



**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

---

Facultad De Ingeniería

**Colegio De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica**

**Evaluación De Soldaduras De Filete Con Penetración  
Completa Por Proceso FCAW Autoprotegido Mediante  
Líquidos Penetrantes**

**Tesis**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**Licenciado En Ingeniería Mecánica Y Eléctrica**

Presenta:

**Contreras Hernández Oscar Uriel**

Matricula:

**201526735**

Director:

**M.I. Fernando Osvaldo González Manzanilla**

Puebla, Puebla.

Septiembre 2022

# EVALUACIÓN DE SOLDADURAS POR PROCESO FCAW



“HUP, 50 años de enseñanza y salud”

Oficio No. SAC/1716/2022

**C. Oscar Uriel Contreras Hernández, -201526735-  
Pasante de la Licenciatura en Ingeniería  
Mecánica y Eléctrica  
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“EVALUACIÓN DE SOLDADURAS DE FILETE CON PENETRACIÓN COMPLETA POR PROCESO FCAW AUTOPROTEGIDO MEDIANTE LÍQUIDOS PENETRANTES.”

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Asesor de tema al Mtro. Fernando Osvaldo González Manzanilla.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente  
“Pensar bien para vivir mejor”  
H. Puebla de Z. a 13 de septiembre de 2022

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora  
Director



M'ACGZ/M'VGL/barv  
C.c.p. Archivo

Facultad  
de Ingeniería

Bld. Valsequillo y Av. San Claudio  
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

# EVALUACIÓN DE SOLDADURAS POR PROCESO FCAW

**M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora**  
**Director de la Facultad de Ingeniería**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**P r e s e n t e.**

El que suscribe: Mtro. Fernando Osvaldo González Manzanilla, asesor del tema de tesis:

"EVALUACIÓN DE SOLDADURAS DE FILETE CON PENETRACIÓN COMPLETA POR PROCESO FCAW AUTOPROTEGIDO MEDIANTE LÍQUIDOS PENETRANTES."

Presentada por el C. Oscar Uriel Contreras Hernández -201526735-, pasante del Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y en atención al oficio No. SAC/1716/2022 con fecha de emisión 13 de septiembre de 2022, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente  
"Pensar bien, para vivir mejor"  
H. Puebla de Z. a de 14 de septiembre de 2022



Mtro. Fernando Osvaldo González Manzanilla  
Asesor de Tema

D'MSV/BARV  
C.c.p. Archivo

---

**Dedicatoria**

A mi madre Bárbara Hernández Castillo.

Por todo tu esfuerzo, apoyo incondicional, tus palabras de aliento, todo lo que soy es gracias a ti. Mis palabras jamás bastaran para expresarte mi agradecimiento.

Este anhelo que hoy se cumple es por y para ti.

*El único modo de predecir el futuro es organizarse y hacer eso que quieres que ocurra.*

Antonio Gramsci

## EVALUACIÓN DE SOLDADURAS POR PROCESO FCAW

### **Agradecimientos**

*Respetuosamente:*

- A la Doctora Amparo Espinosa Rugarcía y a la Fundación Espinosa Rugarcía por las becas y el apoyo que me han otorgado a lo largo de mis años de estudio.
- A la Licenciada Alejandra Montero Clavel (QEPD) por todo su apoyo incondicional a mí y a mi madre, siempre la llevare en mi corazón.
- A la Contadora Rosario Sill Salazar por el apoyo brindado a lo largo de los años en tantas situaciones difíciles.
- A la Licenciada Paulina Bianchini por su apoyo y paciencia a lo largo de estos años.
- A la Licenciada Elizabeth Rugarcía Christianson por sus atenciones y apoyo incondicional.
- A todo el equipo de la Fundación Espinosa Rugarcía por su apoyo y amabilidad.

*De Igual Manera Reitero Mis Agradecimientos:*

- Al Maestro Fernando Osvaldo González Manzanilla por su valioso apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo, sin su colaboración nada de esto hubiera sido posible.
- A mis Sinodales por su amable tiempo y disposición para la lectura, revisión y evaluación de este trabajo.
- Al Profesor Guillermo Arturo Peña García por el apoyo, consejos y conocimientos en soldadura que me han permitido mejorar como profesionista.
- Al CECATI 18 por el préstamo de sus instalaciones y equipo para el desarrollo de este trabajo.
- A mis compañeros soldadores del CECATI 18 por su colaboración en este trabajo y por su amistad a lo largo de estos meses.
- A la Abogada Rosa Margarita Prisco Hernández por su asesoría y tiempo a lo largo de esta travesía, te debo mucho.
- A Aylin Guadalupe Trinidad Moreno, gracias por ser mi mejor amiga, apoyarme, darme ánimos y siempre estar para mí, eres una gran inspiración.

## Resumen

El proceso de soldadura con electrodo de núcleo fundente autoprotegido (FCAW-S), a pesar de ser un proceso comercial y conocido no cuenta con un uso ampliamente difundido al menos en México, principalmente por su costo. Es por ello por lo que a pesar de que AWS ha clasificado las discontinuidades existentes en el proceso FCAW en general (FCAW-G y FCAW-S), no existe gran cantidad de bibliografía referente al estudio de las discontinuidades en el proceso con autoprotección (FCAW-S).

En el presente trabajo de tesis se evaluaron soldaduras de filete en una junta con penetración completa en la posición 3F vertical ascendente haciendo uso del proceso de soldadura FCAW-S y el electrodo E71T-11 mediante la inspección visual y el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes. Se presentan los resultados referentes a la inspección visual y las dimensiones reales de las discontinuidades localizadas en conjunto con el uso del ensayo no destructivo por líquidos penetrantes removibles con solvente que determinan en función de la intensidad de su color la profundidad de una discontinuidad existente.

Para esta tesis se desarrolló un plan de soldadura con base en lo planteado según AWS en el código AWS D1.1, el cual parte desde la selección de un metal base, hasta el uso de los criterios de evaluación para una soldadura terminada, donde cada punto requerido para completar el plan de soldadura fue tomado de la norma competente a dicho punto, las normas usadas provienen de AWS, ASME, ASNT y ASTM. El plan de soldadura se desarrolló con base en dichas normas y con el objetivo de presentar la realidad más cercana de la vida diaria del inspector de soldadura en campo.

Finalmente se obtuvieron datos que permitieron determinar para este trabajo la relación que existe entre la posición en que se aplicó la soldadura y determinadas discontinuidades propias del proceso FCAW-S a modo de poder establecer la relación “posición-soldadura” previamente planteada.

### **Abstract**

The self-shielded flux cored electrode welding process (FCAW-S), in spite of being a commercial and well-known process, is not widely used, at least in Mexico, mainly because of its cost. For this reason, although AWS has classified the discontinuities existing in the FCAW process in general (FCAW-G and FCAW-S), there is not a large amount of bibliography referring to the study of discontinuities in the self-shielded process (FCAW-S).

In this thesis work, fillet welds in a fully penetrated joint in the 3F vertical upward position were evaluated using the FCAW-S welding process and the E71T-11 electrode by means of visual inspection and non-destructive liquid penetrant testing. The results of the visual inspection and the actual dimensions of the localized discontinuities are presented in conjunction with the use of the non-destructive solvent removable liquid penetrant test that determines the depth of an existing discontinuity based on the intensity of its color.

For this thesis a welding plan was developed based on the AWS D1.1 code, which starts from the selection of a base metal, to the use of the evaluation criteria for a finished weld, where each point required to complete the welding plan was taken from the competent standard for that point, the standards used come from AWS, ASME, ASNT and ASTM. The welding plan was developed based on these standards and with the objective of presenting the closest reality of the daily life of the welding inspector in the field.

Finally, data were obtained to determine the relationship between the position in which the welding was applied and certain discontinuities typical of the FCAW-S process in order to establish the "position-welding" relationship previously proposed.

**Contenido**

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Abstract</b> .....	2
<b>Contenido</b> .....	3
<b>Índice De Figuras</b> .....	10
<b>Índice De Tablas</b> .....	14
<b>Capítulo 1 Protocolo De Tesis</b> .....	18
<b>Problema De Investigación</b> .....	19
<b>Justificación</b> .....	20
<b>Objetivos De La Investigación</b> .....	20
<b>Objetivo General</b> .....	20
<b>Objetivos Específicos</b> .....	20
<b>Pregunta De Investigación</b> .....	21
<b>Marco Teórico</b> .....	21
<b>Arco Eléctrico</b> .....	21
<b>Soldadura Por Arco Eléctrico</b> .....	22
<b>Soldadura Por Arco Con Electrodo De Núcleo Fundente</b> .....	22
<b>Discontinuidades Presentes En Los Procesos De Soldadura</b> .....	27
<b>Discontinuidades Localizables En El Proceso De Soldadura FCAW</b> .....	27
<b>Ensayos No Destructivos</b> .....	28
<b>Principio Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes</b> .....	30
<b>Alcances Y Limitaciones</b> .....	31
<b>Alcances</b> .....	31
<b>Limitaciones</b> .....	32
<b>Cronograma De Actividades</b> .....	33
<b>Definición De Términos</b> .....	34

<b>Capítulo 2 Introducción Al Tema .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 Clasificación Establecida Por AWS Para El Proceso FCAW.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2 Proceso De Soldadura Por Arco Con Electrodo De Núcleo Fundente Con     Protección Gaseosa .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.1 Electrodos De Núcleo Fundente Con Protección Gaseosa.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3 Proceso De Soldadura Por Arco Con Electrodo De Núcleo Fundente     Autoprotegido .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.1 Electrodos De Núcleo Fundente Autoprotegidos.....</b>	<b>44</b>
<b>2.4 Parámetros Generales De Operación Para El Proceso FCAW .....</b>	<b>46</b>
<b>2.4.1 Polaridades En Las Máquinas Soldadoras De Corriente Directa .....</b>	<b>46</b>
<b>2.4.1.1 Polaridad Directa .....</b>	<b>46</b>
<b>2.4.1.2 Polaridad Invertida .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4.2 Modo De Transferencia De La Soldadura Al Metal Base .....</b>	<b>48</b>
<b>2.4.2.1 Globular .....</b>	<b>48</b>
<b>2.4.2.2 Pulverizada .....</b>	<b>49</b>
<b>2.4.2.4 Por Corto Circuito.....</b>	<b>50</b>
<b>2.5 Proceso FCAW Y Sus Discontinuidades Superficiales .....</b>	<b>51</b>
<b>2.5.1 Discontinuidad Y Defecto .....</b>	<b>51</b>
<b>2.5.1.1 Discontinuidad.....</b>	<b>51</b>
<b>2.5.1.2 Defecto.....</b>	<b>51</b>
<b>2.5.2 Porosidad .....</b>	<b>51</b>
<b>2.5.3 Inclusión De Escoria .....</b>	<b>53</b>
<b>2.5.4 Fusión Incompleta.....</b>	<b>55</b>
<b>2.5.5 Penetración Incompleta De La Junta .....</b>	<b>56</b>
<b>2.5.6 Socavación.....</b>	<b>57</b>
<b>2.5.7 Traslape .....</b>	<b>59</b>

<b>2.5.8 Grietas</b> .....	60
<b>2.6 Líquidos Penetrantes Y Su Clasificación</b> .....	64
<b>2.6.1 Líquidos Penetrantes Visibles</b> .....	64
<b>2.6.2 Líquidos Penetrantes Fluorescentes</b> .....	66
<b>2.6.3 Ventajas Y Desventajas Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes</b> .....	67
<b>Capítulo 3 Metodología</b> .....	69
<b>3.1 Metales Base Aprobados Por AWS</b> .....	70
<b>3.1.1 Metal Base Seleccionado</b> .....	73
<b>3.2 Criterios Para La Realización De Soldaduras De Filete En Juntas Con Penetración Completa Establecidos Por AWS</b> .....	75
<b>3.2.1 Soldadura De Filete</b> .....	75
<b>3.2.2 Posiciones Establecidas Para La Soldadura De Filete</b> .....	77
<b>3.2.3 Juntas Establecidas Para La Soldadura De Filete</b> .....	80
<b>3.2.4 Juntas Con Penetración Completa</b> .....	81
<b>3.2.5 Junta Propuesta Para La Soldadura De Filete Con Penetración Completa</b> .....	83
<b>3.3 Especificaciones Del Electrodo Con Núcleo De Fundente Autoprotegido Propuesto</b> .....	86
<b>3.3.1 Propiedades Mecánicas Del Electrodo Propuesto</b> .....	87
<b>3.3.2 Composición Química Del Electrodo Propuesto</b> .....	88
<b>3.3.3 Ventajas Y Limitantes Del Electrodo Propuesto</b> .....	89
<b>3.4 Secuencia Propuesta Para Los Pases De Soldadura</b> .....	90
<b>3.4.1 Pase De Raíz</b> .....	90
<b>3.4.2 Pase Caliente</b> .....	91
<b>3.4.3 Pase De Relleno</b> .....	92

<b>3.4.4 Pase De Presentación .....</b>	<b>92</b>
<b>3.4.5 Secuencia Experimental Propuesta Para Los Pases De Soldadura A Realizar .....</b>	<b>93</b>
<b>3.5 Normas Para El Desarrollo Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes.....</b>	<b>96</b>
<b>3.5.1 Norma ASTM E165.....</b>	<b>96</b>
<b>3.5.2 Norma ASTM E1220.....</b>	<b>96</b>
<b>3.5.2.1 Características De Los Líquidos Penetrantes .....</b>	<b>97</b>
<b>3.5.2.2 Procedimiento Para El Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes Por Líquidos Penetrantes Removibles Con Solvente ..</b>	<b>97</b>
<b>3.6 Criterios De Aceptación Para El Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes.....</b>	<b>102</b>
<b>3.6.1 Discontinuidades Susceptibles Al Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes .....</b>	<b>102</b>
<b>3.6.2 Criterios De Aceptación AWS .....</b>	<b>103</b>
<b>3.6.3 Criterio De Aceptación ASME .....</b>	<b>104</b>
<b>Capítulo 4 Desarrollo De La Propuesta Experimental.....</b>	<b>107</b>
<b>4.1 Preparación Del Metal Base .....</b>	<b>108</b>
<b>4.1.1 Corte Del Metal Base.....</b>	<b>108</b>
<b>4.1.2 Biselado Del Metal Base .....</b>	<b>109</b>
<b>4.2 Preparación De Las Probetas .....</b>	<b>114</b>
<b>4.2.1 Posicionamiento De Las Probetas .....</b>	<b>114</b>
<b>4.2.2 Conformación De Las Probetas Mediante Puntos De Soldadura.....</b>	<b>115</b>
<b>4.2.3 Limpieza De Las Probetas Y Puntos De Soldadura Realizados .....</b>	<b>118</b>
<b>4.3 Desarrollo Del Procedimiento De Soldadura .....</b>	<b>119</b>
<b>4.3.1 Especificaciones Para Desarrollar El Procedimiento De Soldadura.</b>	<b>119</b>

<b>4.4 Simbología Para Soldadura Según AWS</b> .....	121
<b>4.4.1 Simbología Para El Plan De Soldadura De Este Trabajo</b> .....	123
<b>4.5 Equipo Y Parámetros Para Desarrollar Los Pases De Soldadura</b> .....	126
<b>4.5.1 Máquina Soldadora Y Alimentador De Alambre</b> .....	126
<b>4.5.2 Parámetros De Operación Sugeridos Por El Fabricante Del Electrodo FCAW-S</b> .....	129
<b>4.6 Desarrollo De Los Pases De Soldadura</b> .....	131
<b>4.6.1 Pase De Raíz</b> .....	131
<b>4.6.2 Primer Pase De Relleno</b> .....	134
<b>4.6.3 Segundo Pase De Relleno</b> .....	136
<b>4.6.4 Pase De Vista</b> .....	138
<b>4.7 Inspección Visual De Las Soldaduras Terminadas</b> .....	142
<b>4.7.1 Medición De La Garganta Real De La Soldadura De Filete</b> .....	142
<b>4.7.2 Medición De La Altura De La Soldadura De Filete</b> .....	143
<b>4.7.3 Observación Y Detección De Discontinuidades En La Soldadura</b> ....	144
<b>4.7.4 Medición De Discontinuidades Localizadas En La Soldadura</b> .....	146
<b>4.8 Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes Removibles Con Solvente</b> .....	147
<b>4.8.1 Pre-Limpieza Mecánica Y Con Solvente</b> .....	148
<b>4.8.2 Aplicación Del Líquido Penetrante</b> .....	150
<b>4.8.3 Tiempo De Permanencia Del Tinte En La Probeta</b> .....	151
<b>4.8.4 Remoción Del Exceso De Penetrante</b> .....	151
<b>4.8.5 Aplicación Del Revelador No Acuoso</b> .....	153
<b>4.8.6 Tiempo De Revelado Del Líquido En Las Probetas</b> .....	154
<b>4.8.7 Examinación De Las Probetas Ensayadas</b> .....	154
<b>4.8.8 Secado Del Revelador En Las Probetas</b> .....	155
<b>4.8.9 Limpieza Posterior Al Ensayo En Solvente</b> .....	155

<b>4.9 Medición De Las Indicaciones Localizadas Con El Ensayo No Destructivo...</b>	155
<b>Capítulo 5 Resultados</b> .....	157
<b>5.1 Resultados De La Inspección Visual</b> .....	158
<b>5.1.1 Dimensiones De La Garganta Real De Las Probetas</b> .....	158
<b>5.1.2 Dimensiones De La Atura De La Soldadura De Filete</b> .....	159
<b>5.1.3 Observación, Detección Y Medición De Las Discontinuidades En Las Soldaduras</b> .....	160
<b>5.1.3.1 Probeta 1</b> .....	160
<b>5.1.3.2 Probeta 2</b> .....	161
<b>5.1.3.3 Probeta 3</b> .....	162
<b>5.1.3.4 Probeta 4</b> .....	162
<b>5.1.3.5 Probeta 5</b> .....	163
<b>5.1.3.6 Probeta 6</b> .....	164
<b>5.1.3.7 Probeta 7</b> .....	165
<b>5.1.3.8 Probeta 8</b> .....	166
<b>5.1.3.9 Probeta 9</b> .....	166
<b>5.1.3.10 Probeta 10</b> .....	167
<b>5.1.3.11 Probeta 11</b> .....	168
<b>5.1.3.12 Probeta 12</b> .....	169
<b>5.1.3.13 Probeta 13</b> .....	169
<b>5.1.3.14 Probeta 14</b> .....	170
<b>5.1.3.15 Probeta 15</b> .....	171
<b>5.1.3.16 Probeta 16</b> .....	172
<b>5.1.3.17 Probeta 17</b> .....	172
<b>5.1.3.18 Probeta 18</b> .....	173
<b>5.1.3.19 Probeta 19</b> .....	174

<b>5.1.3.20 Probeta 20</b> .....	174
<b>5.2 Resultados Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes</b> .....	175
<b>5.3 Uso De Los Criterios De Aceptación AWS Y ASME Para Las Probetas Realizadas</b> .....	177
<b>5.3.1 Resultados De Los Criterios De Aceptación</b> .....	180
<b>5.4 Costo De La Soldadura</b> .....	181
<b>Capítulo 6 Conclusiones</b> .....	185
<b>Trabajos A Futuro</b> .....	189
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	191
<b>Anexos</b> .....	199

### Índice De Figuras

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Arco Eléctrico	21
1.2	Esquema Del Circuito Del Proceso De Soldadura Por Arco Con Alambre Tubular	23
1.3	Construcción Del Electrodo Con Núcleo Fundente	24
1.4	Sección Transversal De Distintas Formas De Construcción De La Soldadura FCAW	26
1.5	Secuencia Básica Del END Por Líquidos Penetrantes	30
2.1	Clasificación Alfanumérica Del Proceso De Soldadura FCAW	36
2.2	Proceso De Soldadura FCAW Con Protección Gaseosa	38
2.3	Tanque De CO2 Con Su Respectiva Franja De Color Para Su Identificación	39
2.4	Proceso De Soldadura FCAW Autoprotegido	42
2.5	Presentación Comercial De La Soldadura FCAW Autoprotegida	43
2.6	Soldadura En Polaridad Directa	46
2.7	Soldadura En Polaridad Invertida	47
2.8	Ejemplos De Transferencia Globular En Soldadura	49
2.9	Ejemplos De Transferencia Pulverizada En Soldadura	50
2.10	Ejemplo De Transferencia Por Corto Circuito En Soldadura	50
2.11	Porosidades En La Soldadura	52
2.12	Inclusión De Escoria	53
2.13	Fusión Incompleta	55
2.14	Penetración Incompleta En Diferentes Juntas	56
2.15	Socavación En Soldadura	58
2.16	Traslape o Traslazo En Soldadura	59
2.17	Grietas En Soldadura	60
2.18	Resultados Del END Por Líquidos Penetrantes Visibles	65
2.19	Resultados Del END Por Líquidos Penetrantes Fluorescentes	66

3.1	Solera Comercial De Acero A36	74
3.2	Soldadura De Filete	75
3.3	Soldadura De Filete Convexa	76
3.4	Soldadura De Filete Cóncava	76
3.5	Soldadura De Filete En Posición 1F	78
3.6	Soldadura De Filete En Posición 2F	79
3.7	Soldadura De Filete En Posición 3F	79
3.8	Soldadura De Filete En Posición 4F	80
3.9	Junta En Esquina	80
3.10	Junta en te (T)	81
3.11	Junta En Traslape	81
3.12	Ejemplos De Soldaduras En Juntas Con Penetración Completa	82
3.13	Ejemplo De Soldadura De Filete En Junta Con Penetración Parcial (PJP)	82
3.14	Parámetros A Considerar Para Desarrollar Una Junta Con Penetración Completa En Metales Base A 90°	83
3.15	Junta Con Penetración Completa Propuesta	84
3.16	Vista Inferior De La Junta Propuesta	85
3.17	Vista Isométrica De La Junta Propuesta	85
3.18	Simulación De La Junta Con Penetración Completa En Posición 3F	86
3.19	Presentación Comercial De La Soldadura FCAW-S Lincoln E71T-11	90
3.20	Vista Amplificada Del Pase De Raíz En Una Junta A Tope	91
3.21	Ejemplo De Pase Caliente	91
3.22	Ejemplo De Pases De Relleno	92
3.23	Ejemplo De Pase De Presentación En Una Junta Con Penetración Completa	93
3.24	Simulación De Los Pases De Soldadura Propuestos	95
3.25	Procedimiento Que Seguir Para La Propuesta Experimental	101

3.26	Presentación Comercial De Los Líquidos Penetrantes Removibles Con Solvente En Spray	102
4.1	Acomodo Del Metal Base Previo Al Corte	108
4.2	Corte Del Metal Base	109
4.3	Preparaciones Comunes Del Metal Base	109
4.4	Obtención De Las Medidas Para Marcar En El Metal Base Y Biselar Posteriormente	110
4.5	Marcado De Las Soleras Previo A La Preparación	111
4.6	Solera Después Del Desbaste	112
4.7	Solera Después Del Desbaste Con Disco Laminado	112
4.8	Distintos Perfiles De La Solera Después De Su Preparación	113
4.9	Comprobación Del Ángulo De Preparación De Las Soleras Biseladas	113
4.10	Preparación De La Junta O Probeta	114
4.11	Preparación Y Corroboración De La Separación Y Alineación De Las Probetas	115
4.12	Conformación De Las Probetas Mediante Puntos De Soldadura	116
4.13	Probeta Con Puntos De Soldadura	116
4.14	Probeta Conformada Con Su Respaldo	117
4.15	Simbología Referente A La Preparación Del Metal Base	121
4.16	Simbología Complementaria	121
4.17	Ubicación De Cada Elemento En El Símbolo De Soldadura	122
4.18	Lados De La Flecha Para Indicar El Lado Donde Debe Realizarse Una Soldadura	123
4.19	Simbología Para El Proceso De Soldadura De Este Trabajo	124
4.20	Preparación Aproximada De La Probeta O Con Fines Informativos En El Plano	125
4.21	Garganta Efectiva Expresada En La Simbología	126
4.22	Maquina Soldadora Con Su Alimentador De Alambre	127
4.23	Conexión Típica Del Alimentador De Alambre En Polaridad Directa	128
4.24	Controles Del Alimentador De Alambre	129

4.25	Ejemplos De Distancia Entre La Punta De Contacto Y El Trabajo (CTWD)	131
4.26	Carrete De Soldadura Montado En El Alimentado De La Máquina Soldadora	132
4.27	Pase De Raíz Antes Y Después De La Limpieza Con Carda	134
4.28	Primer Pase De Relleno Antes Y Después De La Limpieza Con Carda	136
4.29	Segundo Pase De Relleno Antes Y Después De La Limpieza Con Carda	138
4.30	Pase De Vista Antes Y Después De La Limpieza Con Carda	140
4.31	Limpieza De Las Probetas Previo A La Inspección Visual	140
4.32	Soldadores Durante Los Diferentes Pases De Soldadura	141
4.33	Orientación De La Probeta Para Medir La Garganta Real Del Filete	142
4.34	Medición De La Garganta Real De La Soldadura De Filete	143
4.35	Medición De La Altura De La Soldadura De Filete	144
4.36	Intensidad Lumínica De La Lámpara Según La Aplicación Luxómetro	144
4.37	Inspección Visual Y Búsqueda De Discontinuidades Con Lámpara	145
4.38	Detección Y Enumerado De Discontinuidades En Las Probetas	146
4.39	Medición Del Largo De Una Discontinuidad	146
4.40	Medición Del Ancho De Una Discontinuidad	147
4.41	Pre-Limpieza Mecánica De La Probeta	148
4.42	Limpieza De La Probeta Con Solvente	149
4.43	Limpieza De La Probeta Con Limpiador Base Solvente	149
4.44	Aplicación Del Tinte Penetrante En Las Probetas	150
4.45	Probeta Con Tinte Durante El Tiempo De Permanencia	151
4.46	Remoción Del Exceso De Penetrante Con Paño Seco	152
4.47	Remoción Del Exceso De Penetrante Con Paño Húmedo	152
4.48	Aplicación Del Líquido Revelador En La Probeta	153
4.49	Probeta Durante El Tiempo De Revelado	154
4.50	Medición Del Largo De La Indicación	156
4.51	Medición Del Ancho De La Indicación	156

### Índice De Tablas

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Principales Soldaduras Por Arco Eléctrico	22
1.2	Principales Elementos Químicos Del Fundente Para El Proceso FCAW	25
1.3	Discontinuidades En Los Procesos De Soldadura	27
1.4	Discontinuidades Del Proceso FCAW	28
1.5	Ensayos No Destructivos En Soldadura	28
1.6	Discontinuidades Localizables Con El END Por Líquidos Penetrantes	31
2.1	Sistema Clasificadorio De Los Electrodo De Núcleo Fundente	36
2.2	Propiedades Que Aportan Los Gases Protectores Al Proceso FCAW-G	38
2.3	Alambres Tubulares Para El Proceso FCAW-G	40
2.4	Propiedades Que Aporta El Fundente Al Proceso FCAW-S	43
2.5	Alambres Tubulares Para El Proceso FCAW-S	44
2.6	Características De La Polaridad Directa En El Circuito De Soldadura	47
2.7	Características De La Polaridad Invertida En El Circuito De Soldadura	48
2.8	Tipos De Porosidades	52
2.9	Tipos De Inclusiones de Escoria	54
2.10	Factores Que Propician La Penetración Incompleta	57
2.11	Principales Causas De La Socavación O Rebajo	58
2.12	Principales Causas Del Traslape	59
2.13	Clasificación De Las Grietas	61
2.14	Características De Las Diversas Grietas En Soldadura	62
2.15	Causas De Las Grietas	63
2.16	Métodos De Remoción De Los Líquidos Penetrantes	64
2.17	Combinaciones De Líquido Penetrante Visible Y Su Modo De Remoción	65
2.18	Combinaciones De Líquido Penetrante Fluorescente Y Su Modo De Remoción	67
2.19	Ventajas Y Desventajas Del END Por Líquidos Penetrantes	67

3.1	Metales Base Aprobados Por AWS	70
3.2	Composición Química Del Acero ASTM A36	73
3.3	Propiedades Mecánicas Del Acero A36	74
3.4	Definición De Las Posiciones de Soldadura	77
3.5	Equivalencias Dimensionales De La Junta Propuestas	84
3.6	Características Del Electrodo E71T-11	87
3.7	Propiedades Mecánicas Del Electrodo E71T-11	88
3.8	Requerimientos De Composición Química Para El Electrodo E71T-11	88
3.9	Elementos Químicos Por Reportar Si Son Añadidos Al Electrodo E71T-11	89
3.10	Ventajas Y Limitantes Del Proceso De Soldadura Con Electrodo Con Núcleo De Fundente	89
3.11	Pases De Soldadura Y Sus Características	93
3.12	Garganta Efectiva Mínima Para Soldaduras De Filete Según AWS	94
3.13	Características De Aplicación De La Norma ASTM E1220	96
3.14	Características De Los Líquidos Usados Según La Norma ASTM E1220	97
3.15	Procedimiento Para El Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes	98
3.16	Especificaciones Para El Líquidos Penetrante Y Líquidos Revelador	100
3.17	Proceso FCAW-S Y Sus Discontinuidades Susceptibles A Los Líquidos Penetrantes	102
3.18	Discontinuidades Y Su Criterio De Aceptación Según AWS	103
3.19	División De Las Discontinuidades Según ASME	105
3.20	Discontinuidades Y Su Criterio De Aceptación Según ASME	105
4.1	Propiedades Del Electrodo E-6013	115
4.2	Plan De Soldadura Para Este Trabajo	119
4.3	Especificaciones De La Soldadora INFRA-MILLER CP-302	127
4.4	Especificaciones Del Alimentador De Alambre	128
4.5	Parámetros Operaciones Recomendados Para El Electrodo E71T-11	130

4.6	Parámetros Utilizados Para Los Pases De Raíz	132
4.7	Parámetros Utilizados Para El Primer Pase De Relleno	134
4.8	Parámetros Utilizados Para El Segundo Pase De Relleno	136
4.9	Parámetros Utilizados Para Pase De Vista	138
5.1	Dimensiones De Las Gargantas Reales Medidas En Las Soldaduras De Filete	158
5.2	Dimensiones De Las Alturas De Las Soldaduras De Filete	159
5.3	Resultados En La Probeta 1	160
5.4	Resultados En La Probeta 2	161
5.5	Resultados En La Probeta 3	162
5.6	Resultados En La Probeta 4	162
5.7	Resultados En La Probeta 5	163
5.8	Resultados En La Probeta 6	164
5.9	Resultados En La Probeta 7	165
5.10	Resultados En La Probeta 8	166
5.11	Resultados En La Probeta 9	166
5.12	Resultados En La Probeta 10	167
5.13	Resultados En La Probeta 11	168
5.14	Resultados En La Probeta 12	169
5.15	Resultados En La Probeta 13	169
5.16	Resultados En La Probeta 14	170
5.17	Resultados En La Probeta 15	171
5.18	Resultados En La Probeta 16	172
5.19	Resultados En La Probeta 17	172
5.20	Resultados En La Probeta 18	173
5.21	Resultados En La Probeta 19	174
5.22	Resultados En La Probeta 20	174
5.23	Indicaciones Localizadas Con El END En Cada Probeta	175

5.24	Compendio De Las Discontinuidades Localizadas	177
5.25	Discontinuidades Localizadas En Las Probetas	179
5.26	Aplicación De Los Criterios De Aceptación A Las Probetas	180
5.27	Gastos Necesarios Para Este Trabajo	183
5.28	Datos Requeridos Para El Cálculo Del Costo De Una Soldadura	184
5.29	Costos De Soldadura	185

# Capítulo 1

# Protocolo De Tesis

*Un hombre con una idea nueva es un loco hasta que la idea triunfa.*

Mark Twain

### **Problema De Investigación**

El presente trabajo gira en torno a una problemática común que se presenta en los principales procesos de soldadura por arco eléctrico que requieren de un operario (soldador) para su ejecución. En este tipo de soldaduras siempre existe la posibilidad de que aparezcan diversas discontinuidades que con base en el con el tipo de esta, pueden aceptarse o rechazarse, según sea el caso.

