

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**GUÍA PARA EL CÁLCULO, DISEÑO Y
FABRICACIÓN DE CONSTRUCCIONES
SOLDADAS**

**TESIS
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

JOSÉ ANTONIO PRERA FLORES

**AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE 1999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

GUÍA PARA EL CÁLCULO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE CONSTRUCCIONES SOLDADAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Carrera de Mecánica, con fecha 13 de abril de 1999. Ref. CIM. 234.99

José Antonio Prera Flores.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL V	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Herbert Antonio Mendoza Escobar
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Guatemala,
23 de junio de 1999.

Ingeniero
Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de la Carrera de Ingeniería Mecánica
Presente

Señor Coordinador:

Atentamente me dirijo a usted, para presentarle el trabajo de Tesis titulada "Guía para el Cálculo, Diseño y Fabricación de Construcciones Soldadas", realizado por el bachiller José Antonio Prera Flores, el cual fue revisado por mí en su totalidad.

A mi juicio, el presente trabajo cumple a cabalidad con los objetivos planteados y con los requerimientos exigidos por la Facultad de Ingeniería para optar al grado de Ingeniero Mecánico, y por lo tanto extendiendo la presente aprobación en mi calidad de Asesor de tesis.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted como su seguro servidor.

Atentamente,



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Asesor
Colegiado No. 3071



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Area Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingenieria Mecánica, luego de conocer la aprobación del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Guia para el Cálculo, Diseño y Fabricación de Construcciones Soldadas, de el estudiante José Antonio Prera Flores, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Arturo Estrada Martínez

Coordinador de Area

Guatemala, julio de 1,999.



FACULTAD DE INGENIERIA

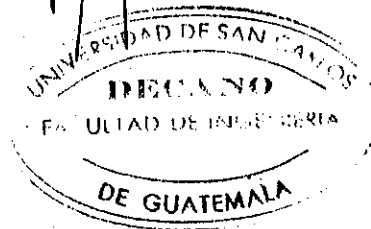
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Guía para el Cálculo, Diseño y Fabricación de Construcciones Soldadas**, presentado por el estudiante universitario José Antonio Prera Flores, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO

Guatemala, octubre de 1, 999.



DEDICATORIA

- A Dios** Por ser la luz que ilumina mi camino.
- A mis padres** **Itzmar Gamaliel Rivera Urizar**
Rosaura Flores Barrios de Rivera
Como muestra de mi eterna gratitud por su valioso ejemplo y apoyo brindado, y un reconocimiento a sus múltiples sacrificios en mi formación profesional.
- A mi esposa** **Ingrid Patricia López de Prera**
Cuyo amor y abnegación han sido estímulos importantes en la culminación de mi carrera profesional.
- A mi hija** **María José Prera López**
Motivo especial de mi continuo sacrificio.
- A mis suegros** **Lic. Pedro López Hernández**
Thelma Girón de López
Con agradecimiento sincero por su apoyo incondicional.
- A mis hermanos** **Angela María y Luis Angel**
Gracias por su apoyo.
- A mi sobrina** **Liza María**
Con cariño sincero.
- A mi abuelita y tía** **Corina Juárez y Licda. Gloria Prera Juárez**
Con cariño y agradecimiento por su apoyo.
- A mi Asesor** **Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez**
Con gratitud y amistad sincera por su apoyo incondicional.
- A mis familiares y amigos** Con especial aprecio.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
LISTA DE SÍMBOLOS	XVI
GLOSARIO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIV
OBJETIVOS	XXVI
1. PROCESO DE SOLDADURA SMAW	1
1.1 Introducción a la Soldadura	1
1.2 Concepto de Soldadura	2
1.3 Calor y fuentes de Calor	4
1.3.1 Fuentes de calor	4
1.3.1.1 Eléctrica	4
1.3.1.2 Química	5
1.3.1.3 Óptica	6
1.3.1.4 Mecánica	6
1.4 Procesos de Soldadura	6
1.4.1 Soldadura por fusión	7
1.4.2 Soldadura de estado sólido	8
1.5 Proceso de soldadura SMAW	9
1.6 Arco eléctrico	13
1.7 Encendido y manejo del arco eléctrico	15
1.7.1 Rastrillado	15
1.7.2 Golpeado	16
1.7.2.1 Cómo reanudar un cordón	17
1.7.2.2 Diferentes movimientos del electrodo al depositar un cordón	19
1.7.2.3 Ángulos de inclinación del electrodo	21
1.8 Fuentes de corrientes para soldar	24
1.8.1 Máquinas estáticas	25
1.8.2 Máquinas rotativas	25
1.9 Seguridad en la soldadura	26
1.10 Electrodo	29
1.10.1 El núcleo o alma	30
1.10.2 El revestimiento	30
1.10.3 Extremos de arco y extremo porta-electrodo	33
1.10.3.1 Electrodo de bajo hidrógeno	40
1.10.4 Electrodo de baja aleación	43
1.10.5 Electrodo de alta aleación	46

	Pág.	
1.10.6	Recomendaciones para el almacenamiento de los electrodos	48
1.10.6.1	Reacondicionamiento	48
1.11	Juntas	50
1.11.1	Posiciones para soldar	56
1.12	Defectos de soldadura	58
1.12.1	Porosidad	58
1.12.2	Inclusiones de escoria	59
1.12.3	Fusión incompleta	59
1.12.4	Mala penetración	60
1.12.5	Socavación	61
1.12.6	Salpicaduras	61
1.12.7	Grietas	62
1.12.7.1	Agrietamiento en caliente	62
1.12.7.2	Agrietamiento en frío	62
1.13	Tensiones, contracciones y deformaciones	64
2.	PROCESO DE SOLDADURA GMAW	68
2.1	Soldadura metálica con arco eléctrico y gas	68
2.2	Procesos de soldadura MIG-MAG	71
2.3	Equipo básico	72
2.3.1	Equipo común de taller	74
2.3.2	Equipo universal	75
2.3.3	Equipo tandem	75
2.3.4	Equipo push-pull	76
2.3.5	Equipo de carrete pequeño	76
2.4	Suministro de gases	77
2.5	Mecanismo alineador de alambre	80
2.6	Pistola para soldar MIG-MAG	83
2.7	Sistema de enfriamiento	85
2.8	Características eléctricas	87
2.9	Técnicas de soldeo del acero al carbono	92
2.10	Preparación del material base	96
2.11	Material de aporte	96
2.12	Transferencias	103
2.12.1	Transferencia por corto circuito	103
2.12.2	Transferencia globular	104
2.12.3	Transferencia por aspersion	104
2.12.4	Transferencia por spray pulsante	105
2.12.5	Transferencia por aspersion rotacional	105

	Pág.
3. INTERPRETACIÓN DE PLANOS	107
3.1 Revisión y unificación de conceptos para interpretar planos	107
3.1.1 Normalización	107
3.1.2 Proyecciones paralelas	111
3.1.3 Acotado y secciones	116
3.1.4 Secciones	122
3.1.4.1 Tipos de secciones	123
3.1.5 ¿Por qué se usan los planos?	124
3.1.6 ¿Cómo leer un plano?	126
3.2 Procesos y representaciones de la soldadura	127
3.2.1 Designación de los procesos de soldadura	127
3.2.2 Símbolo estándar para soldadura	128
3.2.2.1 Instrucciones generales	131
3.2.2.2 Designación de la extensión de una soldadura por medio de símbolos	147
3.2.2.3 Símbolos para indicar pruebas no destructivas	152
3.3 Interpretación de planos	156
3.3.1 Interpretación de una representación simbólica y una gráfica y viceversa	156
3.3.2 Identificación y ampliación de detalles, elaborando un plano de soldadura a partir de las instrucciones dadas	159
3.3.3 Planos de tubería	163
3.3.3.1 Juntas empleadas en las tuberías	163
3.3.3.2 Símbolos estándar para accesorios de tubería	166
3.3.3.3 Representaciones de las tuberías	169
3.3.3.4 Cotas	171
4. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN	174
4.1 Aceros	174
4.1.1 Propiedades y características de los aceros al carbono	174
4.1.2 Normas AISI y DIN para designar los aceros	186
4.1.2.1 Identificación de los aceros según la norma SAE-AISI	186
4.1.2.2 Identificación de los aceros según la norma DIN	188
4.1.2.3 Aceros al carbono	191
4.1.2.4 Aceros de baja aleación	192

	Pág.
4.2 Soldabilidad de los aceros	195
4.3 Estructura de la unión soldada	199
4.4 Tratamiento térmico en la soldadura	205
4.5 Tensiones en la soldadura	231
4.6 Contracciones en la soldadura	231
4.6.1 Relación entre la conductividad y la dilatación térmica	236
4.7 Soldadura de aceros inoxidable	247
4.7.1 Aceros inoxidable ferríticos	248
4.7.2 Aceros inoxidable martensíticos	250
4.7.3 Aceros inoxidable austeníticos	251
4.7.4 Aceros inoxidable dúplex y endurecidos	253
4.7.4.1 Soldabilidad	255
4.7.5 Materiales de aporte	256
4.8 Diagrama de Schaeffler	257
4.9 Soldadura de materiales no ferrosos	268
5. DISEÑO Y CÁLCULO EN CONSTRUCCIONES SOLDADAS	271
5.1 Fundamentos	271
5.1.1 Cálculos de diferentes juntas	271
5.1.1.1 Formas corrientes de las uniones soldadas	271
5.1.1.2 Según la posición de la fuerza del filete	275
5.1.1.3 Según la tarea que cumplen hay uniones	275
5.1.2 Juntas a tope, traslape y en ángulo	276
5.1.2.1 Cálculos a resistencia de las uniones soldadas	276
5.1.3 Tipos de solicitaciones de los elementos	286
5.1.4 Elementos estructurales	292
5.2 Cálculo y diseño de cerchas	293
5.2.1 ¿Qué es una cercha?	293
5.2.2 Cálculo analítico de las reacciones internas y elementos estructurales	294
5.2.2.1 Cálculo de las áreas de cada varilla	303
5.2.3 Cálculo de los cordones de soldadura	314
5.2.4 Método gráfico para el cálculo de cerchas	316
5.3 Características de secciones planas	317
5.4 Cálculo y diseño de vigas	324
5.4.1 ¿Qué es una viga?	324
5.4.2 Tipos de cargas	325

	Pág.	
5.4.2.1	Fuerzas cortantes y momento flector en una viga	326
5.4.2.2	Diagrama de fuerzas cortantes y de momento flector	330
5.4.3	Cálculo analítico de una viga	333
5.4.3.1	Cordones de soldadura	344
5.4.4	Apoyos de vigas soldadas	347
5.5	Cálculo de columnas soldadas	348
5.5.1	¿Qué es una columna?	348
5.5.1.1	Tipos de columnas	348
5.5.2	Cálculo de columnas con cargas centradas	349
5.5.3	Disposición principal de los perfiles de las columnas	354
5.6	Cálculo de un recipiente de pared delgada para almacenar gases a presión	355
5.6.1	Cálculo del espesor de la pared y cilindros Horizontales	356
5.6.2	Recipientes esféricos	358
5.6.3	Escogencia del material adecuado	360
5.6.4	Formas de ensamble y ejemplo del cálculo del espesor de pared de un recipiente que almacena gas a presión	360
5.7	Cálculo del espesor de pared de un recipiente de almacenamiento de pared delgada	363
5.7.1	Montaje de los tanques	364
CONCLUSIONES	377	
RECOMENDACIONES	379	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	381	
BIBLIOGRAFÍA	391	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Fundamentos de la soldadura con arco eléctrico	7
2	Soldadura metálica con arco protegido ejecutada por un soldador	12
3	Soldadura metálica con arco protegido SMAW	12
4	Detalles de la zona del arco en los diversos tipos de corriente	14
5	Esquema de cómo encender el arco rastrillando el electrodo	16
6	Esquema de cómo encender el arco golpeando el electrodo	16
7	(a) Cómo reanudar un cordón, (b) punto del encendido	18
8	Diferentes movimientos del electrodo al depositar un cordón	19
9	Movimiento de látigo	20
10	Angulos de inclinación del electrodo	21
11	Posición del electrodo para hacer una junta a tope	22
12	Inclinación recomendada para soldar en diferentes posiciones	23
13	Esquema en corte de un electrodo revestido	29
14	Tipos de juntas	52
15	Efectos del ajuste deseable e indeseable en las juntas a soldar	52
16	Proporciones recomendadas de las ranuras para juntas a tope	53
17	Juntas de esquina, de brida y soldadura de tapón	54
18	Juntas en T y juntas a tope horizontal	55

No.	Título	Pág.
19	Posiciones de aplicación en la soldadura	57
20	Tensiones residuales y contracciones	67
21	Soldadura metálica con arco eléctrico y gas	69
22	Pistola para soldadura metálica con arco eléctrico y gas	69
23	Equipo básico de soldadura MIG-MAG	73
24	Equipo común de taller	74
25	Equipo universal	75
26	Equipo tandem	75
27	Equipo push-pull	76
28	Equipo de carrete pequeño	76
29	Diagrama para la determinación exacta de caudal de gas	78
30	Reglaje e indicación del caudal de gas protector	79
31	Tipos de rodillos	81
32	Dispositivo de arrastre de hilo con dos rodillos	82
33	Dispositivo de arrastre de hilo con cuatro rodillos	82
34	Dispositivo de arrastre de hilo de rodillos inclinados	83
35	Pistola de soldadura GMAW refrigerada con gas	84
36	Gráfica U-I en la soldadura de arco protegido MIG-MAG	88
37	Esquema de líneas de características constantes y estática del equipo MIG-MAG con cinco escalas gruesas y cinco escalas finas	90

No.	Título	Pág.
38	Esquema de líneas característica constante estática de la máquina y líneas característica constante del arco	91
39	Longitud libre del electrodo de alambre	92
40	Gráfica intensidad vrs. Velocidad	92
41	Esquema de distancias de la boquilla de gas protector en relación a la boquilla de llegada de corriente	93
42	Formas de soldar empujando y remolcando	94
43	Ejemplo ilustrativo de euro-norma EN 440/MAG	99
44	Cifras para límites elásticos, resistencia a la tensión y deformación de cordones de soldadura EN 440/MAG	100
45	Símbolos para las propiedades de impacto de los cordones de Soldadura EN 440/MAG	101
46	Composición química del alambre y la varilla EN 440/MAG	102
47	Modos de transferencia en GMAW (MIG-MAG)	106
48	Ejemplo de escalas normalizadas	110
49	Proyección caballera	111
50	Proyección dimétrica	112
51	Proyección isométrica	113
52	Planos de un prisma	114
53	La caja transparente	115
54	Caja transparente desarrollada, proyección ortogonal	116
55	Cotas en piezas angulares planas	119
56	Cotas de piezas planas con agujeros y curvaturas	121

No.	Título	Pág.
57	Vista en sección	123
58	Sección total y media sección de una brida	124
59	Designación mediante letras de los procesos de soldadura	127
60	Sistema simbólico de soldadura estándar AWS	129
61	Símbolos básicos de soldadura	130
62	Símbolos de contorno, todo alrededor y de campo	130
63	Parte del símbolo estándar de soldadura	131
64	Localización y significado de la flecha de los símbolos de soldadura	133
65	Algunos símbolos de soldadura y las soldaduras respectivas	134
66	Símbolo de soldadura en el que no se presenta la penetración	135
67	Símbolo de soldadura representando la penetración	135
68	Símbolo de soldadura en el que se presenta la profundidad de la soldadura de ranura	136
69	Símbolos de soldadura en los que se representa la profundidad de las ranuras y la de penetración	136
70	Símbolo de soldadura en el que se representa el 100 % de penetración	137
71	Símbolos de soldadura en el que se representa una soldadura de doble ranura de las mismas dimensiones	137
72	Símbolo de soldadura en los que se presentan el tamaño de las soldaduras de ranura con acampanado	138
73	Símbolos de soldadura en el que se presenta una soldadura de brida con radio y altura sobre el punto de tangencia	139

No.	Título	Pág.
74	Símbolos de soldadura en los que se presente la altura máxima de engruesamiento de una superficie	139
75	Cómo especificar ángulos de ranura y aberturas en la raíz que no son estándares en el talle	140
76	Símbolos de soldadura en los que se presentan la longitud y el paso de la soldadura.	142
77	Símbolos de soldadura todo alrededor y de campo	143
78	Símbolos de acabado para soldaduras de cara plana sin recurrir al maquinado	144
79	Símbolos de acabado para soldaduras acabadas mecánicamente	144
80	Símbolos de acabado para soldaduras convexas	145
81	Colocación de la especificación, el proceso u otras referencias en la cola del símbolo de soldadura	146
82	Junta en T para placas gruesas con dos pasadas de soldadura	146
83	Símbolo de la soldadura	147
84	Símbolo de la soldadura	148
85	Símbolo de la soldadura	148
86	Símbolo que indica que debe soldarse una junta oculta	149
87	Ejemplos de símbolos de soldadura y las que representa	150
88	Símbolo completo de pruebas	152
89	Localización de prueba sobre la línea de referencia	153
90	Símbolo que muestra la posición de la fuente de rayos X	154
91	Símbolo de prueba que indica las longitudes específicas de la soldadura	155

No.	Título	Pág.
92	Símbolos de prueba que indican el número de pruebas que ha de hacerse	155
93	Plano de la interpretación de una representación simbólica y una gráfica	158
94	Plano de soldadura para la construcción de un puente de celosía	161
95	Detalles del plano de soldadura del puente de celosía	162
96	Diseño de uniones para soldar tubos	164
97	Tipos de uniones en tubería	165
98	Accesorios para ser soldados a tope	166
99	Tamaños estándares de los accesorios	167
100	Símbolos de uniones de tubería	168
101	Métodos esquemáticos	171
102	Plano de una representación esquemática de tuberías y accesorios	173
103	Estructuras cristalinas del acero	176
104	Diagrama hierro-carbono	181
105	Solidificación progresiva del metal fundido en un pocillo de soldadura	200
106	Sección transversal de dos cordones de soldadura en los que se aprecian inclusiones de escoria	202
107	Sección transversal de una soldadura con inclusiones atrapadas	202
108	Sección transversal de un cordón de soldadura en el que la relación de aspecto es mayor que la unidad	203

No.	Título	Pág.
109	Influencia de la temperatura y el tiempo en el relevado de esfuerzos en los aceros	209
110	Cambios que ocurren durante el relajamiento de una barra de acero	210
111	Influencia de la temperatura y el tiempo en la dureza Rockwell del acero AISI 1035	214
112	Gráfica que muestra el efecto conocido como dureza secundaria	215
113	Revenido de las zonas duras por el calor de los cordones	217
114	Sección transversal de un acero con bajo carbono calentado	219
115	Esferoidización del carburo en la perlita y la martensita	221
116	Esquema que muestra la zona de la perlita esferoidizándose en la soldadura de un acero común	223
117	Procesos de austemperización de un acero	230
118	Calentamiento y enfriamiento desigual de dos placas durante la soldadura a tope	237
119	Deformación de una soldadura a tope por dilatación y contracción térmica no controlada	238
120	Metal de soldadura en exceso situado arriba de la línea A-A	239
121	Deformación lateral que puede producirse usando electrodos más grandes y pesados	240
122	Colocación de soldaduras cerca del eje neutro reduce el efecto de palanca y las fuerzas de contracción	241
123	Soldaduras intermitentes	242
124	Técnicas de retroceso en la aplicación de la soldadura	243
125	Fuerzas de contracción que trabajan para enderezar la junta	244

No.	Título	Pág.
126	Diagrama de Schaeffler	258
127	Ejemplo de la unión de dos materiales disímiles	267
128	Soldadura de reborde	271
129	Soldadura a tope	272
130	Uniones con filete angular	273
131	Uniones a traslape	274
132	Soldaduras de tapón y de filete	274
133	Unión a tope cargada a tracción	276
134	Unión a traslape con un solo filete angular	277
135	Unión a traslape con filetes laterales	278
136	Sección crítica	279
137	La unión a tope cargada a cortante	279
138	Unión a tope cargada a flexión	280
139	Unión soldada de un angular con la cartela	280
140	Filetes angulares cargados a flexión	282
141	Otro caso del filete angular cargado a flexión	283
142	Un filete circular angular	284
143	Cargas combinadas	285
144	Combinación de las tensiones	290
145	Filetes angulares en posición lateral a tracción excéntrica	290
146	Cercha y sus partes	294

No.	Título	Pág.
147	Algunas clases de cerchas	294
148	Dimensiones de la cercha	366
149	Sectorización de la cercha	367
150	Ubicación de los nudos	367
151	Construcción de polígonos de fuerzas de exteriores y reacciones	368
152	Construcción del polígono de fuerzas para el nudo I y II	368
153	Construcción del polígono de fuerzas para el nudo III y IV	369
154	Construcción del polígono de fuerzas para el nudo V y VII	369
155	Construcción del polígono de fuerzas para el nudo VI y VIII	370
156	Diagrama de cremona	370
157	Momento estático de un cuerpo prismático	317
158	Teorema de ejes paralelos	319
159	Determinación de las características de una sección plana	322
160	Tipos de vigas	325
161	Tipos de cargas	326
162	Fuerzas cortantes y momento flector en una viga	328
163	Convenio de signos entre las fuerzas internas	330
164	Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector	332
165	Cilindro horizontal	357

TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Características de los electrodos revestidos	39
II	Clasificación de los electrodos de baja aleación	43
III	Clasificación de los electrodos de alta aleación	47
IV	Almacenamiento y reacondicionamiento de electrodos	49
V	Prueba no destructiva y sus abreviaturas	153
VI	Conductividad térmica de algunos metales	233
VII	Temperatura de fusión de algunos metales y aleaciones	235
VIII	Calores de fusión en algunos metales	236
IX	Grado de dilución	262
X	Tensiones admisibles de aceros al carbono	287
XI	Ángulos de inclinación de las cerchas	297
XII	Los valores de $[\lambda]$	305
XIII	Resultados del ejemplo de la cercha	316
XIV	Valores del coeficiente de pandeo ω	371
XV	Perfiles en L	372
XVI	Perfiles en L	373
XVII	Perfiles en L	374
XVIII	Perfiles en L	375

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	Descripción	UNIDADES
(Cr)eq	Cromo equivalente	%
(Ni)eq	Níquel equivalente	%
A	Área del filete o cordón de soldadura	cm ²
An	Área o sección transversal de varillas que forman las cerchas	cm ²
b	Base de cualquier sección cuadrada o rectangular	cm
C	Centro de gravedad	-----
C.S.	Coefficiente de seguridad	-----
d	Diámetro	cm
E	Módulo de elasticidad	Kg/cm ²
h	Altura de la sección cuadrada o rectangular	cm
i	Radio de giro	cm
I	Momento de inercia	cm ⁴
I	Corriente	A
I _p	Momento polar de inercia	cm ⁴
k	Cateto de los filetes de los cordones de soldadura	cm
L	Distancia al centro de gravedad	cm
L	Longitud real de las columnas	m
L	Longitud libre del electrodo de alambre	mm
L _{cal}	Longitud calculada de las columnas	m
P	Carga de trabajo	Kg.
P	Presión en recipientes cerrados	Kg/cm ²
P	Presión hidrostática	Kg/cm ²
P _{cr}	Carga crítica en las columnas	Kg.
Pe	Peso específico	Kg/cm ³
R	Radio interior	Cm
R	Resistencia	Ohm.
S _x , S _y	Momento estático	cm ³

SÍMBOLO	Descripción	UNIDADES
U	Tensión	Volt.
V	Fuerza de corte máximo en vigas	Kgf
V	Volumen	cm ³
V	Velocidad de avance del electrodo de alambre	m/min.
W	Peso	Kg.
W _p	Módulo polar de la sección	cm ³
X	Distancia en los puntos de corte en las vigas	m
X _{max}	Distancia máxima del (C) al punto lejano del perfil	cm
Y ₁ , X ₁	Distancias del centro de gravedad a los ejes	cm
Y _c , X _c	Coordenadas del centro de gravedad	cm
Y _{max}	Distancia máxima del (C) al punto lejano del perfil	cm
A _s	Área de una sección transversal	cm ²
A _z	Área de la sección crítica sometida a corte	cm ²
b	Longitud de la soldadura en cualquier unión	cm
C	Distancia de la carga al punto de aplicación	cm
CG	Centro de gravedad	-----
CP1	Cargas permanentes	Kg.
CV1	Cargas no permanentes	Kg.
D	Dilución	mm
e	Excentricidad	cm
F	Fuerza	Kg.
F'	Fuerza cortante	Kg.
F _n	Fuerza normal	Kg.
GD	Grado de dilución	%
h	Altura de soldadura	mm
I	Longitud útil para transmitir la carga a tracción	cm
M	Momento flector	Kg.cm
M _f	Momento flector	Kg.cm
P	Carga	Kg.
P	Carga total	Kg.
R	Radio	mm
RA, RB	Reacciones de vigas en los apoyos simples	Kg.
S	Espesor	mm
V	Fuerza del viento	Kg./cm ²
W _x	Módulo de la sección	cm ³
X	Valor que depende de la altura a la que se instala la cubierta.	m
σ	Tensión de tracción	Kg./cm ²
[σ]	Tensión permisible de la soldadura a tracción	Kg./cm ²
τ	Tensión a cortante	Kg./cm ²

SÍMBOLO	Descripción	UNIDADES
μ	Coefficiente que depende de las condiciones de Sujeción de los extremos de columnas	-----
σ_t	Tensiones tangenciales	Kg./cm ²
σ_L	Tensiones longitudinales	Kg./cm ²
$[\tau]$	Tensión permisible de la soldadura a cortante	Kg./cm ²
σ_e	Tensión total de combinación de esfuerzos	Kg./cm ²
$\sigma_{adm} \tau_{adm}$	Tensiones admisibles de probetas lisas	Kg./cm ²
α	Ángulo de la inclinación de la cercha	Grados
φ	Coefficiente que tiene en cuenta el pandeo	-----
γ	Coefficiente de trabajo	-----
λ	Pandeo	-----
$[\lambda]$	Máximo valor admisible que puede tomar	-----
ω	Coefficiente de pandeo	-----
β	Coefficiente que depende de proceso de soldadura	-----

GLOSARIO

Alotrópica	Propiedad que tiene los aceros de cambiar su estructura cristalina al variar su temperatura desde el punto de fusión hasta el punto de temperatura ambiente y viceversa.
Austenita	Solución sólida de carbono en hierro gama. Uno de los componentes del acero.
Chaflán	Plano resultante de eliminar la arista viva de un sólido.
Cizalladura	Resultado de la acción de un corte transversal. Deslizamiento de dos planos transversales.
Coalescencia	Tendencia de las cosas a unirse o fusionarse. Unión, fusión.
Corrosión	Alteración de la superficie de un cuerpo producida por agentes naturales o artificiales.
Cota	Es utilizada en planos de dibujo técnico para indicar dimensiones de diferentes proyecciones.
Cremona	Nombre que se le da a un método gráfico en donde se representan las distintas tensiones en estructuras o armaduras.

Dilución	Es lo que penetra del material de aporte en el material base en una soldadura. Esto depende según el proceso de soldadura a utilizar.
Escoria	Capa protectora que deja el revestimiento de un electrodo después de una soldadura, que se puede remover al enfriarse.
Electrodo desnudo	Electrodo de metal de aporte para soldadura de arco, en forma alambre o de varilla, que no tiene recubrimiento incidental propio del estirado del alambre.
Electrodo recubierto	Electrodo de metal de aporte que se utiliza en la soldadura de arco, formado por un alambre metálico que sirve de núcleo y un recubrimiento relativamente grueso que le da protección contra la atmósfera al metal fundido.
Energía de impacto	La cantidad de energía que se requiere para fracturar un material, la cual se mide ordinariamente por medio de una prueba de Izod o de Charpy.
Esferoidizado	Un agregado de hierro o carburos aleados de forma esencialmente esférica disperso en una matriz de ferrita.
Ferrita	Solución sólida de carbono en hierro alfa en el acero.
Filete	Radio o curvatura que se imparte a las superficies que se juntan por dentro. Pieza esquinera cóncava que se utiliza en los modelos para fundición.

- Junta** El lugar en el que dos o más miembros han de ser o han sido unidos mecánicamente o por soldadura fuerte o eléctrica.
- Junta a tope** Junta entre dos miembros situados uno frente al otro y que se encuentran aproximadamente en el mismo plano. Una junta a tope soldada puede contener una variedad de ranuras.
- Junta a traslape** Una junta que se hace con dos miembros que se traslapan o se sobreponen. Algunas veces también llamada Junta a Traslapo.
- Lado de una soldadura de filete** La distancia desde la raíz de la junta hasta la punta de una soldadura de filete. La longitud de un lado del triángulo rectángulo más grande que se pueda inscribirse en la sección transversal de la soldadura.
- Macroscópico** Visible en ampliaciones de 1 a 10 diámetros.
- Máquina de soldar** Equipo usado para efectuar las operaciones de soldadura; por ejemplo: máquina para soldadura de arco.

Martemplado	Enfriado rápido de una aleación ferrosa austenitizada en un medio a una temperatura situada en la parte superior del intervalo de la martensita o ligeramente arriba de dicho intervalo y manteniendo la pieza en el medio hasta que la temperatura sea prácticamente uniforme en toda la aleación.
Martensita	Es una solución sólida intersticial sobresaturada de carbono en hierro con una estructura espacial tetragonal centrada en el cuerpo. Su microestructura se caracteriza por un patrón acicular, o sea, semejante a una aguja.
Nitruros	Combinación del nitrógeno en un metal.
Oleoducto	Sistema de tuberías para el transporte del petróleo a grandes distancias.
Penetración de la raíz	La profundidad a la que se extiende el metal de soldadura en la raíz de un junta.-
Perlita	Unión mecánica de ferrita + cementita.
Soldabilidad	Capacidad de un metal para aceptar que se le una por soldadura bajo condiciones específicas.
Soldadura	Unión de dos o más piezas de material que se logra mediante la aplicación de calor, presión, o ambos, con o sin material de aporte.

Soldadura de arco	Soldadura hecha por medio de un arco eléctrico.
Soldadura de arco metálico con gas	Proceso de soldadura en el que el electrodo es un metal de aporte continuo protegido por gases allegados exteriormente.
Templabilidad	En una aleación ferrosa, la propiedad que determina la profundidad y distribución de la dureza inducida por el enfriamiento rápido.
Tratamiento térmico	Calentamiento y enfriamiento de un metal sólido o de una aleación que se efectúa al objeto de obtener condiciones o propiedades deseadas. El calentamiento que se hace con el solo objeto de trabajar una pieza en caliente está excluido del significado de esta definición.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país en vías de desarrollo, situación que exige en forma paralela la modernización de las diferentes esferas que lo integran, una de estas, es la industria. Esta es una de las principales fuentes de trabajo. De allí la necesidad y el pleno conocimiento de la forma en que ha de estructurarse un producto, son de vital importancia.

En el cálculo, diseño y fabricación de construcciones soldadas se utilizan normas estandarizadas, para obtener un producto de mejor calidad y confiabilidad. Tales acciones exigen instrumentos eficaces para su diseño y fabricación.

Como parte de las actividades de investigación se realizó una revisión documental inicial; en donde se ha hecho evidente la falta de documentación disponible que sintetice la información acerca del cálculo, diseño y fabricación de construcciones soldadas; y a partir de información obtenida a través de una beca en Barranquilla Colombia avalada por la D.S.E. de Alemania, para una especialización profesional en construcciones soldadas, se consideró la investigación y elaboración de la presente guía que contribuirá al desarrollo de la industria guatemalteca con un producto de mayor calidad; y constituirá un documento práctico de consulta que guíe el qué hacer de los profesionales de la ingeniería mecánica; para los estudiantes de la

Escuela de Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, un aporte teórico que refuerce el curso y laboratorio de Procesos de Manufactura 2; para estudios posteriores; en lo personal un crecimiento científico y profesional. Y en general, a todas las personas interesadas en el tema.

Este trabajo tiene como objetivo fundamental proporcionar una guía, con la recopilación de información sobre los principales elementos teóricos relacionados al cálculo, diseño y fabricación de construcciones soldadas.

OBJETIVOS

General

- Proporcionar una guía, con la recopilación de información para el cálculo, diseño y fabricación de construcciones soldadas.

Específicos

- Realizar un trabajo bibliográfico con relación al área de soldadura.
- Dar a conocer dos procesos de soldadura muy utilizados en la industria guatemalteca.
- Facilitar la actualización de conocimientos de los estudiantes de ingeniería mecánica, en torno a los procesos de soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido y soldadura de arco eléctrico con protección gaseosa.
- Servir como guía para la interpretación de planos de soldadura.
- Dar a conocer los principios de diseño y cálculo de las construcciones soldadas.

1. PROCESO DE SOLDADURA SMAW

1.1 Introducción a la soldadura

La confiabilidad de las uniones soldadas ha llegado a ser tal, que cada vez se emplean más para completar o sustituir a las uniones remachadas en el diseño de máquinas y estructuras. Por otra parte, suele ser más económico fabricar una pieza complicada soldando entre sí componentes sencillos como placas, barras, etc., que hacerla de una sola pieza, por moldeo o acabado posterior.(1)

Las ventajas de ensamblar los perfiles o estructuras de acero por medio de la soldadura son el silencio de la operación comparada con la colocación de remaches y el ahorro de metal. Este ahorro es logrado por 1) eliminación de los agujeros para remaches, lo cual reduce la sección neta de los miembros a tensión, 2) simplificación de los detalles, y 3) las ventajas de la continuidad de las vigas. Para un ejemplo de simplificación, los "refuerzos" de los patines se hacen con placas con sus orillas soldadas a los mismos.(2)

Todos los metales son soldables siempre que se apliquen el procedimiento y la técnica adecuados. En ocasiones fracasa el intento de soldar metales porque se ha pasado por alto uno de estos dos factores, ya sea el procedimiento correcto o la técnica adecuada. Empero, si el ingeniero y el soldador comprenden la

composición, la estructura y las propiedades de un metal, estarán en posibilidad de diseñar y hacer mejores soldaduras. Esto pone de relieve la estrecha relación que existe entre la metalurgia de un metal y su soldabilidad o habilidad para dejarse soldar.(3)

1.2 Concepto de soldadura

En términos generales, se entiende por soldadura, la unión de dos o más materiales entre sí, en tal forma que queden como una sola pieza. En nuestro caso los materiales serán metálicos.(4)

Por lo tanto podemos definir, que soldadura es una coalescencia localizada de metal que se produce mediante calentamiento a temperatura conveniente, con aplicación de presión o sin ella, y con utilización de metal de relleno o sin él. El metal de relleno puede tener, aproximadamente, el mismo punto de fusión que los materiales base, o puede tener un punto de fusión inferior, pero arriba de 800oF (427oC) como en la soldadura fuerte. Se entiende por coalescencia, la acción en virtud de la cual se logra la unión de dos o más materiales.(5)

Su importancia tecnológica se deriva de lo siguiente:

- La soldadura proporciona una unión permanente. Las partes soldadas se vuelven una sola unidad.

- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales, si se usa un material de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los materiales originales y se emplean las técnicas de soldadura adecuadas.
- En general, la soldadura es la forma más económica de unir componentes, en términos de uso de materiales y costos de fabricación. Los métodos mecánicos alternativos de ensamble requieren alteraciones más complejas de las formas (por ejemplo, taladrado de orificios) y adición de sujetadores (remaches o tuercas). El ensamble mecánico resultante por lo general es más pesado que la soldadura correspondiente.
- La soldadura no se limita al ambiente de fabricación. Puede realizarse en el campo.(6)

Aunque la soldadura tiene su importancia tecnológica, también tiene ciertas limitaciones y desventajas potenciales:

- ✓ La mayoría de las operaciones de soldadura se realizan en forma manual y son elevadas en términos de costos de mano de obra. Muchas operaciones de soldadura se consideran cuestiones especializadas y no son muchas las personas que las realizan.
- ✓ Casi todos los procesos de soldadura implican el uso de mucha energía, y por consiguiente son peligrosos.

- ✓ Dado que la soldadura obtiene una unión permanente entre los componentes, no permite un desensamble adecuado. Si se requiere un desensamble ocasional de producto (para reparación o mantenimiento), no debe usarse la soldadura como método de ensamble.
- ✓ La unión soldada puede padecer ciertos defectos de calidad que son difíciles de detectar. Los defectos pueden reducir la resistencia de la unión.(6)

1.3 Calor y fuentes de calor

La industria y la ciencia han tratado de usar todas las clases de energía conocidas para unir ó soldar los metales. Las clases de energía se pueden clasificar en cuatro grupos como son: **eléctrica, química, óptica y mecánica.**

1.3.1 Fuentes de Calor

1.3.1.1 Eléctrica

Arco: una descarga eléctrica relativamente grande ocurrida a través de una columna gaseosa térmicamente ionizada llamada plasma. La temperatura del arco eléctrico varía entre 5000°C y 30000°C y se constituye en el sistema de obtención del calor.

Resistencia: la resistencia de los materiales al flujo de corriente eléctrica, genera calor.

Radiación por arco: el calor originado por un arco eléctrico, se transfiere por radiación al trabajo.

Flujo conductor: la resistencia al paso de corriente eléctrica, da una "escoria" fundida depositada sobre el metal, genera calor suficiente para fundirlo.

Inducción: excitando una bobina con corriente alterna o alta frecuencia e introduciendo en esta un metal conductor de electricidad, se induce en el metal corrientes eléctricas que originan, debido a la resistencia del metal, el calentamiento del mismo.

1.3.1.2 Química

Oxiacetilénica: la combustión del acetileno (C_2H_2) en una atmósfera de oxígeno (O_2) produce una llama que alcanza una temperatura de $3500^{\circ}C$.

Térmica: una mezcla de aluminio en polvo con óxido de hierro al encenderse, reacciona liberando calor; produciéndose hierro puro que fluye con una temperatura de $2750^{\circ}C$.

Disociación de hidrógeno: las moléculas de hidrógeno están formadas por dos átomos de hidrógeno, estos átomos se separan absorbiendo calor, al quedar en contacto con el metal "frío" los átomos se unen nuevamente liberando sobre el trabajo el calor absorbido.

1.3.1.3 Óptica

Láser: la generación del calor se logra por la energía de un rayo de luz concentrado, al ser enfocado sobre el trabajo.

Rayo de electrones: el calor se obtiene, por la energía suministrada al trabajo, al ser bombardeado con un rayo dirigido de electrones.

1.3.1.4 Mecánica

Fricción: el calor se obtiene, por la fricción generada entre un elemento en rotación y uno estacionario sujetos a una fuerza de contacto.

Ultrasónica: similar a la anterior, el calor se obtiene por la fricción entre dos elementos en contacto uno de los cuales, está vibrando a alta frecuencia.(7)

1.4 Procesos de soldadura

La American Welding Society (Sociedad Norteamericana de Soldadura) ha catalogado más de 50 tipos de operaciones distintas, que utilizan diversos tipos o combinaciones de energía para proporcionar la energía requerida. Los procesos de soldadura se dividen en dos grupos principales:

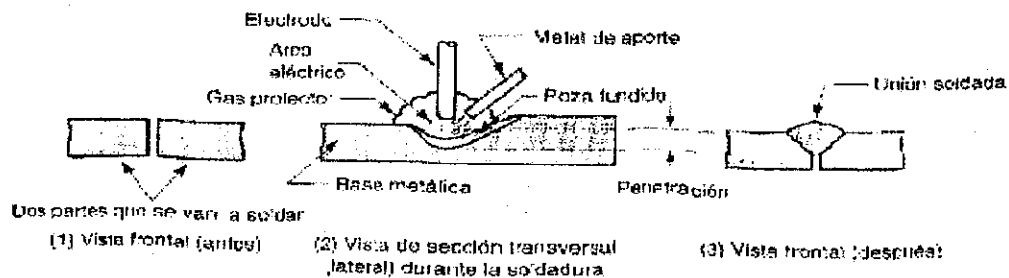
- 1) soldadura por fusión, y
- 2) soldadura de estado sólido.

1.4.1 Soldadura por fusión

Los procesos de soldadura por fusión usan calor para fundir los metales base. En muchas operaciones de soldadura por fusión, se añade un metal de aporte a la combinación fundida para facilitar el proceso y aportar volumen y resistencia a la unión soldada. La categoría por fusión comprende los procesos de soldadura de uso más amplio e incluye los siguientes grupos generales:

- a) Soldadura con arco eléctrico, SAE (en inglés AW). La soldadura con arco eléctrico hace referencia a un grupo de procesos de soldadura en los cuales el calentamiento de los metales se obtiene mediante un arco eléctrico, como se muestra en la figura 1. Algunas de las operaciones de soldadura con arco eléctrico también aplican presión durante el proceso, y la mayoría utiliza un metal de aporte.

Figura 1. Fundamentos de la soldadura con arco eléctrico
(1) antes de la soldadura; (2) durante la soldadura, se funde la base metálica y se agrega el metal de aporte al conjunto fundido y (3) la soldadura terminada. Hay muchas variaciones del proceso de soldadura con arco eléctrico.



Fuente: Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas. p. 715

- b) Soldadura por resistencia, SR (en inglés RW). La soldadura por resistencia obtiene la fusión usando el calor de una resistencia eléctrica para el flujo de una corriente que pasa entre las superficies de contacto de dos partes sostenidas juntas bajo presión.

- c) Soldadura con oxígeno y gas combustible, SOGC (en inglés OFW). Estos procesos de unión usan un gas de oxígeno combustible, tal como una mezcla de oxígeno y acetileno, con el propósito de producir una flama caliente para fundir la base metálica y el metal de aporte, en caso de que se utilice.

- d) Otros procesos de soldadura por fusión. Además de los tipos anteriores hay otros procesos de soldadura que producen la fusión de los metales unidos. Los cuales incluyen la soldadura con haz de electrones y la soldadura con rayo láser.

1.4.2 Soldadura de estado sólido

Se refiere a los procesos de unión en los cuales la fusión proviene de la aplicación de presión solamente o una combinación de calor y presión. Si se usa calor, la temperatura del proceso está por debajo del punto de fusión de los metales que se van a soldar. No se utiliza un metal de aporte en los procesos de estado sólido. Algunos procesos representativos de soldadura de este tipo incluyen los siguientes:

- a) Soldadura por difusión, SD (en inglés DFW). En la soldadura por difusión, se colocan juntas dos superficies bajo presión a una temperatura elevada y se produce la coalescencia de las partes por medio de fusión de estado sólido.
- b) Soldadura por fricción, SF (en inglés FRW). En este proceso, la coalescencia se obtiene mediante el calor de la fricción entre dos superficies.
- c) Soldadura ultrasónica, SU (en inglés USW). La soldadura ultrasónica se realiza aplicando una presión moderada entre las dos partes y un movimiento oscilatorio a frecuencias ultrasónicas en una dirección paralela a las superficies de contacto. La combinación de las fuerzas normales y vibratorias producen intensas tensiones que remueven las películas superficiales y obtienen la unión atómica de las superficies.(8)

1.5 Proceso de soldadura SMAW

La soldadura metálica con arco protegido, SMAP (en inglés shielded metal arc welding, SMAW), es un proceso de soldadura con arco eléctrico que usa un electrodo consumible y consiste en una varilla de metal de aporte recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección. El proceso se ilustra en la figura 2 y figura 3. En ocasiones, el proceso se denomina soldadura de varilla. La varilla de soldar normalmente tiene una longitud entre 9 y 18 pulg. (de 230 a 460 mm) y un diámetro de 3/32 a 3/8 de pulg. (de 2.5 a 9.5 mm).

El metal de aporte usado en la varilla debe ser compatible con el metal que se va a soldar, y, por tanto, la composición debe ser muy parecida a la del metal base. El recubrimiento consiste en celulosa pulverizada (polvos de algodón y madera) mezclados con óxidos, carbonatos y otros ingredientes integrados mediante un aglutinante de silicato. En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos para aumentar la cantidad de metal y agregar elementos de aleación. El calor del proceso de soldadura funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y escoria para la operación de soldadura. También ayuda a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a que se funde el electrodo.

Durante la operación, el extremo del metal descubierto de la varilla de soldadura (que está a la otra punta de la soldadura) se sujeta a un soporte de electrodos conectado a la fuente de energía. El soporte tiene una manija aislada para que la tome y manipule el soldador. Las corrientes que se usan regularmente en la SMAW varían entre 30 y 300 A y 15 a 45 V. La selección de los parámetros de energía adecuados dependen de los metales que se van a soldar, del tipo y longitud del electrodo, así como de la profundidad de penetración de soldadura requerida.

Por lo general, la soldadura metálica con arco protegido se ejecuta en forma manual y sus aplicaciones comunes incluyen la construcción, instalación de tuberías, estructuras de maquinarias, construcción de embarcaciones, tiendas de manufactura y trabajos de reparación. El equipo es portátil y de bajo costo, lo que convierte a la SMAW en el proceso más versátil y de mayor uso entre los procesos de soldadura con arco eléctrico (AW). Los metales base incluyen los aceros,

aceros inoxidable, los hierros fundidos y ciertas aleaciones no ferrosas. No se usa o se emplea rara vez en aluminio y sus aleaciones, al igual que en las aleaciones de cobre y titanio.

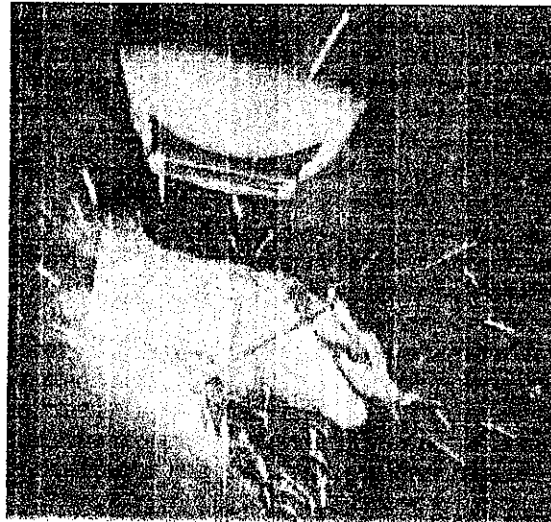
La desventaja de la soldadura metálica con arco protegido como operación de producción proviene del uso de varillas de electrodos consumibles, porque éstos deben cambiarse en forma periódica a causa del desgaste. Esto reduce el tiempo de arco eléctrico en este proceso de soldadura.

(tiempo en que el arco eléctrico está
encendido)

Duración del arco = -----
horas trabajadas.

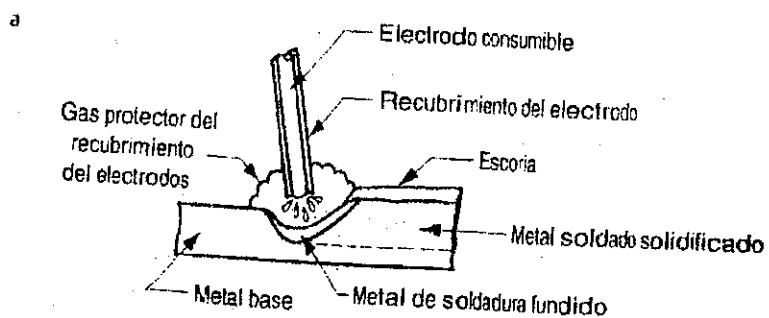
Otra limitación es el nivel de corriente que puede usarse, porque la longitud del electrodo varía durante la operación y ésta afecta el calentamiento de la resistencia del electrodo, los niveles de corriente deben mantenerse dentro de un rango seguro o el recubrimiento se sobrecalentará y fundirá prematuramente cuando se empiece a usar una varilla nueva de soldadura. Algunos de los otros procesos de soldadura con arco eléctrico superan las limitaciones de la longitud de la varilla de soldadura en este proceso, usando un electrodo de alambre que se alimenta en forma continua, un ejemplo de este proceso es la soldadura metálica con arco eléctrico y gas GMAW tratado en el capítulo 2. (9)

Figura 2. Soldadura metálica con arco protegido (soldadura de varilla) ejecutada por un soldador



Fuente. Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas, p.732

Figura 3. Soldadura metálica con arco protegido (SMAW)



Fuente: Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas, p. 732

1.6 Arco eléctrico

El arco eléctrico consiste en una descarga eléctrica relativamente grande ocurrida a través de una columna gaseosa terminantemente ionizada llamada PLASMA.

El gas al estar en una temperatura elevada se ioniza y se convierte en un medio conductor a través del cual la corriente fluye en forma de chispas o descarga eléctrica.

Dependiendo de la máquina de soldar y de la manera como está conectada, la corriente salta del electrodo al metal base o de éste al electrodo, o periódicamente cambiando de dirección.

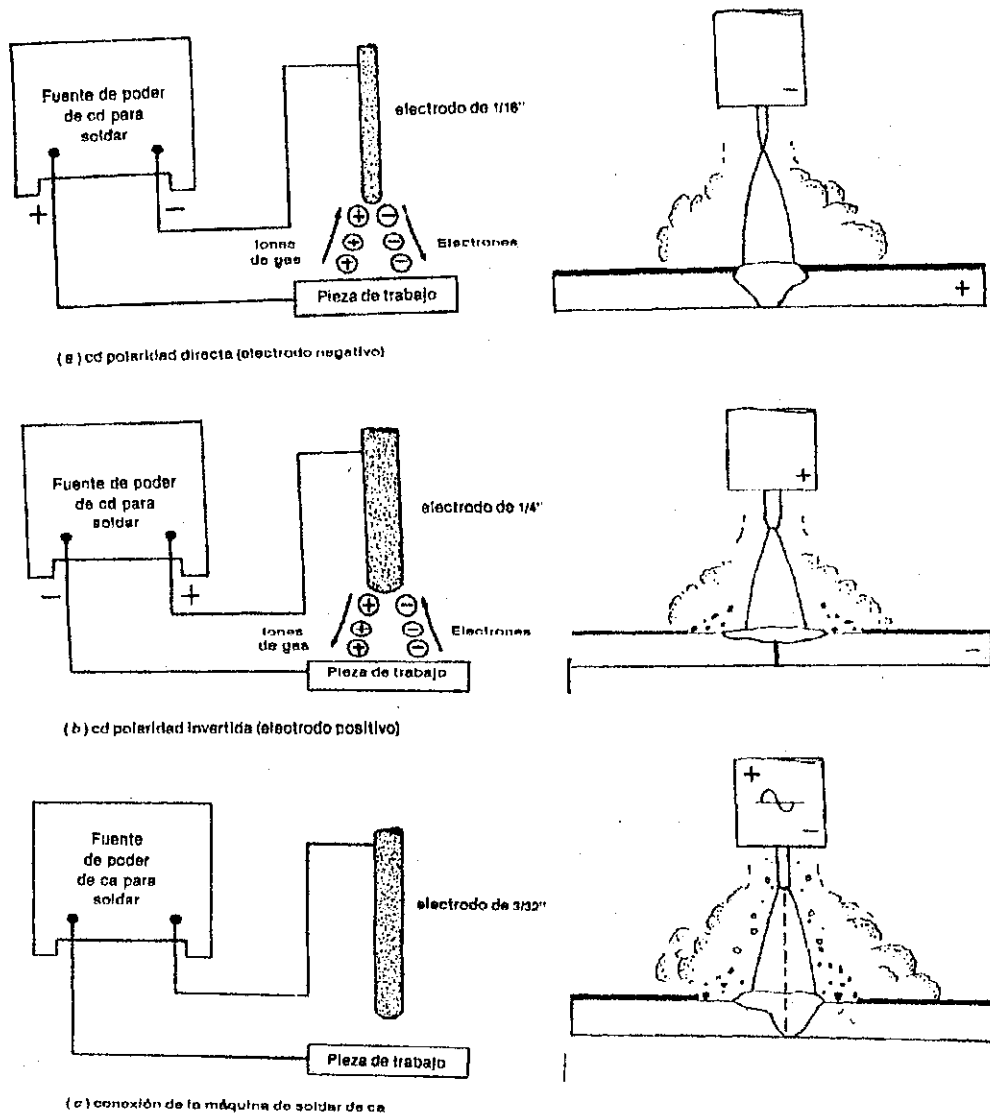
Al iniciar el proceso el gas que se ioniza, es el aire que rodea el lugar en que se quiere generar el arco eléctrico. Cuando esto sucede la atmósfera ionizada se mantiene por la descomposición de ciertos elementos incluidos en los materiales del revestimiento.

La temperatura del arco eléctrico varía entre 5000°C y 30000°C , dependiendo de la naturaleza del plasma y la corriente transportada a través de éste. En el proceso de soldadura de arco eléctrico con electrodo manual revestido se obtienen temperaturas aproximadamente 6000°C .

En otros procesos de soldadura por arco eléctrico se utilizan gases inertes que aumentan la resistencia al flujo de corriente a través de ellos, y por consiguiente la temperatura del arco.(10)

En la figura 4 , se presentan los detalles de la zona del arco que se produce con los diversos tipos de corriente.(11)

Figura 4. Detalles de la zona del arco que se produce con los diversos tipos de corriente.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 364

1.7 Encendido y manejo del arco eléctrico

Básicamente hay dos métodos para encender el arco:

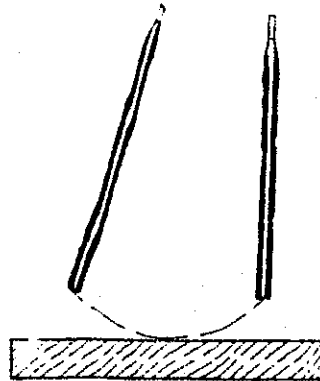
1. Rastrillando el electrodo contra el metal base.
2. Golpeando el electrodo contra el metal base.

1.7.1 Rastrillado

Es el más apropiado cuando se trabaja con máquinas de corriente alterna. Se coloca el electrodo con una inclinación de 20° a 25° en relación a la vertical. Como si fuera un fósforo, se rastrilla al extremo de arco del electrodo contra el metal base, como consecuencia de lo anterior se produce un fognazo. De inmediato se retira un poco el electrodo para formar un arco largo que se mantiene durante uno o dos segundos, luego se acerca nuevamente el electrodo hasta lograr un arco de una altura de 1.5 a 3.5 mm.

Cuando se haya establecido el arco de longitud normal se puede iniciar el depósito. La figura 5 muestra esquemáticamente todos y cada uno de los pasos anteriores.(12)

Figura 5. Esquema de cómo encender el arco rastrillando el electrodo

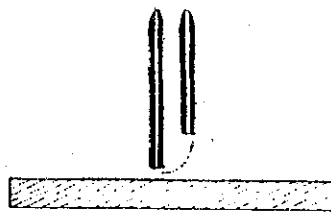


Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 117.

1.7.2 Golpeado

Se desplaza el electrodo perpendicularmente hacia el metal base, tan pronto como lo toque, se retira momentáneamente hasta formar un arco largo, luego se acorta hasta lograr uno normal (1.5 a 3.5 mm de largo). La figura 6 ilustra este método.(12)

Figura 6. Esquema de cómo encender el arco golpeando el electrodo



Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 117.

Para poder depositar cordones de soldadura, se debe saber cómo encender el arco eléctrico, utilizando uno de los dos métodos anteriores y luego estabilizar el arco y manejarlo en la dirección correcta en el metal base.

Un cordón es un depósito continuo de metal de soldadura formado por un arco eléctrico obtenido en la superficie del metal base. El cordón en sí está constituido por el metal base y el de aportación; los cuales al fundirse forman un solo todo en virtud de lo cual se logra la soldadura. Para depositar un cordón de soldadura hay que iniciar el arco y desplazar el electrodo a lo largo del metal base con una velocidad adecuada, manteniendo el extremo de arco a una distancia ligeramente inferior al diámetro del electrodo y dándole a este una inclinación determinada.(13)

1.7.2.1 Cómo reanudar un cordón

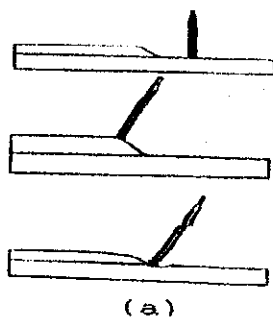
Con frecuencia es necesario interrumpir un cordón continuo; como cuando se termina un electrodo ó hay necesidad de efectuar cordones en tramos cortos para evitar sobrecalentamiento.

El cordón se debe reanudar de tal forma que quede sin abultamientos o depresiones que desmejoran la calidad del depósito. Para reanudar el cordón, se debe primero limpiar la escoria del cráter y luego encender el arco a unos 5 mm., adelante del cráter, una vez establecido el arco se coloca encima del cráter, se mantiene allí un período de tiempo y se sigue adelante depositando más cordón.

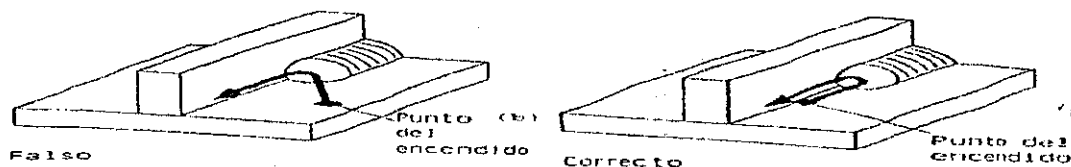
Con la práctica se aprende a mantener el arco, por sobre el cráter el período de tiempo apropiado, si este es muy largo se produce un abultamiento y si es muy corto el cordón queda con una depresión. La figura 7 muestra este procedimiento.(14)

Nota: Al reanudar un cordón o al iniciar este, el punto de encendido debe de ser en la dirección donde se depositará el cordón de soldadura, ya que si el encendido del arco se realiza fuera de la dirección en donde se depositará este, generará zonas de extrema dureza en el metal porque alrededor de un punto de encendido o apunteado el enfriamiento es muy rápido. (15)

Figura 7. a) Cómo reanudar un cordón.



b) Punto del encendido.



Fuent: West-arco. Manual de soldadura, p. 122
Calificación de soldadura eléctrica, p. 25

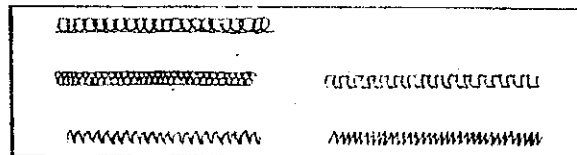
1.7.2.2 Diferentes movimientos del electrodo al depositar un cordón

Los cordones anchos y formados correctamente se logran, depositando el electrodo con un movimiento oscilatorio en el sentido transversal a la dirección de avance, movimientos que se denominan de tejidos.

Las ventajas que presenta este movimiento son: facilitar la subida de la escoria a la superficie del cordón, se logra un depósito ancho, el metal depositado penetra en los bordes del cordón, se facilita el escape de los gases y se disminuye la posibilidad de obtener depósitos porosos.

Los movimientos en tejidos más comúnmente usados se ilustran en la figura 8. (16)

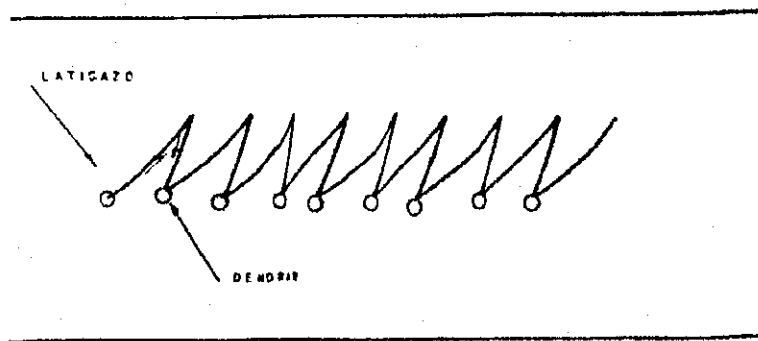
Figura 8. Diferentes movimientos del electrodo al depositar un cordón



Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 122

Existe un movimiento denominado de látigo (figura 9) con el que se pueden lograr dos efectos totalmente opuestos: mantener el cráter frío o mantenerlo caliente.(16)

Figura 9. Movimiento de látigo



Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 123

Lo primero al soldar en posiciones difíciles como lo son la sobrecabeza o la vertical y lo segundo cuando se desea obtener penetración. Para mantener el baño frío se debe hacer lo siguiente:

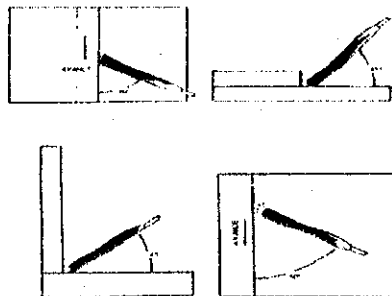
- a) Encender el arco.
- b) El movimiento de retroceso ejecutarlo con una longitud del arco normal.
- c) Alargar el arco en el punto de pausa.
- d) Avanzar con un arco largo.
- e) Volver hacia atrás con un arco de longitud normal.

Para mantenerlo caliente se debe ejecutar el mismo movimiento oscilatorio con longitud de arco normal la penetración se obtiene con el movimiento hacia adelante y la altura del cordón se logra con la pausa al volver hacia atrás.(16)

1.7.2.3 Ángulos de inclinación del electrodo

En las juntas de solape en T o en ángulo, los ángulos de inclinación del electrodo son los que se muestran en la figura 10, o sea el electrodo inclinado a unos 45° de la plancha horizontal y unos 60° a 70° en el sentido de avance.

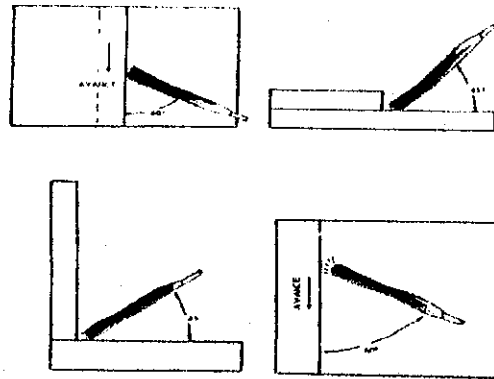
Figura 10. Ángulos de inclinación del electrodo



Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 126

En juntas a tope con chaflán el electrodo se debe mantener perpendicular a la plancha e inclinado 65° - 75° en el sentido de avance (figura 11).

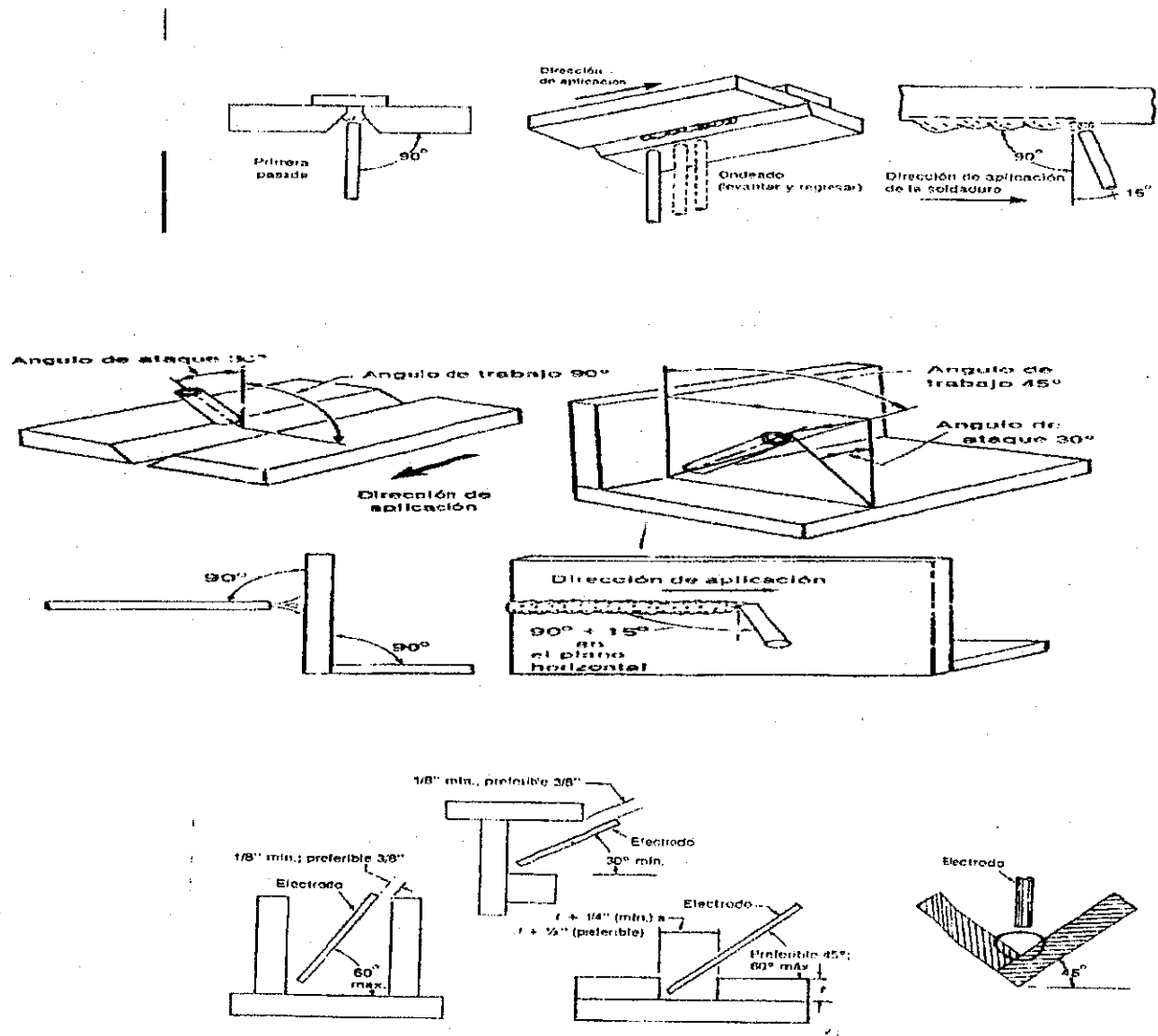
Figura 11. Posición del electrodo para hacer una junta a tope



Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 128

En la figura 12, se esquematizarán los diferentes ángulos de inclinación del electrodo para soldar en diferentes posiciones.(17)

Figura 12. Inclutación recomendada de electrodo para soldar en diferentes posiciones



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 15

1.8 Fuentes de corrientes para soldar

Las máquinas de soldar son aparatos eléctricos capaces de mantener un campo eléctrico determinado entre dos terminales. En las máquinas de corriente continua estos terminales se denominan el polo positivo (+) y el polo negativo (-). Cuando el cable del porta-electrodo se fija al borne (terminal) señalado con el signo negativo (-) y el cable que une el trabajo con la máquina se une al borne, señalado con el signo positivo (+) decimos que la polaridad es directa o normal.

Cuando sucede lo contrario o sea que el cable del porta-electrodo se conecta al borne señalado con el signo positivo (+) y el cable de trabajo (cable de tierra) se fija al borne señalado con el signo negativo (-) decimos que la polaridad es indirecta o inversa.

En las máquinas de soldar de corriente alterna, no es posible diferenciar los cables por sus polos debido a que la electricidad fluye la mitad del tiempo en un sentido y la otra mitad en sentido opuesto, cambiando de dirección (120) veces por segundo. Véase la figura 4., que esquematiza los tipos de polaridad.

Existen varias clases de máquinas de soldar, se diferencian unas de otras por el tipo de corriente que suministran (alterna o continua) y la manera como ésta es obtenida.

1.8.1 Máquinas estáticas

Son las que no tienen ningún elemento con movimiento continuo, hay tres posibilidades:

a) Máquinas transformadoras son las que utilizando un transformador rebajan el voltaje y aumenta el amperaje de la red primaria de suministro. Proporcionan corriente alterna para soldar.

b) Máquinas rectificadoras además de transformar la corriente, convierte la corriente alterna en continua con rectificadores de Selenio ó Silicio.

c) Máquinas transformadoras-rectificadoras dentro de un mismo conjunto tienen incluidos los dos tipos anteriores y por lo tanto proporcionan corriente alterna, o continua para soldar.

1.8.2 Máquinas rotativas

Se caracterizan porque tienen elementos en rotación continua que mueven un dínamo o generador de corriente, de las cuales mencionaremos dos posibilidades:

a) Máquinas moto-generadoras consiste en un motor de combustión interna, bien sea de gasolina o diesel, acoplado a un generador de corriente alterna o continua. Se utiliza cuando no existe una red de corriente eléctrica.

b) Máquinas convertidoras la corriente se obtiene por la acción de un motor eléctrico unido a un generador de corriente continua. El motor se mueve al conectarlo a una red de corriente eléctrica.(18)

1.9 Seguridad en la soldadura

A continuación se dará una serie de normas de seguridad, las cuales se deben cumplir para efectos de salva-guardar la integridad física del soldador y de sus compañeros de trabajo, y para evitar el deterioro anormal del equipo:

- 1.- Mantener el equipo de soldadura en óptimas condiciones (limpio y seco), etc.
- 2.- Asegurarse que todas las conexiones eléctricas estén apretadas, limpias y secas.
- 3.- Utilizar el tipo de cable apropiado al amperaje de trabajo. Los tamaños mínimos de cables corrientes de soldar son:

AMPERIOS**TAMAÑO DEL CABLE**

100	4
150	3
200	2
250-300	1/0
300-450	2/0
500	3/0
600	4/0

- 4.- Desconectar la corriente eléctrica del equipo, antes de efectuar cualquier operación de limpieza, reparación ó inspección.
- 5.- Revisar continuamente que los cables, los porta-electrodo y las conexiones estén debidamente aisladas.
- 6.- No cambiar la polaridad de la máquina soldadora cuando el arco esté encendido.
- 7.- Mantener el área de trabajo limpia y seca.
- 8.- Nunca soldar cerca de materiales inflamables, si la circunstancias así lo exigen, proteger dichos materiales debidamente.
- 9.- No soldar cerca de gases líquidos volátiles y/o inflamables.

10.-No soldar ó cortar recipientes tales como: Barriles ó tanques, hasta estar seguros de que no hay peligro de explosión ó fuego.

11.-No producir arco eléctrico en cilindros de gases comprimidos.

12.-Colocar las colillas de los electrodos en un recipiente metálico.

13.-Emplear siempre caretas protectoras mientras se esté soldando, utilizar el grado apropiado de tonalidad del lente, dependiendo del trabajo específico que se esté haciendo.

	TONALIDAD DEL LENTE No.
a) Soldadura a baja temperatura ó soldadura de plomo.....	4
b) Soldadura de punto.....	5
c) Soldadura por gas.....	5
d) Corte por gas.....	5
e) Soldadura oxiacetilénica.....	6
f) Corte.....	6
g) Soldadura al arco hasta 300 amperios.....	6
h) Soldadura ó corte del arco (75 a 200 amperios).....	10
i) Soldadura ó corte al arco (75 a 200 amperios).....	12
j) Soldadura ó corte al arco sobre 400 amperios.....	14

14.- Usar gafas protectoras al picar la escoria, alejar la cara cuando golpee.

15.- Usar guantes de cuero. overol, delantal y mangas, abróchese el cuello de la camisa.

16.- Rodear el área de soldar con cortinas de material apropiado. Con lo anterior se protege a los compañeros de trabajo de los rayos del arco.

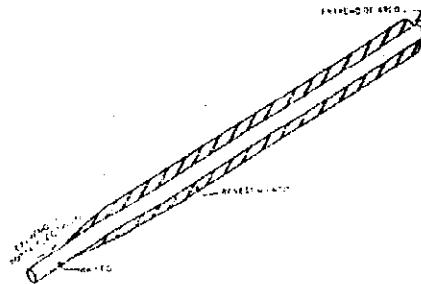
17.- Asegúrese de que el área de trabajo tenga ventilación adecuada y suficiente.(19)

1.10 Electrodo

Los electrodos revestidos, usados en el proceso SMAW, están constituidos por las siguientes partes: núcleo, revestimiento, extremo de arco y extremo porta-electrodo.

En la figura 13 se muestra en corte un electrodo revestido y sus partes.

