

#### 5.5.2 OBJETIVOS:

- Aplicar los líquidos penetrantes para la inspección superficial
- Detectar discontinuidades en las probetas.

#### 5.5.3 EQUIPOS

1. Tinta penetrante tipo B&C. (fig. 5.4)
2. Removible (limpiador). (fig. 5.4)
3. Revelador acuoso. (fig. 5.4)



Fig. 5.4

#### 5.5.4 PROCEDIMIENTO

- Limpieza de las probetas con el limpiador y se seca con un paño.
- Aplicación del penetrante, esperar 10min (Figura 5.5).



Fig. 5.5. Aplicación del fundente

- Remoción del exceso del líquido penetrante de la superficie con un paño.
- Aplicación del revelador ( suspensión acuosa) (fig. 5.6)



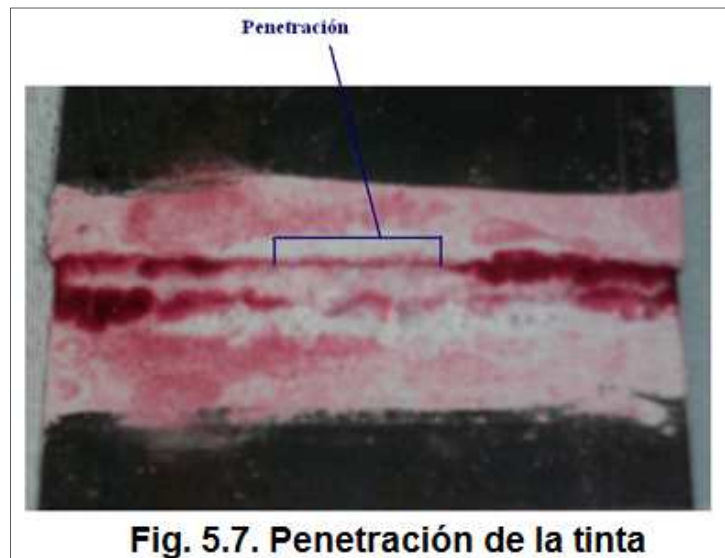
**Fig. 5.6 Aplicación del revelador**

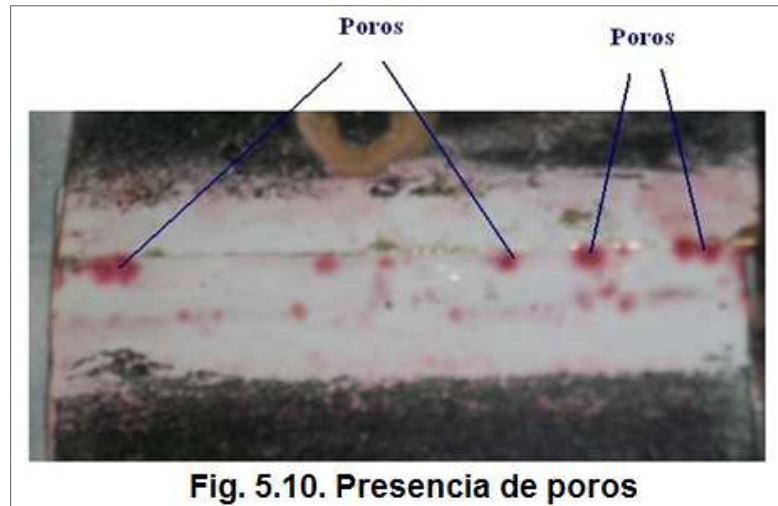
### **5.5.5 RESULTADO**

En el ensayo se pudo observar (tabla 5.11).

Tabla 5.11

MATERIAL BASE	MATERIAL DE APORTE		
	LATON	PLATA 15%	PLATA 30%
A 36	Se puede observar que tiene pequeños poros finos, falta de penetración en un extremo.	Presenta pequeños poros	Se presenta únicamente una pequeña unión de soldadura, la cual es buena.
SAE 1045	Se presenta pequeños poros finos	Presenta pequeños poros	No hay una buena unión entre piezas soldadas, porque las tintas penetran en un filo de las uniones.
K 100	Se presenta pequeños poros finos, soldadura uniforme	Presenta pequeños poros finos. Presenta fisuras estrechas cerradas.	No hay una buena penetración del material, por lo que las tintas penetran en el filo del cordón de soldadura.





## 5.6. PRÁCTICA Nº 6

### 5.6.1 TITULO: METALOGRAFIA EN LAS PROBETAS DE ACERO

#### 5.6.2 OBJETIVOS:

- Observar si exista un correcto flujo de metal de aporte
- Detectar discontinuidades en las probetas.

#### 5.6.3. EQUIPOS

1. Desbastadora de disco rotatorio.
2. Lijas
3. Microscopio Estereoscópico

#### 5.6.4. PROCEDIMIENTO

1. La muestra debe ser de un tamaño de fácil manipulación.
2. Pulir la parte a realizar la metalografía, manteniendo en sentido perpendicular a la ralladura existente.
3. El esmerilado, continúa hasta que la superficie quede plana, y todas las ralladuras debidas al corte manual o al disco cortador no sean visibles, emulando la superficie de un espejo.
4. Luego del paso anterior, la muestra se pule sobre una serie de hojas de lijas que contienen abrasivos finos. El primer papel es de Nº 150 luego 200, 300, 400 y finalmente es posible encontrar en el mercado Nº1500. Antes de pulir con la siguiente lija se debe girar en 90° la muestra, a fin de eliminar el rayado realizado con la lija anterior. Las operaciones de pulido intermedio con lijas de esmeril se hacen en húmedo. (fig. 5.11).