Dichas discontinuidades acuerdo con sus características pueden repercutir ya sea solamente de manera estética, o por el contrario representen un riesgo para el correcto funcionamiento que deben dar los cordones de soldadura depositados a una determinada estructura y/o elemento soldado.

Las autoridades encargadas de regir los criterios de aceptación de soldadura han estudiado y clasificado las discontinuidades tal y como han sido observadas en cada proceso de soldadura por arco eléctrico. Sin embargo el problema ya no es su identificación, si no entender las causas que propician su aparición, particularmente haciendo énfasis en las posiciones para realizar soldaduras que han sido establecidas por esas mismas autoridades.

En este trabajo nos enfocaremos particularmente en el proceso de soldadura por arco con electrodo de núcleo fundente autoprotegido (FCAW-S), el cual, se caracteriza por ser un proceso de soldadura semiautomático, utilizado principalmente para la producción en serie, construcción y para realizar soldaduras en sitios donde las condiciones meteorológicas no permiten el uso de soldaduras con protección gaseosa.

Se pretende resolver la problemática referente a las discontinuidades del tipo superficial en este proceso de soldadura, y si las mismas son consecuencia del tipo de posición de soldadura utilizada.

Todo lo anterior haciendo uso de la inspección visual de soldaduras en conjunto con un ensayo no destructivo. Con lo que se busca observar si existe la relación “posición-discontinuidades”, en soldadura.

### **Justificación**

La evaluación de soldaduras normalmente se realiza con ensayos destructivos, sin tomar en cuenta muchas veces la previa existencia de discontinuidades que pudieron ser detectadas con ensayos no destructivos. La localización de discontinuidades superficiales mediante la inspección visual y el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes es una alternativa cuando no se cuenta con el equipo o presupuesto para realizar ensayos destructivos, o para seleccionar solo las soldaduras aprobadas para estos ensayos.

Detectar que discontinuidades superficiales se pueden presentar en cada posición de soldadura permitirá que el personal dedicado a la inspección y ensayo de soldaduras tome conciencia de la posible existencia de determinadas discontinuidades superficiales por posición de soldadura.

### **Objetivos De La Investigación**

#### **Objetivo General**

Evaluar la calidad de las soldaduras de filete con penetración completa en la posición 3F, establecidas por la Sociedad Americana De Soldadura (AWS), para localizar y determinar si las discontinuidades superficiales tienen relación con la posición de soldadura usada, mediante la inspección visual y el Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes Removibles con Solvente.

#### **Objetivos Específicos**

- Realizar soldaduras de filete combinadas con ranura haciendo uso de electrodo de núcleo fundente autoprotegido (FCAW-S) en la posición 3F, con base en los criterios y normativas AWS vigentes.

- Proponer una junta experimental para desarrollar probetas con las características de una junta con penetración completa, tomando como referencia los criterios propuestos por AWS para el desarrollo de soldaduras de filete.

- Evaluar las probetas de soldadura realizadas mediante la inspección visual y el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes removibles con solvente con base a las normativas AWS y ASTM.

- Identificar las discontinuidades localizadas en las probetas, para establecer si existe relación entre la posición de soldadura usada y determinadas discontinuidades superficiales para posteriormente comparar los resultados con los criterios de aceptación de discontinuidades en soldadura establecidos por AWS y ASME.

### **Pregunta De Investigación**

¿Existe relación entre la posición de soldadura usada durante una soldadura con el proceso de soldadura por arco con electrodo de núcleo fundente autoprotegido (FCAW-S) y la aparición de determinadas discontinuidades superficiales?

### **Marco Teórico**

#### **Arco Eléctrico**

Se define al arco eléctrico como una transmisión de energía mediante una nube de plasma que se forma en el espacio entre un conductor energizado, el cual se encuentra expuesto a otro, o a otro equipo aterrizado dentro de los cuales existe suficiente diferencia de potencial [1].



Fig. 1.1 Arco Eléctrico [1].

### Soldadura Por Arco Eléctrico

La soldadura por arco eléctrico (Arc Welding) se define como un grupo de procesos de soldadura que producen coalescencia (fusión) de las piezas de trabajo calentándolas con un arco eléctrico, que pueden o no ser usados con aplicación de presión y con o sin metal de aporte [3].

La fuente que genera el calor (fuente térmica) para los procesos de soldadura de mayor aplicación es el arco eléctrico, debido a que es una de las maneras más sencillas de producir calor en gran intensidad, además de que puede ser dispuesto para transferir metal fundido entre metal base y material o metal de aporte [4].

Dentro de la clasificación dada por AWS, encontramos algunas derivaciones de acuerdo a la protección atmosférica de la soldadura, la tabla siguiente muestra los procesos de mayor uso en la actualidad.

Tabla 1.1. Principales Soldaduras Por Arco Eléctrico [3].

Soldadura Por Arco Eléctrico	
Protección Por Gas	Protección Por Fundente
<b>GTAW:</b> Gas Tungsten Arc Welding (Soldadura por arco metálico con electrodo de tungsteno protegido con gas).	<b>SMAW:</b> Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por arco metálico protegido).
<b>GMAW:</b> Gas Metal Arc Welding (Soldadura por arco metálico con protección de gas).	<b>FCAW:</b> Flux Cored Arc Welding (Soldadura por arco con núcleo de fundente).

### Soldadura Por Arco Con Electrodo De Núcleo Fundente

También denominada soldadura por arco con alambre tubular, de la traducción **Flux Cored Arc Welding (FCAW)**, es uno de los procesos de soldadura por arco donde un electrodo de aportación continua es depositado en el metal base utilizando un arco eléctrico [3].

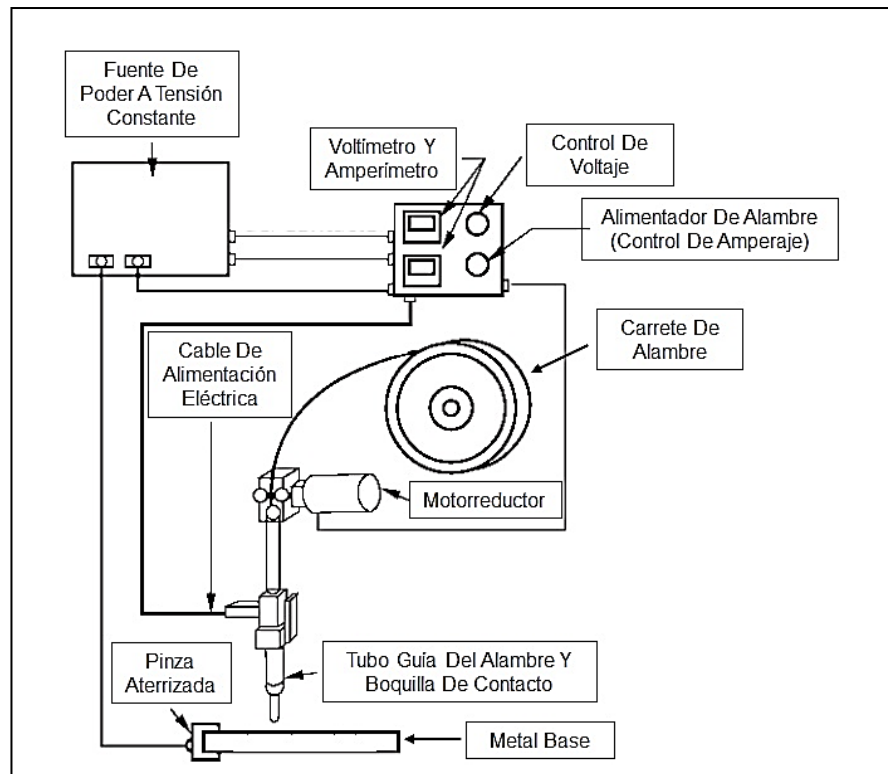


Fig. 1.2 Esquema Del Circuito Del Proceso De Soldadura Por Arco Con Alambre Tubular [5].

La fusión y posterior deposición de la soldadura en el metal base se obtiene debido al calor generado por el arco eléctrico existente entre ambos, donde la protección del cordón de soldadura se debe al fundente contenido por el alambre tubular y que de acuerdo a la clasificación de este se puede combinar adicionalmente con gases protectores [5 y 6].

Se puede hacer una analogía del proceso FCAW con el proceso de soldadura por electrodo revestido (SMAW), en la cual, el electrodo metálico de soldadura usado es un electrodo revestido, pero en el que el revestimiento se localiza dentro del alambre tubular [7].

El electrodo de núcleo fundente o alambre tubular consiste en una cubierta metálica exterior, la cual se rellena con una combinación de fundentes y metales en polvo especiales de acuerdo a la clasificación del alambre tubular [8].

El alambre tubular hueco puede estar elaborado a base de acero de bajo carbono o de alguna aleación en específico, de acuerdo con el fabricante y la clasificación establecida por AWS [9].

Dicha combinación de elementos tienen la función de crear la atmósfera protectora del cordón de soldadura, funcionan como agentes desoxidantes, estabilizadores del arco eléctrico, para ayudar en la reducción de las porosidades y en la formación de la capa de escoria que protege a la soldadura terminada [7].

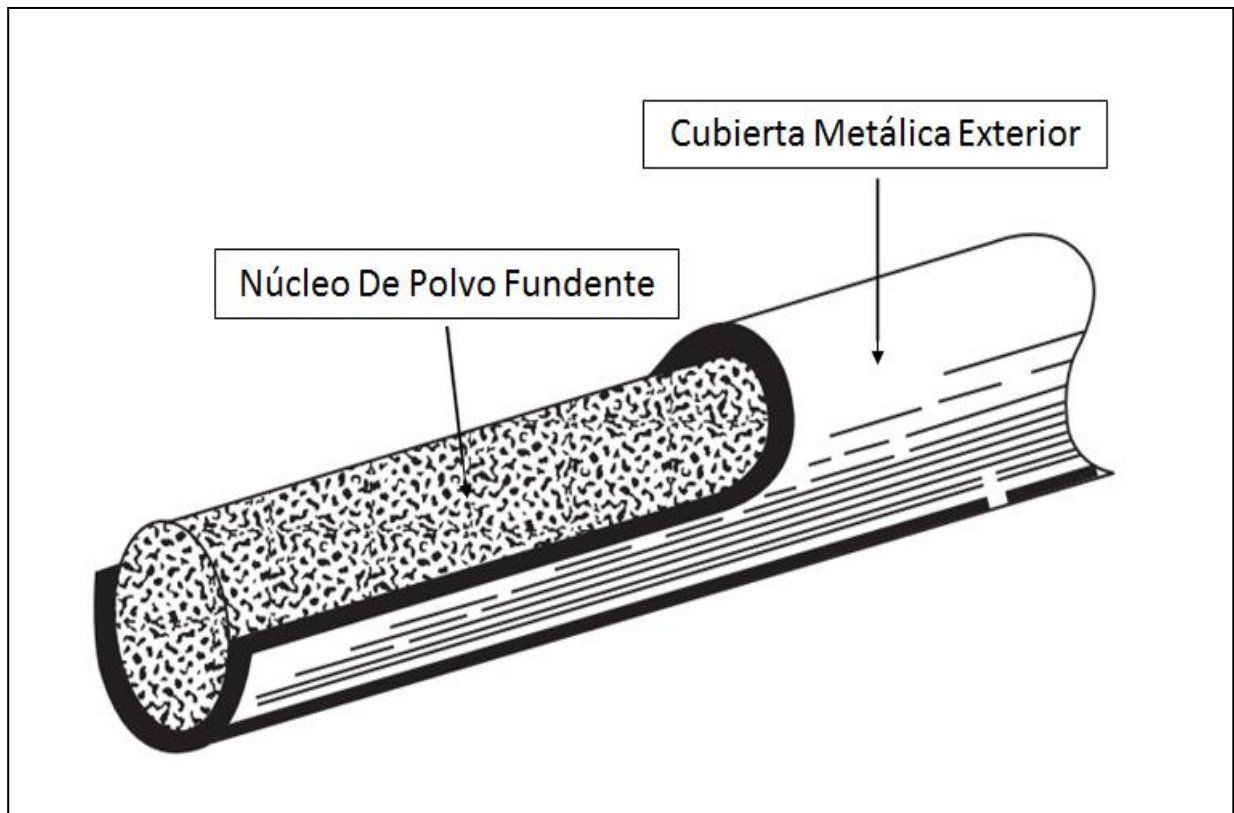


Fig. 1.3 Construcción Del Electrodo Con Núcleo Fundente [8].

Dentro de este proceso de soldadura encontramos propiedades de las soldaduras por arco sumergido (SAW), electrodo revestido (SMAW) y el proceso de micro alambre MIG-MAG (GMAW). El proceso FCAW es similar con el proceso GMAW, ya que ambos son procesos de soldadura semiautomáticos, donde la diferencia radica en el tipo de electrodo que es aplicado en cada proceso en conjunto con la posible adición de una protección gaseosa [6].

En la siguiente tabla se muestran algunos de los principales elementos químicos que los fabricantes agregan al fundente de la soldadura de electrodo con núcleo fundente, es decir lo que puede considerarse la fórmula base de este.

Tabla 1.2. Principales Elementos Químicos Del Fundente Para El Proceso FCAW [9].

<b>Elementos Del Fundente FCAW</b>		
<b>Elemento Químico</b>	<b>Se Presenta En Forma De</b>	<b>Propiedades Que Aporta A La Soldadura</b>
Aluminio (Al)	Metal en polvo.	Como desoxidante y desnitrificante.
Calcio (Ca)	Minerales de fluoruro de calcio (CaF <sub>2</sub> ).	Como agente protector y formador de escoria en la soldadura.
Carbono (C)	Componente de ferroaleación.	Mejorar la dureza y resistencia mecánica.
Circonio (Zr)	Metal en polvo u óxido de circonio.	Como desoxidante, desnitrificante y formador de escoria en la soldadura.
Cromo (Cr)	Metal en polvo o componente de ferroaleación.	Como aleante, para elevar la dureza, resistencia a la corrosión resistencia mecánica y a la deformación.
Hierro (Fe)	Polvo de hierro o componente de ferroaleación.	Como aleante en depósitos a base de materiales no ferrosos o como matriz de aleación en depósitos a base de hierro.
Manganeso (Mn)	Metal en polvo o ferromanganeso.	Como desoxidante, para elevar la dureza, resistencia mecánica y como formador de escoria en la soldadura.
Molibdeno (Mo)	Componente de ferroaleación.	Elevar la dureza, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.
Níquel (Ni)	Metal en polvo.	Como aleante, para elevar la dureza, tenacidad, resistencia a la corrosión y resistencia mecánica.

Potasio (K)	Feldespatos potásicos y silicatos de fritas.	Como formador de escoria y agente estabilizador del arco de soldadura.
Silicio (Si)	Silicatos, feldespatos, ferrosilicio o silicomanganeso.	Como desoxidante y formador de escoria en la soldadura.
Sodio (Na)	Feldespatos sódicos y silicatos de fritas.	Como formador de escoria y agente estabilizador del arco de soldadura.
Titanio (Ti)	Ferrotitanio y mineral de rutilo.	Como desoxidante, desnitrificante, formador de escoria y estabilizador del carbono en aleaciones de acero inoxidable.
Vanadio (V)	Metal en polvo u oxido de vanadio.	Elevar la resistencia mecánica.

La composición del fundente y la manufactura propia del alambre tubular logran que el metal de soldadura se transfiera al metal base de manera similar que en la soldadura con electrodo revestido (SMAW) [7].

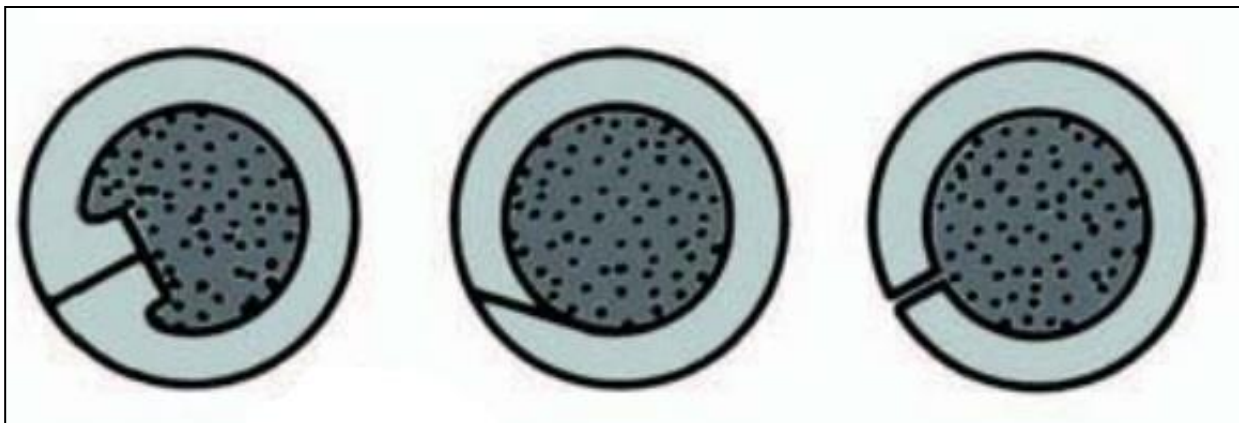


Fig.1.4 Sección Transversal De Distintas Formas De Construcción De La Soldadura FCAW [10].

### Discontinuidades Presentes En Los Procesos De Soldadura

AWS ha establecido una lista de las discontinuidades comunes que tienen a presentarse en la soldadura, particularmente en la posiciones de soldadura de mayor uso (juntas a tope, en esquina, por traslape, en T (te) y de borde).

Dichas discontinuidades pueden aparecer en los diversos procesos de soldadura existentes. En la siguiente tabla se hace una mención general de todas las discontinuidades, para posteriormente hacer referencia a las que competen al proceso de soldadura utilizado en este trabajo.

Tabla 1.3 Discontinuidades En Los Procesos De Soldadura [11].

<b>Discontinuidades En Soldadura</b>	
<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Variaciones De La Discontinuidad (Si Aplica)</b>
Porosidad	Dispersa, agrupada, vermicular, alineada y elongada.
Inclusiones	De escoria y de tungsteno.
Fusión Incompleta	No aplica.
Penetración Incompleta De La Junta	
Socavación	
Falta De Llenado De La Junta	
Traslape	
Grietas (En Frio Y En Caliente)	
Salpicadura	No aplica.
Golpe De Arco	

### Discontinuidades Localizables En El Proceso De Soldadura FCAW

Tabla 1.4. Discontinuidades Del Proceso FCAW [11].

<b>Discontinuidades Localizables</b>						
Porosidad	Inclusión De Escoria	Fusión Incompleta	Penetración Incompleta De La Junta	Socavación	Traslape	Grietas

### Ensayos No Destructivos

De las siglas en ingles NDT (Non-Destructive Testing), hacen referencia al método de examinar algo sin destruirlo. Es decir, son determinados ensayos o pruebas realizados para cuantificar la utilidad, calidad y resistencia de una determinada parte o material sin afectar sus propiedades dimensionales, químicas, mecánicas o su posterior funcionamiento [12, 13 y 14].

En soldadura, este tipo de ensayos son utilizados para detectar discontinuidades en el metal base o en soldaduras terminadas [15].

La siguiente tabla muestra los principales ensayos no destructivos aplicables a los procesos de soldadura.

Tabla 1.5. Ensayos No Destructivos En Soldadura [15, 16, 17, 18 y 19].

<b>END En Soldadura</b>		
<b>Tipo De Ensayo</b>	<b>Capacidad De Detección De Discontinuidades</b>	<b>Limitantes</b>
Visual	Discontinuidades superficiales: soldaduras de mala calidad, socavaciones, falta de penetración, inclusiones de escoria, exceso de soldadura depositada y grietas.	Es difícil detectar discontinuidades con pequeñas dimensiones, las discontinuidades debajo del cordón de soldadura (subsuperficiales) no son detectables.

Electromagnético (Corrientes Eddy)	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales (internos): grietas de diversas dimensiones, orificios e inclusiones de escoria.	Su uso es inviable en geometrías complejas, sirve para localizar discontinuidades sin aportar datos sobre sus dimensiones, solo puede usarse en materiales conductores de electricidad.
Radiográfico	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales: porosidades, grietas, inclusiones de escoria, orificios, falta de fusión y excesos de soldadura depositada en la raíz.	Es difícil detectar grietas delgadas o discontinuidades menores al 2% de la dimensiones totales, deben tomarse radiografías desde distintos ángulos para una óptima detección, este END conlleva riesgos a la salud
Ultrasónico	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales: grietas, inclusiones de escoria, orificios y falta de fusión.	Su uso en geometrías complejas en inviable, la interpretación es compleja, se requieren patrones de referencia, el material a inspeccionar debe poder conducir el sonido.
Partículas Magnéticas	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales cercanas a la cara superficial del cordón de soldadura: traslape, grietas, falta de penetración y falta de fusión	Se limita a materiales magnéticos, deben realizarse dos pruebas a 90° cada una para detectar todas las discontinuidades, pueden existir falsos positivos.

### Principio Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes

Los líquidos penetrantes utilizados en la inspección de soldadura están basados en la capilaridad. La cual consiste en la “fuerza” con que un líquido puede penetrar en diversas discontinuidades o condiciones propias de la superficie donde se aplica y permanecer en ellas cuando se procede con una limpieza superficial del líquido aplicado [13 y 20].

El Ensayo No Destructivo por líquidos penetrantes es uno de los END con mayor antigüedad, pero con amplio uso debido a la facilidad de realizar un ensayo, la confiabilidad de sus resultados, el bajo costo que implica y su versatilidad de uso en distintos materiales (a excepción de materiales porosos) [16 y 19].

La realización de este END consiste en la aplicación de un limpiador al cordón de soldadura, seguido de un tinte penetrante, el cual debido a la capilaridad, se aloja en las discontinuidades existentes.

Para que después de un tiempo determinado (llamado tiempo de permanencia) se proceda a retirar el excedente de tinte penetrante y posteriormente se aplique un líquido revelador que cumple la función de secar y extraer el penetrante de las discontinuidades existentes para que estas sean localizadas y evaluadas [11, 19 y 21].

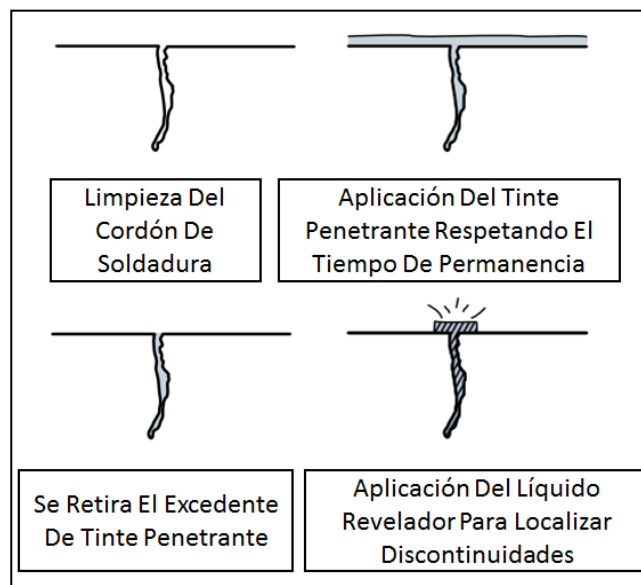


Fig. 1.5 Secuencia Básica Del END Por Líquidos Penetrantes [11].

Con este END se localizan discontinuidades superficiales, en ocasiones llamadas “discontinuidades abiertas a la superficie”. Las cuales son detectadas debido al surgimiento del penetrante alojado en las discontinuidades contra un fondo contrastante aplicado [15 y 19].

En la siguiente tabla se muestran las discontinuidades localizables con este ensayo.

Tabla 1.6. Discontinuidades Localizables Con El END Por Líquidos Penetrantes [11, 14 y 15].

<b>Discontinuidades Abiertas A La Superficie Detectables</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porosidades.</li> <li>• Grietas (Puede ser o no localizadas de acuerdo con sus dimensiones).               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Orificios.</li> <li>• Socavación.</li> <li>• Falta De Fusión.</li> </ul> </li> <li>• Falta De Penetración (Aplica si se inspecciona la raíz del cordón de soldadura).               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclusiones De Escoria.</li> <li>• Traslape.</li> </ul> </li> </ul>

## **Alcances Y Limitaciones**

### **Alcances**

Este trabajo se pretende con base en normativas y criterios vigentes desarrollar lo que se ha denominado un plan de soldadura, el cual pasará por todos los puntos requeridos para llegar a un ensayo no destructivo: la selección de un metal base donde depositar soldadura, el electrodo o metal de aporte a usar y la posición de soldadura por mencionar algunos.

Con todo ello, una vez expuesto el plan de soldadura, el mismo, se llevará a la práctica, siguiendo los pasos propuestos en el plan de soldadura, tales como: la preparación del metal base, conformación de las juntas, realización de la soldaduras, finalizando con un ensayo no destructivo para posteriormente haciendo uso de criterios de aceptación establecidos aceptar o rechazar de manera simbólica las soldaduras como lo haría en una inspección real un inspector

de soldaduras. Con lo que posteriormente se pretende observar mediante la inspección visual y ensayos no destructivos que relación guardan la posición y el proceso de soldadura utilizados, para que con ello una vez realizadas las inspecciones y ensayos se pueda ofrecer un punto de referencia sobre las discontinuidades por posición en soldadura.

### **Limitaciones**

Con este trabajo pretendemos enfocarnos a observar las posibles discontinuidades que pudiesen presentarse en el proceso FCAW-S en la posición 3F al realizar soldaduras multi pases, haciendo uso de un solo tipo de soldadura (Electrodo E71T-11) mediante la inspección visual y el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes.

Por tal razón, este trabajo se limita a:

- Una sola posición de soldadura.
- Un solo electrodo.
- Un solo tipo de inspección y ensayo no destructivo.

**Cronograma De Actividades**

Actividad A Desarrollar	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Capítulo 1 Protocolo De Tesis									
Capítulo 2 Introducción Al Tema									
Capítulo 3 Metodología									
Capítulo 4 Desarrollo De La Propuesta Experimental									
Capítulo 5 Resultado Y Conclusiones									

**Definición De Términos**

ASME: American Society Of Mechanical Engineers (Sociedad Americana De Ingenieros Mecánicos)

AWS: American Welding Society (Sociedad Americana De Soldadura)

FCAW: Flux Cored Arc Welding (Soldadura por arco con núcleo de fundente).

FCAW-S: Self Shielded Flux Cored Arc Welding (Soldadura por arco con núcleo de fundente autoprotegido).

GMAW: Gas Metal Arc Welding (Soldadura por arco metálico con protección de gas).

GTAW: Gas Tungsten Arc Welding (Soldadura por arco metálico con electrodo de tungsteno protegido con gas).

MAG: Metal Active Gas (Soldadura por arco metálico con gas activo).

MIG: Metal Inert Gas (Soldadura por arco metálico con gas inerte).

NTD: Non-Destructive Testing (Ensayos No Destructivos (END))

SAW: Sumerged Arc Welding (Soldadura por arco sumergido).

SMAW: Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por arco metálico protegido).

# Capítulo 2

# Introducción Al

# Tema

*Sólo hay un bien, el conocimiento. solo hay un mal, la ignorancia.*

Sócrates

## 2.1 Clasificación Establecida Por AWS Para El Proceso FCAW

AWS ha establecido un sistema de letras y números para clasificar y poder identificar los distintos electrodos de núcleo fundente existentes, sus características, el modo de emplearlos, así como diversas propiedades particulares de cada uno.