Figura 13. Esquema en corte de un electrodo revestido



Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 23

1.10.1 El núcleo o alma

Es una varilla de aleación metálica especialmente fabricada. Dependiendo del tipo de electrodo, tiene dimensiones y composiciones químicas definidas.

Sus componentes tales como el hierro, carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre, etc., proporcionan diferentes propiedades y características a la soldadura.

El núcleo metálico cumple dos funciones específicas: medio de transporte de electricidad y fuente de material de aportación. Debido a la alta temperatura del arco, el núcleo se funde y gota a gota se deposita en el trabajo.

1.10.2 El revestimiento

Es una masa constituida de diferentes minerales y sustancias orgánicas aplicadas en torno al núcleo metálico. Sus funciones se pueden dividir en tres grupos: grupo eléctrico, grupo metalúrgico y grupo físico.

a) Grupo eléctrico facilita al encendido del arco y lo mantiene con facilidad durante la ejecución de la soldadura. Lo anterior se logra por la descomposición de algunos elementos químicos, al quemarse en el arco, que genera una atmósfera de gases ionizados, conductores de electricidad. Permite el empleo de corriente alterna. Al utilizar éste tipo de corriente el arco se apaga y enciende 120 veces por segundo. En estas circunstancias, el arco se torna muy inestable debido

al enfriamiento <<ciclo>> de la columna gaseosa que lo rodea. Algunos elementos, en ciertos tipos de electrodos, necesitan una temperatura relativamente baja para permanecer en estado ionizado, y por lo tanto facilitar el encendido periódico del arco, solucionándose así el problema de inestabilidad.

b) Grupo metalúrgico reemplaza ciertos elementos del metal, que parcialmente se volatilizan debido a la alta temperatura del arco eléctrico. Los elementos de reemplazo están incorporados dentro del revestimiento en una proporción tal, que aunque parte de estos también se volatilizan, el resto se incorpora al metal fundido. Mejora las propiedades mecánicas de la zona de fusión. Esto se logra por la acción de elementos aportantes de materiales de aleación, incluidos de revestimiento. Estos materiales pueden lograr el mejoramiento de las propiedades mecánicas de dos maneras:

1.- Actúan como desnitrurantes, desoxidantes y desulfurantes, elementos que son perjudiciales en la calidad del metal.

2.- Aporta elementos de aleación que mejoran y aumentan la calidad del metal aportado ó fundido por ejemplo: un electrodo con núcleo de acero dulce, por la acción del revestimiento, puede efectuar un depósito duro ó uno inoxidable.

También puede aumentar la cantidad del material de aportación. En cierto tipo de electrodos, el revestimiento tiene incorporado un elemento metálico (en polvo), de composición química similar a la del núcleo, que se derrite en el arco y se une al metal fundido proveniente del alma, aumentando de ésta manera, la cantidad de material depositado.

c) Grupo físico protege el metal fundido de los gases dañinos del aire. El oxígeno y el nitrógeno del aire al combinarse con el metal fundido, forma óxidos y nitruros haciendo que el metal se torne frágil y poroso, con la consecuente disminución de sus propiedades mecánicas. Ciertos componentes de revestimiento, al quemarse en el arco, forman una atmósfera protectora que evita que el aire quede en contacto directo con el metal fundido.

Algunos elementos del revestimiento se derriten formando una escoria que rodea totalmente las gotas del metal fundido durante el viaje de estas, desde el extremo del electrodo al metal base, logrando así, su protección total. Al efectuarse el depósito la escoria se mezcla con el metal fundido y va recogiendo sus impurezas haciéndolas flotar en la superficie del cordón, donde finalmente se solidifica.

La escoria sólida forma una capa sobre el depósito, que aun mismo tiempo protege el metal caliente de la acción perjudicial del aire y retarda su enfriamiento evitando así que endurezca excesivamente.

Dirige la fuerza del arco y el metal fundido en la dirección deseada. Esto se logra por cuanto el revestimiento tiende a fundirse más lentamente que el núcleo metálico, formándose una especie de boquillas que orienta la dirección del arco, y dirige las gotas del metal derretido. El metal fundido posee tres propiedades importantes que son: Su resistividad, viscosidad y tensión superficial. La resistividad es la resistencia que opone el metal fundido al flujo de corriente; varias veces mayor que la del metal sólido en el punto de fusión.

La viscosidad o resistencia a fluir, determina la cantidad del metal fundido que fluye a través de la separación entre dos platinas y la tensión superficial, expresa la facilidad con que el metal fundido llena cavidades relativamente pequeñas. Algunos elementos del revestimiento cumplen la misión de controlar dichas propiedades y de ésta manera facilitar el proceso de soldadura y velar por su calidad.

1.10.3 Extremo de arco y extremo porta-electrodo

En los electrodos revestidos, la corriente fluye por el núcleo, por lo tanto debe existir un buen contacto entre el porta-electrodo y el núcleo, y entre éste y el trabajo. Razones por la cual se construyen los electrodos libres de revestimiento en sus extremos.(20)

El revestimiento de algunos electrodos se gasifica casi totalmente, dejando muy poca escoria sobre el cordón, mientras que el de otros electrodos casi no genera gas y la escoria dejada sobre el cordón es muy gruesa. Entre esos dos extremos hay un gran número de tipos de electrodos. Dependiendo de la clase de revestimiento, la AWS (Sociedad Americana de Soldadura) clasifica los electrodos en los siguientes grupos:(21)

- a) Revestimiento con alta celulosa y sodio.
- b) Revestimiento con alta celulosa y potasio.
- c) Revestimiento con alto óxido de titanio y sodio.
- d) Revestimiento con alto óxido de titanio y potasio.
- e) Revestimiento con alto óxido de hierro.
- f) Revestimiento con polvo de hierro, óxido de hierro.
- g) Revestimiento con polvo de hierro, óxido de titanio.
- h) Revestimiento con bajo hidrógeno sodio.
- i) Revestimiento con bajo hidrógeno potasio.
- j) Revestimiento con polvo de hierro bajo hidrógeno.

a) Alta celulosa y sodio a esta clasificación pertenece de acuerdo a la AWS el electrodo E-6010, por el alto contenido de celulosa, la mayoría de la protección del metal caliente, se obtiene por la atmósfera gaseosa que se genera al quemarse dicha celulosa, la escoria que se forma es delgada y fácilmente removible. Los electrodos pertenecientes a este grupo tienen la característica de aportar más calor que los de otros grupos y por este motivo funden más cantidad de metal base ó sea que tiene una alta penetración. Los componentes del revestimiento lo hacen apto para operar únicamente con corriente continua polaridad positiva. Puesto que la clase y grupo de revestimiento influyen en la forma en que pasa las gotas del electrodo al depósito, el revestimiento de estos electrodos debe ser tal que facilite la transferencia del metal en todas las posiciones.

Estos electrodos se utilizan para soldar aceros de bajo carbono lámina ordinaria y galvanizada, calderas, estructuras, tuberías de presión y acero fundido.(21)

Propiedades mecánicas típicas del metal depositado

Resistencia a la tracción:	43.5 - 50.5 Kg/mm ²
Límite de fluencia:	36.5 - 43.5 Kg/mm ²
Elongación:	22 - 33 %
Reducción de área:	40 - 70 %
Resistencia al impacto Charpy en V a -29°C:	27-100 joules.

DIMENSIONES**AMPERAJES RECOMENDADOS**

2.4 x 300 mm (3/32")	50 - 80 A
3.2 x 350 mm (1/8")	70 - 115 A
4.0 x 350 mm (5/32")	90 - 160 A
4.8 x 450 mm (3/16")	120 - 210 A
6.4 x 450 mm (1/4")	170 - 250 A

b) Alta celulosa potasio a esta clasificación pertenece el electrodo E - 6011. Estos también contienen una alta cantidad de celulosa, que al quemarse en el arco producen abundante cantidad de gases, que son los que impiden el contacto del oxígeno y nitrógeno del aire con el metal fundido ó aún caliente. La escoria es delgada, puede no cubrir totalmente el cordón y es fácilmente removible. También estos electrodos tienen en su revestimiento, sustancias que al reaccionar en el arco van a aportar una mayor cantidad de calor, y por lo tanto hacen al electrodo penetrante, siendo la penetración muy similar a la del grupo anterior.

En realidad, la mayor diferencia entre éste grupo y el primero, es que éste tiene en el revestimiento sustancias que lo capacitan para funcionar bien en corriente alterna ó con corriente continua. Los electrodos de este grupo pueden operar en todas las posiciones.

Se emplea para soldar todos los tipos de acero de bajo carbono en tuberías, estructuras, construcciones navales, recipientes a presión, etc.(21)

Propiedades mecánicas típicas del metal depositado

Resistencia a la tracción:	44.3 - 52 Kg/mm ²
Límite de fluencia:	36.6 - 42 Kg/mm ²
Elongación:	27 a 35 %
Reducción de área:	55 a 70 %
Resistencia al impacto Charpy en V a -29°C:	27-100 joules.

Las dimensiones y amperajes recomendados son las mismas que del grupo anterior.

c) Alto óxido de titanio y sodio los electrodos pertenecientes a este grupo como el E-6012 tienen en su revestimiento una cantidad substancial de óxido de titanio ó rutilo, que le da al electrodo características sobresalientes de suavidad y proporciona una escoria gruesa que en ningún momento afecta la buena operación del electrodo en todas las posiciones. La acción del arco de los electrodos de este grupo es más suave y la penetración de ellos es media. Hay también electrodos en este grupo que tienen mayor rendimiento gracias a que se le agrega en su revestimiento una cantidad de polvo de hierro para mejorar su eficiencia. Este electrodo de acuerdo a su revestimiento lo hace apto para operar con corriente continua polaridad positiva.

Propiedades mecánicas típicas del metal depositado

Resistencia a la tracción:	47-52 Kg/mm ²
Límite de fluencia:	38-45 Kg/mm ²
Elongación:	22-29 %
Reducción de área:	40-60 %
Resistencia al impacto Charpy en V a 20oC:	50-110 joules

DIMENSIONES

AMPERAJES RECOMENDADOS

2.4 x 300 mm (3/32")	50 - 90 A
3.2 x 350 mm (1/8")	80 - 120 A
4.0 x 350 mm (5/32")	110 - 160 A
4.8 x 450 mm (3/16")	130 - 210 A
6.4 x 450 mm (1/4")	200 - 300 A

d) Óxido de titanio y potasio son similares al del grupo anterior, la protección del metal fundido se obtiene gracias a la escoria que se forma del revestimiento y va quedando sobre el cordón como compuestos complejos de titanio, la acción del arco es aún menos agresiva, es más fácil iniciar y mantener el arco y la penetración es mediana. A este grupo pertenece el electrodo E-6013 y pueden trabajar con corriente alterna o continua.

Este tipo de electrodos se utilizan en aplicaciones de carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, tanques, rejas, ventanas y ornamentación en general. Las propiedades mecánicas típicas del metal depositado, las dimensiones y amperajes recomendados de este tipo de electrodo son las mismas que del electrodo E-6012.(21)

e) **Alto óxido de hierro** el tipo de protección que da este grupo de electrodos es en su mayor parte por efecto de la escoria generada del revestimiento. La penetración de estos electrodos es buena y debido al elevado contenido de óxido y materiales desoxidantes, solo trabajan posición plana u horizontal en este grupo esta el electrodo E-6020.

f) **Polvo de hierro, óxido de hierro** este grupo de electrodos tiene su mayor diferencia en su alto contenido de polvo de hierro el cual hace que el rendimiento del electrodo sea aun mayor que los del grupo 5.

g) **Óxido de titanio, polvo de hierro** los electrodos con las características de este grupo tienen propiedades similares a aquellas del electrodo E-6012 y E-6013, la diferencia substancial está en su mayor contenido de hierro en el revestimiento que como ya se ha dicho aumenta la eficiencia de deposición, la apariencia del cordón es muy buena, la remoción de escoria es fácil y la calidad del metal depositado es excelente. A este grupo pertenece el electrodo E-6014.

También hay una modalidad de este grupo que contiene aún más cantidad de polvo de hierro y debido a la abundante cantidad de material aportado solo se puede trabajar en dos posiciones plana y horizontal. A este grupo pertenece el electrodo E-7024.

La American Welding Society clasifica y designa las anteriores clases de electrodos con una letra y cuatro dígitos:

E - X X X X:

a) La letra E se refiere al electrodo.

b) Los dos primeros dígitos se refieren a la resistencia a la tracción en miles de libras por pulgada cuadrada del metal depositado, ó sea:

E - 60XX

Quiere decir que es un electrodo revestido que produce un metal depositado el cual cada pulgada cuadrada de sección soporta por lo menos 60000 libras de tensión.(21)

c) El tercer dígito puede ser un uno(1) ó un dos(2) o un tres (3).

E - XX1X ó E - XX2X

Este número se refiere a las posiciones en que se puede aplicar el electrodo. Cuando el número es un uno (1) quiere decir que el electrodo opera en todas las posiciones; cuando es dos (2) significa que puede trabajar en posición plana, vertical bajando y filetes horizontales. Los últimos dos dígitos tomados juntos indican el tipo de corriente con el cual puede ser utilizado y el tipo de revestimiento, así:

Tabla I. Características de los electrodos revestidos.

Clasificación	<u>TIPO DE REVESTIMIENTO</u>	<u>POSICIONES DE TRABAJO</u>	<u>TIPO DE CORRIENTE</u>
<u>AWS</u>			
<u>ELECTRODOS SERIE E - 60</u>			
E-6010	Alta celulosa y sodio	P-V-SC-H	CD-EP
E-6011	Alta celulosa y potasio	P-V-SC-H	CA-CD:EP
E-6012	Alto óxido de titanio y sodio	P-V-SC-H	CA-CD:EN
E-6013	Alto óxido de titanio y potasio	P-V-SC-H	CA-CD:EP-EN
E-6020	Alto óxido de hierro	FH	CA-CD:EN
E-6022	Alto óxido de hierro	P	CA-CD:EP-EN
E-6027	Alto óxido de hierro, polvo De Hierro	P-H	CA-CD:EN

ELECTRODOS SERIE E-70

E-7014 Polvo de hierro titanio	P-V-SC-H	CA-CD:EP-EN
E-7015 Bajo hidrógeno sódico	P-V-SC-H	CD:EP
E-7016 Bajo hidrógeno potásico	P-V-SC-H	CA-CD:EP
E-7018 Bajo hidrógeno potásico, Polvo de hierro.	P-V-SC-H	CA-CD:EP
E-7024 Polvo de hierro, titanio	FH-P	CA-CD:EP-EN
E-7027 Alto óxido de hierro, Polvo de hierro.	FH-P	CA-CD:EN
E-7028 Bajo hidrógeno potásico, Polvo de hierro.	FH-P	CA-CD:EP
E-7048 Bajo hidrógeno potásico, Polvo de hierro.	P-SC-H-VB	CA-CD:EP

P: Plana	H: Horizontal	FH: Filete horizontal
V: Vertical	SC: Sobrecabeza	VB: Vertical bajando
CD: Corriente directa	CA: Corriente alterna	
EP: Electrodo positivo	EN: Electrodo negativo	

Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 96

1.10.3.1 Electrodo de bajo hidrógeno

Los electrodos de bajo hidrógeno, llevan éste nombre debido a que en su revestimiento se trata de eliminar totalmente cualquier substancia que durante la operación del electrodo genere hidrógeno. Así estos electrodos se deben cocinar hasta tal punto que quede totalmente eliminada la materia orgánica (que contiene hidrógeno) y la humedad, pues el agua está compuesta de oxígeno e hidrógeno el cual se liberaría fácilmente a la temperatura del arco.

El hidrógeno que a la temperatura y presión ambiente, se encuentra en dos átomos, estado que se denomina molecular, y cuando se encuentra a la temperatura del arco, esta molécula se disocia en átomos que ocupan un menor volumen. Por eso los átomos de hidrógeno, pueden moverse en la estructura cristalina del acero, pero a medida que el acero se solidifica y enfría, la movilidad de estos átomos de hidrógeno es menor. Por otra parte, a temperatura ambiente o cerca a ella, los átomos de hidrógeno tienden a asociarse nuevamente de dos en dos para formar moléculas que tienen mayor volumen y esto ocurre en las pequeñísimas imperfecciones cristalinas ó espacios vacíos de la estructura cristalina del acero, creando en esos sitios altísimas presiones que pueden causar microgrietas que debilitarán la resistencia del acero.

Siguiendo la misma clasificación AWS estos electrodos están divididos en las siguientes tres clases:

h) Bajo hidrógeno, sodio esta clase de electrodos tiene en su revestimiento calcita, caliza y sodio, y por la gran cantidad de caliza también se le denomina revestimiento básico, a éstos se les elimina totalmente las substancias que pueden formar hidrógeno, trabajan solamente con corriente continua polaridad positiva. Operan muy suavemente casi sin chisporroteo y la escoria es muy fácil de retirar.(21)

i) Bajo hidrógeno potasio a este grupo pertenece el electrodo E-7016 que tiene en su revestimiento una elevada proporción de dióxido de titanio (llamado rutilo) y potasio. Los electrodos pertenecientes a ésta categoría, trabajan con corriente alterna o continua, polaridad preferiblemente positiva. Las características de

operación son excelentes, la operación es suave casi sin chisporroteo, la penetración es media, la remoción de escoria muy fácil, y las características del metal depositado son magníficas, trabaja en todas las posiciones.

j) Polvo de hierro, bajo hidrógeno estos son muy similares a los de bajo hidrógeno potasio, la mayor diferencia de estos está, en que estos contienen una alta cantidad de polvo de hierro en el cual aumenta la cantidad de material de deposición. A esta clase de electrodos pertenece el E-7018.

Siguiendo el orden de clasificación de la AWS estas tres clases son designadas como sigue:

E - X X X 5

Cuando el último número es cinco (5) el revestimiento contiene sodio y es bajo hidrógeno.

E - X X X 6

Cuando el último número es seis (6) el revestimiento contiene potasio y es bajo hidrógeno.

E - X X X 8

Cuando el último número es ocho (8) el revestimiento contiene polvo de hierro y es bajo hidrógeno.

1.10.4 Electroodos de baja aleación

Los aceros pueden variar sus propiedades si tienen relativamente pequeñas cantidades de elementos tales como el Cromo, Níquel, Molibdeno, Vanadio, Manganeso y otros. En general, la proporción de estos elementos en el acero no sube de 6 Kg. por cada 100 Kg. de acero.(21)

La AWS usa para clasificar esos electroodos, además de la E y los cuatro dígitos mencionados (E-XXXX) una letra con otro número. La letra se refiere a la clase de los elementos de la aleación y el número a la proporción en que se encuentran así como se muestra en la tabla tomada de AWS D- 5.5.

Tabla II. Clasificación de electroodos de baja aleación

Clasificación	Clase de aleación	Carbón	Magnesio	Níquel	Cromo	Molibdeno
E-7010 A1	Carbón		0.60			
E-7011 A1			0.60			
E-7015 A1			0.90			
E-7016 A1		0.12	0.90			0.40-0.65
E-7018 A1	Molibdeno		0.90			

(Continuación de tabla II) Clasificación de electrodos de baja aleación

Clasificación	Clase de aleación	Carbón	Magnesio	Níquel	Cromo	Molibdeno
E-8016 B1		0.12	0.90		0.40-0.65	0.40-0.65
E-8018 B1						
E-8015 B21	Cromo	0.05	0.90		1.00-1.50	0.40-0.65
E-8016 B2		0.12	0.90		1.00-1.50	0.40-0.65
E-8018 B2						
E-9015 B31		0.15	0.90		2.00-2.50	0.90-1.20
E-9015 B3						
E-9016 B3		0.12	0.90		2.00-2.50	0.90-1.20
E-9018 B3	Molibdeno					
E-8015 B41		0.05	0.90		1.75-2.25	0.40-0.65
E-8016 C1		0.12	1.20	2-2.75		
E-8018 C1	Níquel					
E-8016 C2		0.12	1.20	3-3.75		
E-8018 C2		0.12	1.20			

(Continuación de tabla II) Clasificación de electrodos de baja aleación

Clasificación AWS	Clase de aleación	Carbón	Magnesio	Níquel	Cromo	Molibdeno
E-8016 C3 E-8018 C3	Níquel	0.12	0.4-1.1	0.8-1.1	0.15	0.35
E-9015 D1 E-9018 D1	Manganeso y	0.12	1.25-1.75			0.25-0.45
E-10015 D2 E-10016 D2 E-10018 D2	Molibdeno	0.15	1.65-2.00			0.25-0.45
E-XX 10-G E-XX 11-G E-XX 13-G E-XX 15-G E-XX 16-G E-XX 18-G E-7020 G				1.0 min.	0.50 min.	0.30 min. 0.20 min.

Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p.100-101

1.10.5 Electrodo de alta aleación

Para aceros que contienen una gran proporción de elementos de aleación, los cuales producen otras características especiales al metal, es necesario usar electrodos con las mismas características que el metal base.

La AWS los clasifica usando la letra E y un número de tres dígitos que según la AISI (American Iron and Steel Institute) designan la clase de acero. Después de ese número siguen dos dígitos más que designan las posiciones de aplicación de la soldadura y la clase de revestimiento.

Por ejemplo:

E- 308 -16

El E de electrodo, el 308 es según AISI una aleación de hierro cromo y níquel con una proporción de 18 % de cromo y 8 % de níquel, el resto es hierro. El uno (1) indica que el electrodo puede trabajar en todas las posiciones y el seis (6) que tiene un revestimiento con potasio y es de bajo hidrógeno.

El ELC o L que aparece en alguno de los grupos, indican que el contenido de carbono es muy bajo (0.04 % máximo). El Cb es el símbolo del elemento columbio, que se usa como elemento estabilizador, evita la formación de carburo de cromo.

A continuación se da una tabla de los principales electrodos altamente aleados.(21)

Tabla III. Clasificación de electrodos de alta aleación

Clasificación	<u>AWS</u>	<u>Carbón</u>	<u>Cromo</u>	<u>Níquel</u>	<u>Molibdeno</u>	<u>Columbio</u>	<u>Manganeso</u>	<u>Silicio</u>
E-308		0.08	18-21	9-11			2.5	0.90
E-308 L		0.04	18-21	9-11			2.5	0.90
E-309		0.15	22-25	12-14			2.5	0.90
E-309 Cb		0.12	22-25	12-14		0.7-1.0	2.5	0.90
E-309 Mo		0.12	22-25	12-14	2.0-3.0		2.5	0.90
E-310		0.20	25-28	20-22.5			2.5	0.75
E-310 Cb		0.12	25-28	20-22		0.7-1.0	2.5	0.75
E-310 Mo		0.12	25-28	20-22	2.0-3.0		2.5	0.75
E-312		0.15	28-32	8-10.5			2.5	0.90
E-16-8-2		0.10	14.5-16.5	7.5-9.5	1.0-2.0		2.5	0.50
E-316		0.08	17-20	11-14	2.0-2.5		2.5	0.90
E-316 L		0.04	17-20	11-14	2.0-2.5		2.5	0.90
E-317		0.08	18-21	12-14	3.0-4.0		2.5	0.90
E-318		0.08	17-20	11-14	2.0-2.5	6xC min. 1.0 máx.	2.5	0.90
E-347		0.08	18-21	9-11		8xC min. 1.0 máx.	2.5	0.90
E-410		0.12	11.0-13.5	0.6			1.0	0.90
E-430		0.10	15-18	0.6			1.0	0.90

Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 102

1.10.6 Recomendaciones para el almacenamiento de los electrodos

Todos los tipos de electrodos son afectados por la humedad, en algunos casos (E-6010, E-6011, E-6012, etc.), la absorción de humedad produce cambios en las características de soldabilidad (estabilidad del arco) y apariencia del recubrimiento; en otros, como los electrodos de bajo contenido de hidrógeno, además de los cambios antes mencionados, se producen mayores pérdidas en las características mecánicas del material depositado y pueden presentar prioridades u otros defectos que los dejen fuera de la aprobación de las normas de inspección ya sean estas visuales, mecánicas o radiográficas. Para el almacenamiento de cajas cerradas de electrodos revestidos y alambres, se sugiere que la temperatura de almacenamiento permanezca por encima de la temperatura ambiente, aproximadamente quince grados centígrados o que la humedad relativa no supere el cincuenta por ciento.

1.10.6.1 Reacondicionamiento

Son las condiciones de temperatura y tiempo a los cuales hay que someter a los electrodos que se hayan humedecido. En todos aquellos casos en que los depósitos sean sometidos a una inspección radiográfica, se considera que un electrodo corriente E-6010, E-6011, etc., está húmedo cuando haya sido expuesto a una humedad ambiente superior al setenta por ciento durante veinticuatro horas. En los electrodos de bajo contenido de hidrógeno estas condiciones se reducen a tres o cuatro horas.

Antes de reacondicionar electrodos húmedos estos deberán mantenerse a ochenta grados centígrados (80°C), durante una hora, a fin de evitar trisaduras en los revestimientos debido a bruscas diferencias de temperatura. Para aquellos casos en los que los humedecimientos sean excesivos se deberá efectuar el reacondicionamiento y luego someter los electrodos a prueba de soldabilidad y mecánicas, a fin de comprobar los resultados obtenidos.(22)

Tabla IV. Almacenamiento y reacondicionamiento de electrodos

TIPO AWS	CONDICION DE ALMACENAMIENTO	CONDICION DE RECONDICIONA- MIENTO. SOLDADURA HUMEDA.
E-6010	Temperatura 45°C Humedad relat. 68%	Temperatura 120°C durante 30-60 minutos.
E-6011	Temperatura 20°C Humedad relat. 50%	
E-7014	IDEM ANTERIOR	Temperatura 175°C durante 30-60 minutos.
E-7024		
E-7027		
Electrodos de bajo contenido de hidrógeno		
E-8018 C1	Temperatura 20-45°C	Temperatura 310°C durante 30-60 minutos.
E-9018 B3	Humedad relat. 50%	
E-7018	IDEM ANTERIOR	Temperatura 425°C durante 30-60 minutos.
E-1108 M		

Fuente: West-arco. Manual de soldadura, p. 154

1.11 Juntas

Cualquier proceso de soldadura tiene como función el obtener una unión entre dos o más objetos. El punto en donde se ha de lograr la unión se denomina Junta y cuando esto ha ocurrido aquel punto se llama Ensamble o junta soldada.

Existen cinco estilos básicos de juntas para integrar dos partes de una unión. De acuerdo con la fig. 14 se definen del modo siguiente:

- a) **Junta a tope** En este tipo de junta las partes se encuentran en el mismo plano y se unen en sus borde. Las juntas a tope pueden ser simples, escuadradas, biseladas en V, de ranura de una sola J, de ranura de una sola U, o dobles.

- b) **Junta de esquina** La juntas de esquinas son lo que implica su nombre: soldaduras hechas entre dos partes situadas a un ángulo de noventa grados. Estas pueden ser de medio traslape, de esquina a esquina, o de inserción completa, y pueden prepararse para formar un solo bisel, una sola V, o ranuras de una sola U.

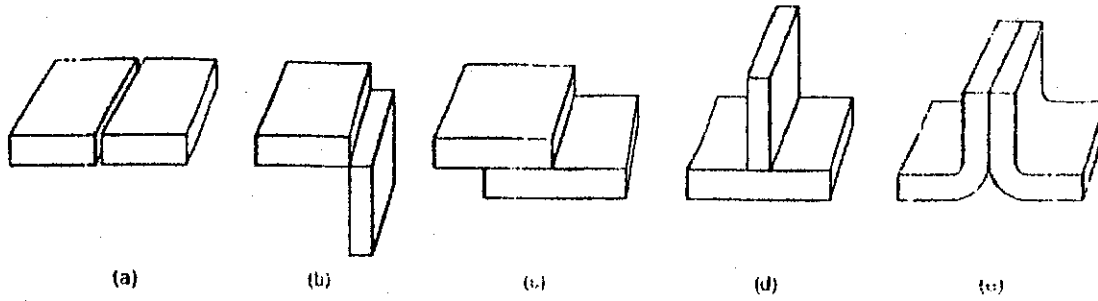
- c) **Junta a traslape** Las juntas a traslape están formadas en esencia por dos piezas de metal solapadas o traslapadas que se unen por fusión mediante soldadura de puntos, de filete, de tapón o de agujero alargado.

- d) **Junta en T** Las juntas en T son precisamente lo que nombre indica, pero también pueden de un solo bisel, de doble bisel, de una sola J y de doble J. Los efectos del ajuste deficientes (entre hierro entre los bordes de las placas) debidos a la deformación y al agrietamiento se ilustra en la fig. 15.
- e) **Junta de brida** La junta de brida o junta de orilla resulta de la fusión de la superficie adyacente de cada parte, de manera que la soldadura queda dentro de los planos superficiales de ambas partes.

Las proporciones de las ranuras para las juntas a tope, de esquina, de brida y en T así como las de tapón, que recomienda la American Welding Society se ilustran en la fig. 16, la cual muestra los diseños y dimensiones típicos de las juntas que se emplean para los procesos de soldadura de arco eléctrico. Las proporciones y limitaciones que se indican son las que con frecuencia resultan necesarias con los procedimientos de soldaduras adecuados para tener penetración completa en la junta y refuerzo y forma aceptable del área de metal soldada.

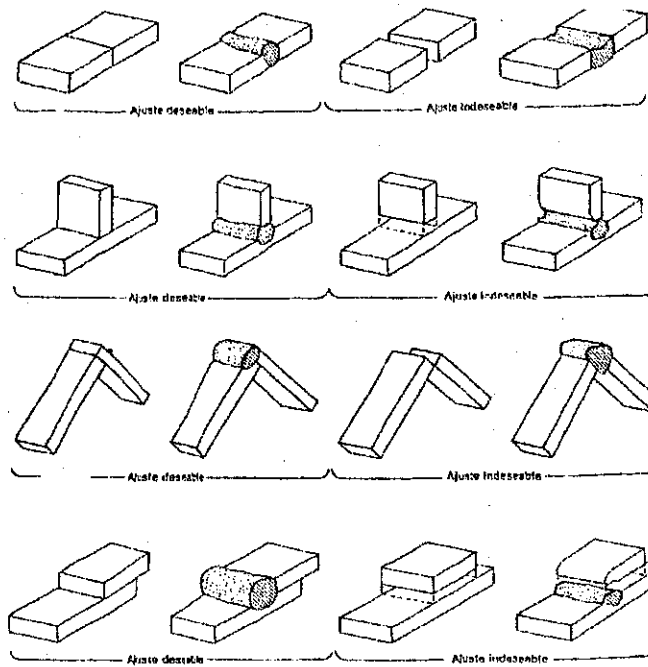
Las ranuras mismas dependiendo del uso final pueden prepararse por cualquiera de los métodos siguientes: Corte a la llama, esmerilado, corte en sierra, fresado y cizallado.(23)

Figura 14. Tipos de juntas.



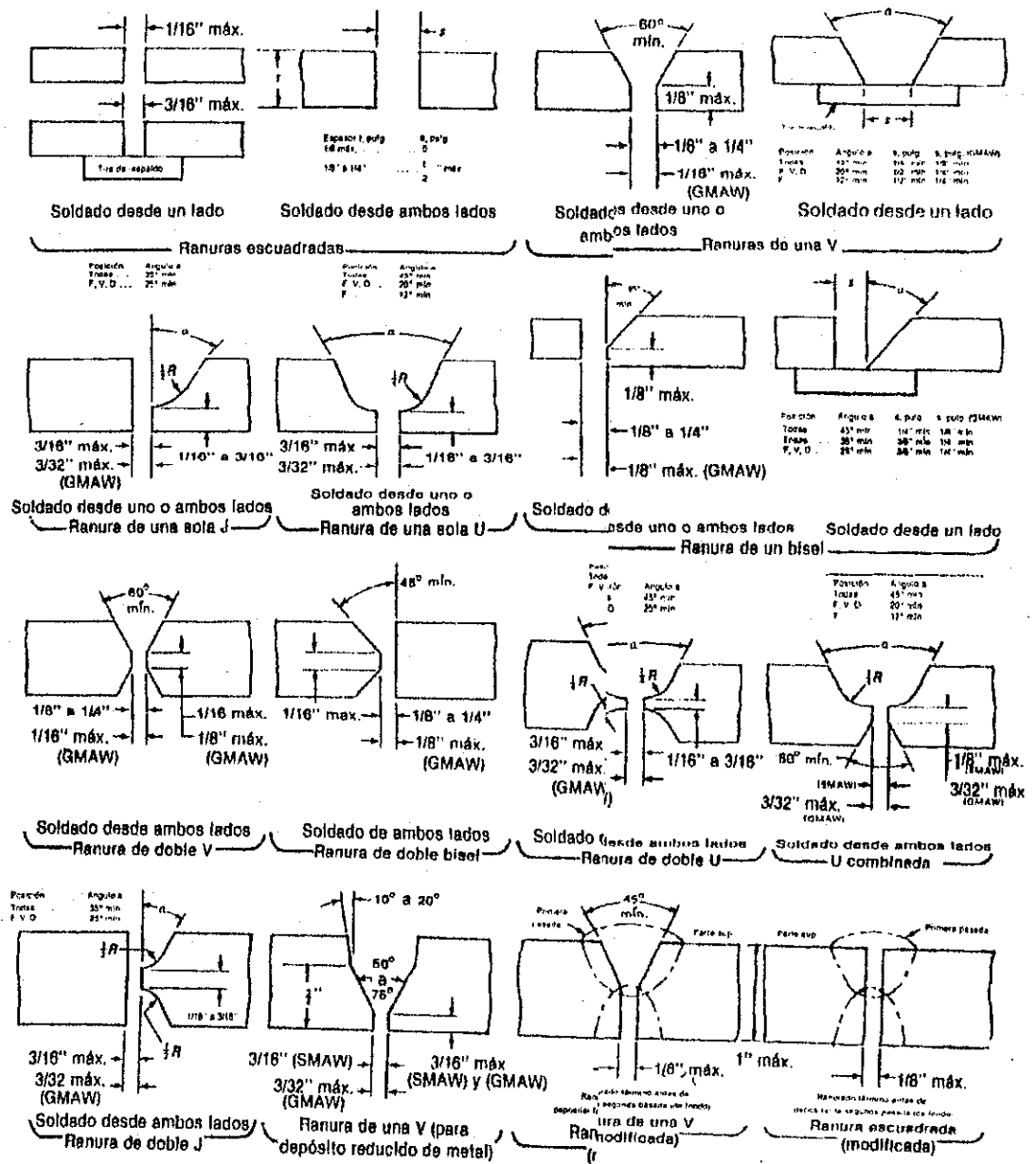
Fuente: Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas, p. 717

Figura 15. Efectos del ajuste deseable e indeseable de la perfección de la soldadura en las juntas.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura aplicaciones y práctica, p. 19

Figura 16. Proporciones recomendadas de las ranuras para la soldadura de arco y a gas. Juntas a tope.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura aplicaciones y práctica, p. 20

1.11.1 Posiciones para soldar

Un soldador debe estar preparado para soldar juntas en cualquiera de las posiciones usuales las cuales son: posición plana horizontal, vertical y sobrecabeza. La posición plana es por supuesto la más fácil. El metal fundido se mantiene en posición (hasta que comienza a solidificarse) por la fuerza de la gravedad. Esta posición permite también lograr los máximos regímenes de depósito. La siguiente, en cuanto a facilidad de aplicación, es la soldadura horizontal en la cual la fuerza de la gravedad ayuda también en cierto grado.

A la soldadura que se efectúa en posiciones diferentes a la plana (y en ocasión horizontal) se le llama soldadura hecha fuera de posición y requiere con frecuencia la aplicación de técnicas manipulativas y de electrodos que permitan una solidificación más rápida del metal fundido y de la escoria, para contrarrestar el efecto de la gravedad.

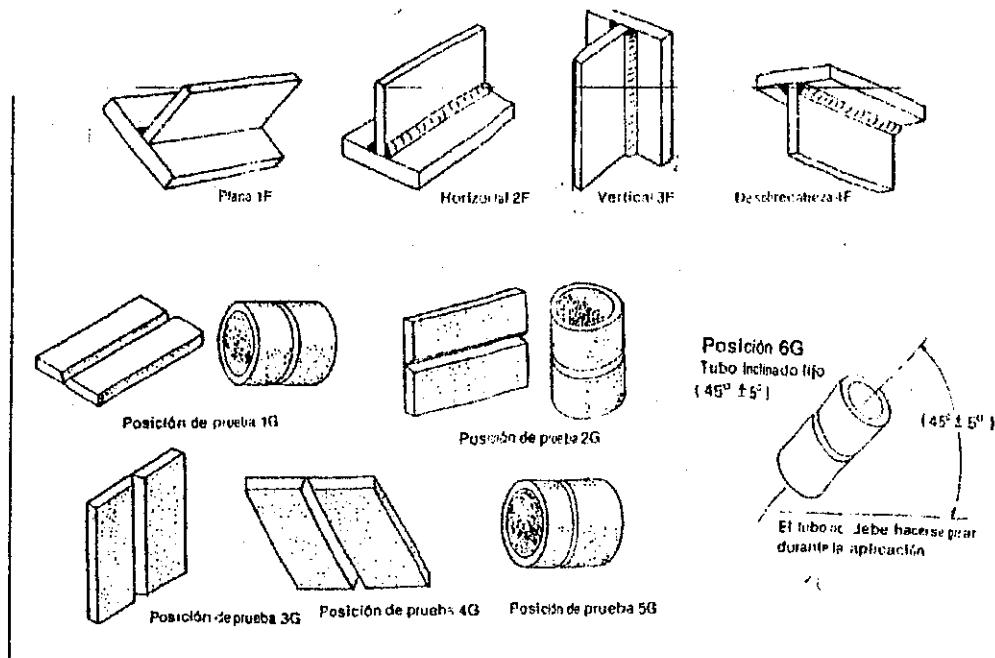
La AWS a clasificado de acuerdo a los tipos de posiciones de aplicación y al tipo de soldadura de la siguiente manera: posiciones de aplicación para platinas soldadas a tope en V a la posición plana le llama 1G, a la posición horizontal 2G, posición vertical 3G y a la posición de sobrecabeza 4G.

Para soldaduras en filete en juntas en T a la posición plana le llama 1F, posición horizontal 2F posición vertical 3F y posición de sobrecabeza 4F.

Para la soldadura de ranura en tubería se ha clasificado de la siguiente manera: Para tubo horizontal, aplicando la soldadura en posición plana, el tubo gira y se deposita la soldadura en la parte superior o cerca de esta, a esta posición

se le llama 1G, cuando el tubo esta vertical, se le aplica una soldadura horizontal, el tubo no debe hacerse girar durante la aplicación a esta posición se le llama 2G. Cuando el tubo esta en forma horizontal fija se le aplica soldadura plana, vertical y sobrecabeza el tubo no debe hacerse girar durante la aplicación a esta posición se le llama 5G. Cuando el tubo esta inclinado a cuarenta y cinco grados y fijo el cual no debe hacerse girar durante la aplicación de la soldadura en la cual se realiza en todas las posiciones se le llama 6G todas estas clasificaciones se han hecho de acuerdo a códigos de calificación para soldadores. En la figura 19 se representará cada una de estas posiciones.(24)

Figura 19. Posiciones de aplicación en la soldadura



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 739

1.12 Defectos de soldadura

Al soldar con los procesos por arco y en especial con electrodo revestido, se obtiene ciertos tipos de defectos como lo son: porosidad, grietas, mala penetración, inclusiones de escoria, distorsiones, salpicaduras, y socavaciones, defectos que se conocen como discontinuidad estructurales. El término anterior no se refiere a un cambio en la estructura del metal sino a una interpretación o discontinuidad en la sanidad del depósito.

1.12.1 Porosidad

Frecuentemente se encuentra en la parte interna del depósito de soldadura burbujas de gas o cavidades libres de cualquier material sólido, lo que se conoce con el término <<porosidad>> el defecto anterior se puede encontrar uniformemente distribuido a lo largo de todo el depósito, localizado en una sección del mismo o concentrado en la raíz de la soldadura. La porosidad es originada por dos causas:

- a) Los gases que suelta el metal de la soldadura, cuya solubilidad disminuye a medida que la temperatura disminuye.
- b) Los gases que se forman por las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de soldadura.

Durante el proceso de soldadura se pueden originar poros debido a los siguientes factores: Demasiado amperaje, arco muy corto o muy largo, material base sucio, avance muy rápido y revestimiento del electrodo húmedo. Algunas de las soluciones podrían ser regular adecuadamente el amperaje, moderar la

longitud del arco. Disminuir la velocidad de avance, limpiar bien la superficie antes de soldar y secar el electrodo en horno apropiado.

1.12.2 Inclusiones de escoria

El término se utiliza para describir los óxidos u otros sólidos no metálicos, provenientes de recubrimiento del electrodo que son atrapados dentro del metal de soldadura o entre el metal base y el metal aportado. Las inclusiones de escoria pueden ser originadas por contaminación del metal de la soldadura por la acción de la atmósfera o en el caso de depósitos de varias capas, por no removerse adecuadamente la escoria de un cordón antes de depositar el siguiente.

El defecto anterior se puede prevenir haciendo una preparación adecuada. Se requiere eliminar de la misma cualquier contorno que dificulte la penetración total en el arco, eliminando en su totalidad la escoria producida en los cordones anteriores, limpiando suciedades, grasas, aceites, etc., del metal base, mantener una inclinación correcta del electrodo, desplazarlo con movimiento adecuados de tejido y utilizar técnicas de precalentamiento.

1.12.3 Fusión incompleta

El defecto denominado fusión incompleta se presenta cuando no se logra que las dos capas adyacentes del metal de soldadura se fundan totalmente. Las causas de lo anterior son: amperaje bajo, deficiencia en la remoción de escoria, materiales extraños en la superficie del metal base, velocidad de avance muy rápido, diámetro inapropiado del electrodo y deficiente preparación de la junta.

1.12.4 Mala penetración

Cuando se especifica penetración total o cuando se especifica el grado de penetración (penetración parcial) el soldador deberá lograr lo especificado o de lo contrario incurrirá en el defecto denominado mala o incompleta penetración de la junta.

Estos defectos que pueden traer consecuencias graves, más si se tiene en cuenta que la resistencia de la junta soldada depende del grado de penetración y que una junta soldada con penetración total se puede utilizar para cualquier tipo de carga, mientras que una similar penetración parcial no se puede utilizar si no cuando se presentan durante el servicio cargas estáticas. Las causas que pueden originar una penetración defectuosa de junta, se puede dividir en dos aspectos: error en el diseño de la junta o error en el procedimiento.

a) Error en el diseño de la junta

- ◆ Apertura de raíz demasiado pequeña (ensambles con chaflán).
- ◆ Angulo de chaflán demasiado cerrado.
- ◆ Cara de la raíz demasiado grande.

b) Errores en el procedimiento

- ◆ Electrodo inadecuado.
- ◆ Diámetro del electrodo excesivo.
- ◆ Velocidad de avance muy alta.
- ◆ Poco amperaje.

1.12.5 Socavación

El término de socavación usualmente se utiliza para denominar una discontinuidad estructural que se presenta en el pie de la soldadura (a todo lo largo o entamos), consiste en una ligera depresión la cual queda libre del metal de aporte. No se debe permitir un cordón cuya cara presenta socavación por cuanto reduce la resistencia de la junta y en especial, cuando el conjunto soldado estará sujeto a esfuerzos de fatiga.

Este tipo de defectos es sencillo de detectar y se soluciona depositando un cordón adicional las causas que lo originan son: manipulación incorrecta del electrodo, el movimiento excesivo de tejidos, corriente alta y/o electrodo demasiado grueso.

1.12.6 Salpicaduras

Un depósito de soldadura debe quedar libre de salpicadura lo que sucede cuando gran cantidad de gotas pequeñas de metal fundido caen en la superficie del metal base adyacente al depósito. La causa de lo anterior es: amperaje muy alto, electrodo inadecuado, polaridad incorrecta, soplo magnético, ángulo incorrecto de inclinación del electrodo y electrodo y/o metal base húmedos.

1.12.7 Grietas

Se entiende por grietas, una ruptura lineal de metal depositado o del metal base, generalmente se pueden detectar visualmente y viene acompañados de una ligera deformación. Este defecto es uno de los más perjudiciales y cualquier código de especificaciones lo prohíbe. Se distinguen dos formas generales de agrietamiento: en caliente y en frío.

1.12.7.1 Agrietamiento en caliente

Ocurre a elevadas temperaturas y acto seguido de depositarse un cordón, es la que más comúnmente se presenta en la soldadura.

1.12.7.2 Agrietamiento en frío

Se presenta, generalmente, al soldar aceros totalmente aliados, la grieta se puede originar después de haber transcurrido un período de horas o días, generalmente comienza en la zona afectada por el calor.

Las fisuras, son grietas de tamaño muy reducido, imposible de detectar visualmente (se requieren exámenes metalográficos, se puede originar en frío y en caliente y con el tiempo y con el servicio se pueden propagar. El agrietamiento, cualesquiera que sea su forma u origen se pueden presentar en diferentes lugares del depósito y pueden suceder de la siguiente manera:

- a) Grietas longitudinales se forman en el metal base, paralelamente al cordón de soldadura pueden ser una continuación de una grieta originada por debajo del cordón. Se puede encontrar en dos lugares: en el pie o en la raíz de la soldadura extendiéndose hacia el metal base. Este tipo de grieta puede aparecerse en la zona de fusión cuando se sueldan aceros de alto grado de endurecimiento en donde el metal de aporte y el metal base son de composiciones diferentes, originándose en la zona de fusión aleaciones de propiedades impredecibles.
- b) Grietas transversales este tipo de grietas en el metal base, se presentan, generalmente, en ensambles en filete cuando se sueldan aceros de alto grado de endurecimiento, en donde la distancia entre el borde de la soldadura y el borde de la platina es relativamente pequeño.

Comúnmente las grietas se originan en los primeros depósitos, o sea en la raíz de la soldadura, en estos casos a menos que se detecten y se eliminen, estas se propagarán a lo largo de todas las capas siguientes. Las causas que pueden generar las grietas en la soldadura: tipo inapropiado de electrodo junta muy rígida, soldadura imperfecta, acero de baja aleación y alta resistencia y preparación defectuosa por las piezas por soldar.

Al presentarse un agrietamiento se puede variar ciertas técnicas de depositar los cordones a saber: variar la manipulación o las condiciones eléctricas, con la cual se logrará una variación en el contorno del depósito. Disminuir la velocidad de avance para aumentar el espesor del depósito y por consiguiente tener más metal de soldadura capaz de resistir los esfuerzos originados.

- c) Grietas formadas en un cráter cuando se termina de depositar un cordón o hay necesidad de interrumpirlo por haberse terminado el electrodo existe una gran tendencia para que se formen grietas en el cráter resultante. Estas grietas generalmente están localizadas y se extienden únicamente hasta los bordes del cráter, sin embargo pueden llegar a ser el origen de una grieta longitudinal.(25)

1.13 Tensiones, contracciones y deformaciones

El calentamiento y enfriamiento rápidos en regiones localizadas del trabajo durante la soldadura por fusión, especialmente en la soldadura con arco eléctrico, producen expansiones y contracciones térmicas, que a su vez provocan tensiones residuales en la soldadura y distorsión del ensamble soldado.

La situación en la soldadura se complica porque:

- 1.- El calentamiento está muy localizado.
- 2.- La fusión de los metales base ocurre en estas regiones locales.
- 3.- La ubicación del calentamiento y la fusión esta en movimiento (al menos en la soldadura con arco eléctrico).

Un ejemplo de lo anterior es la soldadura a tope de dos placas mediante una operación de soldadura con arco eléctrico como se muestra en la parte (a) de la figura 20. La operación empieza en un extremo y viaja al lado expuesto. Conforme avanza, se forma un pozo fundido del metal base (y de metal de aporte,

si se usa uno), el cual se solidifica con rapidez detrás del arco en movimiento. Las partes del trabajo inmediatamente adyacentes a la gota de soldadura se vuelve extremadamente calientes y se expanden, en tanto que las porciones removidas de la soldadura permanecen relativamente frías.

El pozo de soldadura se solidifica rápidamente en la cavidad entre las dos de las partes a soldar y, conforme el pozo y el metal circundante se enfrían y contraen, ocurre un encogimiento a través de lo ancho de la soldadura, como se aprecia en la parte (b) de la figura 20. El engargolado de la soldadura queda en tensión residual y se acumulan tensiones compresivas de reacción en las regiones de las partes lejanas a la soldadura.

También ocurren tensiones residuales y encogimiento a lo largo de la gota de soldadura. Dado que la región exterior de las partes base ha permanecido relativamente frías y sin cambios de dimensión, mientras que la gota de soldadura se ha solidificado a temperaturas muy altas y después se ha contraído, las tensiones residuales permanecen en forma longitudinal en la gota de soldadura. Estos patrones de tensión transversal y longitudinal se muestran en la parte (c) de la figura 20. Es probable que el resultado neto de estas tensiones residuales, en forma transversal y longitudinal, produzca una deformación en el ensamble soldado tal como en la parte (d) de la figura 20 se puede apreciar.

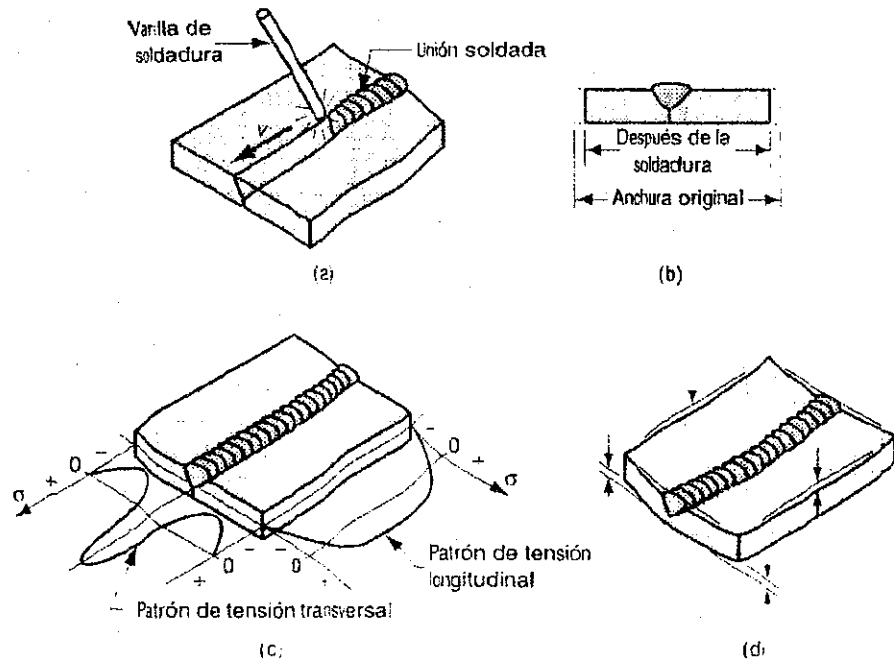
La junta a tope soldada con arco eléctrico de la figura 20 es sólo uno de los diversos tipos de juntas y operaciones de soldadura. Las tensiones residuales inducidas en forma térmica y la distorsión implícita son un problema potencial en

casi todos los procesos de soldadura por fusión y en ciertas operaciones de soldadura de estado sólido, en las cuales ocurre un calentamiento significativo.

Se emplean varias técnicas para reducir la deformación en una soldadura. Estas técnicas incluyen las siguientes:

- ✦ Soportes o fijadores de soldadura que limitan físicamente el movimiento de las partes durante el proceso.
- ✦ Inmersiones en caliente que reducen rápidamente el calor de las secciones en las partes soldadas para reducir la distorsión.
- ✦ Soldado de tachuelas en diversos puntos a lo largo de la unión, para crear una estructura rígida antes de una soldadura engargolada continua.
- ✦ Selección de condiciones para la soldadura (velocidad, cantidad de material de aporte usado, etc.) para reducir la deformación.
- ✦ Precalentamiento de las partes base, lo cual reduce el nivel de tensión térmica que experimentan las partes.
- ✦ Un tratamiento térmico para disminuir la tensión del ensamble soldado, ya sea en un horno para soldaduras pequeñas o usando métodos que puedan realizarse en el campo para estructuras grandes.
- ✦ Diseño apropiado de la soldadura misma. (26)

Figura 20. Tensiones residuales y distorsiones.



- a) Soldadura a tope en dos placas
- b) Encogimiento a través de la anchura del ensamble soldado
- c) Patrón de tensiones residuales transversales y longitudinales
- d) Deformación del trabajo terminado

Fuente: Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas, p. 759

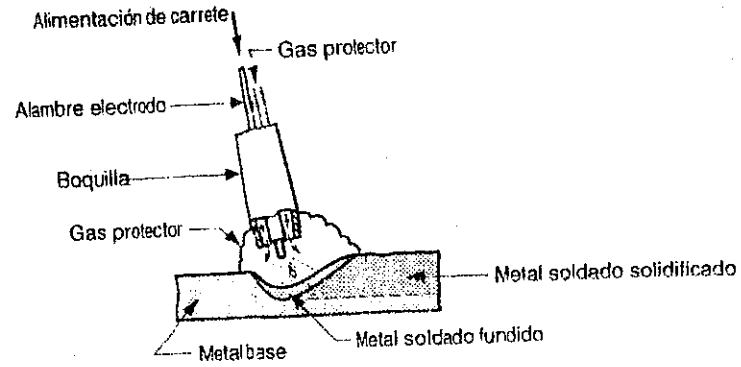
2. PROCESO DE SOLDADURA GMAW

2.1 Soldadura metálica con arco eléctrico y gas

La soldadura metálica con arco eléctrico y gas, SMAEG (en inglés gas metal arc welding, GMAW), es un proceso en el cual el electrodo es un alambre metálico desnudo consumible y la protección se proporciona inundando el arco eléctrico con un gas. El alambre desnudo se alimenta en forma continua y automática desde una bobina a través de la pistola de soldadura, como se muestra en la figura 21. La figura 22 muestra una pistola de soldadura. En la GMAW se usan diámetros de alambre que van desde 1/32 hasta 1/4 de pulgada (0.8 a 6.4 mm), el tamaño depende del grosor de las partes que se ven a unir y la velocidad de deposición deseada.

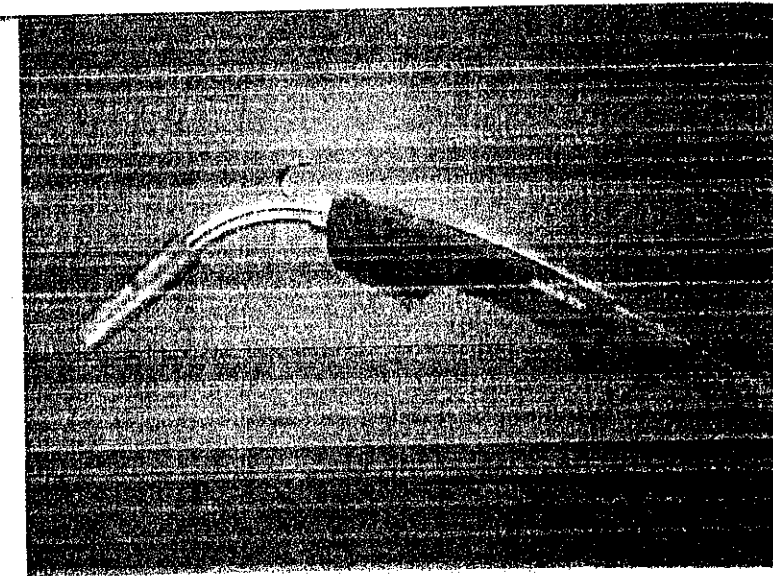
Para protección se usan gases inertes como el argón y el helio y también gases activos como el bióxido de carbono. La elección de los gases (y sus mezclas) dependen del metal que se va a soldar, al igual que de otros factores. Se usan gases inertes para soldar aleaciones de aluminio y aceros inoxidable, en tanto que normalmente se usa CO_2 para soldar aceros de bajo y mediano carbono. La combinación de alambre de electrodo desnudo y de los gases protectores eliminan el recubrimiento de escoria en la gota de soldadura y, por tanto, evitan la necesidad del esmerilado y limpieza manual de la escoria. Por tal razón, el proceso de GMAW es ideal para hacer múltiples pasadas de soldadura en la misma unión. (27)

Figura 21. Soldadura metálica con arco eléctrico y gas.



Fuente: Groover, Mikell P., Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas, p. 733

Figura 22. Pistola para soldadura metálica con arco eléctrico y gas



Fuente: Groover, Mikell P., Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas, p. 734

Los diferentes metales en los que se usa la soldadura GMAW y las propias variaciones del proceso han dado origen a diferentes nombres. La primera vez que se introdujo el proceso a fines de los años cuarenta, se aplicó a la soldadura de aluminio usando un gas inerte (argón) para protección del arco eléctrico. Este proceso recibió el nombre de soldadura metálica con gas inerte, SMGI (en inglés MIG welding, metal inert gas welding).

Cuando este proceso de soldadura se aplicó al acero, se encontró que los gases inertes eran costosos y se usó CO_2 como sustituto. Por tanto, se aplicó el término de soldadura con CO_2 . Algunos refinamientos en el proceso para la soldadura del acero condujeron al uso de las mezclas de gases, incluyendo dióxido de carbono y argón, e incluso oxígeno y argón.

La GMAW se usa ampliamente en operaciones de fabricación para soldar diversos metales ferrosos y no ferrosos. Debido a que usa alambre de soldadura continuo en lugar de varilla de soldadura, tiene una ventaja importante sobre la SMAW en términos de tiempo de arco eléctrico, cuando se realiza en forma manual. Los fragmentos de electrodos que quedan después de la soldadura con varilla también desperdician metal de aporte, por lo que la utilización del material del electrodo es mayor con la GMAW. Otra ventaja de este proceso radica en que no es necesario remover escoria, velocidad de deposición más alta que la SMAW, y una buena versatilidad. (27)

2.2 Procesos de soldadura MIG-MAG

Al proceso de soldadura metálica con arco eléctrico y gas, GMAW, por utilizar los diferentes tipos de gases inertes y activos, se le denominó también procesos de soldadura eléctrica bajo atmósfera gaseosa MIG-MAG, en el cual incluye dos procesos de soldadura de acuerdo al tipo de gas y al metal a soldar.

El proceso de soldadura MAG, que en inglés es MAG, Metal Active Gas, utiliza un gas activo, CO_2 o mezclas a base de argón + CO_2 + O_2 , en el cual se emplea para soldar aceros no aleados y de baja aleación.

El proceso de soldadura MIG, que en inglés es MIG, Metal Inert Gas, utiliza un gas inerte que es el argón o el helio y algunas mezclas tales como: Ar + 1% O_2 , Ar + 3% O_2 , Ar + 5% O_2 , y He + Ar, se emplea para soldar aceros de alta aleación bien soldables, para metales no ferrosos como aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones.

Presenta las siguientes ventajas:

- a) Es el único proceso de electrodo consumible que puede ser utilizado para soldar todos los metales y aleaciones comerciales.
- b) Se puede emplear en todas las posiciones.
- c) Se pueden realizar soldaduras de gran extensión, sin paradas y arranques, debido al uso de un alambre continuo.

- d) Mínima limpieza post-soldadura.
- e) La cantidad de material de deposición son mayores que las encontradas en electrodo manual revestido.

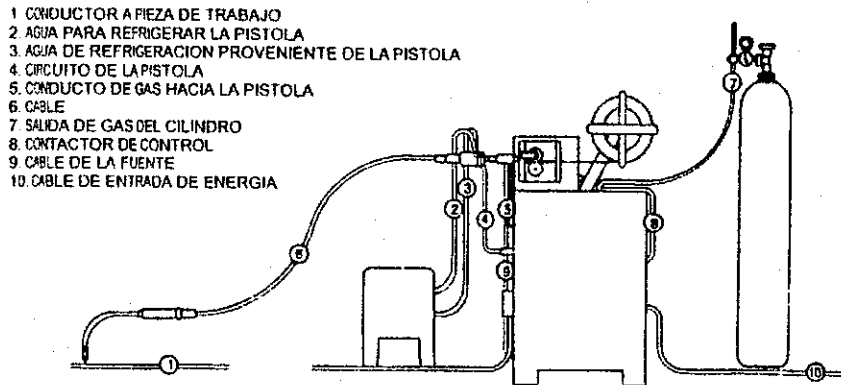
Por otra parte, también tiene algunas dificultades:

- a) El equipo de soldadura es más complejo y costoso, que el empleado en electrodo manual revestido.
- b) El empleo del proceso GMAW es limitado en aplicaciones de difícil alcance, debido al empleo de una pistola más larga, y además por que es imprescindible mantenerla cerca al charco para una adecuada protección gaseosa de este.
- c) El charco se debe proteger de corrientes de aire, se puede dispersar el gas protector.
- d) Presenta altos niveles de radiación de calor e intensidad de arco, lo que puede generar incomodidad del operario.(28)

2.3 Equipo básico

Este proceso incorpora una alimentación automática de alambre, la cual es protegida por gas cuya alimentación es externa. Las únicas variables dependientes del operario para una operación semiautomática son la velocidad y dirección de avance, y la posición de la pistola.

Figura 23. Equipo básico para el proceso de soldadura MIG-MAG.



Fuente: Instituto de soldadura, Procesos de soldadura MIG-MAG, p. 3

El equipo básico esta compuesto por la pistola de soldadura y el respectivo cable, el alimentador de alambre, la fuente de energía y la fuente de gas protector. La pistola guía el electrodo continuo y los conductos de gas protector y de corriente eléctrica, al lugar de trabajo, para así proveer protección al charco metálico y energía para estabilizar y mantener el arco.

Dos combinaciones de unidades de alimentación y fuentes son usadas para lograr la autorregulación de la longitud de arco, es decir las variaciones de distancia entre la boquilla de contacto y la pieza de trabajo durante la operación normal de soldeo. La más común consiste de una fuente de poder de voltaje constante en conjunto con un alimentador de alambre y de velocidad constante. Y alternativamente una fuente de corriente constante y un alimentador de alambre controlado por el voltaje del arco.

Con la combinación de voltaje constante/velocidad de alambre constante, un cambio en la posición de la pistola genera un cambio en la corriente de soldadura el cual exactamente cuadra con el cambio de la distancia, pieza de trabajo-boquilla de contacto y mantener así la longitud de arco constante.(28) Es decir, si se incrementa la distancia "Pieza de trabajo-boquilla de contacto"; la corriente se reduce, disminuyendo la cantidad de material a la que funde el alambre y permitiendo la salida de éste hasta alcanzar nuevamente la longitud de arco. Un proceso análogo se presenta cuando se acerca la boquilla a la pieza de trabajo.

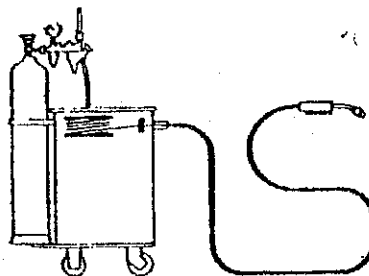
En el sistema alternativo, la autorregulación resulta cuando fluctuaciones del voltaje de arco reajustan la velocidad de alimentación de alambre. (28)

A continuación se presentan esquemas de los equipos de soldadura MIG-MAG.

2.3.1 Equipo común de taller

Carrete de alambre y accionamiento de avance de alambre en el mismo equipo. Paquete de mangueras dentro de 3 a 5 metros de largo.

Figura 24. Equipo común de taller

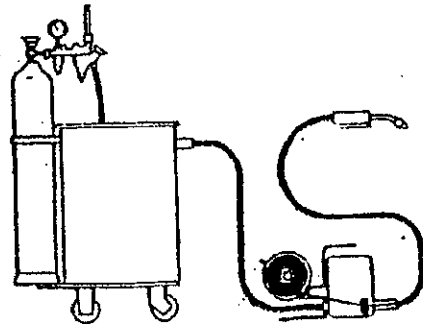


Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 2

2.3.2 Equipo universal

Carrete de alambre y accionamiento de avance de alambre por fuera (separado) del equipo. Paquete de mangueras dentro de 5 a 10 metros de largo.

Figura 25. Equipo universal

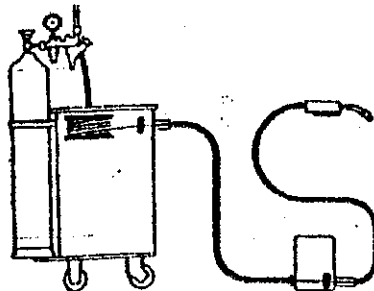


Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 3

2.3.3 Equipo tandem

Carrete de alambre dentro de equipo. Accionamiento de avance de alambre dentro del mismo equipo y por aparte como accionamiento adicional. Paquete de mangueras dentro de 10 a 20 metros de largo.

Figura 26. Equipo tandem

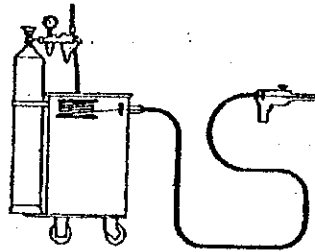


Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 4

2.3.4 Equipo push-pull

Carrete de alambre dentro del equipo. Accionamiento de avance de alambre dentro del mismo equipo y a la vez en el soplete de soldar, así que el alambre se empuja y se jala al mismo tiempo. Esto se llama push-pull.

Figura 27. Equipo push-pull

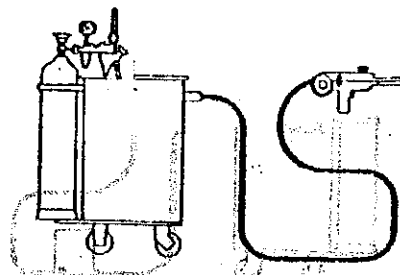


Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 5

2.3.5 Equipo de carrete pequeño

Carrete de alambre y accionamiento de avance de alambre en el mismo soplete de soldar. (Micro-wire). Este equipo es muy preferido para la soldadura de aluminio. (29)

Figura 28. Equipo de carrete pequeño



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 6

2.4 Suministro de gases

Al soldar con el procedimiento MAG se usa casi siempre CO_2 y gases mezclados a base de 82% de argón y 18% de anhídrido carbónico.

El CO es sin duda el gas protector más barato. Su costo al comparar un trabajo igual, haciéndolo una vez con CO_2 y una vez con gas mixto es casi un 50% mas económico que el gas CO_2 .

Para soldar aceros de alta aleación, se utiliza una mezcla de gases como Ar/O_2 ó Ar/CO_2 y para soldaduras con materiales de aceros no aleados y de baja aleación se recomienda utilizar lo siguiente: Ar/CO_2 , $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{O}_2$ y dióxido de carbono (CO_2).

Las funciones de los gases protectores son los siguientes:

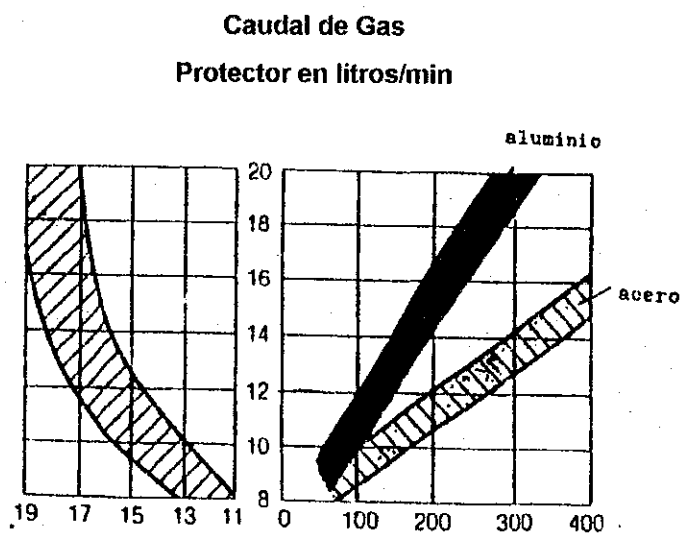
- a) Ionizar la zona del arco y, con ello,
- b) Estabilizar el arco.
- c) Proteger el metal depositado de la influencia del aire.

Al utilizar el proceso de soldadura MIG, se utiliza helio, argón o una mezcla de argón/helio en lo que respecta a la soldadura de metales no ferrosos.

La cantidad correcta de gas protector y un flujo uniforme del gas protector sobre la zona de la soldadura son condiciones previas para que el baño de fusión quede suficientemente protegido contra el aire. Si la protección por el gas no es suficiente, podrán producirse poros en la costura soldada por la entrada de aire al baño de fusión. Con demasiada cantidad de gas protector se destruye el abrigo de gas protector por turbulencias y así también entra aire al baño de fusión y produce poros.

Para obtener la cantidad de gas adecuado para una buena soldadura se regula, dependiendo del diámetro de la boquilla de gas y según la cantidad de la corriente usada al soldar, utilizando el diagrama de la figura 29.(30)

Figura 29. Diagrama para la determinación exacta del caudal necesario de gas protector



**Diámetro de la
Boquilla de gas en mm.**

**Intensidad de Corriente
En Amperios.**

Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 9

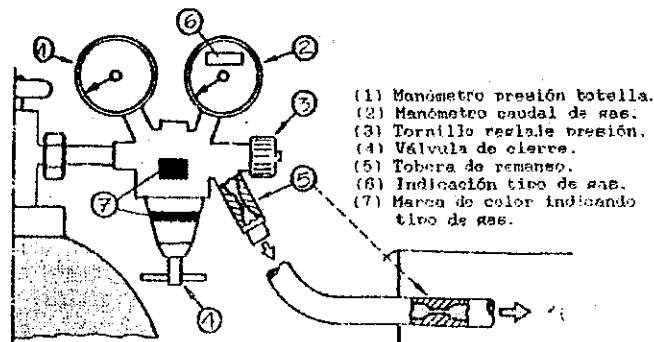
En la práctica generalmente se usa la fórmula aproximada:

$$\text{Caudal de gas en lts/min.} = 10 \times \text{diámetro del alambre en mm.}$$

Para el suministro de gas protector en la soldadura GMAW, se utiliza el indicador de caudal, regulando la presión del gas y funciona de la siguiente manera:

Una tobera calibrada de remanso en la alimentación de gas protector limita la sección de paso; con ello, el caudal de paso depende de la presión del gas. La tobera de remanso se encuentra dentro del manorreductor o en la conducción de gas protector de la pistola de soldadura. Con el tornillo de reglaje de presión se ajusta la presión del gas; el manómetro de caudal de gas indica en lts/min., el volumen de paso de gas correspondiente a la presión.(30)

Figura 30. Reglaje e indicación del caudal de gas protector, con manómetro



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 11

Los colores que se utilizan para representar los gases en las botellas son:

Argón = Gris.

Helio = Marrón.

CO₂ = Verde claro

O₂ = Verde

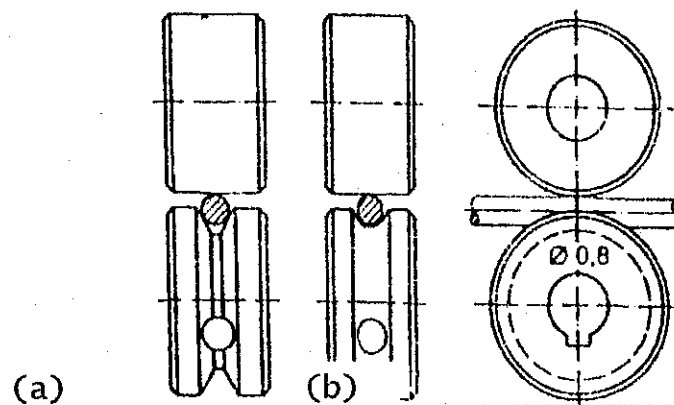
2.5 Mecanismo alineador de alambre

En el proceso de soldadura GMAW, se emplea un mecanismo alineador de alambre, que alimenta constantemente del material de aporte en el momento de realizar trabajos de soldadura, por lo cual se necesitan varios elementos que nos facilitan la conducción del alambre o hilo desde la bobina del material de aporte hasta la boquilla de la pistola de soldadura.