Fig. 5.11. Lijado de probetas

5. Tomar las fotos. (fig. 5.12).



Fig. 5.12. Observar las probetas por microscopio

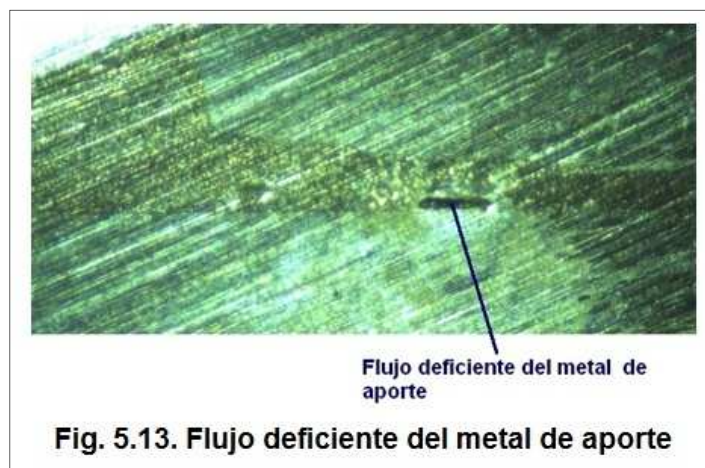
### 5.6.5 RESULTADO

En el ensayo se pudo observar (tabla 5.12).

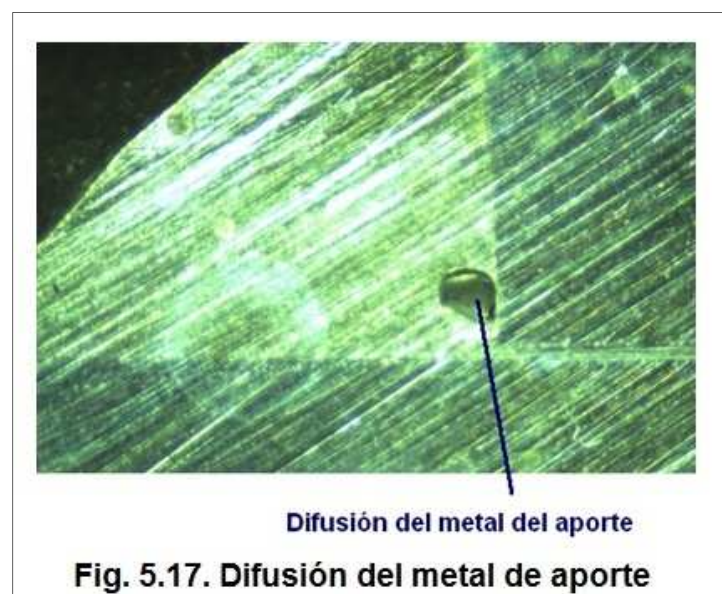
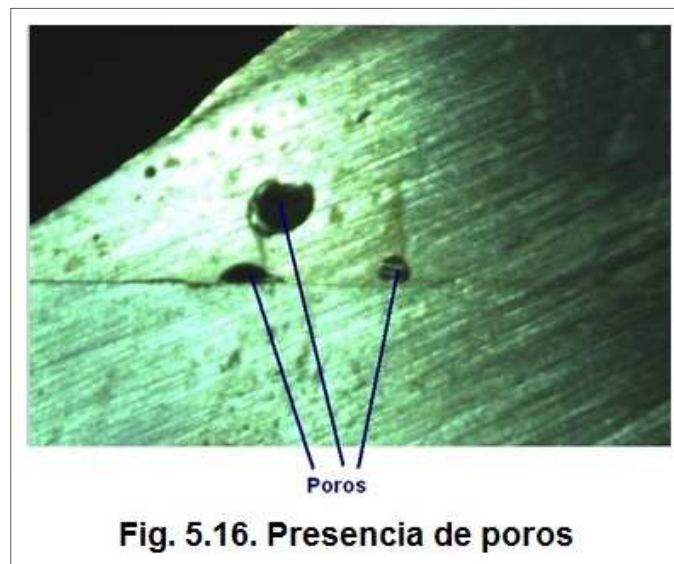


Tabla 5.12

MATERIAL BASE	MATERIAL DE APORTE		
	LATON	PLATA 15%	PLATA 30%
A 36	Buen flujo del metal de aporte, no presenta porosidades.	Presenta un flujo deficiente del metal de aporte.	Presenta un flujo eficiente del metal de aporte.
SAE 1045	Flujo eficiente del metal de aporte, no presenta porosidades.	Presenta un flujo deficiente del metal de aporte y poros.	N/A
K 100	Presenta porosidades, flujo deficiente del metal de aporte.	Presenta difusión del metal de aporte.	N/A







## 5.7 ANALISIS DE RESULTADOS

Se obtuvo como resultado, al momento de cambiar los materiales de aporte y los materiales base, que el nivel de capilaridad no es el mismo.