Fig. 2.1 Clasificación Alfanumérica Del Proceso De Soldadura FCAW [22].

En la siguiente tabla se explica el significado de cada letra o dígito según la designación de AWS para los materiales de aporte para el proceso FCAW.

Tabla 2.1. Sistema Clasificador De Los Electrodos De Núcleo Fundente [22].

<b>Letra O Dígito Asignado</b>	<b>Definición Según AWS</b>
E	La letra <b>E</b> designa al alambre tubular como un electrodo.
X	El primer dígito indica la resistencia a la mínima a la tracción multiplicando dicho dígito por 10000 PSI (KSI).
X	El segundo dígito indica las posiciones preestablecidas en que es aplicable dicha soldadura.  0 indica la aplicación en posiciones planas y horizontales.  1 indica la aplicación en todas las posiciones.
T	La letra <b>T</b> hace referencia de que el material de aporte es un electrodo tubular con núcleo de fundente.
X	El tercer dígito, el cual puede ir del 1 al 14, o sustituirse por las letras "G" o "GS", indica las características específicas de uso del electrodo, tales

	<p>como: polaridad, uso de gas protector y si es una soldadura apta para múltiples pases.</p> <p>La letra G es indicativa de que la polaridad y otras características no están especificadas.</p> <p>Si seguido de la letra G, se encuentra una S, se hace referencia a una soldadura de pasada única.</p>
X	<p>En este caso se trata de una letra, la cual indica el tipo de gas protector a utilizar, pueden existir metales de aporte con la letra C o M.</p> <p>C indica una protección con gas Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) al 100%.</p> <p>M indica una protección con gas usando una mezcla del 75-80% de Argón (Ar) con el resto de Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).</p> <p>Si no existe alguna de estas letras en la clasificación general, se trata de una soldadura autoprotegida.</p>

## 2.2 Proceso De Soldadura Por Arco Con Electrodo De Núcleo Fundente Con Protección Gaseosa

De la traducción "Gas Shielded Flux Cored Arc Welding" (FCAW-G) hace referencia al proceso de soldadura con alambre tubular que requiere de una protección con atmósfera gaseosa adicional a la que proporciona el fundente contenido en el electrodo [3].

Como se ha mencionado el proceso FCAW-G tiene gran similitud en la forma de aplicación de la soldadura con el proceso GMAW, es decir se trata de procesos semiautomáticos.

La protección gaseosa (Gas-Shielded o Outershielded) se logra usando Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) al 100% o con mezclas de Argón (Ar) y Bióxido De Carbono (CO<sub>2</sub>), donde los porcentajes de cada gas se determinan con base en las especificaciones del fabricante del electrodo [6].

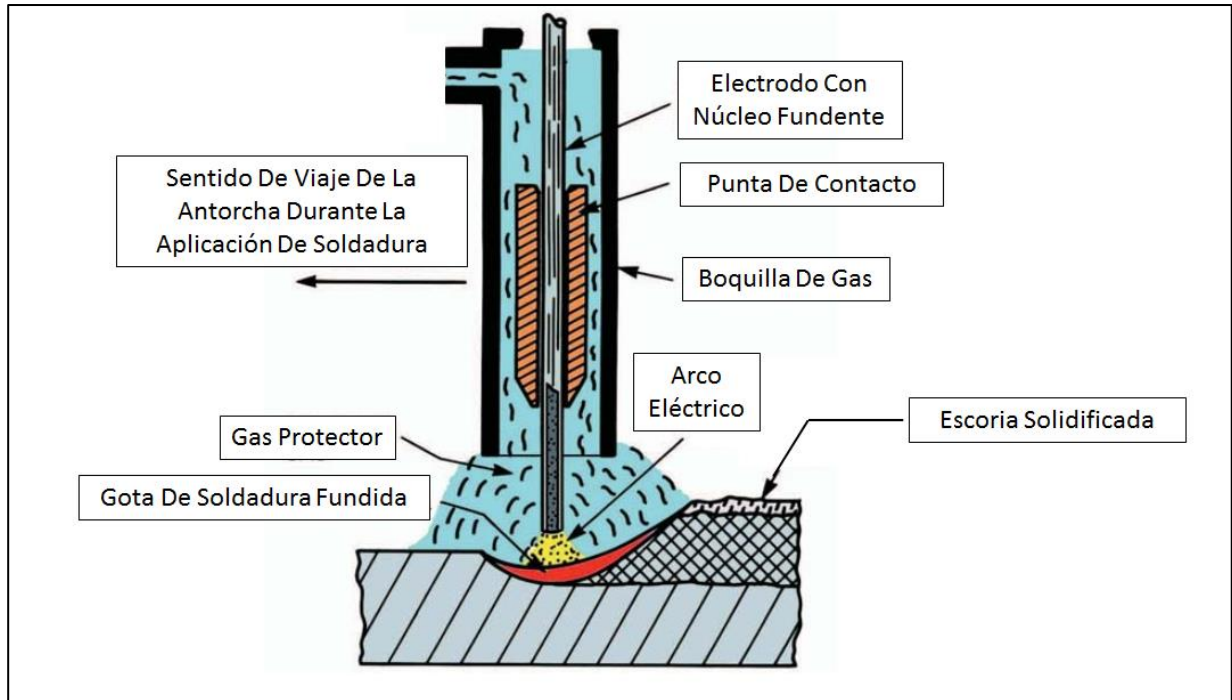


Fig. 2.2 Proceso De Soldadura FCAW Con Protección Gaseosa [10].

Utilizar una protección gaseosa adicional resulta en la mejora de las propiedades mecánicas del cordón de soldadura aplicado en las distintas posiciones requeridas, una alta penetración además de buenos resultados frente a ensayos radiográficos [6 y 8].

Tabla 2.2. Propiedades Que Aportan Los Gases Protectores Al Proceso FCAW-G [6].

<b>Diferentes Protecciones Gaseosas</b>			
<b>CO<sub>2</sub></b>		<b>Mezcla De CO<sub>2</sub> Y Ar</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en los costos al usar un gas que puede usarse en distintos procesos de soldadura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible contaminación de la gota de soldadura fundida con carbono.</li> <li>• Escoria de difícil remoción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la oxidación en la soldadura.</li> <li>• Estabilidad en el arco eléctrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al usarse CO<sub>2</sub> en como parte de la mezcla gaseosa, también existe la posibilidad de contaminación con</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta Penetración en el metal base.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejor acabado del cordón de soldadura.</li> <li>• Escoria de mejor remoción.</li> <li>• Mayor penetración en el metal base.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor contenido de carbono en la gota fundida de soldadura.</li> </ul>
--	--	---	---



Fig. 2.3 Tanque De CO<sub>2</sub> Con Su Respectiva Franja De Color Para Su Identificación [23].

### 2.2.1 Electrodo De Núcleo Fundente Con Protección Gaseosa

Ya que la clasificación dada por AWS para el proceso FCAW en general no separa los alambres tubulares según el tipo de protección con el que cuentan, en la siguiente tabla se muestra los alambres tubulares con protección gaseosa, así como sus características más relevantes.

Tabla 2.3. Alambres Tubulares Para El Proceso FCAW-G [7, 22, 24 y 25].

<b>Proceso FCAW Con Protección Gaseosa</b>					
<b>Clasificación</b>	<b>Posiciones</b>	<b>Gas O</b>	<b>Polaridad</b>	<b>Modo De</b>	<b>Soldadura</b>
<b>AWS</b>	<b>De</b>	<b>Mezcla De</b>		<b>Transferencia</b>	<b>Simple O</b>
	<b>Soldadura</b>	<b>Gas Usada</b>		<b>Al Metal Base</b>	<b>Multi Pases</b>
<b>Digito Designador 1</b>					
E70T-1C	Horizontal y filetes	CO <sub>2</sub>	Polaridad invertida (CDEP)	Pulverizada	Multi pases
E70T-1M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
E71T-1C	Todas las posiciones	CO <sub>2</sub>			
E71T-1M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
<b>Digito Designador 2</b>					
E70T-2C	Horizontal y filetes	CO <sub>2</sub>	Polaridad invertida (CDEP)	Pulverizada	Pase simple
E70T-2M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
E71T-2C	Todas las posiciones	CO <sub>2</sub>			
E71T-2M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
<b>Digito Designador 5</b>					
E70T-5C	Horizontal y filetes	CO <sub>2</sub>	Polaridad invertida (CDEP)	Globular	Multi pases
E70T-5M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
E71T-5C		CO <sub>2</sub>			

E71T-5M	Todas las posiciones	75-80% Ar con CO <sub>2</sub>	Polaridad invertida (CDEP) o Polaridad directa (CDEN)		
<b>Digito Designador 9</b>					
E70T-9C	Horizontal y filetes	CO <sub>2</sub>	Polaridad invertida (CDEP)	Pulverizada	Multi pases
E70T-9M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
E71T-9C	Todas las posiciones	CO <sub>2</sub>			
E71-T9M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
<b>Digito Designador 12</b>					
E70T-12C	Horizontal y filetes	CO <sub>2</sub>	Polaridad invertida (CDEP)	Pulverizada	Multi pases
E70T-12M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			
E71T-12C	Todas las posiciones	CO <sub>2</sub>			
E71T-12M		75-80% Ar con CO <sub>2</sub>			

### 2.3 Proceso De Soldadura Por Arco Con Electrodo De Núcleo Fundente Autoprotegido

El proceso FCAW-S (Self-Shielded Flux Cored Arc Welding) es otra de las variantes existentes en la soldadura por arco con electrodo de núcleo fundente, donde la protección del cordón de soldadura proviene del fundente contenido dentro del alambre tubular [3].

Es decir, cuando las diversas sustancias contenidas en el fundente se descomponen, lo hacen en forma de vapores y gases que cumplen la función del proteger al arco eléctrico y a la gota de soldadura fundida que se va depositando en el metal base [7].

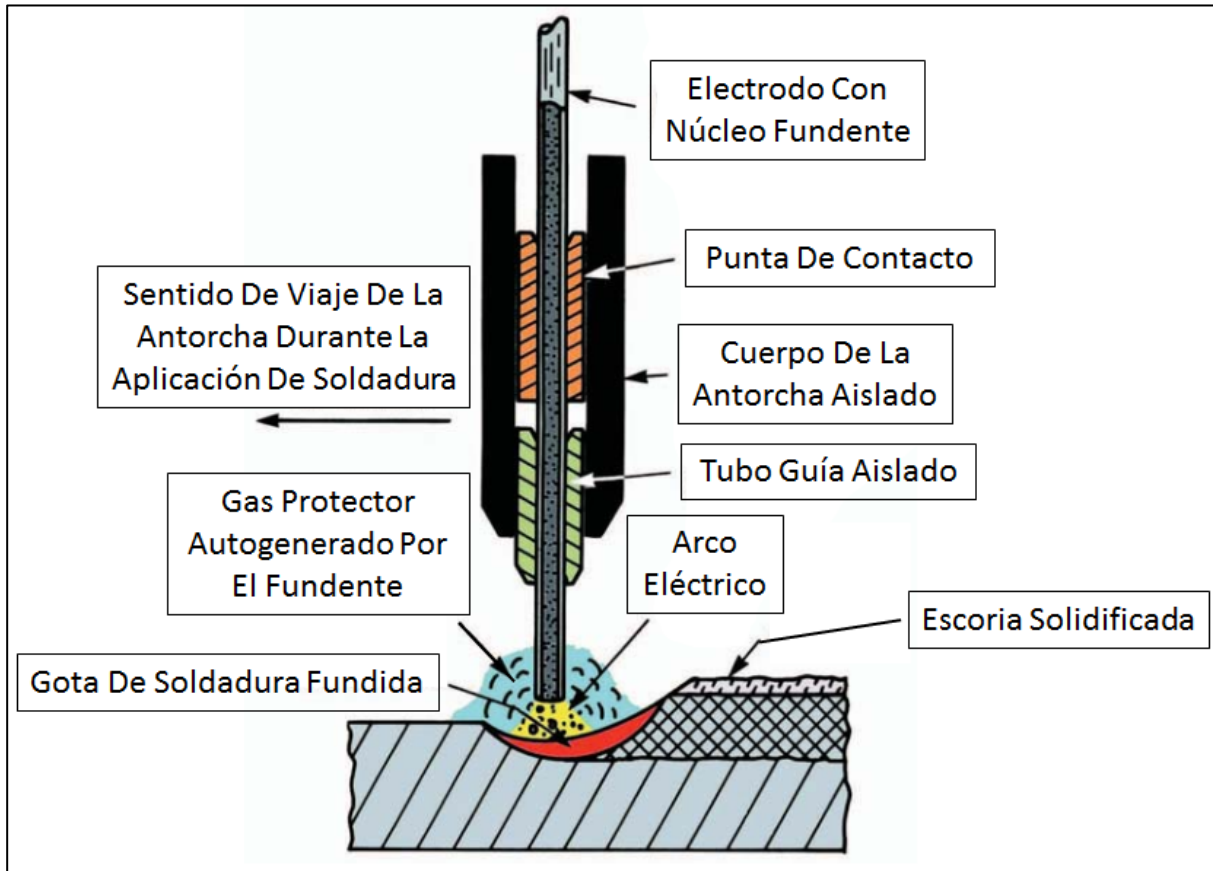


Fig. 2.4 Proceso De Soldadura FCAW Autoprotegido [10].

El fundente contenido dentro del electrodo para el proceso FCAW-S cumple una función similar que el revestimiento de los electrodos para proceso SMAW. Dicho fundente debe tener la capacidad de proteger a la gota de soldadura fundida de los agentes contaminantes que existen en el ambiente y que pueden depositarse en la soldadura mediante el arco. Por lo cual este tipo de metales de aporte se modifican para tener una mejor protección contra los agentes contaminantes y a los gases ambientales como el oxígeno y nitrógeno (añadiendo materiales como el aluminio, por ejemplo) [8 y 10].

La autoprotección (self-shielded o innershielded) forma encima del cordón de soldadura una capa de escoria, la cual funge como protectora de los agentes contaminantes ya mencionados, adicionalmente esta variante del proceso puede resistir los efectos atmosféricos y del viento que en caso de usar el proceso FCAW-G serian perjudiciales para la soldadura aplicada [6].

Tabla 2.4. Propiedades Que Aporta El Fundente Al Proceso FCAW-S [10]

<b>Proceso FCAW Autoprotegido</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender y estabilizar el arco entre el electrodo y el metal base.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aportar agentes desoxidantes a la soldadura.</li> </ul> </li> <li>• Aportar agentes aleantes para mejorar las propiedades mecánicas de la soldadura.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Depositar la escoria protectora del cordón de soldadura.</li> </ul> </li> <li>• Generar la autoprotección gaseosa del cordón de soldadura mediante la descomposición de diversos compuestos del fundente.</li> </ul>



Fig. 2.5 Presentación Comercial De La Soldadura FCAW Autoprotegida [26].

### 2.3.1 Electrodo De Núcleo Fundente Autoprotegidos

De igual manera que en la Tabla 2.3 se presentaron los alambres tubulares con protección gaseosa, a continuación se muestran los alambres para el proceso FCAW-S según la clasificación establecida por AWS, con las particularidades de cada uno.

Tabla 2.5. Alambres Tubulares Para El Proceso FCAW-S [7 y 22].

<b>Proceso FCAW Autoprotegido</b>				
<b>Clasificación AWS</b>	<b>Posiciones De Soldadura</b>	<b>Polaridad</b>	<b>Modo De Transferencia Al Metal Base</b>	<b>Soldadura Simple O Multi Pases</b>
<b>Digito Designador 3</b>				
E70T-3	Horizontal y filetes	Polaridad Invertida (CDEP)	Pulverizada	Pase simple
<b>Digito Designador 4</b>				
E70T-4	Horizontal y filetes	Polaridad Invertida (CDEP)	Globular	Multi pases
<b>Digito Designador 6</b>				
E70T-6	Horizontal y filetes	Polaridad Invertida (CDEP)	Pulverizada	Multi pases
<b>Digito Designador 7</b>				
E70T-7	Horizontal y filetes	Polaridad Directa (CDEN)	Pulverizada	Multi pases

E71T-7	Todas las posiciones			
<b>Digito Designador 8</b>				
E70T-8	Horizontal y filetes	Polaridad Directa (CDEN)	Pulverizada	Multi pases
E71T-8	Todas las posiciones			
<b>Digito Designador 10</b>				
E70T-10	Horizontal y filetes	Polaridad Directa (CDEN)	Globular	Pase simple
<b>Digito Designador 11</b>				
E70T-11	Horizontal y filetes	Polaridad Directa (CDEN)	Pulverizada	Multi pases
E71T-11	Todas las posiciones			
<b>Digito Designador 13</b>				
E61T-13	Todas las posiciones	Polaridad	Corto circuito	Pase simple
E71T-13		Directa (CDEN)		
<b>Digito Designador 14</b>				
E71T-14	Todas las posiciones	Polaridad Directa (CDEN)	Pulverizada	Pase simple
<b>Letra Designador G</b>				
E60T-G	Horizontal y filetes	Sin especificación	Sin especificación	Multi pases
E70T-G				

E61T-G	Todas las posiciones			
E71T-G				
<b>Letras Designadoras GS</b>				
E60T-GS	Horizontal y	Sin especificación	Sin especificación	Pase Simple
E70T-GS	filetes			
E61T-GS	Todas las			
E71T-GS	posiciones			

## 2.4 Parámetros Generales De Operación Para El Proceso FCAW

### 2.4.1 Polaridades En Las Máquinas Soldadoras De Corriente Directa

#### 2.4.1.1 Polaridad Directa

Del inglés “Direct Current Electrode Negative” (DCEN), algunas veces también abreviado como CCEN o CDEN, hace referencia a la conexión del circuito de soldadura donde el electrodo, que en el caso del proceso FCAW se localiza en una antorcha se conecta al borne negativo de la máquina de soldar y el borne positivo al metal base mediante la pinza de trabajo de la máquina soldadora [3 y 27].

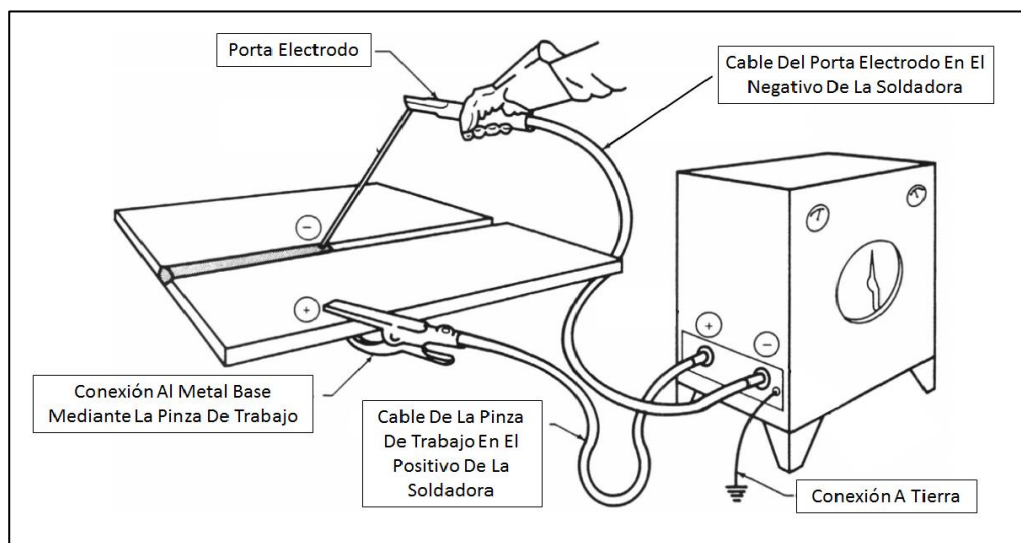


Fig. 2.6 Soldadura En Polaridad Directa [3]

En el caso de la polaridad directa, coloquialmente conocida como “polaridad negativa”, el flujo de electrones se dirige del electrodo hacia el metal base [5 y 27].

Tabla 2.6. Características De La Polaridad Directa En El Circuito De Soldadura [7 y 27].

<b>Corriente Directa Electrodo Negativo (CDEN)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja penetración (uso preferente en materiales de espesores delgados).               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta velocidad de depósito de la soldadura.</li> <li>• El calor se concentra en la punta del electrodo.</li> </ul> </li> </ul>

### 2.4.1.2 Polaridad Invertida

Corriente directa electrodo positivo de la traducción “Direct Current Electrode Positive” (DCEP), abreviado en algunos caso también como CCEP y CDEP, como se ha mencionado, hace referencia a una de las maneras de conectar el circuito de soldadura en corriente continua y en el cual el flujo de electrones se traslada del metal base al electrodo [3 y 27].

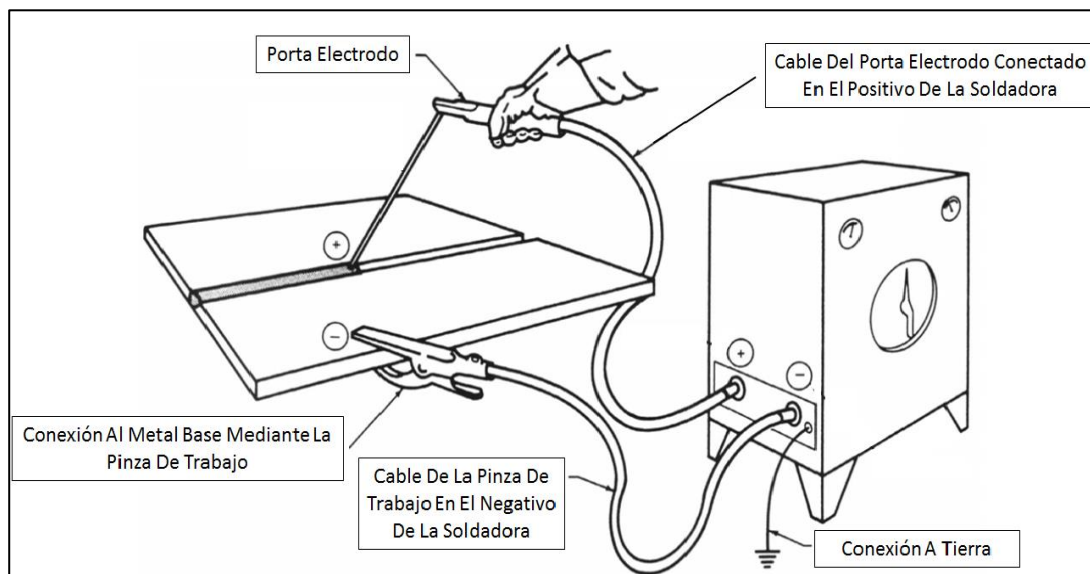


Fig. 2.7 Soldadura En Polaridad Invertida [3].

Cuando se conecta la antorcha o porta electrodo en el borne positivo de la máquina soldadora y la pinza de trabajo de la maquina soldadora en el borne negativo, estamos

configurando el circuito de soldadura en polaridad invertida, coloquialmente conocida como polaridad positiva [5].

Tabla 2.7. Características De La Polaridad Invertida En El Circuito De Soldadura [7 y 27]

<b>Corriente Directa Electrodo Positivo (CDEP)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El calor se concentra en el metal base.</li> <li>• Alta penetración de la soldadura.</li> <li>• Funge como limpiador de óxidos en el metal base.</li> <li>• Se obtiene soldaduras con mayor limpieza y calidad.</li> <li>• La velocidad de depósito de la soldadura en el metal base está directamente relacionada con la corriente usada en la soldadora.</li> </ul>

## **2.4.2 Modo De Transferencia De La Soldadura Al Metal Base**

### **2.4.2.1 Globular**

La transferencia globular de soldadura fundida hacia el metal base ocurre cuando la velocidad de alimentación del electrodo de núcleo fundente, la corriente y la velocidad con que se funden soldadura y metal base son bajas, por ende se forman gotas de metal fundido en la punta del electrodo [7].

Se le denomina globular debido a que la soldadura fundida antes de depositarse en el metal base tiene forma de gota, la cual, como característica principal tiene un diámetro superior al del electrodo que se está aplicando [28].

En los instantes previos a la transferencia de la soldadura, la gota ubicada en la punta del electrodo crece de manera gradual, además de sufrir un calentamiento por acción del arco existente, para que posteriormente la fuerza de gravedad la desprenda del electrodo y sea depositada en el metal base [29].

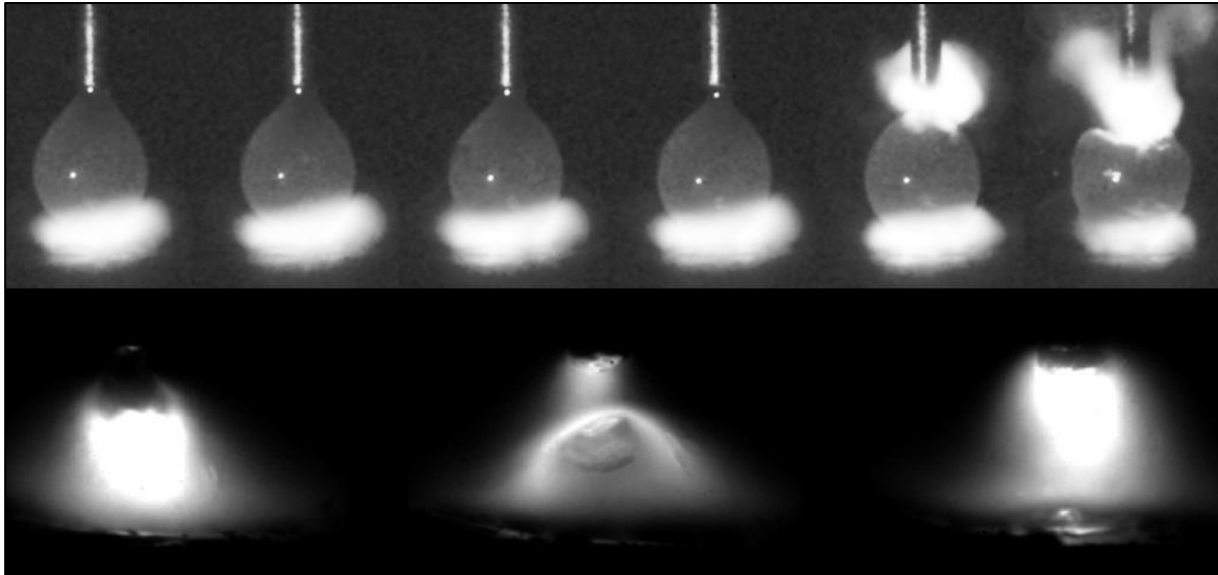


Fig. 2.8 Ejemplos De Transferencia Globular En Soldadura [29 y 30].

#### 2.4.2.2 Pulverizada

La transferencia en spray o pulverizada es otro de los modos en que la gota de soldadura fundida se transfiere al metal base. Su transferencia se hace en forma de pequeñas gotas con un diámetro similar al del electrodo usado, donde estas se transfieren a razón de cientos de gotas por segundo al metal base sin que exista un corto circuito antes de su desprendimiento del electrodo. [31].

Es decir, las gotas de soldadura fundida se transmiten a través del arco de soldadura y son propulsadas axialmente hacia el metal base [3].

Este tipo de transferencia es una de los más idóneas debido a su alto nivel de penetración y deposición de la soldadura en el metal base, así como un bajo nivel de humos y salpicaduras al momento de aplicar la soldadura [32].

Cuando la velocidad de alimentación del alambre de núcleo fundente y la corriente con que se calibra la maquina soldadora son altas ocurre la transferencia pulverizada. Asimismo, debido a que las gotas que se desprenden del electrodo son pequeñas y la distancia del arco que hay entre el electrodo y metal base es de una distancia relativamente larga se realiza sin que las gotas hagan cortocircuito [7].

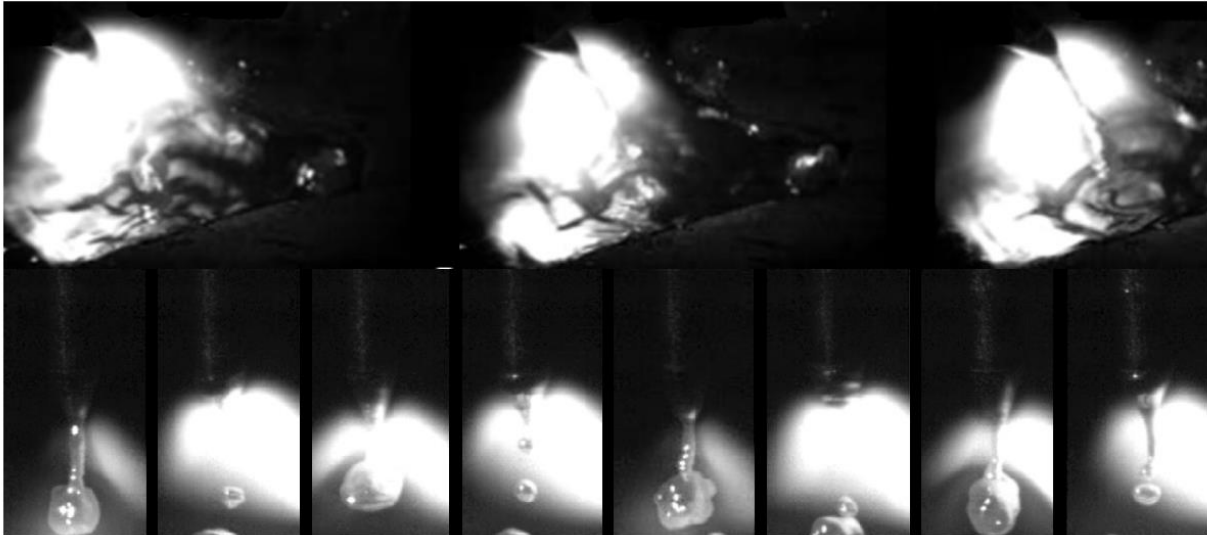


Fig. 2.9 Ejemplos De Transferencia Pulverizada En Soldadura [33 y 34].