La bobina de electrodo de hilo, se monta sobre un eje en donde esta bobina gira libremente, el electrodo de hilo, se conduce dentro de una boquilla de alimentación, que lo alinea entre dos rodillos, donde el electrodo de hilo es sujetado entre el rodillo de presión y el rodillo de arrastre de hilo, que lo impulsa por medio de un motor eléctrico que le transmite el movimiento al rodillo de arrastre de hilo (dependiendo del ajuste de velocidad de alambre que se le ha dado a la máquina de soldar) hacia la boquilla de entrega de hilo, el cual pasa al conducto dentro de la manguera hasta la boquilla de la pistola de soldadura.

El rodillo de arrastre de hilo, debe elegirse según el diámetro del electrodo de hilo; de lo contrario se producirían perturbaciones del arrastre de hilo. Este rodillo, viene con diferentes ranuras, dependiendo del material a soldar, el rodillo de arrastre de hilo con ranura cónica, se emplea normalmente para electrodos de alambre de acero, y los rodillos con ranura redonda para electrodos de alambre de aluminio. En la figura 31 se representan los tipos de rodillos.

Figura 31. Tipos de rodillos



- a) Rodillo con ranura cónica
- b) Rodillo con ranura redonda

Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 39

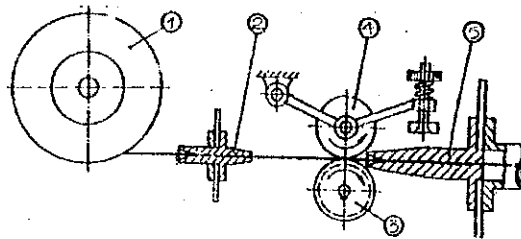
Los dispositivos de arrastre de hilo, que se utilizan en el proceso de soldadura GMAW, se obtienen en tres sistemas diferentes, los cuales son:

Dispositivos de arrastre de hilo de:

- a) dos rodillos.
- b) cuatro rodillos
- c) rodillos inclinados.

En las siguientes figuras se representan estos sistemas de alimentación de electrodo de alambre.(31)

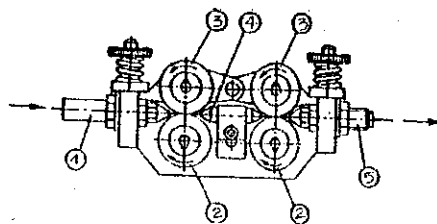
Figura 32. Dispositivo de arrastre de hilo con dos rodillos



- 1) Bobina de electrodo de hilo.
- 2) Boquilla de alimentación de hilo.
- 3) Rodillo de arrastre de hilo (impulsado).
- 4) Rodillo de presión.
- 5) Boquilla de entrega de hilo.

Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 40

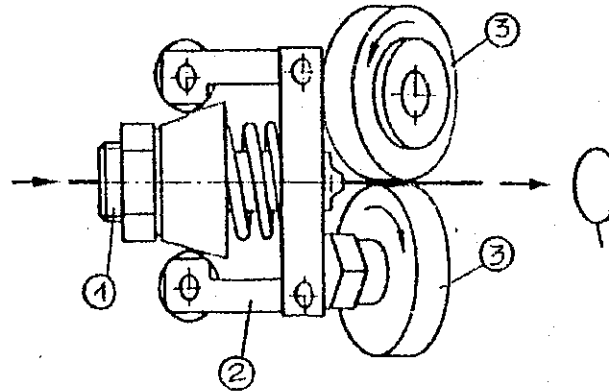
Figura 33. Dispositivo de arrastre de hilo con cuatro rodillos.



- 1) Boquilla de alimentación de hilo
- 2) Rodillo de arrastre de hilo (impulsado)
- 3) Rodillo de presión
- 4) Boquilla de guía de hilo
- 5) Boquilla de entrega de hilo

Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 41

Figura 34. Dispositivo de arrastre de hilo de rodillos inclinados.



- 1) Boquilla de alimentación de hilo
- 2) Cabezal de rodillos
- 3) Rodillo de arrastre de hilo

Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 42

2.6 Pistola para soldadura MIG-MAG

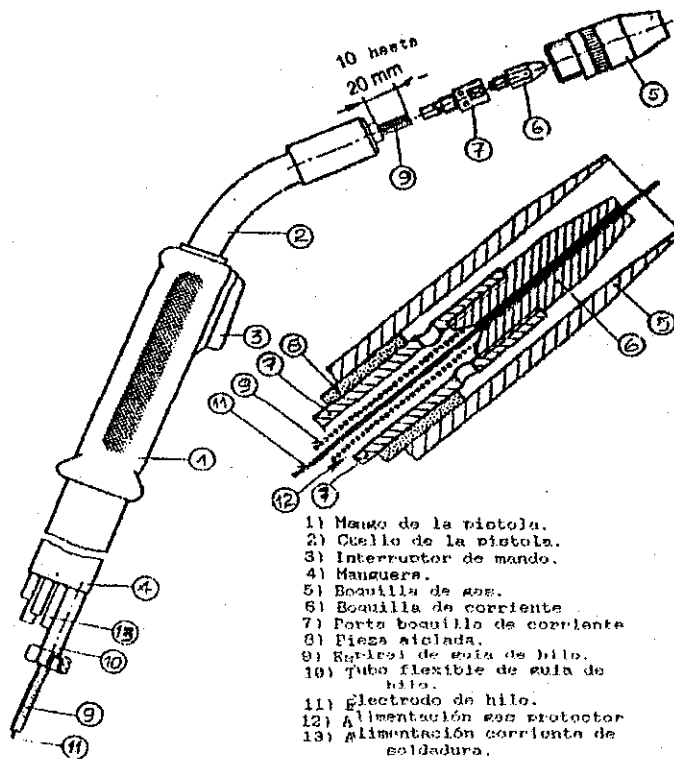
Como se ha anotado, el alambre desnudo se alimenta en forma continua y automática desde una bobina, pasando por el dispositivo de arrastre, hasta la pistola de soldadura.

La pistola de soldadura es la encargada de transmitir la corriente eléctrica al electrodo de alambre por medio de la boquilla de corriente, la cual debe elegirse conforme al diámetro del electrodo de alambre (calibre aproximado 0.2 mm mayor que el diámetro del alambre). Para ello el diámetro del electrodo de alambre correspondiente va grabado en la boquilla de corriente, y suministrarle por medio de los conductos el gas de protección para la soldadura evitando así que exista contacto con el aire. También es la encargada de activar y desactivar el funcionamiento por medio de un interruptor de mando.

Dependiendo de la corriente de soldadura, existen pistolas refrigeradas por gas si la corriente es hasta 250 A., y pistolas refrigeradas por agua si la corriente de soldadura esta arriba de 250 A.(32)

La pistola de soldadura en el proceso GMAW, tiene los siguientes componentes y se representa en la figura 35.

Figura 35. Pistola de soldadura GMAW refrigerada con gas



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG, p. 46

La forma de operar con la pistola de soldadura y la manguera es la siguiente:

- ⊕ Apretar herméticos y fijos los empalmes en la máquina de soldadura.
- ⊕ Ajustar la boquilla de corriente y la espiral de guía de hilo al diámetro del electrodo de hilo.
- ⊕ Enroscar bien la boquilla de corriente.
- ⊕ No doblar la manguera.
- ⊕ Usar una manguera lo más corta posible.

Para conservar la pistola y la manguera se requiere de:

- ➔ Con regularidad y cuidadosamente, limpiar la boquilla de gas y el porta boquilla de las salpicaduras de soldadura.
- ➔ Pulverizar la boquilla de gas y el porta boquilla con un agente separador.
- ➔ Con regularidad, limpiar la espiral de guía de hilo, soplando, de polvo de abrasión.(31)

2.7 Sistema de enfriamiento

En el proceso de soldadura GMAW, la pistola de soldadura tiene que enfriarse por la cantidad de radiación de calor que se transmite por medio de la corriente de soldadura, ya que sin algún sistema de enfriamiento, la pistola se calentará y los elementos de los cuales esta construida la pistola se fundirán y se

pegarán con el electrodo de alambre, y se puede llegar a deteriorar la pistola y quedaría inservible. Para evitar todo esto, se utilizan dos sistemas de enfriamiento, dependiendo de la corriente de soldadura.

Cuando la corriente de soldadura es hasta de 250 A., se utilizan pistolas de soldadura refrigeradas por gas, el cual tiene los siguientes elementos:

- Tubo flexible de guía de hilo con espiral de guía de hilo.
- Alimentación de gas protector con conductor interior de alimentación de corriente.
- Cable de mando.

Cuando se utiliza corriente de soldadura arriba de los 250 A., se presta mejor para un buen funcionamiento, la pistola refrigerada por agua, la cual incluye los siguientes elementos:

- Llegada de agua.
- Retorno de agua con conductor interior de alimentación de corriente.
- Tubo flexible de guía de hilo con espiral de guía de hilo.
- Alimentación de gas protector.
- Cable de mando.

En este sistema de enfriamiento por agua, tiene un deposito en donde se debe de mantener el agua desmineralizada en su nivel máximo, luego tiene un radiador, en el cual el agua caliente pasa por este y enfriada por medio de una corriente de aire que es producida por un ventilador que esta directo al radiador,

luego el agua pasa hacia el conducto de la pistola por medio de una bomba eléctrica, y al calentarse la pistola, el agua absorbe todo el calor y se conduce al radiador para comenzar a través el ciclo de enfriamiento.(31)

2.8 Características eléctricas

Para la soldadura MIG-MAG con electrodo de alambre continuo se necesita equipos con corriente continua, con una línea de característica constante a la tensión. Con avance constante del alambre, el amperaje varía fuertemente al variar la longitud del arco, restableciéndose con ello la longitud original del arco. Lo más usado para estos equipos es el rectificador con graduación de las tensiones sobre las líneas de característica constante por intermedio de interruptores de escala para la graduación gruesa y fina.

A las fuentes de corriente para soldadura hay que presentar una serie de requerimientos, tal como:

- 1) Ajuste de la corriente en los pasos finos.
- 2) Voltaje en vacío suficientemente alto para cebado del arco, a prueba de cortocircuito.
- 3) Reacción rápida a los cambios en el arco, es decir, adaptación sin inercia a los valores de soldadura ajustados al variar el arco.

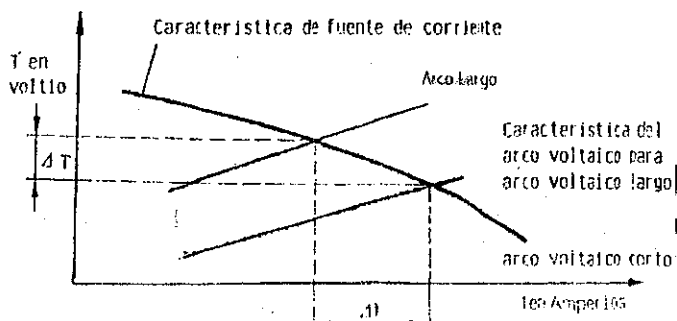
La ley de Ohm expresa la relación entre amperaje, voltaje y resistencia en un circuito eléctrico. Si se conocen dos de las tres magnitudes (amperaje, voltaje y resistencia), entonces se puede calcular la tercera. La ley de Ohm se aplica en tres formas:

$$I=U/R \quad U=I.R \quad R=U/I$$

de donde: I=amperaje, U=voltaje y R=resistencia.

La relación entre voltaje y amperaje con resistencia constante se pueden representar también gráficamente en el diagrama U-I. La resistencia se representa como una línea recta, como "recta de resistencia". En la soldadura, el arco representa una resistencia que varía al variar la longitud del arco. Con arco largo, la línea característica "se desplaza" hacia arriba; y con arco corto, hacia abajo. En la figura 36, se representa una gráfica U-I que representa el comportamiento de la fuente de corriente continua con línea característica constante, y la variación del voltaje y el amperaje al variar la longitud del arco.(33)

Figura 36. Gráfica U-I en la soldadura de arco protegido MIG-MAG



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas protector MIG-MAG, p.31

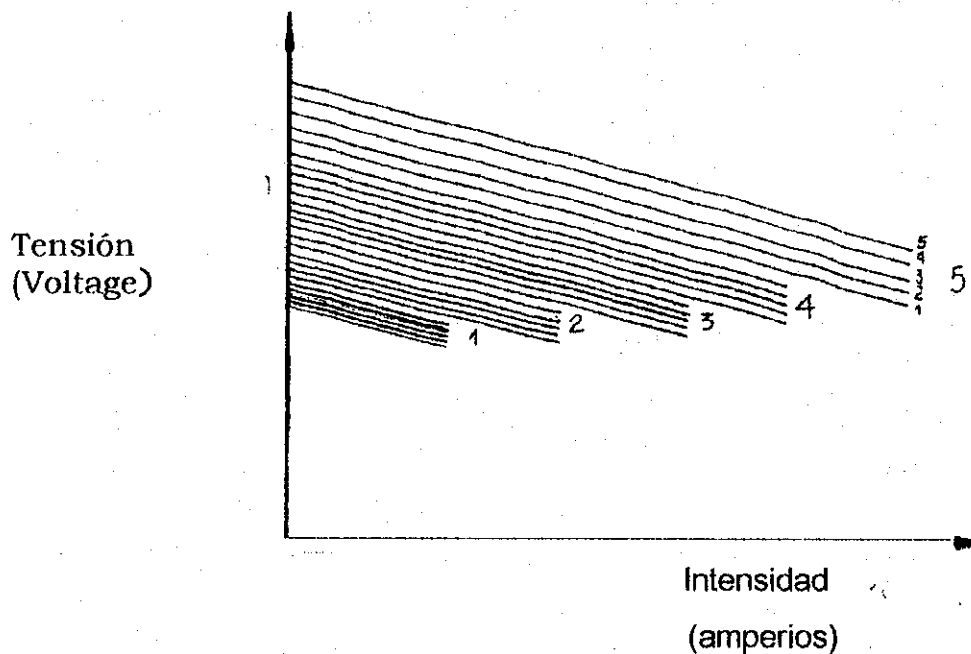
Para graduar el equipo por selección de una escala gruesa y fina de las líneas de característica se gradúa la tensión (el voltaje) del equipo y por intermedio de la graduación de la velocidad del suministro de alambre (el amperaje) se busca el punto de trabajo más adecuado (ideal). Este punto más adecuado se reconoce por intermedio del sonido del arco (el arco debe quemarse tranquilo y proporcionado). En el cruce de la línea de característica de la máquina con la línea de característica del arco queda el punto de trabajo (por intermedio de los valores de corriente/tensión).

Respecto de la selección de la línea de característica en la gráfica de la figura 37 se pueden ver las diferentes posibilidades del cambio de graduación de tensiones, por intermedio de interruptores en el mismo equipo. Así que, con estos cambios se efectúa únicamente el cambio de tensiones. La corriente se gradúa por intermedio del avance de alambre.

En la gráfica de la figura 38 se ve puesto sobre las líneas de características estáticas los puntos de trabajo más adecuados "A" y además están puestos los puntos a, b, c, y d. Desde un punto de trabajo A1 hasta los puntos a, b, c y d, existe la posibilidad de efectuar la soldadura. Una graduación más alta de la línea característica de la máquina (del equipo) efectúa un giro del punto de abajo A1 hasta el punto c. Una graduación más baja de la línea característica efectúa un giro del punto de trabajo A1 hasta el punto d. Con estos cambios la graduación de la corriente se queda constantemente, mientras la graduación de la tensión esta variando.

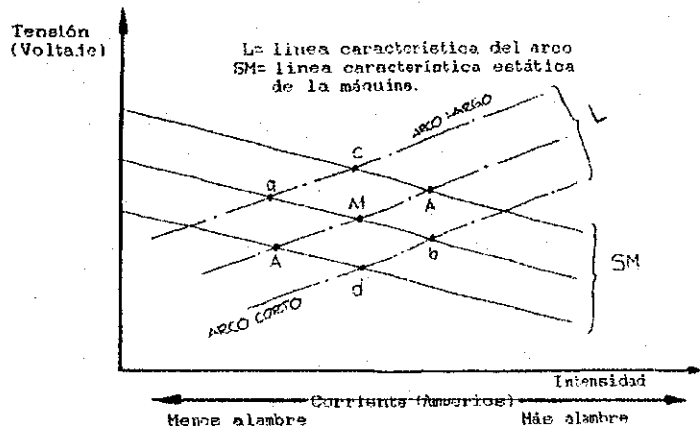
Por su parte en la selección de la velocidad de avance de alambre, un cambio del avance de alambre resulta un giro del punto A sobre la línea característica estática de la máquina. Por intermedio de graduación, menos avance de alambre, camina el punto A1 hacia el punto a (arco largo). Por intermedio de graduación más avance de alambre se mueve el punto A1 hacia el punto b (arco corto). Con estos cambios de la velocidad de avance de alambre resulta un cambio de la corriente y de la tensión.(33)

Figura 37. Esquema de líneas de característica constante y estática del equipo MIG-MAG con cinco escalas gruesas y cinco escalas finas.



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas protector MIG-MAG, p.32

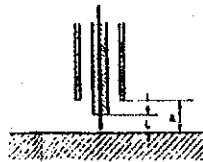
Figura 38. Esquema de líneas característica constante estática de la máquina y líneas características constantes del arco



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas protector MIG-MAG, p.33

Respecto a la longitud libre del electrodo de alambre, como longitud libre del electrodo de alambre se entiende por el alambre desde la boquilla de llegada de corriente hasta el comienzo del arco voltaico. Esta longitud libre tiene también una gran influencia al procedimiento de la soldadura MIG-MAG. Porque esta longitud libre conduce toda la corriente eléctrica para la soldadura. Un avance del alambre constante, significa entonces un alargamiento de la longitud libre del alambre, también una disminución de la intensidad a soldar. Por esta razón es necesario que se mantenga una longitud libre del alambre constante. Esto se demuestra en las figuras 39 y 40.(33)

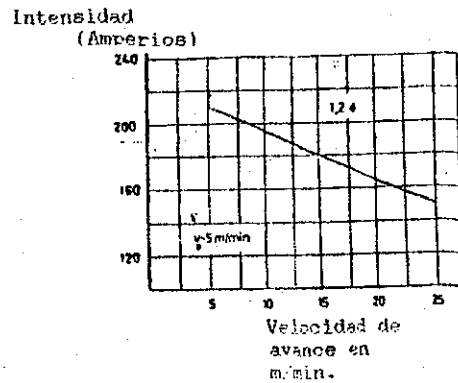
Figura 39. Longitud libre del electrodo de alambre



L= longitud libre del electrodo de alambre.
 A= Distancia entre boquilla de gas y pieza.

Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas protector MIG-MAG, p.34

Figura 40. Gráfica intensidad vrs. velocidad

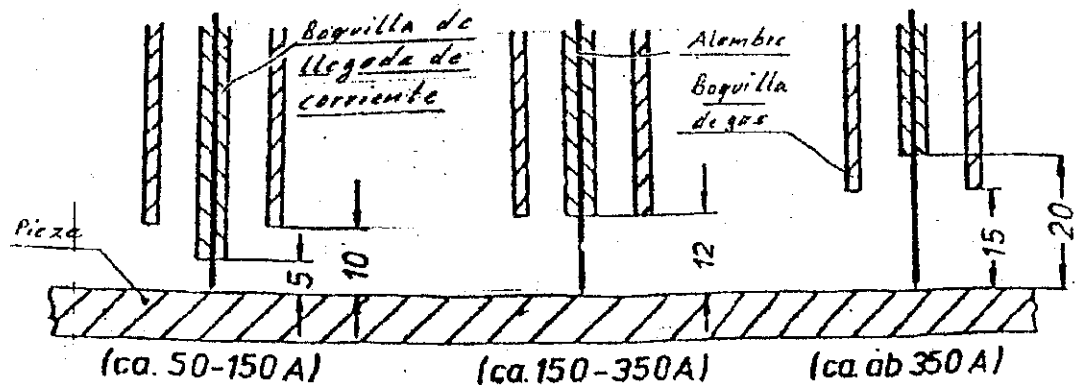


2.9 Técnicas de soldeo del acero al carbono

Es muy importante saber la posición de la boquilla de llegada de corriente en relación con la boquilla del gas protector, con diferentes intensidades:

- ✦ Soldando con una intensidad baja, entre 50-150 A, la boquilla de llegada de corriente sobresale 5 mm de la boquilla del gas protector.
- ✦ Soldando con una intensidad media entre 150-350 A, la boquilla de llegada de corriente queda en la misma altura con la boquilla del gas protector.
- ✦ Soldando con una intensidad elevada, mayor de 350 A, la boquilla del gas protector, sobresale 5 mm de la boquilla de llegada de corriente. Tal como se muestra en la figura 41.(34)

Figura 41. Esquema de distancias de la boquilla de gas protector en relación a la boquilla de llegada de corriente



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas protector MIG-MAG, p. 50

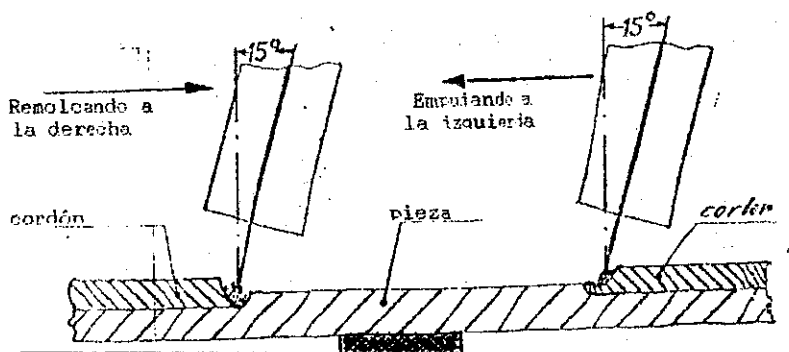
Algo muy importante en la soldadura con arco protegido es la forma de la maniobra del soplete, soldando EMPUJANDO o REMOLCANDO. Para esto están las siguientes recomendaciones:

- a) Posición del soplete con la inclinación de éste en dirección o contra la dirección de la soldadura, se influye en la forma del cordón y la penetración del arco en la pieza.

Soldando en forma REMOLCANDO, la presión del arco voltaico rechaza el baño de fusión. Entonces el arco tiene mayor posibilidad de penetración a la pieza. Se obtienen cordones angostos y altos. Preferido para la soldadura de relleno y cordones de finalización.

Soldando en forma EMPUJANDO, la presión del arco voltaico esta adelantando el baño de fusión. Entonces el baño de fusión se forma más grande y la penetración a la pieza queda menos profunda. La soldadura EMPUJANDO tiene la ventaja para cerrar intersticios y para la soldadura de láminas delgadas. ver figura 42.

Figura 42. Formas de soldar empujando y remolcando



Fuente: Soldadura al arco eléctrico bajo gas protector MIG-MAG, p.52

- b) Limpieza de la pieza a soldar con el procedimiento MAG si se puede soldar uniones de soldadura sin defectos, es decir irreprochables cordones sin poros ni fisuras. Esto si es posible aún cuando la superficie de la pieza presenta pequeñas áreas de óxidos, pinturas y grasas. Todas estas partículas no deseables producen gases y con una velocidad elevada al soldar, los cordones llegan muy rápido a su estado sólido y los gases quedan encerrados como poros.

Con una velocidad baja al soldar entonces se disminuye el peligro de los poros, porque por un lado las partículas no deseables se están vaporizando ante el gran calor del arco voltaico y por otro lado el baño de fusión queda más tiempo en forma líquida y así los gases pueden salir de la fusión.

Como regla general se puede decir, que para una soldadura exitosa es muy favorable en cuanto todas las partículas no deseables sean removidas de la superficie del trabajo antes de soldar con el procedimiento por arco protegido MAG.(34)

c) El problema de las salpicaduras en la soldadura MAG por arco protegido se disminuyen, cuando:

- ◆ Para cada intensidad se selecciona la proinductividad correcta (si el equipo tiene esta posibilidad).
- ◆ Todos los valores de influencia al procedimiento MAG están en el equilibrio (voltaje, amperaje, cantidad de gas, diámetro del alambre, avance del alambre).

Las salpicaduras en la boquilla de gas y la boquilla de la llegada de corriente se disminuyen con un spray de silicon.

Otras de las técnicas de soldadura, es que las posiciones para soldar se utilizan las mismas que en el proceso de soldadura SMAW, con la diferencia de que el procedimiento MAG necesita más espacio por el diámetro de la boquilla de gas de protección, mientras que en el proceso SMAW solo se tiene el diámetro del electrodo revestido, que da la facilidad de poder soldar en partes estrechas.

Los movimientos al realizar los cordones, se utilizan también los mismos empleados en la técnica del procedimiento SMAW.

2.10 Preparación del material base

La preparación del metal base se da de acuerdo al tipo de junta a soldar, tal como junta a tope, junta de esquina, junta de traslape, junta en "T" o junta de brida, y dependiendo del espesor del material base, así se diseña la preparación de las ranuras para poder realizar la soldadura. Para ello, se dan las proporciones recomendadas de las ranuras para los diferentes tipos de juntas, en las figuras 16a, 16b y 16c (que se encuentran en el capítulo 1 en las páginas 53, 54 y 55).

2.11 Material de aporte

Los electrodos de alambre deben estar sobrealeados con manganeso y silicio, por la atmósfera oxidante del CO_2 con el calor del arco voltaico.



Las exigencias del electrodo de alambre son las siguientes:

- ☐ Diámetro muy preciso.
- ☐ Libre de grasa y de partículas no deseables.
- ☐ Capa de cobre como protección contra la corrosión y para un mejor contacto con la corriente.

Existen dos tipos de electrodo de hilo, sólidos y tubulares, los cuales tienen diferentes diámetros, para los electrodos de hilo o alambre sólidos, tenemos diámetros desde 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0, y 2.4 mm, y para los electrodos de alambre tubulares, se encuentran desde diámetros de 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 2.0, 2.4, 3.0, 3.2, y 4.0 mm.

Para soldar piezas con espesor de 1mm, se utilizan electrodos de alambre sólido de diámetro de 0.8 y 0.9 mm, para soldar piezas con espesor de 7mm, se utilizan electrodos de alambre sólido o tubular con diámetros de 1.0 y 1.2 mm y para soldar materiales con espesor de 15mm, se utilizan electrodos de alambre sólido o tubular de diámetro de 1.2, 1.4 y 1.6 mm.(34)

Según la AWS-ASTM, los electrodos de alambre para el proceso MIG-MAG, lo simbolizan con los prefijos "ER" seguidos de dos números que representan la resistencia a la tracción, luego la letra "S" o la letra "T" que representan a los tipos de electrodo de alambre, ya sea sólido o tubular, también aparece pero no siempre un número al final de la designación, que representa la composición química, esto es para aceros al carbono, por ejemplo.(35)

ER 70 S

Donde:

ER= electrodo de alambre para procedimiento MIG-MAG.

70= resistencia a la tracción. PSI.

S= electrodo de alambre sólido.

ER 70 S-3

ER= electrodo de alambre para procedimiento MIG-MAG.

70= resistencia a la tracción PSI.

S = sólido.

3 = composición química.

ER 70 T

ER= electrodo de alambre para procedimiento MIG-MAG.

70= resistencia a la tracción en PSI.

T= electrodo de alambre tubular.

Para aceros inoxidable, utiliza también los prefijos "ER", para designar que es un electrodo de alambre para el procedimiento MIG-MAG, y seguido del tipo de acero inoxidable que se soldara, por ejemplo:

ER 309-L

ER= electrodo de alambre para procedimiento MIG-MAG.

309= acero inoxidable austenítico.

L= bajo contenido de carbono.

Otros ejemplos: **ER 308-L, ER 316-L**

Para aleaciones de Níquel y Aluminio se dan los siguientes ejemplos:

ER NiCrFe-3.

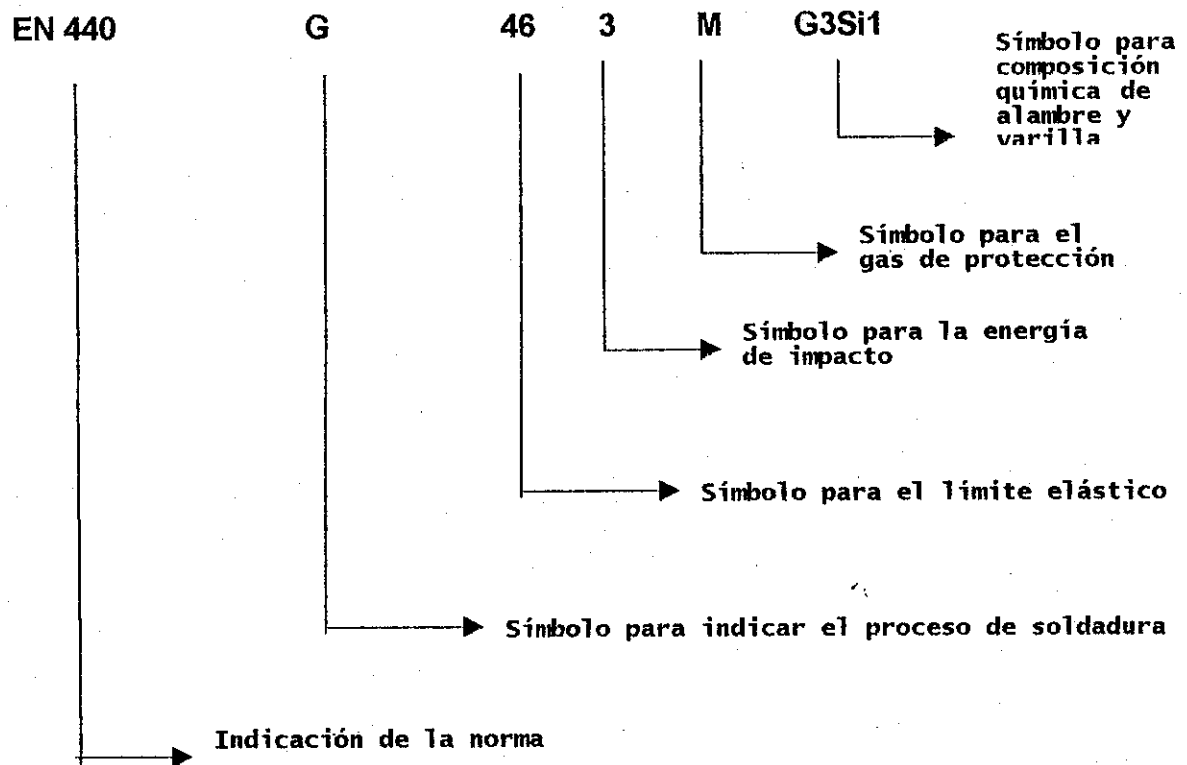
ER 4043 Aluminio al Silicio

ER NiFeCl

ER 5356 Aluminio al Manganese

En el proceso de soldadura MAG, se a designado el electrodo de alambre, según la Euro-Norma 440 que a sustituido a la Norma DIN 8559 y lo designa de la siguiente manera:

Figura 43. Ejemplo ilustrativo de euro-norma EN 440/MAG



Fuente: Ing. Luis Carlos Fábregas Peña, Red Nacional de Soldadura Colombiana, Comunicación Personal.

Figura 44. Cifras para límite elástico, resistencia a la tensión y deformación de cordones de soldadura EN 440/MAG

Cifra	Mínimo límite Elástico 1 N/mm2	Resistencia a la tensión N/mm2	Mínima deformación En fractura 2 %
35	355	440 bis 570	22
38	380	470 bis 600	20
42	420	500 bis 640	20
46	460	530 bis 680	20
50	500	560 bis 720	18

- 1) Para el límite elástico es el más bajo valor aplicado. Cuando no existe el límite elástico definido se aplica el valor de 0.2% para encontrar el límite elástico convencional.
- 2) La medida corresponde al quintuple del diámetro de la probeta.

Fuente: Ing. Luis Carlos Fábregas Peña, Red Nacional de Soldadura Colombiana, Comunicación Personal.

Figura 45. Símbolo para las propiedades de impacto de los cordones de soldadura EN 440/MAG

Letra/Cifra	Minima-Energía de Impacto 475oC
Z	Ninguna Condición
A	20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

El mínimo valor de energía de impacto, el que está ordenado e indicado con el símbolo es el valor medio de tres (3) probetas ISO-V- con eso debe ser un valor más bajo de 47J pero más alto de 32J. Es clasificado para un valor particular de temperatura.

Fuente: Ing. Luis Carlos Fábregas Peña, Red Nacional de Soldadura Colombiana Comunicación Personal.

Figura 46. Composición Química del alambre y la varilla EN 440/MAG

	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Mo%	Al%	Ti+Zr%
GO									
G2 Si	0.06-0.14	0.5-0.8	0.9-1.3	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G3 Si1	0.06-0.14	0.7-1.0	1.3-1.6	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G4 Si1	0.06-0.14	0.8-1.2	1.6-1.9	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G3 Si2	0.06-0.14	1.0-1.3	1.3-1.6	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G2 Ti	0.06-0.14	0.4-0.8	0.9-1.4	0.025	0.025	0.15	0.15	0.05-0.20	0.15
G3 Ni1	0.06-0.14	0.5-0.9	1.0-1.6	0.020	0.020	0.8-1.5	0.15	0.02	0.05-0.25
G2 Ni2	0.06-0.14	0.4-0.8	0.8-1.4	0.020	0.020	2.1-2.7	0.15	0.02	0.15
G3 Mo	0.08-0.12	0.3-0.7	0.9-1.3	0.020	0.020	0.15	0.4-0.6	0.02	0.15
G4 Mo	0.06-0.14	0.5-0.8	1.7-2.1	0.025	0.025	0.15	0.4-0.6	0.02	0.15
G2 Al	0.08-0.14	0.3-0.5	0.9-1.3	0.025	0.025	0.15	0.15	0.35-0.75	0.15

Aleación Permisible: Cr= 0.15%; V= 0.03%; Cu= 0.35% incluido cobreado.

Los valores individuales son máximo.

Fuente: Ing. Luis Carlos Fábregas Peña, Red Nacional de Soldadura Colombiana, Comunicación Personal.

2.12 Transferencias

En la soldadura MIG-MAG (GMAW), un electrodo continuo es fundido por un arco establecido entre la punta del electrodo y el material de trabajo. El electrodo fundido es transferido al charco de soldadura en una variedad de formas dependiendo de la corriente, del diámetro del electrodo, de la longitud de arco, de la potencia suministrada y del gas protector. Aquí se describen ellas:

2.12.1 Transferencia por corto circuito

En este tipo, que es la de más baja energía, la transferencia ocurre cuando la punta del electrodo realmente toca el metal fundido, pues se crea un corto circuito momentáneo, lo cual provoca un incremento en la corriente suficiente para fundir la punta del electrodo y transferirla al charco de metal fundido. El ciclo se repite por sí mismo entre 50 y 250 veces por segundo.

Debido a las bajas intensidades manejadas en este tipo de transferencia, la penetración lograda es baja lo cual es bueno para soldar metales delgados, pero debiendo tener mucha precaución para evitar faltas de fusión en materiales que exceden 1/8 pulg. (3.2 mm).

La baja entrada de calor permite un adecuado manejo del charco pudiéndose soldar en todas las posiciones. Este tipo de transferencia se puede lograr utilizando como gas de protección CO_2 o mezcla Ar- CO_2 .

2.12.2 Transferencia globular

Esta transferencia ocurre a una corriente superior respecto a la empleada en corto circuito. En este modo el metal se transfiere a través del arco en forma de gotas irregulares, que tienen entre 2 y 4 veces el diámetro del electrodo, que caen de manera irregular con una frecuencia también irregular lo cual produce salpicaduras. En muchas ocasiones es el tipo de transferencia que se presenta cuando CO₂ es el único gas protector.

2.12.3 Transferencia por aspersion (Spray)

Esta transferencia ocurre a elevadas corrientes con mezclas de gas protector ricas en argón (superiores a 80%). Las gotas formadas son pequeñas (menores al diámetro del electrodo), viéndose forzadas a cruzar el arco en sentido axial. (36)

La columna del arco se estrecha y se logra buena penetración, mayor de la que se logra en SMAW pero menor a la alcanzada con transferencia de alta energía (transferencia globular). Este tipo de transferencia produce mínimas salpicaduras y permite grandes tasas de deposición de soldadura. Únicamente es aplicable en posición plana y horizontal, y en espesores mayores a 3/8". Adicionalmente el diámetro del alambre debe ser superior a 0.035".

2.12.4 Transferencia por spray pulsante

Una fuente de poder especialmente diseñada para este proceso cambia la corriente básica de trabajo a elevados picos de corriente en cuestión de milisegundos. Este cambio de la corriente (o pulsaciones) crea una condición de arco muy estable. El metal es transferido solamente cuando la corriente es alta (se logra una transferencia de tipo spray), mientras que la corriente baja mantiene estable el arco.

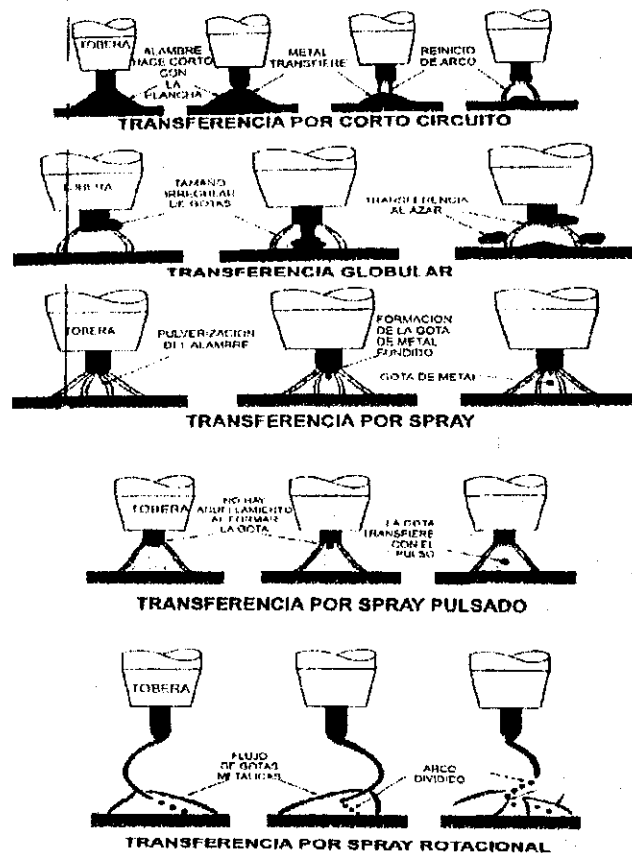
El metal fundido es transferido en finas gotas, muy similar a las formadas en la transferencia por spray, produciendo mínimas salpicaduras. Teóricamente, una gota es transferida con cada pulso. El proceso ofrece las ventajas de la transferencia por aspersión, pero el metal fundido no es completamente fluido. Esto permite el control del charco lo cual permite su empleo en cualquier posición.

2.12.5 Transferencia por aspersión rotacional

Esta transferencia ocurre cuando un alambre sólido es usado con una gran extensión de electrodo, de 7/8 a 1 1/2 pulg. (de 22 a 38 mm) y el gas protector es una mezcla de argón-dióxido de carbono-oxígeno o argón-oxígeno. La gran longitud del electrodo crea una resistencia que causa que el extremo del electrodo se caliente y funda. Las fuerzas electromecánicas hacen que la punta fundida del electrodo rote con una trayectoria helicoidal.

Las mezclas de gas protector afectan la tensión superficial del extremo fundido ayudando a una transferencia rotacional. Son alcanzables con este modo de transferencia tasas de deposición de 9 a 15 Kg./h. El fenómeno rotacional será inhibido con una alta conductividad térmica en el gas protector y un incremento en la tensión superficial del extremo del electrodo fundido. Esto puede ocurrir cuando la mezcla de gas es alta en CO₂ o si helio es incorporado a la mezcla. Esta condición aumentará el tamaño de las gotas y disminuirá la tasa de deposición. Los modos de transferencia se representan en la figura 47.(36)

Figura 47. Modos de transferencia en GMAW (MIG-MAG)





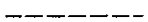
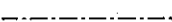


Fuente: Modos de transferencia en GMAW (MIG-MAG), p. 5

3. INTERPRETACIÓN DE PLANOS

3.1 Revisión y unificación de conceptos para interpretar planos

3.1.1 Normalización

Los diferentes tipos de líneas que existen en el dibujo, son de mucha importancia conocerlos según su aplicación para poder interpretar los planos, ya que cada tipo de línea, nos representa información valiosa dentro de un diseño de alguna estructura o sistema mecánico a demostrar para su fabricación. De acuerdo con las Normas ISO (Organización Internacional de Estandarización) representaremos los siguientes tipos de líneas y sus aplicaciones:

NOMBRE	FORMA	ESPESOR (mm)	APLICACIONES
Continua		Gruesa 0.5 0.7 1.0	-Aristas y contornos visibles
		Fina 0.25 0.35 0.5	-Líneas de cota, rayado de sección en los cortes, superficie plana.
A trazos cortos		trazo= 4mm espacio=1mm 0.35 0.5 0.7	-Aristas ocultas.
De trazo largo y puntos.		Delgada 10mm espacio 1mm 0.25 0.35 0.5	-Línea de eje, centro y simetría.
		Extra gruesa trazo= 7mm espacio= 1mm 0.7 1.0 1.2	-Línea de plano de corte.
A pulso.		Delgada 0.25 0.35 0.5	-Rupturas cortas y cortes parciales.

En dibujos grandes, se prefieren las líneas de rotura espesores de 0,7-0.5-0.35. En hojas A4 se usan frecuentemente los espesores 0.5-0.35-0.25. Así se hacen más claros los dibujos. (37)

Otras posibilidades de uso son:

- Línea continua gruesa: costura de soldadura, símbolo de soldadura moletiado.
- Línea continua delgada: línea de referencia, aristas de doble, cortes.
- Línea extra gruesa de trazos y puntos: caracterización de dureza limitada.
- Línea delgada de trazo y punto: sectores de engranajes, perforación circular, líneas de extensión.

Los formatos que se utilizan en el dibujo para planos, están diseñados en diferentes tamaños, y están normalizados de acuerdo a las siguientes designaciones y medidas:

- 0 A0 841 x 1189 mm 1 m²
- 1 A1 594 x 841 mm 1/2 m²
- 2 A2 420 x 594 mm 1/4 m²
- 3 A3 297 x 420 mm 1/8 m²
- 4 A4 210 x 297 mm 1/16 m²
- 5 A5 148 x 210 mm 1/32 m²

Por otra parte, las características más importantes de la escritura en dibujos técnicos son:

- ◆ Legibilidad.
- ◆ Uniformidad.
- ◆ Adecuada para microfotos.
- ◆ Reproducible con diferentes sistemas.

Las letras se escriben en forma vertical o en forma inclinada (a 75 grados).

El tamaño de las letras mayúsculas está entre 2.5-3.5-5-7-10-14-20 mm, si se toma como base las letras mayúsculas con un tamaño de 10mm las letras minúsculas y los espacios quedarían como:

Mayúsculas=10/10 minúsculas=7/10 espacio=3/10

La separación entre palabras es de dos espacios.(37)

1. INCLINADAS. 75°
2. VERTICALES. 90°

1. INCLINADAS.

ABCDEFGHIJKLMN OPQRSTUVWXYZ 0123456789
abcdefghijklmno pqrstuvwxyz

2. VERTICALES.

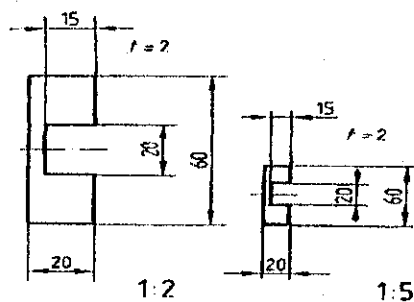
ABCDEFGHIJKLMN OPQRSTUVWXYZ 0123456789
abcdefghijklmno pqrstuvwxyz

Respecto a las escalas, algunas piezas son tan grandes o tan pequeñas que resulta difícil representarlas en su dimensión real. Por ello, se les representa más pequeñas o más grandes. En la acotación deben darse siempre las medidas reales de la pieza.(37)

Ejemplos de escalas normalizadas usuales:

Tamaño natural:	1:1	
Ampliaciones:	2:1	10:1
	5:1	20:1
Reducciones:	1:2	1:100
	1:5	1:200
	1:10	1:500
	1:20	1:1000
	1:50	1:2000

Figura 48. Ejemplos de escalas normalizadas



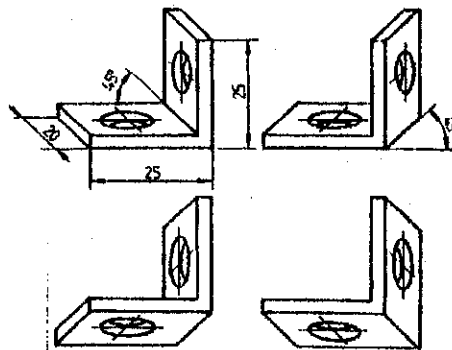
Fuente: D.Lutjen-J.Ross, Dibujo técnico para la industria, p. 10

3.1.2 Proyecciones paralelas

Se llaman así porque las aristas de enfrente se dibujan en forma paralela. Estas proyecciones muestran tres vistas de una pieza. Entre las proyecciones paralelas están:

1.- Proyección caballera es una proyección no normalizada. Es la manera más simple de representar una pieza en tres dimensiones. La vista de frente se dibuja en escala, las aristas que dan la profundidad se reducen a la mitad y se dibujan a 45 grados. De las cuatro perspectivas posibles debe preferirse la primera. Esta muestra la pieza en vista de frente, superior y lateral izquierda. Figura 49.

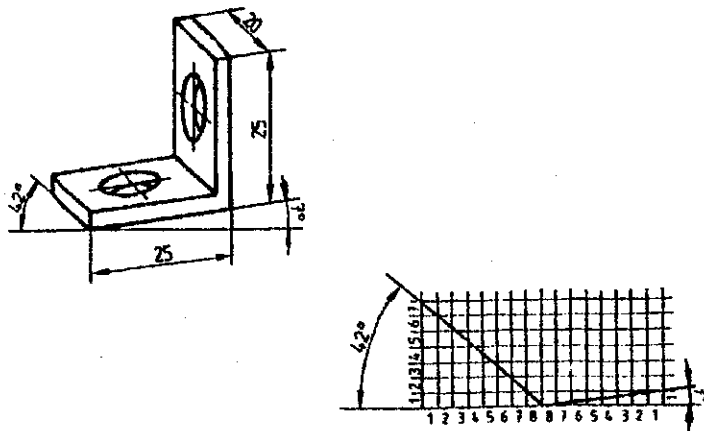
Figura 49. Proyección caballera.



Fuente: D. Lutjen-J.Ross, Dibujo técnico para la industria, p.10

2.- Proyección dimétrica según DIN 5: en la perspectiva dimétrica las aristas horizontales de la vista de frente se dibujan con una inclinación de 7 grados. Las aristas que dan la profundidad se reducen a la mitad y se dibujan a 42 grados. Los círculos aparecen como elipses en la vista superior y lateral. El dibujo exacto de una proyección dimétrica según DIN 5 sólo es posible sirviéndose de un ángulo de perspectiva. Figura 50. (38)

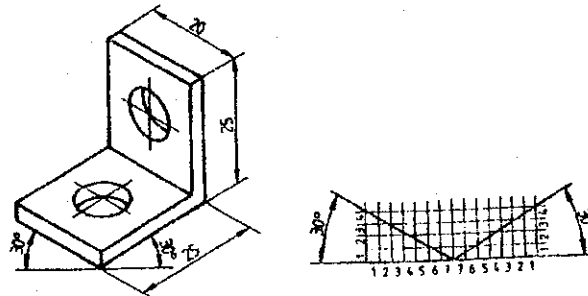
Figura 50. Proyección dimétrica.



Fuente: D. Lutjen-J.Ross, Dibujo técnico para la industria, p.10

3.- Proyección isométrica según DIN 5 en ésta se dibuja todas las longitudes en escala. Las aristas de la vista de frente se dibujan a 30 grados. Las aristas que dan la profundidad se dibujan (sin reducir) también en un ángulo de 30 grados. Para ello se usa la escuadra con ángulo de 30 grados. Los círculos se representan como elipses en las tres vistas, figura 51.

Figura 51. Proyección isométrica.



Fuente: D. Lutjen-J.Ross, Dibujo técnico para la industria, p.10

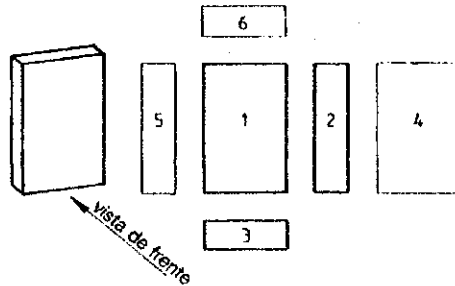
El dibujo técnico muestra los planos de una pieza. Un prisma rectangular simple tiene seis vistas.

- 1) Vista de frente.
- 2) Vista lateral izquierda.
- 3) Vista superior.
- 4) Vista posterior.
- 5) Vista lateral derecha.
- 6) Vista inferior.

Como siempre dos vistas son idénticas, se dibujan sólo:

- 1) La vista de frente
- 2) La vista lateral izquierda
- 3) La vista superior.

Figura 52. Planos de un prisma



Fuente: D. Luljen-J.Ross, Dibujo técnico para la industria, p.11

Se elige como vista de frente, la vista que mejor permite reconocer la forma de la pieza. La vista de frente contiene todos los planos (aristas, ángulos) visibles de frente. La vista lateral izquierda contiene todos los planos visibles desde la izquierda. La vista superior contiene todos los planos visibles desde arriba.

Existen ciertas relaciones entre los planos dibujados de una pieza.

- a) altura de vista de frente = altura vista lateral
- b) ancho de vista de frente = ancho vista superior
- c) altura de vista superior = ancho de vista lateral

La caja transparente desarrollada en la figura 54., muestra cómo corresponden las vistas:

- ⊕ La vista lateral izquierda está siempre a la derecha de la vista de frente.
- ⊕ La vista superior está siempre debajo de la vista de frente.

Los espacios entre la vista lateral y la superior respecto a la vista de frente deben ser de 20 mm. Cuando se trata de piezas con muchas cotas, se debe aumentar los espacios.

NOTA: para pasar de la vista de frente a la vista lateral debe girarse la pieza en 90 grados hacia la derecha. Para girar de la vista de frente a la vista superior debe girarse la pieza 90 grados hacia abajo, estas vistas en un plano, como aparece en la caja transparente desarrollada se le llama proyección ortogonal, según la norma DIN. Figura 54. (38)

Figura 53. La caja transparente.

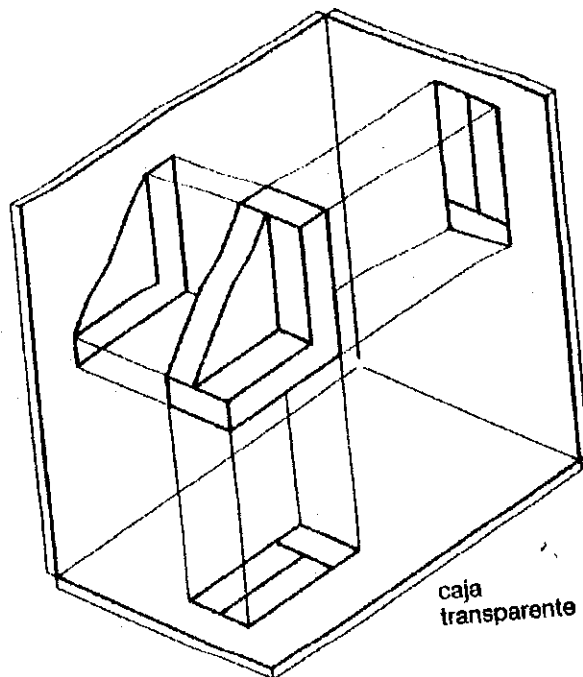
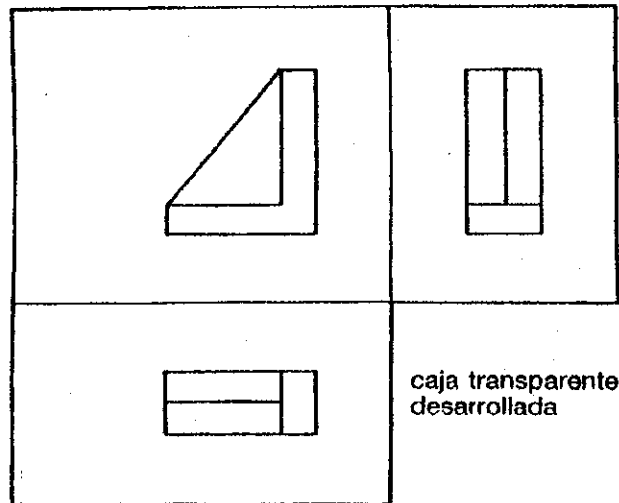


Figura 54. Caja transparente desarrollada, proyección ortogonal.



Fuente: D.Lutjen-J. Ross, Dibujo técnico para la industria, p. 11

3.1.3 Acotado y secciones

Para acotar piezas angulares planas se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

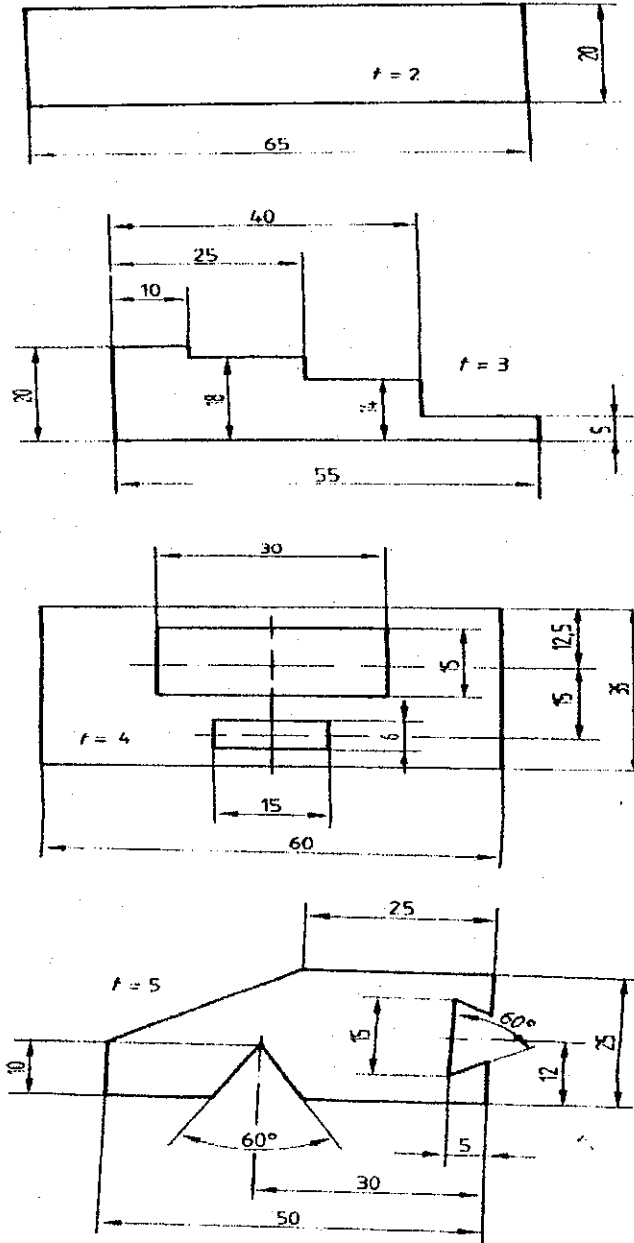
1. Las líneas de cota se dibujan con líneas continuas finas paralelas y a unos 10 mm del borde de la pieza. De tal manera no se interrumpe la representación de la pieza.
2. La distancia entre líneas paralelas de cota es de unos 7 mm.
3. Las líneas auxiliares de cota comienzan en las aristas y sobrepasan a las puntas de las flechas de cota 1 a 2 mm.

4. Las cifras de cota se colocan sobre las líneas continuas de tal manera que permitan su lectura desde abajo y desde la derecha. El dibujo debe sostenerse en la dirección de la escritura.
5. Las cotas se dan en milímetros, anotando sólo las cifras de cota.
6. Si hay aristas paralelas de igual longitud, se acota solo una arista.
7. La acotación se efectúa partiendo desde la arista de referencia.
8. La cota menor está más próxima a la pieza.
9. Cotas totales (ancho total, altura total, etc.) se anotan siempre.
10. Las medidas obvias no se acotan.
11. Las líneas de cota no deben cruzarse entre sí, ni con otras líneas.
12. En medidas menores a 10 mm se ubican las flechas desde afuera.(39)
13. Las líneas de eje sobrepasan 2 mm las partes simétricas de la pieza.
14. Las líneas de eje que se cortan forman una cruz de trazos.
15. Las líneas de eje como líneas de referencia determinan el orden de las cotas (ver las cotas horizontales 15 y 30).

16. Una línea de eje y su prolongación puede ser también líneas auxiliares de cota (ver las líneas de eje horizontal).
17. Las cifras de cota se colocan junto a la línea de ejes. Si falta espacio se interrumpe la línea de eje.
18. Por lo general, las aristas oblicuas no se acotan directamente, pues su longitud se deduce por sí sola cuando se trazan las aristas de referencia.
19. Los ángulos se dan en grados. La línea de cota es un arco.
20. Cuando se trata de piezas planas (por ejemplo chapas) se anota el espesor t en el plano dibujado o al lado del dibujo, si falta espacio (por ejemplo, $t=5$).

En la siguiente figura, se dan estas condiciones.

Figura 55. Cotas en piezas angulares planas.



Fuente: D.Lutjen-J. Ross, Dibujo técnico para la industria, p. 8

Para acotar piezas planas con agujeros y curvaturas, hacemos uso de las siguientes condiciones:

1. Los agujeros se dibujan con una cruz de líneas que marca el centro.
2. El diámetro de los agujeros puede indicarse de la siguiente manera:
 - ↪ Si hay espacio suficiente, la línea de cota cruza el centro (diámetros 12 y 20).
 - ↪ Si falta espacio, se extrae el diámetro con líneas auxiliares. Entonces se coloca la acotación fuera del círculo, sobre la línea de cota (diámetros 7 y 10).
 - ↪ En agujeros muy pequeños se pone la cota fuera del círculo, sobre la línea de cota (diámetros 2 y 3.5).
3. Las curvaturas son generalmente arcos de circunferencia. Para acotar se indica el radio. A la cota se antepone siempre una R.(39)
4. El centro puede indicarse por medio de dos ejes o con una línea corta que cruza el eje.
5. La línea de cota parte del centro. Se dibuja sólo una flecha de cota hacia el arco.
6. En curvaturas pequeñas se puede dibujar la flecha de cota desde afuera hacia el arco.

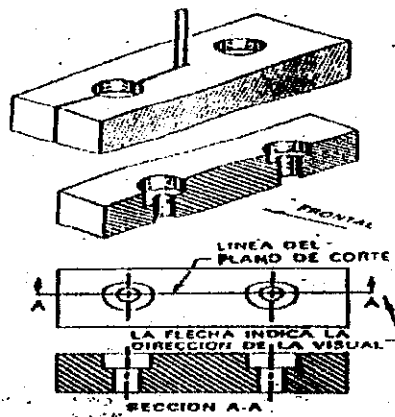
3.1.4 Secciones

Las vistas en sección, llamadas comúnmente secciones, se utilizan para mostrar detalles interiores que resultan demasiado difíciles de representar mediante el empleo de vistas exteriores y líneas ocultas. En dibujos de montajes sirven también para indicar una diferencia en los materiales. Una vista en sección se obtiene suponiendo que la porción del objeto más cercana al observador se corta o se desprende por medio de un plano de corte imaginario.

Las superficies expuestas o cortadas se identifican por medio de un rayado o asurado. Las líneas ocultas y los detalles que quedan atrás de la línea de plano de corte generalmente se omiten, a menos que se necesiten para proporcionar mayor claridad o para fines de acotado. Debe aclararse que únicamente en la vista en sección se puede mostrar una parte del objeto como si hubiera sido separada.

Con frecuencia una vista en sección reemplaza una de las vistas ordinarias. Por ejemplo, la vista frontal común se reemplaza por una vista frontal en sección, como se ilustra en la figura 57.

Figura 57. Vista en sección.



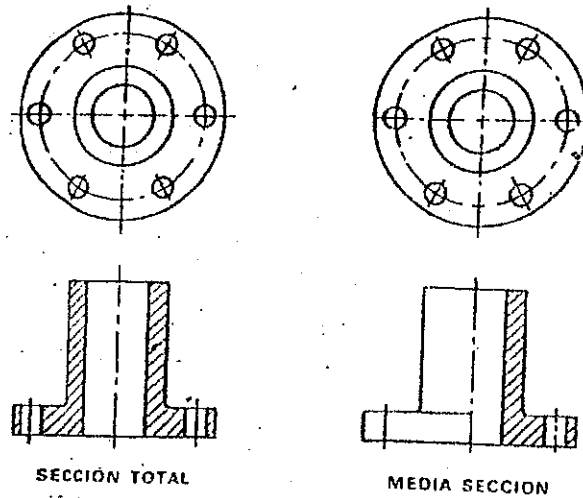
Fuente: Dibujo técnico mecánico, p. 23

3.1.4.1 Tipos de secciones

- a) Secciones totales: cuando el plano de corte se extiende en línea recta a través de todo el objeto y teóricamente se retira la parte frontal del objeto, se obtiene una sección total. Este tipo de sección se utiliza tanto para dibujos de detalle como para dibujos de montaje. Cuando el corte coincide con un eje de simetría, no es necesario indicar su colocación, pero, si se desea, se puede identificar en la forma usual para aumentar la calidad.
- b) Medias secciones: un montaje o un objeto simétrico pueden dibujarse en media sección, mostrando una mitad (hasta el eje de simetría) en sección y la otra mitad en vista común. Entre las porciones seccionadas y no seccionada se emplea una línea de eje corriente.

No se acostumbra dibujar en media sección cuando se necesita acotar diámetros interiores, con el fin de evitar el empleo de líneas ocultas en la porción que muestra los detalles exteriores. Este tipo de sección se utiliza principalmente para dibujos de montaje, donde se muestran claramente los detalles internos y externos únicamente se indican las dimensiones totales y de centro a centro. En la figura 58 se ilustran los dos tipos de secciones.

Figura 58. Sección total y media sección de una brida.



Fuente: Dibujo técnico mecánico, p. 24

3.1.5 ¿Por qué se usan los planos?

Los planos, son utilizados por ingenieros y diseñadores, que con sus conocimientos han desarrollado y van mejorando cada vez la metodología necesaria para que un soldador produzca una soldadura apropiada para la pieza de trabajo.

Para que la soldadura haya podido alcanzar la posición que ocupa en la construcción y la manufactura, ha tenido que probar que es adecuada para las necesidades de diseño. Una vez que se demostró que los procesos eran adecuados para los fines del diseño, fue necesario dar medios a los diseñadores e ingenieros para comunicar a los soldadores exactamente qué clase de soldadura era necesaria en cada caso y la forma en que debería aplicarse. Descuidar este aspecto podría ser peligroso y costoso.

Un ejemplo de lo anterior es: escribir simplemente "soldar todas las uniones", o "soldar completamente la pieza", en un dibujo, puede indicar generalmente la extensión de aplicación de la soldadura, pero no indica la resistencia necesaria. Si la resistencia fuera un aspecto muy importante del diseño, podría presentarse una situación peligrosa al aplicar una técnica incorrecta. Si la resistencia no fuera un factor esencial, podría dar los mismos resultados una soldadura de menor extensión y ser mucho menos costosa. Ciertos talleres atendiendo a su deseo de lograr seguridad, utilizan mucha más soldadura de la necesaria.

Para cambiar los problemas de este tipo, se desarrolló un lenguaje para la soldadura, es decir, un conjunto de símbolos aplicados en un plano que indican en forma abreviada al soldador o al supervisor toda la información necesaria para hacer una soldadura correcta y obtener una mejor calidad en la fabricación de construcciones soldadas. (40)

3.1.6 ¿Cómo leer un plano?

Para poder leer un plano, es necesario tener conocimientos teóricos de los procesos de soldadura, como también de dibujo técnico en lo que es la normalización, proyecciones, vistas, acotado y secciones, saber sobre normas, especificaciones y simbología de soldadura, todo esto para poder interpretar de una mejor manera lo que se indica en los planos hechos por los ingenieros y diseñadores en construcciones soldadas

Una vez obtenido lo anterior, en un plano de soldadura, se debe visualizar el punto de comienzo, o el área en donde se realizarán las soldaduras, en la cual el plano nos indica el tipo de soldadura a realizar en esa sección del dibujo, así también el procedimiento correcto y la longitud de la soldadura, el tipo de junta y datos de la ranura si la junta lo amerita, todo esto para obtener una soldadura de calidad, y para mayor seguridad, en donde la soldadura se requiere sin ningún defecto o con defectos entre los límites de tolerancia, los planos nos indican los tipos de ensayos no destructivos que se deben realizar al estar terminado el trabajo de soldadura y si no pasa la prueba del ensayo, poder corregir ésta soldadura, para que no cause problemas más serios en el funcionamiento de la pieza.

3.2 Procesos y representaciones de la soldadura

3.2.1 Designación de los procesos de soldadura

Los procesos de soldadura se representarán en la figura 59, en la cual se designarán mediante letras todos los procesos de soldadura, dichas letras nos servirán para poder interpretar el símbolo estándar de soldadura, en la parte de la cola de este símbolo, lugar donde es reservada la información de especificaciones, procesos u otras referencias.

Figura 59. Designación mediante letras de los procesos de soldadura

PROCESO DE SOLDADURA		DESIGNACION POR LETRAS
Soldadura fuerte	Hecha con soplete	TB
	Carbones gemelos-hecha con arco	TCAB
	Hecha en horno	FB
	Hecha por inducción	IB
	Hecha por resistencia	RB
	Hecha por inmersión	DB
Soldadura de flujo	De bloques	FLB
	De flujo	FLOW
	Soldadura de flujo	FW
Soldadura por resistencia	Por arco con presión	UW
	Soldadura recalada	FEW
	Soldadura de percusión	IW
Soldadura por inducción	Soldadura por inducción	BMAW
Soldadura de arco	Metal desnudo — soldadura de arco	SW
	Soldadura de espárragos	
	Soldadura de espárragos con protección de gas	GSSW
	Soldadura de arco sumergido	SAW
	Gas y tungsteno — soldadura de arco	GTAW
	Gas y metal — soldadura de arco	GMAW
	Soldadura con hidrógeno atómico	AHW
	Metal protegido — soldadura de arco	SMAW
	Carbones gemelos — soldadura de arco	TCAW
	Soldadura con arco de carbón	CAW
	Gas y carbón — soldadura de arco	GCAW
	Carbón protegido — soldadura de arco	SCAW
	Soldadura de termita	NTW
	Soldadura de termita sin presión	FTW
Soldadura a gas	Soldadura a gas con presión	PGW
	Soldadura con oxihidrógeno	OHW
Soldadura por forja	Soldadura con oxiacetileno	OAW
	Soldadura con aire y acetileno	AAW
	Soldadura acabada con rodillos	RW
	Soldadura de matriz	DW
Soldadura acabada a martillo	HW	

PROCESO DE CORTE	DESIGNACION POR LETRAS	PROCESO DE CORTE	DESIGNACION POR LETRAS
Corte con arco	AC	Corte con oxígeno	OC
Aire-carbón-corte con arco	AAC	Corte con fundente químico	FOC
Corte con arco de carbón	CAC	Corte con polvo metálico	POC
Corte con arco de metal	MAC	Corte con arco y oxígeno	AOC

Fuente: Horwitz Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 40

Pueden usarse los siguientes sufijos si se desea indicar el método de aplicación de los procesos de soldadura y de los procesos de corte.(41)

- ✓ Soldadura automática = AU = Corte automático.
- ✓ Soldadura a máquina = ME = Corte a máquina.
- ✓ Soldadura manual = MA = Corte manual.
- ✓ Soldadura semiautomática = SA = Corte semiautomático.

3.2.2 Símbolo estándar para soldadura

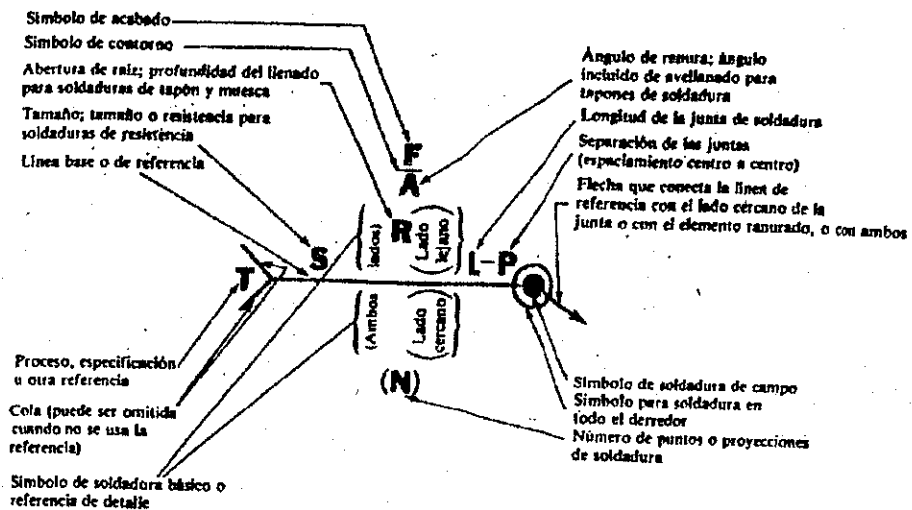
Una pieza soldada o un conjunto de partes soldadas se fabrican mediante la unión por soldadura de un grupo de elementos de metal cortados según configuraciones particulares. Durante el proceso de soldadura, las diversas partes se mantienen firmemente en contacto por medio de abrazaderas o montajes. El proceso de soldadura debe ser especificado con precisión en los planos de taller, y esto se hace utilizando los símbolos normales de soldadura de la figura 60, que han sido estandarizados por la American Welding Society (AWS). La flecha del extremo del símbolo señala la junta de las piezas por soldar. El cuerpo del símbolo contiene tantos de los siguientes elementos como se juzgue necesario:(42)

- Línea base (o de referencia).
- Cabeza de flecha.
- Símbolos básicos (figura 61).
- Dimensiones (y otros datos).
- Símbolos complementarios.

- Símbolos de acabado.
- Cola adicional.
- Especificaciones o procesos.

El lado de la flecha o lado cercano de una junta es la línea, parte, área o elemento al cual apunta la citada flecha desde el quiebre del símbolo. El contrario es el lado opuesto a la flecha o lado lejano. Esto es en la Norma Americana, mientras que en la Norma DIN, sucede todo lo contrario, el lado de la flecha es el lado lejano, y el lado opuesto es el lado cercano.

Figura 60. Sistema simbólico de soldadura estándar AWS con la ubicación de los elementos del símbolo



Fuente: Shigley, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica, p. 433

En el símbolo estándar de soldadura se utilizan símbolos básicos para representar la soldadura a realizar en el tipo de junta con la ranura ya preparada si es necesario, estos símbolos son representados por la figura 61. En la figura 62 se representan símbolos de contorno, soldadura de todo alrededor y soldadura en obra.