A continuación se muestra los cálculos realizados para observar el nivel de capilaridad existente, y cuál es el material más apropiado para usar con los materiales de aporte, y observar con cual se genera un mejor cordón de soldadura fuerte.

### 5.7.1. Material de aporte: Latón, en la tabla 5.13

**Tabla 5.13**

ESPELOR (MM)	3	5	6
LONGITUD DE	11	12	6
PENETRACION	13	9	2
(MM)	12	5	3

### 5.7.2. Material de aporte: Plata 15% en la tabla 5.14

**Tabla 5.14**

ESPELOR (MM)	3	5	6
LONGITUD DE	5	4	5
PENETRACION	4	3	3
(MM)	3	1	2

### 5.7.3. Material de aporte: Plata 30% en la tabla 5.15

Tabla 5.15

MATERIAL BASE	ACERO BAJO CONTENIDO DE CARBONO	ACERO MEDIO CONTENIDO DE CARBONO	ACERO ALTO CONTENIDO DE CARBONO
ESPESOR (MM)	3	5	6
LONGITUD DE PENETRACION (MM)	11 12 11	13 11.5 12	1 No hay penetración No hay penetración.

## 5.8 CALCULO DEL COEFICIENTE DE PENETRACION

$$L^2 = \frac{rt\sigma \cos \theta}{2\eta}$$

$$L^2 \cdot 2\eta = rt\sigma \cos \theta$$

$$\frac{\sigma}{2\eta} = \frac{L^2}{rt \cos \theta} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{\sigma}{2\eta}} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Reemplazar ecuación 1 en 2

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

L = Longitud alcanzada por el liquido dentro del capilar al cabo del tiempo.  
(Mm.)

r = Radio del capilar. (Mm)

t = Tiempo (seg)

$\theta$  = Angulo de contacto entre liquido y sólido. (Grados)

$\eta$  = Viscosidad

$\sigma$  = Tensión superficial.

## 5.8.1. MATERIAL DE APORTE: LATON

**Espesor de la probeta: 3 mm****Datos:**

$$L = 11 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 4.2 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(11)^2}{0.05 \times 4.2 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{C.P. = 24.188 \text{ mm/ seg.}}$$

$$L = 13 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 4.5 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(13)^2}{0.05 \times 4.5 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 27.617 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 12 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 4.7 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(12)^2}{0.05 \times 4.7 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 24.944 \text{ mm/ seg.}}$$

**Espesor de la probeta: 5 mm**

**Datos:**

$$L = 12 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 4.8 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(12)^2}{0.05 \times 4.8 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 24.683 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos**

$$L = 9 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(9)^2}{0.05 \times 5 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 18.138 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 5 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 4.9 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(5)^2}{0.05 \times 4.9 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 10.179 \text{ mm/seg.}}$$

**Espesor de la probeta: 6 mm**

**Datos:**

$$L = 6 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 4.7 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(6)^2}{0.05 \times 4.7 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 12.472 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 3 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 4.9 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(2)^2}{0.05 \times 4.9 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 4.072 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 2 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 5.01 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(3)^2}{0.05 \times 5.01 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 6.04 \text{ mm/seg.}}$$

Tabla 5.16

CONTENIDO DE CARBONO	BAJO	MEDIO	ALTO
ESPELOR DE LA PROBETA	3	5	6
COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD	24.188	24.683	12.472
	27.617	18.138	4.072
	24.944	10.179	6.040
PROMEDIO	25.583	17.667	7.528

## 5.8.1.1 RESULTADOS:

En aceros que contienen bajo contenido de carbono al soldar con latón se muestra que hay un mayor coeficiente de penetración a diferencia de soldar en aceros de alto contenido de carbono que es mínimo.

Al soldar en aceros de medio contenido de carbono se muestra que el coeficiente de penetración es casi la mitad que el coeficiente de penetración en aceros soldada en bajo contenido de carbono.