#### 2.4.2.4 Por Corto Circuito

Este tipo de transferencia ocurre cuando se usan diámetros pequeños de electrodo de núcleo fundente y el rango de corriente usado es bajo. Las gotas de soldadura resultantes son diminutas y de una rápida solidificación en el metal base [28].

Es similar al modo de transferencia globular, con la diferencia de que en la transferencia por corto circuito se usan corrientes más altas acompañadas de una velocidad de alimentación de electrodo elevadas [7].

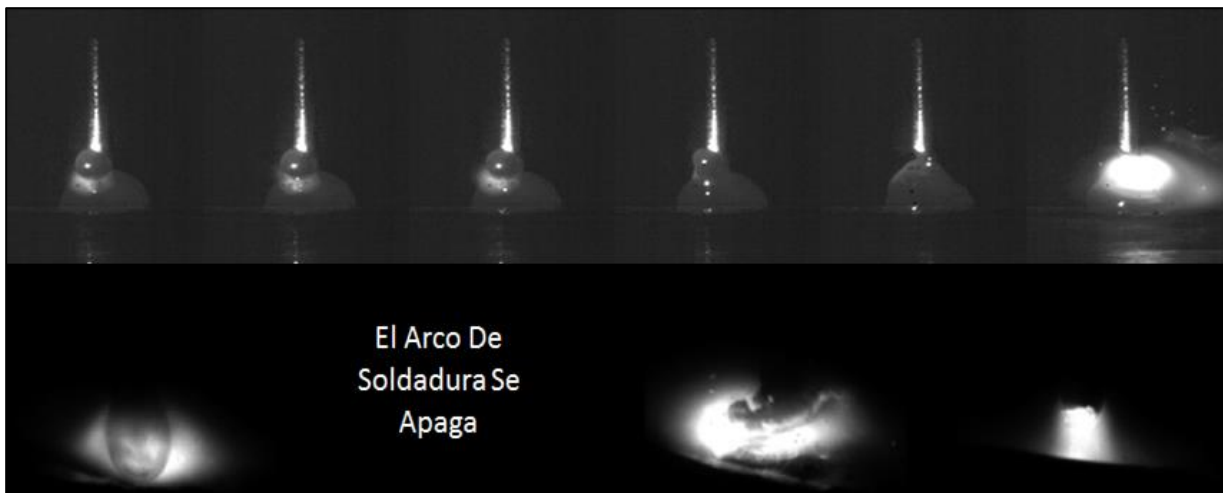


Fig. 2.10 Ejemplo De Transferencia Por Corto Circuito En Soldadura [29 y 30].

Se necesita que exista un contacto entre la gota de soldadura fundida y el charco de soldadura para que se cortocircuiten antes de que la gota se desprenda del electrodo, con la finalidad de que el arco de soldadura se apague en los lapsos que ocurre dicho corto circuito [31].

## **2.5 Proceso FCAW Y Sus Discontinuidades Superficiales**

### **2.5.1 Discontinuidad Y Defecto**

#### **2.5.1.1 Discontinuidad**

Se denomina discontinuidad en soldadura a la ruptura o alteración de la homogeneidad en las características físicas, mecánicas o metalúrgicas de un cordón o estructura soldada.

Como se ha mencionado, las discontinuidades pueden repercutir en la calidad de una soldadura y hacer que esta no cumpla con determinados requerimientos establecidos [7].

#### **2.5.1.2 Defecto**

Un defecto en soldadura no es más que es una discontinuidad o un grupo de ellas que debido a su origen o la manera en que se acumulan en una soldadura, generan que esta se encuentre fuera de rango para poder cumplir con los criterios mínimos de aceptación establecidos por las diversas normas vigentes [3],

### **2.5.2 Porosidad**

Cuando la soldadura es depositada en el metal base, ocurren reacciones químicas derivadas de la descomposición del fundente, las cuales hacen que se formen bolsas de gases o vacíos, y que en ocasiones al entrar en contacto con la soldadura generan porosidades. Es decir, en el lapso en que la soldadura se solidifica, se puede formar una cavidad donde quedasen atrapados, ya sean los gases o las bolsas de vacío [3 y 7].

La aparición de porosidades en la soldadura se debe a una incorrecta selección de los parámetros y material de aporte depositado, pero principalmente se originan debido a agentes contaminantes presentes al momento de aplicar la soldadura [35].

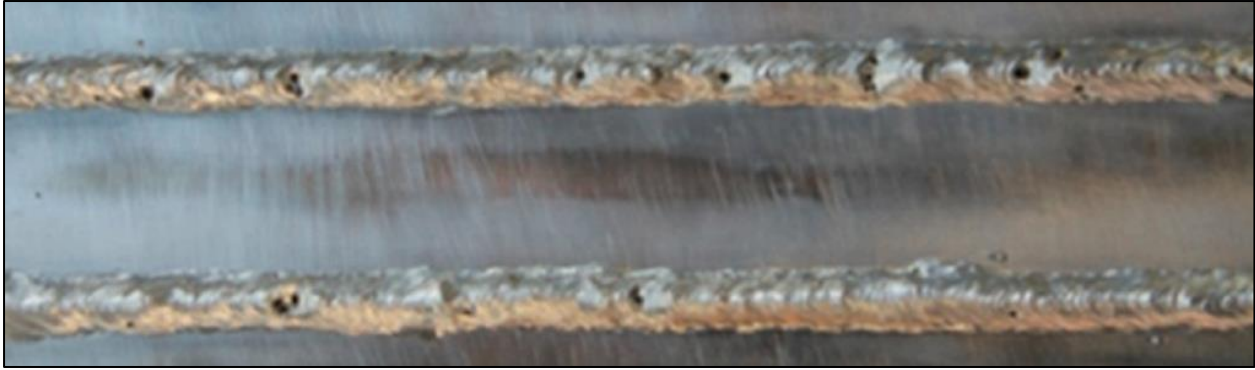


Fig. 2.11 Porosidades En La Soldadura [36].

Adicionalmente existen factores secundarios para la aparición de porosidades, por ejemplo: electrodos en mal estado (con humedad u oxido), condiciones meteorológicas adversas y técnicas incorrectas de soldadura por parte del operador (alta velocidad de avance del electrodo, distancia o ángulo de aplicación inadecuado entre electrodo y metal base) [6].

Se pueden encontrar diferentes tipos de porosidades que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.8. Tipos De Porosidades [11].

<b>Porosidades Existentes En Las Soldaduras</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Agrupada	Se localizan en conjuntos, donde la distribución geométrica es aleatoria en el cordón de soldadura.
Alineada	Están orientadas en conjuntos de manera lineal a lo largo del cordón de soldadura.
Dispersa	Se distribuyen de manera uniforme sobre todo el cordón de soldadura.
Elongada	Se localiza sobre el eje del cordón de soldadura de manera paralela, adicionalmente la longitud de la porosidad es mayor que su ancho.
Vermicular	Se presenta de manera perpendicular al cordón de soldadura, de igual manera la longitud de la porosidad es mayor que su ancho.

Dentro de las discontinuidades existentes en las soldaduras, a las porosidades no se les considera tan contraproducentes, debido a que su geometría no permite la formación de tensiones que pudieran afectar la resistencia de la soldadura terminada [35].

### 2.5.3 Inclusión De Escoria

Este tipo de discontinuidad se presenta cuando algunos residuos del fundente o de la escoria protectora se solidifican e incrustan en el cordón de soldadura depositado en los instantes previos a su solidificación [6].

Es decir, cuando solidos ajenos producto de la soldadura o de algún agente externo presente por una mala limpieza (óxido) quedan atrapados dentro del cordón de soldadura [3].

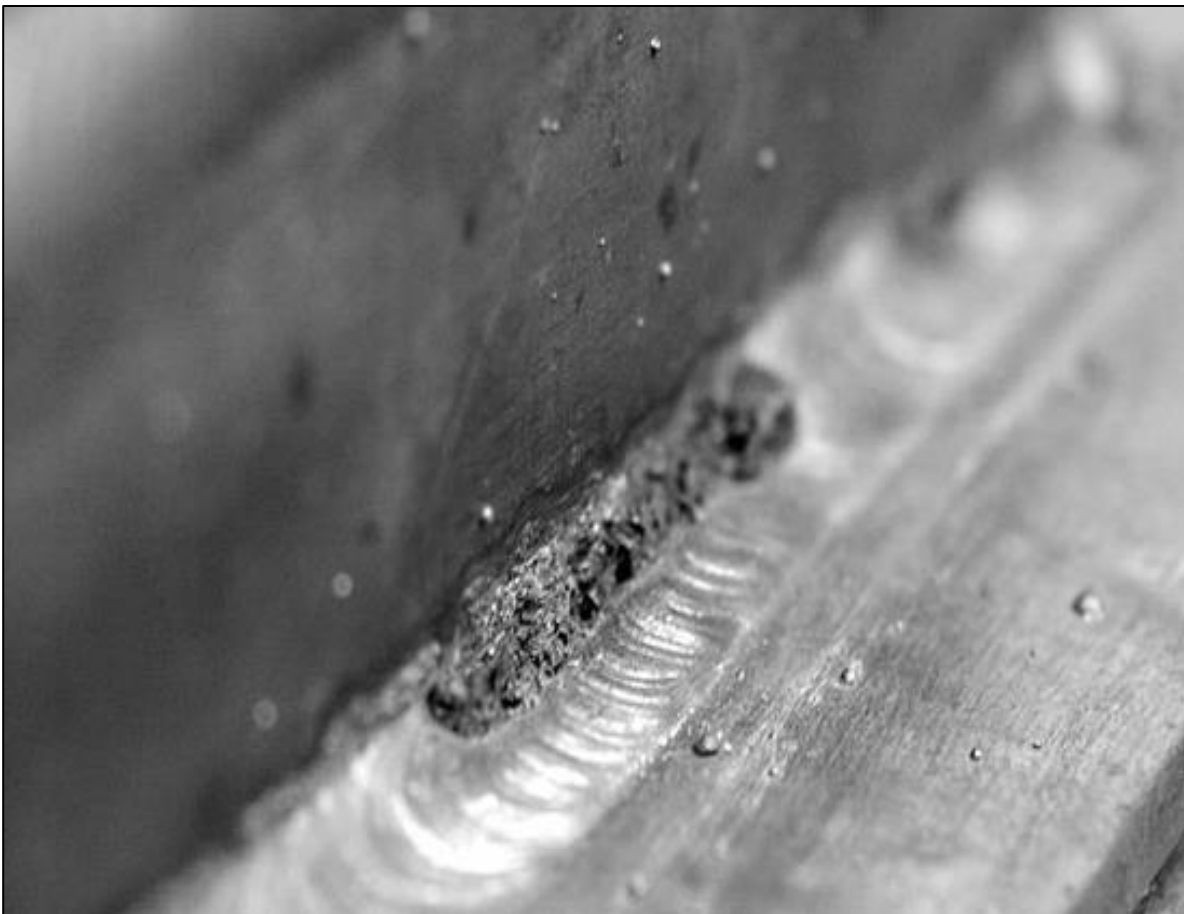


Fig. 2.12 Inclusión De Escoria [37].

La inclusión de escoria puede ocurrir en un único cordón de soldadura depositado o en las soldaduras multi pase. La escoria fundida tiene una densidad menor que el metal base, por lo que se traslada hacia el o los cordones de soldadura y queda incrustada en ellos, en lugar de convertirse en una protección del cordón de soldadura terminado [38].

Las causas más comunes de inclusiones de escoria en las soldaduras son: técnicas de soldadura incorrectas por parte del operador (ángulo y distancia de aplicación del electrodo), juntas de soldadura en posiciones de acceso complejo, preparación inadecuada del metal base a soldar, remoción inadecuada de la escoria (en soldaduras multi pase) y una selección de rango bajo de la corriente para soldar [6 y 11].

La siguiente tabla muestra los tipos de inclusiones de escoria existentes en las soldaduras.

Tabla 2.9. Tipos De Inclusiones de Escoria [38].

<b>Inclusiones De Escoria Existentes En Las Soldaduras</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Agrupada	Se presentan a causa de acumulaciones de escoria entre los diferentes pases de soldadura y tienen una distribución en forma de grupos sin un orden característico.
Aislada	Aparecen en el cordón de soldadura de manera independiente de otras inclusiones de escoria.
Alineada	Este tipo de inclusiones aparecen de manera consecutiva y lineal en el cordón de soldadura.

Cuando existen inclusiones de escoria en una soldadura, se debe hacer uso de los criterios de aceptación pertinentes para su aprobación o retrabajo. Esto se debe a que una inclusión puede alterar de manera negativa la resistencia de una soldadura terminada [38].

### 2.5.4 Fusión Incompleta

Este tipo de discontinuidad ocurre cuando la soldadura depositada y el metal base o cordones de soldadura previamente aplicados no se logran fundir de una manera idónea para formar una soldadura con criterios aceptables [3 y 7].

El uso de un metal de aporte incorrecto o de mala calidad y una baja aportación de calor por parte del arco, son de las principales causas de la falta de fusión en las soldaduras [39].

Adicionalmente, las técnicas inadecuadas de soldadura (ángulo, distancia y velocidad de aplicación del electrodo), preparaciones inadecuadas de las juntas a soldar, posiciones complejas o de difícil acceso, mala calibración de la maquina soldadora (baja corriente) y una mala limpieza entre pases o del metal base previo a la soldadura, son razones para una fusión incompleta [6 y 40].

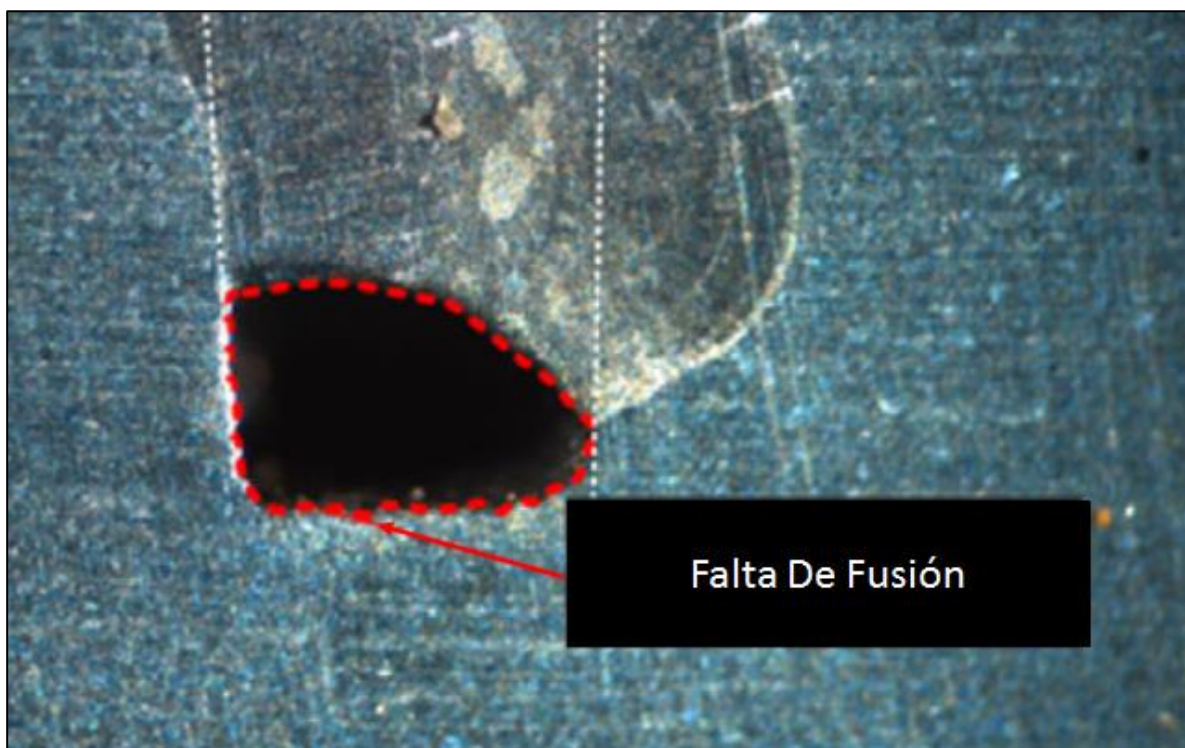


Fig. 2.13 Fusión Incompleta [39].

La falta de fusión es una discontinuidad perjudicial cuando se localiza. Esto se debe a que origina una concentración de esfuerzos y disminución de la resistencia de la soldadura, con

lo que pueden aparecer grietas, que son altamente nocivas e inaceptables ante un criterio de aceptación establecido [40].

### 2.5.5 Penetración Incompleta De La Junta

Cuando la soldadura depositada no se extiende de manera apropiada hasta llegar a la raíz de la junta del metal base en que se está aplicando, se tiene una junta con penetración incompleta [41].

El área de la raíz en que la soldadura no penetra ni funde de la manera correcta es donde se localiza dicha discontinuidad, la cual también es conocida como penetración inadecuada.

La raíz de una junta es la zona donde las placas de metal base están más próximas una de la otra [7 y 11].

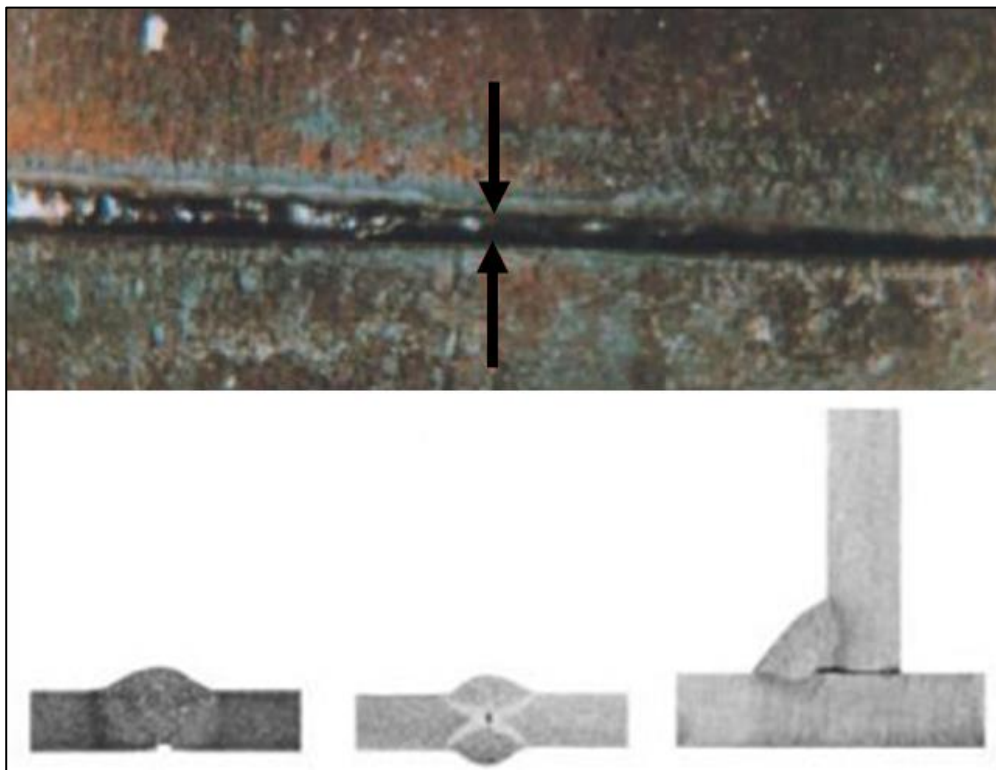


Fig. 2.14 Penetración Incompleta En Diferentes Juntas [35 y 42].

Diversos factores propician que no exista una penetración completa de la soldadura en el metal base, la siguiente tabla los muestra.

Tabla 2.10. Factores Que Propician La Penetración Incompleta [6, 40 y 43].

<b>Penetración Inadecuada</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Baja aportación de calor (debido a una mala calibración de la corriente en la maquina soldadora.</li><li>• Técnicas de soldadura inadecuadas por parte del operador (alta velocidad de avance del electrodo, mal control del arco eléctrico durante la aplicación de la soldadura).</li><li>• Mala preparación de del metal base previo a la soldadura (selección incorrecta del bisel, alineación incorrecta entre metales base, dimensiones excesivas o mínimas en la unión de raíz).<ul style="list-style-type: none"><li>• Selección incorrecta del tamaño de electrodo a usar.</li></ul></li></ul>

Una penetración incompleta reduce el área efectiva de la soldadura, y por ende su resistencia. Esto se debe a que en el punto de la discontinuidad ocurren concentraciones de esfuerzos, que pueden originar grietas con tendencia a extenderse durante la aplicación de cordones de soldadura posteriores. Lo cual no es aceptable en la mayoría de los casos, además de ser perjudicial para una soldadura terminada [40 y 44].

### **2.5.6 Socavación**

En ocasiones también se le denomina “rebajo”. Es una ranura que se forma debido a la fusión del metal base alrededor al área donde se depositó la soldadura [7].

La socavación ocurre cuando el metal base donde se aplicó la soldadura se funde y no existió una suficiente aportación del electrodo (metal de aporte) para rellenar dicha pérdida de metal base [15].

Cuando las socavaciones se localizan a los lados del cordón de soldadura depositado, pueden facilitar que la escoria se acumule en dichas zonas, causando problemas adicionales en la limpieza y calidad de la soldadura [7].

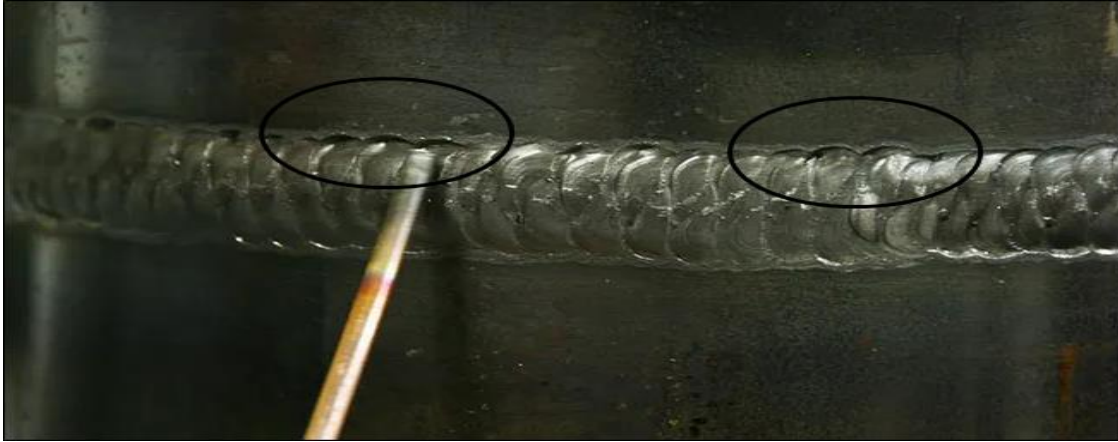


Fig. 2.15 Socavación En Soldadura [45].

Cuando se realizan juntas con bisel, esta discontinuidad puede aparecer en la cara superficial (cordón de soldadura superficial o de vista) o en el lado donde se ubica la raíz de la soldadura (área de la penetración completa de la soldadura), a lo cual se le conoce como socavación interna [46].

La socavación tiene diversas causas, en la siguiente tabla se muestran las principales.

Tabla 2.11. Principales Causas De La Socavación O Rebajo [15].

<b>Socavación En Soldadura</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas de soldadura inadecuadas por parte del operador (alta velocidad de avance, baja cantidad de metal de aporte, posición inadecuada del electrodo).</li> <li>• Mala calibración de la máquina soldadora (corriente muy elevada, baja velocidad de avance del electrodo.)             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección incorrecta del electrodo a usar.</li> </ul> </li> </ul>

Debido a que son comunes en la soldadura y con base a sus dimensiones, las socavaciones están sujetas a criterios de aceptación. Se debe tomar en cuenta que esta discontinuidad puede disminuir la resistencia a la fatiga de una soldadura terminada y propiciar la aparición de grietas por esta causa [40 y 47].

### 2.5.7 Traslape

Es una cantidad de electrodo o metal de aporte que no se fundió durante la soldadura, el cual queda como protuberancia en las orillas del cordón de soldadura terminado, o en ocasiones en el área de la raíz de una junta [11].

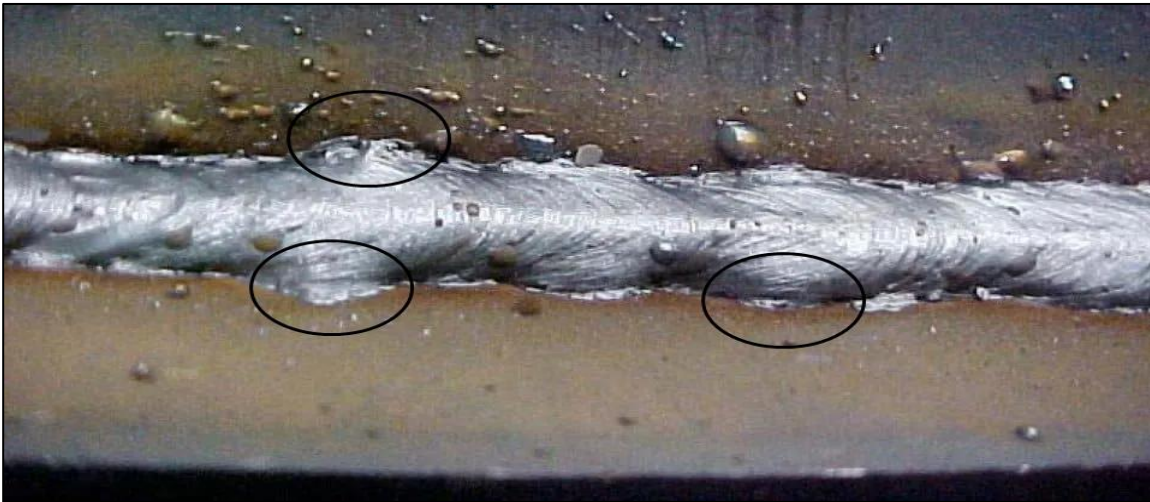


Fig. 2.16 Traslape o Traslapo En Soldadura [48].

Es una discontinuidad superficial que adquiere forma de muesca, lo puede generar la concentración de esfuerzos mecánicos, además de que con base a los criterios de aceptación suele considerarse no conforme en la mayoría de las ocasiones [49].

La siguiente tabla muestra las causas comunes de esta discontinuidad.

Tabla 2.12. Principales Causas Del Traslape [11, 15 y 40]

<b>Traslape En Soldadura</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Técnicas de soldadura inapropiadas por parte del operador (baja velocidad de avance de la antorcha de soldadura).</li><li>• Mala calibración de la máquina soldadora (alta velocidad del electrodo, parámetros de corriente incorrectos para el material de aporte).<ul style="list-style-type: none"><li>• Mala selección del electrodo a utilizar.</li></ul></li></ul>

- Gravedad (En ocasiones el electrodo al ser aplicado fluye de manera que no resiste la atracción gravitacional).
  - Mala preparación de la junta a soldar.
  - Selección incorrecta de metal base.

Afecta las soldaduras de manera similar que la socavación, ya que con la disminución en la sección transversal de estas, disminuye la resistencia a la fatiga con lo pueden iniciarse grietas, las cuales resultan perjudiciales en una soldadura terminada, además, como se ha mencionado están sujetas a criterios de aceptación. [7 y 40].

### 2.5.8 Grietas

Esta discontinuidad se clasifica en las de tipo fisura o fractura. Es de fácil detección debido a su geometría, la cual se caracteriza por una elevada proporción largo-ancho, así como por el desplazamiento que existe en dicha abertura [10 y 11].

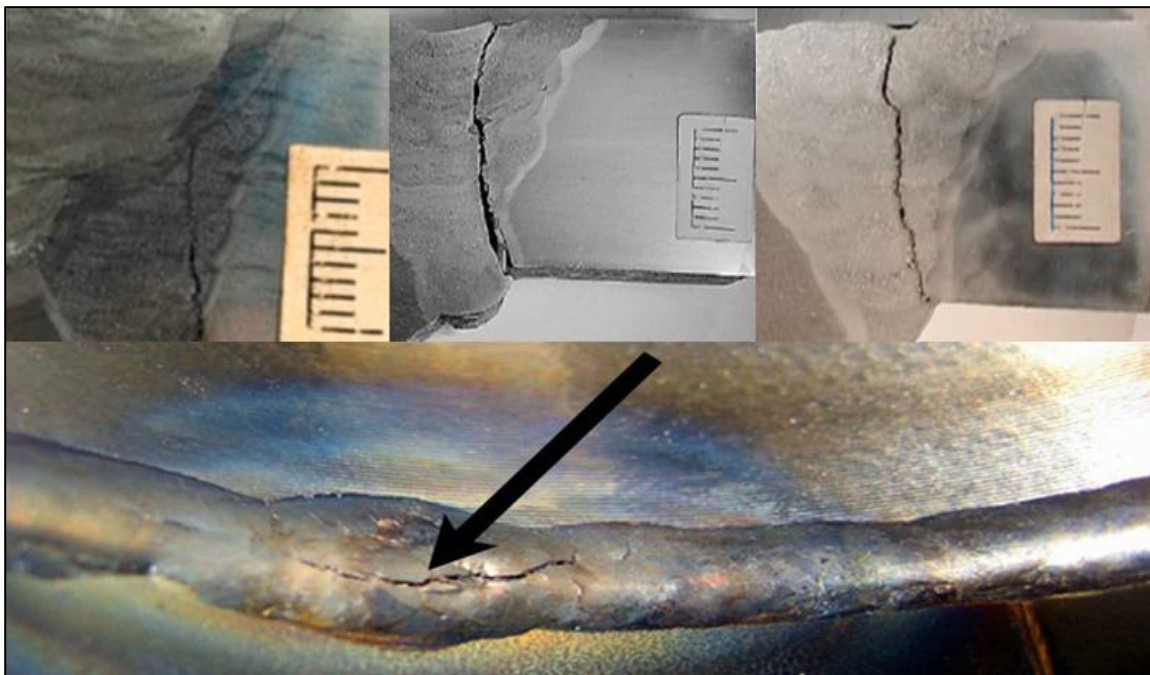


Fig. 2.17 Grietas En Soldadura [50 y 51].