Figura 61. Símbolos básicos de soldadura

Filete	Tapón o ranura alargada	Puntos o resalte	Costura	De reure						De respaldo	De recubrimiento superficial	De brida		
				Escuadrada	∨	Biselada	U	J	Acampadas ∨			De bisel y acampada	De orilla	De esquina

Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 40

Figura 62. Símbolos de Contorno, Soldadura de todo alrededor y soldadura de campo

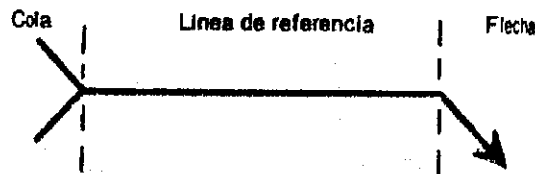
CONTORNO			SOLDAR TODO ALREDEDOR	SOLDADURA EN OBRA
PLANA	CONVEXA	CONCAVA		

Fuente: SENA, Calificación de soldadura eléctrica, p. 302

3.2.2.1 Instrucciones generales

La línea de referencia en un símbolo de soldadura es la línea representada en un plano horizontal (fig. 63) y unida a una cola y a una flecha. La línea de referencia es la base de cada símbolo simplificado, y proporciona la orientación y la localización estándar de los elementos de un símbolo de soldadura. Las posiciones de la cola y la flecha pueden intercambiarse, pero los elementos del símbolo están siempre en la misma posición en la línea de referencia. (43)

Figura 63. Partes del Símbolo Estándar de Soldadura.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 27

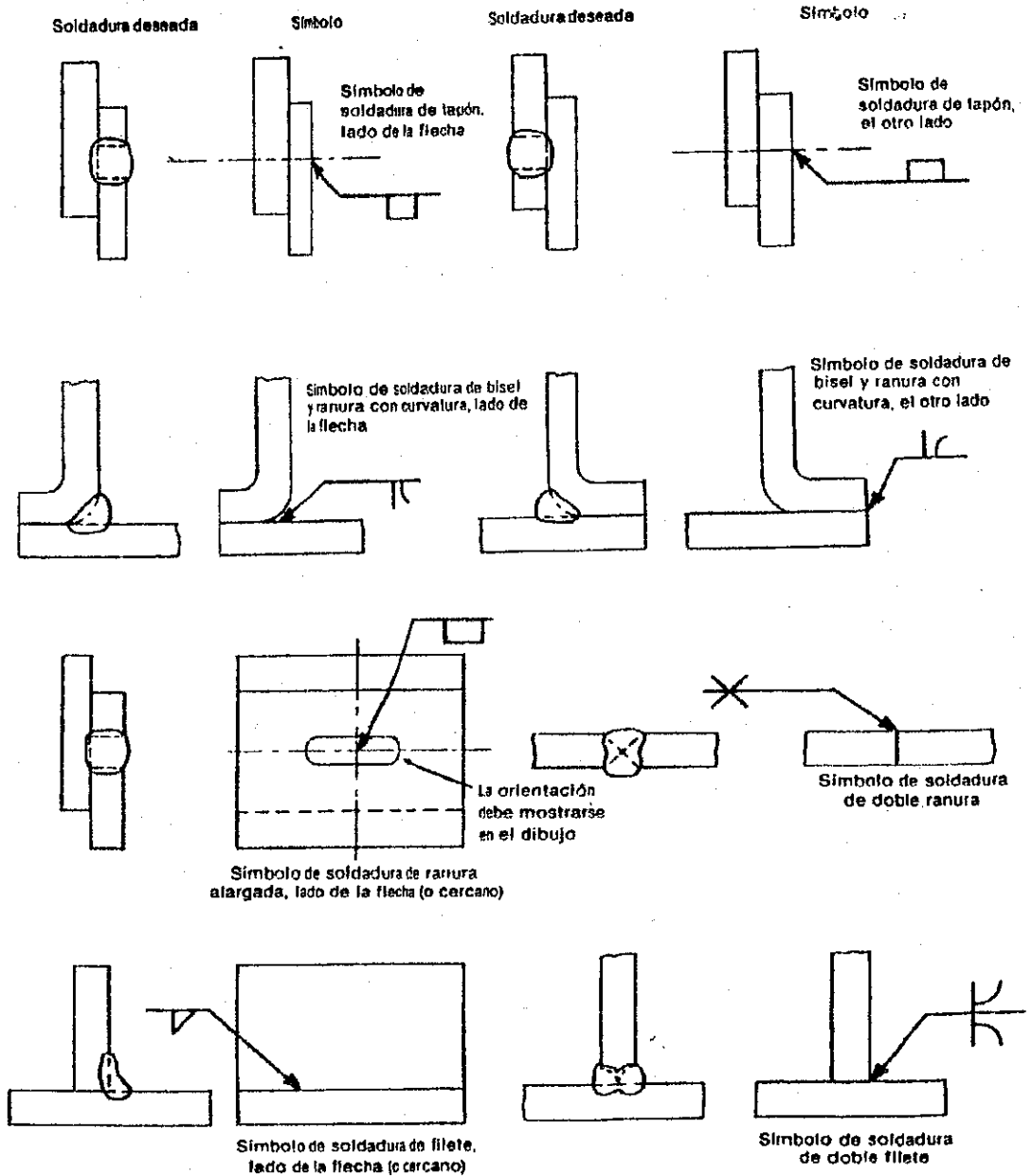
Para indicar la localización de una soldadura, se traza una flecha con la cabeza apuntando directamente a la punta en la que se ha de hacerse la soldadura. La colocación del símbolo del tipo de soldadura (figura 64) puede usarse para indicar el lado de la flecha, el otro lado o ambos lados de la punta.

Las dimensiones que aparecen en un símbolo de soldadura indican el tamaño, el ángulo de la ranura, la abertura en el fondo o raíz, la longitud de la soldadura, el paso (separación entre centros) de las soldaduras; la profundidad del relleno en las soldaduras de tapón o de ranura alargada y el ángulo incluido de las soldaduras avellanadas para las soldaduras de tapón (figura 65). Pueden especificarse uno o más de estos dependiendo del tipo de junta y la instrucción que se requiera. Cuando las soldaduras de ambos lados de una junta tienen las mismas dimensiones, uno o ambos pueden dimensionarse sobre el símbolo de soldadura (figura 65 parte b).

El tamaño de una soldadura de filete se determina por la longitud de su lado más largo (ver figura 65 parte d). Esta dimensión se indica a la izquierda del símbolo de tipo de soldadura al mismo lado que la línea de referencia. Cuando las soldaduras de filete difieren en tamaño se dimensionan ambas (ver figura 65 parte c). En el resto de la figura 65 se pueden encontrar otras ilustraciones de los símbolos de las soldaduras de filete.

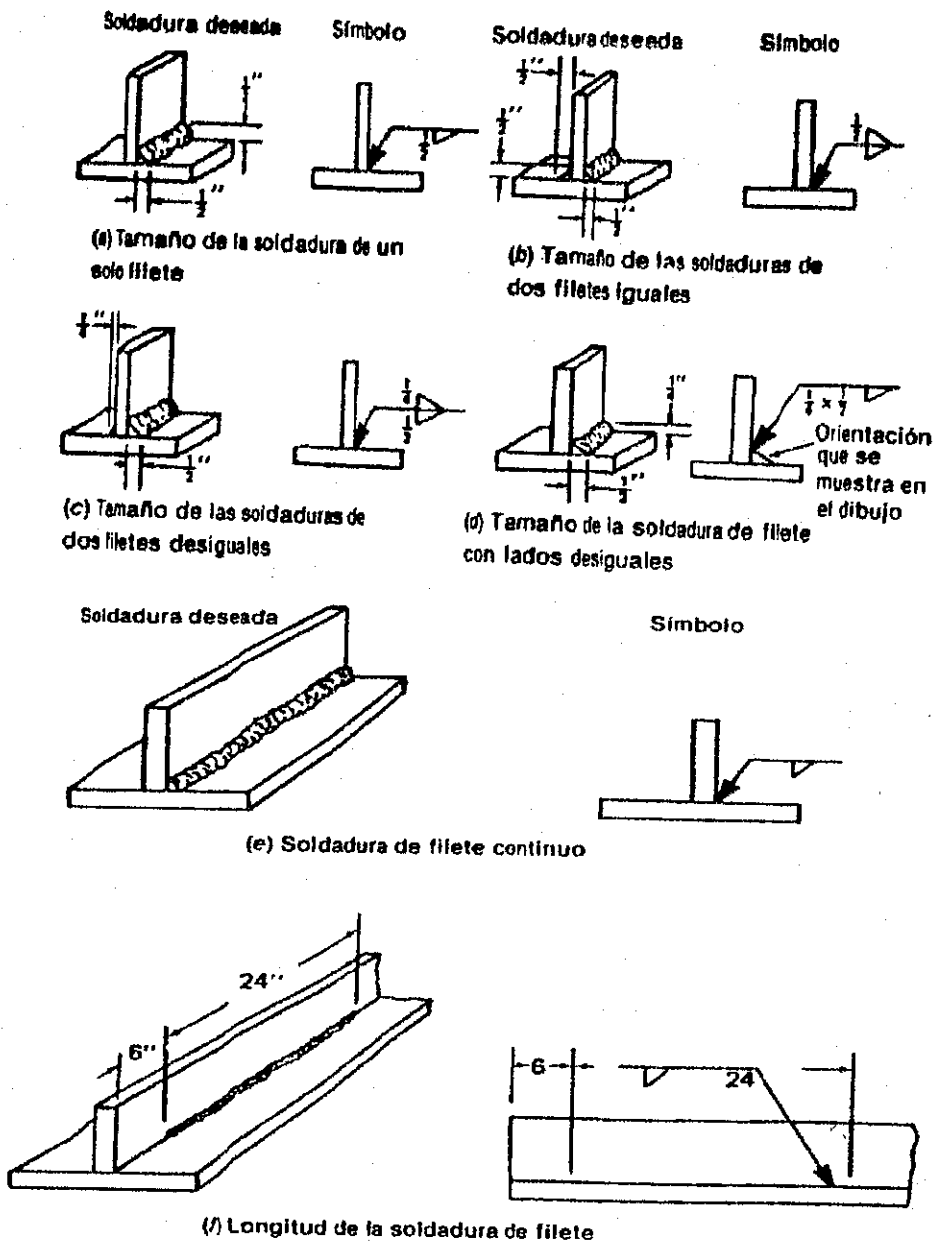
El tamaño de una soldadura de ranura es la penetración de la junta (la profundidad de biselado más la penetración en la raíz, cuando se especifica. (43)

Figura 64. Localización y significado de la flecha en los símbolos de soldadura



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 29

Figura 65. Algunos símbolos de soldadura y las soldaduras representadas por ellos

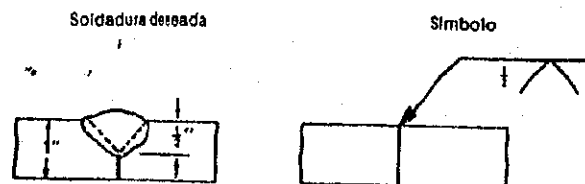


Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 30

En la figura 66 no se especifica la penetración en la raíz. Pero en la figura 67 se presenta la penetración en la raíz exactamente por el $1/8$ agregado al tamaño de la ranura. El tamaño de la ranura se indica a la izquierda del símbolo del tipo de soldadura. Cuando se describe una soldadura de un solo bisel la flecha apunta hacia la placa que ha de biselarse. La dimensión de la ranura se indica cuando:

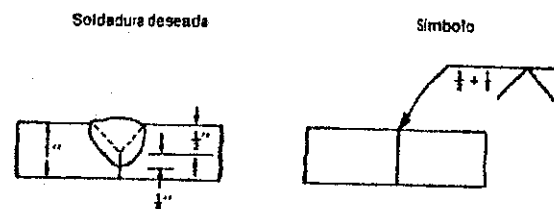
- 1) La soldadura de ranura se extiende sólo parcialmente a través de las partes que han de unirse como en la figura 68.
- 2) La penetración en la raíz se especifica en adición a la profundidad del chaflán, como en la figura 67 y 69. (44)

Figura 66. Símbolo de soldadura en el que no se presenta la penetración



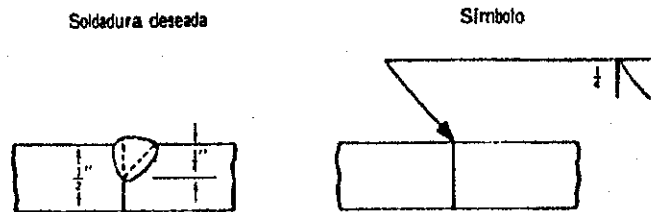
Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 31.

Figura 67. Símbolo de soldadura representando la penetración en la raíz



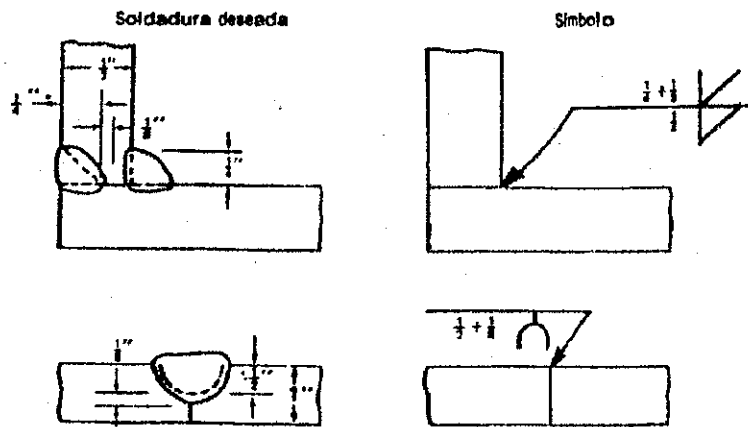
Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 31.

Figura 68. Símbolo de soldadura en el que se presenta la profundidad de la soldadura de ranura.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 31

Figura 69. Símbolos de soldadura en los que se representa la profundidad de las ranuras y la profundidad de penetración.

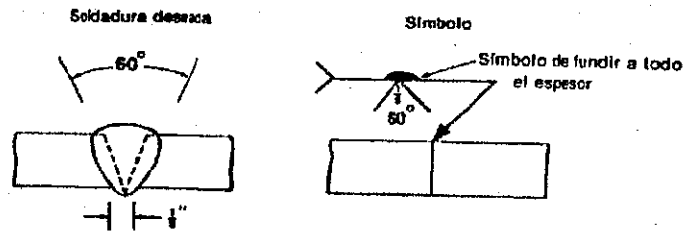


Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 32.

La dimensión de la ranura no se indica cuando:

- 1) La soldadura de una sola ranura se extiende completamente a través de las partes que se van a soldar. Si se desea el 100 % de penetración se agrega, ya sea el símbolo de fundir a todo el espesor, o el de soldadura de respaldo, como en la figura 70. (44)

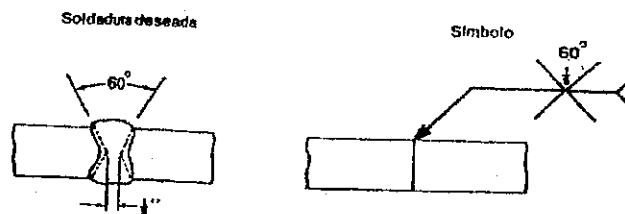
Figura 70. Símbolo de soldadura en el que se representa el 100 % de penetración.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.33

- 2) Ambos lados de una soldadura de doble ranura son iguales, y a la soldadura se extiende completamente a través de las partes que se están uniendo, como en la figura 71.

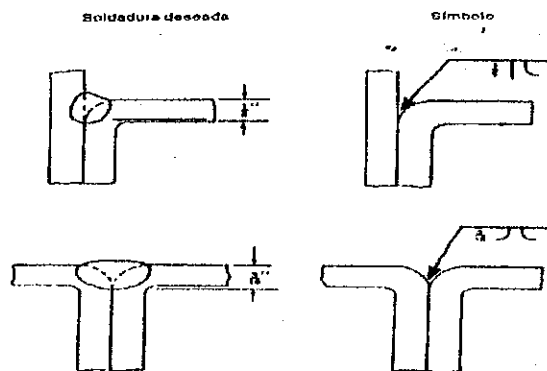
Figura 71. Símbolo de soldadura en el que se representa una soldadura de doble ranura de las mismas dimensiones.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 32

El tamaño de una soldadura de ranura con una curvatura se considera que se extiende solamente a los puntos de tangencia de los miembros, como en la figura 72. (45)

Figura 72. Símbolos de soldadura en los que se presentan el tamaño de las soldaduras de ranura con acampanado.

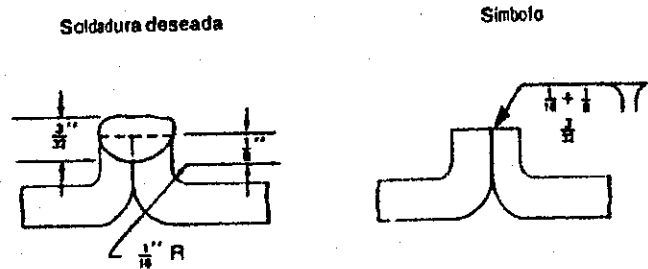


Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 33

Para las soldaduras de brida, se indica el radio y la altura arriba del punto de tangencia, así como el tamaño. Las dimensiones del radio y la altura se separan por una marca "más", Figura 73.

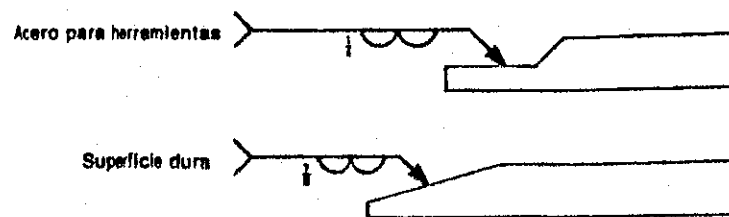
El tamaño de una soldadura de recubrimiento superficial se indica a la izquierda del símbolo de tipo de soldadura, y da la altura mínima del recubrimiento que ha de formarse. (La longitud y el ancho de la superficie por cubrir se señalan mediante dimensiones específicas anotadas en el dibujo, figura 74. (45).

Figura 73. Símbolo de soldadura en el que se presenta una soldadura de brida con radio y altura de la soldadura sobre el punto de tangencia.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 33

Figura 74. Símbolos de soldadura en los que se presenta la altura máxima de engrosamiento de una superficie que va a ser recubierta.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 34

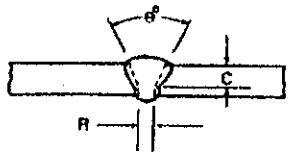
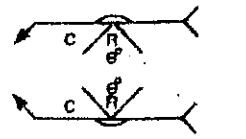
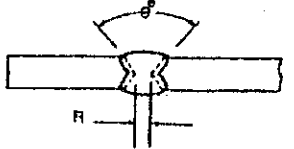

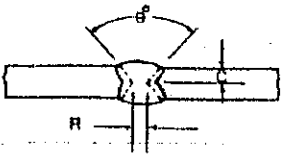
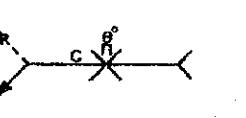
Los ángulos de las ranuras y las aberturas de fondo o raíz, si están de acuerdo con las normas de taller establecidas, no se indican en el símbolo de soldadura. Si no lo están, se indican como se ilustra en la figura 75.

La longitud y el paso de las soldaduras se indican en los símbolos, como se ilustra en la figura 76. Cuando no se presenta la longitud de la soldadura, los símbolos se aplican entre los cambios bruscos de dirección de la misma, excepto cuando se emplea el símbolo de "soldar todo alrededor".

El símbolo de soldar todo alrededor es un símbolo suplementario de soldadura que se emplea para indicar que una soldadura se extiende completamente alrededor de una junta. Su uso se ilustra en la figura 77 parte a. El símbolo de soldadura de campo, se emplea también como símbolo suplementario, y sirve para indicar las soldaduras que no deben hacerse en el taller o sitio inicial de construcción, como en la figura 77 parte b.(46)

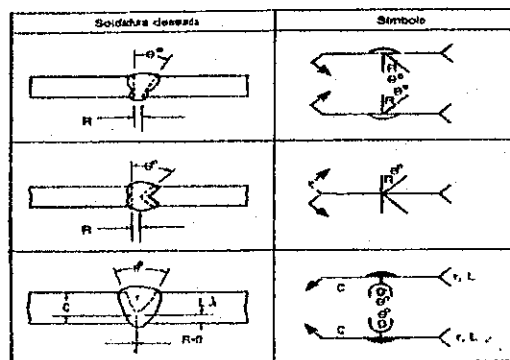
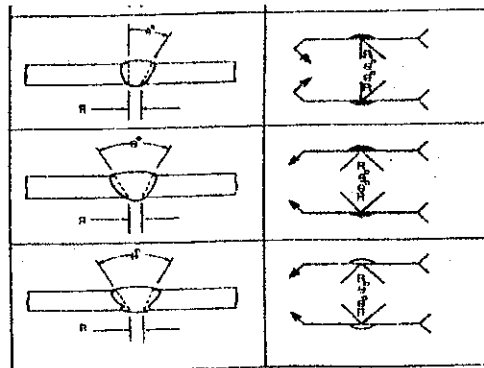
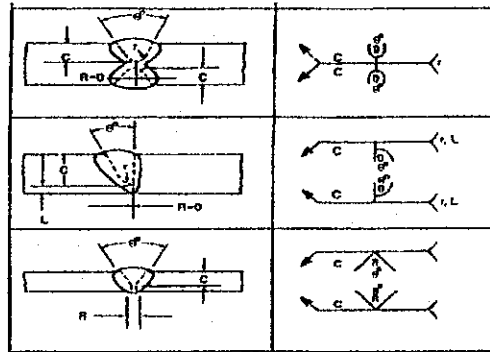
Figura 75. Como especificar ángulos de ranura y aberturas en la raíz que no son estándares en el taller en donde a de hacerse la soldadura.

En las juntas de ranuras, la cara de la raíz (dimensión de letra L) es la que se especifica a veces en vez del chaflán (C). La raíz de abertura y el ángulo pueden omitirse si son conceptos de norma para el usuario.

Soldadura deseada	Símbolo
	
	
	

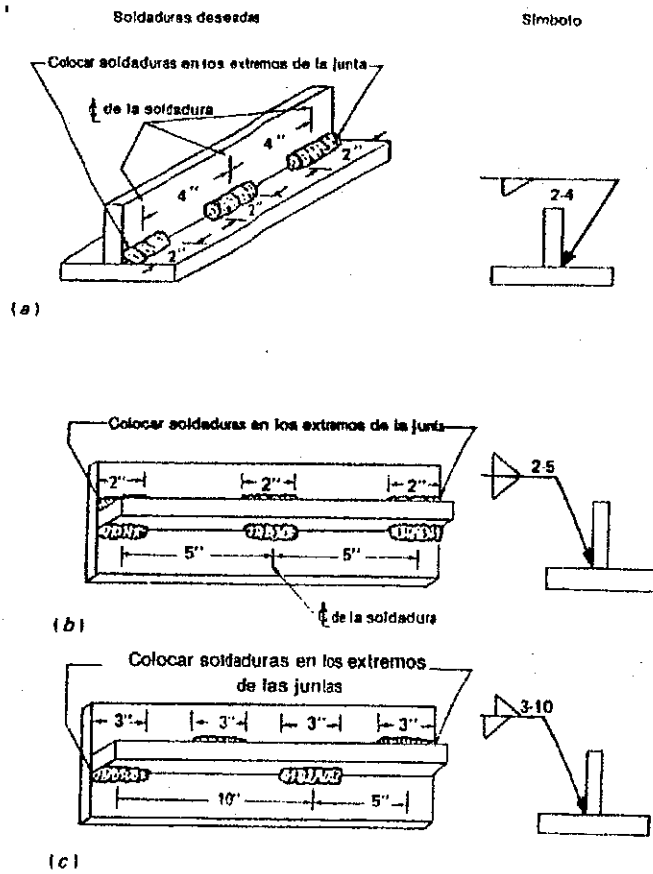
Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.36

Figura 75. (Continuación).



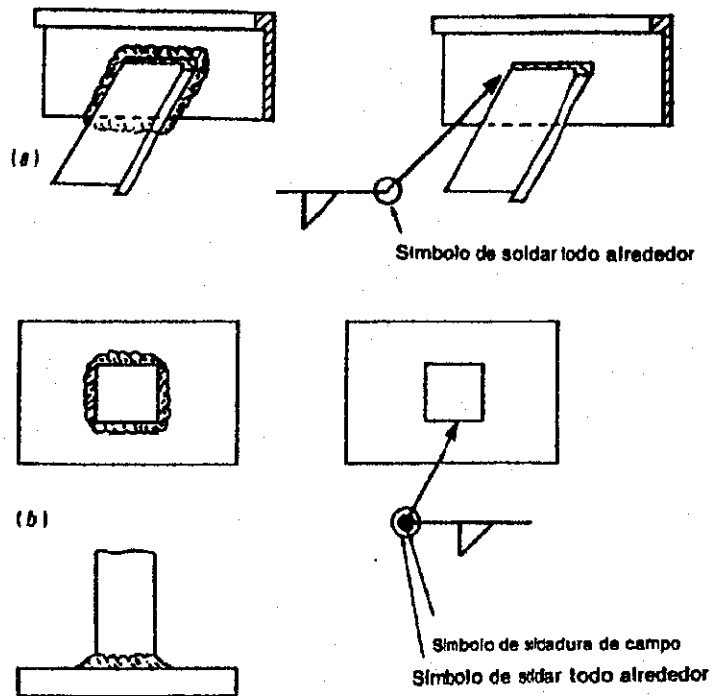
Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.36

Figura 76. Símbolos de soldadura en los que se presentan la longitud y el paso de las soldaduras (a) soldadura intermitente; (b) soldadura intermitente de cadena; (c) soldadura intermitente escalonada



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 37

Figura 77. Símbolo de soldar todo alrededor y símbolo de soldadura de campo

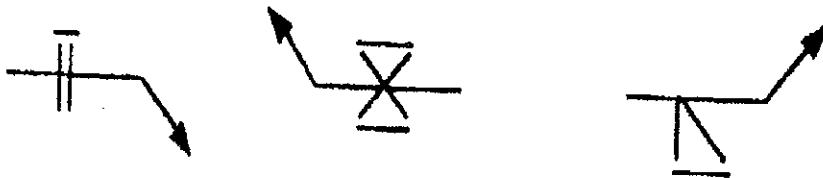


Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p.38

Los símbolos de acabado se agregan para indicar cómo debe verse la superficie soldada al término del proceso. Las soldaduras que han de hacerse aproximadamente para quedar con cara plana, sin recurrir a método alguno de acabado, se indica agregando el símbolo de contorno a ras del símbolo de soldadura, observando el significado usual de localización, como lo ilustra la figura 78. Cuando es aceptable el engrosamiento logrado mediante procedimientos normales de soldadura, se omite el símbolo de contorno.

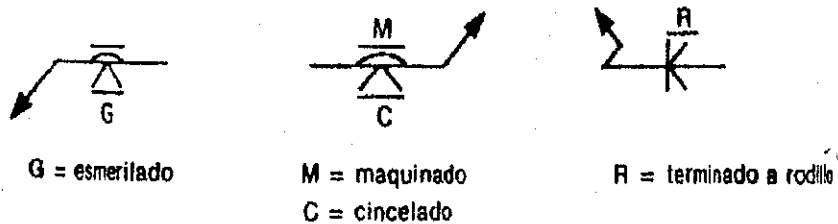
Las soldaduras que han de hacerse con cara plana por medios mecánicos se indican agregando el símbolo de tipo de soldadura tanto el símbolo de contorno a ras como el símbolo estándar de acabado del usuario, observando el significado usual de localización (figura 79).(46)

Figura 78. Símbolos de acabado para soldaduras de cara plana sin recurrir al maquinado.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 38

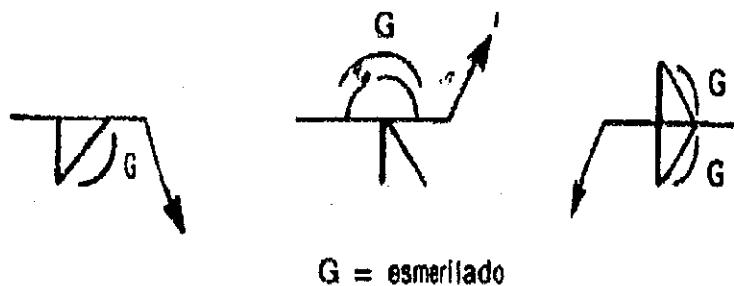
Figura 79. Símbolos de acabado para soldaduras acabadas mecánicamente, de cara plana.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 38

Los símbolos que han de llevar acabado por medios mecánicos a un contorno convexo se indican agregando al símbolo de tipo de soldadura también el símbolo de contorno convexo como el símbolo estándar de acabado del usuario, observando el significado usual de localización (figura 80).

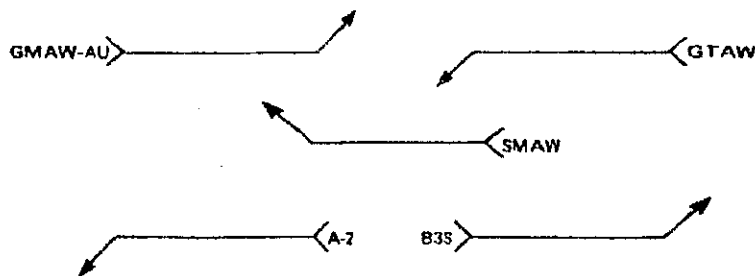
Figura 80. Símbolos de acabado para soldaduras convexas acabadas mecánicamente.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 39

Cuando se emplea una especificación, un proceso, o alguna otra referencia con un símbolo de soldadura, dicha referencia se coloca en la cola, como se ilustra en la figura 81. Cuando se requiere el empleo de un determinado proceso, éste puede indicarse en la cola por medio de una o más de las designaciones literales de la figura 59 de la página 127.

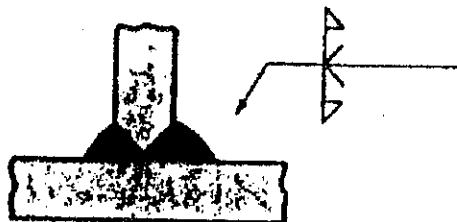
Figura 81. Colocación de la especificación, el proceso u otras referencias en la cola del símbolo de soldadura.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 39

Cuando se realizan una unión soldada, con materiales de espesor grueso, como por ejemplo una junta en T, en donde se deben de realizar dos pasadas de soldadura en los dos lados de la junta, los tipos de soldadura que se representan con el símbolo básico de soldadura, se deben indicar, como se muestra en la figura 82.

Figura 82. Junta en T para placas gruesas, con dos pasadas de soldadura en ambos lados.

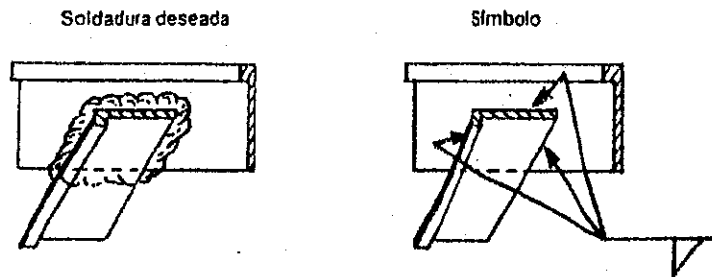


Fuente: Shigley, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica, p. 434

3.2.2.2 Designación de la extensión de una soldadura por medio de símbolos

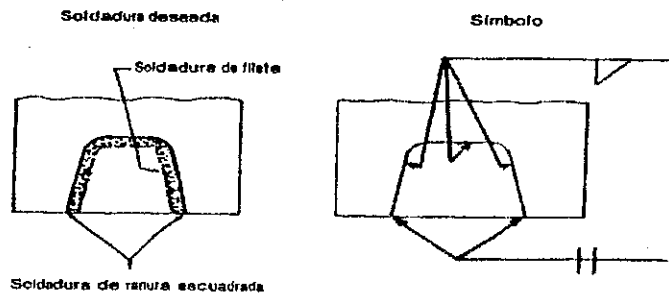
Excepto en los casos en que se usa el símbolo de soldar todo alrededor, la extensión de la soldadura se designa ordinariamente por la aplicación del símbolo que procede en los lugares de cambio brusco de dirección de la soldadura, como se ilustra de la figura 83 a la figura 85. Los símbolos de soldadura que indican la aplicación de soldadura en las juntas ocultas pueden aparecer como se ilustra en la figura 86.(47)

Figura 83. Símbolo de la soldadura.



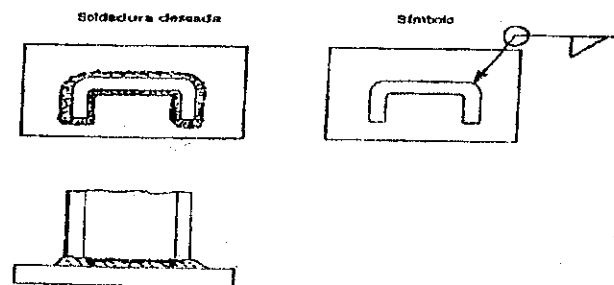
Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 39-45

Figura 84. Símbolo de la soldadura



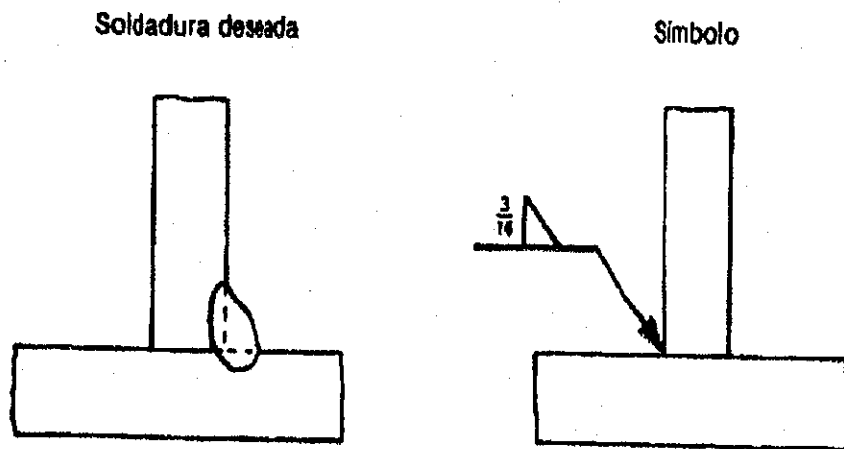
Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 39-45

Figura 85. Símbolo de la soldadura.



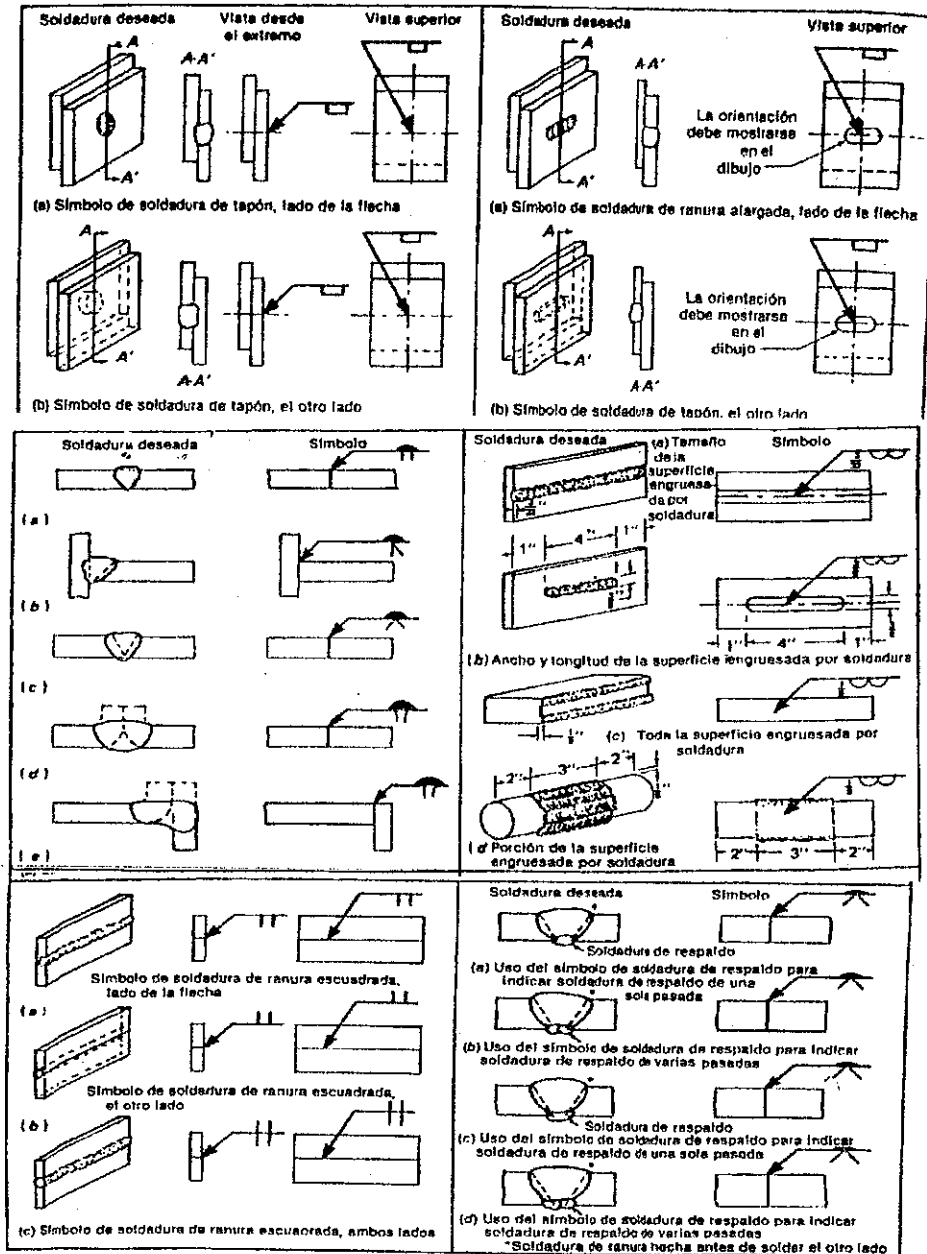
Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 39-45

Figura 86. Símbolo de soldadura que indica que debe soldarse una junta oculta.



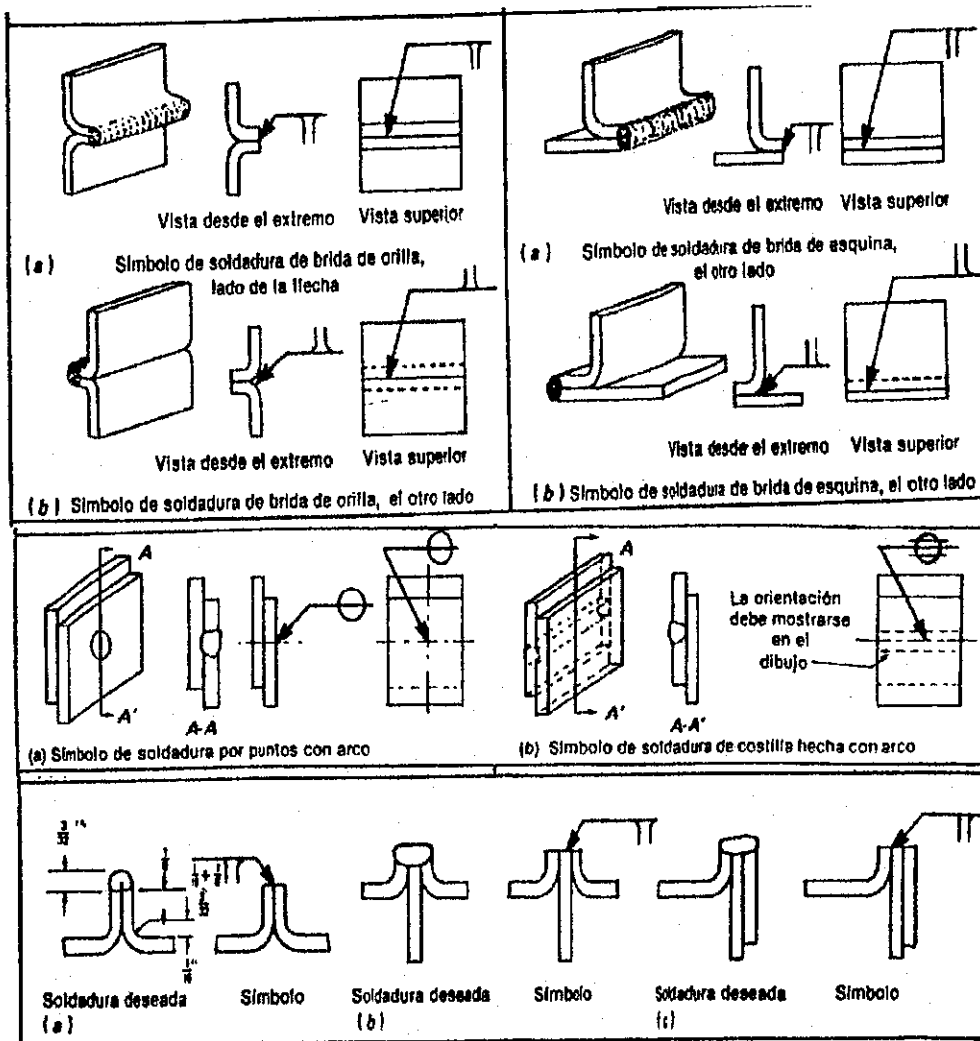
Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 39-45

Figura 87. Ejemplos de símbolos de soldadura y las soldaduras que representan.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 44

Continuación figura 87. Ejemplos de símbolos de soldadura y las soldaduras que representan.



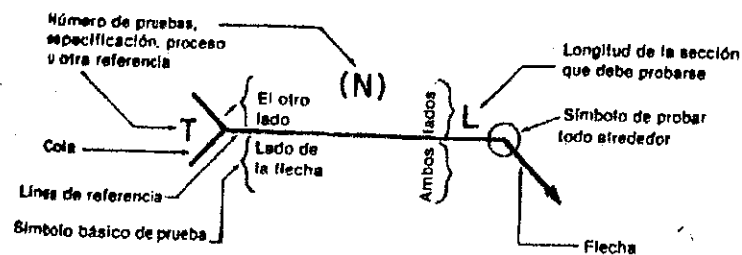
Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.45

3.2.2.3 Símbolos para indicar pruebas no destructivas

El símbolo completo acerca de las pruebas está formado por la línea de referencia con flecha, los símbolos básicos de pruebas, el símbolo de probar todo alrededor, el número de pruebas (N), y la cola, con el alcance o grado al que se ha de hacer la prueba, la especificación, el proceso u otras referencias. La flecha une la línea de referencia con la parte que ha de probarse. El lado de la parte que ha de probarse, al cual apunta la flecha, se considera como el lado de la flecha, al lado contrario simplemente se le llama el otro lado.

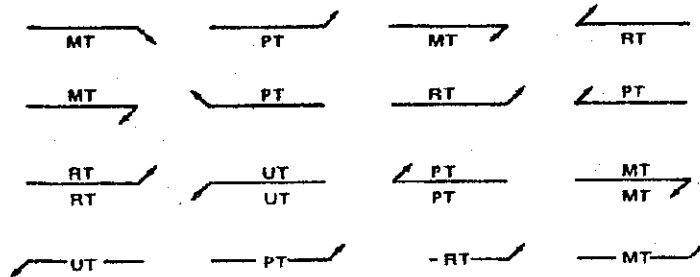
La localización de la abreviatura para la(s) prueba(s) no destructiva(s) a que ha de someterse la parte, es la que se ilustra en la figura 89. En la tabla V se presenta una lista de las pruebas no destructivas, abreviaturas estándar que se emplean para representar el método de prueba sobre la línea de referencia.

Figura 88. Símbolo completo de pruebas.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.46

Figura 89. Localización de la abreviatura de prueba sobre la línea de referencia.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.46

Tabla V. Pruebas no destructivas y sus abreviaturas

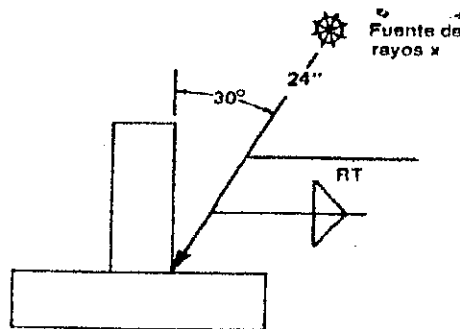
TIPO DE PRUEBA	ABREVIATURA
Rayos X.	RT
Por partículas magnéticas.	MT
Por líquido penetrante.	PT
Ultrasonido.	UT

Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.46

En ocasiones es necesario especificar la posición y a la dirección de la fuente de rayos X en relación con la soldadura que ha de inspeccionarse. Cuando éste es el caso, generalmente se hace como se ilustra en la figura 90. La fuente de rayos X debe situarse a 24 pulgadas de la junta y a un ángulo de 30 grados respecto al brazo vertical.

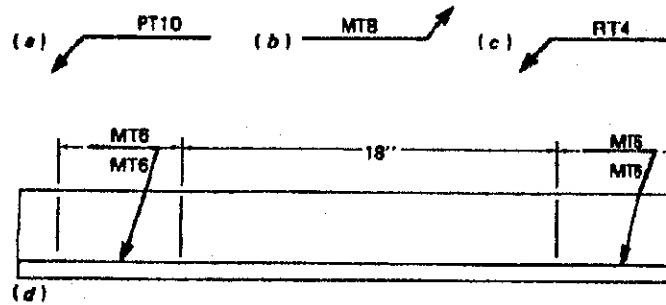
Cuando solo a de inspeccionarse un cierto tramo de soldadura, se sitúa la longitud (en pulgadas) a la derecha de la abreviatura usada para identificar la prueba, como se ilustra en la figura 91. En otras ocasiones, especialmente cuando la aceptación de una soldadura se basa en resultados estadísticos, se especifica entre paréntesis el número de pruebas que han de efectuarse al azar, bajo la abreviatura de la prueba que ha de efectuarse, como se ilustra en la figura 92. Los símbolos de las pruebas no destructivas pueden combinarse con los símbolos de soldadura, o bien, utilizarse independientemente.(48)

Figura 90. Símbolo que muestra la posición de la fuente de rayos X en relación con la parte que se ha de probarse.



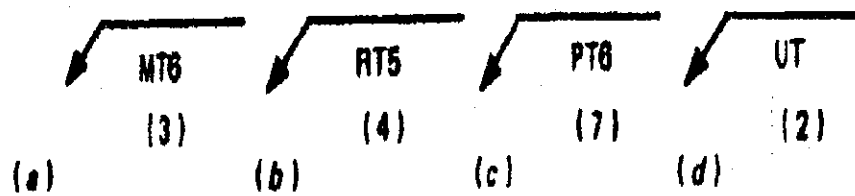
Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.47

Figura 91. Símbolos de prueba que indican las longitudes específicas de la soldadura que han de probarse.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.47

Figura 92. Símbolos de prueba que indican (entre paréntesis) el número de pruebas que han de hacerse.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p.47

3.3 Interpretación de planos

3.3.1 Interpretación de una representación simbólica y una gráfica, y viceversa

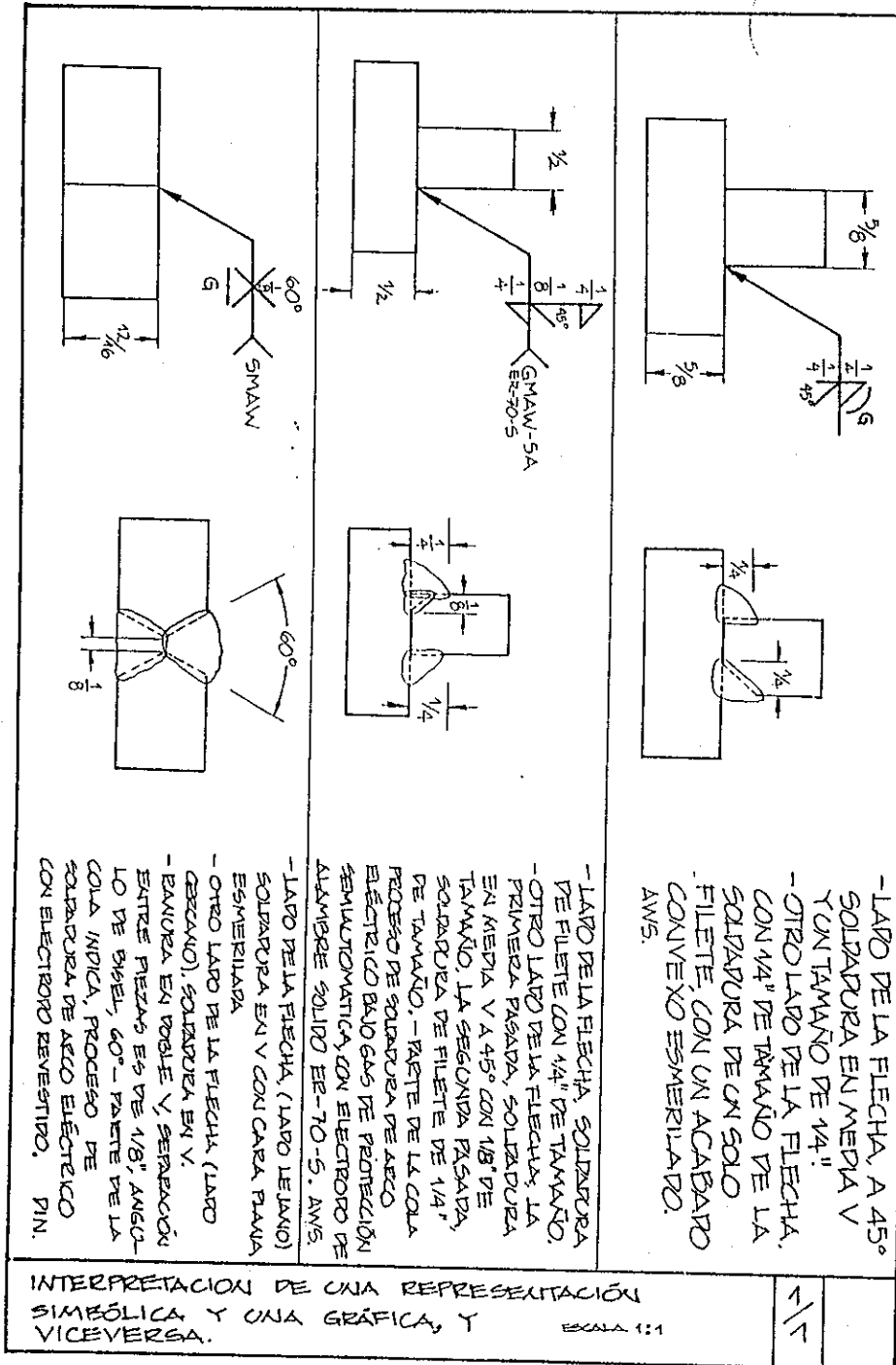
De aquí en adelante se hará uso de los conocimientos de los procesos de soldadura, de la simbología utilizada para las representaciones de las uniones soldadas aplicadas a los planos, de saber visualizar, las secciones, vistas y proyecciones que se nos presenten acompañadas de las cotas y la simbología, que nos dan la información importante de las longitudes, tamaños, ángulos, acabados, pruebas no destructivas, y demás información que sirve para darle una buena interpretación a las representaciones simbólicas de las gráficas, y si logramos entender esto, podremos interpretar los planos de soldadura y llegar a diseñar planos en el área de las construcciones soldadas.

Para interpretar una representación simbólica y una gráfica, he utilizado un plano en la figura 93, en el cual existen tres representaciones simbólicas, a las cuales se les a dibujado al lado derecho de las representaciones, una gráfica, de como quedaría la soldadura en las uniones soldadas de las platinas con espesores indicados en las representaciones, de esta forma, se da a conocer lo que se quiere lograr en las uniones soldadas, comunicándonos por medio de símbolos de soldadura, y haciendo uso del dibujo técnico. También se ha dado una breve interpretación por escrito, del tipo de soldadura y tamaño que se desea lograr, simbolizado en ambos lados de la línea de referencia del símbolo estándar de soldadura, y dando a conocer la información que se proporciona del lado de la cola del mismo símbolo estándar, tal como el proceso de soldadura a utilizar y tipo de electrodo para la aplicación de dicho proceso.

En las primeras dos representaciones, se ha utilizado en la simbología el sistema Americano (AWS), para darle una interpretación a lo expuesto en la representación.

En la tercera representación simbólica, se utiliza el sistema Europeo, bajo la norma DIN, motivo por el cual, se den a conocer los dos sistemas de representación simbólica, de los cuales se pueden presentar los planos de soldadura.

Figura 93. Interpretación de una representación simbólica y una gráfica



3.3.2 Identificación y ampliación de detalles, elaborando un plano de soldadura a partir de las instrucciones dadas

Para la identificación y ampliación de detalles, en un plano de soldadura, se aplican los conceptos de las secciones o cortes de un área determinada del dibujo en un plano, para indicar y ampliar la forma del dibujo en ciertos sectores importantes, en donde no se aprecia fácilmente el detalle del dibujo, o para representar partes o áreas del dibujo que no está en el exterior.

Se elaborará un plano en donde se aplicará: Los conceptos de dibujo técnico, la simbología de la soldadura y a la vez, se ampliarán detalles en el dibujo.

Las instrucciones son las siguientes: Se desea construir una armadura que debe de soportar cargas distribuidas, y dichas cargas deben de transmitirse a los nudos, porque son los puntos más resistentes que las barras, por lo tanto se utilizara el puente de celosía, porque dispone de un sistema que, a través de vigas y largueros, transmiten la carga a los nudos. Esta armadura se construirá de un perfil rectangular de acero, cuya altura es de 60 mm y anchura de 30 mm., con un espesor de 3.175 mm. Debe tener 3 metros de largo, 1.50 metros de ancho y 1 metro de altura en los costados, todas estas dimensiones tomarlas desde la línea de centro o eje del perfil de acero de cada elemento en el plano, dibujar la proyección ortogonal y la proyección isométrica en el sistema americano, utilizar una escala de 1:25 para las medidas entre los ejes, y la escala de 1:10 para las dimensiones del perfil de cada elemento de la armadura, aplicar los símbolos de soldadura en las partes a unir. El acotado debe ser unidireccional y las unidades en milímetros.

Tomando como base la vista superior, realizar tres cortes, para ampliar los detalles de la armadura, realizar un corte longitudinal y dos cortes transversales, indicando las juntas a soldar por medio de símbolos, los cuales están representados en los planos de las figuras 94 y 95.

Figura 94. Plano de soldadura para la construcción de un puente de celosía

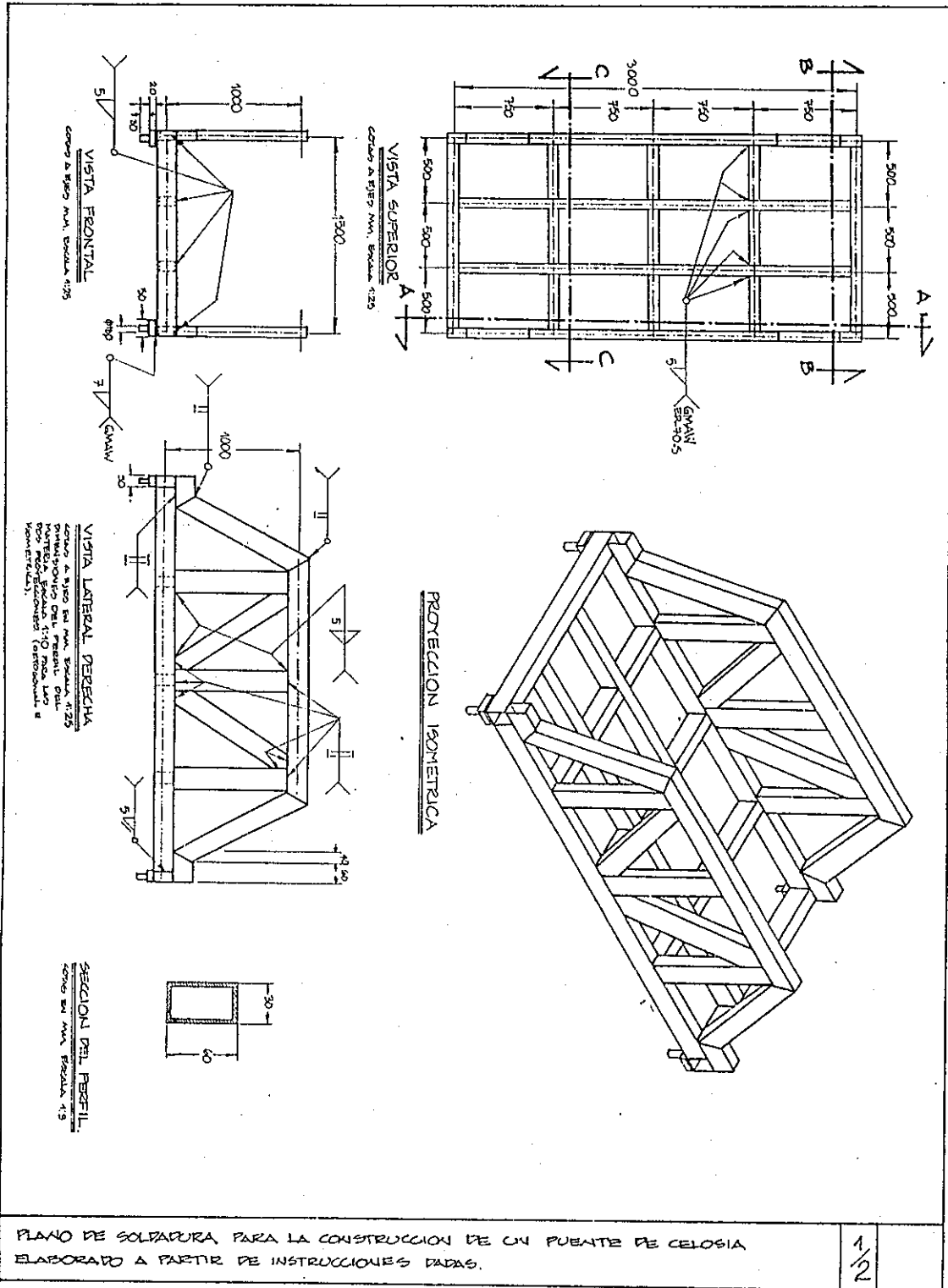
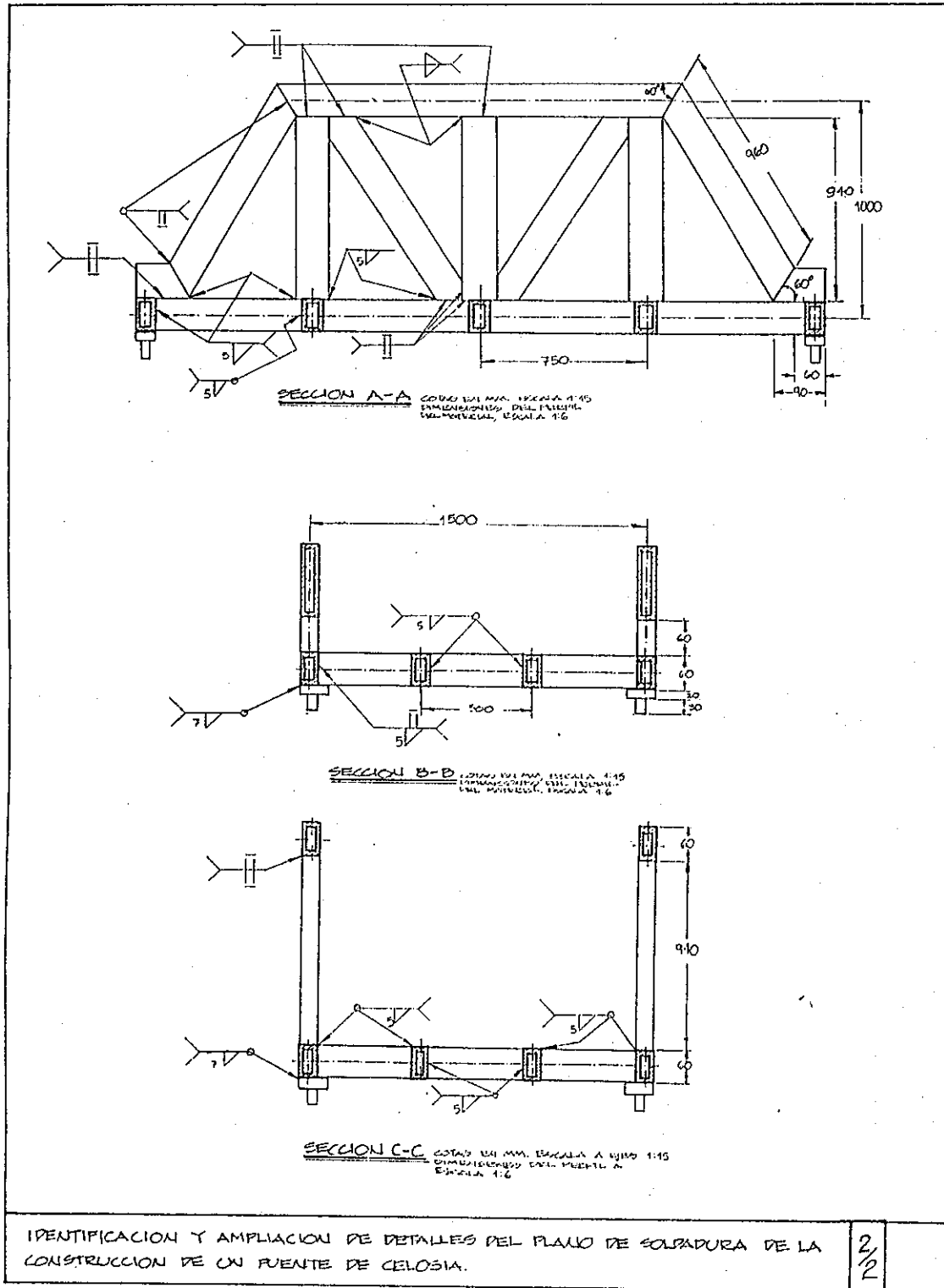


Figura 95. Detalles del plano de soldadura de la construcción de un puente de celosía



3.3.3 Planos de tubería

3.3.3.1 Juntas empleadas en las tuberías

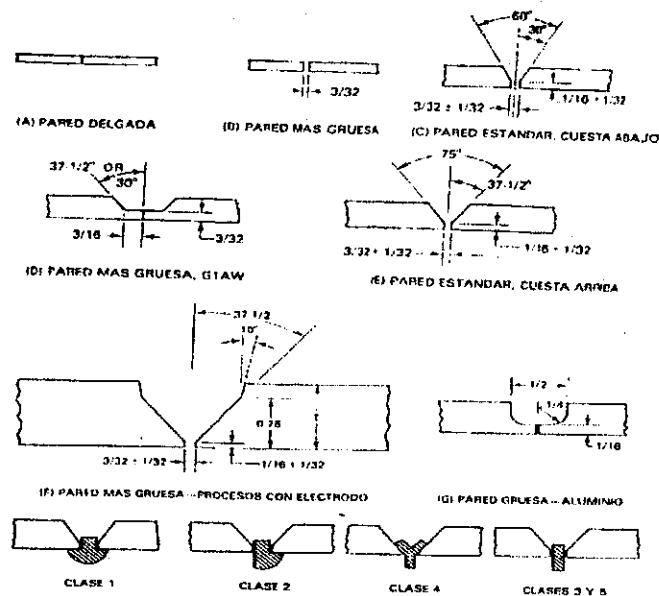
Los diseños de uniones para soldar tubos, se han estandarizado bastante bien y se ilustran en la figura 96. Para el tubo de paredes más delgadas el diseño de unión es la soldadura de surco o bisel recto. En la medida que aumenta el espesor, se usa una unión con bisel en V sencilla. El ángulo incluido en el bisel se ha estandarizado entre 60 y 75 grados. Es más común el ángulo incluido de 75 grados en las tuberías de presión y el ángulo incluido de 60 grados es común en los oleoductos a campo traviesa. La cara de la raíz y su abertura son aproximadamente las mismas.

En medida que aumenta el espesor de la pared, el diseño de la unión cambia de tal manera que se necesitará relativamente menos metal de soldadura. Esto significa que el ángulo incluido cambia a uno menor parcialmente en la parte superior de la unión. Estos tipos de diseño de unión se usan con mayor frecuencia en las tuberías de plantas de fuerza, donde se usa tubo de pared gruesa.

Otras variaciones de diseño de uniones dependen de la composición del tubo. Algunos procedimientos automáticos necesitan de diseños especiales de uniones. Para el tubo de aluminio se han logrado detalles especiales de unión, que casi siempre se combinan con otros procedimientos. Esto permite hacer una soldadura de raíz casi del mismo modo que la soldadura de un tubo de pared delgada.

El anillo rectangular de respaldo rara vez se utiliza, cuando se transmiten fluidos por el sistema de tuberías. Puede usarse para aplicaciones estructurales, en las que el tubo y los miembros tubulares se usan para transmitir cargas en lugar de conducir material. (49)

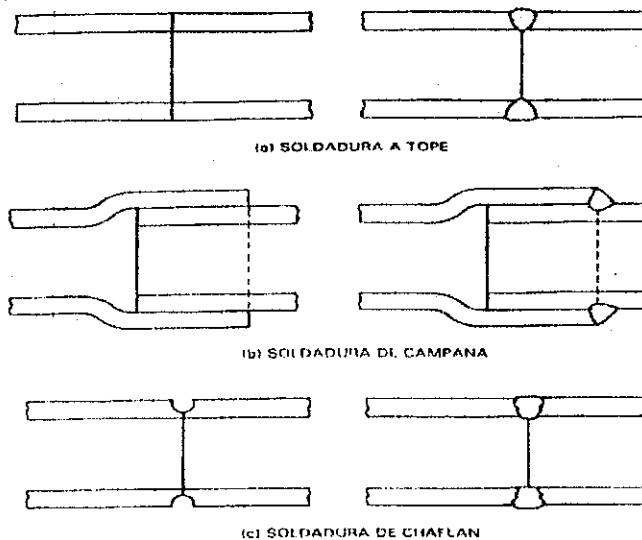
Figura 96. Diseño de uniones para soldar tubos.



Fuente: Howard, B. Cary, Manual de soldadura moderna, p.785

La figura 97 ilustra los tres tipos de uniones que comúnmente se utilizan. Comprende la unión de surco recto, la unión de campana y la unión de surco en U. La unión de bisel o surco recto se usa en un solo paso para tubo de pared delgada. Las uniones de campana dan un ajuste fácil y la soldadura es de chaflán. Las uniones de bisel en V y en U, se usan para los tubos de paredes más gruesas donde se necesiten soldaduras de penetración completa. Para las uniones de bisel se usan pasos múltiples con metal de aporte.(49)

Figura 97. Tipos de uniones en tubería

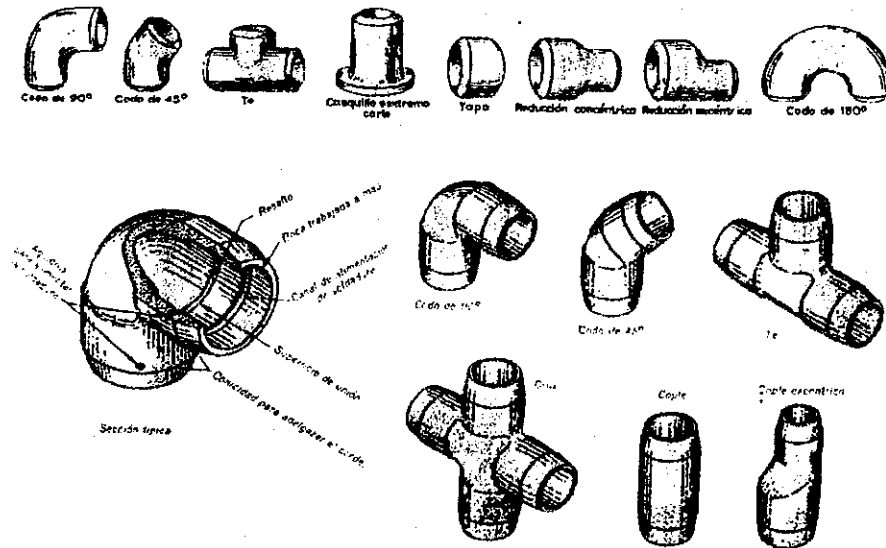


Fuente: Howard, B. Cary, Manual de soldadura moderna, p.786

3.3.3.2 Símbolos estándar para accesorios de tubería

Los accesorios de acero soldados a tope, se emplean para unir tubería de acero, como se ilustra en la figura 98.(50)

Figura 98. Accesorios para ser soldados a tope



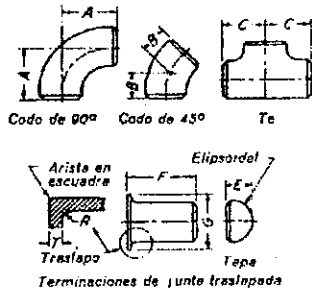
Fuente: Thomas E. French, Dibujo de ingeniería, p. 592

Los tamaños de estos accesorios son estándares americanos, que se representan en la figura 99.

Figura 99. Tamaños estándares de los accesorios

Accesorios estándares americanos de acero para soldar a tope^{1,2}

Codos, tees, tapas y terminaciones



Tamaño nominal del tubo	Diámetro exterior en el bisel	Distancia del eje al extremo			Tapas para anillos E	Terminaciones para junta traslapada		
		Codo de 90° para soldar A	Codo de 45° para soldar B	Te para codos, de paso principal C		Longituden F	Radio de la curva de enlace R	Diámetro de fresado G
1	1.310	1 1/2	7/8	1 1/2	1 1/2	4	1/8	2
1 1/4	1.660	1 7/8	1	1 7/8	1 1/2	4	3/16	2 1/2
1 1/2	1.900	2 1/4	1 1/8	2 1/4	1 1/2	4	1/4	2 3/4
2	2.375	3	1 3/8	2 3/2	1 1/2	6	3/16	3 3/4
2 1/2	2.875	3 3/4	1 3/4	3	1 1/2	6	1/4	4 1/4
3	3.500	4 3/8	2	3 3/8	2	6	3/8	5
3 1/2	4.000	5 1/4	2 1/4	3 3/4	2 1/2	6	3/8	5 1/2

Reductores para soldar a tope



Tamaño nominal del tubo	Diámetro exterior en el bisel		Extremo a extremo H	Tamaño nominal del tubo	Diámetro exterior en el bisel		Extremo a extremo H
	Extremo grande	Extremo pequeño			Extremo grande	Extremo pequeño	
1 x 3/4	1.315	0.840	2	3 x 2 1/2	3.500	2.875	3 1/2
1 x 1/2				3 x 2			
1 x 3/8				3 x 1 1/2			
1 1/4 x 1	1.660	1.050	2	3 x 1 1/4	4.000	3.500	4
1 1/4 x 3/4				3 1/2 x 3			
1 1/4 x 1/2				3 1/2 x 2 1/2			
1 1/2 x 1 1/4	1.900	1.315	2 1/2	3 1/2 x 2	4.000	2.375	4
1 1/2 x 1				3 1/2 x 1 1/2			
1 1/2 x 3/4				3 1/2 x 1 1/4			
1 1/2 x 1/2	2.375	1.050	3	4 x 3 1/2	4.500	4.000	4
2 x 1 1/2				4 x 3			
2 x 1 1/4				4 x 2 1/2			
2 x 1	2.875	1.660	3 1/2	4 x 2	5.563	3.500	5
2 x 3/4				4 x 1 1/2			
2 1/2 x 2				5 x 4			
2 1/2 x 1 1/2	2.875	1.900	3 1/2	5 x 3 1/2	5.563	4.000	5
2 1/2 x 1 1/4				5 x 3			
2 1/2 x 1				5 x 2 1/2			

¹ Para tamaños mayores, véase ASA B18.3-1963.

² ASA B16.9-1984. Dimensiones en pulgadas.