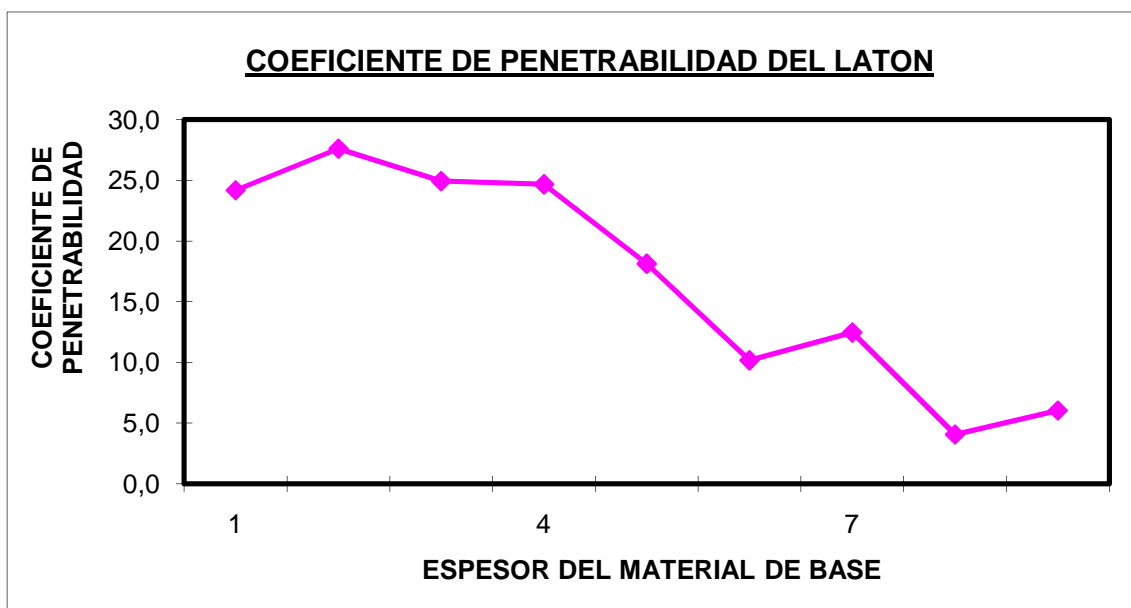


Fig. 5.18

## 5.8.2 MATERIAL DE APORTE: PLATA 15%

**Espesor de la probeta: 3 mm****Datos:**

$$L = 5 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.4 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(5)^2}{0.05 \times 10.4 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 6.987 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos**

$$L = 4 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.5 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(4)^2}{0.05 \times 10.5 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 5.562 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 3 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.7 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(3)^2}{0.05 \times 10.7 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 4.133 \text{ mm/ seg.}}$$



**Espesor de la probeta: 5 mm**

**Datos:**

$$L = 4 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.05 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(4)^2}{0.05 \times 10.05 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 5.686 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos**

$$L = 3 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.08 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(3)^2}{0.05 \times 10.08 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 4.258 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 1 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.1 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(1)^2}{0.05 \times 10.1 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 1.418 \text{ mm/ seg.}}$$

**Espesor de la probeta: 6 mm**

**Datos:**

$$L = 5 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 12.1 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(5)^2}{0.05 \times 12.1 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 6.477 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos**

$$L = 3 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 12.5 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(3)^2}{0.05 \times 12.5 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 3.823 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 2 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 12.55 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(2)^2}{0.05 \times 12.55 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 2.544 \text{ mm/ seg.}}$$

Tabla 5.17

CONTENIDO DE CARBONO	BAJO	MEDIO	ALTO
ESPELOR DE LA PROBETA	3	5	6
COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD	6.987	5.686	6.477
	5.562	4.258	3.823
	4.133	1.418	2.544
PROMEDIO	5.561	3.787	4.281

### 5.8.2.1 RESULTADOS

Al soldar en aceros con plata al 15% se observa que se genera un mejor coeficiente de penetración en aceros de bajo contenido de carbono, a diferencia de lo que se genera en aceros de medio y alto contenido de carbono. El coeficiente de penetración en aceros de medio y alto porcentaje de carbono es menor, los valores son similares en ambos casos.

Se observa que al soldar al aceros con material de aporte plata al 15%, el rango de penetrabilidad se da de mayor a menor, es decir el orden, es de mayor penetrabilidad en aceros de bajo contenido de carbono, aceros de alto contenido de carbono y finalmente aceros de medio contenido de carbono.

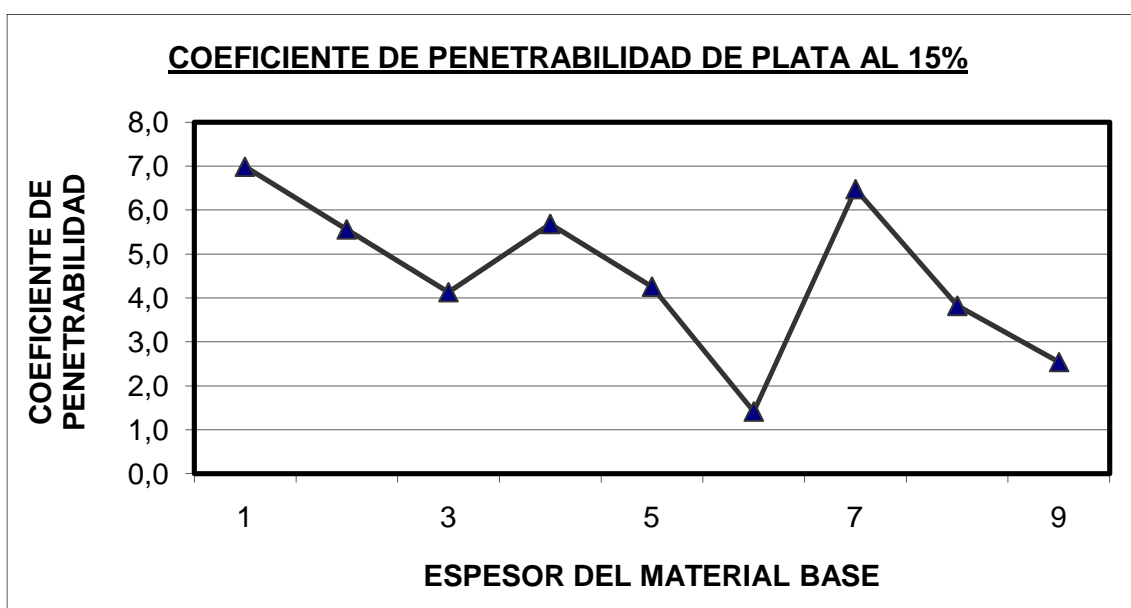


Fig. 5.19

## 5.8.5 MATERIAL DE APORTE: PLATA 30%

**Espesor de la probeta: 3 mm****Datos:**

$$L = 11 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.4 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(11)^2}{0.05 \times 10.4 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 15.371 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos**

$$L = 12 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.6 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(12)^2}{0.05 \times 10.6 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 16.609 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 11 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.5 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(11)^2}{0.05 \times 10.5 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 15.298 \text{ mm/seg.}}$$