La aparición de grietas comúnmente ocurre cuando los esfuerzos localizados a lo largo de la soldadura (causados por otras discontinuidades existentes en los pases de soldadura previos o en el metal base, así como por acción del diseño y preparación de la junta donde se soldó) sobrepasan la resistencia del metal soldado [40].

Dentro de las discontinuidades presentes en el proceso de soldadura FCAW y en cualquier otro proceso, las grietas están catalogadas como críticas, debido a su tendencia al crecimiento o propagación causado por las cargas a que se someten las soldaduras [15].

Si una grieta se presenta en un cordón de soldadura y no se procede con su eliminación antes de depositar la siguiente soldadura, puede propagarse a los cordones de soldadura posteriores hasta llegar al cordón superficial [11].

La siguiente tabla muestra el modo de clasificar las grietas en soldadura, las causas comunes que las generan y su modo de aparición.

generan y su modo de aparición.

Tabla 2.13. Clasificación De Las Grietas [11, 15 y 40].

<b>Grietas En Soldadura</b>	
<b>Grietas En Frio</b>	<b>Grietas En Caliente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparecen después de que la soldadura se enfría (a temperatura ambiente).</li> <li>• Pueden ser causadas por técnicas de soldadura inadecuadas.</li> <li>• Pueden aparecer después de la solidificación de la soldadura (por acción de los esfuerzos residuales).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparecen con altas temperaturas o durante la solidificación de la soldadura.</li> <li>• Pueden aparecer cuando no existe suficiente ductilidad en la soldadura a altas temperaturas.</li> </ul>

Las grietas que tienden a propagarse por acción de la fatiga en el material soldado comúnmente inician en las orillas del cordón de soldadura terminado o en la zona de la raíz a causa de los esfuerzos localizados o por acción de diversas deformaciones existentes [52].

Se debe tomar en consideración que debido a las diferentes propiedades mecánicas y microestructuras existentes entre metal base y soldadura depositada, las grietas por fatiga pueden crecer de manera diferente dependiendo de su localización y del diseño de la junta donde se haya realizado la soldadura [53].

Cuando aparecen grietas en la soldadura, estas suelen tener una localización y orientación específica, en la siguiente tabla se muestran dichas características.

Tabla 2.14. Características De Las Diversas Grietas En Soldadura [11, 35 y 40].

<b>Diversas Grietas En Soldadura</b>	
<b>Tipo De Grieta</b>	<b>Características</b>
Longitudinales	Se localizan de manera paralela al eje del cordón de soldadura y resultan de una elevada velocidad de soldadura (técnica inadecuada) o por un rápido enfriamiento.
Transversales	Aparecen de manera perpendicular al eje del cordón de soldadura, pueden estar causadas por esfuerzos longitudinales de contracción o debido al hidrogeno presente en los cordones de soldadura.
En El Cráter (Grietas En Estrella)	Ocurren en el punto de terminación del cordón de soldadura debido a una finalización incorrecta del arco, son grietas en caliente con una forma característica de “estrella”
En La Garganta	En la mayoría de los casos son grietas en caliente, aparecen de manera longitudinal en la garganta de una soldadura de filete

En El Pie	Aparecen generalmente en el metal base y se extienden desde el pie de la soldadura (donde se une metal base y cordón de soldadura) debido a que los esfuerzos residuales son superiores, normalmente son grietas en frio.
En La Raíz	Se caracterizan por ser longitudinales, pueden aparecer en frio y en caliente, se localizan en la raíz del cordón de soldadura o en el área de la raíz de soldadura (metal base y/o soldadura).
Debajo Del Cordón	Normalmente son grietas en frio, aparecen de manera longitudinal y transversal, no son detectables con una inspección visual, su formación está relacionada con el hidrogeno que se solidifica y se presenta en la soldadura, una microestructura con tendencia al agrietamiento, o debido a los esfuerzos residuales en la soldadura.

Existen diversas causas que propician la formación de grietas en la soldadura, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.15. Causas De Las Grietas [6].

<b>Grietas En Soldadura</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala calibración de la maquina soldadora (corriente muy elevada, baja velocidad de avance del electrodo). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfriamiento brusco de la soldadura.</li> </ul> </li> <li>• Metal base de mala calidad (con esfuerzos acumulados debido a la fabricación. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metal base no apto para el proceso de soldadura.</li> </ul> </li> <li>• Técnicas de soldadura inadecuadas por parte del operador (pases de soldadura con una secuencia inadecuada, terminación incorrecta del arco de soldadura). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala selección del electrodo a utilizar.</li> </ul> </li> </ul>

Las grietas son una discontinuidad crítica y la más dañina para una soldadura terminada, además de que no son avaladas por ningún criterio de aceptación [40].

## 2.6 Líquidos Penetrantes Y Su Clasificación

Los líquidos penetrantes usado para el ensayo no destructivo pueden clasificarse de acuerdo con el modo de observación (visible o fluorescente) de las discontinuidades localizadas en combinación con el método de remoción del líquido penetrante. En la siguiente tabla se muestran los métodos de remoción [20].

Tabla 2.16. Métodos De Remoción De Los Líquidos Penetrantes [15 y 19].

<b>Método De Remoción</b>	
<b>Líquido Removedor</b>	<b>Características</b>
Agua	La composición del líquido removedor cuenta con un emulsionante que al entrar en contacto con el líquido penetrante, permite que este sea retirado aplicando agua pulverizada (en spray).
Post-emulsionable o Post-emulsificable	Dentro de su composición no contienen ningún emulsionante. Para remover el líquido penetrante pasado el tiempo de permanencia, se aplica un emulsionante a base de aceite, con lo que posteriormente pueden ser retirados de manera similar que los líquidos penetrantes removibles con agua.
Solvente	Comúnmente este tipo líquidos penetrantes son post-emulsionables y para su remoción es requerido el uso de un solvente especial.

### 2.6.1 Líquidos Penetrantes Visibles

En este tipo de líquidos el tinte utilizado para los ensayos usualmente es de color rojizo, el cual se encuentra diluido en el aceite penetrante usado para formar el líquido penetrante al que comúnmente se le conoce como líquido penetrante estándar. [18].

El revelador comúnmente es un polvo fino de color blanco que cumple la función de secar y extraer el penetrante que se alojó en las discontinuidades de la soldadura a inspeccionar, además de crear un fondo blanco contrastante sobre el resto del metal base para evitar confusiones en la interpretación [55].

Para una óptima inspección de las discontinuidades localizadas es requerido el uso de una adecuada iluminación con luz blanca [21].

Al existir diferentes métodos de remoción de los líquidos penetrantes visibles se pueden tener tres diferentes combinaciones que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.17. Combinaciones De Líquido Penetrante Visible Y Su Modo De Remoción [15].

<b>Líquidos Penetrantes Visibles</b>
<b>Combinaciones Existentes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Visible removible con agua.</li><li>• Visible removible con solvente.</li><li>• Visible post-emulsionable o post-emulsificante.</li></ul>



Fig. 2.18 Resultados Del END Por Líquidos Penetrantes Visibles [56].

### 2.6.2 Líquidos Penetrantes Fluorescentes

Esta variación del END es similar que la realizada con los líquidos visibles, la diferencia radica en que los líquidos penetrantes fluorescentes requieren el uso de una luz negra (ultravioleta) para la inspección de la soldadura [20].

Para una correcta inspección con este tipo de líquidos penetrantes es necesario el uso de un cuarto oscuro en conjunto con una luz negra, debido a que el penetrante alojado en las discontinuidades al momento de ser expuesto a la luz ultravioleta emite un brillo visible (fluorescente) contrastante con la oscuridad del lugar de inspección [19 y 21].

Estos líquidos poseen una mayor sensibilidad a la discontinuidades que los líquidos visibles estándar debido al uso de la luz ultravioleta [14].

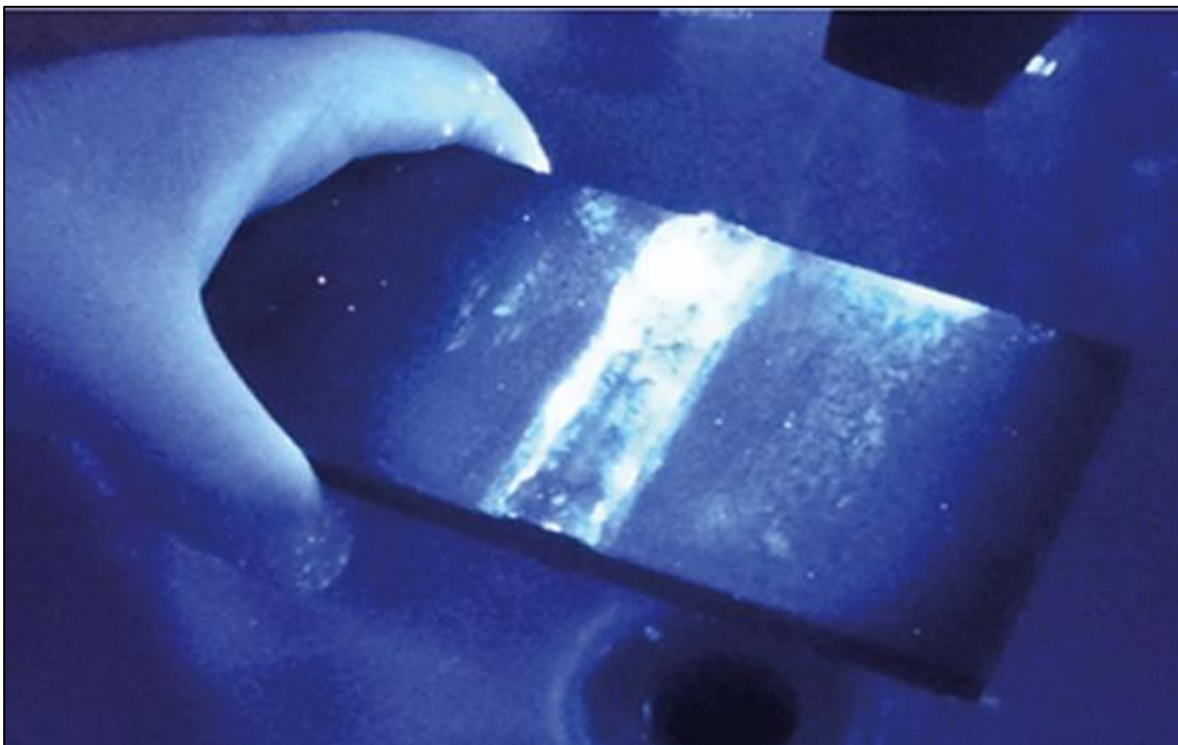


Fig. 2.19 Resultados Del END Por Líquidos Penetrantes Fluorescentes [57].

De igual manera que con los líquidos penetrantes visibles, debido a los métodos de remoción existen tres combinaciones de líquidos penetrantes fluorescentes. Se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.18. Combinaciones De Líquido Penetrante Fluorescente Y Su Modo De Remoción [20].

<b>Líquidos Penetrantes Fluorescentes</b>
<b>Combinaciones Existentes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluorescente removible con agua.</li> <li>• Fluorescente removible con solvente.</li> <li>• Fluorescente post-emulsionable o post-emulsificante.</li> </ul>

### 2.6.3 Ventajas Y Desventajas Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes

El uso de este ensayo no destructivo como cualquier otro que pudiese realizarse a una soldadura conlleva ventajas y desventajas, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.19. Ventajas Y Desventajas Del END Por Líquidos Penetrantes [11, 15, 17, 18, 19 y 21].

<b>Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un ensayo portátil y de fácil realización.</li> <li>• Es un ensayo económico.</li> <li>• No se requiere equipo especializado.</li> <li>• La capacitación en este END es sencilla.</li> <li>• Tiene gran versatilidad de uso en cuanto a los materiales a inspeccionar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No pueden realizarse ensayos en materiales porosos.</li> <li>• Debe realizarse una limpieza profunda de materiales ajenos a la soldadura.</li> <li>• Se necesita una limpieza previa y posterior al ensayo. <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se pueden detectar discontinuidades subsuperficiales.</li> </ul> </li> <li>• Pueden ser perjudiciales a la salud si no se usan con el equipo de protección adecuado.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Se puede utilizar en soldaduras con geometrías complejas o con grandes dimensiones.</li><li>• Tiene gran sensibilidad a las discontinuidades superficiales.</li><li>• Las discontinuidades pueden localizarse de manera sencilla.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los líquidos penetrantes pueden ser dañinos y en algunos casos corrosivos para la soldadura o metal base.</li><li>• La interpretación puede tornarse compleja.</li></ul>
---	--

# Capítulo 3

# Metodología

*Un hombre que no arriesga nada por sus ideas, o no valen nada sus ideas, o no vale nada el hombre.*

Platón

La propuesta experimental desarrollada está regida por las principales normativas referentes a los procesos de soldadura, su evaluación y posterior aceptación y/o rechazo. Las normativas utilizadas provienen de:

American Welding Society (AWS).

American Society Of Mechanical Engineers (ASME).

American Society For Testing And Materials (ASTM).

La propuesta de esta tesis busca determinar mediante la experimentación, si la posible aparición de discontinuidades superficiales en una soldadura se relaciona con la posición designada en que se aplicó la misma, para posteriormente, si existieran discontinuidades, localizarlas mediante el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes.

Después de realizado el ensayo y localizadas las discontinuidades se hará uso de los criterios de aceptación vigentes para validar o rechazar simbólicamente las probetas realizadas, simulando el ambiente laboral del inspector de soldaduras.

### 3.1 Metales Base Aprobados Por AWS

Los metales base son todos aquellos aceros o aleaciones metálicas donde pueden realizarse los diversos procesos de soldadura o corte que se requieran [3].

AWS ha establecido cuatro grupos de aceros aprobados para utilizarse en los procesos de soldadura. Para la realización de este trabajo nos enfocaremos en los acero del grupo "I", los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.1. Metales Base Aprobados Por AWS [58].

<b>Metales Base Del Grupo I Designados Por AWS</b>					
<b>Tipo De Acero</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Punto/Límite Elástico Mínimo</b>		<b>Rango De Tracción</b>	
		<b>ksi</b>	<b>MPa</b>	<b>ksi</b>	<b>MPa</b>
ASTM A36	≤ 3/4" (20mm)	36	250	58-80	400-550

ASTM A53	Grado B	35	240	60 mínimo	415 mínimo
ASTM A106	Grado B	35	240	60 mínimo	415 mínimo
ASTM A131	Grados A, B, D y E	34	235	58-75	400-520
ASTM A139	Grado B	35	240	60 mínimo	415 mínimo
ASTM A381	Grado Y35	35	240	60 mínimo	415 mínimo
ASTM A500 (cuadrado rectangular)	Grado A	39	270	45 mínimo	310 mínimo
ASTM A500 (redondo)	Grado B	46	315	58 mínimo	400 mínimo
	Grado C	50	345	62 mínimo	425 mínimo
	Grado A	33	230	45 mínimo	310 mínimo
	Grado B	42	290	58 mínimo	400 mínimo
	Grado C	46	315	62 mínimo	425 mínimo
ASTM A501	Grado A	36	250	58 mínimo	400 mínimo
ASTM A516	Grado 55	30	205	55-75	380-515

	Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524	Grado I	35	240	60-85	415-586
	Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A573	Grado 65	35	240	65-77	450-530
	Grado 58	32	220	58-71	400-490
ASTM A709	Grado 36 $\leq 3/4"$ (20mm)	36	250	58-80	400-550
ASTM A1008 SS	Grado 30	30	205	45 mínimo	310 mínimo
	Grado 33 Tipo 1	33	230	48 mínimo	330 mínimo
	Grado 40 Tipo 1	40	275	52 mínimo	360 mínimo
ASTM A1011 SS	Grado 30	30	205	49 mínimo	340 mínimo
	Grado 33	33	230	52 mínimo	360 mínimo
	Grado 36 Tipo 1	36	250	53 mínimo	365 mínimo
	Grado 40	40	275	55 mínimo	380 mínimo
	Grado 45 Tipo 1	45	310	60 mínimo	410 mínimo
ASTM A1018 SS	Grado 30	30	205	49 mínimo	340 mínimo

	Grado 33	33	230	52 mínimo	360 mínimo
	Grado 36	36	250	53 mínimo	365 mínimo
	Grado 40	40	275	55 mínimo	380 mínimo
API 5L	Grado B	35	241	60	414
	Grado X42	42	290	mínimo	mínimo
ABS	Grados A, B, D y E	34	235	58-75	400-520

### 3.1.1 Metal Base Seleccionado

Para los fines de este trabajo se propone el uso del acero ASTM A36.

El acero ASTM A36 es un acero estructural de bajo carbono que se caracteriza por ser el más utilizado en los diversos sectores que requieren el uso de acero, por mencionar algunos: la industria automotriz, construcción, estructuras con diferentes aplicaciones y tuberías [14 y 59].

Dado que el espesor de la solera propuesta no sobrepasa 3/4 de pulgada (20 milímetros) y su ancho es menor a las 15 pulgadas (380 milímetros), la siguiente tabla se muestra la composición química del acero A36 con dichas especificaciones dimensionales.

Tabla 3.2. Composición Química Del Acero ASTM A36 [60].

ASTM A36	
Elemento Químico	Porcentaje Contenido
Carbono (C)	0.26 máximo
Manganeso (Mn)	No especificado
Silicio (Si)	0.40 máximo

Fosforo (P)	0.04 máximo
Azufre (S)	0.05 máximo
Cobre (Cu)	0.20 mínimo

El acero A36 es un acero laminado en caliente, con una resistencia moderada y una gran plasticidad, el cual debido al control en su composición química cuenta una buena soldabilidad en las diversas formas y perfiles fabricados con este acero [14].

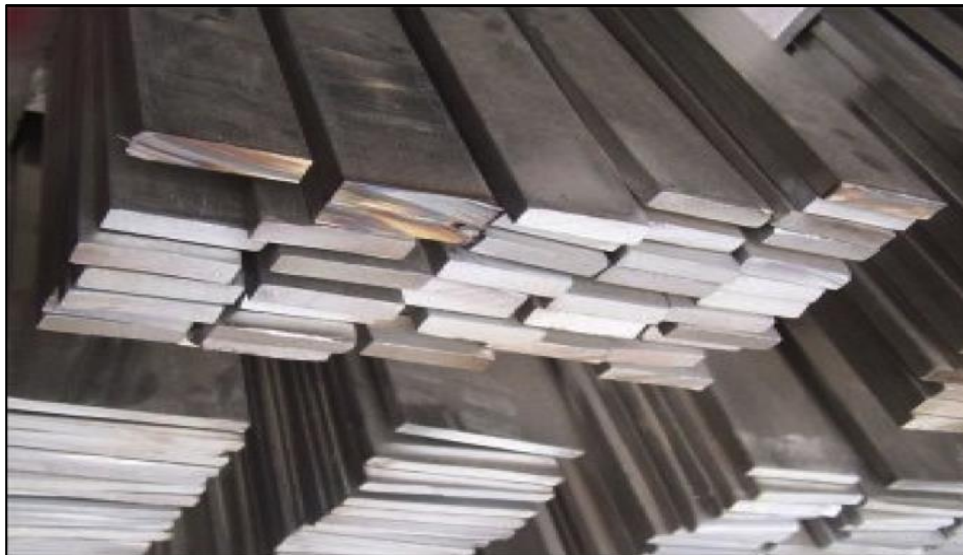


Fig. 3.1 Solera Comercial De Acero A36 [61].

En la siguiente tabla se muestran las propiedades mecánicas del acero estructural A36 en espesores de hasta 4 pulgadas (100 milímetros).

Tabla 3.3. Propiedades Mecánicas Del Acero A36 [14].

ASTM A36				
Punto De Fluencia Mínimo		Resistencia A La Tracción		Alargamiento En 8 Pulgadas (200 milímetros) %
MPa	1000 lb/pulg <sup>2</sup>	MPa	1000 lb/pulg <sup>2</sup>	
248	36	400-552	58-80	20

## 3.2 Criterios Para La Realización De Soldaduras De Filete En Juntas Con Penetración Completa Establecidos Por AWS

### 3.2.1 Soldadura De Filete

Este tipo de soldadura cuenta con una sección transversal triangular, uniendo dos metales base en un ángulo recto en forma de esquina. Este tipo de soldaduras es aplicable a juntas en traslape, en te y en esquina [10].

Debido a la factibilidad para su fabricación y los ahorros que conlleva, la soldadura de filete tiene un gran campo de aplicación. Normalmente esta soldadura no requiere tanta precisión en el acomodo de las piezas, además de que en pocas ocasiones dichas piezas requieren de una preparación previa a la soldadura (biselaje) [62].

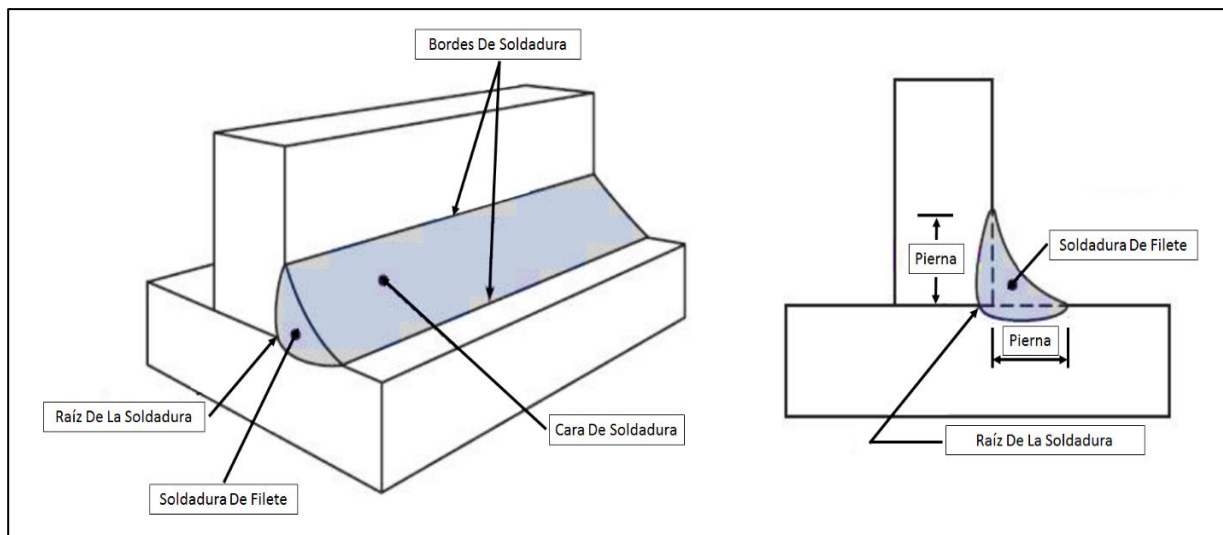


Fig. 3.2 Soldadura De Filete [3].

Las soldaduras de filete se pueden clasificar, en cóncavas y convexas de acuerdo con sus características geométricas.

Las soldaduras de filete convexas tienen como característica principal que su tamaño coincide con el de la pierna de la soldadura, es decir se encuentra dentro de las medidas del triángulo que teóricamente se planeó en el filete. Se debe tomar en cuenta que la convexidad

excesiva es motivo de rechazo para las soldaduras debido a la concentración de esfuerzos que se genera [63].

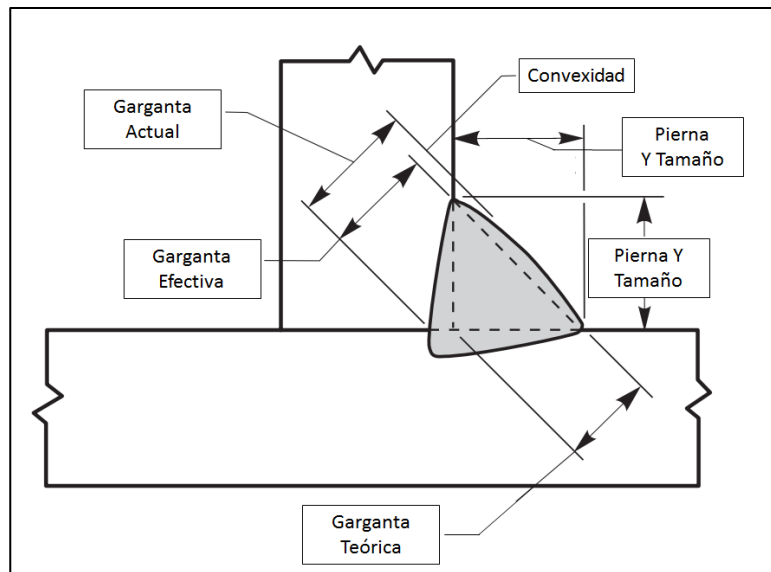


Fig. 3.3 Soldadura De Filete Convexa [11].

En las soldaduras de filete cóncavas, el tamaño de la pierna no coincide con el del triángulo propuesto para las dimensiones del filete, por lo que en este tipo de soldaduras debe cumplirse la garganta teórica propuesta. La concavidad excesiva es motivo de rechazo para una soldadura debido a la posibilidad de que aparezcan grietas en la cara de soldadura [63].

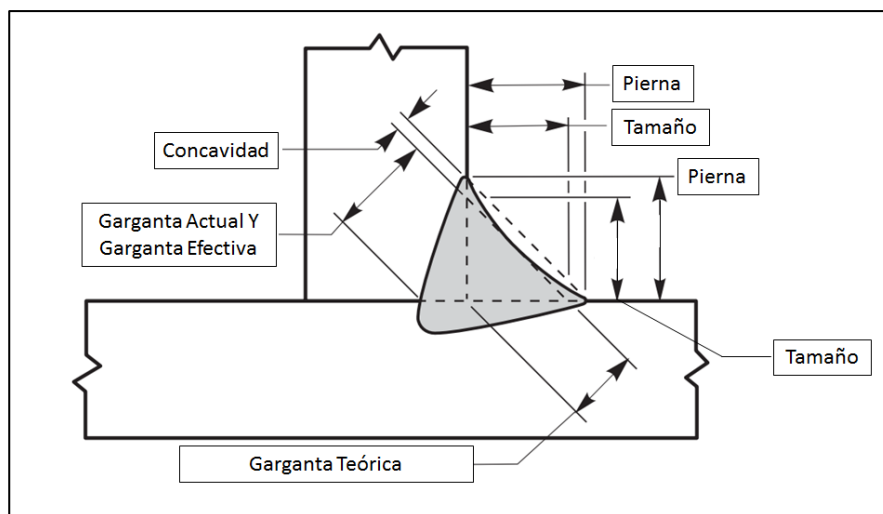


Fig. 3.4 Soldadura De Filete Cóncava [11].

### 3.2.2 Posiciones Establecidas Para La Soldadura De Filete

AWS ha establecido normativas referentes a las posiciones básicas de soldadura, para que cuando un soldador sea sometido a una prueba de soldadura, realice un tipo de prueba similar que cualquier otra persona [7].

Las posiciones para una prueba de soldadura definen la orientación de una determinada junta para poder calificar al soldador o un procedimiento de soldadura [3].

Las posiciones de soldadura se clasifican como planas (F), horizontales (H), verticales (V) y sobre cabeza (OH) y respectivamente se les asigna el número 1,2,3 o 4 [58].

En la siguiente tabla se muestran las definiciones de las cuatro posiciones de soldadura estándar.

Tabla 3.4. Definición De Las Posiciones de Soldadura [3, 6 y 7].

<b>Posiciones De Soldadura</b>		
<b>Posición</b>	<b>Definición</b>	<b>Características</b>
Plana (Flat) 1	Posición para realizar una soldadura desde el lado superior de la junta a un punto donde el eje de soldadura se aproxima al plano horizontal.	Es la posición de soldadura con mayor uso, la pieza a soldar se coloca como un libro sobre un escritorio, debido a ello se le conoce como "sobre mesa". Es la posición más sencilla para realizar una soldadura.
Horizontal (Horizontal) 2	Posición en donde la cara de la soldadura se localiza en un plano aproximadamente vertical y el eje de la soldadura se aproxima al plano horizontal.	En esta posición, la soldadura se realiza de manera horizontal en placas verticales corriendo de izquierda a derecha o viceversa. Se

		requiere mayor habilidad que en la posición plana.
Vertical (Vertical) 3	Posición para realizar una soldadura donde el eje de la soldadura y su cara son aproximadamente verticales.	En esta posición la soldadura puede realizarse de manera ascendente o descendente dependiendo de los requerimientos. Es una posición que requiere de mayor pericia.
Sobre Cabeza (Over Head) 4	Posición donde la soldadura es realizada por debajo de una determinada junta	Esta posición es similar a la horizontal. El metal base se coloca de manera horizontal y la soldadura se realiza por debajo (en la cara observable por el soldador). Es una posición igual de compleja que la vertical.