Fuente: Thomas E. French, Dibujo de ingeniería, p. A98

Para representar estos accesorios en los planos de tuberías, se utilizan símbolos estandarizados bajo el sistema americano, dependiendo del tipo de unión. Estos símbolos se ilustran en la figura 100.

Figura 100. Símbolos para uniones de tubería

Símbolos gráficos estándares norteamericanos para tubería y calefacción'

TUBERIA					
Tubería en general		(con letras de la materia que sondean)			
Tubos que no se cortan					
(Para diferenciar las líneas de tuberías sobre un dibujo se emplean las siguientes abreviaturas)					
Aire	Agua fría	Vapor			
Gas	Agua caliente	Condensado			
Petróleo	Vacío	Refrigerante			

	ACCESORIOS Y VALVULAS PARA TUBERIAS				
	Embrizado	Resaca	Enchufe y cordón	Salida, salida	Solo con la 2
Junta					
Codo de 90°					
Codo de 45°					
Codo-Vuelta hacia arriba					
Codo-Vuelta hacia abajo					
Codo-Nren radio					
Codo con salida lateral hacia abajo					
Codo con salida lateral hacia arriba					
Codo boca					
Codo de doble rama					
Codo de reducción					
Reductor					
Reductor excéntrico					
Te-Salida hacia arriba					
Te-Salida hacia abajo					
Te					
Te con salida lateral hacia arriba					
Te sin salida lateral hacia abajo					
Te de simple curva					
Te de doble curva					
Cruz					
Y lateral					
Valvula de compuerta					

1 45A Y37.2.2-1953.

Fuente: Thomas E. French, Dibujo de ingeniería, p. A106

Figura 100. (Continuación)

	TUBERÍA				
	Embrase	Acodo	Sacaba y corón	Sold. soldados	Sold con sold.
Válvula esférica					
Válvula esférica de ángulo					
Válvula de compuerta de ángulo					
Válvula de retención					
Válvula de retención angular					
Manómetro					
Válvula de seguridad					
Válvula de apertura rápida					
Válvula accionada por flotador					
Válvula de compuerta accionada por motor					
Válvula esférica accionada por motor					
Junta de dilatación con bridas					
Brida de reducción					
Unión	(Véase junta)				
Manguito					
Casquillo					

Fuente: Thomas E. French, Dibujo de ingeniería, p. A107

3.3.3.3 Representaciones de las tuberías

Para la representación de tuberías, se usan dos sistemas generales:

- 1) el trazado a escala.
- 2) el esquemático.

Los trazados a escala se emplean principalmente para tubos grandes (generalmente con bridas), como en las obras de calderas y de centrales o plantas eléctricas, en que las longitudes son críticas, y especialmente cuando el tubo no se corta y ajusta en la obra. También pueden detallarse así los tubos más pequeños, cuando se preparan las piezas a su longitud final y ranuras de juntas antes de enviarse a la obra. Los accesorios pueden especificarse en el dibujo, o bien, en una lista de materiales.

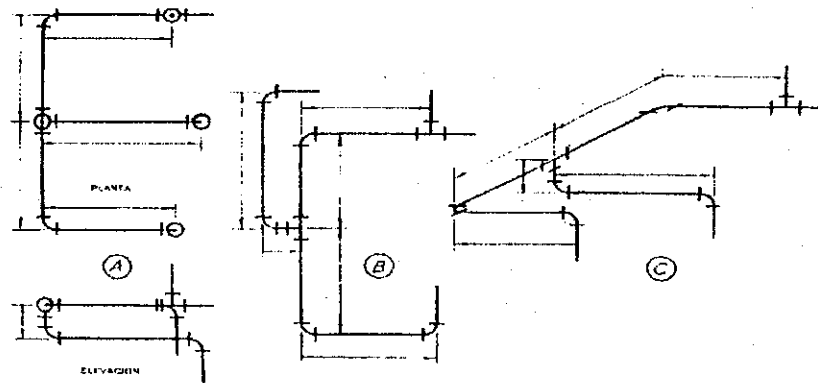
En los dibujos que se hacen a escala pequeña, como los planos arquitectónicos, los de distribución en planta, etcétera, o en los croquis, se emplea el sistema esquemático. Siguiendo este sistema, se indican los accesorios por medio de símbolos (véase figura 100) y los tramos de tubería se muestran en una sola línea, cualesquiera que sean los diámetros de la tubería.

Cuando las tuberías conducen líquidos diferentes, o una misma sustancia en distintos estados físicos se identifican por un código de símbolo. En la figura 100 se da el código estándar para agua caliente, vapor, agua fría, etc. La simple línea que representa la tubería debe hacerse más gruesa que las demás líneas del dibujo.

Las vistas se disponen generalmente en proyección diédrica (figura 101 parte A) desde el tercer cuadrante: poniendo la planta abajo, será desde el primer cuadrante. Algunas veces, sin embargo, resulta más claro ir girando toda la tubería hasta extenderla sobre el plano y hacer una sola "vista desarrollada" como en la figura 101 parte B). Frecuentemente, se emplean para representar tuberías en esquemas isométricos y oblicuos, ya sea solos o en conjunción con dibujos

diédricos o desarrollados. La representación ilustrada en la figura 101 parte C) está dibujada en proyección oblicua o clinogonal.(50)

Figura 101. Métodos esquemáticos



- A) Diédrico
- B) Desarrollado
- C) Ilustrativo

Fuente: Thomas E. French, Dibujo de ingeniería, p. 596

3.3.3.4 Cotas

Las cotas que figuran en los dibujos de tubería son principalmente de situación, todas las cuales se dan con respecto a los ejes, tanto en los esquemas de línea simple como en la representación de línea doble. Las válvulas y los accesorios se sitúan por mediciones llevadas a sus ejes, y las tolerancias para el armado del sistema se dejan al instalador. Al proyectar una tubería, debe de

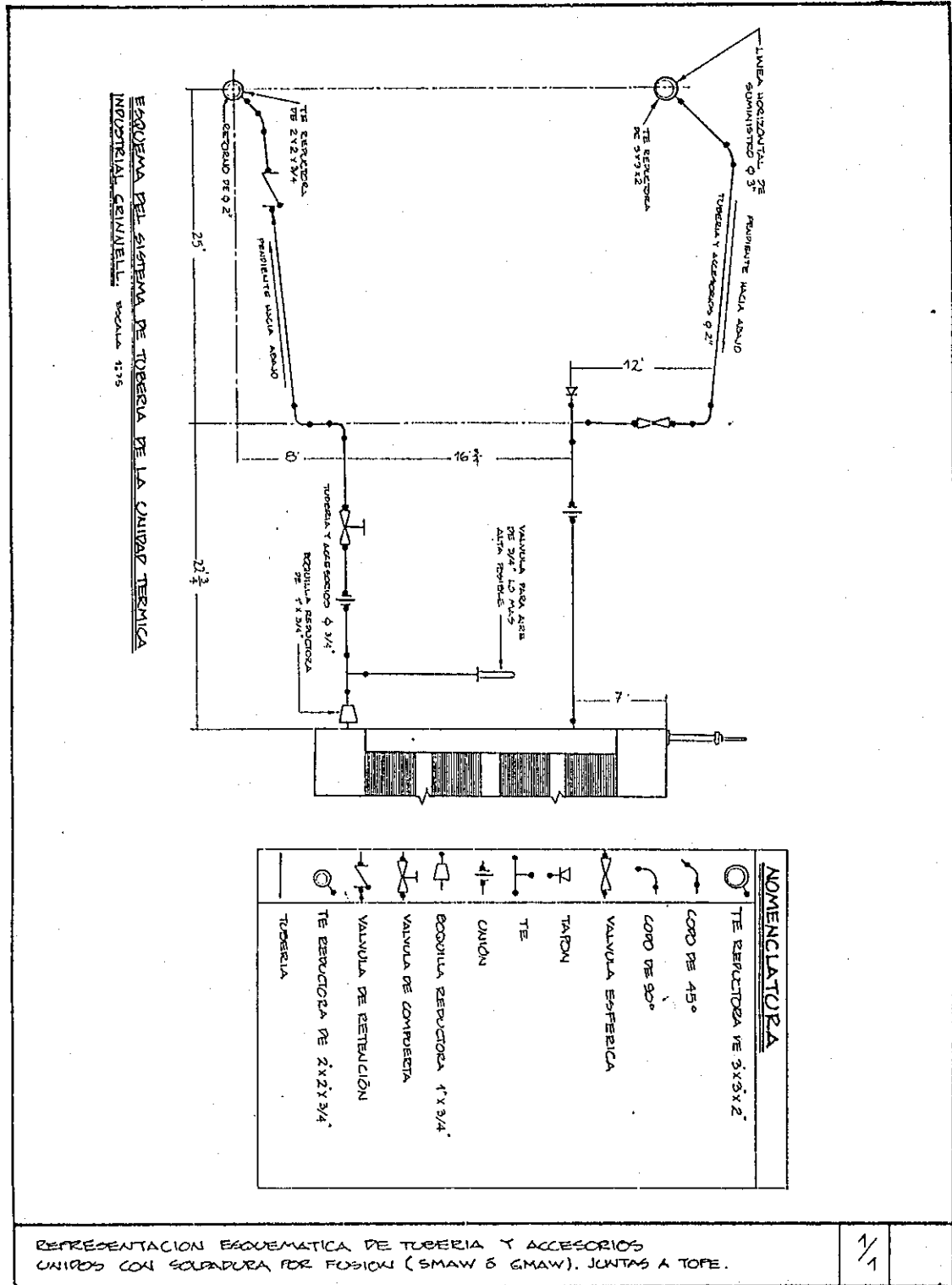
tenerse cuidado de situar las válvulas de manera que sean accesibles con facilidad y que sus volantes de mano dispongan de un amplio espacio libre para su accionamiento.

Los tamaños o dimensiones de los tubos deben especificarse por medio de notas dando sus diámetros nominales, y nunca por medio de líneas de cota sobre el dibujo de los tubos. Los accesorios se especifican por medio de una nota, colocando el nombre, el tamaño nominal del tubo y el material. Una parte esencial de importancia es que figuren notas muy completas en todos los dibujos y esquemas de tubería.(51)

Cuando es necesario acotar la longitud real de un tramo de tubería, puede calcularse la distancia utilizando las dimensiones exteriores de los accesorios.

En el plano de la figura 102, se representará un sistema de tubería, utilizando el método esquemático. El sistema de tubería, es de la unidad térmica industrial Grinnell, retorno cerrado, sistema de gravedad. Tubo horizontal de suministro de 3" (76 mm); tubo y los accesorios que van a la unidad 2" (51 mm); tubo y accesorios de la unidad al retorno horizontal de $\frac{3}{4}$ " (19 mm); retorno horizontal de 2".

Figura 102. Representación esquemática de tuberías y accesorios



4. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN

4.1 Aceros

4.1.1 Propiedades y características de los aceros al carbono

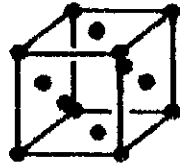
El hierro es un mineral metálico que se conoce en química con el símbolo de **Fe**. Este metal es blando, dúctil y tiene una resistencia relativamente baja. En sus condiciones de hierro puro, tiene pocas aplicaciones y además es muy costoso producirlo, pues se encuentra en la naturaleza en forma de óxido de hierro, con una gran cantidad de impurezas que es difícil quitarle totalmente. Además, se encontró que dichas impurezas le daban al hierro características diferentes de resistencia, ductilidad, que lo hacían más apto para las diferentes necesidades de la industria. En general, el hierro puede contener como impurezas después de producirlo, pequeñas cantidades de carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre, cromo, níquel etc., y estos materiales aún en muy pequeñas proporciones pueden producir grandes efectos como es el caso con el carbono. Cuando al hierro se le deja un poco de carbono se le da el nombre de acero. Por lo tanto se define como: " Acero es una aleación de Hierro-Carbono ".

Para proporcionar una idea del gran efecto del carbono sobre el hierro bastará con decir que 2 kilogramos de carbono en una tonelada de hierro pueden aumentar la resistencia de una varilla de 1 pulgada de espesor desde 18,000 a 27,000 Kg. (40,000 a 60,000 Psi). Sin embargo, la ductilidad disminuye cuando el carbono aumenta.

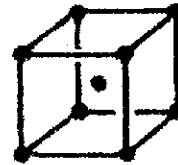
Por otra parte, vale la pena decir que el acero puede cambiar sus características de resistencia si se somete a cambios más o menos rápidos de temperatura. Para entender el efecto de la temperatura sobre las propiedades del acero, es necesario comprender que el hierro sólido está formado de cristales semejantes a los de azúcar ó arena pero fuertemente unidos entre sí.

A una temperatura de 1530° C., ó más, el hierro se encontrará en estado líquido y si la temperatura es menor a esa, se solidificará en forma de cristales fuertemente unidos entre sí. Esos cristales tienen una forma, como la que se muestra en la figura 103, hasta que lleguen a una temperatura de 910° C., el hierro cuando está ordenado en esa forma se le llama Hierro Gama. Cuando la temperatura baja de 910° C., hasta el ambiente ó por debajo de la temperatura ambiente, los átomos de hierro se ordenan en otra forma como lo que muestra la figura 103, llamados hierro alfa. El hierro gama tiene mayor volumen que el hierro alfa y puede disolver más cantidad de carbono.(52)

Figura 103. Estructuras cristalinas del acero, respecto a la variación de la temperatura.



Cúbica
centrada
en las caras



Cúbica
centrada
en el cuerpo

Fuente: West-arco, Manual de soldadura, p. 78

A ese cambio de forma de los cristales al variar la temperatura se le denomina cambio ó transformación alotropica.

Por otra parte el hierro puede combinarse con el carbono formando carburo de hierro o cementita que es un cristal sumamente duro y frágil.

Como ya se mencionó, el hierro gama puede disolver carbono. Cuando el hierro gama contiene carbono en solución se le denomina Austenita. El hierro gama puede disolver hasta 1.700 gramos de carbono por cada 100 kilogramos.

Por otra parte, el hierro alfa también puede disolver carbono pero en menor cantidad, él sólo puede disolver 40 gramos en cada 100 kilogramos de hierro alfa. Cuando el hierro alfa tiene carbono en solución se le llama Ferrita.

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores, se puede notar lo que pasa con los cambios de temperatura y la velocidad con que se efectúan dichos cambios.

Si por ejemplo tenemos un acero que contenga 1.000 gramos de carbono en cada 100 kilogramos de hierro, y si el conjunto está a una temperatura de 1200° C., la masa estará en estado sólido en forma de austenita ó sea una solución sólida de carbono en hierro gama. Cuando la temperatura disminuye, la austenita comienza a convertirse en ferrita que no es capaz de disolver todo ese carbono y por lo tanto el exceso de carbono que se va librando se convierte con el hierro formando cementita (carburo de hierro).

De esa forma se va formando una masa que va a estar constituida por capas de ferrita y capas de cementita, a esa mezcla de ferrita y cementita se le da el nombre de Perlita. La perlita, tiene propiedades diferentes a las de la ferrita sola ó a las de la cementita sola. La velocidad de enfriamiento es muy importante en esa transformación y si la velocidad es muy lenta, las capas formadas son anchas y entre más rápida la velocidad de enfriamiento las capas son más finas, y sin cambiar el contenido de carbono entre más finas sean las capas más resistente es el acero.

Sin embargo, cuando la velocidad de enfriamiento es muy elevada, no habrá tiempo para que se forme la perlita y en ese caso se formará un cristal parecido a la ferrita pero con más carbono del que normalmente puede aceptar y con características muy diferentes a las de la ferrita. A ese cristal se le llama Martensita, que es muy duro, tiene alta resistencia pero es sumamente frágil y de muy poca ductilidad.

Como puede verse ésta propiedad alotropica del acero o sea el poder pasar de una estructura cristalina a otra con el cambio de temperatura es muy importante y es aprovechada industrialmente para obtener aceros con diferentes propiedades de resistencia y ductilidad. Esto se logra obligando al acero a hacer la transformación más ó menos rápidamente. Esos cambios de temperatura a que se somete el acero para variar sus propiedades se denominan Tratamientos Térmicos. Entre mayor es el contenido de carbono mayor será el efecto obtenido en el tratamiento térmico. A manera de ejemplo, algunos de los tratamientos térmicos más usados son los siguientes:

- a) **Temple:** con este tratamiento se aumenta la resistencia y dureza del acero. En términos generales se calienta el acero un poco por arriba de la temperatura en que se comienza a formar la austenita y se enfría más o menos rápidamente (en agua o aceite).

- b) **Normalizado:** para "borrar" tratamientos térmicos defectuosos y otros. En este tratamiento se calienta el acero también un poco por arriba de la temperatura en que se forma la austenita y se enfría en aire tranquilo.
- c) **Recocido:** sirve para ablandar el acero. Hay diferentes clases de recocido y en general consiste en calentar el acero a temperaturas cercanas a la temperatura en que se forma la austenita seguida por enfriamiento lento.
- d) **Cristalización:** cuando el acero está en estado líquido los átomos de hierro no tienen ningún orden y se están moviendo continuamente de un lado a otro. Cuando la temperatura baja a la temperatura de solidificación es difícil que se formen los primeros cristales sólidos, pero sí el metal líquido está en contacto con acero sólido los átomos comienzan a ordenarse en cristales sobre los cristales del metal sólido que por ese motivo se llaman Núcleos, a medida que se van apilando los cristales sobre el núcleo este va creciendo y ellos se van formando, siguiendo siempre la misma dirección en que estaba orientado el núcleo. A cada conjunto de cristales que se ordenan en cada dirección específica se le llama Grano.

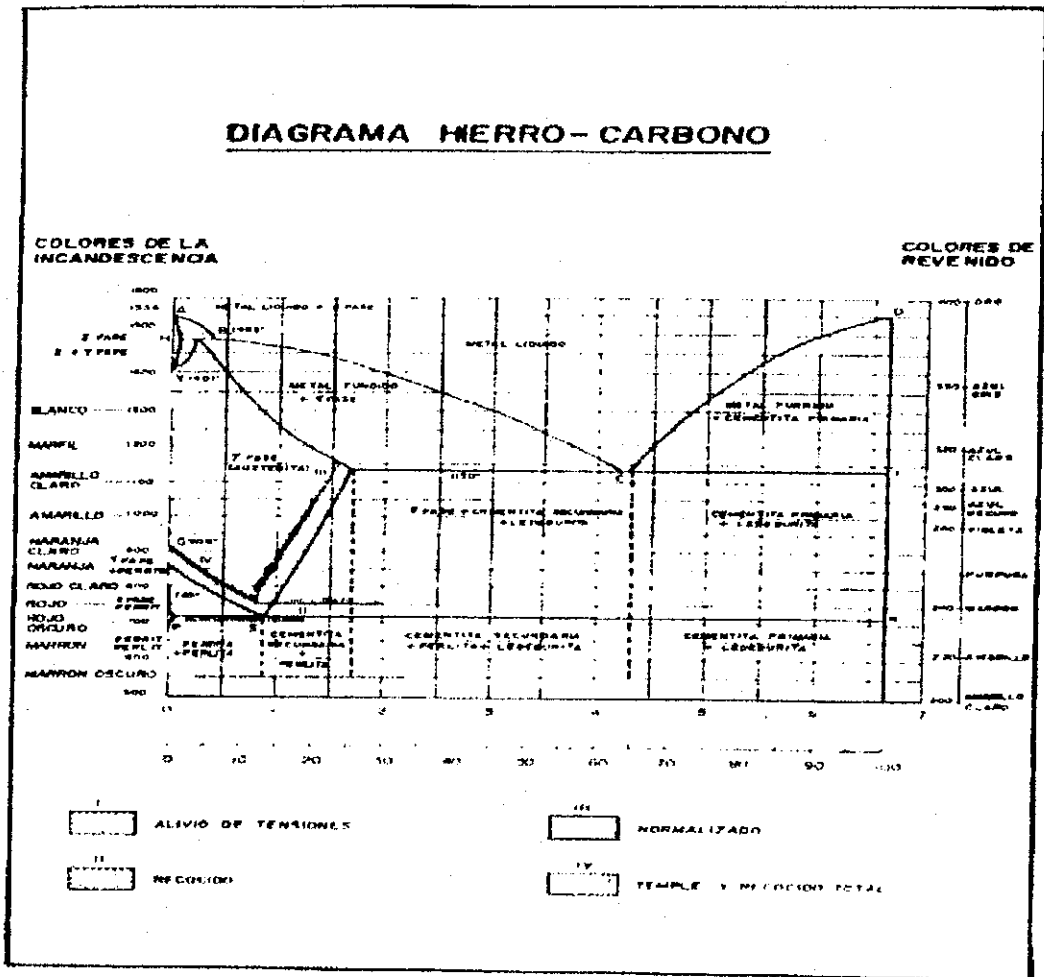
Como en el proceso de solidificación hay muchos núcleos al tiempo, los granos van creciendo uno al lado del otro hasta que se encuentran en contacto. La región límite entre un grano y otro se le llama Límite de Grano.

Cuando se permite mucho tiempo al acero en la temperatura de cristalización, los granos crecen y se dice que el acero es de grano grueso. Si no se permite al acero permanecer mucho tiempo en la temperatura de cristalización el tamaño del grano es fino. Por medio del tratamiento térmico ó agregando ciertos elementos de aleación, es posible lograr aceros de grano fino. Los aceros de grano fino tienen en general mejorar las propiedades de los aceros de grano grueso. (Estas transformaciones alotropicas y tratamientos térmicos del acero se representan en el diagrama Hierro-Carbono de la figura 104).

Cuando un acero se calienta a temperatura de forja (1100°C) y entonces trabajado (laminado) mientras se enfría hasta que la austenita comienza a transformarse, el grano se afina y el proceso se llama trabajo en caliente.

Cuando el acero se trabaja (laminado, trefilado ó martillado) en frío se dice que es un acero trabajado en frío. Los granos son más finos, sin embargo el acero tiende a ser más duro y más frágil. El acero trabajado en esta forma se llama acero trabajado en frío.

Figura 104. Diagrama hierro-carbono



Fuente: Tecnicontrol Ltda, Manual de referencias para inspectores de construcciones Soldadas, p.17

Aunque el carbono es uno de los principales elementos que se encuentran en los aceros, los aceros comunes tienen además de carbono, pequeñas cantidades de manganeso, silicio, y como impurezas, ó sea sustancias indeseables pero que no se pueden quitar, fósforo y azufre. (53)

Todos estos elementos aleantes o como impurezas controladas, influyen en los aceros, proporcionándole propiedades distintas dependiendo del elemento y la cantidad en que se encuentre en el acero; a continuación se describe la influencia de estos elementos en los aceros:

Carbono

- Formador de carburos muy duros
- Aumenta la resistencia a la tracción y el límite elástico del acero
- Influye en el aumento de dureza después del temple
- Disminuye las propiedades de elasticidad y las facilidades de forja y soldadura

Manganeso

- Aumenta la templabilidad del acero
- Eleva el límite elástico y de rotura
- Disminuye las temperaturas críticas durante el calentamiento
- Mejora la tenacidad del acero
- Disminuye la fragilidad en caliente
- Mezclado con otros elementos mejora la maquinabilidad
- Reduce la conductividad térmica y eléctrica

Silicio

- Afecta negativamente la facilidad para trabajar el acero en frío y en caliente
- Tiene buena influencia sobre la dureza.
- No es formador de carburos.
- Le da al acero buenas propiedades magnéticas.

Molibdeno

- Aumenta la resistencia a altas temperaturas
- Mejora la templabilidad del acero
- Aumenta la resistencia al desgaste
- Influye positivamente en la tenacidad
- Reduce la fragilidad del revenido
- Mejora la resistencia a la fatiga
- Refina el grano
- Disminuye la forjabilidad
- Gran formador de carburos

Níquel

- Disminuye las temperaturas críticas
- Aumenta la templabilidad
- Excelente afinador del grano
- Aumenta la resistencia a bajas temperaturas
- Influye positivamente en la resistencia a la corrosión
- Reduce la conductividad térmica

Cromo

- Gran formador de carburos
- Aumenta la dureza
- Mejora la resistencia a altas temperaturas
- Aumenta la resistencia al desgaste
- Elemento primordial para mejorar la resistencia a la corrosión
- Disminuye la soldabilidad
- Disminuye la resistencia al impacto
- Reduce la conductividad térmica y eléctrica

Azufre

- Aumenta la maquinabilidad del acero
- Crea fisuras durante el proceso de soldadura

Fosforo

- Aumenta la maquinabilidad
- Hace quebradizo el acero

Plomo

- Mejora la maquinabilidad
- Mejora el acabado superficial después de maquinado
- No afecta las otras propiedades del acero

Aluminio

- Inhibe el crecimiento del grano
- Buena capacidad para formar nitruros
- Se utiliza en la fabricación de imanes permanentes

Tungsteno

- Gran formador de carburos
- Inhibe el crecimiento de grano
- Incrementa la resistencia al desgaste
- Aumenta la resistencia a altas temperaturas
- Elemento predominante en los aceros rápidos
- Disminuye la tenacidad, soldabilidad y forjabilidad
- En porcentajes altos da al acero propiedades de autotemplabilidad

Vanadio

- Forma los carburos más duros que se conocen
- Reduce el crecimiento de grano
- Mejora la resistencia al desgaste
- Aumenta la resistencia al calor
- Incrementa la resistencia a la fatiga
- Disminuye la maquinabilidad

Cobalto

- Inhibe el crecimiento de grano
- Aumenta la dureza a altas temperaturas
- Actúa favorablemente en la formación de grafito
- Se utiliza en la fabricación de imanes

Titanio

- Fuerte formador de carburos
- Afina el grano
- Se utiliza en los aceros austeníticos resistentes a la corrosión intercrystalina

4.1.2 Normas AISI y DIN para designar los aceros

4.1.2.1 Identificación de los aceros según la norma SAE- AISI

- a) **Aceros de maquinaria:** están identificados con un número de cuatro dígitos, uno con un significado:

X X X X

A B C D

A = Indica el elemento aleante que se encuentra en mayor porcentaje.

1. Carbono
2. Níquel
3. Níquel – Cromo, principal aleante el Níquel
4. Molibdeno
5. Cromo
6. Cromo – Vanadio, principal aleante Cromo
7. Cromo – Tungsteno
8. Níquel – Cromo – Molibdeno, principal aleante Molibdeno
9. Níquel – Cromo – Molibdeno, principal aleante Níquel

B = Indica un elemento adicional que acompaña al principal o en porcentaje del elemento principal.

C y D = Indican el porcentaje de carbono dividido por 100.

b) **Aceros inoxidables:** están identificados con un número de tres dígitos.

- ✓ Serie 2xx = Aceros al Cr-Ni-Mn, no endurecibles, austeníticos, no magnéticos.
- ✓ Serie 3xx = Aceros al Cr-Ni, no endurecibles, austeníticos, no magnéticos.
- ✓ Serie 4xx = Aceros al Cr, endurecibles, magnéticos.
- ✓ Serie 5xx = Aceros bajo Cr, resistentes al calor.

- c) **Aceros de herramienta:** se designan con una letra y un número de uno o 2 dígitos.

W = Templables en agua.

S = Resistentes al impacto.

Para trabajo en frío:

O = Templables en aceite.

A = Templables en aire.

D = Alto carbono – alto cromo.

H = Para trabajo en caliente.

Aceros rápidos:

T = Base de tungsteno.

M= Base molibdeno.

P= Aceros para moldes.

4.1.2.2 Identificación de los aceros según la norma DIN

- a) **Aceros sin alear:** aceros para construcción (no aptos para tratamientos térmicos).

1. Abreviatura: **St.**

2. Resistencia mínima a la tracción en Kg/mm².

Ejemplo: St 42

Acero de construcción con una resistencia a la tracción de 42 Kg/mm².

Aceros apropiados para tratamiento térmico.

1 Símbolo: **C = Carbono.**

2 Contenido de carbono en porcentaje dividido por 100.

Ejemplo: C 35

Acero al carbono con 0.35% de carbono.

A los aceros que contienen poco P (fósforo) y S (azufre) se les añade la letra K.

Aceros de herramientas sin alear.

1 Símbolo: **C = Carbono.**

2 Contenido de carbono en porcentaje dividido por 100.

3 Símbolo: **W = Acero de herramienta.**

Ejemplo: C 100 W

Acero de herramientas con 1.0% de Carbono.

b) Aceros aleados

Los aceros de baja aleación contienen elementos aleantes que en porcentaje suman menos de 5%

- 1 Contenido de carbono en porcentaje dividido por 100.
- 2 Símbolo del elemento aleante.
- 3 Contenido del elemento aleante en porcentaje dividido por 100.

Ejemplo: 15 Cr 35

Acero al cromo con 0.15% de carbono y 0.35% de Cromo.

Los elementos aleantes se ordenan según su porcentaje decreciente.

(54)

Los aceros de alta aleación tienen elementos aleantes que en porcentaje suman más del 5%.

- 1 Letra inicial X.
- 2 Contenido de carbono en porcentaje dividido por 100.
- 3 Símbolo del elemento aleante.
- 4 Contenido del elemento aleante en su verdadero porcentaje.

Ejemplo: X 10 Cr Ni 18-8

Acero al Cromo – Níquel con 0.10% de Carbono, 18% Cr y 8% de Ni.

Multiplicadores para los elementos aleantes según la Norma DIN.

4	10	100
Cromo	Aluminio	Carbono
Cobalto	Molibdeno	Fósforo
Manganeso	Tantalio	Azufre
Níquel	Titanio	Nitrógeno
Silicio	Vanadio	
Tungsteno.		

Dichos multiplicadores indican que para encontrar el porcentaje en que se encuentran los elementos aleantes hay que dividir por el factor correspondiente a cada elemento.

4.1.2.3 Aceros al carbono

Existe un gran número de composiciones y propiedades diferentes de los aceros al carbono, ya que el carbono es el material que más afecta las propiedades del acero. Teniendo en cuenta esa propiedad del carbono, se ha clasificado al acero, como sigue:

1. Aceros de bajo contenido de carbono: los que contienen hasta 0.15% de carbono. Por ejemplo: AISI 1010.
2. Aceros de bajo medio contenido de carbono: los que contienen entre 0.15 y 0.29 % de carbono. Ejemplo: AISI 1016, AISI 1020.
3. Aceros de medio contenido de carbono: los que contienen entre 0.30 y 0.59 % de carbono. Ejemplo: AISI 1045.
4. Aceros de alto contenido de carbono: los que tienen entre 0.60 y 2.0 % de carbono. Ejemplo: AISI 1070. (55)

4.1.2.4 Aceros de baja aleación

Una aleación es el producto de una asociación o mezcla de dos o más metales. Generalmente para producir una aleación se mezclan los metales en estado líquido o fundido y luego el conjunto se deja solidificar. Una pequeña cantidad de elementos de aleación puede causar grandes variaciones en las propiedades del acero. Los principales elementos o materiales de aleación que se usan en la industria del acero son: Manganeso, Níquel, Cromo, Molibdeno, Vanadio y Silicio.

Cualquiera de los anteriores elementos de aleación pueden producir características especiales en el acero. La suma total de los porcentajes de los elementos que contienen a los aceros de baja aleación debe ser menor del 5%, así como también se pueden usar en el mismo acero dos o tres de ellos al mismo tiempo.

Los principales motivos por los cuales se usan elementos de aleación en los aceros son los siguientes:

1. En los aceros al carbono la ductilidad del acero disminuye rápidamente cuando aumenta el contenido de carbono.
2. Los tratamientos térmicos son más efectivos en los aceros aleados que en aceros al carbono. Los tratamientos térmicos en los aceros al carbono son óptimo solo en espesores pequeños.
3. Las propiedades físicas de los aceros al carbono se disminuyen marcadamente con el aumento en temperatura.
4. Los aceros al carbono son muy susceptibles al ataque químico del medio ambiente especialmente a temperaturas elevadas.

La AWS (American Welding Society) hace una clasificación general según el uso de los aceros de baja aleación de la siguiente forma:

- a) **Aceros de construcción** en este grupo están comprendidos los aceros bajamente aleados comúnmente usados para construir tanques de almacenamiento, carros de ferrocarril, embarcaciones, estructuras de volquetas, brazos o partes de las guías, etc.

- b) **Aceros para trabajos a baja temperatura** usados en la industria aeronáutica y equipos para producir y mantener gases licuados a muy baja temperatura.
- c) **Aceros para trabajos a elevadas temperaturas** usados en recalentadores de vapor, equipos para procesos químicos, calderas, torres de refinamiento del petróleo, etc.(56)

Ejemplos de aceros de bajo contenido de carbono:

AISI 3120

Identifica a un acero con níquel y cromo elementos de aleación en una proporción de aproximadamente 1.25% de níquel y 0.60% de cromo y un contenido de carbono de 0.20%. Otros ejemplos:

AISI 1114, AISI 8620, AISI 4140, AISI 4320.

Para la mayoría de los aceros se da un rango de contenido de los elementos aleantes de la siguiente manera:

Manganeso	0.75	-	1.0	%
Silicio	0.20	-	0.35	%
Fósforo	máximo		0.040	%
Azufre	máximo		0.040	%

4.2 Soldabilidad de los aceros

Como consecuencia de los efectos térmicos a que el acero está sometiendo en toda clase de soldadura, aparecen determinadas variaciones en el metal, que con frecuencia son permanentes. Estas variaciones pueden estar condicionadas por transformaciones de la estructura durante el calentamiento o por tensiones térmicas, que originan modificaciones en su forma y dimensión.

Si un acero puede soldarse sin que haya de tomarse medidas de precaución y sin que las citadas variaciones sean origen de preocupaciones sobre la estabilidad de la construcción soldada, se designa el acero como bien soldable.

El concepto **acero no soldable** es incorrecto. Todos los aceros pueden soldarse y solo tienen que cumplir las condiciones metalúrgicas correctas, pero, sin embargo, estas condiciones pueden ser tan complicadas que en la práctica ni pueden ser ejecutadas.

Por otra parte la definición de soldabilidad según la AWS (American Welding Society) es la siguiente:

“Soldabilidad es la capacidad de un metal o combinación de metales para ser soldados bajo condiciones de fabricación en un diseño específico y apropiado de una estructura, y para comportarse satisfactoriamente en servicio”. (57)

La capacidad de los metales para dejarse soldar depende de factores como su composición química, tratamientos térmicos que tenga, dimensiones y forma. La soldabilidad del material, también puede requerir que éste después de soldado pueda cumplir con requisitos especiales como resistir altas temperaturas, ser resistente al impacto, a las bajas temperaturas, etc.

Las diferentes clases de aceros soldables más importantes son:

ACEROS AL CARBONO

- ☛ Aceros de bajo contenido de carbono.
- ☛ Aceros de bajo medio contenido de carbono.
- ☛ Aceros de medio contenido de carbono.
- ☛ Aceros de alto contenido de carbono.

ACEROS DE BAJA ALEACIÓN

- ☛ Con manganeso.
- ☛ Con níquel.
- ☛ Con cromo – níquel.
- ☛ Con molibdeno.
- ☛ Con cromo – molibdeno.
- ☛ Con cromo – níquel y molibdeno.
- ☛ Con níquel y molibdeno.
- ☛ Con cromo.
- ☛ Con molibdeno.

ACEROS DE ALTA ALEACIÓN

- ☐ Ferríticos.
- ☐ Martensíticos.
- ☐ Austeníticos.

En términos generales, los aceros que son bien soldables pueden agruparse de la siguiente manera:

1. Todos los aceros al carbono con 0.25% de carbono máximo, con espesores de plancha de 40 a 60 mm.
2. Los aceros de baja aleación pobres en carbono con un 0.15% de éste elemento como máximo y espesores de 10 a 25 mm máximo.
3. Los aceros inoxidable austeníticos, si su contenido de carbono no sobrepasa de un 0.07 % o si su contenido de carbono es algo mayor (0.10 – 0.12%), pero están estabilizados con titanio o columbio. La soldabilidad de ellos es independiente del espesor, en amplios rangos.
4. Todos los demás aceros son limitadamente soldables.

El hecho de que un acero sea limitadamente soldable puede exigir diferentes grados de medidas de precaución como por ejemplo:

Los aceros que tengan un contenido de carbono de hasta 0.35%, si se precalienta a temperaturas entre 200 y 300 grados centígrados, se pueden soldar sin dificultad. (58)

Los aceros con más de 0.35 % de carbono y los aceros de baja aleación que son templados al aire exigen además del precalentamiento, un tratamiento térmico inmediatamente después de soldar (antes de que enfrien las piezas). Puesto que las características físicas y su composición influyen en su soldabilidad o sea que dependiendo de ellas va a ser necesario tomar o no precauciones para soldarlo, es indispensable tener en cuenta esas características y composición, tanto para escoger el electrodo apropiado como para aplicarlo correctamente.

Generalmente, se trata de escoger el electrodo cuya composición del metal depositado concuerde con el metal base. De no ser posible se puede escoger el electrodo que concuerde más con la característica a que va a ser sometida la estructura, o sea, si se tiene un metal base bajamente aleado con níquel que resiste 56Kg/mm² (80,000 psi), el electrodo recomendado será un E-80XX-C (aleado con níquel) pero si el electrodo no esta disponible, y se sabe que la soldadura solo va a estar sometida a atracción se podría usar cualquier electrodo cuyo metal depositado soporte 56 Kg/mm².

Como hay aceros que son susceptibles a formar una estructura frágil (Martensita) durante un enfriamiento más o menos rápido, es necesario tomar precauciones para esa estructura no se forme ya sea precalentado o postcalentando o usando una energía aplicada mayor. Estas precauciones van muy relacionadas con el espesor de la pieza que se va a soldar, entre mayor sea el espesor mayor será la velocidad con que el cordón y la zona afectada por el calor se enfrian.

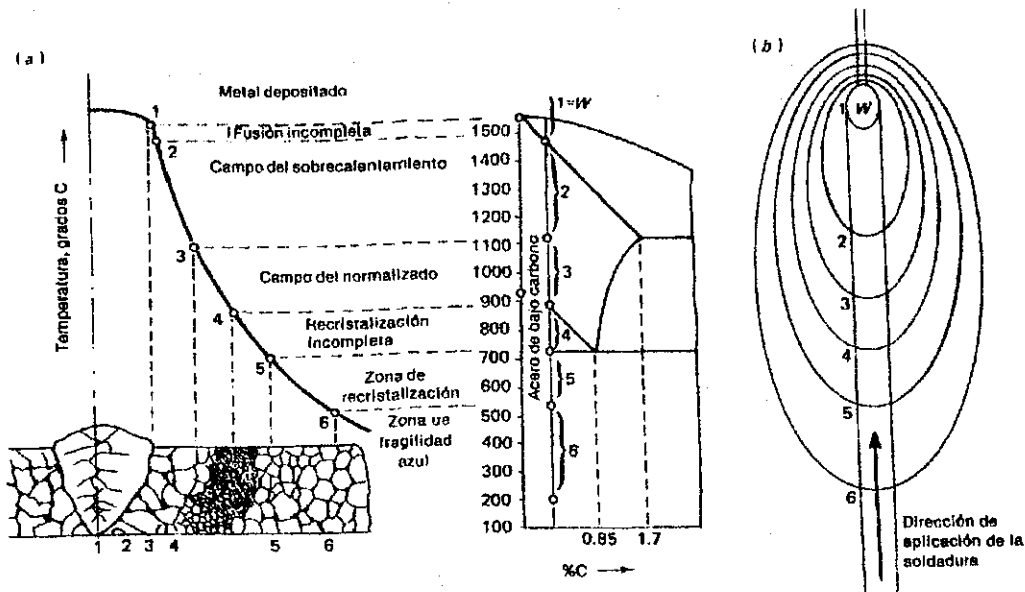
También se deben tomar en cuenta el grado de fijación de la pieza que se desea soldar, es decir, si las piezas que se desean soldar están sumamente fijas o son muy voluminosas, no ayudarán a absorber las dilataciones y contracciones creadas por el calentamiento y enfriamiento y en ese caso el cordón de soldadura aún caliente tendrá que soportar esos esfuerzos. El precalentamiento también ayuda en esos casos a que esas dilataciones y contracciones no sean tan bruscas y puedan afectar el metal depositado.

4.3 Estructura de la unión soldada

Los aspectos metalúrgicos de lo que tiene lugar en la zona de la soldadura durante el enfriamiento difieren algo de los que se observan durante el enfriamiento de una pieza fundida. En la soldadura, el metal fundido se solidifica en cuestión de segundos, la cantidad de metal rara vez excede de una pulgada cúbica. La fuente de calor y el pocillo de metal fundido tienen una temperatura considerablemente más elevada que en los hornos de fusión.

Como resultado del enfriamiento rápido del pocillo de soldadura, las reacciones químicas que se inician en el metal fundido y en la escoria no tienen tiempo para completarse. La solidificación del metal fundido en el pocillo de soldadura se ilustra en la figura 105 en forma de diagrama. Al avanzar la formación del cordón, la temperatura del pocillo de soldadura descende, debido a la abstracción del calor hacia el metal de base y a la radiación hacia la atmósfera del ambiente, y el metal se solidifica. (59)

Figura 105. Solidificación progresiva del metal fundido en un pocillo de soldadura



(a) Curva de enfriamiento con expresión de las diferentes estructuras.

(b) Vista superior del pocillo de soldadura (W) y líneas isotérmicas en torno al pocillo. Las isotérmicas están numeradas de acuerdo con la curva de (a).

Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 515

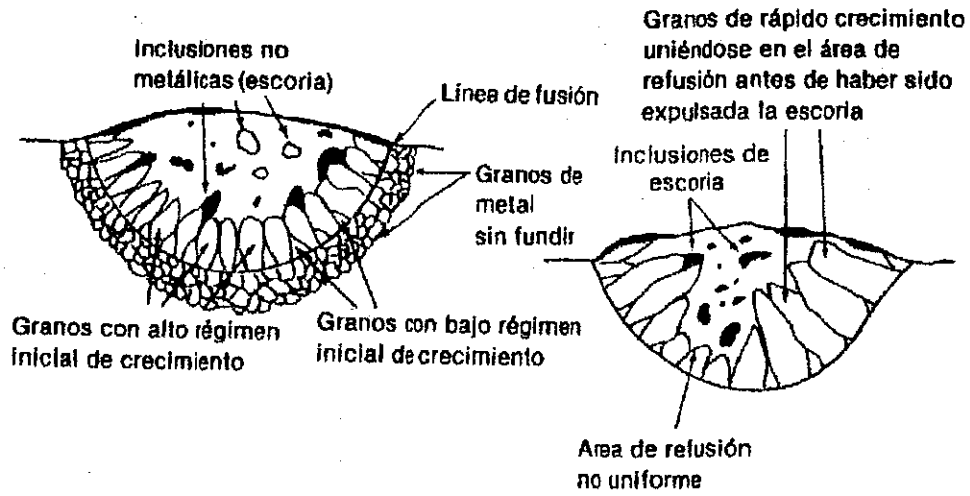
Los granos aparecen primero en la línea de fusión, en donde la temperatura es relativamente baja, y crecen con rapidez diferente, porque al aumentar de tamaño y al hacer presión los cristales unos contra otros, cada uno actúa de acuerdo con el estado de su crecimiento. Sin embargo, los granos en crecimiento pueden empujar hacia fuera las inclusiones no metálicas, hasta la superficie de la soldadura. Esta es la razón por la que en la soldadura que se aplica hacia arriba, la escoria aparece sobre la superficie

de la soldadura no flotando hacia la raíz del cordón. No se trata de flotación en absoluto, sino de un estado en el que el material no metálico es forzado hacia fuera del metal líquido al comenzar a formarse los cristales y a hacer presión unos contra otros.

La solidificación uniforme del pocillo de metal se altera por refusión cuando se aplican pasadas subsecuentes. Esto puede resultar en bolsas de metal fundido en las que se retarda el crecimiento de los granos. Estas regiones tienen, por tanto, probabilidades de contener inclusiones de escoria como en la figura 106. La estructura del metal de la soldadura y la apropiada solidificación del pocillo de metal dependen en cuarto grado de la relación de aspecto de la soldadura, es decir, la relación entre el ancho de la soldadura y su profundidad de penetración.

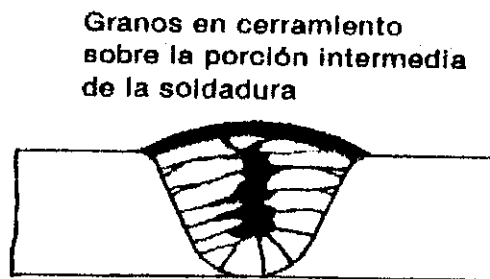
Si la relación de aspecto de la ranura de la soldadura es menor de la unidad (de mayor profundidad de su anchura), las bolsas de metal fundido que se forman las últimas se encontrarán en el centro de la sección transversal de la soldadura como en la figura 107, es posible allí la formación de acumulaciones de escoria, gas y cosas semejantes. En una ranura que es más ancha que profunda (relación de aspecto mayor que la unidad) las bolsas de metal fundido que se forman al final estarán en la parte media de la superficie de la soldadura como en la figura 108, eliminándose todas las impurezas del metal de la soldadura.

Figura 106. Sección transversal de dos cordones de soldadura en los se aprecian inclusiones de escoria.



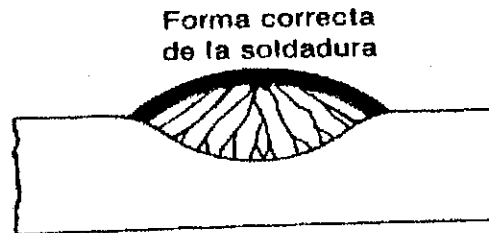
Fuente: Horwitz, Henry. Soldaduras, aplicaciones y práctica, p. 516

Figura 107. Sección transversal de una soldadura con inclusiones atrapadas resultantes de una relación de aspecto menor que la unidad



Fuente: Horwitz, Henry. Soldaduras, aplicaciones y práctica, p. 516

Figura 108. Sección transversal de un cordón de soldadura en el que la relación de aspecto es mayor que la unidad y han sido expulsadas las inclusiones



Fuente: Horwitz, Henry. Soldaduras, aplicaciones y práctica, p. 516

La porción del metal madre que está inmediatamente adyacente a la soldadura recibe el nombre de zona cercana a la soldadura. Como la estructura de esta zona es alterada por el calor de la soldadura recibe también el nombre de área o zona afectada por el calor (HAZ).

La figura 105 muestra algunas alteraciones que ocurren en la estructura de la zona afectada por el calor en un acero con bajo contenido de carbono. Adyacente a la soldadura se encuentra una zona de fusión incompleta (1) en la que el metal se calienta hasta una temperatura elevada y se forman granos gruesos. Al alejarse de la soldadura (2), disminuye la temperatura y la magnitud del sobrecalentamiento, y por tanto también el tamaño del grano. En el campo de normalización (3) el grano es fino, ya que el tiempo de calentamiento no es lo suficientemente largo para que se produzca el crecimiento entre los granos austeníticos, y el enfriamiento subsecuente expulsa los granos finos de perlita y ferrita. El campo de normalización va seguido por una zona de recristalización incompleta (4), en

la que los granos de perlita se descomponen en granos aún más finos. La zona de recristalización (5) se caracteriza por la recuperación de los granos deformados por rodado. Las alteraciones estructurales que ocurren en el área afectada por el calor varían generalmente con el contenido de carbono y de elementos de aleación en un acero.

Como la temperatura de la zona cercana a la soldadura varía de un lugar a otro, el metal de la zona afectada por el calor, también varía en cuanto a su estructura y propiedades mecánicas. En el área de normalización, el metal de soldadura puede ser superior al metal madre o de base. En el área sobrecalentada en la que el grano es grueso el metal pierde algo de su ductilidad, y especialmente su resistencia al impacto. La zona afectada por el calor muestra también cambios de dureza, especialmente en el caso de los aceros sensibles al tratamiento térmico. Un incremento en la dureza va acompañado generalmente por un aumento en la fragilidad y una reducción en la ductilidad.

Debe señalarse que al soldar aceros simples con bajo contenido de carbono, los cambios estructurales que ocurren en la zona cercana a la soldadura no afectan apreciablemente la resistencia de las piezas soldadas.(60)

4.4 Tratamiento térmico en la soldadura

La AWS define el tratamiento térmico de relevado o de alivio de esfuerzos como "El calentamiento uniforme de una estructura a una temperatura adecuada, inferior al intervalo crítico del metal de base, seguido por un enfriamiento uniforme". El tratamiento térmico que se efectúa dentro del intervalo crítico es por lo general indeseable porque a menudo modifica la estructura del grano y su dimensión, ocasionando con ello daños a la pieza. Consecuentemente, el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos se efectúa por debajo del intervalo crítico en la mayoría de los casos.

Aunque el tratamiento de relevado de esfuerzos se espera que solo alivie o elimine los esfuerzos y no necesariamente que produzca cambio alguno en la microestructura del acero, los efectos generales de un tratamiento térmico de relevado de esfuerzos son los siguientes: (61)

1. Recuperación.
2. Relajamiento.
3. Revenido (eliminación de zonas duras).
4. Recristalización.
5. Esferoidizado

1. **Recuperación.** El primer efecto que se presenta al elevar la temperatura para un tratamiento de relevado de esfuerzos es el de recuperación. La temperatura se eleva uniformemente para mantener todas las partes de la estructura tan cerca de una misma temperatura como sea posible en todo momento, previniendo así la ocurrencia de esfuerzos térmicos. Al elevarse la temperatura durante los primeros 400oF o algo así, no hay cambio apreciable en la estructura de los granos, pero, sin embargo, los esfuerzos de contracción disminuyen un poco.

Tal disminución se debe a la recuperación. Es una regla general que los esfuerzos internos de un material disminuyan al elevar su temperatura. La recuperación ocasiona también cambios en las propiedades magnéticas y eléctricas, lo cual sugiere que su efecto sobre los esfuerzos internos está relacionado con ciertos movimientos oscuros que tienen lugar entre los electrones y los átomos del acero al elevarse su temperatura.

Sin embargo, no es siempre adecuado el relevado de los esfuerzos de contracción a las temperaturas más bajas (de recuperación); por tanto, la temperatura debe elevarse aún más. A todas las temperaturas el incremento del tiempo reduce aún más el esfuerzo, pero la mayor liberación de esfuerzo ocurre a la primera hora.

2. **Relajamiento.** Al elevar la temperatura a 1,000oF, ó a valores mayores, se observa que ocurre el relajamiento y que se alivia los esfuerzos de contracción, rápido y completamente, como se indica en la figura 109. El cambio que ocurre durante el relajamiento aparece ilustrado en la figura 110. Se estira una barra de acero hasta el esfuerzo de fluencia a la tensión a la temperatura ambiente (figura 110 parte a) después de ser soldada formando un marco. Los átomos se estiran apartándose paralelamente a la carga y se mueven acercándose en dirección perpendicular a la del esfuerzo, lo cual es por cierto el significado básico del esfuerzo, un movimiento de los átomos hasta posiciones capaces de soportar la carga. A 1,000oF, la resistencia a la fluencia a corto plazo es solo una fracción de la resistencia a la fluencia a la temperatura ambiente. Es decir, los átomos ya no pueden soportar más los esfuerzos y, por tanto vuelven a juntarse más y más hasta las posiciones equidistantes ocupadas por los átomos en un cristal no sometido a esfuerzo.

Como la temperatura hace que la resistencia de la fluencia caiga por debajo del esfuerzo impuesto, el metal fluye plásticamente hasta que se reduce el esfuerzo (sea de compresión o de tensión) a la resistencia a la fluencia de metal a 1,000oF. El esfuerzo disminuye hasta que los átomos ya no ceden más.

Las deformaciones creadas por el relajamiento (movimiento plástico), o relevado de esfuerzos en una estructura soldada, son difíciles de calcular, pero generalmente son mucho más pequeños que las deformaciones creadas por el maquinado de parte no relevada de esfuerzos (revenidas o normalizadas), porque el maquinado efectuado

después de la soldadura generalmente elimina el material sujeto a mayores esfuerzos.

En la figura 109 indica que el método más eficaz para lograr el revenido de esfuerzos consiste en elevar la temperatura del material. Sin embargo, el grado al cual puede elevarse la temperatura está regido por la deformación permitida de la masa no soportada.

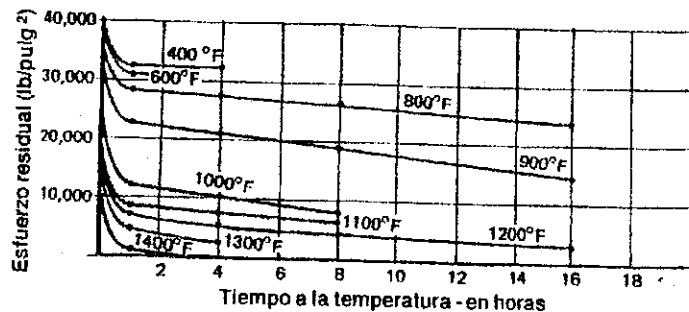
Además, raras veces es aconsejable elevar la temperatura más arriba del punto de transformación más bajo. La figura 109 indica también que el incremento en el tiempo favorece el relevado de esfuerzos. Es regla general que el tamaño del grano grueso no ejerce influencia detectable en el relevado de esfuerzos a 1000 ó 1,200oF. Cuanto más alto es el esfuerzo inicial de contracción, más alto será el esfuerzo después del relevado de esfuerzos a una temperatura dada y durante un tiempo dado, debido al incremento progresivo de la resistencia que trae consigo la mayor liberación de esfuerzos por deformación.

Esta deformación puede considerarse como trabajo en frío durante el relevado de esfuerzos que robustece los cristales. Como casi todos los tipos de soldaduras que se hacen en un acero dado tienen los esfuerzos máximos de contracción cerca de la resistencia a la fluencia, el tiempo requerido para el relevado de esfuerzos no puede reducirse arbitrariamente (respecto a la regla práctica de un mínimo de una hora por pulgada de espesor de la sección transversal) simplemente, por la falta aparente de restricción durante la soldadura. (62)

Las estructuras formadas por aceros diseñados para una resistencia excepcional al movimiento plástico a temperaturas elevadas experimentan el relajamiento con menor rapidez que el acero común. Los aceros resistentes al movimiento plástico, por ejemplo con 0.20% y 0.5% de Mo, requieren de una temperatura más elevada o de un tiempo más prolongado a temperatura constante, para cualquier grado dado de relevado de esfuerzos, de un acero no aleado.

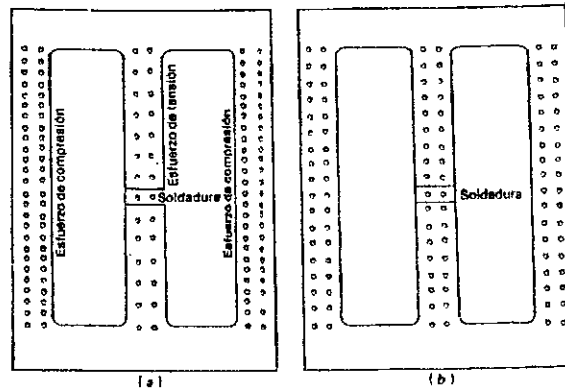
Un segundo cordón de soldadura releva los esfuerzos de contracción del cordón subyacente, pero crean nuevos esfuerzos de contracción. Consecuentemente, las soldaduras de varias pasadas tienen esfuerzos de contracción que no son menores que los de las soldaduras de una sola pasada y requieren de la misma magnitud de relevado de esfuerzos.

Figura 109. Influencia de la temperatura y el tiempo en el relevado de esfuerzos en los aceros.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 523.

Figura 110. Cambios que ocurren durante el relajamiento de una barra de acero



- (a) En el estado en que queda la soldadura al aplicarse, los átomos de los brazos exteriores son comprimidos entre ellos mismos verticalmente los átomos del brazo interior tienden a separarse.
- (b) A 1000oF los esfuerzos se eliminan al moverse los átomos para igualar el esfuerzo.

Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 523

3. **Revenido o regulación del temple por recalentamiento.** La operación de elevar la temperatura del acero templado por enfriamiento a cualquier punto inferior al punto más bajo de transformación se llama revenido o regulación del temple por recalentamiento. La zona, afectada por el calor, que está próximas a las soldaduras hechas sin precalentamiento o con precalentamiento insuficiente en el caso del acero de contenido medio de carbono y en muchos otros aceros de alta resistencia a la tensión, se enfría muy rápidamente y, por tanto, es muy dura. La dureza de cualquier acero es función de la velocidad y del método de enfriamiento. Los diversos métodos de enfriamiento se conocen como enfriamiento rápido. Si la zona de la soldadura estuvo arriba de su

intervalo crítico durante la soldadura, estaba formada por austenita con diez veces la cantidad de carbono en solución sólida que la cantidad soluble a la temperatura ambiente. (63)

Durante el enfriamiento rápido (en este caso, enfriamiento en el aire), la austenita cambia en gran parte a martensita, la forma cristalina tetragonal del acero, intermedia entre la centrada en las caras y la centrada en el cuerpo. El carbono que hay en la martensita se cree que existe en forma de átomos de carbono o en cristales pequeñísimos de carburo de hierro (o de carburos que contienen los elementos de aleación en los aceros aleados), los que se cree que explican la gran dureza de la martensita por comparación con cualquier otro estado de un acero.

Cuando se eleva la temperatura, la zona que contiene a la martensita experimenta tres cambios:

1. La martensita se cambia a ferrita (cristales cúbicos con átomos centrados en el cuerpo BCC) con la precipitación de cristales finos de carburo procedentes de la estructura espacial cristalina tetragonal sobresaturada.
2. Toda la austenita que no se ha cambiado a martensita durante el enfriamiento rápido se cambia a ferrita y carburo.
3. Los cristales pequeñísimos de carburos que hay en la martensita, y los cristales mayores de carburo que hay en los demás elementos constitutivos, tales como la perlita fina, aumentan de tamaño.

Las temperaturas a las que tienen lugar los cambios 1 y 2 no se conocen con precisión. En los aceros al carbono simple, con contenido de alrededor de 0.07% de carbono, el cambio 1 ocurre a 300oF, y el cambio 2 a 450oF. Pueden tenerse pequeñas cantidades de austenita en el enfriamiento rápido de aceros al carbono simple con lo menos 0.4% de carbono, pero sólo mediante un control muy cuidadoso del enfriamiento.

La austenita se retiene con contenidos menores de carbono, pero sólo si hay presentes otros elementos de aleación. El crecimiento en el tamaño de las partículas de carburo es continuo al irse elevando la temperatura. El cambio 3 parece explicar el descenso importante de la dureza que ocurre en el revenido. Es decir, la dureza del acero martensítico depende de que haya una dispersión fina de las partículas de carburo en cada plano de cristal. Esto evita el deslizamiento y eleva la dureza, a la vez que reduce la ductilidad.

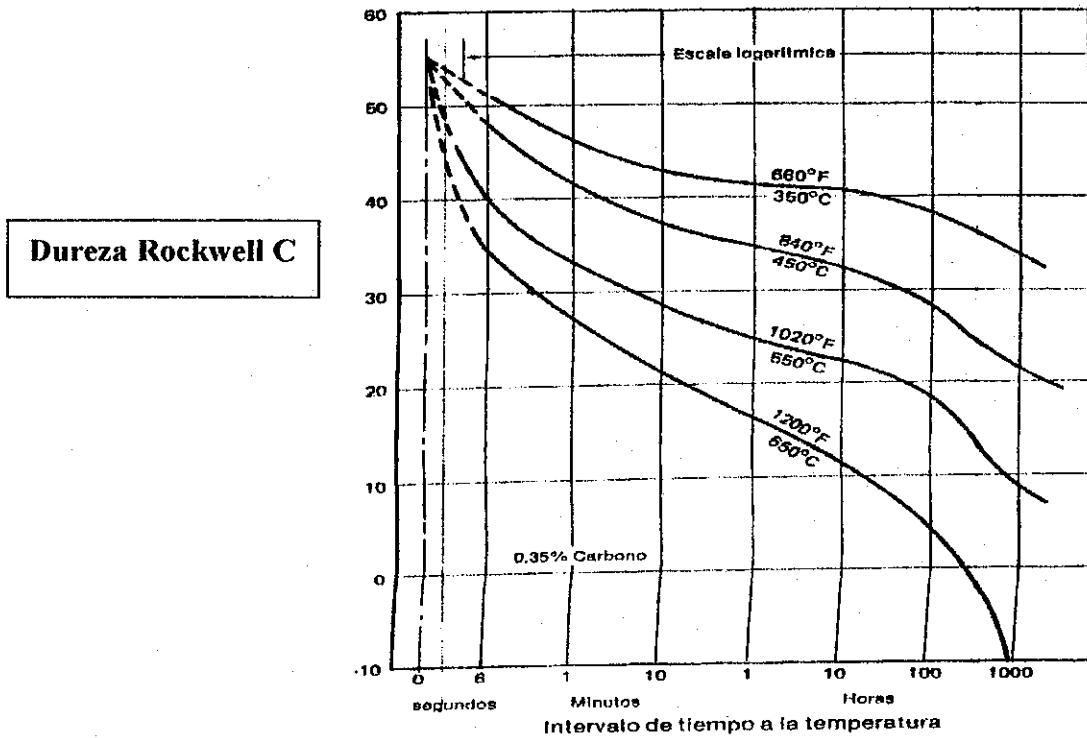
La dureza del acero después del revenido depende primordialmente de la temperatura a la que se efectúe el proceso. El tiempo durante el cual se sostenga dicha temperatura es de importancia secundaria. La influencia del factor tiempo se ilustra en la figura 111. Después de un minuto a 1200oF, la dureza a la temperatura ambiente desciende de 56 a 27 Rockwell C para el acero con 0.35% de carbono enfriado rápidamente. Después de una hora la dureza ha descendido hasta C-18.

La reducción de dureza ocasionada por el tratamiento en un acero soldado de contenido medio de carbono que contenga zonas duras depende en gran parte del tiempo de tratamiento. La reducción máxima de la dureza, a la vez que de los esfuerzos de contracción, ocurre en los escasos primeros minutos. La dureza después de los primeros segundos a 1200oF es casi la misma, independientemente de que el acero esté formado inicialmente por martensita, bainita o perlita fina.(64)

En consecuencia, con el ablandamiento que tiene lugar durante el revenido, se produce una elevación de la ductilidad, como lo revela la prueba a tensión estática, y una disminución en la resistencia a la tensión. Los valores de rotura al impacto con ranura y otras medidas de la tenacidad, están a menudo al mínimo después de revenir de 400 a 700oF, y se eleva a valores altos, por encima de 800oF.

La reducción de la tenacidad por ranura se atribuye a veces a la descomposición de los esfuerzos internos que resultan por el incremento de la temperatura. El ablandamiento del acero al carbono simple es continuo al elevarse la temperatura de revenido, porque el propósito principal consiste en lograr la aglomeración y el crecimiento de las partículas de carburo.

Figura 111. Influencia de la temperatura y el tiempo en la dureza Rockwell del acero AISI 1035.

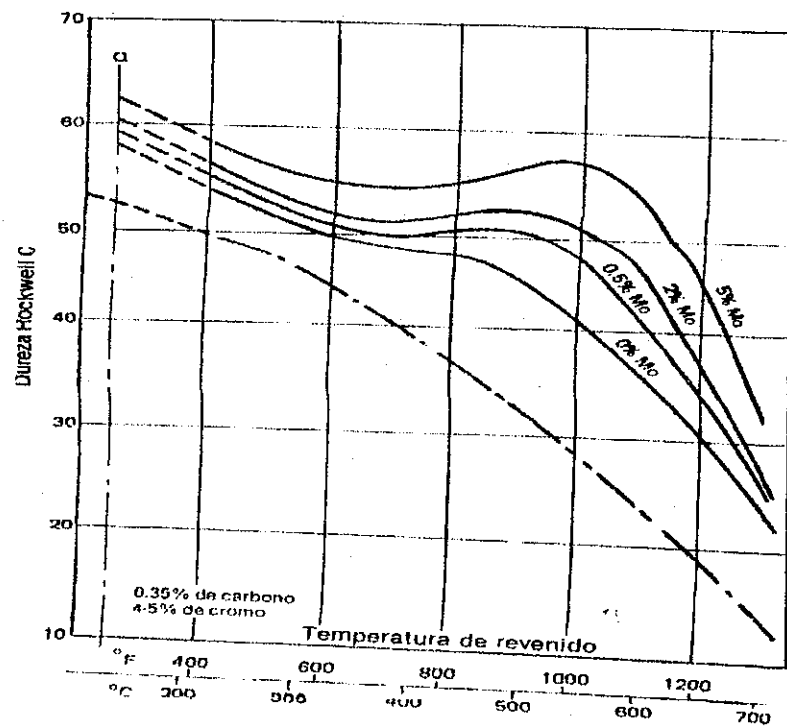


Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 527

Cuando se agregan al acero elementos formadores de carburo puede volverse aquél más duro en vez de más blando, al continuar el revenido hasta 900oF, después de revenir a 700oF. Este incremento se denomina dureza secundaria, el cual se debe a la formación de cristales pequeñísimos de un segundo compuesto después de que el carburo de hierro ha entrado en coalescencia a un grado en el que deja de ser eficaz como endurecedor.

Los pequeños cristales de carburo aleado se forman a temperaturas elevadas que proporcionan la oportunidad necesaria para la difusión. La dureza secundaria extiende su influencia a través de los elementos de aleación hasta las temperaturas de tratamiento térmico de relevado de esfuerzos, como se ilustra en la figura 112. Se debe a su dureza, así como a su resistencia al movimiento plástico que se tomen estas precauciones adicionales en el relevado de esfuerzos de algunos aceros con alto contenido de aleación.

Figura 112. Gráfica que muestra el efecto conocido como dureza secundaria en diversos aceros al Cromo - Molibdeno.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 528

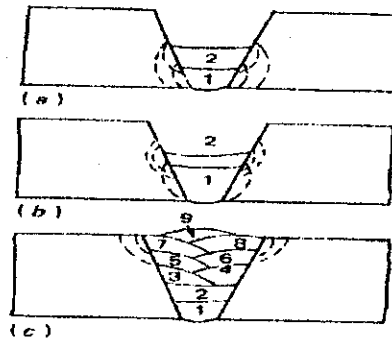
El revenido es importante no sólo en el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos de las partes soldadas que contienen zonas duras, sino también en la soldadura de varias capas de aceros de contenido medio de carbono y otros aceros aptos para el templado. En la figura 113 parte (a), el cordón 1 ha creado una zona dura. El cordón 2 ha creado en forma semejante una zona dura, al elevar la temperatura del metal de base cercano a la soldadura por encima del intervalo crítico, y dejándolo enfriar rápidamente. Si el calor del cordón 2 es suficiente para elevar la temperatura de toda la zona dura creada por el cordón 1 más allá de 500oF (pero no arriba del intervalo crítico, por supuesto), la zona será considerablemente más blanda, y contendrá menos martensita y austenita no revenidas.

El hecho de que la resistencia al impacto con ranura se eleve necesariamente es problemático. Puede decirse en general, sin embargo, que la zona revenida será considerablemente más tenaz que la zona no revenida. Si el cordón 2 se ha depositado directamente después del cordón 1, es posible que la zona dura del cordón 1 se haya detenido antes de formarse. Es decir, se habrá impedido que la zona continúe enfriándose al tener el cordón 2 antes de que se comenzara a formarse la martensita. La zona dura podría entonces haber estado formada por bainita o perlita fina en vez de martensita, dependiendo de la distribución precisa de la temperatura.

Por otra parte, el calor originado por el tendido del cordón 1 podría haber retardado los regímenes de enfriamiento del cordón 2, y haber impedido así la formación de zonas duras en sus cercanías. Se comprenderá pues, que las zonas duras están hasta cierto grado dentro del control del operador, aunque no podrá éste cambiar la composición del metal base.

Observemos que en la parte (b) de la figura 113, el cordón 2 se ha depositado después de haberse enfriado el cordón 1, y es demasiado pequeño para llevar a toda la zona dura del cordón 1 por encima de, por ejemplo 200 a 300oF. No ha ocurrido por tanto un revenido significativo, y la zona dura está allí para quedarse. Es demasiado esperar que los cordones sucesivos hagan lo que no hizo el segundo cordón. Aplicando adecuadamente la soldadura de varias capas, es posible revenir las zonas duras de cada cordón, como se representa en la parte (c) de la figura 113.(65)

Figura 113. Revenido de las zonas duras por el calor de los cordones posteriores.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 529

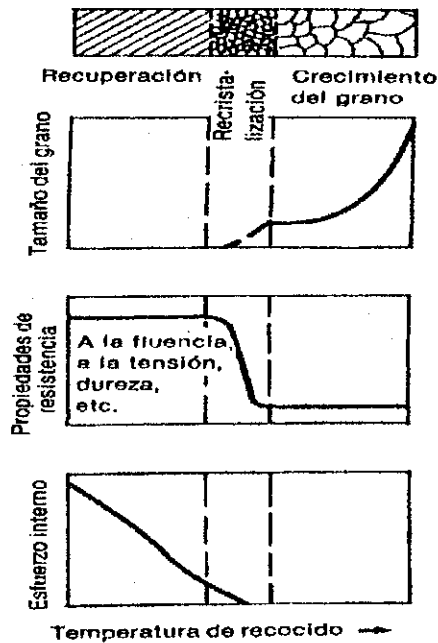
4. **Recristalización.** El trabajo en frío, o la deformación permanente por debajo del intervalo de recristalización, rompe cada cristal perfecto en un gran número de fragmentos, por causa del deslizamiento. Estos fragmentos se cambian a nuevos granos con estructuras especiales cristalinas no distorsionadas cuando se eleva la temperatura al intervalo de recristalización.

Cuando aparecen los nuevos cristales, primero como cristales muy pequeños, generalmente en los contornos de los granos trabajados en frío, a comenzado la recristalización. Si se mantiene o se incrementa la temperatura, los pequeños cristales crecen. Después de cierto tiempo, todos los cristales originales con líneas de deslizamiento son absorbidos por los nuevos cristales, libres de tales líneas, y llega a su término de recristalización.

La recristalización transforma los fragmentos deformados, que son la fuente de esfuerzos internos, en nuevos cristales no deformados y libres de esfuerzos internos. La recuperación (figura 114) elimina parcialmente los esfuerzos de contracción; la recristalización completa dicha eliminación. La temperatura a la que tiene lugar la recristalización en un metal dado desciende al incrementarse el grado de trabajo previo en frío. No existe una sola temperatura de recristalización para un metal dado. Para el hierro y el acero, la temperatura más baja a la que se ha observado la recristalización es la de 840oF.

Sin embargo, no ocurre recristalización alguna cuando la dislocación, o trabajo en frío es de carácter menor. Por ejemplo, el trabajo en frío, ocasionado por la contracción de las partes durante el enfriamiento póstumo a la soldadura es generalmente demasiado ligero para que haya recristalización durante el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos. El relevado de esfuerzos ocurre, por tanto, primordialmente por la recuperación y el relajamiento, más que por la recristalización. (66)

Figura 114. Sección transversal de un acero con bajo carbono calentado, que muestra el proceso de recuperación por recristalización.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 530

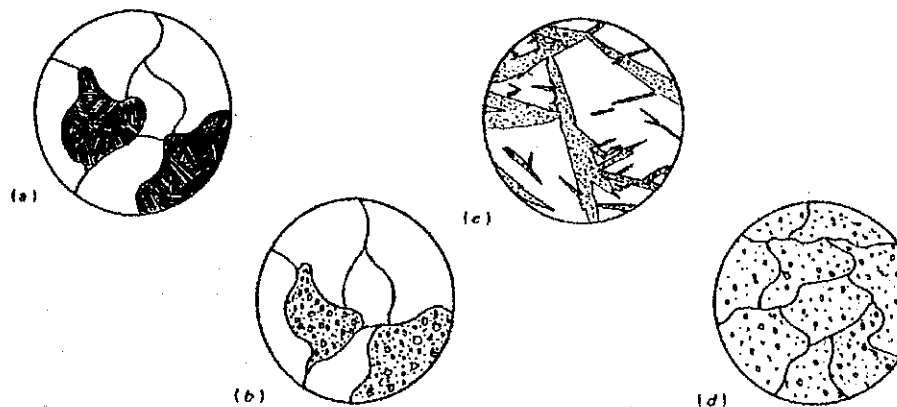
5. **Esferoidizado.** El proceso de crear partículas de carburo de forma esférica en el acero se llama esferoidizado. Si se comienza con perlita, se hace el esferoidizado convirtiendo las placas de carburo en esferas. Si se comienza con martensita o bainita, en cambio, en las cuales las pequeñas partículas de carburo son aproximadamente esféricas inicialmente (aunque por su extremada finura no es muy cierta su presencia, como tampoco lo es su tamaño), el esferoidizado consiste simplemente en lograr la coalescencia de las partículas y volverlas visibles al microscopio. Las agujas de martensita no se esferoidizan.