**Espesor de la probeta: 5 mm**

**Datos:**

$$L = 13 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.5 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(13)^2}{0.05 \times 10.5 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 18.079 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos**

$$L = 11.5 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10.4 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(11.5)^2}{0.05 \times 10.4 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 16.070 \text{ mm/ seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 12 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(12)^2}{0.05 \times 10 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 17.101 \text{ mm/ seg.}}$$

**Espesor de la probeta: 6 mm**

**Datos:**

$$L = 1 \text{ mm}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 11.3 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(1)^2}{0.05 \times 11.3 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 1.345 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos**

$$L = 0 \text{ mm (No hay penetración)}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 11.5 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(0)^2}{0.05 \times 11.5 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 0 \text{ mm/seg.}}$$

**Datos:**

$$L = 0 \text{ mm (No hay penetración)}$$

$$r = 0.05 \text{ mm}$$

$$t = 11.2 \text{ seg.}$$

$$\theta = 10^\circ$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{L^2}{rt \cos \theta}}$$

$$C.P. = \sqrt{\frac{(0)^2}{0.05 \times 11.2 \times \cos 10^\circ}}$$

$$\underline{CP = 0 \text{ mm/seg.}}$$

Tabla 5.18

CONTENIDO DE CARBONO	DE	BAJO	MEDIO	ALTO
ESPELOR DE LA PROBETA		3	5	6
COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD		15.371	18.079	1.345
		16.609	16.070	0
		15.298	17.101	0
PROMEDIO		15.759	17.083	1.345

### 5.8.3.1 RESULTADOS

Al soldar aceros con plata al 30%, se observa que se genera un buen coeficiente de penetración al soldar en aceros de medio contenido de carbono, en donde si exista una penetración del metal de aporte durante la soldadura.

En aceros de alto contenido de carbono no hay un buen coeficiente de penetración, es decir hay una penetración mínima que no une a las placas correctamente durante la soldadura.

En aceros de bajo contenido de carbono se determina la existencia de un coeficiente de penetración, pero se obtiene una mejor con aplicación en materiales base de bajo contenido de carbono.

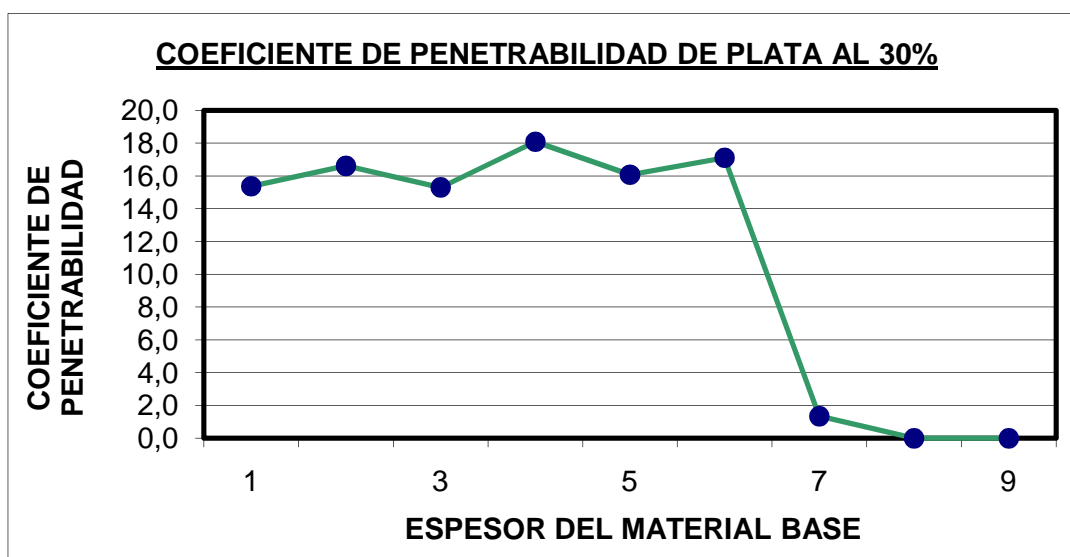


Fig. 5.20

## **CAPITULO VI**

### **6.1 CONCLUSIONES**

- Este proyecto tiene por objeto observar si se produce una buena capilaridad en los aceros al realizar soldadura fuerte.
- Para un adecuado proceso de soldadura los materiales de aporte se deben de calentar hasta la temperatura de fusión para que se genere una buena unión de soldadura.
- Los ensayos no destructivos nos ayudan a detectar fallas obtenidas al momento de realizar la soldadura fuerte.
- Los costos de utilizar como material de aporte a la plata para soldadura aceros de medio y alto contenido de carbono, origina un incremento del valor y el tiempo empleado de producción.