Para designar soldaduras de filete, se asigna la letra "F" precedida por el número que haga referencia a la posición en que se realizara la soldadura

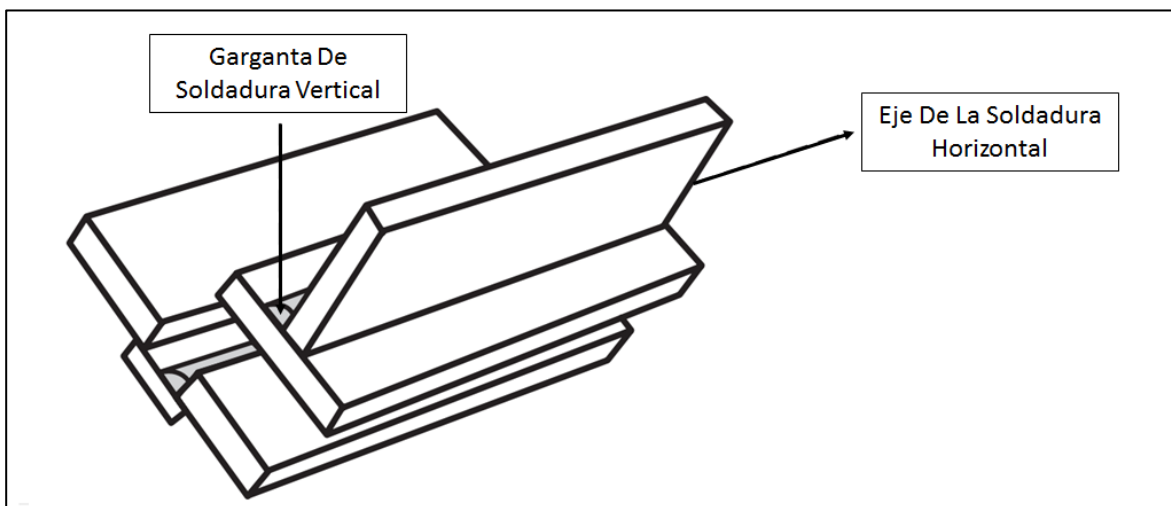


Fig. 3.5 Soldadura De Filete En Posición 1F [58].

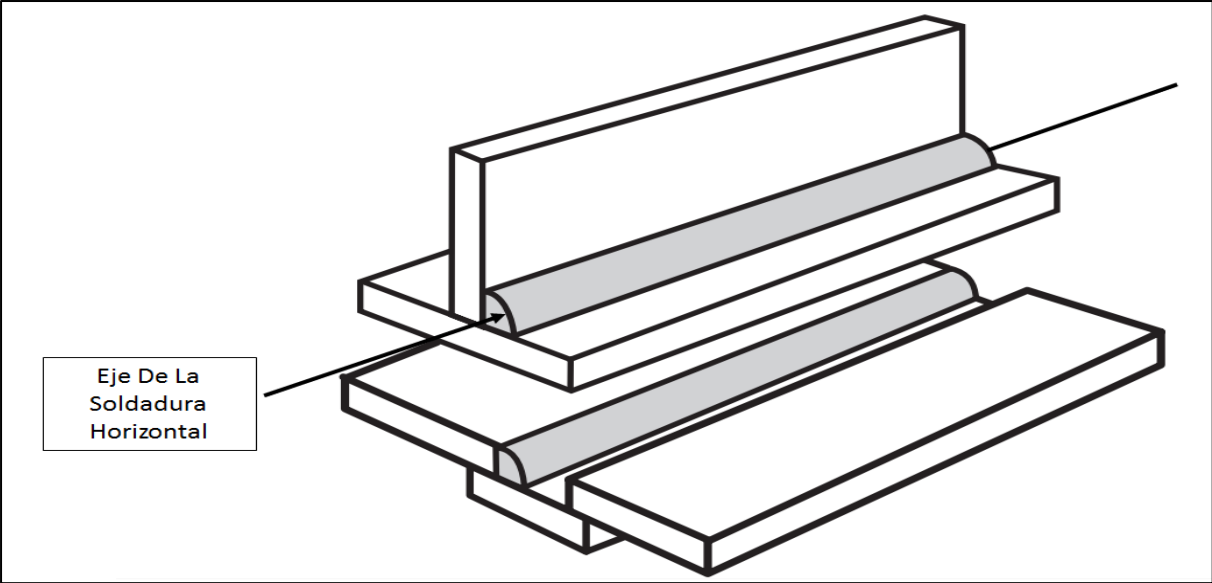


Fig. 3.6 Soldadura De Filete En Posición 2F [58].

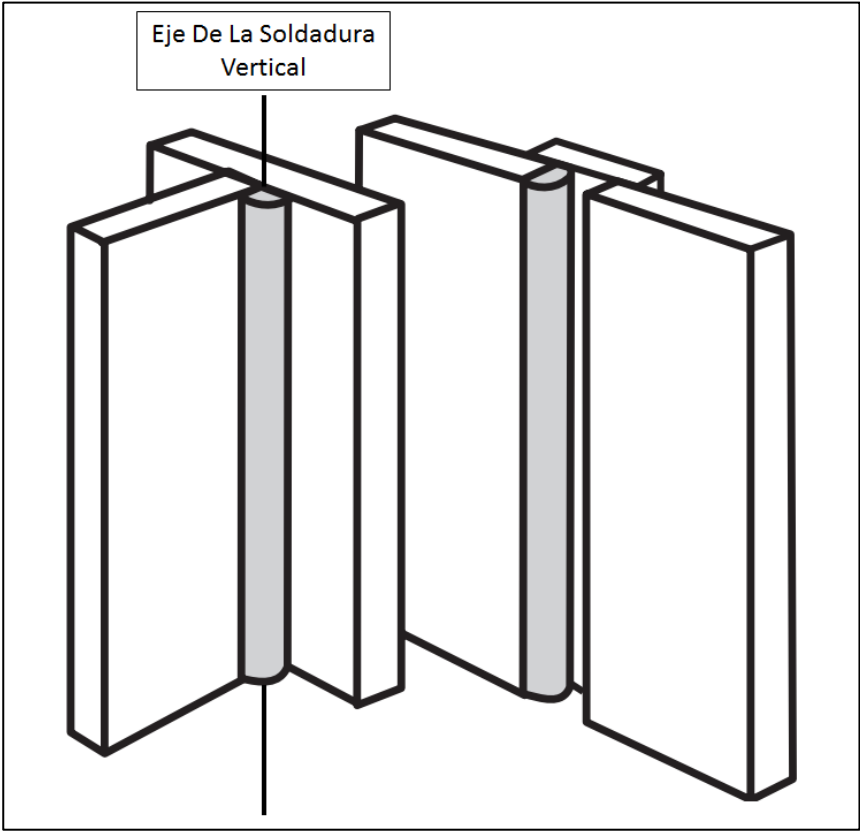


Fig. 3.7 Soldadura De Filete En Posición 3F [58].

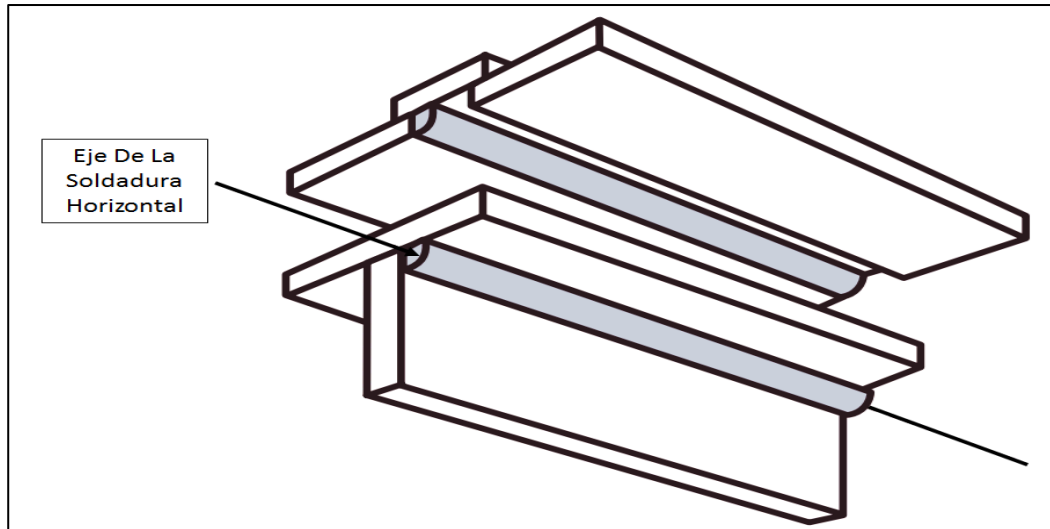


Fig. 3.8 Soldadura De Filete En Posición 4F [58].

### 3.2.3 Juntas Establecidas Para La Soldadura De Filete

Las juntas se clasifican con base en la orientación relativa de los metales base en que se realiza una soldadura. Básicamente se dividen en cinco: Junta a tope, en esquina, en borde, en traslape y en te (T) [3].

Existen tres juntas básicas donde pueden realizarse soldaduras de filete, la junta en esquina, la junta en te (T) y la junta en traslape.

Se define a la junta en esquina (corner joint) como una junta donde los metales base se localizan aproximadamente en un ángulo recto entre sí formando una L [3].

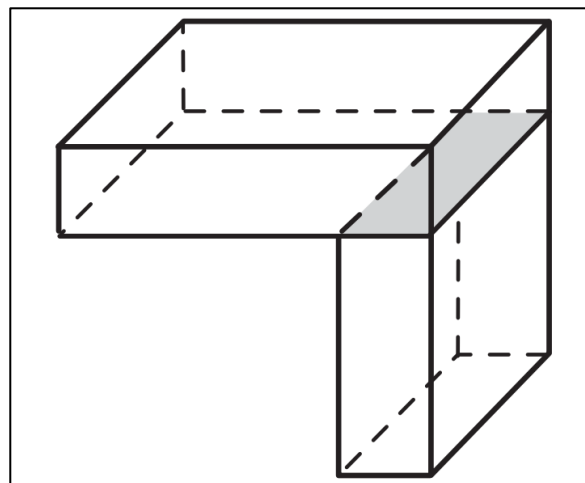


Fig. 3.9 Junta En Esquina [10].

La junta en te (T-joint) es aquella donde los metales base se encuentran aproximadamente a  $90^\circ$  entre si formando una te [3].

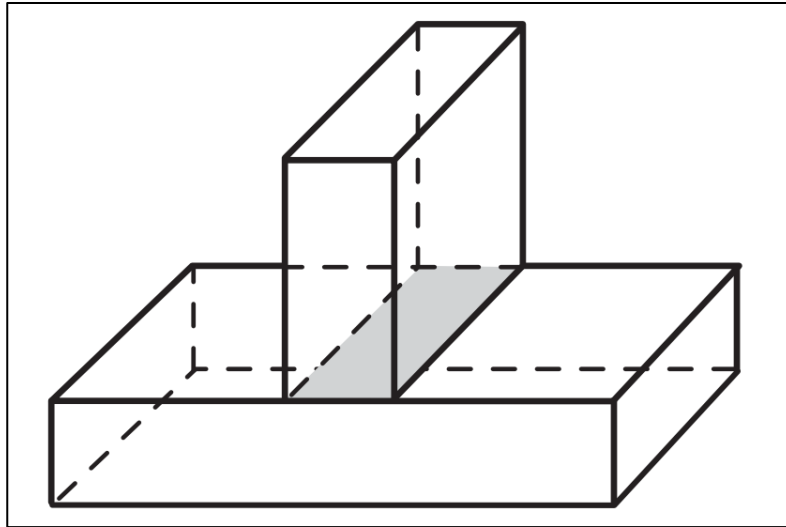


Fig. 3.10 Junta en te (T) [10].

La junta en traslape (lap joint) es aquella donde los metales base se encuentran traslapados en planos paralelos entre si [3].

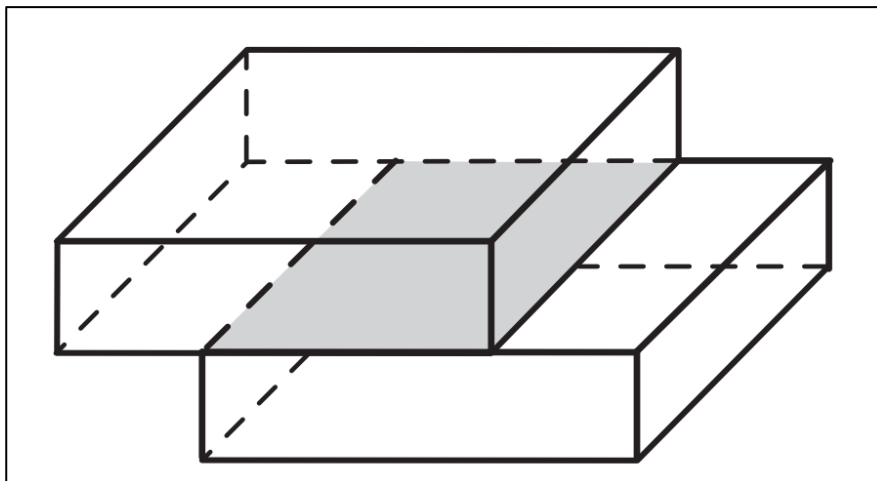


Fig. 3.11 Junta En Traslape [10].

### 3.2.4 Juntas Con Penetración Completa

Una junta con penetración completa (Complete Joint Penetration), abreviada como "CJP", es una soldadura de ranura donde el metal de aporte o electrodo con núcleo de fundente depositado se extiende a través del espesor de la junta [3].

Se caracteriza por la similitud de tamaño entre la soldadura depositada y el espesor del metal base usado [10].

La realización de soldaduras de filete, como se ha mencionado, puede realizarse en diversos tipos de juntas, con lo que de acuerdo al tipo de esta, se pueden realizar soldaduras de filete por uno o ambos lados en una junta con penetración completa como puede observarse en la Fig. 3.12, o en una junta con penetración parcial (Partial Joint Penetration) como se muestra en la Fig. 3.13.

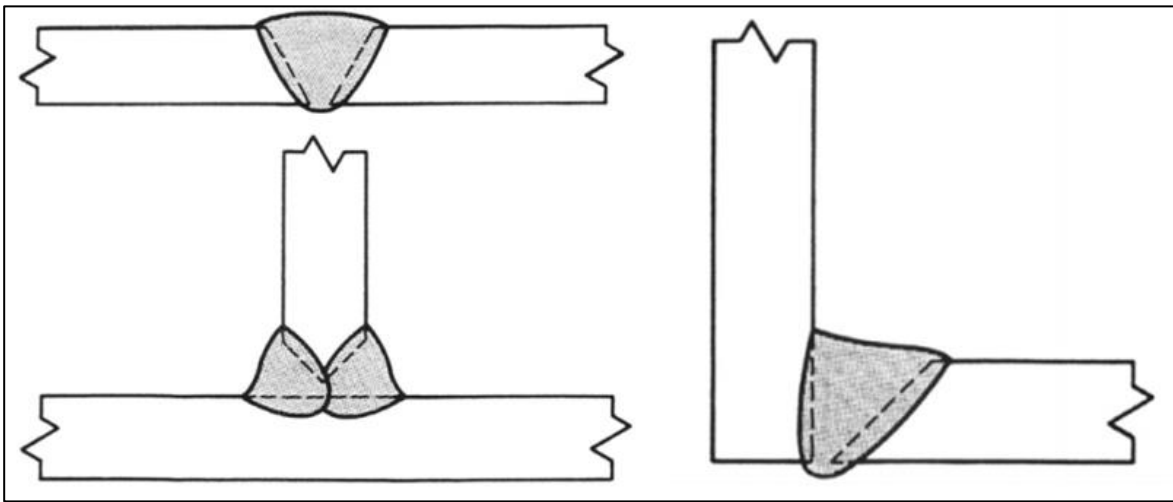


Fig. 3.12 Ejemplos De Soldaduras En Juntas Con Penetración Completa [3].

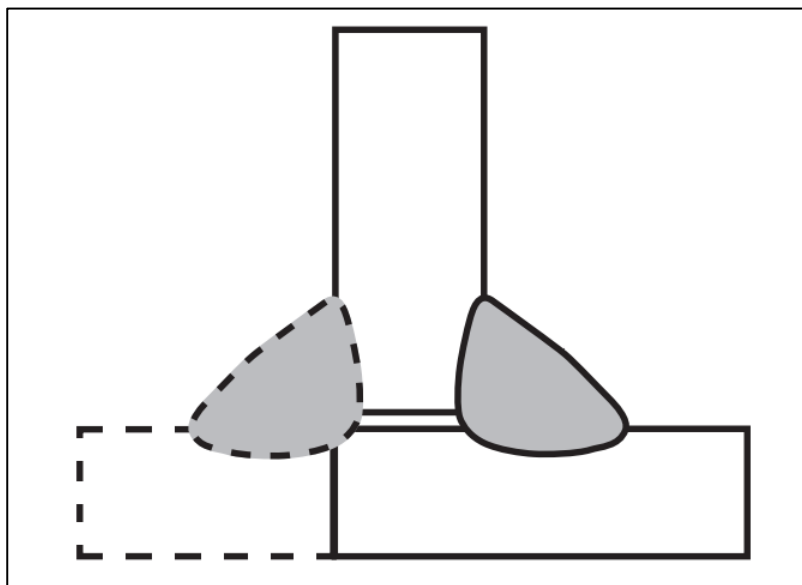


Fig. 3.13 Ejemplo De Soldadura De Filete En Junta Con Penetración Parcial (PJP) [58].

Cuando se desarrolla una soldadura de filete en una junta con penetración completa (CJP), se combinan las características de una soldadura de ranura en los pases de raíz y pase o pases intermedios, con una soldadura de filete como soldadura final o pase de vista.

Para juntas con metales base a  $90^\circ$  entre sí, y que son aplicables a las soldaduras de filete, AWS dentro de sus normativas cuenta con determinados parámetros a tomar en cuenta para el desarrollo de una junta con penetración completa, los cuales se muestran en la siguiente imagen.

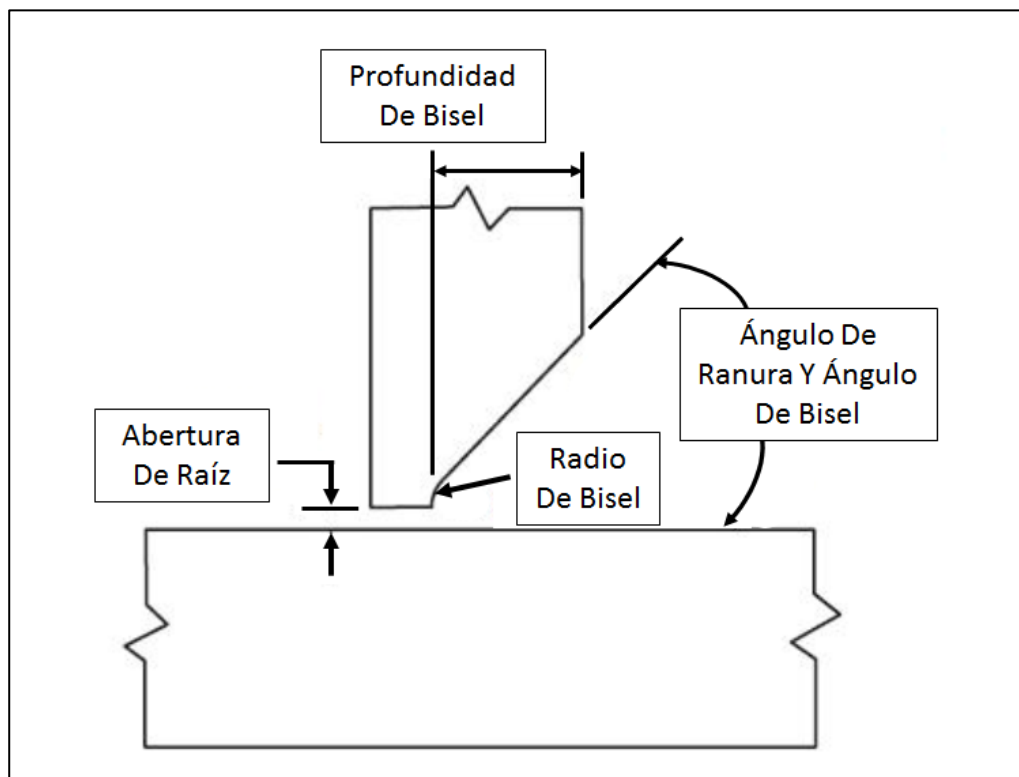


Fig. 3.14 Parámetros A Considerar Para Desarrollar Una Junta Con Penetración Completa En Metales Base A  $90^\circ$  [15].

### 3.2.5 Junta Propuesta Para La Soldadura De Filete Con Penetración Completa

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, la junta con penetración completa que se propone para este trabajo consiste en una junta en esquina donde se realizará un bisel sencillo a la placa vertical en conjunto con una placa horizontal sin ninguna preparación, para posteriormente realizar soldaduras de ranura y de filete en posición 3F ascendente.

Tomando como referencia los parámetros expuestos la Fig. 3.14. En la siguiente imagen se presenta la junta propuesta con sus especificaciones dimensionales. El diseño de las probetas se realizó en el software de código abierto SolveSpace.

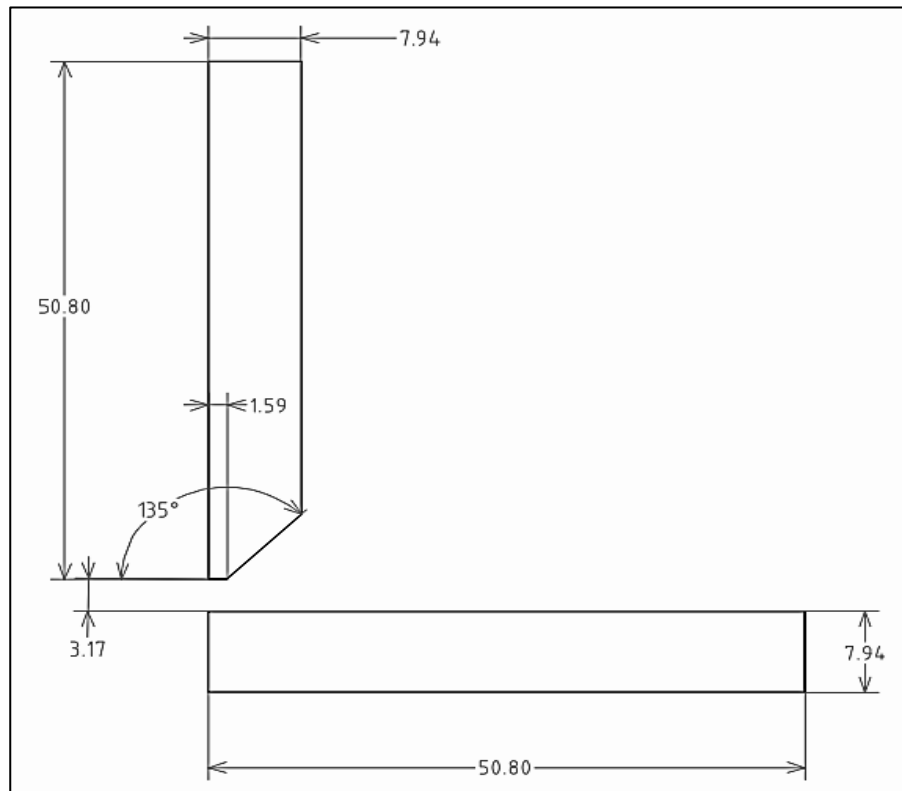


Fig. 3.15 Junta Con Penetración Completa Propuesta [64].

La siguiente tabla muestra la equivalencias dimensionales para cada parte de la junta propuesta con base los parámetros de la Fig. 3.14, en milímetros y fracciones de pulgada.

Tabla 3.5. Equivalencias Dimensionales De La Junta Propuestas [14].

<b>Equivalencias</b>		
<b>Parte De La Junta</b>	<b>Milímetros</b>	<b>Fracciones De Pulgada</b>
Profundidad De Bisel	6.35 (se muestra 1.59 mm porque es el metal base a respetar durante el biselado).	1/4 (1/16)

Abertura De Raíz	3.17	1/8
Espesor Del Metal Base	7.94	5/16
Ancho Del Metal Base	50.80	128/64 (2")
Ángulo De Bisel	45° o 135°	45° o 135°

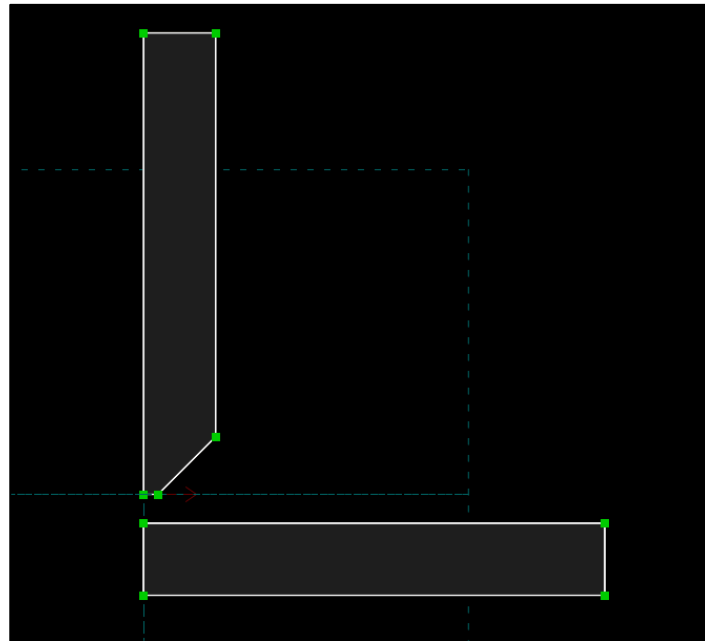


Fig. 3.16 Vista Inferior De La Junta Propuesta [64].

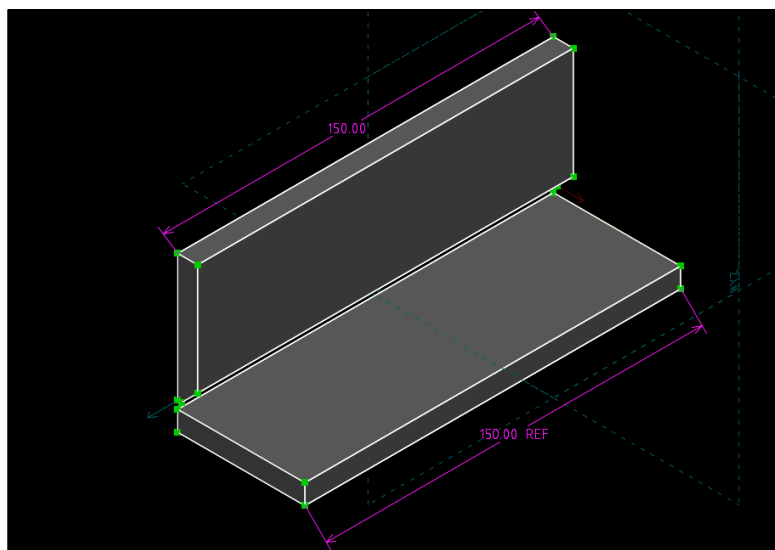


Fig. 3.17 Vista Isométrica De La Junta Propuesta [64].

Las soldaduras por realizar en la junta propuesta se llevaran a cabo en la posición vertical ascendente 3F, la Fig. 3.18 muestra una vista simulada de la junta previo a ser soldada.

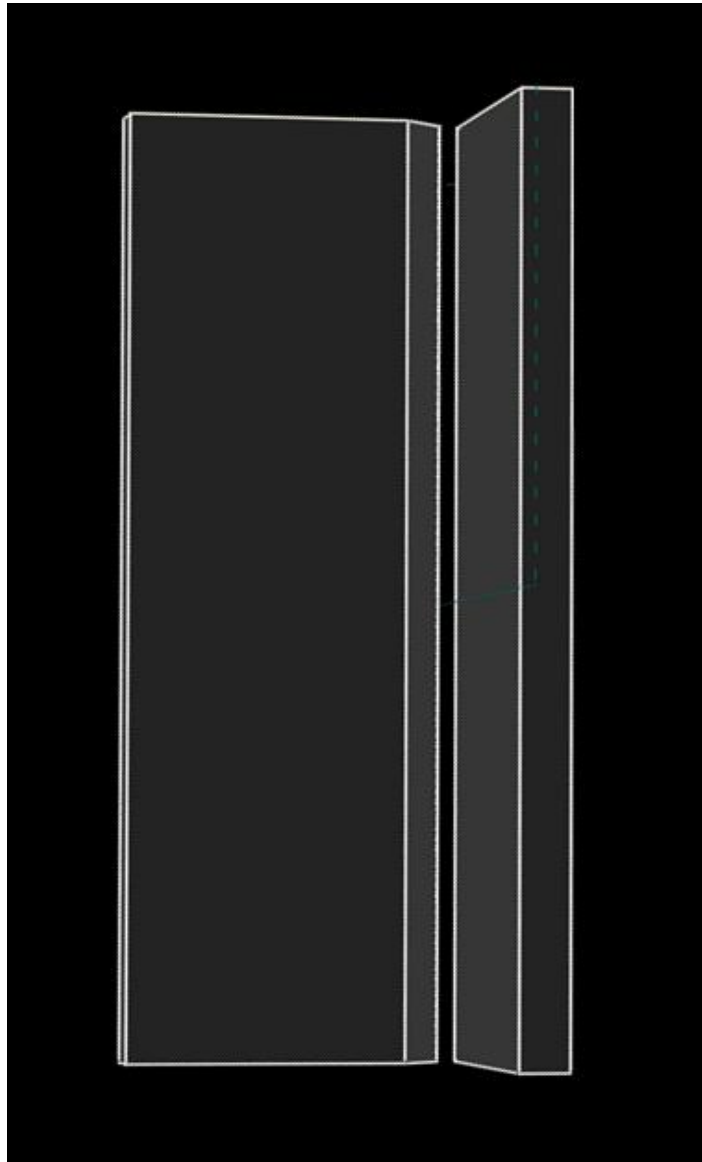


Fig. 3.18 Simulación De La Junta Con Penetración Completa En Posición 3F [64].