En la zona afectada por el calor del acero con bajo contenido de carbono soldado, el carburo está presente en forma de perlita. Durante el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos, se observa que las placas se vuelven menos y menos angulares, y que las partículas de carburo se hacen casi esféricas como en la parte (a) de la figura 115. Cuando más se prolongue el tiempo a una temperatura dada, y mayor sea dicha temperatura (siempre que no se exceda el intervalo crítico), más grandes y más esféricas se vuelven las partículas de carburo como se representa en la parte (b) de la figura 115.

El carburo de la zona afectada por el calor del acero soldado con contenido medio de carbono está dividido en partículas extremadamente pequeñas como se representa en la parte (c) de la figura 115. Las partículas que hay dentro de las agujas de martensita son pequeños esferoides de carburo. Al elevarse la temperatura durante el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos, los carburos siguen la ley general de las partículas pequeñas contenidas en un metal.

El carbono precedente de las partículas más pequeñas entra en solución para precipitarse nuevamente sobre las partículas más grandes. En esta forma, una multitud de pequeñísimas partículas esferoidales de carburo son reemplazadas por unas cuantas partículas esferoidales grandes, como se ilustra en la vista ampliada de la figura 115 de la parte (d). Como la situación de esferoidizado grueso es generalmente la más blanda y la más dúctil, es deseable la acción de esferoidizado del tratamiento térmico de relevado de tensiones.

Figura 115. Esferoidización del carburo en la perlita (a y b) y la martensita (c y d).



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 531.

A 1200oF, el acero tiene una solubilidad apreciable para varios elementos, particularmente para el nitrógeno. Si se enfría lentamente la pieza desde la temperatura de relevado de esfuerzos, se presenta una oportunidad para la precipitación completa de estos elementos. Si, en cambio, se efectúa el enfriamiento rápidamente, el nitrógeno queda retenido en solución sobresaturada a la temperatura ambiente, y el acero puede resultar de baja ductilidad.

El metal de la soldadura con contenido alto de nitrógeno, como el de los depósitos hechos con electrodo desnudo, está particularmente sujeto a la fragilización al ser sometido a un enfriamiento rápido desde la temperatura del tratamiento térmico de relevado de esfuerzos. En todo caso es indeseable el enfriamiento rápido después de relevado de esfuerzos, para evitar esfuerzos de contracción debido a la distribución no uniforme de la temperatura que tiene lugar en cualquier objeto que se enfría rápidamente.

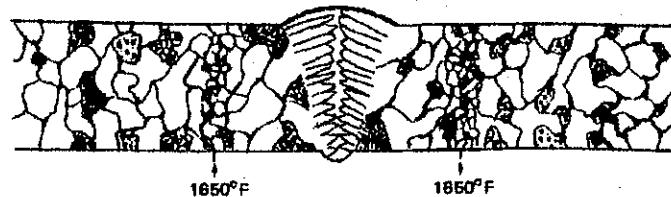
El esferoidizado del carburo cerca de una junta soldada es un proceso que comienza al estarse aplicando la soldadura (figura 116). La perlita presente en la zona que se calienta a valores cercanos a los intervalos críticos se esferoidiza en mayor o menor grado, dependiendo del tiempo que haya permanecido a temperatura cercana a la más baja del intervalo crítico. Una vez que se calienta la perlita a valores situados dentro del intervalo crítico, el carburo presente en la perlita se disuelve en la austenita.

En los procesos de soldadura muy rápidos, como en el de soldadura por puntos, el carburo puede no permanecer en el intervalo crítico lo suficiente para disolverse completamente en la austenita.

Por tanto, pueden observarse algunos esferoides hasta en la zona que se ha calentado dentro del intervalo crítico. Durante el tratamiento térmico del relevado de esfuerzos, la esferoidización que se inició durante la soldadura se extiende hasta el acero a través de la parte soldada. Toda la perlita pasa hasta cierto grado por un proceso de esferoidización por el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos.

El contorno de la zona afectada por el calor en la macroestructura de una soldadura que ha pasado por el relevado de esfuerzos es mucho menos definido que la macroestructura existente antes del tratamiento térmico. A diferencia del precalentamiento, sin embargo, el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos no tiene efecto alguno sobre el ancho de la zona afectada por el calor. (67)

Figura 116. Esquema que muestra la zona en la que la perlita tiende a esferoidizarse en la soldadura de un acero común.



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 531

Aunque el relevado local de esfuerzos tiene el mismo efecto, en cuanto al ablandamiento de las zonas duras, que la colocación de toda la estructura en un horno, puede no siempre reducir los esfuerzos de contracción. El relevado local de esfuerzos se aplica comúnmente en tuberías de alta presión. Al elevar la temperatura de la junta a 1200oF se sustituyen los esfuerzos de contracción, distribuidos sin uniformidad en los alrededores inmediatos a la soldadura, por esfuerzos de reacción distribuidos con mayor uniformidad.

Es importante que la deformación ocurra en la ancha zona que se ha tratado térmicamente y durante el enfriamiento, sea absorbido sin ocasionar agrietamientos y sin perjudicar los soportes. En la mayoría de las estructuras, las severas deformaciones de contracción que lleva consigo el relevado local de esfuerzos, impiden su aplicación. En lugar de aliviar o eliminar los esfuerzos, el ciclo de calentamiento y enfriamiento locales los intensifica a menudo. El relevado local de esfuerzos del tratamiento térmico local de cualquier clase es desastroso para los aceros austeníticos del tipo 18-8 inestabilizados, por una zona cercana al área calentada localmente que entra a un intervalo de temperatura en la que tiene lugar una forma peligrosa de precipitación del carburo.

Para quitar dureza a un acero soldado al máximo grado posible y para crear una estructura de grano fina uniforme en toda la parte, se hace el recocido completo del acero. El recocido, o recocido completo como correctamente se le llama, consiste en calentar la parte 50 a 100oF por encima de su intervalo crítico de temperatura, o sea, el intervalo en el que la ferrita se transforma en austenita. Para el acero al carbono con 0.20% de este elemento, la temperatura de recocido completo es $1560\text{oF} + 50\text{oF} = 1610\text{oF}$.

Esta temperatura se mantiene durante una hora por cada pulgada de sección de las partes más pesadas que se estén tratando. Ordinariamente se enfrían las partes en el horno o dentro de alguna substancia que permita lograr un régimen lento de enfriamiento, como por ejemplo cenizas. Utilizando regímenes controlados de enfriamiento lento puede variarse el tamaño de la perlita laminar o el grado de esferoidización que se produce.

El recocido desde temperaturas mayores que las del intervalo crítico raras veces se aplica a las partes soldadas, porque las altas temperaturas que intervienen, ocasiona a menudo una deformación excesiva de la parte soldada a pesar de los abundantes puntos de soporte que se incorporan en el horno. Cuando la forma del conjunto soldado se aporta por sí misma, puede aplicarse el recocido desde temperaturas superiores a las del intervalo crítico sin que haya dificultades por deformación.

Un segundo problema que se origina en el recocido, por las altas temperaturas y los prolongados ciclos de calentamiento y enfriamiento, es el de la descarburización. Este riesgo puede reducirse al mínimo controlando el contenido de oxígeno de la atmósfera del horno, o remplazando el oxígeno del interior del horno por un gas inerte. La descarburización es inapreciable a las temperaturas más bajas que se emplean para el relevado de esfuerzos.

El normalizado es un tratamiento térmico un tanto similar al recocido, y con frecuencia se emplea para el calentamiento previo y el posterior a la soldadura del acero. Esta operación comprende el calentamiento del acero aproximadamente 100oF por encima de su intervalo crítico para transformar la estructura a austenita, seguido por enfriamiento en aire tranquilo. Mientras el recocido, con su enfriamiento muy lento en el interior de un horno, produce una estructura de carburo de perlita laminar gruesa o de carbura esferoidizado, el normalizado, con su tratamiento de enfriamiento al aire, da lugar a una perlita laminar más fina en la mayoría de los aceros, que, aunque ligeramente más dura, es bastante satisfactoria para el servicio.

Puede aplicarse un tratamiento de normalizado para:

- 1) Reducir los esfuerzos ocasionados por el trabajo en frío o por la soldadura.
- 2) Eliminar zonas endurecidas adyacentes a la soldadura.

- 3) Crear una microestructura más uniforme y deseable tanto en el metal de la soldadura como en el metal de base.
- 4) Refinar (por recristalización) cualquier estructura gruesa que pueda haberse desarrollado en el acero por alta temperatura (tal vez superior a 1900oF), trabajo en caliente u operaciones de conformado.

El temple o templado se logra calentando el acero de 50 a 100oF por encima del régimen crítico de enfriamiento del acero. Esto puede comprender el enfriamiento rápido en agua, aceite o aire, dependiendo de la capacidad para aceptar el temple que tenga el acero que se esté tratando. Por encima del intervalo crítico, la estructura del acero se transforma en austenita (granos de hierro gama con carbono en solución sólida).

Cuando se enfría hasta la temperatura ambiente con una rapidez que exceda del régimen crítico de enfriamiento, la estructura de la austenita se transforma en martensita, la cual es el estado estructural que da la dureza. Con frecuencia tiene lugar un endurecimiento en la zona del metal base afectado por el calor, lo que a menudo se considera como una situación indeseable. Sin embargo, el tratamiento de temple se utiliza comúnmente en la preparación de aceros con alto contenido de carbono para herramientas de corte y de conformación, en el tratamiento de superficies para mejorar la resistencia al desgaste, y en otros casos.

El temple y el revenido pueden producir por lo general la combinación óptima de propiedades mecánicas de las que es capaz de lograr el acero. Primero se temple el acero en la forma acostumbrada; es decir, calentándolo y enfriándolo rápidamente para producir una estructura martensítica. Luego se le hace el revenido o tratamiento de ajuste de la dureza, el cual involucra el recalentamiento del acero a una temperatura en particular situada un poco abajo del punto crítico (1335oF), y el mantenimiento del mismo a esa temperatura durante un lapso de tiempo específico, para después dejarlo enfriar a la temperatura ambiente.

La estructura producida por el recalentamiento a las temperaturas que llegan hasta 600oF recibe con frecuencia el nombre de revenido martensítico porque es muy probable la formación de la martensita en la estructura obtenida a las temperaturas comprendidas entre 600 y 900oF recibe generalmente el nombre de trustita, o posiblemente de trustita secundaria. La trustita sufre el ataque químico rápidamente y tiene una apariencia muy oscura.

La estructura está formada por un agregado muy fino de granos de ferrita y partículas de cementita. Entre los 900 y los 1300oF, la estructura que se forma se llama sorbita. En la estructura sorbítica, las partículas de carburo han tenido un crecimiento tal que la estructura posee una apariencia granular, Si se la examina al microscopio con gran aumento, se observan partículas globulares pequeñas de carburo en una matriz de ferrita. Al aumentar la temperatura de revenido disminuyen la resistencia a la tensión, la resistencia a la fluencia y la dureza del acero, en tanto que generalmente aumentan la tenacidad y la ductilidad.

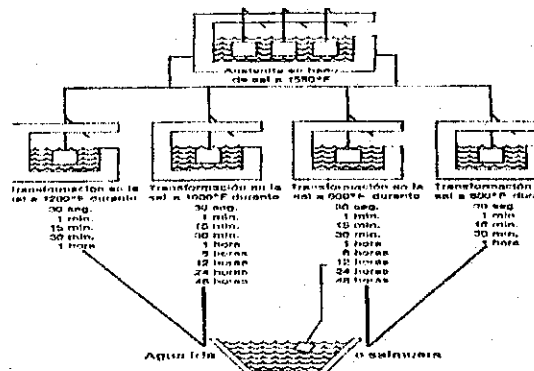
El austemperizado es un tratamiento térmico que se aplica a veces a secciones relativamente delgadas o pequeñas de aceros templables con objeto de obtener una estructura de bainita. Produciendo esta estructura se obtiene una ductilidad razonable a altos niveles de dureza, sin recurrir a un tratamiento combinado de temple y revenido. Se atribuyen además mejores propiedades a la estructura de bainita que las que se logran con una martensita revenida o una trustita.

Las secciones delgadas de acero se tratan más fácilmente, porque todas las porciones de la masa de acero tienen que enfriarse con una rapidez que sobrepase al régimen crítico de enfriamiento durante el tratamiento. El primer paso es calentar el acero de 50 a 100oF por encima de su intervalo crítico, para formar una estructura de austenita.

Luego se enfría rápidamente el acero (con mayor rapidez que la del régimen crítico de enfriamiento) hasta una temperatura un poco arriba del punto Ms (ver la figura 117), y se sostiene a esta temperatura durante un rato. De esta manera se deja que se efectúe la transformación de la austenita bajo condiciones isotérmicas. El enfriamiento y el tratamiento isotérmico se logran generalmente por enfriamiento rápido y manteniendo la pieza en un baño de sal fundida o en una marmita de plomo. (68)

El martemperizado es un tratamiento térmico que se aplica a los aceros con alto grado de templabilidad, los que tienen probabilidades de agrietarse por enfriamiento rápido. Durante el proceso, se austenitiza primero la pieza de acero, calentándola de 50 a 100oF por encima del intervalo crítico. Luego se enfría rápidamente la pieza en un baño de sal fundida o en una marmita de plomo, manteniéndola a una temperatura apenas arriba del punto Ms del acero que se esté tratando. La pieza se mantiene así hasta que se vuelve uniforme la temperatura en toda la masa; y antes de que comience la transformación a bainita, se retira la pieza del baño y se enfría lentamente mientras pasa por el intervalo de transformación de la martensita. La martensita se forma uniformemente en toda la sección. La posibilidad de agrietamiento se reduce en forma marcada, porque prácticamente no se producen los esfuerzos que originan los gradientes de temperatura.

Figura 117. El proceso de austemperización en un acero con temperatura de austenización de 1450 – 1500 oF



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 535

4.5 Tensiones en la soldadura

El calentamiento y enfriamiento rápidos en regiones localizadas del trabajo durante la soldadura por fusión, especialmente la soldadura con arco eléctrico, producen expansiones y contracciones térmicas, que a su vez provocan tensiones residuales en la soldadura y distorsiones del ensamble soldado.

La situación en la soldadura se complica porque:

- a) El calentamiento esta muy localizado.
- b) La fusión de los metales base ocurre en estas regiones locales.
- c) La ubicación del calentamiento y la fusión están en movimiento.

Como las tensiones en la soldadura están relacionadas con la expansión, la contracción y la deformación, estas se estudiarán en el siguiente inciso.

4.6 Contracciones en la soldadura

Para llegar a un mejor entendimiento de estos temas, se tomará en cuenta las propiedades térmicas más importantes en los metales, tales como:

- ☛ Conductividad térmica.
- ☛ Coeficiente de dilatación térmica.
- ☛ Fusibilidad.
- ☛ Calor de fusión.

La conductividad térmica es una medida de la rapidez a la que fluye el calor por el interior de un material. Por ejemplo, el cobre conduce el calor con mucho mayor rapidez que el hierro.(69)

Si se mantiene un extremo de una barra de cobre con agua hirviendo (100°C) y el otro extremo se empaca en hielo en escamas, el calor pasará desde el agua hacia la barra, y por la barra hacia el hielo, hasta fundirse. La rapidez a la que se funde el hielo indica la rapidez con la que circula el calor por la barra.

La cantidad de hielo que se funde depende de:

1. El tiempo. Cuanto mayor sea el hielo, más hielo se fundirá.
2. El tamaño de la barra. Cuanto mayor sea el área de sección transversal de la barra, más calor pasará.
3. La longitud de la barra. Cuanto más corta sea la barra, con mayor rapidez se fundirá el hielo.
4. La diferencia de temperaturas. Cuanto mayor sea la temperatura del extremo caliente de la barra, con mayor rapidez se fundirá el hielo.
5. La conductividad térmica. Cuanto mayor sea la conductividad térmica de la barra, más calor pasará.

La conductividad térmica o capacidad de conducción de calor, de un material, se expresa fundamentalmente en Btu (unidades térmicas británicas) por pie cuadrado de área, por pulgada de longitud (o de espesor), por hora y por grado Fahrenheit. Ejemplos de conductividad térmicas de algunos materiales.(70)

Tabla VI. Conductividad térmica de algunos metales

Metal	Símbolo	Btu/pie ² /plg/h/oF	Conductividad relativa basada en la plata como 100%
Aluminio	Al	1428	49.7%
Cobre	Cu	2664	92.7%
Estaño	Au	2037	70.9%
Hierro-Acero	Fe	467	16 %
Hierro fundido		313	10.9%
Hierro puro		316	11 %

Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 495

La dilatación térmica es el aumento de las dimensiones de un cuerpo debidas a un cambio de su temperatura.

El coeficiente de dilatación lineal es la relación entre el cambio de la longitud de un material, ocasionada por calentamiento en una unidad de temperatura, y su longitud original. El coeficiente de dilatación lineal del hierro a la temperatura ambiente es 0.0000065/oF. El aumento total de longitud de una barra de 100 pies de longitud calentada de 10 a 110oF, será:

$$0.0000065 \times (100 - 10) \times 100 = 0.065 \text{ pie, o sea } 0.78 \text{ pulg.}$$

El coeficiente de dilatación cúbica es aproximadamente igual a tres veces el de dilatación lineal.

La fusibilidad es una medida de la facilidad de fusión. El mercurio (el metal con el punto de fusión más bajo) se funde a 38oF, en tanto que el tungsteno, que tiene el punto de fusión más alto, se funde a 6100oF.

Un metal puro tiene un punto de fusión definido, con temperaturas iguales a la del punto de congelación. Las aleaciones y las mezclas de metales, sin embargo, tienen una temperatura a la que comienza la fusión (solidus), y una temperatura más alta a la que termina la fusión (liquidus).

Ejemplo de los puntos de fusión de algunos metales y aleaciones.

Tabla VII. Temperaturas de fusión de algunos metales y aleaciones

Metal o aleación	Punto de fusión, oF
Acero al manganeso	2450
Acero al níquel, 3%	2600
Acero al níquel y manganeso	2450
Acero con bajo carbono (menos de 0.15%)	2700
Acero duro (0.40 a 0.70% carbono)	2500
Acero fundido	2600
Acero inoxidable 18-8, bajo carbono	2640
Acero inoxidable 18 Cr y 8 Ni	2550
Acero, medio (0.15 a 0.40% carbono)	2600
Aluminio, 5% de silicio	1117
Aluminio puro	1218
Hierro forjado	2900
Hierro fundido	2300
Hierro maleable	2300
Hierro puro	2786

Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 496

El calor de fusión es la cantidad de energía necesaria para cambiar un metal de sólido a líquido. El calor es la fuente usual de energía, y el número de calor de fusión es generalmente la cantidad de calor necesario para cambiar una libra de sólido al estado líquido. Se emplea la unidad térmica británica (Btu) para medir la cantidad de calor. Para todos los fines prácticos, un Btu es la cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura de 1 libra de agua 1oF. El calor de fusión del hielo, por tanto, es de 144 Btu/libra. Algunos ejemplos del calor de fusión de materiales selectos.

Tabla VIII. Calores de fusión de algunos metales

<u>METAL</u>	<u>CALOR DE FUSIÓN</u>
Aluminio	170 Btu/libra
Magnesio	160
Cromo	136
Níquel	133
Molibdeno	126
Hierro	117
Cobre	91

Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 498

4.6.1 Relación entre la conductividad y dilatación térmica

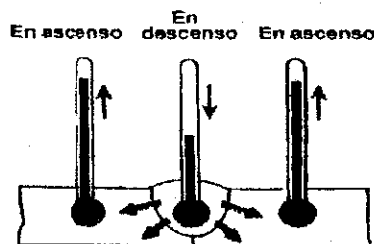
La deformación de las partes soldadas, resultante de una combinación de la conductividad térmica y la dilatación térmica, puede reducirse al mínimo si el soldador entiende sus causas, y sabe como calcular la deformación esperada como resultado de la dilatación térmica.

En un trabajo simple de soldadura, supongamos que se van a unir dos placas con una soldadura a tope. Al aplicar la soldadura, el metal de aporte fundido, y el arco, transmiten el calor hacia fuera, a las zonas circundantes, dando lugar a una considerable dilatación desigual. A medida que avanza la soldadura, el metal de aporte fundido comienza a enfriarse y a contraerse inmediatamente, pero al mismo tiempo, el calor del arco ocasiona una dilatación considerable por delante de esta contracción.

Debe entenderse que mientras se está enfriando el metal de la soldadura, y por tanto contrayéndose, la temperatura de las zonas circundantes de las placas se está elevando, y por tanto las placas se están dilatando (figura 118). Al enfriarse las placas también se contraen.

Si se deja ocurrir sin control alguno la dilatación y la contracción en otra operación particular de soldadura, el conjunto se deformara (figura 119). Sin embargo, pueden seguirse tres reglas simples que ayudarán considerablemente en la prevención y el control de la deformación.

Figura 118. Calentamiento y enfriamiento desigual de dos placas durante la soldadura a tope.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 499

Figura 119. Deformación de una soldadura a tope resultante de la dilatación y contracción térmicas no controladas



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 499

En muchos casos, la aplicación de una sola regla será suficiente. En otros puede requerirse una combinación de ellas.

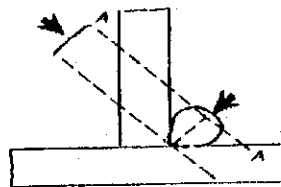
- ✦ Regla 1. Reduzca la fuerza efectiva de contracción.
- ✦ Regla 2. Haga que trabajen las fuerzas de contracción de manera que reduzcan al mínimo la deformación.
- ✦ Regla 3. Equilibre las fuerzas de contracción con otras fuerzas.

1. **Reducción de la fuerza efectiva de contracción.** Una manera de reducir las fuerzas de contracción consiste en elevar la aplicación excesiva de soldadura. La adición del metal de soldadura que no se necesita para el requerimiento del servicio de la junta se conoce como sobresoldadura. Esta produce la clase de deformación que aparece en la figura 119, y no contribuye en nada a la resistencia ni al comportamiento de la junta. En realidad es un desperdicio de tiempo y de dinero. El metal de soldadura debe mantenerse al mínimo, de acuerdo con los requisitos de servicio de la junta.

Otra manera de expresar este principio es: Utilice tan poca soldadura como sea posible, y haga un uso inteligente del metal de aporte necesario. Se sabe que la resistencia de una soldadura convencional de filete para una junta en T viene determinada por la garganta efectiva (figura 120). Cualquier exceso de metal de soldadura que quede por arriba de la línea A-A no aumenta la resistencia, pero sí incrementa la fuerza efectiva de contracción. Puede obtenerse una menor fuerza de contracción, sin pérdidas de resistencia, haciendo una soldadura plana o cóncava. A menos metal de soldadura corresponde menos deformación.

También es posible reducir la fuerza efectiva de contracción mediante la adecuada preparación de los bordes. Para tener la fusión correcta en la raíz de la soldadura, con un mínimo de metal de soldadura, el bisel para acero no deberá exceder de 30 grados. También es importante el ajuste apropiado, para que una cantidad mínima de metal de soldadura pueda producirse una junta fuerte.(71)

Figura 120. El metal de soldadura en exceso situado arriba de la línea A-A, no aumenta la resistencia, pero si las fuerzas de contracción

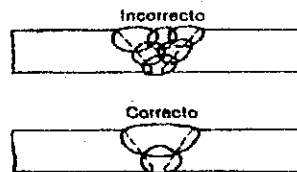


Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 500

Otra manera de hacer un uso inteligente del metal de soldadura consiste en usar menos pasadas (figura 121). La deformación en dirección lateral es siempre un problema importante. El uso de una o dos pasadas con electrodos grandes reduce la deformación en esta dirección. En algunos casos, la deformación en dirección longitudinal es un problema, y entonces, debido a la mayor capacidad de un cordón pequeño para estirarse longitudinalmente (por comparación con un cordón grande), debe incrementarse el número de pasadas, en vez de disminuirlo.

Esta relación aparentemente paradójica es función del espesor de la placa y de su resistencia natural a la deformación. Hay una rigidez inherente contra el doblado longitudinal de una placa, siempre que la placa sea lo suficientemente gruesa. Los aceros laminados de poco espesor tienen poca rigidez en esta dirección, y por tanto se pandean fácilmente. A no ser que se pongan restricciones a las dos placas por soldar, no se tendrá rigidez lateral alguna, ya que cada una de las placas tiene libertad para moverse angularmente en relación con la otra; por esto, la deformación lateral es más común.

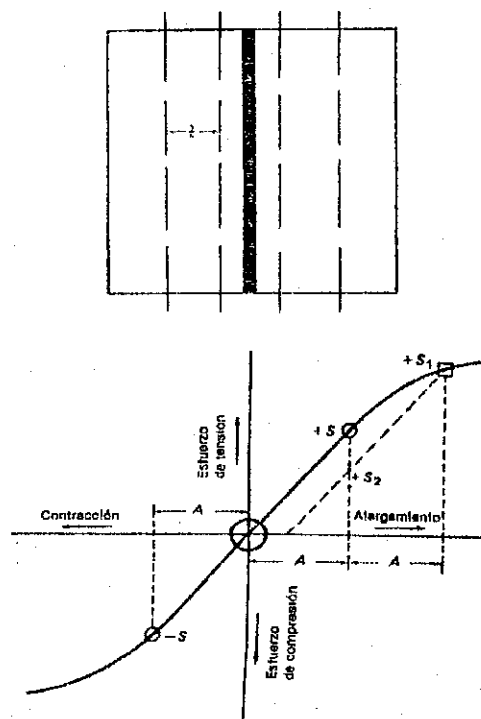
Figura 121. La deformación lateral puede reducirse usando electrodos más grandes y menos pasadas



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica. P. 500

Otro medio para reducir las fuerzas efectivas de contracción consiste en colocar las soldaduras tan próximas al eje neutro como sea posible, de manera que no haya suficiente brazo de palanca para sacar a las placas de alineamiento. (Figura 122).

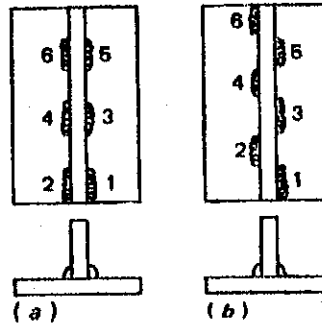
Figura 122. La colocación de soldaduras cerca del eje neutro reduce el efecto de palanca, y por tanto las fuerzas de contracción



Fuente: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 501

Para disminuir aún más la fuerza efectiva de contracción, reduciendo al mínimo la cantidad de material de soldadura, puede usarse en muchos casos soldaduras intermitentes, en lugar de soldaduras continuas (figura 123).

Figura 123. Soldaduras intermitentes



Ya sean paralelas

(a) Escalonadas

(b) Reducen también las fuerzas de contracción sin que se afecte la resistencia mecánica de la soldadura

Fuentes: Horwitz, Henry, Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 502

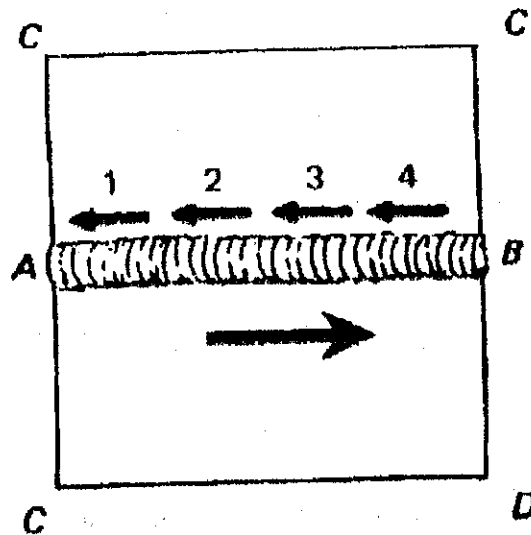
A menudo es posible utilizar hasta dos tercios menos de metal de soldadura y obtener todavía la resistencia requerida. El uso de cordones intermitentes distribuye también el calor más extensamente por toda la estructura.

Si el trabajo requiere una soldadura continua, todavía es posible reducir la fuerza efectiva de contracción mediante la técnica de escalonamiento hacia atrás. Con esta técnica, que se ilustra en la figura 124, la dirección general de avance de la soldadura es, por ejemplo de izquierda a derecha, pero cada cordón se deposita de derecha a izquierda.

Al aplicarse cada cordón, el calor de la soldadura hecha a lo largo de los bordes ocasiona una dilatación que separa temporalmente las placas en el extremo B, pero a medida que el calor se mueve hacia fuera, transversalmente a C, la dilatación ocurre a lo largo de los bordes externos C y D hace que regrese la placa de nuevo hasta juntarse.

Esto ocurre cuando se pone el primer cordón. Lo mismo puede decirse de cada cordón sucesivo, al irse colocando; las placas se dilatan a menor y menor grado en cada cordón por el efecto de cierre de cada soldadura.(72)

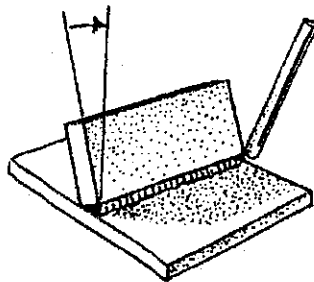
Figura 124. Técnica de retroceso en la aplicación de la soldadura.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 502

2. **Forma de hacer que las fuerzas de contracción trabajen para reducir la deformación al mínimo.** Una forma simple de usar con ventaja la fuerza de contracción del metal de la soldadura, consiste en situar las partes fuera de posición antes de soldar. La figura 125 muestra la soldadura de una junta en T, que se está haciendo con la placa vertical fuera de alineamiento, antes de depositar la soldadura. Al contraerse la soldadura tira de la placa vertical hasta su posición correcta a 90 grados.

Figura 125. Al hacer la soldadura de una junta en T, con la placa vertical fuera de alineamiento, se logra que las fuerzas de contracción trabajen para enderezar la junta.



Fuente: Horwitz, Henry. Soldadura, aplicaciones y práctica, p. 502

Otro método consiste en espaciar las partes antes de soldarlas. La experiencia indica el espacio que debe dejarse en las piezas para cualquier trabajo dado, de manera que las partes queden en alineamiento correcto al terminar la aplicación de la soldadura.

En muchos casos, puede ponerse a trabajar la fuerza de contracción predoblando o preresortando las partes a soldar.(73)

- 3. Forma de equilibrar las fuerzas de contracción con otras fuerzas.** A menudo, la naturaleza estructural de las partes por soldar es tal que proporciona fuerzas equilibrantes de suficiente rigidez como para compensar las fuerzas de contracción de la soldadura. Esto sucede particularmente en las secciones pesadas, en las que existe una rigidez inherente por el acomodo de las partes. Sin embargo, si no están presentes estas fuerzas equilibrantes naturales, es necesario compensar las fuerzas de contracción que ocurren en el metal de soldadura, para prevenir la deformación.

Esto puede lograrse por el uso de una secuencia de soldadura que sitúe el metal de soldadura en diferentes puntos respecto a la estructura, de manera que cuando se contraiga una sección del metal de la soldadura, contrarreste las fuerzas de contracción de los cordones previos. Un ejemplo simple de esto es la soldadura alternada a ambos lados del eje neutro de una soldadura simple a tope.

Otra aplicación de este principio es el escalonamiento de soldaduras intermitentes aplicadas en secuencias, como se ilustra en la figura 123 (a) y (b). En este caso, la fuerza de contracción de la soldadura número 1 queda contrarrestada o equilibrada con la soldadura número 2; la fuerza de contracción de la soldadura número 2 por la soldadura número 3, y así sucesivamente.

El martillado del cordón, que es otra aplicación de esta regla, en realidad estira la soldadura, contrarrestando su tendencia a contraerse al enfriarse. El martillado debe aplicarse con gran cuidado, porque si se excede puede dañar el metal de la soldadura.

El método más importante para evitar la deformación, que representa la aplicación más frecuente de la regla 3, es el uso de prensas, plantillas, o dispositivos para mantener la pieza de trabajo en su posición rígida durante la aplicación de la soldadura. En esta forma se compensan las fuerzas de contracción de la soldadura con contrafuerzas suficientes para reducir al mínimo la deformación. Lo que realmente ocurre es que las fuerzas equilibrantes de la plantilla o dispositivo hacen que se estire el metal de la soldadura, impidiendo con ello en buena medida la deformación.

Como se dijo anteriormente, que el calentamiento y enfriamiento rápidos en regiones localizadas del trabajo durante la soldadura por fusión producen expansiones y contracciones térmicas, que a su vez provocan tensiones residuales en la soldadura y distorsiones en ensambles soldados, se han dado reglas para minimizar estas contracciones y expansiones térmicas, para reducir la deformación de los ensambles soldados y las tensiones residuales de la misma.

4.7 Soldadura de aceros inoxidables

Es un grupo de aceros inoxidables altamente aleados y diseñados para suministrar alta resistencia a la corrosión. Los principales elementos de aleación en el acero inoxidable son el cromo, con al menos 12%, El cromo forma en la aleación una delgada película impermeable de óxido (bajo atmósfera oxidante) la cual protege a la superficie de la corrosión. El níquel es otro elemento usado en ciertos aceros inoxidables para incrementar la protección contra la corrosión. El carbono se usa para reforzar y endurecer el metal; sin embargo, cuando se eleva su contenido se produce un efecto de reducción de la protección contra la corrosión ya que el carburo de cromo que se forma, reduce la cantidad de cromo libre en la aleación.

Los aceros inoxidables son notables por su combinación de resistencia y ductilidad, además de su resistencia a la corrosión. Aunque dichas propiedades son muy deseables para dichas aplicaciones, generalmente hacen que estas aleaciones sean difíciles de trabajar en manufactura. Pero, a la vez, tiene las propiedades de manejabilidad, tenacidad, conductividad y gran soldabilidad.

Los aceros inoxidables se clasificaran como: ferríticos, austeníticos, martensíticos, duplex y endurecidos.(74)

4.7.1 Aceros inoxidables ferríticos

Estos aceros tienen alrededor de 15 a 20% de cromo, bajo carbono y nada de níquel. Esto proporciona una fase ferrítica a temperatura ambiente. Los aceros inoxidables ferríticos son magnéticos, menos dúctiles y con menor resistencia a la corrosión que los austeníticos. A este tipo de aceros inoxidables ferríticos se les clasifica como parcialmente endurecibles por su contenido de cromo, se designan como AISI 429, 430, 431 y 436. Se aplican en: partes de hornos y calderas (quemadores, dispersores, boquillas y pilotos de encendido), teas especialmente canastas y cortavientos, intercambiadores de calor, tanques de agua caliente y de condensado y en componentes de motores de propulsión a chorro.

También están los aceros inoxidables ferríticos no endurecibles con contenido de cromo de 13%, entre estos están los AISI 405 y 409 bajo contenido de carbono. Las adiciones de Aluminio no permiten endurecer la aleación. AISI 409 tiene Titanio como elemento estabilizador, AISI 442 y 444 con 18 y 23% de cromo. El AISI 444 con Nb +Ti como estabilizador. AISI 446 con 23% de cromo. Muy alta resistencia a la oxidación.

Se emplean en componentes internos de bombas, quemadores y teas. Desempeño ante la corrosión:

- ✓ Baja resistencia a la erosión.
- ✓ Baja resistencia a la corrosión ante ácidos débiles.

Efectos de agregados químicos:

Influencia del cromo

- Aumenta la dureza y resistencia mecánica; reduce la elasticidad.
- Alta resistencia al calor y oxidación a alta temperatura.
- Con el carbono forma carburos resistentes al desgaste; frágiles.
- Aumenta la resistencia a la corrosión de sales fundidas.

Influencia del molibdeno

- Aumenta la dureza, tenacidad y resistencia a la tensión.
- Mejora la soldabilidad.

Influencia del vanadio

- Refina el grano y mejora la resistencia mecánica.
- Mejora la dureza y la propiedad al corte.(75)

4.7.2 Aceros inoxidables martensíticos

Estos aceros tienen un contenido más alto de carbono que los inoxidables ferríticos, lo cual permite fortalecerlos mediante tratamiento térmico. Tienen hasta un 18% de cromo pero nada de níquel. Son fuertes y resistentes a la fatiga, pero no tan resistentes a la corrosión como los otros grupos. Tienen buena templeabilidad, temperabilidad y alta tenacidad. También pertenecen a la serie 400.

Entre sus propiedades físicas y químicas tenemos: Conductividad térmica aproximadamente 40% menor que el acero al carbono. Resistencia eléctrica de 5 a 10 veces mayor que el acero al carbono y su expansión térmica es 50% mayor que el acero al carbono.

Propiedades mecánicas:

Grupo 1: Baja resistencia mecánica y al calor.

AISI 403, 410, 414, 406.

Grupo 2: Superior resistencia mecánica.

AISI 431, 440 ABC

Grupo 3: Alta resistencia mecánica por su contenido de molibdeno.

AISI 420 y M-125

Grupo 4: Alta resistencia mecánica y al calor.

AISI 422 y H-46

Su desempeño ante la corrosión es:

- ✦ Alta resistencia a la oxidación a moderada temperatura.
- ✦ Muy resistente a la erosión, velocidades hasta 15 pies/segundo especialmente el AISI 410.
- ✦ Picaduras ante ácidos débiles.
- ✦ Corrosión por efecto navaja ante ácidos nafténicos.
- ✦ Resistente al azufre.
- ✦ Muy resistente al desgaste, especialmente el AISI 440, mejora con tratamiento criogenico.

La aplicación de estos aceros esta en:

Componentes de motores, internos de válvulas, bombas, cuchillas de afeitar, elementos de corte e instrumentos quirúrgicos.(76)

4.7.3 Aceros inoxidables austeníticos

Estos aceros tienen la composición típica de 18% de cromo y 8% de níquel y son los más resistentes a la corrosión entre los aceros inoxidables. Debido a esta composición se les identifica algunas veces como aceros 18-8. Son no magnéticos y muy dúctiles, pero muestran endurecimiento por trabajo en forma significativa. El níquel tiene el efecto de aumentar la región austenítica en el diagrama de fase hierro-carbono, haciéndola estable a temperatura ambiente, también incrementa la resistencia mecánica, la resistencia a la corrosión, aumenta la resistencia a la fatiga y la ductilidad y es resistente a atmósferas sulfurosas.

Se le agregan elementos austenizantes como el manganeso y el nitrógeno. La influencia del manganeso en este tipo de acero inoxidable es controlar la escoria en soldaduras, incrementa la resistencia a la tensión, la resistencia mecánica y disminuye ligeramente su elasticidad. El nitrógeno permite alcanzar alta dureza superficial.

Entre sus propiedades físicas y químicas están:

- Conductividad térmica: es, aproximadamente, 50% menor que el acero al carbono.
- Resistencia eléctrica: 6 a 12 veces mayor que el acero al carbono.
- Expansión térmica: mayor un 50% más que el acero al carbono.
- Agregados químicos: influencia del cromo, níquel y manganeso.
- Formación de carburos: debilitan la aleación.

Propiedades mecánicas:

- Los aceros inoxidables austeníticos tienen alta resistencia mecánica, ductilidad, tenacidad y formabilidad.
- Estos pertenecen a la serie 300, los tipos AISI 309, 310 y 316 tienen más alto valor de resistencia a la tensión.

Hay cuatro formas de prevenir la precipitación de carburos:

1. Limitar el nivel de carbono a 0.3% C= Extra Low Carbon.
2. Agregar elementos estabilizadores como Ti, Cb, Ta, Nb.
3. Utilizar electrodos de diámetros pequeños, bajo calor para soldar y enfriamiento entre cordones, cuando se pasa en el rango entre 800 y 1600oF
4. Calentar completamente una soldadura hasta 2100oF y efectuar un enfriamiento en agua fría.(77)

Los aceros inoxidable austeníticos se usan para fabricar equipos de procesos químicos, alimenticios, así como partes de maquinarias que requieren alta resistencia a la corrosión.

4.7.4 Aceros inoxidable dúplex y endurecido

Los aceros inoxidable dúplex, tienen una estructura mezclada de austenita y ferrita en cantidades aproximadamente iguales. Su resistencia a la corrosión es similar a la de los grados austeníticos y muestran una resistencia mejorada al agrietamiento por corrosión debido al esfuerzo.

El primer acero inoxidable dúplex es el 3RE60 (J. Olof Edstrom, 1964) su composición química es:

C=0.08%, Cr=16-21%, Ni=3-8%, Si=1.2-2.1%, Mn=0.1-2.0%,
Mo=2.2-3.8%.

Características de 3RE60:

- Gran resistencia mecánica, casi el doble que la de un acero austenítico corriente.
- Alta resistencia a la corrosión por tensiones y a la corrosión por picaduras.
- Buena estabilidad estructural frente a la fragilidad en caliente hasta 450oC.
- Buena resistencia a la corrosión intergranular.
- Aplicaciones: Intercambiadores de calor, aguas salobres, contenido de cloruros.

Algunas aplicaciones generales de los aceros inoxidables dúplex son :

- Intercambiadores de calor.
- Tuberías con presencia de cloruros y sulfuros de hidrogeno.
- Tubos de instrumentación.
- Reactores tubulares.
- Evaporadores.

- Tubos hidráulicos.
- Tubería de transporte de agua y vapor.
- Enfriadores.
- Implantes ortopédicos.(78)

Estos también pueden aplicarse en las industrias: química, petroquímica, metalúrgica, alimenticia, de pulpa y papel, de la construcción, refinerías e industria farmacéutica.

Los aceros inoxidables endurecidos por precipitación, tienen una composición química típica de 17% Cr y 7% Ni, con pequeñas cantidades adicionales de elementos de aleación como aluminio, cobre, titanio y molibdeno. La característica distintiva entre los inoxidables es que pueden ser fortalecidos con el proceso de endurecimiento por precipitación. La resistencia a la corrosión y al esfuerzo se mantiene a temperaturas elevadas, lo que hace que estas aleaciones sean adecuadas para aplicaciones aeroespaciales.

4.7.4.1 Soldabilidad

En general, presentan muy buena soldabilidad. Se utilizan los siguientes métodos de soldadura por fusión: soldadura manual con electrodo revestido (SMAW); soldadura al arco con gas protector: MIG, TIG, ARCO SUMERGIDO. El material de aporte, debe de ser similar al metal base.

4.7.5 Materiales de aporte

Los electrodos que se utilizan para soldar los aceros inoxidable, deben ser similares al del metal base, y estos están clasificados como electrodos de alta aleación por la AWS.

Para el proceso SMAW, se utilizan electrodos de alta aleación, tales como:

E-308L, E-309, E-310, E-347, E-316L, E-410, E-430, etc.

Para el proceso GMAW, se utilizan como material de aporte, alambre desnudo continuo, y la AWS la a clasificado como materiales de aporte de electrodo continuo para aceros inoxidable o de alta aleación, algunos ejemplos de estos son:

ER-308, ER-308L 16, ER-309L, ER-310, ER-312-16, ER-316L
ER-316L-16, etc.

4.8 Diagrama de Schaeffler

El diagrama de Schaeffler se usa principalmente para predecir la estructura del metal de soldadura obtenido en la unión de aceros inoxidables disimiles, o de aceros inoxidables con aceros al carbono, con o sin aleación.

Para su empleo, se parte del cromo y níquel equivalentes que son coordenadas del diagrama, los cuales se determinan de las siguientes fórmulas:

☞ Cromo equivalente: $(Cr)_{eq}$

$$(Cr)_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5x(\%Si) + 0.5x(\%Nb).$$

☞ Níquel equivalente: $(Ni)_{eq}$

$$(Ni)_{eq} = \%Ni + 30x(\%C) + 0.5x(\%Mn).$$

El diagrama de Schaeffler es un instrumento necesario para la evaluación de la soldadura. Este permite conocer con anterioridad la composición química de la estructura de una soldadura, permite escoger los electrodos apropiados para la soldadura heterogénea, de acero aleado, acero al carbono, acero inoxidable, etc.

Para determinar el % de ferrita en una soldadura se introdujo un concepto de número de ferrita (NF). El establecimiento de éste concepto vino a facilitar la determinación del porcentaje de ferrita una vez que el número de ferrita en la soldadura se mide por lecturas magnéticas con aparatos calibrados en cuerpos de pruebas patrones. (79)

El número de ferrita es esencialmente equivalente al porcentaje de ferrita, siendo que cuando NF es menor de 6, el % de ferrita es igual al número de ferrita, y cuando NF es mayor de 6, pasa a existir una pequeña discrepancia entre el número y el % de ferrita. En aceros inoxidable Cr-Ni, auténticas soldaduras totalmente austeníticas, sin fase ferrítica, son propensas al agrietamiento en caliente, Las soldaduras que contienen del 4 al 10% de ferrita son resistentes a fisuramiento.

Para prever el porcentaje de ferrita en una soldadura se utiliza en diagrama de Schaeffler, que permite la selección del material más adecuado.

- b) En la zona 2, la región abarca las estructuras martensíticas y parte de las estructuras mixtas martensita-austenita y martensita-ferrita. En esta región el problema es el agrietamiento por el hidrógeno. A temperaturas por debajo de 400°C existe el peligro de fisuras debidas al temple. La condición para soldar en esta zona es la utilización de electrodos disimiles y el precalentamiento.

c) En la zona 3, la región engloba todas las composiciones de aleaciones que están en posibilidades de dar, después de largo tiempo de permanencia en temperaturas en el rango de 500 a 900oC, donde aparece la fase sigma (σ) (solución sólida de Fe en Cr de 19 a 50%), básicamente Fe-Cr, que tiene principalmente la característica de una gran fragilidad a temperatura ambiente y a la vez resulta fisuración a 475oC. La fase sigma, tiene más facilidad de formarse a partir de la fase ferrítica, las aleaciones austeníticas también pueden generar la fase sigma. La condición para soldar en esta zona, es el enfriamiento o pasar rápidamente la temperatura entre 500-900oC, en donde se encuentra la fase sigma (σ)

d) En la zona 4, la región ocupa las composiciones austeníticas, el problema que puede aparecer en las soldaduras de aleaciones cuya composición está en este campo, es decir, el agrietamiento en caliente. Arriba de 1250oC existe el peligro de fisuración en caliente. Recordemos que una de las principales causas del agrietamiento en caliente es debido a la segregación de fases con punto de fusión más bajo que el metal de la zona fundida o de la zona afectada térmicamente (ZAT). Tiene resistencia media a la corrosión. La condición para soldar en esta zona se presenta a continuación:

- ✓ Utilizar material base con bajo contenido de carbono.
- ✓ Utilizar elementos estabilizadores como Ti, V, Nb.
- ✓ Pasar rápidamente la temperatura de los 1250oC

e) Zona 5. En el centro del diagrama hay una región que no corresponde a ninguno de los cuatro campos. Las composiciones químicas que pertenecen a esta región indican que la aleación está prácticamente libre de los problemas enumerados. El objetivo es que la composición química de la soldadura caiga en esa región, ahora ese procedimiento no resuelve la situación para la zona afectada térmicamente (ZAT), cuya composición química es la del metal base.

Los parámetros a controlar para la consecuencia de ese objetivo son básicamente: A) selección del metal de aporte y B) control de la dilución posible por la selección apropiada de los parámetros del proceso de soldadura utilizado.

Además, si ese objetivo no es alcanzado, el diagrama de Schaeffler nos da la indicación del problema principal a encontrar en la soldadura haciendo posible la prevención o corrección necesaria.

Por lo tanto, en esta zona el metal de soldadura es óptimo con respecto a las solicitaciones mecánicas de la junta.

Cuando se trata de uniones sobre un único material base, el punto correspondiente al metal de soldadura en el diagrama de Schaeffler estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente del metal base y el punto correspondiente del metal de aporte puro que corresponde al electrodo utilizado dependiendo su ubicación del grado de dilución con que se trabaje.

Dilución: es lo que penetra el material de aporte en el material base. Esto depende según el proceso de soldadura a utilizar, el grado de dilución se da en porcentajes.(80)

Tabla IX. Grado de dilución

• Soldadura oxiacetilénica	SOA.....	5%
• Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido	SMAW.....	20 – 30%
• Soldadura de arco eléctrico bajo protección gaseosa	MIG.....	20%
• Soldadura de arco sumergido.....	SAW.....	40%
• Soldadura con gas inerte y electrodo de tungsteno.....	TIG.....	15%
• Soldadura de arco eléctrico con alambre tubular.....	Flux-core.....	20 – 25%

Fuente: SENA, Seminario taller soldadura aceros inoxidable, p. 37

En el proceso manual con electrodo revestido se acerca a un 30% como valor típico de grado de dilución, por lo que es usado para dividir la recta anteriormente mencionada en diez partes iguales siendo de ese modo el punto correspondiente al metal de soldadura, el tercero contando a partir del punto de metal de aporte puro.

Cuando la unión involucra dos materiales base distintos, el punto correspondiente al metal de soldadura en el diagrama estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente al metal de aporte puro y algún punto de la recta de unión entre los puntos correspondientes a los materiales base. La ubicación será función de la participación de cada uno de ellos y del metal de soldadura o grado de dilución.

Usualmente, participan en igual grado por lo que dicho punto debe ubicarse en el centro de la recta. El punto definitivo del metal de soldadura se determina luego en forma análoga al caso de considerar un único metal base en la unión.

Nota: En el caso de aceros al carbono, se considera un 50% de decarburización en la soldadura por lo que en la fórmula del níquel equivalente debe reemplazarse el coeficiente correspondiente al carbono adoptándose el valor de $15x(\%C)$.

Ejemplo:

Se pretende unir a tope con bisel en V un metal de acero AISI 3140, con un metal de acero inoxidable AISI 304, en ese momento solo se cuenta con una caja de electrodos revestidos E-309-16 y una bobina de electrodo de alambre ER-309-16 para el proceso SMAW y para el proceso de soldadura MIG respectivamente, se desea predeterminar si se puede realizar la unión con este tipo de electrodo y con cual proceso de soldadura, así también se desea saber bajo que condiciones se debe realizar la soldadura si la hay.

Composiciones químicas de los materiales.

	AISI 3140	AISI 304	E-309-16
C	0.30	0.05	0.06
Mn	0.70	1.5	1.5
Ni	1.10	9.0	12.0
Cr	0.55	18	22.0
Si	0.20	0.5	0.5
Mo	-----	-----	-----
Nb	-----	-----	-----

Se calcula el cromo y níquel equivalente de cada material.

AISI 3140.

$$(\text{Cr}) \text{ eq} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5(\% \text{Si}) + 0.5(\% \text{Nb})$$

$$(\text{Cr}) \text{ eq} = 0.55 + \text{-----} + 1.5(0.20) + \text{-----} = 0.85$$

$$(\text{Ni}) \text{ eq} = \% \text{Ni} + 15(\% \text{C}) + 0.5(\% \text{Mn})$$

$$(\text{Ni}) \text{ eq} = 1.10 + 15(0.38) + 0.5(0.70) = 7.15$$

En el níquel equivalente, se le ha cambiado a 30(%C) por 15(%C), ya que se trata de un acero al carbono. (Ver nota en página anterior).

AISI 304.

$$(\text{Cr}) \text{ eq} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5(\% \text{Si}) + 0.5(\% \text{Nb})$$

$$(\text{Cr}) \text{ eq} = 18 + \text{-----} + 1.5(0.5) + \text{-----} = 18.75$$

$$(\text{Ni}) \text{ eq} = \% \text{Ni} + 30(\% \text{C}) + 0.5(\% \text{Mn})$$

$$(\text{Ni}) \text{ eq} = 9 + 30(0.05) + 0.5(1.5) = 11.25$$

E- 309-16.

$$(\text{Cr}) \text{ eq} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5(\% \text{Si}) + 0.5(\% \text{Nb})$$

$$(\text{Cr}) \text{ eq} = 22 + \text{-----} + 1.5(0.5) + \text{-----} = 22.75$$

$$(\text{Ni}) \text{ eq} = \% \text{Ni} + 30(\% \text{C}) + 0.5(\% \text{Mn})$$

$$(\text{Ni}) \text{ eq} = 12 + 30(0.06) + 0.5(1.5) = 14.55$$

Todos estos resultados ya calculados, se trasladan al diagrama de Schaeffler, y se ubican los puntos dentro de las coordenadas correspondientes, luego se traza la recta entre los dos puntos de los materiales base. Esta recta se divide en dos partes iguales, en donde se ubica un punto de referencia el cual indica que el espesor de los materiales es el mismo. Desde este punto de referencia se traza otra recta hacia el punto que se encontró con las coordenadas del material de aporte. Ahora se estima la longitud de esta recta, y se toma como referencia el grado de dilución del proceso de soldadura a utilizar y ese porcentaje de dilución se le aplica a la longitud de esta recta y el resultado se mide desde el punto de

ubicación del material de aporte hacia el punto medio de referencia entre los puntos de los materiales base.

El grado de dilución para el proceso SMAW se tomará de 30% y para el proceso MIG es de 20%.

La resta del material de aporte al punto medio de referencia entre los dos materiales base es de 52 mm de longitud, el punto de referencia donde está ubicada el material de aporte esta dentro de la zona 5, esto nos da la información que no existen condiciones para soldar estos materiales, o sea que son óptimos para la soldadura, ahora de acuerdo al grado de dilución, esta distancia al aplicarla a la recta que mide 52mm, no debe salirse de la zona 5, haciendo los cálculos tenemos:

L= longitud de la recta del punto del material de aporte al punto medio de referencia entre los puntos de los materiales base.

GD= grado de dilución.

D= dilución

a) Proceso SMAW

$$D = L \times GD$$

$$D = (52 \text{ mm}) \times (0.30) = 15.6 \text{ mm}$$

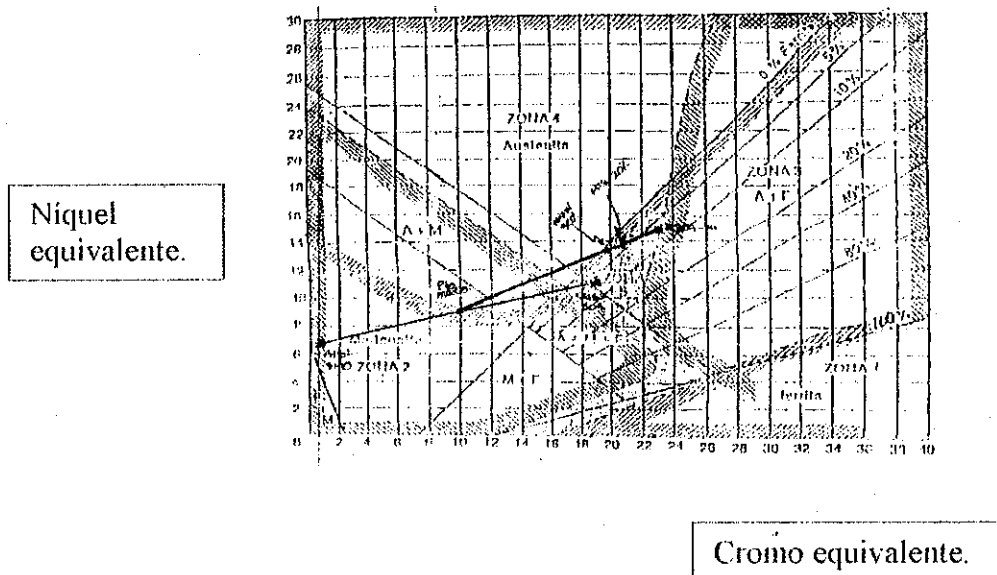
b) Proceso MIG

$$D=LxGD$$

$$D= (52 \text{ mm}) \times (0.20)=10.4 \text{ mm}$$

Estos resultados se miden desde el punto del metal de aporte hacia el punto medio de referencia, estos resultados, están adentro de la zona 5, esto quiere decir que se puede utilizar cualquiera de los dos procesos. El más recomendable es el proceso MIG, que esta más adentro de la zona 5, mientras que el proceso SMAW, esta casi en los límites de esta zona.

Figura 127. Ejemplo de la unión de dos materiales disímiles



Fuente: SENA, Seminario taller soldadura aceros inoxidable, p. 41

4.9 Soldadura de materiales no ferrosos

Para soldar materiales no ferrosos, tales como el aluminio y sus aleaciones, el cobre y sus aleaciones, el níquel y sus aleaciones, etc., se utiliza el proceso de soldadura de arco eléctrico bajo gas protector GMAW (MIG) y el proceso de soldadura de arco eléctrico de tungsteno y gas GTAW (TIG).

Se hará énfasis solo al proceso de soldadura MIG, que a la vez de utilizarlo en la unión soldada para los aceros inoxidable, también se utiliza para algunos metales no ferrosos, tales como: aluminio, cobre y níquel y aleaciones de cada uno de ellos.

El proceso MIG, utiliza como gas protector el argón o el helio, que nos proporcionan una atmósfera protectora contra el aire y sus contaminantes en la soldadura, estos gases tienen la facultad de ser gases inertes lo cual ayuda a no reaccionar con los metales base en la soldadura. El material de aporte es un electrodo de alambre continuo, el cual tiene composición química similar a cada uno de los metales no ferrosos. Por ejemplo, para el aluminio, la AWS designa los electrodos especiales de aleaciones como:

ER-4043 para aluminio al silicio.

ER-5356 para aluminio al manganeso.

Ejemplos de electrodos de alambre para el níquel y sus aleaciones:

ERNiCI-FE3, ERNiCu-7, ERNi-3

Ejemplos de electrodos de alambre para el cobre y sus aleaciones:

RcuAl-A2, ECuAl-AI, RcuSi-A, Rcu, RCuNi.

Su pueden soldar metales no ferrosos desde espesores de 1/16 hasta 3/4 de pulgada. (81)

Por lo general, sólo se precalientan las aleaciones de aluminio tratables térmicamente; sin embargo, cuando hay humedad en la zona de la junta, las aleaciones no tratables térmicamente se precalientan también, para eliminarlas.

Generalmente, es suficiente precalentar las partes que se van a unir a temperaturas hasta de 400oF. Debe recordarse que el aluminio fundido se contrae aproximadamente tres veces más que un volumen similar de acero. Cuando no es posible usar resumideros de calor o barras de enfriamiento rápido, deben usarse otros métodos de enfriamiento, tales como hielo seco, para aislar la zona de la soldadura y reducir al mínimo la deformación.

Para obtener una buena penetración con el proceso de soldadura GMAW (MIG), sólo debe usarse corriente directa de polaridad invertida.

La soldadura de una aleación de níquel a acero, o una aleación de níquel diferente, puede lograrse, después de dar la debida consideración a factores tales como la diferencia en el coeficiente de dilatación térmica entre el metal de aporte y los metales de base, los efectos de la dilución en ambas entrecaras del metal de base/soldadura, y la posibilidad de cambios en el estado sólido (cambios en microestructura) después de un servicio prolongado a temperaturas elevadas.

Debe usarse la forma de transferencia de metal por rociado o arco pulsado al soldar con el proceso GMAW(MIG). (82)

5. DISEÑO Y CÁLCULO EN CONSTRUCCIONES SOLDADAS

5.1 Fundamentos

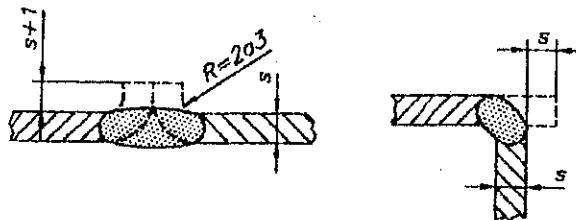
5.1.1 Cálculo de diferentes juntas

5.1.1.1 Formas corrientes de las uniones soldadas

1. Soldadura de reborde

Se utiliza una lámina de 3 mm. de espesor ($s = 3\text{mm.}$). Se suelda con electrodo de grafito, pero mayormente con la llama oxiacetilénica. Fundiendo el exceso de material se logra obtener el cordón.

Figura 128. Soldadura de reborde

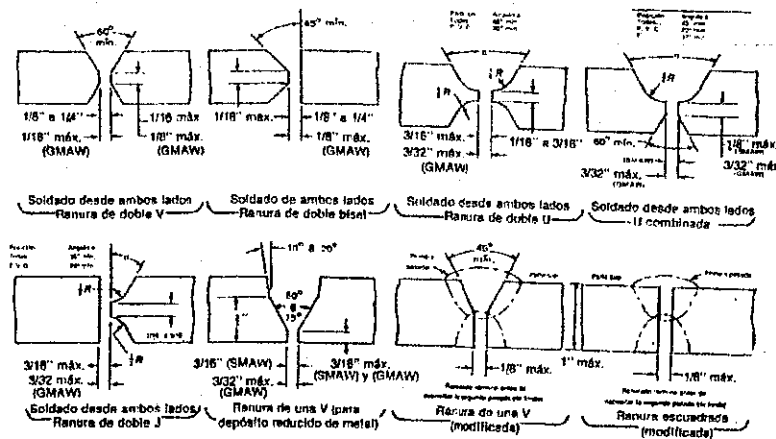


Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas. p. 22

2. Soldadura a tope

Se ejecuta en la ranura entre dos piezas que se sueldan. La forma geométrica y sus tamaños dependen del espesor de las piezas a soldar. La unión a tope se lleva a cabo rellenando dicha ranura con material suplementario, que es el electrodo en caso de soldadura por arco eléctrico o alambre utilizando la soldadura oxiacetilénica. La forma corrientes de las ranuras para la soldadura a tope para varios espesores de láminas soldadas aparece en la figura 129 con sus cotas respectivas. (83)

Figura 129. Soldadura a tope

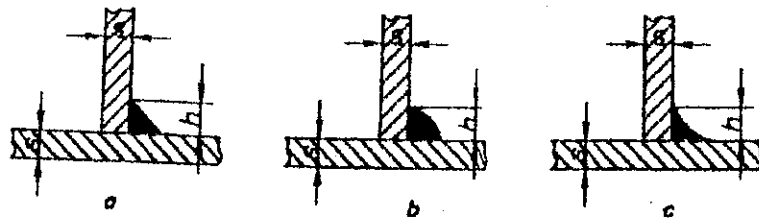


Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 22

3. Uniones con filete angular

El filete angular es la forma más utilizada para la soldadura por arco eléctrico. Los filetes angulares son rectos, convexos y cóncavos (fig. 130). Generalmente, se utiliza el ancho del filete angular igual o menor que el espesor de las láminas a soldar, es decir:

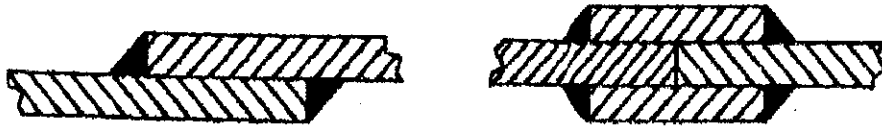
Figura 130. Uniones con filete angular



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 23

Los filetes angulares se utilizan también para uniones a traslape, como se ven en la figura 131. (84)

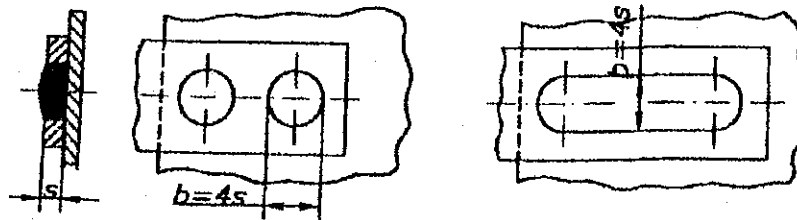
Figura 131. Uniones a traslape



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 23

En casos especiales, cuando el filete angular de la unión a traslape no puede utilizarse, éste se sustituye por la soldadura o unión con tapón. Dos tipos más corrientes de las uniones con soldadura de tapón aparecen en la figura siguiente:

Figura 132. Soldaduras de tapón

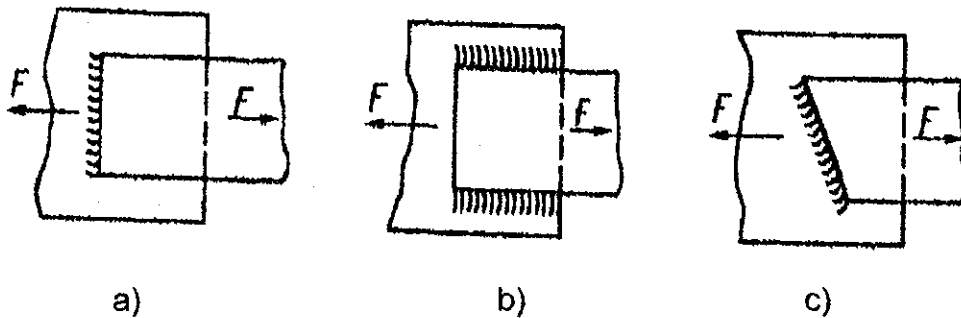


Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 23

5.1.1.2 Según la posición de la fuerza del filete

Hay uniones frontales, laterales y uniones diagonales. (Fig. 132).(85)

Figura 132. Soldaduras de filete



- a) Filete frontal
- b) Filete lateral
- c) Filete diagonal

Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 24

5.1.1.3 Según la tarea que cumplen hay uniones

1. Uniones que transmiten cargas principales.
2. Uniones que solamente fijan la posición mutua de las partes de la máquina, mientras que las fuerzas se transmiten por otras uniones.
3. Uniones herméticas, cargadas muy poco. Su principal destino es hermetizar depósitos de líquidos, cubiertas y tapas en la maquinaria general.(86)

5.1.2 Juntas a tope, traslape y en ángulo

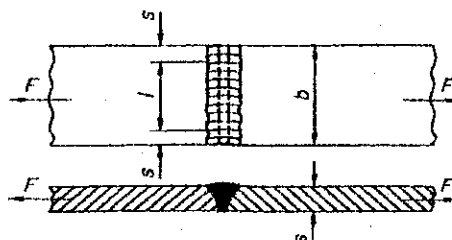
5.1.2.1 Cálculos a resistencia de las uniones soldadas

Las fórmulas para los cálculos a resistencia de las diversas uniones soldadas que aparecerán en adelante están basadas en las siguientes suposiciones:

- 1) Filetes perfectamente ejecutados, sin fallas internas.
- 2) Las propiedades mecánicas del material base no se han cambiado después de llevar a cabo el proceso de soldadura.
- 3) Después de terminar el proceso de soldadura, dentro de los filetes no quedan ningunas tensiones restantes.

Para cumplir esta suposición, la pieza soldada tiene que recocerse una vez terminados todos los filetes. Las uniones soldadas sufren cargas: a tracción, a compresión, a flexión, a cortante (cizalladura) y a torsión. Muchas veces ocurren cargas combinadas de las anteriormente mencionadas. (87)

Figura 133. Unión a tope cargada a tracción



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 25

Para el cálculo no se toman en cuenta las partes convexas del filete, que sobresalen de las superficies de las piezas soldadas. La longitud útil para transmitir la carga a tracción es menor que el ancho de las piezas soldadas. Esta longitud es:

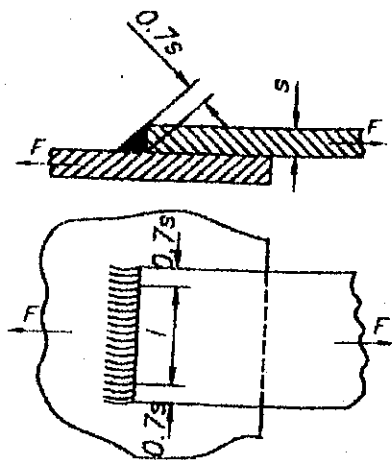
$$l = b - 2XS$$

La fórmula básica para calcular los filetes de las uniones a tope a tracción es:

$$\sigma = F / (SXl) \leq [\sigma] \quad \Rightarrow \quad \sigma = F / Sx(b - 2S) \leq [\sigma]$$

Donde $[\sigma]$ es: tensión permisible del filete a tracción. Los valores aparecen en la tabla X.

Figura 134. Unión a traslape con un solo filete angular



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 26

En este caso el filete esta cargado a cortante y su sección crítica se halla en su plano de simetría. El área de la sección crítica es:

$$A_z = 0,7 \times S \times l$$

y la longitud útil:

$$l = b - 2 \times 0,7 \times S$$

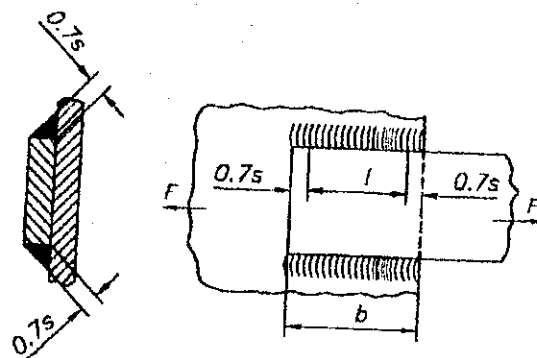
La tensión cortante será:

$$\tau = F / 0,7 \times S \times (b - 1,4S) \leq [\tau]$$

El valor $[\tau]$ se puede tomar como $[\tau] = 0,8 \times [\sigma]$ siendo $[\sigma]$ la tensión admisible del material.

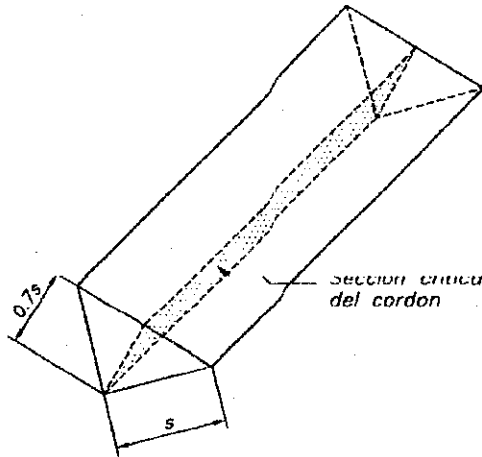
Los valores de la tensión permisible a cortante $[\tau]$ se toman de la tabla X.
(88)

Figura 135. Unión a traslape con filetes laterales



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 26

Figura 136. Sección crítica



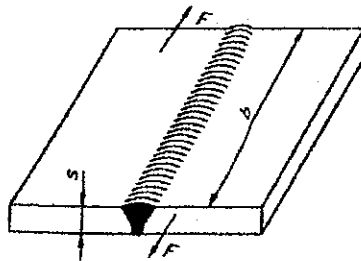
Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 26

Ambos filetes laterales están cargados simétricamente a cortante. La magnitud de la tensión a cortante en este caso será:

$$\tau = F/2 \times 0,7S(b - 1,4 \times S) \leq [\tau]$$

También aquí la tensión permisible a cortante se obtiene de la tabla anteriormente mencionada (Tabla X).

Figura 137. La unión a tope, cargada a cortante



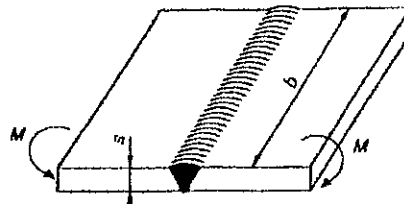
Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 27

El filete en caso de la unión a tope que sufre carga a cortante tiene que aguantar la tensión:

$$\tau = F/Sx(b-2xS) \leq [\tau]$$

El valor de la tensión permisible a cortante $[\tau]$ se toma de la tabla X.