### **6.2 RECOMENDACIONES**

- Investigar si los materiales base y aporte tienen una propiedades similares para que se produzca una buena unión de soldadura
- Realizar ensayos no destructivos para verificar la calidad de la soldadura y las fallas que presente la misma.
- Realizar ensayos destructivos para verificar el nivel de flujo del metal de aporte.



### 6.3 BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN WELDING SOCIETY, (1996). *“Manual de Soldadura”*. México. Prentize-Hall Hispanoamérica
- ERAZO MIGUEL, (1999). *“Seminario de Soldadura de Mantenimiento”*. EPN.
- MESSER GRIESHEIM, *“Aleaciones especiales para la soldadura de mantenimiento y reparaciones”*.
- LINCOLN ELECTRIC, *“Hardfacing Product Catalog”*
- HORWITZ HENDRY, (1997) *“Soldadura: Aplicación y Práctica”*. Ed. Alfaomega. México
- SARKAR A. D. (1990) *“Desgaste de metales”*. Noriega. Limusa.
- WEST J. M. (1986). *“Corrosión y oxidación”*. Limusa.
- KAU SINDO, *“Welding Metallurgy”*
- CAZAUD R. (1988) *“La fatiga de los metales”*. Aguilar.
- DAVIS H. (1984). *“Ensayo e inspección de materiales en ingeniería”*. C. E. C. S. A.
- FLINN S. H. y TROJAN P. K. (1991). *“Materiales de ingeniería y sus aplicaciones”*. 3ª Ed. Mc Graw Hill.
- <http://www.scribd.com/doc/2469715/Pruebas-no-destructivas>
- <http://www.cad-cae.com/analisis04.html>

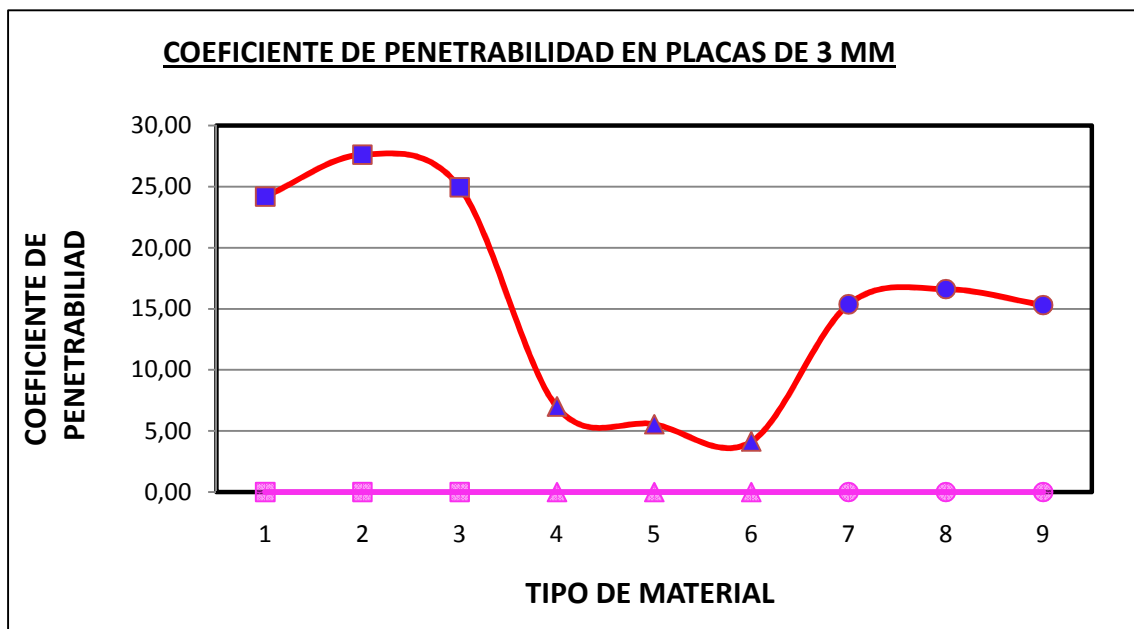
- [http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/A36\\_steel](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/A36_steel)
- [http://www.tarsa.biz/pagina\\_nueva\\_27.htm](http://www.tarsa.biz/pagina_nueva_27.htm)
- <http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.tmtco.com/products/plates-astm-a36.html>
- <http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.evanstechnology.com/brass.html>
- <http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://www.azom.com/details.asp%3FArticleID%3D2821>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1.

**COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD EN PLACAS  
DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO**

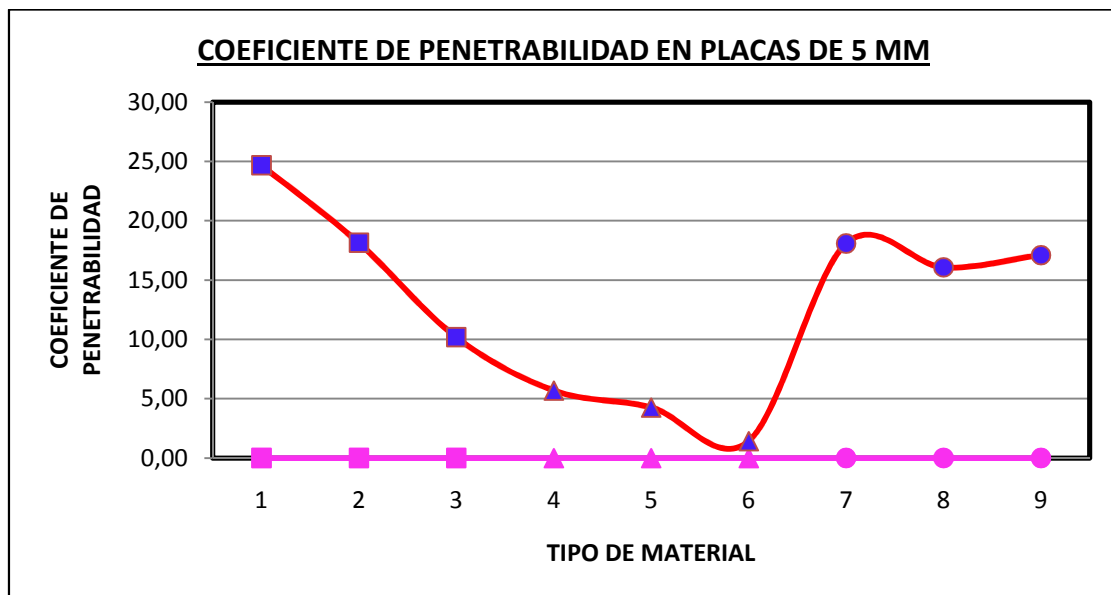
COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD	MATERIAL DE APORTE
24,188	LATON ■
27,617	LATON ■
24,944	LATON ■
6,987	PLATA 15% ▲
5,562	PLATA 15% ▲
4,133	PLATA 15% ▲
15,371	PLATA 30% ●
16,609	PLATA 30% ●
15,298	PLATA 30% ●



## ANEXO 2.

**COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD EN PLACAS DE MEDIO CONTENIDO DE CARBONO**

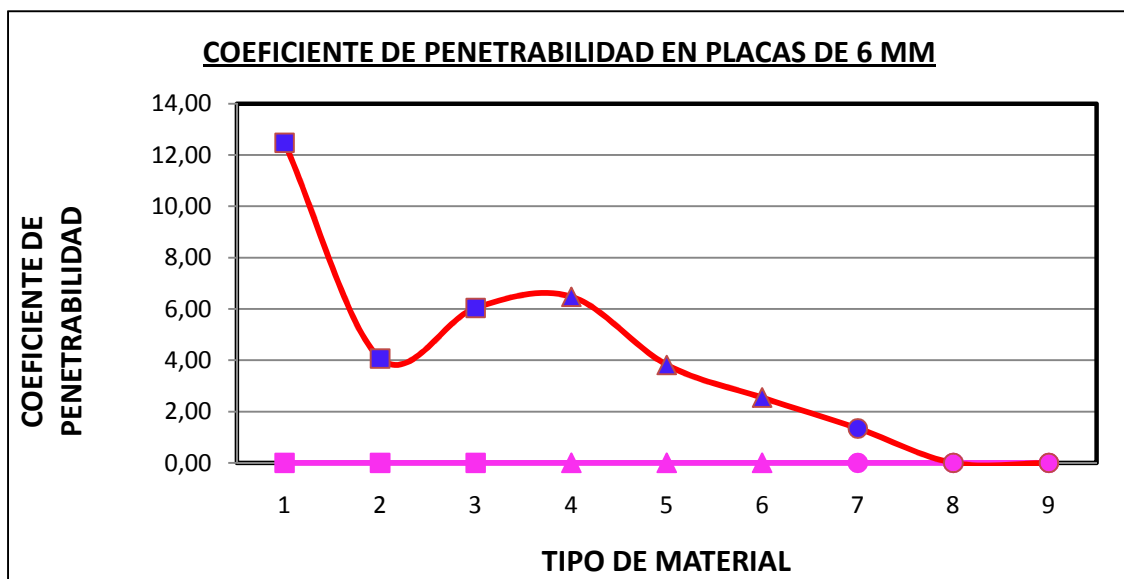
COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD	MATERIAL DE APORTE
24,683	LATON ■
18,138	LATON ■
10,179	LATON ■
5,686	PLATA 15% ▲
4,258	PLATA 15% ▲
1,418	PLATA 15% ▲
18.079	PLATA 30% ●
16.070	PLATA 30% ●
17.101	PLATA 30% ●



## ANEXO 3.

**COMPARACION DEL COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD EN PLACAS  
DE ALTO CONTENIDO DE CARBONO**

COEFICIENTE DE PENETRABILIDAD	MATERIAL DE APORTE
12,472	LATON ■
4,072	LATON ■
6,040	LATON ■
6,477	PLATA 15% ▲
3,823	PLATA 15% ▲
2,544	PLATA 15% ▲
1,345	PLATA 30% ●
0,00	PLATA 30% ●
0,00	PLATA 30% ●