### 3.3 Especificaciones Del Electrodo Con Núcleo De Fundente Autoprotegido Propuesto

Para el desarrollo de este trabajo, se hará uso de electrodo con núcleo de fundente autoprotegido (FCAW-S). Se seleccionó específicamente el electrodo E71T-11 de la marca Lincoln Electric, conocido comercialmente como “Innershield NR-211-MP” con diámetro de 0.035 pulgadas (0.9 milímetros) en la siguiente tabla se muestran sus principales características.

Tabla 3.6. Características Del Electrodo E71T-11 [22, 65 y 66].

<b>FCAW-S E71T-11</b>			
<b>Características</b>	<b>Posiciones De Soldadura</b>	<b>Polaridad</b>	<b>Modo De Transferencia Al Metal Base</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este tipo de electrodos son autoprotegidos, en algunas ocasiones conocidos como autorrevestidos.</li> <li>• La remoción de la escoria es sencilla.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pocas proyecciones o salpicaduras.</li> </ul> </li> <li>• Los cordones de soldadura tienen una apariencia estética.</li> <li>• Es una soldadura designada para múltiples pases.</li> <li>• Versátil al momento de aplicarse en diversos metales base con espesores menores a 3/4".</li> <li>• Idóneo para soldaduras de filete.</li> </ul>	Todas las posiciones (1G, 2G, 3G, 4G, 1F, 2F, 3F y 4F).	Directa (CDEN)	Pulverizada

### 3.3.1 Propiedades Mecánicas Del Electrodo Propuesto

La siguiente tabla muestra las propiedades mecánicas requeridas con base a la normativa pertinente y las obtenidas mediante pruebas realizadas por el fabricante de la soldadura.

Tabla 3.7. Propiedades Mecánicas Del Electrodo E71T-11 [22 y 65].

<b>Propiedades Mecánicas Del Electrodo E71T-11</b>						
<b>Según</b>	<b>Resistencia A La Cedencia</b>		<b>Resistencia A La Tensión</b>		<b>Mínimo Porcentaje De Elongación (%)</b>	<b>Dureza Rockwell</b>
	<b>MPa</b>	<b>ksi</b>	<b>MPa</b>	<b>ksi</b>		
AWS A5.20	390	58	490-670	70-95	20	No Especificada
Lincoln Electric	435-475	63-69	605-645	88-94	22-25	89-92

### 3.3.2 Composición Química Del Electrodo Propuesto

Al igual que con las propiedades mecánicas, en la siguiente tabla se muestra la composición química del electrodo E71T-11 según AWS y las pruebas realizadas por el fabricante del electrodo a usar.

Tabla 3.8. Requerimientos De Composición Química Para El Electrodo E71T-11 [22 y 65].

<b>Composición Química Del Electrodo E71T-11</b>						
<b>Según</b>	<b>Elementos Químicos (Porcentaje Del Peso)</b>					
	<b>Carbono (C)</b>	<b>Manganeso (Mn)</b>	<b>Silicio (Si)</b>	<b>Azufre (S)</b>	<b>Fosforo (P)</b>	<b>Aluminio (Al)</b>
AWS A5.20	0.30	1.75	0.60	0.03	0.03	1.8
Lincoln Electric	0.23-0.26	0.57-0.66	0.17-0.26	≤0.01	≤0.01	1.3-1.6

Existen otros elementos que pueden ser añadidos, tales como el Cromo (Cr), Níquel (Ni), Molibdeno (Mo), Vanadio (V) y Cobre (Cu), los cuales según indica la norma deben ser reportados solo si se pretende añadirlos a la soldadura, dado que el fabricante no los reporta, se presentan en la siguiente tabla para fines informativos.

Tabla 3.9. Elementos Químicos Por Reportar Si Son Añadidos Al Electrodo E71T-11 [22].

<b>Elementos Químicos Por Reportar</b>					
<b>Según</b>	<b>Elementos Químicos (Porcentaje Del Peso)</b>				
	<b>Cromo (Cr)</b>	<b>Níquel (Ni)</b>	<b>Molibdeno (Mo)</b>	<b>Vanadio (V)</b>	<b>Cobre (Cu)</b>
AWS A5.20	0.20	0.50	0.30	0.08	0.35

### 3.3.3 Ventajas Y Limitantes Del Electrodo Propuesto

La soldadura realizada mediante electrodos con núcleo de fundente autoprotegido (FCAW-S), al igual que cualquier proceso de soldadura cuenta con ventajas y limitantes, las cuales se enuncian en la siguiente tabla.

Tabla 3.10. Ventajas Y Limitantes Del Proceso De Soldadura Con Electrodo Con Núcleo De Fundente [67].

<b>Ventajas Y Limitantes Del Proceso FCAW-S</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Limitantes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena penetración en el metal base.</li> <li>• La soldadura depositada es de buena calidad.</li> <li>• Eficiencia en la producción al depositar la soldadura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos costosos.</li> <li>• Electrodos costosos, comparados con otros procesos de soldadura.</li> <li>• Equipo con limitaciones en su maniobrabilidad en algunos lugares.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Se reducen las deformaciones producto del calor.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alto nivel de proyecciones y humos al momento de soldar.</li></ul>
--	--



Fig. 3.19 Presentación Comercial De La Soldadura FCAW-S Lincoln E71T-11 [68].

### 3.4 Secuencia Propuesta Para Los Pases De Soldadura

Cuando se realizan soldaduras en una junta con penetración completa, se requieren varios pases o cordones de soldadura, respectivamente de primer al último pase depositado se conocen como pase de raíz, pase caliente (aplica solo para tuberías), pase o pases de relleno y pase de “presentación [69 y 70].

#### 3.4.1 Pase De Raíz

El pase de raíz (root pass) es el pase de soldadura con el que se produce el cordón de raíz, es decir el primer pase en una junta con penetración completa [3].

En ocasiones también se le conoce como “primera capa”, la soldadura de raíz tiene gran importancia al momento de realizar juntas con penetración completa, ya que en ella recae la solidez y confiabilidad de la soldadura terminada [71].



Fig. 3.20 Vista Amplificada Del Pase De Raíz En Una Junta A Tope [72].

### 3.4.2 Pase Caliente

El pase o paso caliente (hot pass), es un término que a pesar de no estar normalizado, hace referencia a uno de los pases de soldadura posteriores al paso de raíz [3].

Es el segundo cordón de soldadura depositado en una junta con penetración completa, cuando esta se realiza en una tubería, la cual se realiza a la mayor brevedad posible (alrededor de diez minutos), una vez finalizado el pase de raíz, realizando la limpieza previa de la escoria generada por la soldadura para evitar la posible aparición de discontinuidades [70].

Debido a que el pase de raíz puede presentar discontinuidades como la socavación u inclusiones de escoria, una alternativa a la limpieza del pase de raíz mediante el esmerilado, es el pase caliente, ya que permite una limpieza con mayor eficiencia de la escoria atrapada, dando como resultado un pase de raíz con mayor uniformidad [73].

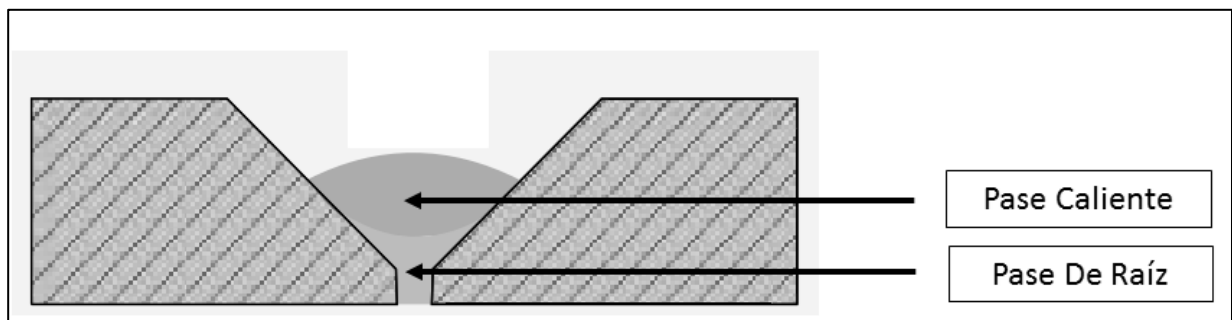


Fig. 3.21 Ejemplo De Pase Caliente [74].

### 3.4.3 Pase De Relleno

El pase de relleno, también conocido como pase intermedio (intermediate weld pass), es uno de los pases de soldadura a realizar en una junta con penetración completa posterior al pase de raíz, pero anterior al pase de presentación o de vista [3].

El o los pases de relleno aplicados, fungen como un tratamiento térmico a los pases de soldadura previamente aplicados, reducen la dureza de la junta y mejoran las propiedades de la microestructura de la soldadura. Se debe tomar en consideración que el tratamiento térmico causado por los pases de relleno no elimina en su totalidad los esfuerzos residuales [75].

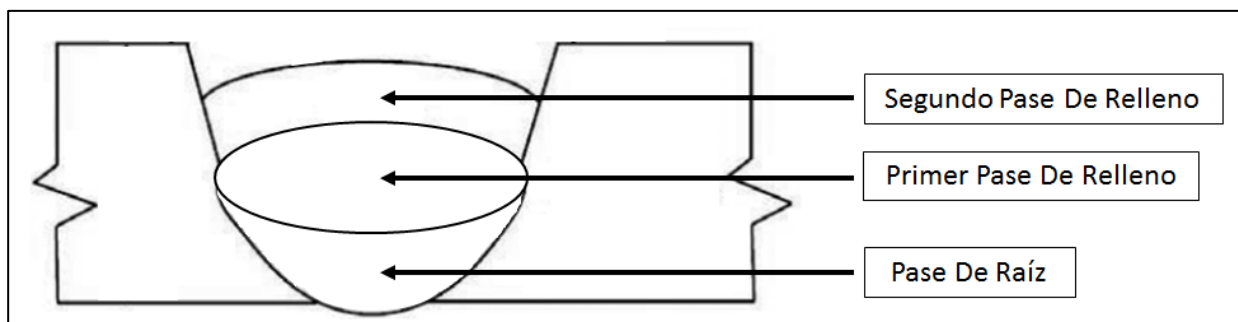


Fig. 3.22 Ejemplo De Pases De Relleno [76].

### 3.4.4 Pase De Presentación

Conocido en ocasiones como pase de vista (cover pass), es el pase de soldadura expuesto en una junta con penetración completa, es decir, en la cara o lado donde se realizó la soldadura. [3].

El pase de presentación o de cubierta es la última soldadura por realizar, debe contar con uniformidad y limpieza en todo el cordón, no debe presentar discontinuidades visibles (porosidades, socavaciones o inclusiones de escoria, por mencionar algunas). Debido a que en la mayoría de las ocasiones la inspección de una soldadura solo es visual, el pase de presentación debe reunir las mejores características visibles para evitar un rechazo por parte del inspector debido a su apariencia [70 y 73].

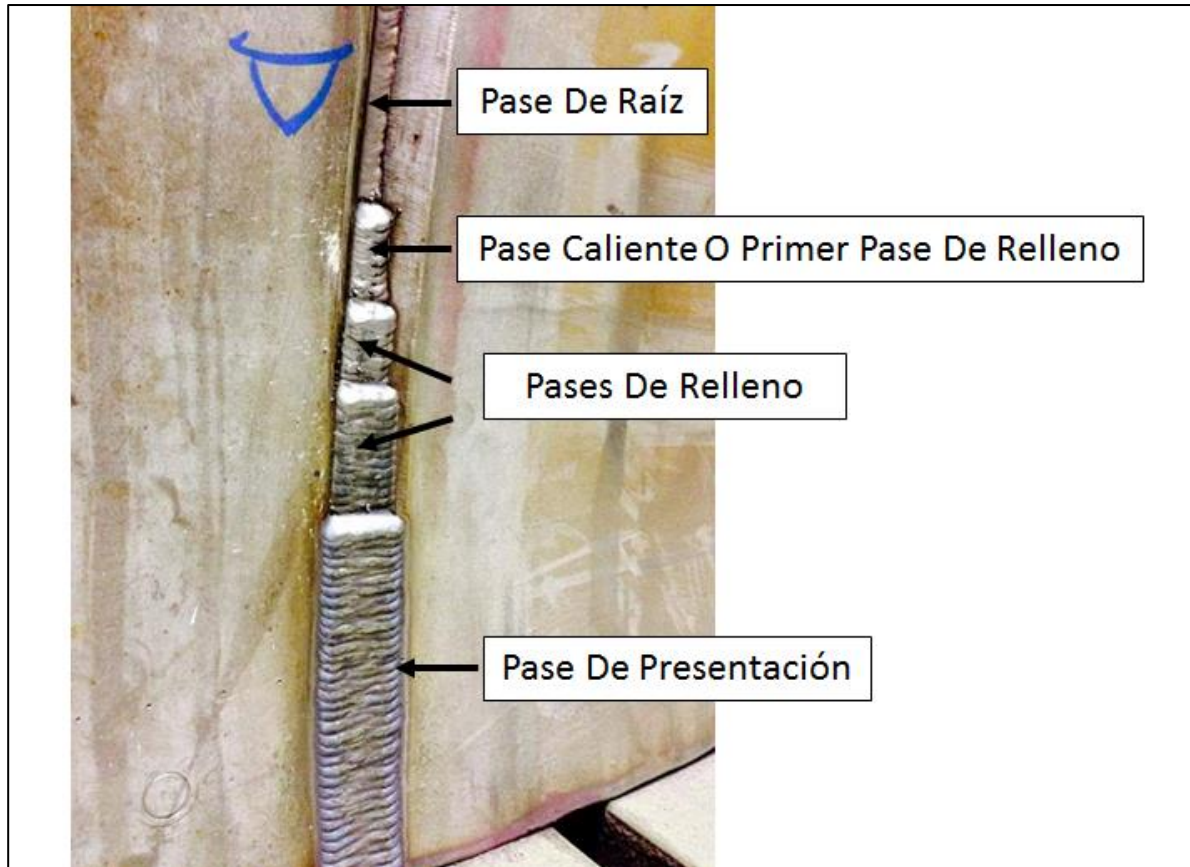


Fig. 3.23 Ejemplo De Pase De Presentación En Una Junta Con Penetración Completa [77].

### 3.4.5 Secuencia Experimental Propuesta Para Los Pases De Soldadura A Realizar

Una vez mencionados los pases de soldadura requeridos para realizar un junta con penetración completa, a fin de desarrollar este trabajo se proponen 4 pases de soldadura en la posición 3F, a continuación se muestran las características propuestas.

Tabla 3.11. Pases De Soldadura Y Sus Características [78].

Pases De Soldadura Con Electrodo FCAW-S E71T-11		
Número De Pase	Tipo De Pase	Características
1	Raíz	Es el pase encargado de unir ambos metales base, para la junta experimental propuesta también ayuda a rellenar una parte del espacio en la junta biselada.

2	Primer pase de relleno	Se encarga de reforzar el pase de raíz y adiciona metal de soldadura para rellenar el espacio faltante en la junta biselada.
Nota: El primer y segundo pasos de soldadura cumplen la función de rellenar el espacio en la junta biselada, es decir, se espera que estos dos pases rellenen la ranura existente en la junta con penetración completa propuesta.		
3	Segundo pase de relleno	Cumple la función de rellenar espacio faltante en la junta biselada y dar mayor tamaño al pase subsecuente.
4	Pase de presentación	Este será el pase de soldadura a evaluar mediante el ensayo no destructivo con líquidos penetrantes. El pase por realizar será una soldadura de filete.

Dado que la junta experimental propuesta, como se ha mencionado, combina las características de una soldadura de ranura para el pase de raíz y pases de relleno, aunado a que el pase de presentación será una soldadura de filete depositado en una “junta llena”, equivalente a una junta con penetración parcial, se hará uso de la siguiente tabla para delimitar el tamaño de la garganta efectiva la soldadura de filete tomando como referencia especificaciones establecidas por AWS.

Tabla 3.12. Garganta Efectiva Mínima Para Soldaduras De Filete Según AWS [10].

<b>Especificaciones Para La Soldadura De Filete</b>			
<b>Espesor Del Metal Base</b>		<b>Garganta Efectiva Mínima</b>	
<b>Pulgadas</b>	<b>Milímetros</b>	<b>Pulgadas</b>	<b>Milímetros</b>
1/8-3/16	2-5	1/16	2
>3/16-1/4	5-6	1/8	3
>1/4-1/2	6-13	3/16	5

>1/2-3/4	13-19	1/4	6
>3/4-1 ½	19-38	5/16	8
>1 ½-2 ¼	38-57	3/8	10
>2 ¼-6	57-150	1/2	13
>6	>150	5/8	16

El único parámetro con posibilidad de ser propuesto es el de la garganta efectiva, la cual se propone tenga dimensiones superiores a 3/16 de pulgada (4.76 milímetros) al momento de realizar las mediciones pertinentes.

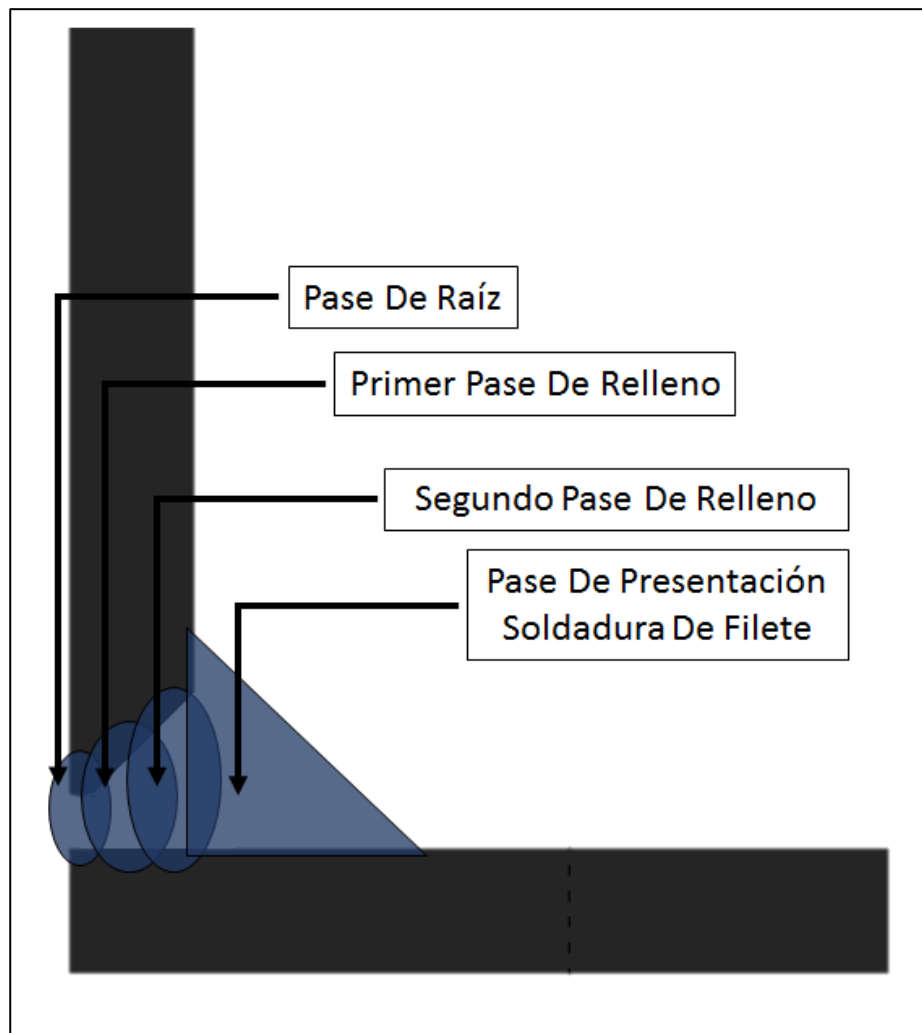


Fig. 3.24 Simulación De Los Pases De Soldadura Propuestos [64].

### 3.5 Normas Para El Desarrollo Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes

#### 3.5.1 Norma ASTM E165

Es el método normalizado para la inspección de soldaduras por líquidos penetrantes. En ella se especifica el propósito, discontinuidades a las que es susceptible, materiales, método, importancia, uso y procedimientos de cómo se puede aplicar el ensayo.

Resume las clasificaciones de los líquidos penetrantes según el método de observación y remoción, como se menciona en las Tablas 2.17 y 2.18 de este trabajo.

Asimismo, muestra el procedimiento general y la normativa específica a seguir para los tipos de ensayo según el método de remoción. La normativa pertinente para los líquidos penetrantes removibles con solvente según la ASTM E165 es la ASTM E1220.

#### 3.5.2 Norma ASTM E1220

En esta norma se establece el procedimiento para el ensayo no destructivo (NDT) para la examinación con líquidos penetrantes removibles con solvente o disolventes. En la siguiente tabla se resumen las características principales de la norma.

Tabla 3.13. Características De Aplicación De La Norma ASTM E1220 [79].

<b>ASTM E1220</b>	
<b>Especificaciones</b>	<b>Aplicable A</b>
Discontinuidades	Abiertas a la superficie: porosidades, falta de fusión, laminaciones, traslape, laminaciones, grietas, cierres en frío, fugas pasantes y costuras (por mencionar algunas).
Indicaciones Temporales De Uso	Antes, durante y posterior de una prueba o mantenimiento.
Materiales	No porosos: metálicos (ferrosos y no ferrosos), no metálicos (cerámicos vidriados, plásticos y vidrios no porosos)

### 3.5.2.1 Características De Los Líquidos Penetrantes

La norma establece las características que deben cumplir los líquidos utilizados para realizar el ensayo. Para este trabajo se hará uso de un líquido penetrantes removible con solvente en conjunto con un removedor o limpiador a base de solvente y un revelador no acuoso, todos aplicados por pulverización (spray). En la siguiente tabla se presenta las características para estos líquidos.

Tabla 3.14. Características De Los Líquidos Usados Según La Norma ASTM E1220 [79].

<b>Líquidos Usados En El Ensayo No Destructivo</b>	
<b>Líquido</b>	<b>Características</b>
Penetrante Visible Removible Con Solvente	Están diseñados de modo que el exceso de tinte penetrante pueda ser removido con un material seco, limpio y sin pelusas, para posteriormente realizar una limpieza con un material similar, humedecido con removedor a base de solvente.
Removedor A Base De Solvente	Se encargan de disolver el penetrante, para proceder a limpiar el material a examinar y retirarle los excesos de tinte.
Revelador No Acuoso	Cumple la función de extraer el penetrante de las discontinuidades (si existen) mediante un secado del revelador aplicado.  El revelador no acuoso normalmente se presenta en una suspensión con partículas reveladoras, formando una capa blanca sobre la pieza a inspeccionar cuando se secan, a modo de fondo contrastante.

### 3.5.2.2 Procedimiento Para El Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes Por Líquidos Penetrantes Removibles Con Solvente

ASTM E1220 establece el procedimiento para un desarrollo correcto del ensayo no destructivo con líquidos penetrantes. En la siguiente tabla se enlista por pasos el desarrollo.

Tabla 3.15. Procedimiento Para El Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes [79].

<b>END Por Líquidos Penetrantes Según ASTM E1220</b>		
<b>Paso</b>	<b>Acción Por Realizar</b>	
1	Pre-limpieza	Antes de la aplicación del penetrante se debe realizar una limpieza de cualquier contaminante (oxido, escoria y proyecciones de la soldadura, grasa pintura y suciedad en general) que pueda perjudicar la penetración del tinte. La pre-limpieza puede realizarse con los siguientes métodos: Alcalinos, vapor, desengrase por vapor, lavado con solventes, grabado con ácidos, mecánico, removedores de pintura, ultrasónico o con detergentes.
2	Secado posterior a la pre-limpieza	Para una correcta entrada del penetrante en las discontinuidades existentes es primordial que la superficie a inspeccionar se encuentre totalmente seca. Este secado puede realizarse con: Hornos de secado, lámparas infrarrojas, con flujos de aire frio o caliente forzado, o exponiéndose a temperatura ambiente.
3	Aplicación del líquido penetrante removible con solvente	Completados y cumplidos los pasos anteriores se aplica el penetrante sobre la superficie a inspeccionar a modo que toda la pieza quede cubierta por el tinte. Puede hacerse por inmersión, cepillado, inundación o pulverización. De acuerdo al método de aplicación se debe respetar el tiempo de permanencia establecido por la norma.  El uso del tinte penetrante en aerosol facilita la inspección debido a su portabilidad, aunque se debe considerar si el tinte es adecuado para el material a inspeccionar.

4	Remoción del líquido penetrante	<p>Una vez finalizado el tiempo de permanencia propuesto por la norma, el excedente de líquido penetrante procede a removerse con un paño seco, limpio y libre de pelusas. Este procedimiento se debe repetir hasta remover la mayor cantidad de penetrante posible. Posteriormente se usa un paño limpio, libre de pelusas y humedecido con removedor para retirar los remanentes de líquido penetrante.</p> <p>Si se cree que hubo un abuso en el uso del removedor al momento de la limpieza, se debe volver al realizar el procedimiento desde el paso 1.</p>
5	Secado posterior al uso del removedor	<p>Normalmente no se requiere de ningún dispositivo o herramienta para realizar este secado. Se realiza mediante la evaporación producto de la temperatura ambiente, siempre que esta se encuentre dentro de los rangos designados.</p>
6	Aplicación del revelador no acuoso	<p>Una vez cumplidos los puntos 4 y 5 se aplica el revelador mediante pulverización, verificando que la cobertura sea total y uniforme sobre la pieza a inspeccionar, respetando el tiempo de revelado que aplique según la norma y teniendo cuidado de no aplicar más revelador del requerido ya que el penetrante en las discontinuidades puede disolverse.</p>
7	Secado posterior a la aplicación del revelador	<p>Al igual que en el paso 5 no se requieren dispositivos o herramientas para secar el agente revelador no acuoso. Se hace uso de la evaporación por temperatura ambiente, verificando que esta se encuentre en rangos designados.</p>
8	Examinación Del Material	<p>Una vez finalizado el tiempo de revelado que aplique según la norma, el cual, permite el sangrado adecuado del tinte que se alojó en las discontinuidades por medio de la capa de líquido revelador seco, se procede a examinar las piezas ensayadas, la norma recomienda una</p>

		observación constante durante la aplicación del revelador para evaluar a la brevedad las indicaciones localizadas. Asimismo, se sugiere el uso de una intensidad luminosa (natural o artificial) en la zona de examinación de mínimo 1000 lux, en conjunto con una zona designada para la examinación con la mayor limpieza posible.
9	Limpieza final posterior al ensayo	Se requiere cuando el penetrante alojado en las discontinuidades o indicaciones pueda alterar un proceso posterior o interfiera con la puesta en servicio del material inspeccionado, se realiza principalmente para evitar la corrosión debida a la interacción entre el penetrante y agentes externos que interactúan con el material. Esta limpieza puede realizarse con: Máquinas de lavado, desengrasado con vapor, inmersión en disolvente y limpieza por ultrasonido.

Como se menciona en la tabla anterior, el líquido penetrante y el líquido revelador tienen un tiempo de permanencia mínimo y máximo en el material a inspeccionar, al igual que un rango de temperatura aceptado por la norma. En la siguiente tabla se presentan dichos datos.

Tabla 3.16. Especificaciones Para El Líquidos Penetrante Y Líquidos Revelador [79].

<b>Especificaciones Para Realizar El Ensayo</b>		
<b>Parámetro (Cuando se aplica en acero)</b>	<b>Indicación De La Norma</b>	
	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Tiempo De Permanencia Del Líquido Penetrante	5 minutos	1 hora
Tiempo De Revelado Del Líquido Revelador No Acuoso	10 minutos	1 a 2 horas.
Temperatura	4° C	52° C

Por lo tanto, para desarrollar el ensayo no destructivo para este trabajo, se presenta el procedimiento general resumido a continuación.