Figura 138. Unión a tope cargada a flexión



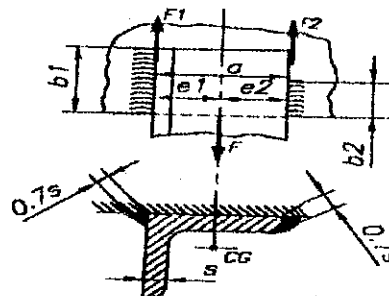
Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 28

Momento flector M, carga el filete a flexión originando así la tensión:

$$\sigma = M/W = 6M/bxS^2 \leq [\sigma]$$

Tensión permisible a flexión de la tabla X. (89)

Figura 139. Unión soldada de un angular con la carteta



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 28

Este es un caso muy común en la fabricación de estructuras metálicas, soldadas de perfiles laminados. Cada parte de la estructura tiene que ser cargada céntricamente, lo que significa, que las fuerzas externas tienen que accionar en el eje central del perfil (eje donde se halla el centro de gravedad de sección transversal de perfil). La carga céntrica se logrará por distintas longitudes de los filetes laterales que unen el angular con la cartela. Las longitudes b_1 , y b_2 de los filetes tienen que cumplir las dos siguientes ecuaciones de equilibrio.

$$F_1 + F_2 = F$$

$$F_1 x e_1 = F_2 x e_2$$

Las fuerzas F_1 y F_2 cargan los filetes a cortante, pues será:

$$F_1 = 0,7 x S x b_1 x [\tau] ; F_2 = 0,7 x S x b_2 x [\tau]$$

Sustituyendo los valores de las fuerzas en las ecuaciones de equilibrio se logrará:

$$b_1 x e_1 = b_2 x e_2 ; b_2 = e_1 x b_1 / e_2$$

De la ecuación del equilibrio de las fuerzas se sacará:

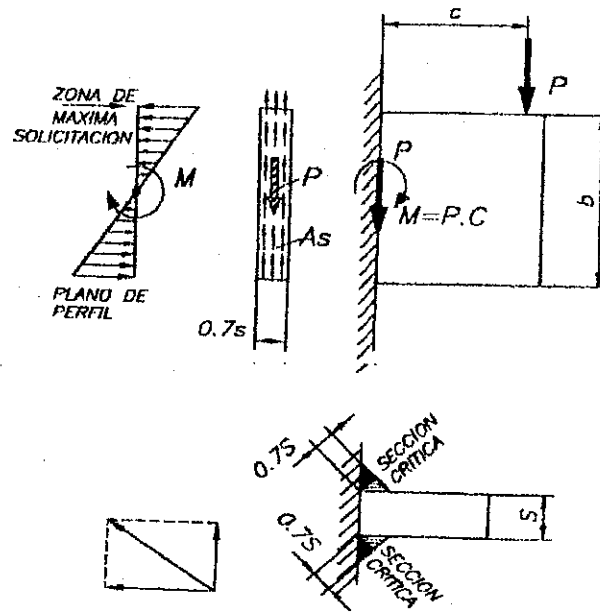
$$F = 0,7 x S x [\tau] x b_1 x (1 + e_1 / e_2)$$

Las longitudes de los filetes serán:

$$b_1 = F / 0,7 x S x [\tau] x (1 + e_1 / e_2) ; b_2 = F / 0,7 x S x [\tau] x e_1 / e_2$$

El valor de la tensión permisible a cortante se obtiene de la tabla X. (90)

Figura 140. Laterales, filetes angulares cargados a flexión



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 30

La sección de los filetes que soporta la flexión esta formada por dos rectangulares, cada uno con el área:

$$A=0,7xbxS$$

Estas áreas son prácticamente las secciones críticas de los filetes volteados al plano de unión entre las piezas soldadas, como puede verse en la figura 140 también aquí la tensión se calcula como tensión a cortante y tiene que ser menor que la tensión permisible a cortante del material del filete (Tabla X) será:

$$\sigma_e = \sigma_1 + \tau_2 \leq [\sigma]$$

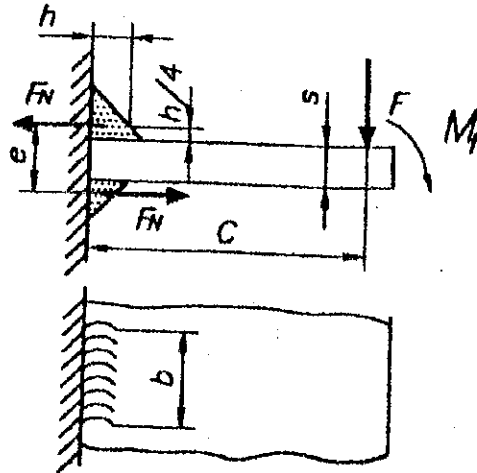
$$\sigma_1 = M/W = P \times C / (1/6) 0,7 \times S \times b^2 \times 2 = 4,3 \times P \times C / S b^2$$

$$\tau_2 = P/2 \times A = P/2 \times 0,7 \times S \times b = P/1,4 \times S \times b$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_1^2 + \tau_2^2)} \leq [\sigma]$$

$$\sigma = (P/S \times b^2) \times \sqrt{(18 \times C^2 + 0,5 \times b^2)} \leq [\sigma]$$

Figura 141. Otro caso del filete angular cargado a flexión



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 31

Aquí el momento flector actúa en el plano perpendicular al respecto del plano de la viga "empotrada" por medio de los filetes angulares. Aquí el momento flector externo estará en equilibrio con el momento que ofrece las resistencias de los filetes. Los filetes guardan entre sus centros de gravedad la distancia "e". Valdrán las siguientes ecuaciones:

$$MF = Fnx e = Px C$$

$$Fn = 0.7xhxbx[\sigma]$$

$$e = S + 2xh/4$$

sustituyendo será:

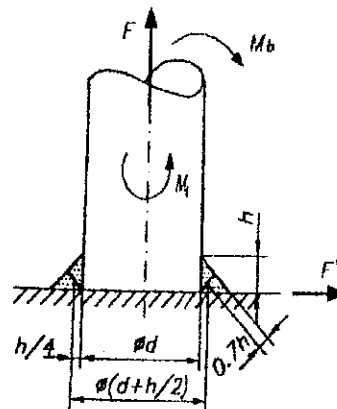
$$MF = 0.7xhxbx[\sigma]x(Sxh/2) = Px C$$

y de aquí la longitud necesaria b de los filetes es:

$$b = Px C / (0.7xhx[\sigma]x(S+h/2))$$

Este es otro caso muy corriente en la maquinaria. Este tipo de unión se utiliza para unir las piezas cilíndricas con las planas. Las cargas que en la práctica cargan este tipo de la unión soldada son: a tracción por la fuerza F, a flexión por el momento MF o a torsión por el momento torsor Mt. También ocurren cargas a cortante por la fuerza F'. (91)

Figura 142. Un filete circular angular



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 31

- a) Filete circular cargado a tracción por la fuerza F

En este caso tiene que soportar la tensión a cortante el área cónica con diámetro mediano.

$$d + h/2$$

y la tensión es:

$$\tau = F / \pi \times (d + h/2) \times 0.7 \times h \leq [\tau]$$

- b) Filete cargado a cortante por la fuerza F'

La tensión a cortante será:

$$\tau = F' / \pi \times (d + h/2) \times 0.7 \times h \leq [\tau]$$

- c) Filete circular cargado a flexión por el momento MF

La tensión de flexión tendrá valor de:

$$\sigma = M / W \leq [\sigma]$$

donde el momento de resistencia a la flexión del filete es:

$$W = (\pi \times [(d + 2 \times 0.7 \times h)^4 - d^4] / 32 \times (d + 2 \times 0.7 \times h))$$

d) Filete circular cargado a torsión por el momento M_t

También aquí el área crítica es el área cónica con diámetro medio igual a $d+h/2$. Pues la tensión es: (92)

$$\tau = \frac{M_t}{\pi \times (d+h/2) \times 0.7 \times h \times d/2} \leq [\tau]$$

5.1.3 Tipos de solicitaciones de los elementos

a) Tensiones permisibles de los filetes cargados estáticamente

A causa de las desperfecciones inevitables que ocurren, llevando a cabo la soldadura, las tensiones permisibles del material del filete no pueden alcanzar los valores del material base. Valores de las tensiones permisibles de los filetes vienen en la tabla X, según el tipo del material base, suponiendo el uso del electrodo adecuado para el material a soldar.

TABLA X. Tensiones admisibles de aceros al carbono

TIPO DE UNION	TIPO DE CARGA	ACEROS AL CARBONO	
		40 Kg./mm ²	55 Kg./mm ²
Tensión admisible [G] o [T] de las funciones soldadas cargadas estáticamente Kg./mm ²			
MATERIAL BASE	TRACCIÓN COMPRESION FLEXION	1400 a 1500	2150 a 2250
	CORTE	840 a 900	1300 a 1350
UNION A TOPE, CUALQUIER TIPO DE UNION	TRACCION	1190 a 1280	1820 a 1900
	COMPRESION	1400 a 1500	2150 a 2250
	CORTE	840 a 900	1300 a 1350
FILETE ANGULAR	CORTE	900 a 980	1400 a 1460

Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p.33

b) Cargas combinadas sobre las uniones soldadas

Muy frecuentemente la unión la carga a la vez un momento flector con la fuerza cortante (figura 143). En este caso se calcula las tensiones en las secciones críticas volteadas al plano de la unión de las piezas soldadas, igualmente como se ha visto en la figura 140. La fuerza F multiplicada por el brazo l forma el momento flector:

$$M_f = F \times l$$

y a la vez carga cortante la unión soldada. La tensión máxima provocada por el momento flector en los hilos periféricos será:

$$\sigma = M/W = M/2 \times (1/6) \times 0.7 \times S \times b$$

$$\sigma = 3 \times M / 0.7 \times S \times b^2$$

Otra tensión, provocada por el cortante está distribuida uniformemente sobre toda la sección crítica de los filetes y tendrá valor:

$$\tau = F / 2 \times 0.7 \times S \times b$$

La tensión resultante máxima es:

$$\tau = \sqrt{(\sigma^2 + \tau^2)} \leq [\tau]$$

Donde la tensión se encuentra en la tabla X.

Otro caso de esta combinación de las tensiones aparece en la figura 144. Aquí las tensiones se hallan en dos filetes puestos.

Lateralmente, aquí el flector tiene valor,

$$M = F \times L$$

y produce las tensiones

$$\tau_1 = F / 2 \times 0.7 \times S \times b_1 \text{ y}$$

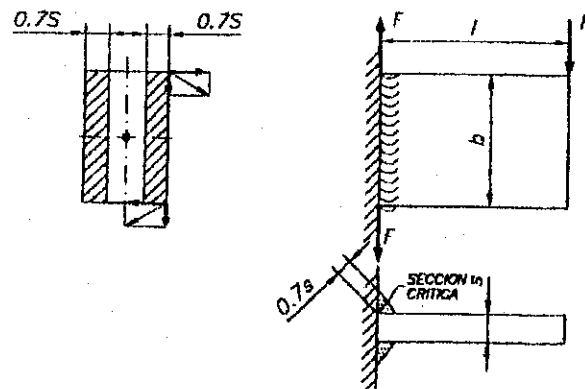
$$\sigma_2 = M/W = M/2 \times (1/6) \times 0.7 \times S \times b_1^2$$

Para cada caso del $b_1 > b$.

Si la longitud b_1 de los filetes es menor que el ancho b , o sea $b_1 < b$, la tensión será:

$$\tau_2 = M/W = M/2 \times 0.7 \times S \times b_1 \times (b/2)^2$$

Figura 143. Cargas combinadas

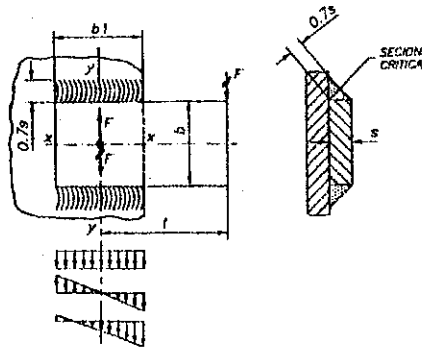


Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 35

Para la suma de las tensiones tiene que valer:

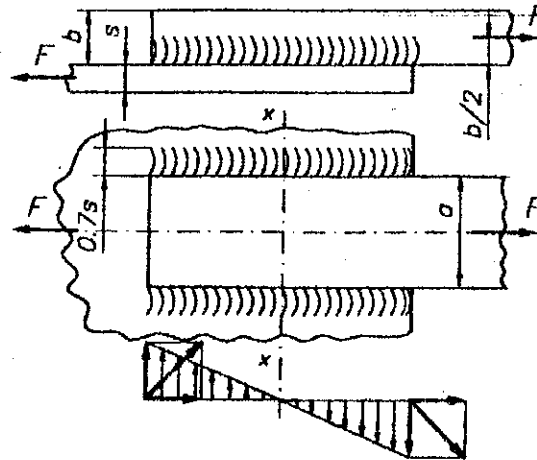
$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \leq [\tau]$$

Figura 144. Combinación de las tensiones



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 35

Figura 145. Filetes angulares en posición lateral, cargados a tracción excéntrica



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 36

La fuerza excéntrica provoca el momento flector.

$$M = Fxb/2$$

La tensión máxima a cortante por el momento flector, será:

$$\sigma_2 = M/W = M/2 \times (1/6) \times 0.7 \times S \times L^2$$

Otra tensión será:

$$\tau_1 = F/2 \times 0.7 \times S \times L$$

La tensión resultante será la suma geométrica de ambas anteriormente calculadas, es decir:

$$\tau = \sqrt{(\tau_1^2 + \sigma_2^2)} \leq [\tau]$$

Esta tensión resultante tiene que ser menor que la tensión permisible del material del filete, es decir: (93)

$$\tau \leq [\tau]$$

c) Uniones a tope, cargadas a tracción (a compresión) y a la vez a cortante

En este caso hace falta calcular a parte la tensión normal de esforzamiento a tracción (o compresión), y después la tensión a cortante. Lo mismo vale para la combinación flexión cortante. Una vez teniendo ambas tensiones, se utiliza alguna hipótesis de resistencia, por ejemplo:

$$\sigma_e = \sigma/2 \pm \sqrt{((\sigma/2)^2 + \tau^2)} \leq 0,85\sigma \text{ o,}$$

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} \leq 0,85\sigma \text{ o,}$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma$$

$$\tau \leq \sigma_{adm} / 1,73 \tau_{adm}$$

$\sigma_{adm}, \tau_{adm} \Rightarrow$ Tensiones admisibles obtenidas de probetas lisas.

5.1.4 Elementos estructurales

Los elementos estructurales, son un conjunto de miembros rectos, esbeltos articulados unos con otros en los puntos llamados nodos, que forman una armadura o estructura. Los miembros de una armadura están conectados sólo por sus extremos; por tanto, ningún miembro se prolonga más allá de un nodo. En la realidad, la mayoría de las estructuras se construyen uniendo varias armaduras para formar un armazón espacial.

Cada una de esas armaduras se proyectan para soportar las cargas que actúan en su propio plano y por ello pueden tratarse como una estructura bidimensional.

En general, las barras de una armadura son miembros rectos esbeltos, y sólo pueden soportar pequeñas cargas laterales; por tanto, todas las cargas pueden aplicarse en los nodos y no en las barras.

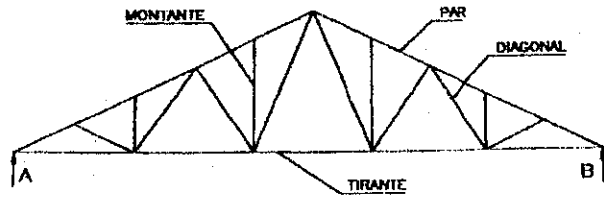
Se supone además que los pesos de las barras de la armadura están aplicados en los nodos, de tal forma que la mitad del peso de cada barra actúa sobre cada uno de los nodos a los que está conectada esa barra. En nuestro caso las barras están conectadas mediante uniones soldadas.

5.2 Cálculo y diseño de cerchas

5.2.1 ¿Qué es una cercha?

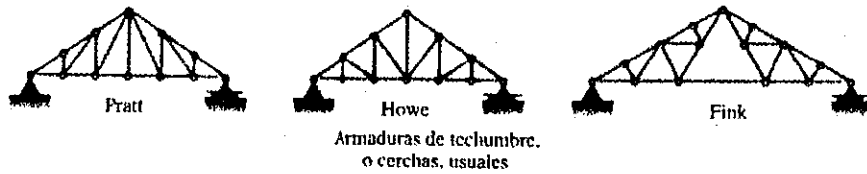
Las cerchas son construcciones metálicas cuyos elementos trabajan a tracción y compresión. Las cerchas son la parte principal de las cubiertas. Sobre ellas apoyan las correas y transmiten los esfuerzos de estos, a los soportes. Cada elemento de una cercha tiene un nombre. Existen diferentes tipos de cerchas, y según esas triangulaciones así podrían ser para mayor o menor luz. (94)

Figura 146. Cercha y sus partes



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 45

Figura 147. Algunas clases de cerchas.



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 46

5.2.2 Cálculo analítico de las reacciones internas y elementos estructurales

Para empezar a calcular una cercha, primero que todo se tiene que determinar las cargas que van a influir en ellas. Estas cargas se dividen en:

1. Cargas permanentes
2. Cargas no permanentes.

Entre las cargas permanentes tenemos: El propio peso de la cercha, el peso de las correas, el peso del techo y el peso de los ganchos de amarre.

Entre las cargas no permanentes tenemos: peso de la nieve, carga generada por el viento y el peso de las personas para el arreglo y montaje.

a) Cargas permanentes

El peso de la cercha por m² de cubierta se toma estimado 15 kg. peso propio por m², de dos tipos principales de techumbre:

➤ Tejado de plancha de uralita, sobre correas de acero

- ✓ m² de plancha de uralita
de 2.00 x 0.96 m incluido
 - Solapes etc. 17 kg.
 - Ganchos, etc. 1 Kg.

- ✓ Correas, perfiles I8 a I12
Separados 925 mm
 - Entre eje 10 Kg.
 - Peso por m² 28 Kg.

➤ Tejado de chapa ondulada galvanizada, sobre correas de acero

- ✓ m² de chapa ondulada
de 2.00 x 0.18 m y de
1 a 1.5 mm de espesor
incluido solapes, etc. 13 Kg

- ✓ Ganchos, etc. 1 Kg.

- ✓ Correas, perfiles I8 a I14

- ✓ Separados 925 mm
entre eje 11 Kg.

- ✓ Peso por m² 25 Kg.

b) Carga no permanentes

Fuerza del viento: para calcular la fuerza del viento por m² tenemos la siguiente fórmula: (95)

$$V = (1,2 \cdot \text{Sen } \alpha - 0,4)X$$

Donde:

α - Angulo de inclinación de la cercha

X- Valor que depende de la altura, a la que se instalará la cubierta.

Altura	Valor X
De 0 hasta 8 metros	50 Kg/m ²
> 8 hasta 20 metros	80 Kg/m ²
> 20 hasta 100 metros	110 Kg/m ²
> 100 metros o más	130 Kg/m ²

Carga provocada por la nieve

Tabla XI. Ángulos de inclinación de la cercha

α°	$\alpha^\circ+$										α°
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	
20°	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	20°
30°	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	30°
40°	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	40°
50°	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	50°
60°	$\alpha > 60^\circ = 0$										60°
	Kg/m ²										

Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 48

El peso de las personas se toma estimadamente entre 60 y 80 Kg. Se toma como una carga puntual que se puede ubicar en los nodos. Para el cálculo se empleara el método "cremona", que se explicara más adelante. Para que las cerchas sean estáticamente determinadas, y por lo tanto se puedan calcular por el diagrama, es imprescindible que se cumpla la siguiente formula:
(96)

$$2 \times N = B + 3$$

N –número de nodos

B –número de barras.

Método gráfico método "Cremona"

Paso a seguir:

1. Cálculo de las cargas externas
2. Cálculo de las reacciones
3. Sectorización de la cercha
4. Ubicación de nodos
5. Construcción del polígono de fuerzas exteriores y reacciones
6. Construcción del polígono de fuerza para cada uno.

Ejemplo de cálculo de una cercha

Peso por metro cuadrado de cubierta por techumbre 28 Kg/m², peso propio de la cercha por m² de cubierta 15 Kg., altura del taller 10 m, separación entre cerchas 6m, separación entre nodos 2,309m, T adm=1200Kg/cm², entre dos nudos se apoya otra correa, ancho del taller 20m, 60m de fondo. (Figura 148 en Anexo 1)

1 Paso: Cálculo de cargas externas

a. Calculemos las cargas permanentes

Peso propio de la cercha más peso por techumbre

$$CP = 15\text{Kg/m}^2 + 28\text{Kg/m}^2$$

Multiplicamos por el área en m² y nos da la carga

$$CP1 = 43\text{Kg/m}^2 \times 2,309\text{m} \times 6\text{m} = 595,722\text{Kg}$$

b. Cálculo de las cargas no permanentes

Carga del viento:

$$V = (1,2 \times \text{Sen } \alpha - 0,4) \times X$$

$$V = (1,2 \times \text{Sen } 30 - 0,4) \times 80 = 16\text{Kg/m}^2$$

Como en nuestro país no hay invierno con nieve esta carga no la vamos a tener en cuenta.

$$CV = 16\text{Kg/m}^2$$

Multiplicamos por el área en m² y nos da la carga

$$CV1 = 16\text{Kg/m}^2 \times 2,309\text{m} \times 6\text{m} = 221,664\text{Kg}$$

A esta carga le sumamos el peso de dos personas

$$CV1 = 221,664 + 160 = 381,664 \text{Kg}$$

La carga total en cada nudo va a ser la suma de las cargas permanentes y no permanentes.

$$P = CP1 + CV1 = 595,722 + 381,664 = 977,386 \text{ Kg.}$$

La carga de los nudos extremos de la cercha será la mitad de P

$$P1 = P/2 = 977,386/2 = 488,693 \text{Kg}$$

Comprobemos si es que se puede aplicar "Cremona"

$$N = 15$$

$$B = 27$$

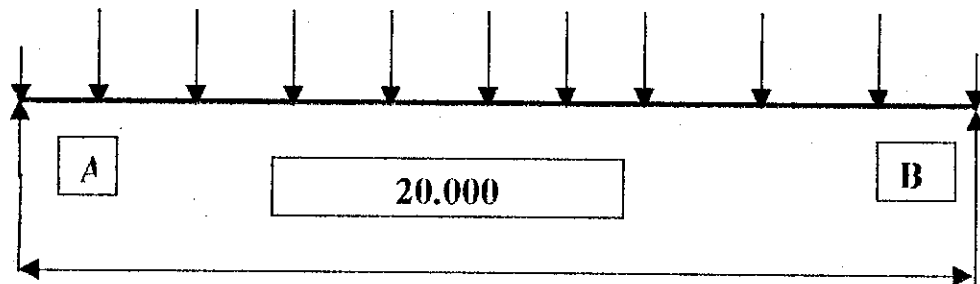
$$N \times 2 = B + 3$$

$$30 = 30$$

Se cumple procedemos al cálculo gráfico.(97)

2. Paso: Cálculo de las reacciones

Para calcular las reacciones se toma la cercha como si fuera una viga con 2 apoyos.



Como la distribución es simétrica tenemos que

$$R_A = R_B = (9 \times 98 + 2 \times 489) / 2 = 4890 \text{ Kg}$$

3 Paso: Sectorización de la cercha (figura 149 en anexo 2):

Cada sector se representa por una letra (A; B; C; ...; Z)

- Un sector se considera la porción de espacio limitada por las varillas o ángulos. (sectores internos).
- También, se considera un sector el espacio comprendido entre las líneas de acción de las fuerzas y las varillas o ángulos del contorno de la cercha (sectores externos).

4 Paso: Ubicación de nudos (figura 150 en anexo 3):

- a) Un nudo es el lugar donde convergen 2 o más elementos de la cercha (varillas, ángulos)
- b) Los nudos se representan con los números romanos (I, II, III,.....,etc.)
- c) La ubicación de los nudos es arbitraria.
- d) Las varillas o ángulos se numeran con números arábigos (1,2,3,.....) de manera arbitraria.

5 Paso: Construcción de polígonos de fuerzas exteriores y reacciones.
(figura 151 en anexo 4)

Se construye el polígono siguiendo un sentido horario o antihorario alrededor de la cercha, comenzando con cualquier fuerza y colocando una tras otra respetando su orientación, sentido y orden. Además, hay que escoger una escala adecuada.

El orden se refiere a que cualquier fuerza, puede ser tomada como No 1 pero la No 2 será la siguiente fuerza que se encuentre siguiendo el sentido horario alrededor de la cercha así sucesivamente.

- 6 Paso: Construcción del polígono de fuerzas para cada nudo.
(figuras 152, 153, 154, 155, 156 en anexos 5, 6, 7, 8, 9)

Hay que partir de aquel nudo que tenga solamente 2 incógnitas o menos en nuestro caso será: I, II, IV, III, V, VII, VI, VIII.

No hay necesidad de construir todo el diagrama ya que la cercha esta cargada simétricamente por esta razón se construye el diagrama hasta el nudo VIII.

5.2.2.1 Cálculo de las áreas de cada varilla

Las fuerzas en cada elemento de la cercha se calcularon con el método "cremona". Conociendo las fuerzas, las varillas se calculan en tracción o compresión. El área de la sección transversal para los elementos que trabajan en tracción se calculan con la siguiente fórmula, obtenida de la condición de resistencia para cada elemento:

$$A_n \geq F/[\sigma]x \gamma$$

Los elementos que se encuentran a compresión el área se calcula con la siguiente fórmula: (98)

$$A_n \geq F/[\sigma]x\gamma x \varphi$$

Donde:

F – Fuerza en cada elemento;

$[\sigma]$ - Tensión admisible;

φ - Coeficiente que tiene en cuenta el pandeo;

γ - Coeficiente de trabajo

φ - toma el valor 0,7-0,8 para los pares y 0,5 –0,6 para los demás elementos de la cercha.

La sección transversal de los elementos de la cercha de angulares se toman por lo regular con dos elementos. Después de la selección de los elementos por el área en las tablas, cada elemento debe ser calculado en pandeo λ . Y debe cumplirse la condición:

$$\lambda=L/i\leq[\lambda]$$

Donde:

L – Longitud para el cálculo

i – Radio de inercia;

$[\lambda]$ - Máximo valor que puede tomar.

Tabla XII. Los valores de $[\lambda]$

Elementos de la Cercha	Compresión	Tracción
Pares, diagonales y montantes que se encuentren en los apoyos.	120	400
Todos los demás elementos de la cercha	150	400

Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 53

La longitud de cálculo para los elementos de la cercha pares, diagonales y montantes que se encuentren en los apoyos se toma igual a su longitud verdadera y para los demás elementos la longitud hay que multiplicarla por 0,8.

a) Para el cálculo de los pares se toman los elementos 1-27

$$F = -8796,68 \text{Kg}; \varphi = 0,7; \gamma = 0,95;$$

$$A_n \geq F / [\sigma] \times \gamma \times \varphi \rightarrow A_n \geq 8796,68 / (1200 \times 0,95 \times 0,7)$$

$$A_n \geq 11,02 \text{Cm}^2$$

El área esta formada por dos ángulos, de la tabla de perfiles anexa tomamos los ángulos

45x45x7

A = 11,72cm²

i = 1,67 Cm

$\lambda = 231/1,67 = 138,32$

Con este valor se encuentra en la tabla de ω anexa el valor del coeficiente de pandeo ω .

$\omega = 3,22$

Comprobamos la tensión teniendo en cuenta el pandeo provocado en el elemento por la fuerza F

$$\sigma = Fx\omega/A=8796,68x3,22/11,7=2420\text{Kg/cm}^2$$

Este valor sobrepasa el valor de la tensión admisible, la condición de resistencia no se cumple, por esta razón debemos escoger otro par de ángulos.(99)

Otro ángulo es: 70x70x7;

$$A = 18,8 \text{ cm}^2;$$

$$i = 2,67 \text{ cm};$$

$$W_x = 38,2 \text{ cm}^3$$

verificamos su resistencia:

$$\lambda = 231/2,67 = 86.51$$

$$\sigma = F_{x0}/A = 8796,68 \times 1,66/18,8 = 776,73 \text{ Kg/cm}^2$$

Además los pares están trabajando a flexión se calcula la tensión a la que están sometidos:

$$P_2 = P/2 = 489 \text{ Kg}$$

$$M_f = P \times L/8 = 489 \times 200/8 = 12225 \text{ Kg.cm}$$

$$\sigma_f = M_f/W_x = 12225/38,2 = 320 \text{ Kg/cm}^2$$

La tensión total a la que esta sometida el par es:

$$\sigma_f = 776.73 + 320 = 1096.73 \text{ Kg/cm}^2$$

Para todos los pares se toma el mismo perfil.

b) Cálculo de los tirantes

La máxima fuerza a la que están sometidos los tirantes es de:

$$F = 7618,31\text{Kg}$$

$$A_n \geq F/[\sigma]_{xy} = 7618,31/0,95 \times 1200 = 6,68\text{cm}^2$$

De la tabla de perfiles anexa se toman los angulares 35x35x6, $A = 7,74\text{ cm}^2$,

$$i = 1,04\text{cm}$$

$$\lambda = L/i \leq [\lambda] = 400/1,04 = 384,6$$

$\lambda \leq [\lambda]$ según la tabla XII $[\lambda] = 400$

Los demás tirantes se toman iguales.

c) Cálculo de los montantes

$$F = -978\text{Kg}$$

$$A_n \geq F/[\sigma]_{xy} \times \phi = 978/(0,95 \times 0,5 \times 1200) = 1,715\text{cm}^2$$

La verdadera longitud de los montantes es:

$$L_5 = 220\text{cm}$$

$$L_{11} = 450\text{cm}$$

De la tabla XII tomamos el valor de $[\lambda]$

$$[\lambda] = 150$$

La longitud de cálculo es:

$$L_5 = 0,8 \times 220 = 176 \text{ cm}$$

$$L_{11} = 0,8 \times 450 = 360 \text{ cm}$$

Teniendo $[\lambda]$ podemos calcular el valor del radio de inercia para escoger un perfil que cumpla con la resistencia mecánica y la esbeltez al mismo tiempo.

$$\lambda = L/i \leq [\lambda]$$

$$i = L/[\lambda] = 360/150 = 2,4 \text{ cm}$$

Se tomarán los ángulos 65x65x7

$$A = 17,4 \text{ cm}^2$$

$$i = 2,47 \text{ cm}$$

$$\lambda = L/i = 176/2,47 = 71,3 \leq [\lambda]; \omega = 1,42$$

$$\lambda = L/i = 360/2,47 = 145,7 \leq [\lambda]; \omega = 3,60$$

$$\sigma = F \times \omega / A = 978 \times 1,42 / 17,4 = 79,8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma = F \times \omega / A = 978 \times 3,60 / 17,4 = 202,34 \text{ Kg/cm}^2$$

d) Cálculo de las diagonales

Diagonales 3-25

$$F = -964,9 \text{Kg}$$

$$A_n \geq F / [\sigma] \gamma \chi \varphi = 964,9 / (0,95 \times 0,5 \times 1200) = 1,69 \text{cm}^2$$

Longitud verdadera del elemento 3:

$$L_3 = 220 \text{cm}$$

De la tabla XII tomamos el valor de $[\lambda]$

$$[\lambda] = 150$$

La longitud de cálculo del elemento. (100)

$$L_3 = 0,8 \times 220 = 176 \text{cm}$$

$$i = L_3 / [\lambda] = 176 / 150 = 1,17 \text{cm}$$

Con estos datos se escogen los angulares 45x45x5

$$A = 8,60 \text{cm}^2$$

$$i = 1,7 \text{cm}$$

$$\lambda = L/i = 176/1,7 = 103,53 \leq [\lambda]; \omega = 1,98$$

$$\sigma = F \chi \omega / A = 964,9 \times 1,98 / 8,6 = 222,15 \text{Kg/cm}^2$$

Diagonales 9-19

$$F = -1693,98 \text{Kg}$$

$$A_n \geq F / [\sigma] \times \gamma \times \phi = 1693,98 / (0,95 \times 0,5 \times 1200) = 2,97 \text{cm}^2$$

Longitud verdadera del elemento 3:

$$L_9 = 400 \text{cm}$$

De la tabla XII tomamos el valor de $[\lambda]$

$$[\lambda] = 150$$

La longitud de cálculo del elemento

$$L_9 = 0,8 \times 400 = 320 \text{cm}$$

$$i = L_3 / [\lambda] = 320 / 150 = 2,13 \text{cm}$$

Con estos datos se escogen los angulares 60x60x6

$$A = 13,8 \text{ cm}^2$$

$$i = 2,29 \text{cm}$$

$$\lambda = L / i = 320 / 2,29 = 139,73 \leq [\lambda]; \omega = 3,31$$

$$\sigma = F \times \omega / A = 1693,98 \times 3,31 / 13,8 = 406,3 \text{Kg/cm}^2$$

Diagonales 6-21

$$F=1686,38\text{Kg}$$

$$A_n \geq F/[\sigma]_{xy} = 1686,38 / (0,95 \times 1200) = 1,48 \text{cm}^2$$

Longitud verdadera del elemento 6:

$$L_6 = 400 \text{cm}$$

De la tabla XII tomamos el valor de $[\lambda]$

$$[\lambda] = 400$$

La longitud de cálculo del elemento

$$L_6 = 0,8 \times 400 = 320 \text{cm}$$

$$i = L_3 / [\lambda] = 320 / 400 = 0,8 \text{cm}$$

Con estos datos se escogen los angulares 35x35x4

$$A = 5,34 \text{cm}^2$$

$$i = 1,05 \text{cm}$$

$$\lambda = L/i = 320 / 1,05 = 304,8 \leq [\lambda]$$

Diagonales 13-15

$$F=2587,53\text{Kg}$$

$$A_n \geq F/[\sigma]_{xy} = 2587,53 / (0,95 \times 1200) = 2,27 \text{cm}^2$$

Longitud verdadera del elemento 6:

$$L_{13} = 600 \text{ cm}$$

De la tabla XII tomamos el valor de $[\lambda]$. (101)

$$[\lambda] = 400$$

La longitud de cálculo del elemento:

$$L_6 = 0,8 \times 600 = 480 \text{ cm}$$

$$i = L_3 / [\lambda] = 480 / 400 = 1,2 \text{ cm}$$

Con estos datos se escogen los angulares 40x40x4

$$A = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$i = 1,21 \text{ cm}$$

$$\lambda = L/i = 480 / 1,21 = 396,7 \leq [\lambda]$$

5.2.3 Cálculo de los cordones de soldadura

Se usa un electrodo E 6011, con un coeficiente de seguridad $n=3$, usando la condición de resistencia de un elemento que se encuentra trabajando a corte tenemos:

$$\tau = F/\beta \times K \times L \leq [\tau]$$

β - coeficiente que depende del proceso de soldadura utilizado, para SMAW $\beta = 0,7$;

K- cateto de los cordones de soldadura;

$[\tau]$ - tensión admisible de corte;

L – longitud de los cordones de soldadura.

Despejamos la longitud de los cordones de soldadura:

$$L = F/\beta \times K \times [\tau]$$

La fuerza en un perfil está distribuida de la siguiente forma:

$$F_1 = 0,7 \times F$$

$$F_2 = 0,3 \times F$$

La tensión admisible de corte para el electrodo E6011:

$$\sigma = 60000 \times (1/2,2) \times (1/2,54^2) = 4227,3 \text{Kg/cm}^2$$

$$[\sigma] = \sigma/n = 4227,3/3 = 1409,1 \text{Kg/cm}^2$$

$$[\tau] = [\sigma] \times 0,6 = 1409,1 \times 0,6 = 845,46 \text{Kg/cm}^2$$

Ejemplo del cálculo de los cordones de soldadura para los elementos 1-27.

Cuando son dos perfiles los que van a trabajar juntos, la fuerza se divide en dos:

$$F = 8796,86/2 = 4398,43 \text{Kg}$$

$$F1 = 0,7 \times 4398,43 = 3078,9 \text{Kg}$$

$$F2 = 0,3 \times 4398,43 = 1319,53 \text{Kg}$$

$$L1 = F1/\beta \times K \times [\tau] = 3078,9/(0,7 \times 0,7 \times 845,46)$$

$$L1 = 7,43 \text{cm}$$

$$L2 = F2/\beta \times K \times [\tau] = 1319,53/(0,7 \times 0,7 \times 845,46)$$

$$L2 = 3,18 \text{cm}$$

Para los demás se hacen los cálculos de la misma manera todos los resultados se encuentran en la tabla.

En los perfiles escogidos para una cercha no se deben sobrepasar el tener entre 4-6 máximo ángulos diferentes.(102)

5.2.4 Método gráfico para el cálculo de cerchas

El método gráfico para el cálculo de cerchas, es el método "Cremona", con los datos obtenidos en el cálculo analítico, se elabora la tabla XIII, recopilando todos los datos de forma ordenada, y con los anexos, a este capítulo, se van desarrollando los demás pasos, para llegar a formar el diagrama Cremona que nos representa todos los cálculos hechos anteriormente de una forma gráfica resumida.

Tabla XIII. Resultados del ejemplo de la cercha

Nombre	Número de los elementos	Fuerza Kg.	Sección escogida	Area, cm ² Calc. Real	Tensión real Kg/cm ²	L1, cm.	L2, cm.	i _x , cm.	I _x , cm.	Lcalc cm.	λ	
Par	1-27	-8796.68	70x70x7	5.51	9.4	1096.7	7.43	3.18	2.67	231	231	86.5
	4-24	-7831.78	70x70x7	4.9	9.4	1011.5	6.61	2.83				
	7-22	-7831.78	70x70x7	4.9	9.4	1011.5	6.61	2.83				
	10-18	-5888.82	70x70x7	1.69	9.4	839.9	4.97	2.13				
	12-16	-5888.82	70x70x7	3.69	9.4	839.9	4.97	2.13				
Tirante	2-26	7618.31	35x35x6	3.34	3.87	1036.1	7.5	3.2	1.04	400	320	384.6
	8-20	5939.42	35x35x6	1.6	3.87	807.7	5.85	2.5				
	14	4252.93	35x35x6	1.86	3.87	578.9	4.2	1.8				
Mon-Tantes	5-23	-978	65x65x7	0.71	8.7	79.8	0.82	0.35	2.47	220	176	79.8
	11-17	-978	65x65x7	0.71	8.7	202.3	0.82	0.35				
Diagonalcs.	3-25	-964.9	45x45x5	0.84	4.3	222.1	1.14	0.48	1.7	220	176	103.5
	6-21	1686.38	35x35x4	0.74	2.67	206.4	2.5	1.06				
	9-19	-1693.98	60x60x6	1.48	6.9	406.3	1.7	1.7				
	13-15	2587.53	40x40x4	1.13	3.08	442.2	3.8	1.74				

5.3 Características de secciones planas

a) Momento estático

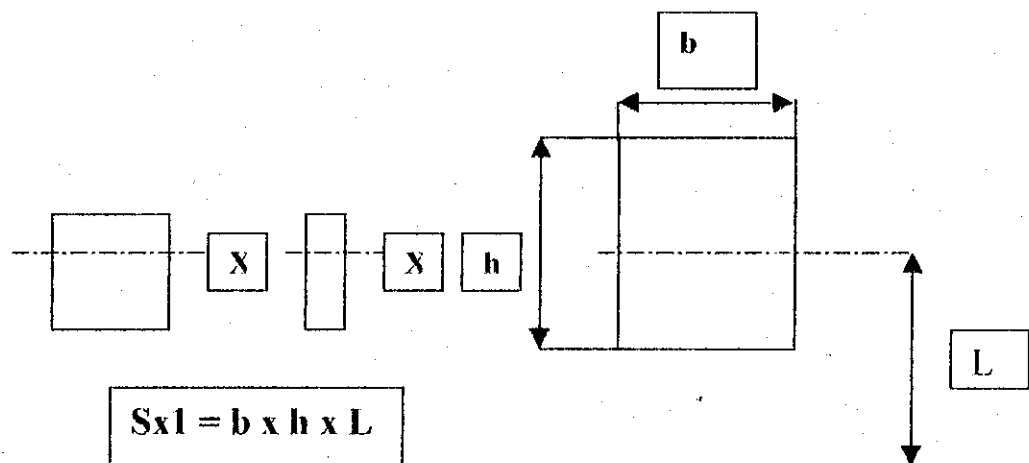
El momento estático de un elemento de área en su plano, es el producto de su área por la distancia de dicho elemento a eje.

$$S_x = \sum A_i x_i = Y_c \sum A_i$$

$$S_y = \sum A_i y_i = X_c \sum A_i$$

El momento estático de la sección de un cuerpo prismático con respecto a un eje que pasa por su centro de gravedad es igual a cero. Ejemplo:

Figura 157. Momento estático de un cuerpo prismático



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 10

Con el momento estático se puede calcular las coordenadas del centro de gravedad.

b) Centro de gravedad

Es el punto del cual se puede decir que se encuentra concentrada toda la masa de un cuerpo.(103)

$$Y_c = S_x/A_t = \Sigma A_i x_i / \Sigma A_i$$

$$X_c = S_y/A_t = \Sigma A_i x_i / \Sigma A_i$$

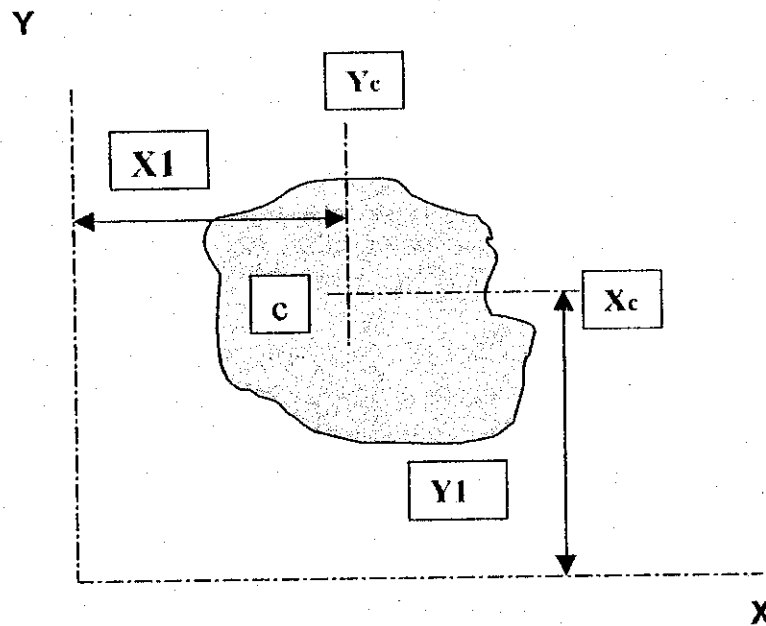
c) Momento de inercia

Es la resistencia que ofrece un cuerpo a cambiar su estado inicial de equilibrio.

El momento de inercia con respecto a un eje se calcula como el producto del área del elemento y el cuadrado de la distancia entre el centro de gravedad del elemento y el eje. El momento de inercia se designa con la letra **I**.

Para calcular el momento de inercia de una sección plana se utiliza como herramienta el teorema de ejes paralelos (Teorema de Steiner): Esto significa que el momento de inercia de un área respecto a un eje cualquiera es igual al momento de inercia respecto a un eje paralelo que pasa por el centro de gravedad, más el producto del área por el cuadrado de la distancia entre los dos ejes.

Figura 158. Teorema de ejes paralelos



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 11

$$I_x = I_{xc} + Y_1^2 \times A$$

$$I_y = I_{yc} + X_1^2 \times A$$

A- Área de la sección.

Y1- Distancia entre el eje X y el eje Xc.

X1- Distancia entre los ejes Y y Yc

También se obtiene el cálculo de momento de inercia de diferentes figuras tales como:

CÍRCULO $I_x = I_y = \pi d^4/64$

CUADRADO $I_x = I_y = L^4/12$

RECTÁNGULO $I_x = bxh^3/12$

$$I_y = hxb^3/12$$

d) Momento polar I_p

El momento polar, es la suma de los momentos con respecto a los ejes ortogonales que pasan por un punto determinado.(104)

$$I_p = I_x + I_y$$

e) Módulo de la sección

Se llama módulo axial de la sección, la relación del momento de inercia respecto al eje dado a la distancia hasta el punto más lejano de la sección transversal.

$$W_x = I_x/Y_{max}$$

$$W_y = I_y/X_{max}$$

f) Módulo polar de la sección

Es la relación entre el momento de inercia polar y la distancia desde el polo hasta el punto más lejano de la sección.

$$W_p = I_p / \rho_{\max}$$

g) Radio de giro para los perfiles

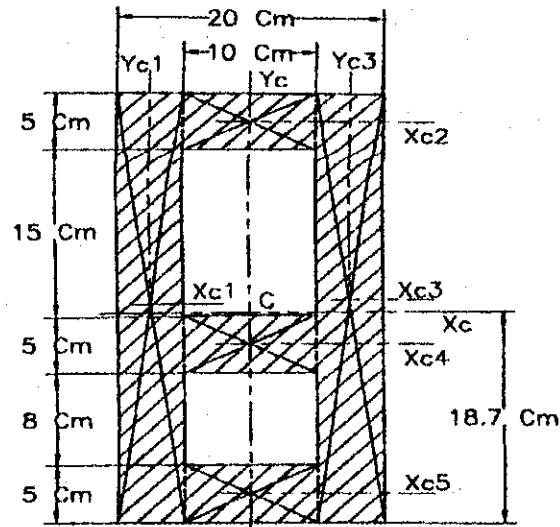
El valor del radio de giro de los perfiles es igual a la raíz cuadrada del momento de inercia dividido por la sección del perfil. El radio de giro sirve para calcular la distancia a ejes, entre las presillas de los elementos comprimidos.

$$i_x = \sqrt{I_x / A}$$

$$i_y = \sqrt{I_y / A}$$

Ejemplo: determinar las características de la sección rayada que queda al suprimir del rectángulo original los dos más pequeños (Figura 159).

Figura 159. Determinación de las características de una sección plana



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 11

La figura es simétrica con respecto al eje Y.

$$Y_c = (20 \times 38 \times 19 - 10 \times 8 \times 9 - 10 \times 15 \times 25.5) / (20 \times 38 - 10 \times 8 - 10 \times 15)$$

$$Y_c = 18.7 \text{ cm.}$$

Para encontrar las coordenadas en Y del centro de gravedad se toma el momento estático como si el rectángulo fuera completo y se le restan los momentos estáticos de los rectángulos que se cortan.

a) Momento de inercia

$$I_{xc} = I_{xc1} + A_1xY_1 + I_{xc2} + A_2xY_2 + I_{xc3} + A_3xY_3 + I_{xc4} + A_4xY_4 + I_{xc5} + A_5xY_5$$

$$I_{xc} = 5x38^3/12 + 5x38x0.3^2 + 10x5^3/12 + 10x5x19.3^2 + 5x38^3/12 + 5x38x0.3^2 + 10x5^3/12 + 10x5x3.2^2 + 10x5^3/12 + 10x5x16.2^2$$

$$I_{xc} = 78331.86 \text{ cm}^4$$

$$I_{yc} = I_{yc1} + A_1xX_1 + I_{yc2} + I_{yc3} + A_2xX_3 + I_{yc4} + I_{yc5}$$

$$I_{yc} = 2x38x5^3/12 + 2x38x5x7.5^2 + 3x5x10^3/12$$

$$I_{yc} = 23416.66 \text{ cm}^4$$

b) Momento polar

$$I_p = I_{xc} + I_{yc} = 78331.86 + 23416.66 = 101748.52 \text{ cm}^4$$

c) Módulo de la sección

$$W_x = I_x/Y_{\max} = 78331.86/19.3 = 4058.64 \text{ cm}^3$$

$$W_y = I_y/X_{\max} = 23416.66/10 = 2341.66 \text{ cm}^3$$

d) Módulo polar de la sección

$$\rho_{\max} = \sqrt{(X_{\max}^2 + Y_{\max}^2)} = \sqrt{(10^2 + 19.3^2)} = 21.73 \text{ cm.}$$

$$W_p = I_p/\rho_{\max} = 101748.58/21.73 = 4682.39 \text{ cm}^3$$

e) Radios de giro

$$i_x = \sqrt{I_x/A_t} = \sqrt{(78331.86/530)} = 12.15 \text{ cm.}$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A_t} = \sqrt{(23416.66/530)} = 6.64 \text{ cm.}$$

5.4 Cálculo y diseño de vigas

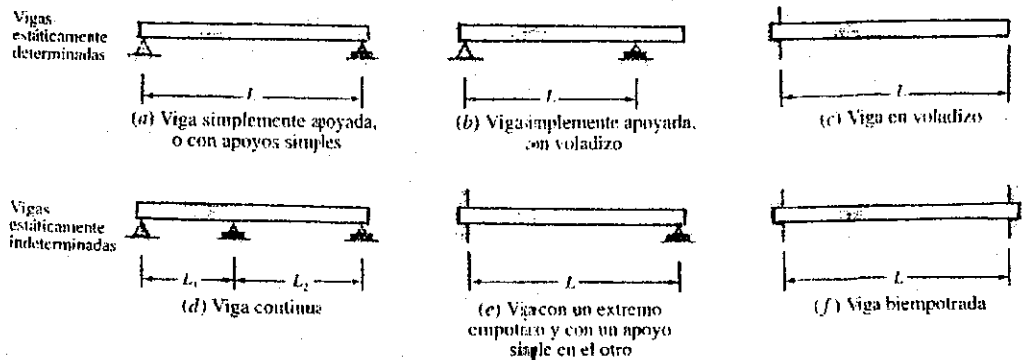
5.4.1 ¿ Qué es una viga?

Todo miembro estructural diseñado para soportar cargas aplicadas en distintos puntos de su longitud recibe el nombre de viga. En la mayoría de los casos, las cargas son perpendiculares al eje de la viga, y sólo producirán en ella fuerzas cortantes y momentos flectores. Cuando las cargas no sean perpendiculares a la viga, también producirán en ella fuerzas axiales.

Las vigas suelen ser barras prismáticas rectas y largas. El diseño de una viga para que soporte del modo más efectivo las cargas que se le apliquen es un proceso en dos partes: 1) cálculo de las fuerzas cortantes y los momentos flectores producidos por las cargas y 2) selección de la sección normal más adecuada para resistir las fuerzas cortantes y los momentos flectores calculados en la primer parte.

Las vigas se clasifican de acuerdo con la forma en que están sustentadas. En la figura 160 se muestran algunos de los tipos de vigas más utilizados. La distancia L entre los soportes o apoyos, se conoce como luz. (105)

Figura 160. Tipos de vigas



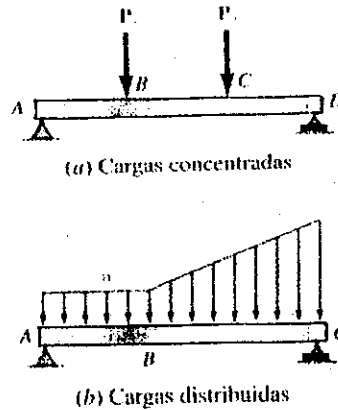
Fuente: Beer, Ferdinand P. Mecánica vectorial para ingenieros, p. 344

5.4.2 Tipos de cargas

Una viga puede estar sometida a cargas concentradas P_1, P_2, \dots , expresadas en N o KN, también en Kg. (figura 161 parte a), a una carga distribuida w , expresada en N/m o Kg./m (figura 161 parte b), o a una combinación de ambas. Cuando la carga w por unidad de longitud es constante a lo largo de un tramo de la viga, (como entre A y B en la figura 161 parte b), se dice que la carga está uniformemente distribuida en ese tramo. Entre B y C (de la figura 161 parte b), se dice que la carga w es uniformemente variable. La determinación de las reacciones en los soportes se simplifican

considerablemente si se sustituyen las cargas distribuidas por las cargas concentradas equivalentes. Ahora bien, esa sustitución debe hacerse, o al menos debe hacerse con cuidado, si hay que calcular fuerzas internas.

Figura 161. Tipos de cargas



Fuente: Beer, Ferdinand P. Mecánica vectorial para ingenieros, p. 345

5.4.2.1 Fuerzas cortantes y momento flector en una viga

Consideremos una viga AB sometida a distintas cargas concentradas y distribuidas (figura 162). Nos proponemos a determinar la fuerza cortante y el momento flector en cualquier punto de la viga. La viga está simplemente apoyada, pero el método empleado podría aplicarse a cualquier tipo de viga estáticamente determinada.

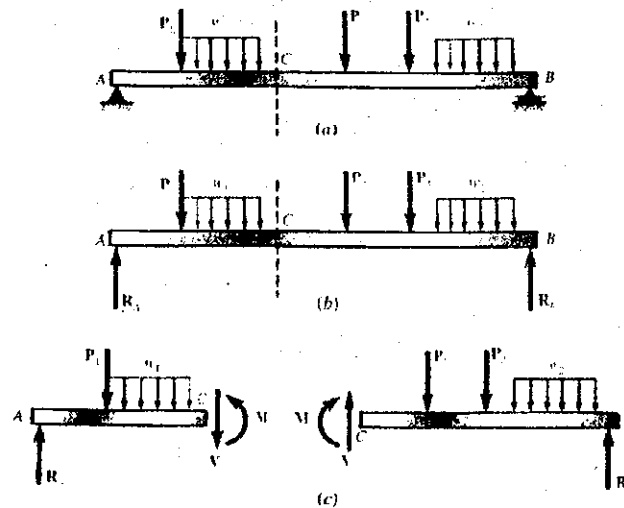
Se inicia determinando las reacciones en A y B considerando el diagrama de sólido libre de la viga completa (figura 162 parte b); escribiendo $\Sigma MA = 0$ y $\Sigma MB = 0$, obtenemos respectivamente R_B y R_A .

Para determinar las fuerzas internas en C, seccionamos la viga por C y dibujamos el diagrama de sólido libre de las partes AC y CB (figura 162 parte c). Mediante el diagrama de sólido libre de AC, se puede determinar la fuerza cortante V en C igualando a cero la suma de las componentes verticales de todas las fuerzas que actúan sobre AC. Análogamente, el momento flector M en C puede calcularse igualando a cero la suma de los momentos respecto a C de todas las fuerzas y pares que actúan sobre AC.

Alternativamente, podría emplear si el diagrama de sólido libre de CB y determinar la fuerza cortante V' y el momento flector M' igualando a cero la suma de las componentes verticales y de los momentos respecto de C de todas las fuerzas y pares que actúan sobre CB. (106)

Aunque esta posibilidad de elegir el sólido libre a considerar puede que facilite el cálculo de los valores numéricos de la fuerza cortante y el momento flector, hace necesario indicar en qué parte de la viga están actuando las fuerzas internas consideradas. Si deben calcularse, y consignarse eficazmente, la fuerza cortante y el momento flector en todos los puntos de la viga, debemos encontrar un procedimiento que nos evite la obligación de especificar en cada momento qué porción de la viga se está empleando como sólido libre. Adoptaremos, por tanto, los siguientes convenios:

Figura 162. Fuerzas cortantes y momento flector en una viga



Fuente: Beer, Ferdinand P. Mecánica vectorial para ingenieros, p. 346

Para determinar la fuerza cortante en una viga, se supondrá siempre que las fuerzas internas V y V' están dirigidas como se indica en la figura 162 parte c. Si resulta un valor positivo para su módulo común V , ello indicará que la hipótesis era correcta y que las fuerzas cortantes están realmente dirigidas tal como se indica. Si para V resulta un valor negativo, ello indicará que la hipótesis era incorrecta y que las fuerzas cortantes estarán dirigidas en el sentido contrario. Así pues, para definir completamente las fuerzas cortantes en un punto dado de la viga, sólo es necesario considerar el módulo V junto con un signo más o menos. No es infrecuente referirse al escalar V como a la cortante en ese punto de la viga.

Análogamente, se supondrá que los pares internos M y M' están orientados como se indica en la figura 162 parte c. Si para su módulo M , llamado comúnmente momento flector, resulta un valor positivo, ello indicará que la hipótesis era correcta y un valor negativo que era incorrecto. Para resumir los convenios de signos, se expresa:

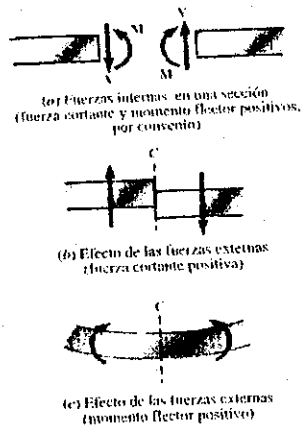
La fuerza cortante V y el momento flector M en un punto dado de una viga se consideran positivos cuando las fuerzas internas y los pares que actúan sobre cada porción de la viga están dirigidos como se indica en la figura 163 parte a.

Estos convenios se recordarán más fácilmente teniendo en cuenta que:

1. La fuerza cortante en C es positiva cuando las fuerzas externas (cargas y reacciones) que actúan sobre la viga tienden a cizallar la viga en C como se representa en la figura 163 parte b.
2. El momento flector en C es positivo cuando las fuerzas externas que actúan sobre la viga tienden a flexionar la viga en C como se representa en la figura 163 parte c.

Puede que sea útil que la situación descrita en la figura 163, en que la fuerza cortante y el momento flector son positivos, es precisamente la situación que se da en la mitad izquierda de una viga simplemente apoyada que soporta una carga concentrada única en su punto medio.

Figura 163. Convenio de signos entre las fuerzas internas



Fuente: Beer, Ferdinand P. Mecánica vectorial para ingenieros, p. 347

5.4.2.2 Diagrama de fuerzas cortantes y de momento flector

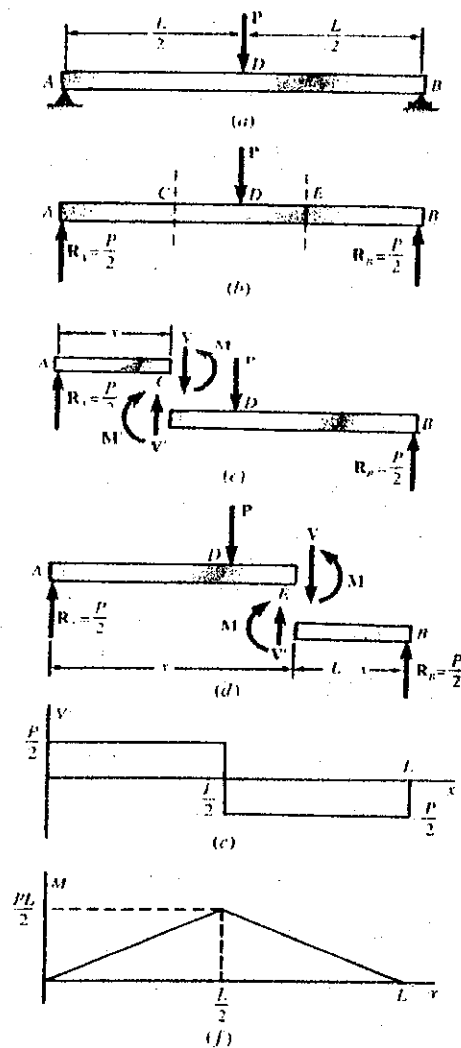
Ahora que ya se han definido claramente la fuerza cortante y el momento flector, tanto en módulo como en sentido, nos será fácil consignar sus valores en cualquier punto de una viga representando gráficamente esos valores en función de la distancia x medida desde un extremo de la viga. Las curvas así obtenidas se llaman, respectivamente, diagrama de fuerza cortante y diagrama de momento flector. Como ejemplo, consideremos una viga AB simplemente apoyada de luz L , sometida a una carga concentrada única P aplicada en su punto medio D (figura 164). Primero determinamos las reacciones en los apoyos mediante el diagrama de sólido libre de la viga (figura 164 parte b), reacciones cuyos módulos resultan ser $P/2$ ambos.

A continuación, se corta la viga por el punto C, entre A y D, y dibujamos los diagramas de sólidos libres de AC y CB (figura 164 parte c). Suponiendo que la fuerza cortante y el momento flector sean positivos, las fuerzas internas V y V' y los pares internos M y M' estarán dirigidos como se indica en la figura 163 parte a. Considerando el sólido libre AC e igualando a cero la suma de sus componentes verticales y la suma de los momentos respecto a C de las fuerzas que actúan sobre este sólido libre, resulta $V = +P/2$ y $M = +Px/2$. Tanto la fuerza cortante como el momento flector son, por consiguiente, positivas, lo que puede comprobarse observando que la reacción en A tiende a cizallar y a flexionar la viga en C, tal como se indica en la figura 163 parte b y c. Se puede representar gráficamente V y M en A y D (figura 164 parte e y f); en este tramo, la fuerza cortante posee un valor constante $V = P/2$, mientras que el momento flector aumenta linealmente desde $M = 0$ en $x = 0$ hasta $M = PL/4$ en $x = L/2$.

Si se corta la viga por el punto E entre D y B, y si se considera el sólido libre EB (figura 164 parte d) podemos escribir que la suma de las componentes verticales y los momentos respecto a E de las fuerzas que actúan sobre el sólido libre son cero. Resulta así $V = -P/2$ y $M = P(L-x)/2$. Por tanto, la fuerza cortante es negativa y el momento flector positivo, lo que puede comprobarse observando que la reacción en B flexiona la viga en E como se indica en la figura 163 parte c, pero tiende a cizallar del modo contrario al indicado en la figura 163 parte b. Podemos ahora completar los diagramas de fuerza cortante y momento flector de la figura 164 parte e y f; entre D y B, la fuerza cortante posee un valor constante $V = -P/2$, mientras que el momento flector decrece linealmente desde $M = PL/4$ en $x = L/2$ hasta $M = 0$ en $x = L$.

Conviene tener presente, pues, que cuando una viga está sometida sólo a cargas concentradas, la fuerza cortante tiene un valor constante entre las cargas, y el momento flector varía linealmente entre ellas, pero si las cargas son distribuidas, la fuerza cortante y el momento flector varían de modo muy diferente.

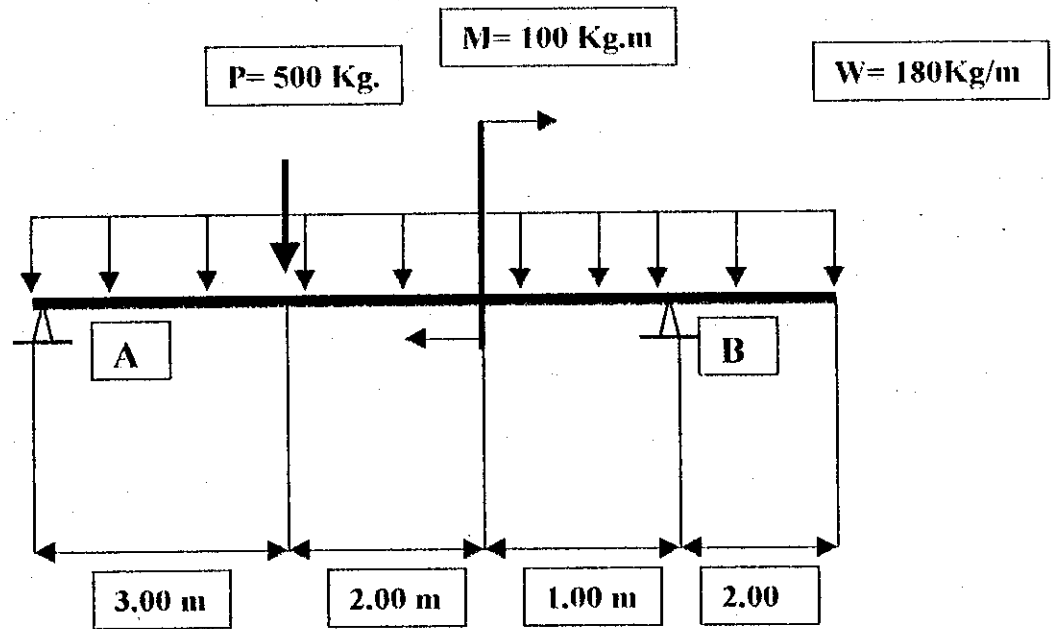
Figura 164. Diagrama de fuerzas cortantes y momento flector



Fuente: Beer, Ferdinand P. Mecánica vectorial para ingenieros, p. 348

5.4.3 Cálculo analítico de una viga

Calcular las características de la sección de la viga mostrada en la figura:



Solución :

1. Cálculo de las reacciones.
Diagrama de sólido libre.

La carga distribuida se reemplaza por dos cargas puntuales, una carga en el tramo de A-B, y la otra carga en la parte de la viga en voladizo.

Por lo tanto:

Tramo A-B.

$$P = wxX$$

$$P = (180 \text{ Kg/m}) \cdot (6\text{m})$$

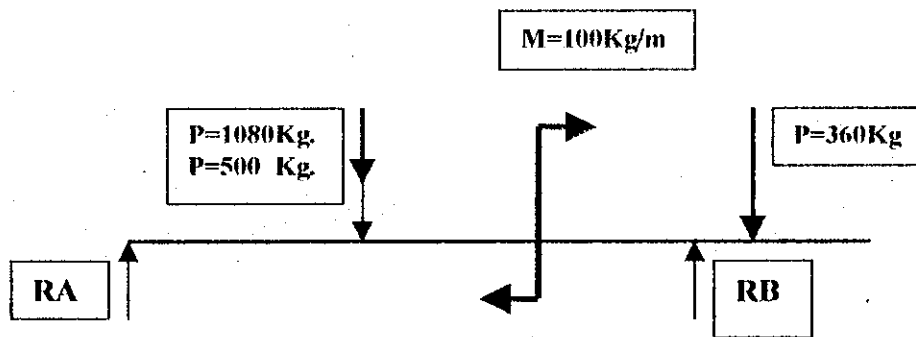
$$P = 1080 \text{ Kg.}$$

Tramo en voladizo.

$$P = wxX$$

$$P = (180 \text{ Kg/m}) \cdot (2\text{m})$$

$$P = 360 \text{ Kg.}$$



$$\Sigma MA = 0 \quad \curvearrowright +$$

$$(1080) \cdot (3) + (500) \cdot (3) + (100) - RB(6) + (360) \cdot (7) = 0$$

$$RB = [3240 + 1500 + 100 + 2520] / 6$$

$$RB = 1226.66 \text{ Kg.}$$

$$\Sigma F_y = 0 + \uparrow$$

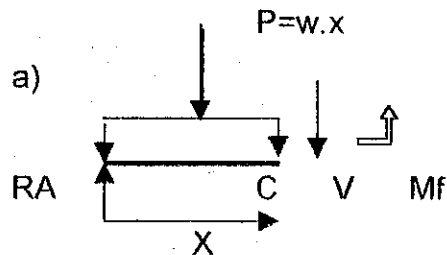
$$R_A - (1080) - (500) + R_B - (360) = 0$$

$$R_A = (1080) + (500) + (360) - R_B$$

$$R_A = (1080) + (500) + (360) - (1226.66)$$

$$R_A = 713.34 \text{ Kg.}$$

Fuerzas cortantes y momento flector. Este cálculo se efectúa haciendo cortes en la viga, e indicando las fuerzas internas de la misma.



$$\Sigma F_y = 0 + \uparrow$$

$$R_A - w \cdot x - V = 0$$

$$V = R_A - w \cdot x$$

$$\text{Si } x = 0$$

$$V = R_A - w \cdot (0)$$

$$V = R_A = 713.34 \text{ Kg.}$$

$$\text{Si } x = 3$$

$$V = R_A - w \cdot x$$

$$V = (713.34) - (180)(3)$$

$$V = 173.34 \text{ Kg.}$$

$$\Sigma M_c = 0 + \curvearrowright$$

$$R_A \cdot x - P \cdot x/2 - M_f = 0$$

$$M_f = R_A \cdot x - w \cdot x^2/2$$

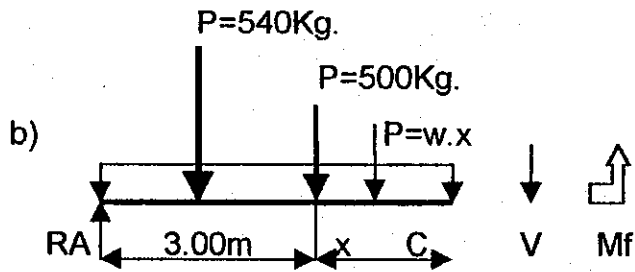
$$\text{Si } x = 0$$

$$M_f = 0$$

$$\text{Si } x = 3$$

$$M_f = (713.34) \cdot (3) - (180) \cdot (9)/2$$

$$M_f = 1330.02 \text{ Kg.m}$$



$$\Sigma F_y = 0 + \uparrow$$

$$RA - (540) - (500) - w \cdot x - V = 0$$

$$V = RA - (540) - (500) - w \cdot x$$

$$V = -326.66 - w \cdot x$$

$$\text{Si } x = 0$$

$$V = -326.66 \text{ Kg.}$$

$$\text{Si } x = 2$$

$$V = -326.66 - (180) \cdot 2$$

$$V = -686.66 \text{ Kg.}$$

$$\Sigma M_c = 0 + \curvearrowright$$

$$RA(x+3) - 540(x+1.5) - 500(x) - wx^2/2 - M_f = 0$$

$$M_f = RA(x+3) - 540(x+1.5) - 500 \cdot x - wx^2/2$$

$$\text{Si } x = 0$$

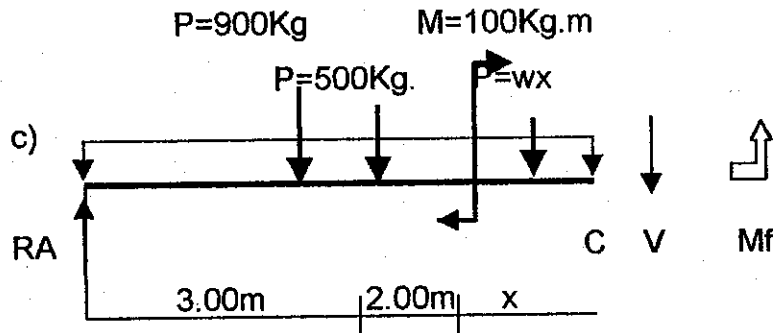
$$M_f = 713.34(3) - 540(1.5) - 0 - 0$$

$$M_f = 1330.02 \text{ Kg.m}$$

$$\text{Si } x = 2$$

$$M_f = 713.34(2+3) - 540(2+1.5) - 500(2) - 180(4)/2$$

$$M_f = 316.7 \text{ Kg.m}$$



$$\Sigma F_y = 0 + \uparrow$$

$$RA - (900) - (500) - w \cdot x - V = 0$$

$$V = RA - 900 - 500 - wx$$

$$\text{Si } x=0$$

$$V = (713.34) - (900) - (500) - 0$$

$$V = -686.66 \text{ Kg.}$$

$$\text{Si } x=1$$

$$V = (713.43) - (900) - (500) - (180)1$$

$$V = -866.66 \text{ Kg.}$$

$$\Sigma M_c = 0 + \curvearrowright$$

$$RA(x+5) - 900(x+2.5) - 500(x+2) + 100 - wx^2/2 - M_f = 0$$

$$M_f = RA(x+5) - 900(x+2.5) - 500(x+2) + 100 - wx^2/2$$

$$\text{Si } x=0$$

$$M_f = 713.34(5) - 900(2.5) - 500(2) + 100 - 0$$

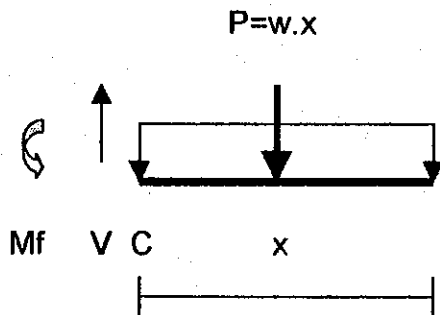
$$M_f = 416.7 \text{ Kg.m}$$

Si $x=1$

$$M_f = 713.34(1+5) - 900(1+2.5) - 500(1+2) + 100 - 180(1)/2$$

$$M_f = -359.96 \text{ Kg.m}$$

d) En el tramo de la viga en voladizo, se diagrama el sólido libre de derecha a izquierda.



$$\Sigma F_y = 0 + \uparrow$$

$$-P + V = 0$$

$$V = P$$

$$V = w \cdot x$$

$$\text{Si } x=0$$

$$V=0$$

$$\text{Si } x=2$$

$$V=180(2)$$

$$V=360 \text{ Kg.}$$

$$\Sigma M_c = 0 + \curvearrowright$$

$$w x^2 / 2 - M_f = 0$$

$$M_f = w \cdot x^2 / 2$$

$$\text{Si } x=0$$

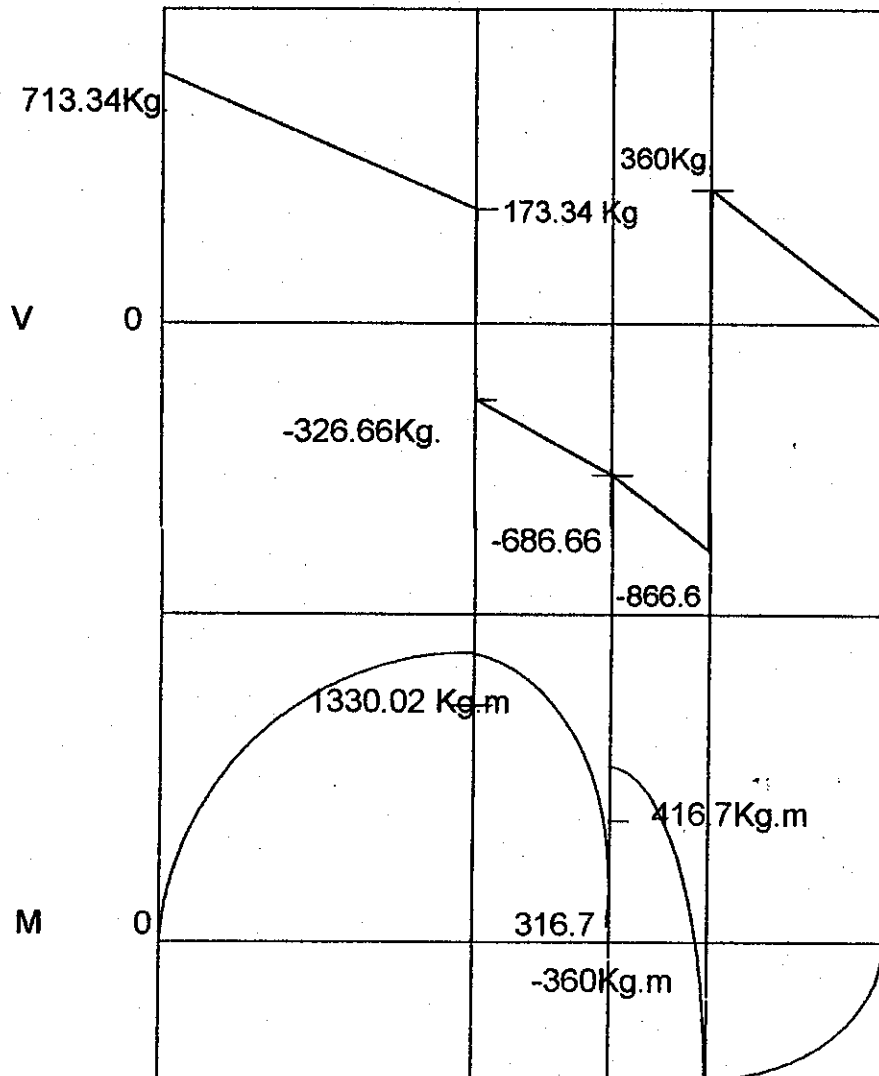
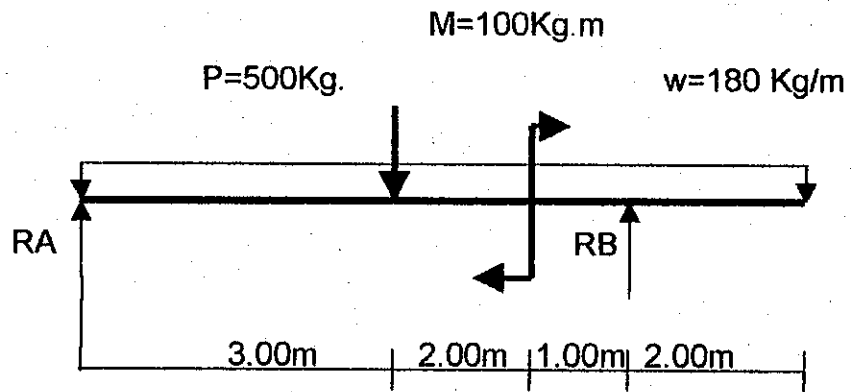
$$M_f = 0$$

$$\text{Si } x=2$$

$$M_f = 180(4)/2$$

$$M_f = 360 \text{ Kg.m}$$

Ahora, con los datos obtenidos después del cálculo analítico, se crea el diagrama de corte y el de momento flector.