## ANEXO 4.

## MATERIALES DE APORTE PARA SOLDADURA FUERTE

SOLDADURA PLATA CON CADMIO							
ALEACION	COMPOSICION %				NORMAS		APLICACIONES
	Ag	Cu	Zn	Otros	DIN 8513	AFNOR A81362	
<a href="#">PLATEX AG-500 Cd</a>	50	15	17	18 Cd	L-Ag 50 Cd	-	Para soldar plata, cobre, aleaciones de cobre, acero, acero inoxidable, níquel, aleaciones de níquel, tungsteno.
<a href="#">PLATEX AG-450 Cd</a>	45	16	17	22 Cd	L-Ag 45 Cd	45A1	
<a href="#">PLATEX AG-400 Cd</a>	40	19	21	20 Cd	L-Ag 40 Cd	40A1	
<a href="#">PLATEX AG-340 Cd</a>	34	22	24	20 Cd	L-Ag 34 Cd	35A1	
<a href="#">PLATEX AG-300 Cd</a>	30	28	21	21 Cd	L-Ag 30 Cd	30A1	
<a href="#">PLATEX AG-200 Cd</a>	20	40	25	15 Cd	L-Ag 20 Cd	20A2	
<a href="#">PLATEX AG-190 S</a>	19	38	24,5	18 Cd	---	---	
<a href="#">PLATEX AG-120 Cd</a>	12	50	31	7 Cd	L-Ag 12 Cd	-	

SOLDADURA PLATA SIN CADMIO							
ALEACION	COMPOSICION %				NORMAS		APLICACIONES
	Ag	Cu	Zn	Otros	DIN 8513	AFNOR A81362	
<a href="#">PLATEX AG-440</a>	44	30	26	-	L-Ag 44	44 A1	Para soldar plata, cobre, aleaciones de cobre, acero, acero inoxidable, níquel, aleaciones de níquel, tungsteno.
<a href="#">PLATEX AG-250</a>	25	41	34	-	L-Ag 25	25A1	
<a href="#">PLATEX AG-200</a>	20	44	35,8	Si	L-Ag 20	20A1	
<a href="#">PLATEX AG-120</a>	12	48	40	-	L-Ag 12	-	
<a href="#">PLATEX AG-550 Sn</a>	56	22	17	5 Sn	L-Ag 55 Sn	-	
<a href="#">PLATEX AG-450 Sn</a>	45	27	25	3 Sn	L-Ag 45 Sn	-	
<a href="#">PLATEX AG-340 Sn</a>	34	36	27	3 Sn	L-Ag 34 Sn	-	
<a href="#">PLATEX AG-300 Sn</a>	30	36	32	2 Sn	L-Ag 30 Sn	-	

SOLDADURA COBRE - FOSFORO - PLATA							
ALEACION	COMPOSICION %				NORMAS		APLICACIONES
	Ag	Cu	Zn	Otros	DIN 8513	AFNOR A81362	
<a href="#">PLATEX F-AG-150</a>	15	80	-	5 P	L-Ag 15 P	05 B1	Cobre y aleaciones de cobre. Para soldar cobre con cobre no es necesario usar fundente.
<a href="#">PLATEX F-AG-50</a>	5	89	-	6 P	L-Ag 5 P	06 B2	
<a href="#">PLATEX F-AG-20</a>	2	91.5	-	6.5 P	L-Ag 2 P	06 B1	
<a href="#">PLATEX F-80</a>	-	92	-	8 P	L-Cu P 8	08 B1	
<a href="#">PLATEX F-70</a>	-	93	-	7 P	L-Cu P 7	07 B1	
<a href="#">PLATEX F-60</a>	-	94	-	6 P	L-Cu P 6	-	

SOLDADURA LATON - BRONCE							
ALEACION	COMPOSICION %				NORMAS		APLICACIONES
	Ag	Cu	Zn	Otros	DIN 8513	AFNOR A81362	
<a href="#">LATON MS-60</a>	-	60	39.7	Si	L-Cu Zn 40	60 C1	Para soldar hierro, acero, cobre, aleaciones de cobre.
LATON MS-59	-	59	40.0	Si,Sn,Mn	L-Cu Zn 39 Sn	-	
<a href="#">LATON S-3</a>	-	57	39.6	3 Ni, Si	-	-	

FUNDENTE SOLDADURA FUERTE				
REFERENCIA	METAL BASE	SOLDADURA	NORMA DIN 8511	INT. de FUSION °C
<a href="#">PLATEXFLUX</a>	Cobre, aleaciones de cobre	Cobre - Fósforo	F-SH1	500-800
<a href="#">LIQUIDO FLUX-7</a>				
PLATEXFLUX - A	Cobre, aleaciones de cobre, acero, níquel y sus aleaciones	Plata	F-SH1	500-800
<a href="#">PLATEXFLUX - C</a>				
<a href="#">POLFLUX</a>	Acero, cobre, aleaciones de cobre	Latón	F-SH1/2	700-1000
POLFLUX - C				
POLFLUX - F	Hierro, acero	Fe-(Si-Mn)	-	1000-1500
METAPAL FLUX	Aluminio, aleaciones de aluminio	Al-Si Al-Mg	F-SH1	370-600