Para diseñar el perfil de la viga, y para que resista el momento de flexión, se toma como dato el M_f máximo del diagrama de momento flector, y esto se da cuando la fuerza de corte en ese punto donde el momento flector es máximo ésta es cero.

$$M_f = 1330.02 \text{ Kg.m}$$

Se usa como material un acero estructural, cuyo esfuerzo admisible es:
 $[\sigma] = 1200 \text{ Kg/cm}^2$

Ahora hacemos uso de la fórmula del esfuerzo flector:

$$\sigma_f = M_f/W_x \leq [\sigma]$$

de ésta fórmula se despeja el módulo de la sección y queda:

$$W_x \geq M_f/[\sigma]$$

$$M_f = (1330.03 \text{ Kg.m}) \cdot (100 \text{ cm}) / (1 \text{ m})$$

$$M_f = 133002 \text{ Kg.cm}$$

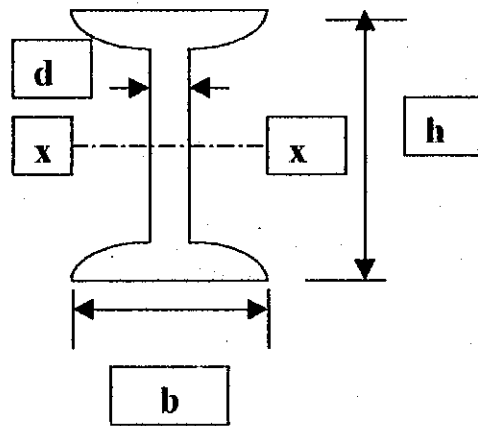
$$W_x \geq (133002 \text{ Kg.cm}) / (1200 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$W_x \geq 110.835 \text{ cm}^3$$

De tablas de perfiles de acero estructural, se toman los siguientes datos para un perfil en I

$$W_x = 143 \text{ cm}^3$$

$$A = 23.4 \text{ cm}^2$$



Espesor $t = 0.81$ cm.

Ancho del alma $d = 0.51$ cm.

Base del patín $b = 9$ cm.

Altura $h = 18$ cm.

$$I_x = 1290 \text{ cm}^4$$

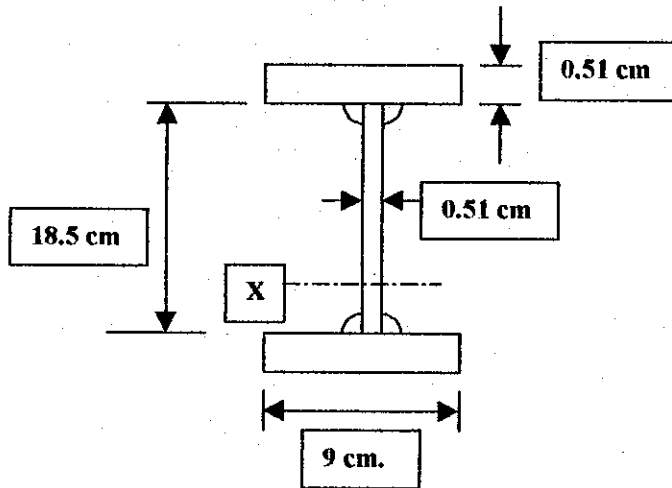
Por lo tanto, el módulo de la sección es:

$$W_x = I_x / Y_{\max}$$

$$W_x = (1290) / (18/2)$$

$$W_x = 143.33 \text{ cm}^3$$

Se construyó el perfil en I con tres platinas, tomando valores próximos a los encontrados en tablas, y se diseña el modelo, para luego hacer los cálculos analíticos que llevarán a un módulo de la sección similar al calculado anteriormente, sin que sobrepase el valor del módulo de la sección del encontrado en tablas ni que sea menor al calculado anteriormente.



Para calcular la altura del alma del perfil, se parte del área total del perfil encontrado en tablas.

$$A_{tot} = 23.4 \text{ cm}^2$$

A1 y A3 son las áreas de los patines del perfil, A2, es el área del alma.

$$A_{tot} = A_1 + A_2 + A_3$$

$$23.4 = 9(0.51) + A_2 + 9(0.51)$$

$$A_2 = 14.22 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = b \times h$$

$$h = A_2 / b$$

$$h = 14.22 / 0.51$$

$$h = 27.88 \text{ cm}$$

Luego se calcula el módulo de la sección, y no se debe pasar del módulo de la sección del perfil de la tabla.

$$W_x = I_x / Y_{\max}$$

$$W_x = (2Ix_1 + 2Ad^2 + Ix_2) / (ht/2)$$

$$W_x = \frac{(2(9)(0.51)^3) / 12 + 2(9)(0.51)(14.19)^2 + ((0.51)(27.88)^3) / 12}{14.45}$$

$$W_x = 191.76 \text{ cm}^3$$

El resultado obtenido es mayor que el W_x del perfil encontrado en tablas, por lo tanto reducimos la altura del alma de nuestro modelo, y lo cambiamos de 27.88 cm a 18.5 cm.

$$W_x = \frac{0.1989 + 829.36 + 269.094}{9.76}$$

$$W_x = 112.566 \text{ cm}^3$$

Por esto, en la figura de nuestro modelo del perfil ya aparece la altura correcta.

W_x puede variar en +/- 5%

Y la tensión nominal

$$\sigma = \sigma_{\text{cal.}} \pm 5\%$$

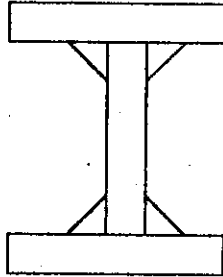
5.4.3.1 Cordones de soldadura

Para los cordones de soldadura de nuestra viga en I, estos cordones están sometidos a esfuerzos cortantes, por lo tanto se emplea la fórmula siguiente:

$$\tau = (V.S)/\beta k l 2$$

donde:

- ⇒ **V**= fuerza cortante máxima.
- ⇒ **S**= momento estático de la parte a cortar con respecto al centro de gravedad de toda la sección.
- ⇒ **β**=coeficiente que tiene en cuenta el proceso de soldadura, utilizando 0.7 para soldadura con electrodo revestido SMAW. Método de arco sumergido 0.85. Soldadura con haz de electrones y con soldadura láser es=1.
- ⇒ **k**= cateto del cordón de la soldadura.
- ⇒ **l**= momento de inercia de toda la sección con respecto al centro de gravedad de ésta.
- ⇒ **2**= porque está soldado por ambos lados.



Momento estático:

$$S = A \cdot Y$$

$$S = (0.51) \cdot (9) \cdot (9.5)$$

$$S = 43.62 \text{ cm}^3$$

Datos:

$$I_x = 1098.65 \text{ cm}^4$$

$$K = 0.51 \text{ cm}$$

$$S = 43.62 \text{ cm}^3$$

$$V = 866.66 \text{ Kg}$$

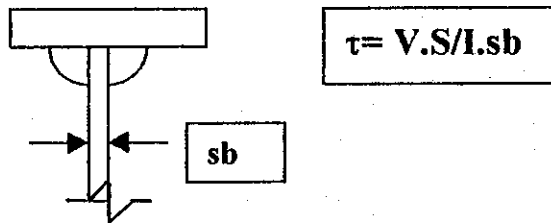
$$\tau = V \cdot S / \beta k I_x$$

$$\tau = (866.66) \cdot (43.62) / (0.7)(0.51)(1098.65)$$

$$\tau = 48.19 \text{ Kg/cm}^2$$

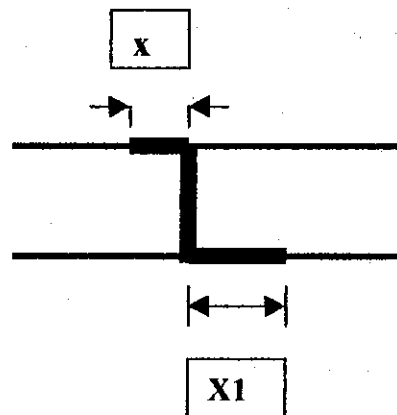
Para la pared o el alma del perfil se tiene lo siguiente:

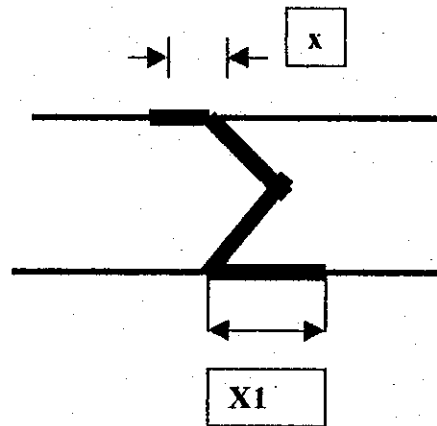
La sección de la soldadura es mucho mayor que la sección de la lámina.



NOTA: Los empalmes en la pared de los perfiles se hacen en diagonal, dependiendo de la inclinación, así será el largo del cordón de soldadura.

Si se empalman dos vigas, se debe tomar en cuenta que no se deben juntar en un solo punto más de dos cordones de soldadura. Ya que se formaría una excesiva concentración de tensiones, porque no se da una buena fusión en la unión de ese punto, y se encontrarían pequeñas grietas, que con la concentración de tensiones, van creciendo y fallaría el material en ese punto.





Éstas son dos formas de cómo empalmar dos vigas, la distancia más corta queda arriba y la distancia mayor queda abajo.(107)

5.4.4 Apoyos de vigas soldadas

En la figura 160, se muestra la clasificación de las vigas, de acuerdo con la forma en que están sustentadas. Las vigas estáticamente determinadas, tienen apoyos o soportes simples, de los cuales uno puede ser fijo y otro apoyo puede ser móvil, o sea de rodillos. Vigas simplemente apoyadas con voladizo, en la cual uno de los soportes está a una distancia x adentro de uno de sus extremos. Otro tipo de soporte es cuando una viga está en voladizo y su apoyo es un empotramiento.

Para las vigas estáticamente indeterminadas, en el caso de vigas continuas, puede llevar varios apoyos simples como se muestra en la figura 160. También se pueden utilizar apoyos combinados como un apoyo simple y un apoyo empotrado. En otros casos, se utilizan vigas empotradas en ambos extremos.

No se utilizan vigas apoyadas en dos rodillos, pues éstas son sólidos parcialmente ligeros que pueden moverse bajo ciertas condiciones de carga.

5.5 Cálculo de columnas soldadas

5.5.1) ¿Qué es una columna?

Las columnas, son elementos que trabajan en forma vertical, y por lo general se encuentran trabajando a compresión, dependiendo de la necesidad, se pueden encontrar columnas que trabajan a compresión y flexión.

5.5.1.1 Tipos de columnas

Los miembros sujetos a compresión directa pueden agruparse en tres clases. Los bloques de compresión son tan cortos (relación de esbeltez debajo de 30), que la flexión del miembro no es inminente. En el otro límite, las columnas son tan esbeltas que la flexión es lo primario, las columnas largas se definen por el teorema de Euler. Las columnas intermedias, tan comunes en la práctica, se denominan columnas cortas.(108)

5.5.2 Cálculo de columnas con cargas centradas

Las columnas largas y las cortas más esbeltas fallan, en general, por pandeo cuando se alcanzan la carga crítica. Esto se debe a la inestabilidad; o sea, la columna posiblemente continuará fallando y flexionándose, aun cuando la carga no se esté aumentando a más de la crítica. La relación de la esbeltez es el tramo que soporta dividido por el mínimo radio de giro, paralelo al que se puede flexionar. Las columnas largas se tratan con la fórmula de Euler para columnas:

Parámetros básicos:

$$P_{cr} > P$$

La carga crítica puede interpretarse como la carga axial máxima a la que puede someterse una columna permaneciendo recta aunque en equilibrio inestable, de manera que un pequeño empuje lateral haga que se deforme y quede pandeada. Por tal razón la carga crítica debe de ser mayor que la carga de trabajo.

De esta misma relación, entre la carga crítica y la carga de trabajo, se obtiene el coeficiente de seguridad n , que viene dado como:

$$P_{cr}/P = n$$

Para calcular la carga crítica, la fórmula de Euler a usar es:

$$P_{cr} = (\pi^2 E I_{min}) / L_{cal}^2$$

De donde:

P_{cr} = carga crítica.

E = Módulo de elasticidad.

I_{min} = Momento de inercia de la sección mínima.

L_{cal} = Longitud calculada o equivalente.

π = 3.141569 que es una constante.

La longitud calculada o equivalente viene dada por:

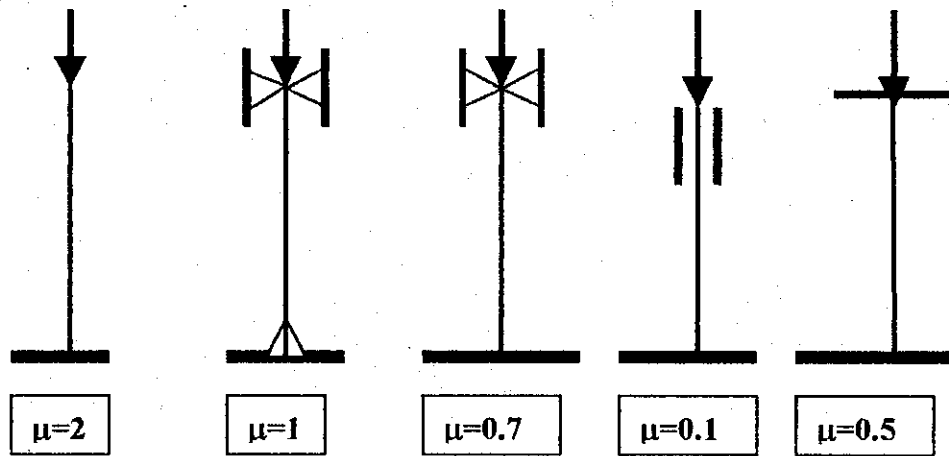
$$L_{cal} = \mu \cdot L$$

De donde:

L = longitud original o real de la columna.

μ = viene dado dependiendo de las condiciones de sujeción de los extremos de la columna.

Las columnas transmiten las cargas que se generan en la parte superior hacia los cimientos. Y dependiendo del tipo de soporte, la longitud calculada o equivalente de la columna, depende de μ , por lo tanto, sus valores vienen dados a continuación:



El radio de giro viene dado por:

$$i_x = \sqrt{I_x/A}$$

La relación de esbeltez está dada como:

$$\lambda = \mu \cdot L / i_{\min}$$

La relación de esbeltez que separa las columnas largas de las cortas depende del módulo de elasticidad y del límite elástico del material, y viene dado por:

$$\lambda_{\min} = \pi \cdot \sqrt{E/\sigma}$$

de donde:

E = módulo de elasticidad.

σ = límite elástico del material.

$\lambda_{min.}$ = relación de esbeltez mínimo.

Esta esbeltez mínima cae entre 120 y 150.

La relación de esbeltez mínimo debe ser menor o igual a la esbeltez calculada con la longitud equivalente entre el radio de giro.

$$\lambda \geq \lambda_{min.}$$

Ejemplo:

Determinar la relación de esbeltez de una columna de 4 m con extremos empotrados, si su sección es (a) una circunferencia de 50 mm de radio y (b) un cuadrado de 40 mm de lado. Use el concepto de longitud efectiva.

Solución:

(a) Relación de esbeltez es igual a

$$\lambda = \mu \cdot L / i_{min.}$$

Por lo tanto,

$$i_{min.} = \sqrt{I_x / A}$$

I_x para un círculo es:

$$I_x = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$I_x = \frac{(3.1416)(100)^4}{64}$$

$$I_x = 4908750 \text{ mm}^4$$

El área de la circunferencia es

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$A = \frac{(3.1416/4) \cdot (100)^2}{}$$

$$A = 7854 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el radio de giro es de:

$$i_x = \sqrt{(4908750)/(7854)}$$

$$i_x = 25 \text{ mm}$$

La relación de esbeltez es:

Como la viga esta empotrada en los dos extremos, $\mu=0.5$

$$\lambda = (0.5) \cdot (4000)/25$$

$$\lambda = 80.0$$

(b) El momento de inercia para un cuadrado es:

$$I_x = \frac{L^4}{12}$$

$$I_x = \frac{(40)^4}{12}$$

$$I_x = 213333.333 \text{ mm}^4$$

El área de la sección cuadrada nos da:

$$A = L \times L$$

$$A = (40) \cdot (40)$$

$$A = 1600 \text{ mm}^2$$

El radio de giro es:

$$i_x = \sqrt{I_x / A}$$

$$i_x = \sqrt{(213333.333) / (1600)}$$

$$i_x = 11.54 \text{ mm}$$

Por tanto la relación de esbeltez es:

$$\lambda = (0.5) \cdot (4000) / 11.54$$

$$\lambda = 173.31$$

5.5.3 Disposición principal de los perfiles de las columnas

Los perfiles para las columnas, son variados, dependiendo de la carga a la cual se le va a aplicar, hay columnas en la cual toda su longitud no cambia de sección, o sea, que es una columna continua en toda su longitud. Existen columnas, que en el extremo superior su sección es ancha y en el extremo inferior tiene una sección reducida, o sea, que es una columna con sección variada a lo largo de la misma.

Las secciones de las columnas pueden ser en H, cuadradas, en L, circulares, se pueden unir dos perfiles en L para formar un cuadrado, si sus lados son iguales, o perfiles rectangulares si los lados del perfil en L son desiguales, o variar la posición del perfil en L para hacer otro tipo de perfil siempre y cuando uniendo dos perfiles.

Al final del capítulo se encuentran las tablas del XV al XVIII de perfiles en L, que se pueden utilizar para columnas, y se dan las distintas disposiciones que se realizan uniendo dos perfiles.

Para unir las columnas se utilizan las presillas, la separación de las presillas es de 50 veces el radio de giro de la sección completa.(109)

5.6 Cálculo de un recipiente de pared delgada para almacenar gases a presión

5.6.1 Cálculo del espesor de la pared

Los tanques son los elementos utilizados para almacenar gases a presión, dichos tanques están contruidos de acero de pared delgada, y unido por soldadura haciendo las uniones preparando el material para soldarse como juntas a tope, ya que es la junta que mejor resiste en estos dispositivos.

Existen tanques de diferentes tipos, tales como:

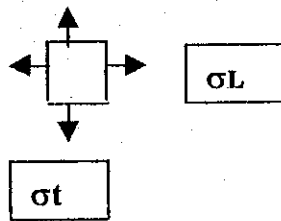
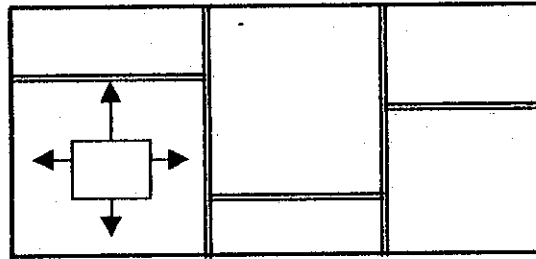
- a) Cilíndricos.
- b) Esféricos.
- c) Toroidales.

5.6.1 Cilindros horizontales

Los cilindros de pared delgada tienen un espesor de pared tal, que la suposición de un esfuerzo constante a través de la pared causa un error despreciable. Los cilindros que tienen relaciones entre el diámetro interno y el espesor (D/s) mayores que 10 se consideran, en general, de pared delgada. Con frecuencia, las calderas, tambores, tanques y tubos, son tratados como tal. Las ecuaciones de equilibrio revelan que el esfuerzo circunferencial o de anillo es $\sigma = P.r/s$, bajo una presión interna P . Si el cilindro está cerrado en los dos extremos, se desarrolla un esfuerzo longitudinal de $P.r/2s$. El esfuerzo de tracción que se desarrolla en una esfera hueca y delgada sujeta a presión interna también es $P.r/2s$.

En el tanque cilíndrico horizontal, se dan dos tipos de esfuerzo que son provocados por una presión interna y está relacionado con el radio interno del cilindro y el espesor de la pared. Este cilindro es cerrado por los extremos y unido por medio de soldadura. (Figura 165).

Figura 165. Cilindro horizontal



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 82

En estos tanques, encontramos tensiones tangenciales como longitudinales y se expresan de la siguiente manera:

Tensiones tangenciales:

$$\sigma_t = P \cdot r / s \leq [\sigma]$$

Tensiones longitudinales:

$$\sigma_L = P \cdot r / 2s \leq [\sigma]$$

donde:

P= presión

r= radio interno.

S= espesor.

Esto indica que las tensiones tangenciales son mucho mayores que las tensiones longitudinales.

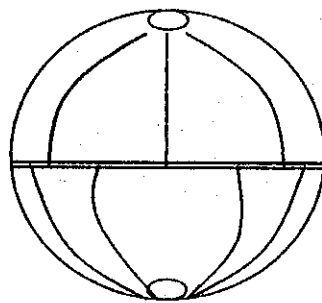
$$\sigma_t = 2\sigma_L \quad \text{o sea que} \quad \sigma_t \gg \sigma_L$$

El espesor de todo recipiente debe tomar en cuenta la corrosión. El cálculo del cuerpo cilíndrico se hace con las tensiones tangenciales, ya que es la tensión más crítica. Para calcular las tensiones de los cordones de soldadura, se calculan también las tensiones longitudinales.

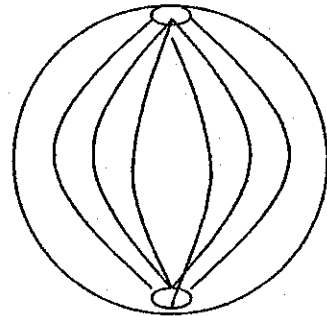
5.6.2 Recipientes esféricos

Existen dos tipos de fabricación para los recipientes esféricos:

- 1) Por casquetes.
- 2) Enteros.



1. Por casquetes



2. Enteros.

Para la fabricación de estos dispositivos, las soldaduras que se realizan para la unión de cada una de las partes para formar los tanques esféricos, son soldaduras a tope. En los tanques esféricos por casquetes, los cordones de soldadura que se aplican en la unión, deben encontrarse en el punto medio de la esfera, máximo dos cordones, el que une la esfera por la parte media, y el cordón que viene hacia abajo del casquete superior, ó el cordón que viene hacia arriba del casquete inferior, pero nunca se deben encontrar tres cordones de soldadura, ya que en ese punto, la soldadura fallaría, por los cambios bruscos de dirección y se formaría una concentración de tensiones que producirían grietas en la soldadura y se escaparía la presión interna del tanque esférico.

El esfuerzo a tracción que se desarrolla en una esfera hueca y delgada sujeta a presión interna es:

$$\sigma_t = P \cdot r / 2s \leq [\sigma]$$

5.6.3 Escogencia del material adecuado

Los tanques de pared delgada para almacenamiento de gases a presión, se construyen de acero, del cual se deben de saber las propiedades de los aceros, tales como propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, físicas y metalúrgicas. Para escoger el material adecuado, se debe de tener en cuenta, el límite elástico del material ó el esfuerzo admisible, para poder calcular las tensiones que se van a dar cuando se diseña el recipiente, y los cálculos de las tensiones no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles del material.

Para ellos se debe de tener a la mano tablas o catálogos de los diferentes aceros, con sus propiedades para poder obtener datos de resistencia mecánica para efectuar el cálculo del diseño a realizar.

5.6.4 Formas de ensamble

Para ensamblar las partes de los recipientes a presión, es necesario darles a las piezas una preparación, la cual consiste en mecanizar las partes a unir de acuerdo al tipo de junta a utilizar, ya sea en bisel para juntas a tope en V, juntas a escuadra o cualquier tipo de junta dependiendo del diseño realizado.

Las piezas cilíndricas se ensamblan haciendo anillos, estos anillos ya soldados, formando una sola pieza, se preparan para unirlos (anillo con anillo) para formar el tanque, las costuras entre anillo y anillo se dan en ángulos, de modo que no se junten en un sólo punto más de dos cordones de soldadura.
(110)

Para los tanques esféricos, las piezas se preparan de acuerdo al tipo de junta a utilizar, luego se ensamblan, si es por casquetes, cada casquete debe estar enumerado, y se colocan de tal forma que las costuras de soldadura del casquete superior no coincidan con las costuras del casquete inferior para no tener en un punto más de dos cordones de soldadura. En los tanques esféricos enteros, cada gajo o pieza del tanque se prepara para el tipo de junta a utilizar y se ensamblan uno tras otro hasta terminar de formar la esfera.

En los tanques de forma de toroide, cada pieza se diseña para formar anillos, estos anillos se sueldan, y las costuras de estos ya están desfasados para que no coincidan más de tres cordones de soldadura en un punto, luego de fabricados los anillos, estos anillos se van uniendo, hasta forma la forma del toroide. Estos ensambles se realizan en el lugar en donde se van a utilizar los tanques, ya que estos tanques tienen grandes volúmenes.

5.6.4 Ejemplo del cálculo de espesor de pared de un recipiente que almacena gases a presión.

El tanque de un compresor de aire consiste en un cilindro cerrado con los dos extremos semiesféricos, el cilindro tiene 60 cm de diámetro interior y está sometido a una presión interna de 35 kilogramos por centímetro cuadrado. Si el material es un acero cuyo límite de fluencia es de 2500 kilogramos por centímetro cuadrado, y se utiliza un coeficiente de seguridad de 3.5, calcular el espesor de pared necesario. Despreciar los efectos locales en la unión cilindro semiesfera.

Solución:

Para calcular el espesor de la pared se hace en base a las tensiones tangenciales, ya que son las tensiones más críticas.

$$\sigma_t = P.r/s \leq [\sigma]/c.s.$$

despejando el espesor (s) de la formula obtenemos:

$$s \geq P.r.(c.s.)/[\sigma]$$

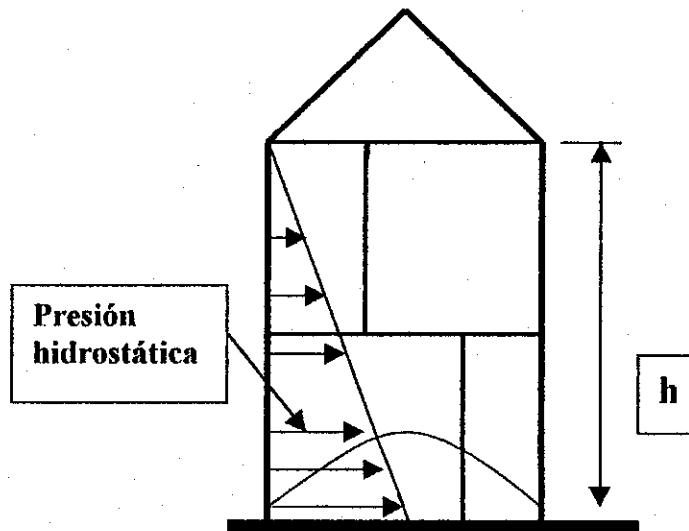
$$s \geq (35).(30).(3.5)/2500$$

$$s \geq 1.47 \text{ cm}$$

El espesor de pared es mayor o igual a 1.47 cm.

5.7 Cálculo del espesor de pared de un recipiente de almacenamiento de pared delgada

Los recipientes verticales, son para almacenar combustibles. El fondo tiene una forma convexa para que las gotas que se condensan (gotas de agua) puedan deslizarse hacia los extremos y poderlas extraer.



Las tensiones que se dan en este tipo de recipientes, dependen de la presión hidrostática de la sustancia que se encuentre en el depósito provocada por la altura o profundidad o el nivel del líquido.

$$\sigma_t = P.r/s \leq [\sigma]$$

donde la presión es:

$$P = P_e.h$$

Pe= peso específico.

h= altura.

Pe= W/V

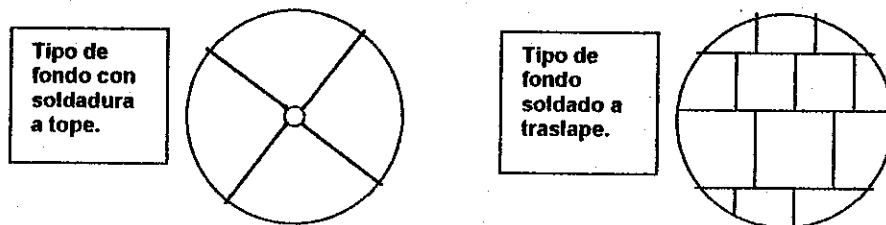
W= peso.

V= volumen.

5.7.1 Montaje de los tanques

Para el montaje de los tanques se debe de hacer una buena preparación en el lugar donde se colocara éste.

Se debe de hacer un buen cimiento para que soporte el peso del tanque cuando este llegue a su alto nivel de liquido o capacidad de almacenamiento. Se hace un montículo, con arena prensada, tierra prensada y arcilla, en donde se colocara el tipo de fondo, en el cual se montara el tanque. Los fondos se fabrican con soldadura, ya sea un tipo de fondo con soldadura a tope, o un tipo de fondo con soldadura a traslape.



Ejemplo:

Un deposito de reserva vertical de acero, esto es un tanque cilíndrico abierto por arriba y que tiene el eje vertical, tiene 240 cm de diámetro interior y 25 metros de altura. El tanque esta lleno de agua con un $P_e=1000$ kilogramos por metro cúbico, el material es acero de construcción con un límite de fluencia de 250 kilogramos por centímetro cuadrado. Se utiliza un coeficiente de seguridad de 2. ¿Cuál es el espesor de chapa necesario en la parte inferior del tanque si se supone que la costura longitudinal por soldadura es tan fuerte como el metal base?. ¿Cuál es el espesor de chapa necesario, si la costura tiene solamente 85% de la eficacia del material macizo?

Solución.

$$\sigma t = P.r/s \leq [\sigma]/c.s.$$

despejamos el espesor y queda:

$$s \geq P.r.(c.s.) / [\sigma]$$

$$P = P_e.h$$

$$P = (1000).(25)$$

$$P = 25000 \text{ Kg/m}^3$$

$$s \geq (25000).(1.2).(2)/(250).(10000)$$

$$s \geq 0.024 \text{ m.}$$

$$s \geq 2,4 \text{ cm.}$$

Ahora se calcula el espesor de chapa necesario, si la costura tiene solamente 85% de la eficacia del material macizo.

$$[\sigma] = (250) \cdot (0.85) = 212.5$$

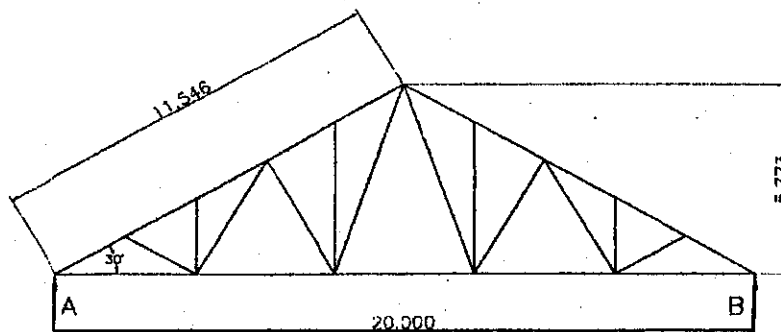
$$s \geq (25000) \cdot (1.2) \cdot (2) / (212.5) \cdot (10000)$$

$$s \geq 0.02823 \text{ m}$$

$$s \geq 2.823 \text{ cm.}$$

Figura 148. Dimensiones de la cercha

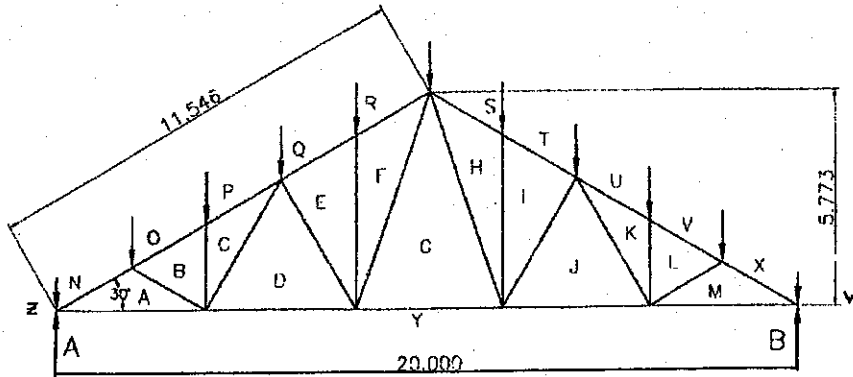
Anexo 1



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 65

Figura 149. Sectorización de la cercha

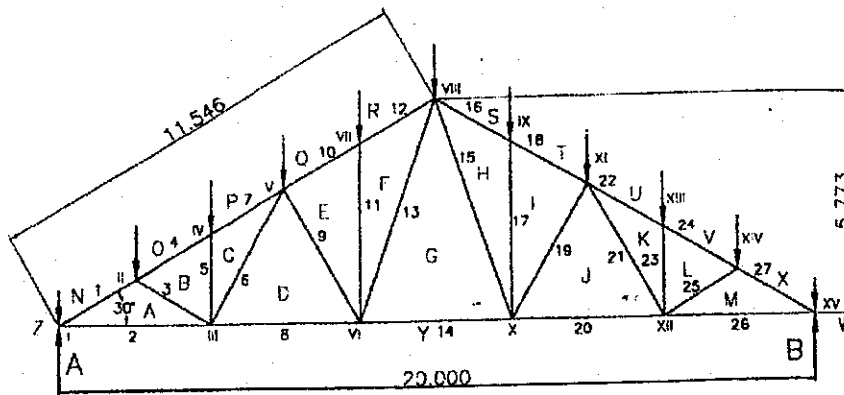
Anexo 2



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 66

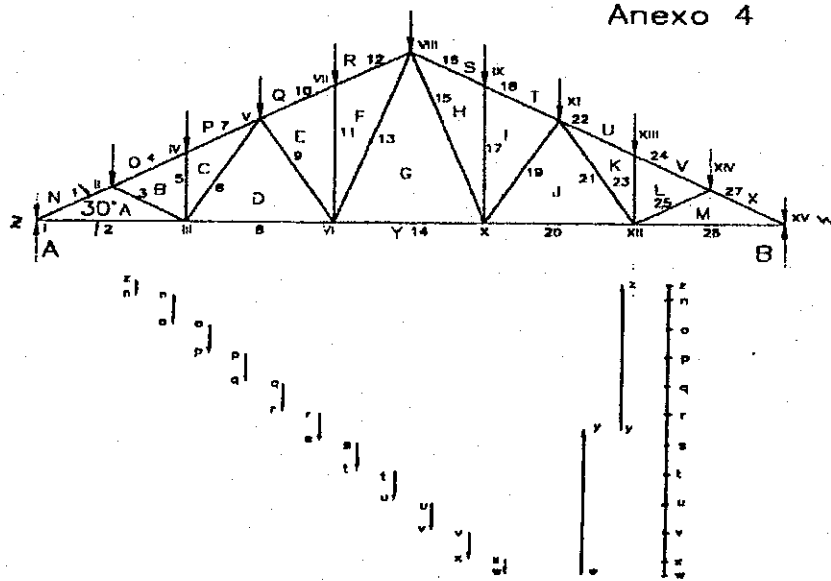
Figura 150. Ubicación de nudos o nodos

Anexo 3



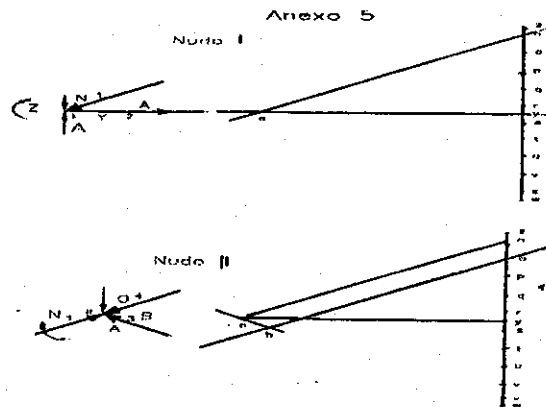
Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 67

Figura 151. Construcción de polígonos de fuerzas de exteriores y reacciones



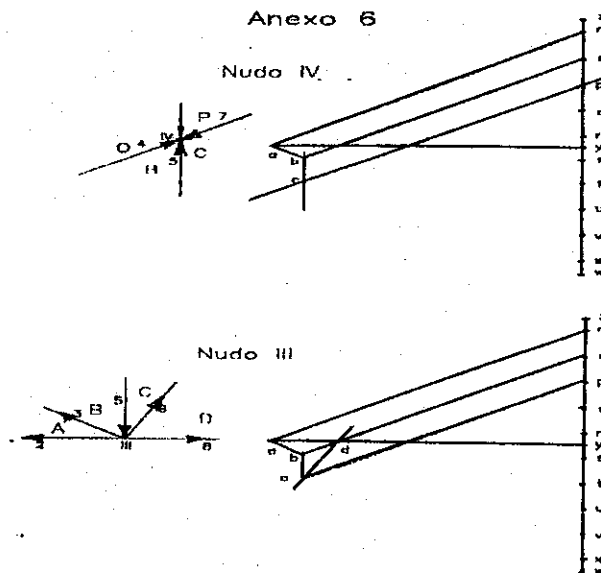
Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 68

Figura 152. Construcción del polígono de fuerzas para el nudo I y II



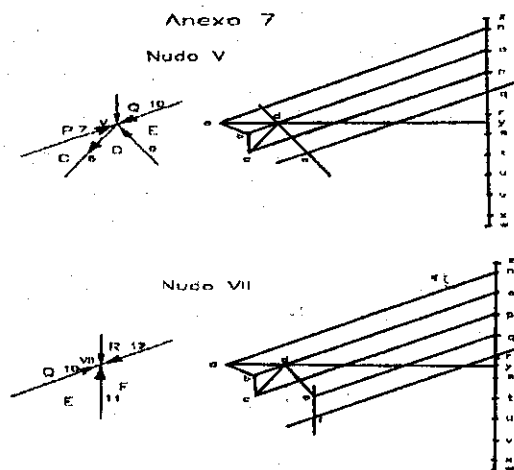
Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 69

Figura 153. Construcción del polígono de fuerzas para el nudo III y IV



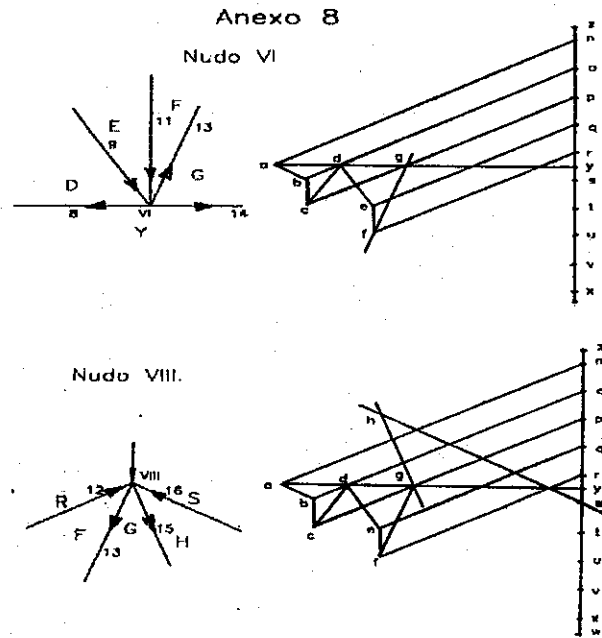
Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 70

Figura 154. Construcción del polígono de fuerzas para el nudo V y VII



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 71

Figura 155. Construcción del polígono de fuerzas para el nudo VI y VIII

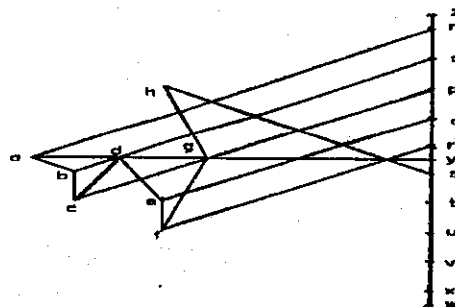


Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 72

Figura 156. Diagrama de cremona

Anexo 9

DIAGRAMA CREMONA



Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 73

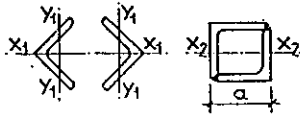
Tabla XIV. Valor del coeficiente de pandeo ω

VALORES DEL COEFICIENTE DE PANDEO ω

λ	$\lambda +$									λ	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	20
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	30
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	40
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	50
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	60
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53	70
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69	80
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	90
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09	100
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	110
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81	120
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26	130
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	140
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27	150
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82	160
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41	170
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03	180
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69	190
200	6,75	6,82	6,89	6,96	7,03	7,10	7,17	7,24	7,31	7,38	200
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10	210
220	8,17	8,25	8,32	8,40	8,47	8,55	8,63	8,70	8,78	8,86	220
230	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41	9,49	9,57	9,65	230
240	9,73	9,81	9,89	9,97	10,05	10,14	10,22	10,30	10,39	10,47	240
250	10,55										250

Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 74

Tabla XVII. Perfiles en L

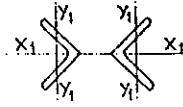


RESISTENCIA A COMPRESION DE UNA BARRA COMPUESTA POR DOS L NORMALES (extremos articulados)

También vale para L Γ aunque la resistencia en esta disposición es algo menor.

Separación de las presillas $\leq 50 \cdot i_{y1}$
 $i_{x1} < i_{x2}$

$$T_{trab} = 1200 \text{ Kg/cm}^2.$$

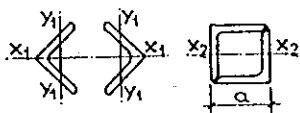


Angular	S	R _{x1}	R _{x2}	i _{x1}	i _{y1}	Longitud libre de pandeo L en metros																				a			
						100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290		300	320	
45-45-5	860	780	110	170	087	800	764	727	693	653	614	580	543	511	478	439	397	367	335	307	283	261	242	224	209	197	173	48	
45-45-7	117	103	144	167	087	108	103	977	925	874	822	773	725	679	636	579	525	478	437	402	370	342	317	295	275	257	226	50	
50-50-5	960	983	139	190	098	937	900	866	829	789	753	716	682	640	606	576	538	507	466	430	392	363	338	316	292	273	242	53	
50-50-7	131	130	181	188	096	128	122	117	112	106	101	969	917	865	818	777	729	681	617	567	525	489	449	419	393	364	322	55	
55-55-5	126	140	199	208	107	127	123	118	115	110	105	101	960	908	874	832	788	750	707	678	622	573	531	492	464	433	379	59	
55-55-6	165	178	251	206	107	164	160	154	148	142	136	130	124	119	113	107	102	960	917	855	800	737	681	633	588	549	481	61	
60-60-5	138	170	240	229	117	143	140	135	130	127	122	117	114	108	104	100	951	908	874	829	793	750	705	661	610	572	61	64	
60-60-6	181	217	303	226	116	187	181	176	170	169	165	159	153	147	140	135	129	123	117	111	107	101	969	908	832	782	725	635	66
65-65-5	174	230	324	247	126	183	178	174	170	169	165	159	154	149	143	137	131	125	119	113	109	104	100	960	908	845	733	69	
65-65-7	220	284	382	264	125	232	226	220	214	208	201	194	187	181	174	167	161	154	148	142	136	129	123	118	110	103	908	71	
70-70-5	188	271	382	267	137	201	198	193	188	183	179	173	168	165	159	153	147	143	137	132	127	122	117	113	108	104	925	74	
70-70-7	238	335	470	264	136	253	249	244	238	232	224	218	214	206	198	192	184	180	172	165	159	154	147	141	135	129	116	76	
75-75-5	230	352	495	285	146	248	244	240	234	230	224	219	213	208	201	195	189	184	176	171	165	159	153	148	142	138	128	80	
75-75-10	282	425	594	283	145	304	299	294	286	280	275	267	261	252	247	238	231	223	217	209	201	194	186	180	172	167	155	82	

Angular	S	R _{x1}	R _{x2}	i _{x1}	i _{y1}	Longitud libre de pandeo L en metros																				a				
						150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	320	340	360	380		400	425		
80-80-8	246	406	569	306	155	246	240	234	229	224	219	211	205	200	195	187	183	176	170	164	159	147	138	126	113	102	908	85		
80-80-10	302	491	683	303	154	299	295	288	281	273	267	259	250	243	236	228	221	214	208	199	193	179	168	152	137	123	110	98	87	
80-80-12	358	568	793	300	153	355	349	339	331	323	314	305	297	286	278	270	259	251	244	234	226	210	197	177	158	141	126	100	89	
90-90-9	310	578	811	345	176	321	316	310	303	297	291	284	278	272	264	258	251	245	238	231	224	212	198	188	171	164	146	96	96	
90-90-11	374	685	958	341	175	387	377	371	365	357	349	340	333	328	318	309	301	293	284	277	268	256	237	226	210	194	170	107	107	
100-100-10	384	722	1111	382	195	408	400	393	387	381	375	369	360	355	346	341	332	325	318	309	301	286	273	255	245	231	215	109	109	
100-100-12	454	921	129	380	195	482	474	465	458	450	443	436	428	421	414	410	400	394	388	380	374	364	353	341	328	314	297	283	111	111
110-110-10	424	975	137	423	216	459	450	446	439	435	428	421	414	410	400	394	388	380	374	364	353	341	328	314	297	283	267	111	111	
110-110-12	502	114	160	421	215	543	533	528	519	515	506	498	489	482	474	467	456	449	440	430	424	405	387	368	352	334	314	111	111	
120-120-11	508	127	179	462	235	558	549	544	539	535	526	521	513	504	495	492	483	476	466	459	452	436	417	401	386	367	351	111	111	
120-120-13	584	147	205	459	234	648	642	636	631	625	614	604	599	589	579	575	561	552	544	535	528	506	489	469	448	430	405	138	138	
130-130-12	600	163	229	500	254	667	661	655	649	637	632	626	620	610	605	595	585	580	571	562	554	537	518	500	483	465	445	140	140	
140-140-14	694	204	260	497	253	771	764	756	750	737	730	724	718	706	700	688	677	671	661	650	640	621	599	579	559	537	507	149	149	
140-140-15	700	204	287	538	274	785	777	770	763	756	750	743	737	724	718	711	706	694	683	677	667	651	632	613	593	575	550	151	151	
140-140-17	800	232	324	536	273	900	891	883	874	865	857	850	842	828	820	806	800	794	781	774	762	739	723	701	676	649	627	151	151	
150-150-14	806	252	354	577	294	908	900	891	881	883	874	874	865	848	841	834	826	813	805	800	786	774	750	733	714	691	663	151	151	
150-150-16	914	284	396	574	293	104	103	101	100	994	989	977	969	960	943	934	925	917	900	890	874	850	824	806	778	751	721	151	151	
150-150-18	102	315	438	570	293	116	114	113	112	111	110	109	108	107	106	106	104	103	102	100	996	974	943	919	893	867	827	163	163	

Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 77

Tabla XVIII. Perfiles en L

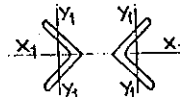


RESISTENCIA A COMPRESION DE UNA BARRA COMPUESTA
POR DOS L NORMALES (extremos articulados)

También vale para L₁L₂ aunque la resistencia en esta disposición es algo menor. Separación de las presillas $\leq 50 \cdot i_{y1}$

$$i_{x1} < i_{x2}$$

$$T_{trab} = 1400 \text{ Kg/cm}^2$$



Angu- lar	S cm ²	R _{x1} cm ³	R _{x2} cm ³	i _{x1} cm	i _{y1} cm	Longitud libre de pandeo L en metros																				a mm		
						100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290		300	320
						45-45-5	860	780	110	170	887	933	892	848	808	762	717	676	634	596	557	512	463	428	391		358	330
45-45-7	117	103	144	167	987	126	121	114	108	102	959	902	846	793	742	675	612	558	510	469	432	399	370	344	321	300	263	50
50-50-5	960	883	139	190	998	109	105	101	967	921	878	835	795	747	707	672	628	592	544	501	457	424	394	368	340	318	282	53
50-50-7	131	130	181	188	996	149	142	137	131	124	118	113	107	101	955	907	850	795	720	662	613	570	524	489	458	424	376	55
55-55-6	126	140	199	208	107	148	144	138	134	129	123	118	112	106	102	971	920	875	826	792	727	669	620	574	542	505	442	59
55-55-8	165	178	251	296	107	167	163	157	152	148	142	137	133	126	122	117	111	105	102	967	926	875	823	771	711	667	585	61
60-60-6	138	170	240	229	117	167	163	157	152	148	142	137	133	126	122	117	111	105	102	967	926	875	823	771	711	667	585	64
60-60-8	181	217	303	326	116	218	211	206	198	192	186	180	174	168	162	155	150	144	138	132	127	122	117	112	105	986	85	66
65-65-7	174	230	324	247	126	214	208	203	198	192	186	180	174	168	162	155	150	144	138	132	127	122	117	112	105	986	85	69
65-65-9	220	284	396	244	125	270	263	257	250	243	235	226	218	211	203	195	188	180	173	166	159	150	144	138	129	121	106	74
70-70-7	188	271	382	267	137	235	231	225	219	214	209	202	196	192	185	178	172	167	160	154	148	143	137	132	126	122	108	76
70-70-9	238	335	470	264	136	295	290	285	278	271	262	254	249	240	231	224	215	210	201	193	185	179	172	165	158	151	135	80
75-75-8	210	352	495	285	146	290	285	280	273	268	262	256	248	242	235	228	221	215	206	200	192	186	179	173	166	161	149	82
75-75-10	282	426	594	293	145	355	349	343	334	326	321	311	304	294	288	278	270	260	253	244	235	227	217	210	201	195	181	

Angular	S cm ²	R _{x1} cm ³	R _{x2} cm ³	i _{x1} cm	i _{y1} cm	Longitud libre de pandeo L en metros																	a mm					
						150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	320						
						80-80-8	246	406	569	306	155	287	280	273	267	261	255	246	239	233	227	218		213	205	198	191	185
80-80-10	322	491	683	303	154	349	344	336	328	318	311	302	292	284	276	266	258	250	243	232	225	209	196	177	160	144	128	87
80-80-12	358	568	793	300	153	414	407	395	386	377	366	356	346	334	324	315	308	293	283	273	264	245	230	206	184	165	147	91
90-90-9	310	578	811	345	176	374	368	362	353	347	339	331	324	317	309	301	293	286	278	270	261	247	231	219	206	191	170	96
90-90-11	374	685	958	341	175	451	440	433	425	416	406	397	388	382	371	361	351	342	331	323	312	294	276	259	245	227	198	98
90-90-13	484	792	1111	382	195	476	467	459	452	444	437	430	420	414	404	396	387	379	371	361	351	334	318	302	286	269	251	107
100-100-10	384	792	1111	382	195	476	467	459	452	444	437	430	420	414	404	396	387	379	371	361	351	334	318	302	286	269	251	109
100-100-12	454	927	129	380	195	562	553	543	534	525	517	508	497	489	481	473	464	453	443	436	424	418	398	383	366	347	330	117
110-110-10	424	975	137	423	216	535	525	521	512	505	497	489	481	473	464	453	443	436	424	418	410	398	383	366	347	330	312	119
110-110-12	502	114	160	421	215	633	623	616	606	601	591	581	571	562	553	545	532	524	513	502	495	472	451	429	411	390	366	127
120-120-11	508	127	179	482	235	658	648	635	629	624	613	608	598	588	578	574	564	556	543	535	527	508	487	468	450	428	409	128
120-120-13	594	147	205	459	234	756	749	742	736	729	717	705	699	687	676	671	655	645	635	625	616	596	575	557	537	519	492	138
130-130-12	600	163	229	500	254	778	771	764	757	743	737	730	724	712	706	694	683	677	667	656	646	627	606	585	564	545	519	140
140-140-13	694	186	260	497	253	900	891	883	875	860	852	845	838	823	816	803	790	784	771	759	743	725	707	689	675	652	627	149
140-140-15	800	232	324	536	273	105	104	103	102	101	100	991	982	966	957	941	933	926	911	903	888	862	842	818	789	751	732	151
140-140-17	900	258	359	533	272	118	117	116	115	114	112	111	111	109	108	106	105	103	102	102	100	970	940	907	888	852	813	159
150-150-14	806	252	354	577	294	106	105	104	104	103	102	102	999	990	981	973	964	948	940	933	917	903	875	855	830	806	773	161
150-150-16	914	284	396	574	293	121	120	118	117	116	115	114	113	112	111	110	109	108	107	105	104	102	992	962	941	908	876	161
150-150-18	102	315	438	570	293	135	134	132	131	130	129	128	127	125	124	123	121	120	119	117	116	113	110	107	104	101	965	163

Fuente: Prens, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas, p. 78

CONCLUSIONES

1. El cálculo de construcciones soldadas se realiza tomando en cuenta las cargas que deben soportar las estructuras obteniendo los esfuerzos que resistirá cada elemento en su interior. Y así, determinar el perfil del material por utilizar. También se obtiene la longitud necesaria de la soldadura al unir cada elemento.
2. Para el diseño de construcciones soldadas se toma como punto de partida el cálculo analítico de los esfuerzos y reacciones generadas por las cargas que soportará la estructura, lo que conducirá a la representación gráfica por medio de planos para su posterior fabricación.
3. En la fabricación de recipientes a presión de pared delgada, se debe calcular el espesor de pared de acuerdo con la presión de almacenamiento del gas y el radio interno del recipiente tomando en cuenta las tensiones tangenciales que se dan dentro de éste; porque éstas son mucho mayores que las tensiones longitudinales. Al unir las partes a soldar es importante tomar en cuenta una regla principal en el ensamble, que dice que en un punto de unión no deben unirse más de dos cordones de soldadura.

4. Para construir las estructuras soldadas es indispensable obtener los planos que proporcionan la información del diseño a construir, la forma y técnica de aplicación de la soldadura a utilizar.
5. Las cerchas son construcciones metálicas, cuyos elementos trabajan a tracción y compresión y constituyen la parte principal de las cubiertas. Sobre ellas se apoyan las correas y transmiten los esfuerzos a estos.
6. En las construcciones soldadas se emplean materiales ferrosos y no ferrosos; en la fabricación de estructuras, recipientes de almacenamiento, en elementos de mecanismos, etc, que son la base para el ensamble de elementos de soldadura.
7. El diagrama de Schaeffler proporciona, con anterioridad, la composición química de la estructura de una soldadura para unir dos metales disímiles y selecciona el tipo de materia de aporte apropiado.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener el material o perfil adecuado para la construcción de una estructura, deben calcularse los esfuerzos que soportará cada elemento de la estructura de acuerdo a las cargas aplicadas sobre la misma.
2. Para aplicar el procedimiento adecuado y la técnica de soldadura en el diseño de una estructura, deben utilizarse los planos que guían el proceso.
3. Para la fabricación de un recipiente a presión, debe tomarse en cuenta que al unir cada uno de sus elementos no deben encontrarse más de dos cordones de soldadura en un mismo punto.
4. El tipo de junta a utilizar en uniones de recipientes a presión, es la junta a tope por su mayor resistencia a altas presiones.
5. De acuerdo con las cargas a aplicar sobre las cerchas o estructuras, determinar su diseño.

6. Según los esfuerzos que el material de la construcción debe resistir, de la aplicación a la que va dirigida, y a través del cálculo analítico se elegirá el material a utilizar.

7. Al soldar metales disímiles como aceros al carbono con aceros inoxidable, es necesario tomar como guía el diagrama de Schaeffler que dará una solución de las condiciones a utilizar para hacer la unión soldada.

8. Es indispensable usar los conocimientos de los materiales, así como de los comportamientos de los mismos, estudiando sus propiedades, características, resistencias, tipos de ensayos, designaciones de cada material y familiarizarse con los perfiles comerciales, para aplicarlos en el diseño y el cálculo de las estructuras y determinar el material adecuado para su fabricación, en la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ferdinand L. Singer. **Resistencia de materiales.** (3ra. Edición; México: Editorial Harla, 1982), p. 406.
2. Theodore Baumeister. "Diseño estructural de edificios". **Manual del ingeniero mecánico.** (volumen III (3), 1992), pp. 12-33.
3. Henry Horwitz. **Soldadura aplicaciones y práctica.** (México: Editorial Alfaomega, 1997), p.3.
4. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá: Electromanufacturas, 1997), p. 2.
5. Theodore Baumeister. "Diseño estructural de edificios". **Manual del ingeniero mecánico.** (volumen III (3), 1992), pp. 13-29.
6. Mikell P. Groover. **Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas.**(México: Editorial Prentice Hall, 1997), p. 713.
7. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), pp. 2-3.
8. Mikell P. Groover. **Fundamentos de manufactura moderna; materiales, procesos y sistemas.** (México: Editorial Prentice-Hall, 1997), pp.714-715.

9. Mikell P. Groover. **Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas.** (México: Editorial Prentice-Hall, 1997), pp. 732-733.
10. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), p. 22.
11. Henry Horwitz. **Soldadura aplicaciones y práctica.** (México: Editorial Alfaomega, 1997), p. 53.
12. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), pp. 116-117.
13. Ibid., p. 119.
14. Ibid., pp. 121-122.
15. **Calificación de soldadura eléctrica.** (Barranquilla, Colombia:SENA,1996), pp.19 y 25.
16. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), pp. 122-123.
17. Ibid., pp. 126-134.
18. Ibid., pp. 20-21.
19. Ibid., pp. 148-150.

20. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), pp. 22-25.
21. *Ibid.*, pp. 92-102.
22. *Ibid.*, pp. 153-154.
23. Henry Horwitz. **Soldadura aplicaciones y práctica.** (México: Editorial Alfaomega, 1997), pp. 18-25.
24. *Ibid.*, pp. 14-15, 727, 739.
25. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), pp. 139-144.
26. Mikell P. Groover. **Fundamentos de manufactura moderna.** (1a. Edición, México: Editorial Prentice-Hall, 1997), pp. 759-760.
27. *Ibid.*, pp. 733-734.
28. Instituto de soldadura. **Procesos de soldadura MIG-MAG.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, abril/junio 1998), p. 3.
29. SENA. **Soldadura al Arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG.** (Barranquilla, Colombia, 1998), pp.2-6.
30. *Ibid.*, pp. 9-12.

31. **SENA. Soldadura al arco eléctrico bajo gas de protección MIG-MAG.** (Barranquilla, Colombia, 1998)pp. 39-42.
32. *Ibid.*, pp. 45-47.
33. *Ibid.*, pp. 30-34.
34. *Ibid.*, pp. 50-55.
35. **Soldaduras especiales, electrodos INFRA.** (s.f México: <http://www.infra.com.mx/soldadue.html>. 1999) pp. 1-3.
36. **Modos de transferencia en GMAW (MIG-MAG).** (Santafé de Bogotá, Colombia: Instituto de Soldadura, No. 21: 5.) p. 5.
37. D. Lutjen- J. Ross. **Dibujo técnico para la industria.** (República Federal de Alemania: editorial Edibosco, GTZ, 1985), pp. 6-7.
38. *Ibid.*, pp.10-11.
39. *Ibid.*, pp. 8-9.
40. Henry Horwitz. **Soldadura aplicaciones y práctica.** -(México: Editorial Alfaomega, 1997), pp. 26-27.
41. *Ibid.*, pp. 40-41.
42. Joseph Edward Shigley. **Diseño en ingeniería mecánica.** (5ta. Edición, México: Editorial Mcgraw-Hill, 1990), pp. 433-434.

43. Henry Horwitz. **Soldadura aplicación y práctica.** (México: Editorial Alfaomega, 1,997) pp. 27-30.
44. Ibid., pp. 31-32.
45. Ibid., pp. 33-34.
46. Ibid., pp. 34-39.
47. Ibid., pp. 39-45.
48. Ibid., pp. 46-47.
49. Howard B. Cary. **Manual de soldadura moderna.** (2a. Edición, México: Prentice-Hall, 1980), pp. 785-786.
50. Thomas E. French. **Dibujo de ingeniería.** (2a. Edición, México: Editorial Hispanoamérica, 1972), pp. 592-596.
51. Ibid., pp. 592-597.
52. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), pp. 78-79.
53. Ibid., pp. 80-81.
54. SENA. **Técnicas de fabricación.** (Barranquilla, Colombia: SENA 1998), pp. 5-7.

55. West-Arco. **Manual de soldadura.** (Santafé de Bogotá, Colombia: Electromanufacturas, 1997), pp. 81-83.
56. Ibid., pp. 84-86.
57. Ibid., p. 103.
58. Ibid., pp. 106 –107 .
59. Henry Horwitz. **Soldadura aplicaciones y práctica.** (México: Alfaomega, 1,997), pp. 515 – 516.
60. Ibid., pp. 517–518.
61. Ibid., pp. 520–521.
62. Ibid., pp. 522-525.
63. Ibid., p. 526.
64. Ibid., pp. 527-528.
65. Ibid., pp. 528-529.
66. Ibid., p. 530.
67. Ibid., pp. 531-532.

68. Henry Horwitz. **Soldadura aplicaciones y práctica.** (México: Alfaomega, 1997), pp. 533-536.
69. Ibid., p. 491.
70. Ibid., pp. 494-495.
71. Ibid., pp. 500-501.
72. Ibid., p. 502.
73. Ibid., p. 503.
74. Mikell Groover. **Fundamentos de manufactura moderna, materiales procesos y sistemas.** (1era. Edición, México: Prentice-Hall, 1997), p. 126.
75. **Seminario taller soldadura aceros inoxidable.** (Barranquilla, Colombia: Asociación Colombiana de Soldadura, 1998), pp. 13-15.
76. Ibid., pp. 17-20.
77. Ibid., pp. 4-6.
78. Ibid., pp. 25-27.

79. **Seminario taller soldadura aceros inoxidable.** (Barranquilla, Colombia: Asociación Colombiana de Soldadura, 1998), pp. 31-35.
80. Ibid., pp. 36-38.
81. **Soldaduras especiales INFRA.** (s.f. México, INFRA, 3p.<http://www.infra.com.mx/soldadue.html>) p. 2.
82. Henry Horwitz. **Soldadura aplicaciones y práctica.** (México: Editorial Alfaomega, 1997), p. 638.
83. Amira Prens. **Cálculo y diseño de construcciones soldadas.** (Barranquilla, Colombia: SENA, 1998), p. 22.
84. Ibid., p. 23.
85. Ibid., p. 24.
86. Ibid., p. 25.
87. Ibid., p.26.
88. Ibid., p. 27.
89. Ibid., pp. 28-29.
90. Ibid., pp. 30-31.

91. Amira Prens. **Cálculo y diseño de construcciones soldadas.**
(Barranquilla, Colombia: SENA, 1998), pp. 32-34.
92. Ibid., p. 35.
93. Ibid., pp. 36-41.
94. Ibid., p. 45.
95. Ibid., pp. 46-47.
96. Ibid., pp. 48-49.
97. Ibid., pp. 50-52.
98. Ibid., pp. 53-54.
99. Ibid., pp. 53-55.
100. Ibid., pp. 56-59.
101. Ibid., pp. 60-61.
102. Ibid., pp. 62-63.
103. Ibid., p. 10.

104. Amira Prens. **Cálculo y diseño de construcciones soldadas.**
(Barranquilla, Colombia: SENA, 1998), pp. 10-12.
105. Ferdinand P. Beer. **Mecánica vectorial para ingenieros.** (6ta. Edición,
Madrid, España: Mcgraw-Hill, 1997), pp. 344-345.
106. *Ibid.*, pp. 346-347.
107. Amira Prens. **Cálculo y diseño de construcciones soldadas.**
(Barranquilla, Colombia: SENA, 1998), pp. 68-71.
108. *Ibid.*, pp. 76-77.
109. *Ibid.*, pp. 78-80.
110. *Ibid.*, pp. 83-85

BIBLIOGRAFÍA

1. **CALIFICACIÓN de soldadura eléctrica.** Barranquilla Colombia, SENA. 1996, p.160
2. 2DO. CONGRESO colombiano de soldadura. **Manual de referencia para inspectores de construcciones soldadas.** Santafé de Bogotá, Colombia, 1992, tecnicontrol., p.41.
3. **ELECTRODOS, soldaduras especiales.** s.f. México, infra, p. 2, <http://www.infra.com.mx/soldadue.html>.
4. FERDINAND P. Beer. **Mecánica vectorial para ingenieros.** 6ta. edición Madrid, España, Mcgraw-Hill., 1997, p. 983.
5. GROOVER, Mikell P. **Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas.** México, D.F., Editorial Prentice-Hall. 1997., p. 1062 .
6. HORWITZ, Henry. **Soldadura aplicaciones y práctica.** México, D.F., Editorial Alfaomega. 1997, p. 786.
7. MIRANDA, M. Prisco, R. **Gases y equipo para soldadura y corte oxiacetilénicos.** Santafé de Bogotá, Colombia.,Editorial Aga-fano, S.A., 1995, p. 82.
8. **MODOS de transferencia en GMAW (MIG/MAG).** Santafé de Bogotá, Colombia, instituto de soldadura, 1998, No. 21:4.

9. **PRENS, Amira. Cálculo y diseño de construcciones soldadas.** Barranquilla, Colombia, Editorial SENA, 1998, p. 90.
10. **PROCESOS de soldadura MIG/MAG.** Santafé de Bogotá, Colombia, instituto de soldadura. 1998, No. 21:3.
11. **PROCEDIMIENTO para soldar lámina galvanizada con proceso GMAW cal. 18 a cal. 10.** Santafé de Bogotá, Colombia., instituto de soldadura, 1998, No. 21:6.
12. **SEMINARIO taller soldadura aceros inoxidables.** Barranquilla, Colombia, asociación colombiana de soldadura. SENA, 1998, p. 43.
13. **SHIGLEY, Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica.** 5ta. edición. México. Editorial Mcgraw-Hill, 1997, p. 883.
14. **SOLDADURA al arco eléctrico bajo gas de protección MIG/MAG.** Barranquilla, Colombia, SENA, 1998, p.175.
15. **SOLDADURAS especiales.** s.f. s.l. eutectic. 2 p.
<http://www.rubycom.com/itco/eutectic.html>.
16. **SOLDADURA GMAW (MIG/MAG), Defectos, posibles causas y acciones correctivas.** Santafé de Bogotá, Colombia, instituto de soldadura, 1998, No. 21:5.
17. **WEST-ARCO, Catálogo resumido de productos West-arco.** Santafé de Bogotá, Colombia, electromanufacturas, 1997, p. 24.
18. **WEST-ARCO, Manual de soldadura.** Santafé de Bogotá, Colombia, electromanufacturas, 1997, p. 188.