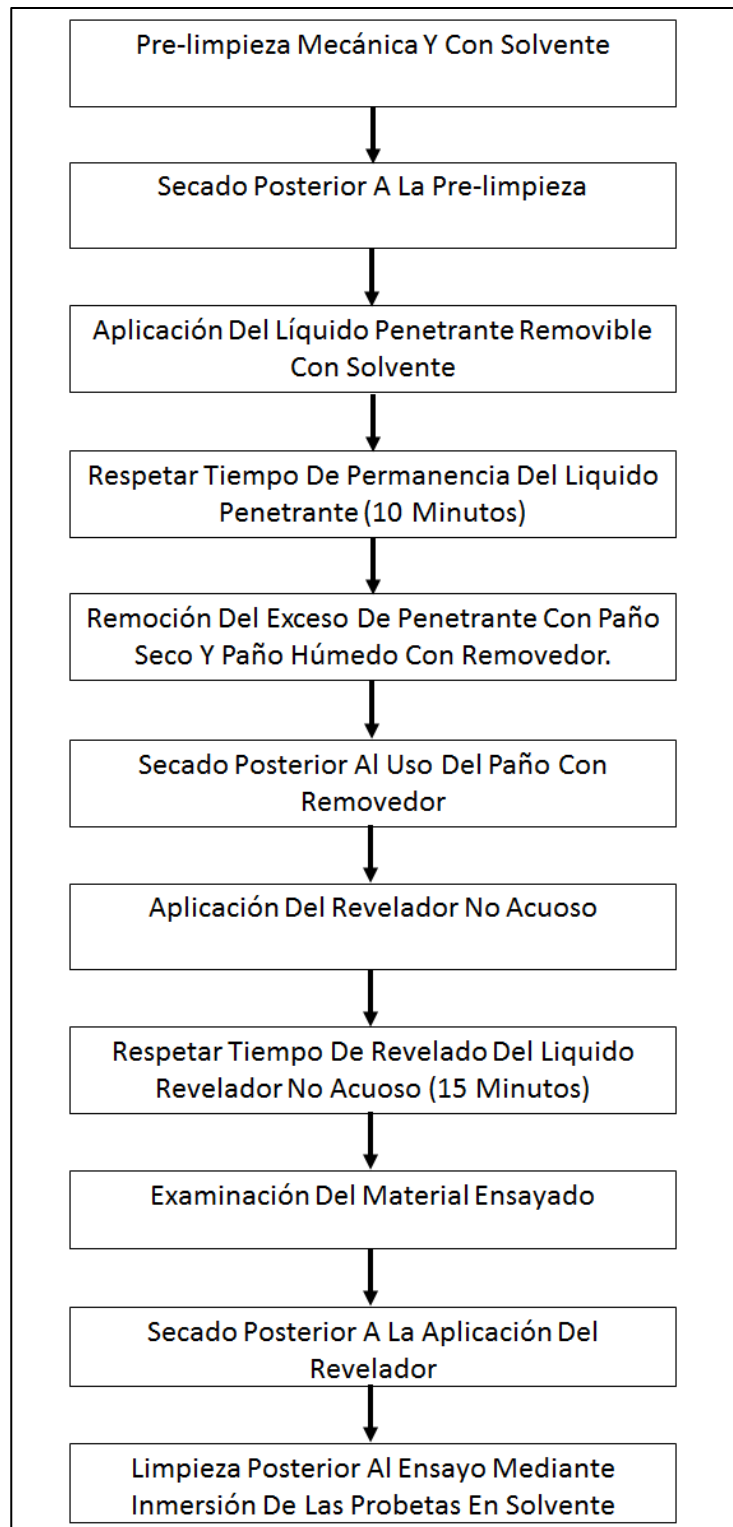


Fig. 3.25 Procedimiento Que Seguir Para La Propuesta Experimental [64 y 79].



Fig. 3.26 Presentación Comercial De Los Líquidos Penetrantes Removibles Con Solvente En Spray [80].

### 3.6 Criterios De Aceptación Para El Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes

#### 3.6.1 Discontinuidades Susceptibles Al Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes

AWS ha enlistado las diversas discontinuidades susceptibles de ser localizadas por cada ensayo no destructivo, en la siguiente tabla se enlistan las discontinuidades localizables con el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, las cuales, como se ha mencionado se caracterizan por ser abiertas a la superficie.

Adicionalmente en la tabla se especifica si dicha discontinuidad está presente en el proceso de soldadura por arco con electrodo de núcleo fundente autoprotegido (FCAW-S).

Tabla 3.17. Proceso FCAW-S Y Sus Discontinuidades Susceptibles A Los Líquidos Penetrantes [11 y 79].

Líquidos Penetrantes Y Discontinuidades	
Discontinuidades Localizables Por Líquidos Penetrantes	Discontinuidad Presente En El Proceso FCAW-S
Porosidades	Si

Inclusiones De Escoria	Si
Fusión Incompleta	Si
Socavación	Si
Traslape	Si
Grietas	Si

Es decir, todas las discontinuidades con posibilidad de presentarse en el proceso de soldadura FCAW-S, pueden ser localizadas con el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, para posteriormente ser evaluadas y aceptadas con base a los criterios de aceptación existentes.

### 3.6.2 Criterios De Aceptación AWS

AWS establece que toda soldadura debe ser inspeccionada visualmente y si además se realizará un ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, la evaluación de dichas soldaduras debe estar acorde con los criterios de aceptación para la inspección visual que propone el código AWS D1.1 y que aplican para este trabajo, los cuales se presentan la siguiente tabla.

Tabla 3.18. Discontinuidades Y Su Criterio De Aceptación Según AWS [58].

<b>Criterios De Aceptación Según AWS</b>	
<b>Discontinuidad</b>	<b>Criterio Para Su Aceptación O Rechazo</b>
Grietas	No se acepta ninguna grieta, sin importar su ubicación o tamaño en la soldadura.
Fusión De La Soldadura En El Metal Base	La fusión entre pases de soldadura y con el metal base debe ser completa para su aceptación.
Socavación	Para materiales con espesor menor a 1 pulgada (25 milímetros), la socavación no debe exceder de 1/32 de pulgada (1 milímetro) de profundidad.

Porosidad	<p>Para soldaduras de filete la porosidad vermicular visible de 1/32 de pulgada (1 milímetro) o más no deberán superar en suma 3/8 de pulgada (10 milímetros) en cualquier tramo lineal de soldadura de 1 pulgada (25 milímetros).</p> <p>La frecuencia de la porosidad vermicular no debe exceder de una aparición por cada 4 pulgadas (100 milímetros) y no debe sobrepasar 3/32 de pulgada (2.5 milímetros) de diámetro.</p>
Inclusión De Escoria	<p>Esta discontinuidad no se especifica en los criterios de aceptación, por lo tanto para los fines de este trabajo se considerarán los criterios de aceptación de la porosidad vermicular.</p> <p>Las inclusiones de escoria no deberán ser superiores a 3/32 de pulgada (2.5 milímetros) y si solo se permitirá la aparición de una inclusión por cada 4 pulgadas (100 milímetros).</p>
Traslape	<p>Al igual que la inclusión de escoria, no se especifica el criterio para su aceptación por parte de AWS, con base en lo anterior, en caso de su aparición será rechazado si su tamaño excede 3/32 de pulgada (2.5 milímetros) y será necesario su retrabajo, así como la eliminación del metal de soldadura excesivo, tal como se indica en el punto 7.25.1.1 de AWS D1.1.</p>

### 3.6.3 Criterio De Aceptación ASME

El código ASME Sección VIII División 1 en su apéndice mandatorio 8 establece los criterios para evaluar y aceptar o rechazar las discontinuidades localizadas con el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes con base en su tamaño y no en el tipo de discontinuidad

localizada, al contrario que el criterio de aceptación AWS donde cada discontinuidad tiene criterios específicos para su aceptación o rechazo.

El tamaño de una discontinuidad (indicación según ASME) es la base para evaluar su aceptación. Las discontinuidades se consideran relevantes si su dimensión es superior a 1/16 de pulgada (1.5 milímetros) [81].

El código ASME divide las discontinuidades de acuerdo con su forma o el modo de interpretarla, se presenta dicha división en la siguiente tabla.

Tabla 3.19. División De Las Discontinuidades Según ASME [81].

<b>Tipos De Discontinuidades Según El Apéndice Mandatorio 8</b>	
<b>Discontinuidad (Indicación)</b>	<b>Definición O Acción Por Realizar</b>
Lineal	Se caracteriza por tener una longitud mayor que el triple de su anchura.
Redondeada	Cuenta con una forma redondeada (circular o elíptica) cuya longitud es igual o inferior a tres veces su anchura.
Cuestionable o dudosa	Estas discontinuidades deben reexaminarse para determinar si son o no relevantes.

Una vez mencionados los tipos de discontinuidades (indicaciones) y sus características, en la siguiente tabla se presenta el criterio de aceptación ASME.

Tabla 3.20. Discontinuidades Y Su Criterio De Aceptación Según ASME [81].

<b>Criterio De Aceptación ASME</b>		
<b>Toda Superficie Examinada Debe Estar Libre De:</b>	<b>(a)</b>	Discontinuidades (indicaciones) lineales relevantes.
	<b>(b)</b>	Discontinuidades redondeadas mayores a 3/16 de pulgada (5 milímetros).

	<b>(c)</b>	Cuatro o más discontinuidades redondeadas relevantes en una línea separadas por 1/16 de pulgada o menos, de extremo a extremo.
--	------------	--

El código ASME establece que cuando se presentan discontinuidades rechazables, estas deben ser reparadas, y se debe realizar un nuevo ensayo para cerciorarse de que han sido eliminadas o reducidas a un tamaño aceptable para el criterio [81].

Para los fines de este trabajo, los criterios de aceptación se usaran a modo de referencia para aprobar o rechazar de manera simbólica las probetas realizadas con el electrodo con núcleo de fundente autoprotegido E71T-11.

# Capítulo 4

# Desarrollo De La

# Propuesta

# Experimental

*No creo que haya emoción más intensa para un inventor que ver alguna de sus creaciones funcionando. Esa emoción hace que uno se olvide de comer, de dormir, de todo.*

Nikola Tesla

#### 4.1 Preparación Del Metal Base

Como se ha mencionado, el metal base seleccionado fue el acero ASTM A36. Se eligió la presentación comercial de este acero en forma de solera.

Una solera no es más que una placa de metal plana en forma de barra rectangular laminada en caliente, utilizada para diversas manufacturas o estructuras metálicas. La cual se rige bajo normas ASTM [82].

Las dimensiones de la solera seleccionada son 5/16 de pulgada (7.94 milímetros) de espesor, 2 pulgadas (50.80 milímetros) de ancho y 6.10 metros de largo.

##### 4.1.1 Corte Del Metal Base

La preparación de metal base se desarrolló por pasos (corte y biselado), con el objetivo de controlar las dimensiones de las probetas realizadas.

La solera seleccionada fue cortada en 20 tramos de 15 centímetros cada uno, utilizando una cortadora de metal marca Makita con un disco de corte para metal de 14 pulgadas marca AUSTROMEX clave 742, el cual está fabricado a base de óxido de aluminio grano 30.



Fig. 4.1 Acomodo Del Metal Base Previo Al Corte [64].



Fig. 4.2 Corte Del Metal Base [64].

#### 4.1.2 Biselado Del Metal Base

Un bisel, también conocido como “chafan” consiste en realizar una preparación a un metal con un determinado ángulo. El extremo biselado puede tener una pendiente recta o curva, a lo cual, comúnmente se le conoce como “preparación de los bordes” [7].

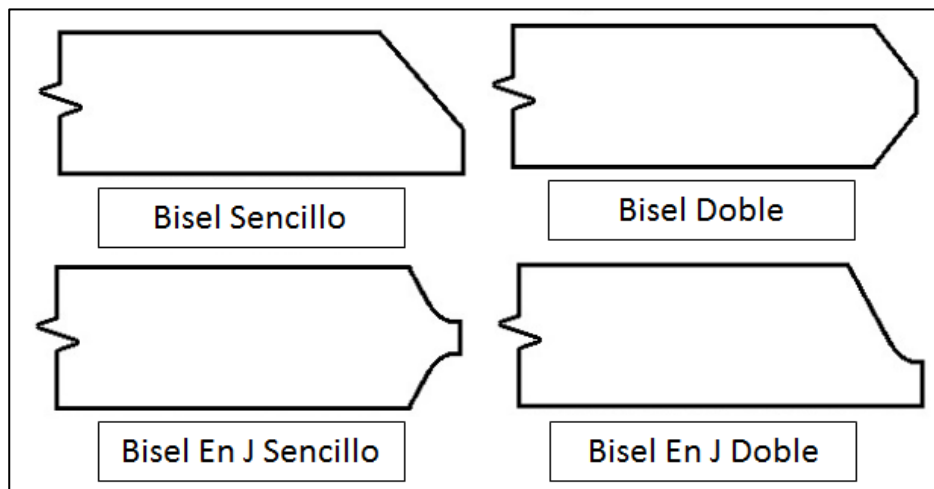


Fig. 4.3 Preparaciones Comunes Del Metal Base [83].

Retomando lo expuesto anteriormente, la junta propuesta consta de dos soleras, una con bisel sencillo y otra sin preparación.

Considerando que la realización de los biselados se llevará a cabo con herramientas eléctricas manuales y no por medio de maquinado (fresadora), para realizar el biselado se recurrió al diseño previo de las probetas en el software SolveSpace para conocer las dimensiones del metal a retirar y realizar un correcto marcado en el metal base, para posteriormente biselar con la mayor exactitud posible.

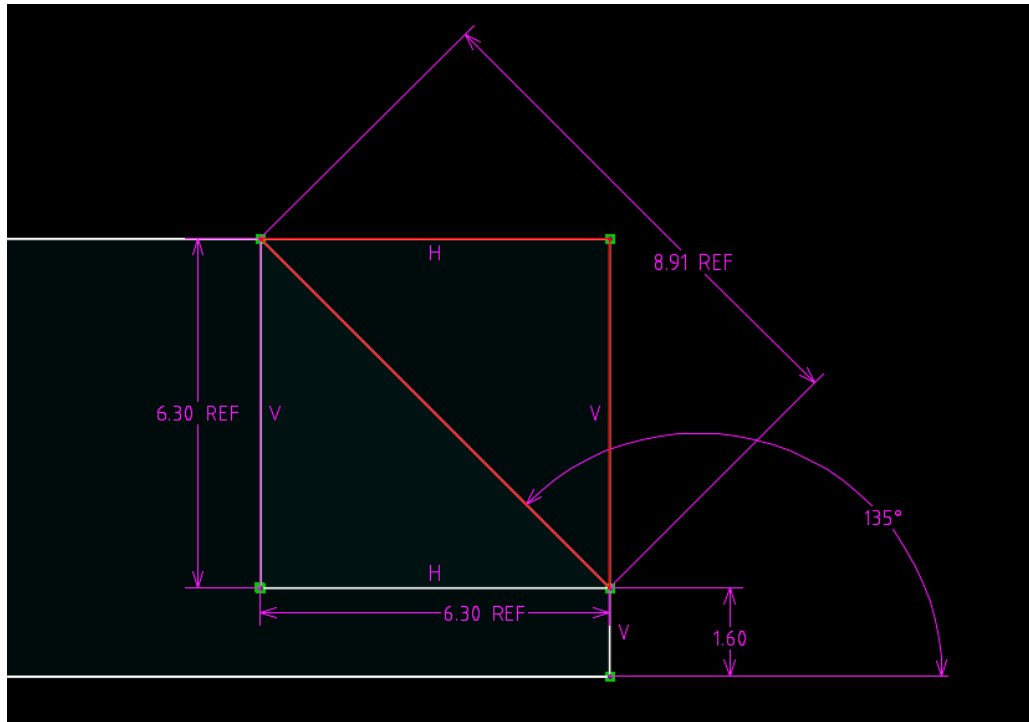


Fig. 4.4 Obtención De Las Medidas Para Marcar En El Metal Base Y Biselar Posteriormente [64].

Como se observa en la Fig. 4.4, se muestra un triángulo formado por líneas rojas, el cual será equivalente al metal que durante el biselado se retirara de la solera. Es decir, durante el biselado se removerá el equivalente de un triángulo rectángulo con 6.3 milímetros de base y altura (aproximadamente 1/4 de pulgada), una hipotenusa de 8.9 milímetros y un área de 19.8 milímetros cuadrados aproximadamente.

Una vez conocidas las dimensiones, se procedió a marcar las soleras a 6.3 milímetros por un extremo con una escuadra de combinación previamente ajustada a la medida requerida, con el objetivo de evitar un desfase en las dimensiones deseadas durante el biselado de las soleras.



Fig. 4.5 Marcado De Las Soleras Previo A La Preparación [64].

Una vez realizado el marcado de las soleras se procedió a prepararlas con una esmeriladora angular marca DeWALT con un disco de desbaste para metal de 4 ½ pulgadas marca AUSTROMEX clave 2004, el cual se fabrica a base de óxido de aluminio grano 24.

Posteriormente, para detallar la terminación resultante producto del disco de desbaste y conseguir un acabado de calidad dentro de las dimensiones requeridas, se realizó un nuevo desbaste con un disco laminado de 4 ½ pulgadas marca TENAZIT clave 2716, fabricado a base de zirconio grano 40.



Fig. 4.6 Solera Después Del Desbaste [64].



Fig. 4.7 Solera Después Del Desbaste Con Disco Laminado [64].



Fig. 4.8 Distintos Perfiles De La Solera Después De Su Preparación [64].

Realizado el mismo proceso para las 20 soleras que se requieren para conformar las juntas (probetas), se procedió a comprobar el ángulo de preparación de cada una con un calibrador de soldadura “6 posiciones”, utilizando el medidor de ángulos para bisel, verificando que el mismo se encontrase dentro de los parámetros requeridos.



Fig. 4.9 Comprobación Del Ángulo De Preparación De Las Soleras Biseladas [64].

## 4.2 Preparación De Las Probetas

### 4.2.1 Posicionamiento De Las Probetas

Una vez realizada la preparación de todas la soleras, verificando que las dimensiones se encuentran dentro de las requeridas, se procedió con la preparación de las probetas o juntas con base a lo especificado en la Tabla 3.5 y la Fig. 3.16 de este trabajo.

Para unir ambos metales base se hizo uso de escuadras magnéticas para herrería, ya que las mismas cuentan con un ángulo de  $90^{\circ}$  en su construcción, lo cual facilita el acomodo de las soleras en el ángulo recto que se requiere.

Adicionalmente, para conseguir la separación de  $1/8$  de pulgada (3.17 milímetros) en la abertura de raíz se hizo uso de una sección de ángulo de acero con dicha medida para corroborar que la abertura de raíz sea la misma a lo largo de toda la junta.

Realizado el acomodo de los metales base, con ayuda de una escuadra se verifico que ambos metales se encontraran en un ángulo de  $90^{\circ}$  y con ello poder proseguir con la unión de la junta mediante puntos de soldadura.



Fig. 4.10 Preparación De La Probeta [64].

En la siguiente imagen, de igual manera se presenta otro ángulo de la preparación de las juntas, así como la comprobación de su correcta alineación perpendicular. Todo lo cual fue realizado de manera similar para conformar las 20 probetas propuestas para este trabajo.



Fig. 4.11 Preparación Y Corroboración De La Separación Y Alineación De Las Probetas [64].

#### 4.2.2 Conformación De Las Probetas Mediante Puntos De Soldadura

El siguiente paso por realizar una vez comprobada la correcta alineación y separación de la raíz en las probetas fue su unión mediante puntos de soldadura. Se utilizó como soldadura electrodo rutílico E-6013 de 1/8 de pulgada marca Lincoln en una máquina soldadora de la misma marca, con un rango de 80 a 90 Amperes conectada en polaridad invertida (CDEP).

Esta soldadura fue utilizada debido a la versatilidad de su aplicación, fácil limpieza, rápida remoción de escoria, y principalmente para evitar mermas en el electrodo E71T-11 a usar para la secuencia de soldadura propuesta. En la siguiente tabla se muestran las principales propiedades del electrodo E-6013.

Tabla 4.1. Propiedades Del Electrodo E-6013 [84].

<b>Electrodo 6013</b>					
<b>Propiedades Mecánicas</b>					
<b>Según</b>	<b>Resistencia A La Cedencia</b>		<b>Resistencia A La Tensión</b>		<b>Elongación %</b>
	<b>MPa</b>	<b>ksi</b>	<b>MPa</b>	<b>ksi</b>	
AWS 5.1	330	48	430	60	17 mínimo
Lincoln Electric	535	78	591	86	31
<b>Composición Química (Máximo)</b>					

Según	Carbono (C)	Manganeso (Mn)	Silicio (Si)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdeno (Mo)	Vanadio (V)
AWS A5.1	0.20	1.20	1	0.30	0.20	0.30	0.08
Lincoln Electric	0.069	0.43	0.34	0.01	0.02	0	0.018

Cada probeta fue conformada mediante cuatro puntos de soldadura, dos en los extremos y los restantes separados aproximadamente a 1 pulgada de los puntos realizados en cada extremo.



Fig. 4.12 Conformación De Las Probetas Mediante Puntos De Soldadura [64].



Fig. 4.13 Probeta Con Puntos De Soldadura [64].

Una vez conformadas las probetas, se agregó a cada una un respaldo en la sección donde fueron colocados los puntos de soldadura, es decir, la zona de la raíz de la junta fue “tapada” con dicho respaldo, el cual se realizó con secciones de solera de acero A36 con 3/16 de pulgada (4.76 milímetros) de espesor, 1/2 pulgada de ancho (12.7 milímetros) y 20 centímetros de largo, las cuales previo a su unión a la junta fueron limpiadas con disco laminado de 4 ½ pulgadas marca TENAZIT clave 2716, fabricado a base de zirconio grano 40.



Fig. 4.14 Probeta Conformada Con Su Respaldo [64]

El respaldo tiene dos objetivos, mejorar la calidad del pase de raíz a realizar evitando que el electrodo con núcleo fundente pase entre la abertura de raíz y no se funda de manera

adecuada con el metal base. El segundo objetivo, es que la probeta al momento de proceder con la soldadura tenga un soporte con el cual pueda fijarse al dispositivo para pruebas de soldadura sin mermar la estética de la probeta, es por ello por lo que los respaldos sobresalen de la probeta aproximadamente 1 pulgada (2.54 centímetros) por lado.

Se hace notar que en el punto 3.2.5 ni en la Fig. 3.15 es mencionado el respaldo que fue añadido a la probeta. Esto se debe a que como tal el respaldo no forma parte de la junta, sino que es un aditamento para mejorar la calidad del pase de raíz, además, debido a que se busca inspeccionar las discontinuidades superficiales, es decir, las que puedan presentarse en soldadura de filete (vista), el respaldo no interfiere con el objetivo de este trabajo. Por otro lado el respaldo se encuentra especificado en la simbología para el proceso de soldadura de este trabajo en la Fig. 4.19.

#### **4.2.3 Limpieza De Las Probetas Y Puntos De Soldadura Realizados**

Una vez disipado el calor producto de la soldadura en las probetas, se procedió a retirar la escoria protectora de los puntos de soldadura con una piqueta para procesos de soldadura y posteriormente realizar una limpieza con ayuda de un cepillo de alambre de acero al carbón marca INFRA.

Adicionalmente, para conseguir la mejor limpieza posible, en cada probeta se efectuó una limpieza mecánica con ayuda de una esmeriladora angular marca DeWALT en conjunto con una carda circular de alambre trenzado marca CINASA clave 742486 fabricada en acero al carbón.

Este proceso se repitió al conformar las probetas con puntos de soldadura y a al momento de agregar el respaldo a cada probeta.

Concluida la limpieza de las probetas y después de una inspección minuciosa de los puntos de soldadura previamente realizados, verificando además una limpieza optima de las probetas, es decir, retirado cualquier rastro de óxido, pintura, grasa o suciedad que pudiera perjudicar durante el soldeo de las probetas, se puede proceder con la deposición de los cordones de soldadura propuestos para este trabajo.

### 4.3 Desarrollo Del Procedimiento De Soldadura

#### 4.3.1 Especificaciones Para Desarrollar El Procedimiento De Soldadura

Una vez expuestos los puntos requeridos para realizar una soldadura en una junta con penetración completa (CJP), tales como el metal base y sus características, el tipo de soldadura a realizar, la posición y el tipo de junta en que hará la soldadura, el electrodo a usar y la secuencia para los pases de soldadura, se realizó un compendio de los parámetros y características requeridas para el desarrollo de este trabajo, al cual se le designo el nombre de “Plan General De Soldadura”, que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4.2. Plan De Soldadura Para Este Trabajo [60 y 65]

<b>Plan General De Soldadura</b>			
<b>Metal Base</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Espesor</b>	<b>Resistencia A La Tracción</b>
	ASTM A36	5/16" (7.94 mm)	58-80 ksi (400-552 MPa)
<b>Tipo De Soldadura Por Realizar</b>	Soldadura de ranura combinada con soldadura de filete con respaldo en la parte posterior de la probeta.		
<b>Especificaciones De La Junta</b>	<b>Tipo De Junta</b>	<b>Clasificación De La Junta</b>	<b>Posición Según AWS</b>
	Junta en esquina	Junta con penetración completa	3F
<b>Dimensiones De La Junta</b>	<b>Parte De La Junta</b>		<b>Dimensiones</b>
	Profundidad De Bisel		1/4" (6.35 mm). En la Fig. 3.15 se muestra 1.59 mm dado que el metal a respetar durante el biselaje.
	Abertura De Raíz		1/8" (3.17 mm)

	Ancho Del Metal Base	2" (50.80 mm)		
	Angulo De Ranura O Angulo De Bisel	45° o 135°		
<b>Proceso De Soldadura</b>	FCAW-S			
<b>Características Del Electrodo Lincoln Electric</b>	<b>Norma Y Clasificación AWS</b>	<b>Resistencia A La Tracción</b>	<b>Diámetro Del Electrodo</b>	<b>Polaridad</b>
	AWS A5.20 E71T-11	88-94 ksi (605- 645 MPa)	0.035" (0.9mm)	Directa (CDEN)
<b>Pases De Soldadura Por Realizar</b>	<b>Secuencia</b>	<b>Tipo De Pase</b>	<b>Limpieza</b>	
	Primero	De Raíz	Con carda circular de alambre trenzado de acero al carbón entre cada pase.	
	Segundo	De Relleno		
	Tercero	De Relleno		
	Cuarto	De Vista (Soldadura De Filete)		
<b>Inspección Y/O Ensayo</b>	<p>Inspección visual y toma de medidas de la soldadura de filete y discontinuidades localizadas con medidor de soldadura 6 posiciones y calibrador vernier.</p> <p>Ensayo no destructivo por líquidos penetrantes removibles con solvente marca CANTESCO con base en ASTM E1220 y procedimiento especificado en la Figura 2.25.</p>			

Posteriormente, para cada pase de soldadura se especificarán los parámetros recomendados por el fabricante y los parámetros reales usados para la realización de dichos pases.

#### 4.4 Simbología Para Soldadura Según AWS

Con el objetivo de que todo el personal relacionado con el ramo referente a la soldadura “hable el mismo idioma” al momento de desarrollar planos referentes a sus trabajos AWS ha establecido simbología para soldadura, la cual permite estandarizar los procesos y especificaciones bajo un “idioma universal de soldadura”. Todo ello con el objetivo de que la interpretación de planos y el desarrollo de procesos de soldadura se ejecute de la manera más simple y efectiva posible.

Para este trabajo, la simbología utilizada se clasifica por AWS como básica, la cual, se presenta en las siguientes imágenes.

Tipo De Ranura							
Cuadrada	En V	Bisel	En U	En J	V Ensanchada	Bisel Ensanchado	Charpada

Fig. 4.15 Simbología Referente A La Preparación Del Metal Base [85].

Filete o ángulo	Tapón o ranura	Esparrago	Por puntos o de proyección	Costura	Respaldo o soporte	Revestimiento	Borde

Fig. 4.16 Simbología Complementaria [85].

Dicha simbología en conjunto con determinadas designaciones se colocan en el “símbolo de soldadura”, el cual, cuenta con un lugar específico para cada designación o característica dentro de sí mismo, lo que evita que existan errores en la interpretación de un procedimiento de soldadura.

El símbolo de soldadura se está compuesto por: una línea de referencia, flecha, símbolos básicos de soldadura, dimensiones y otros datos, símbolos complementarios, símbolos del acabado y la cola de flecha [7].

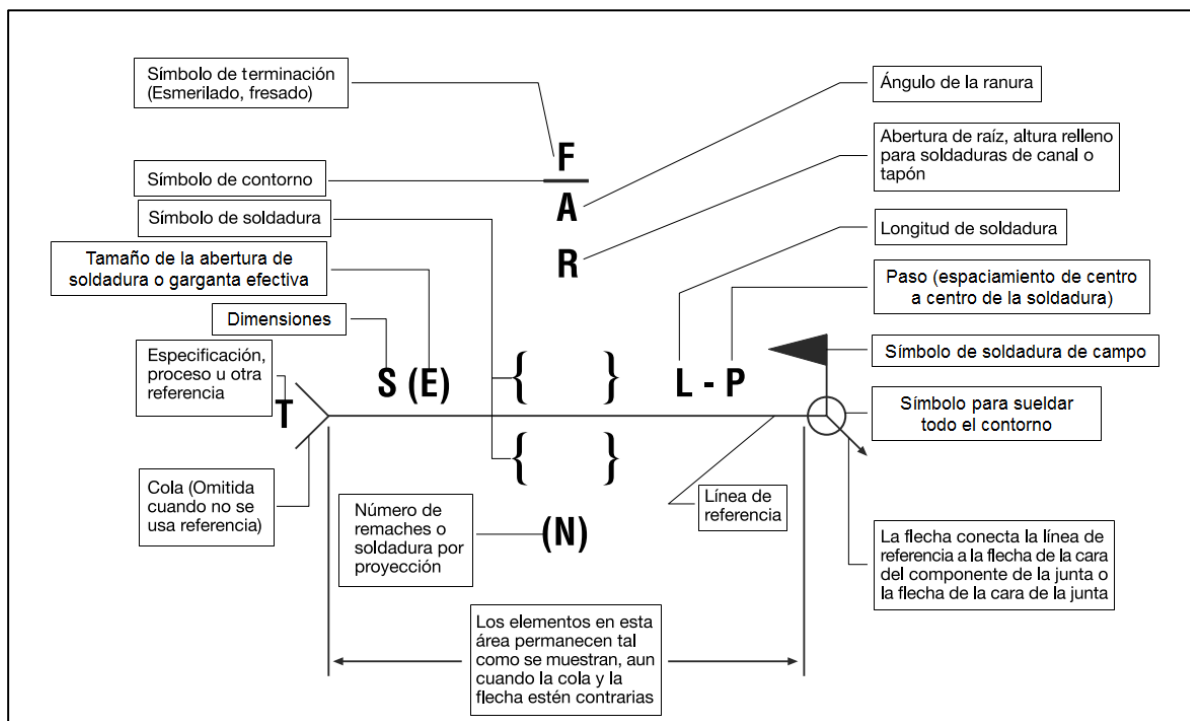


Fig. 4.17 Ubicación De Cada Elemento En El Símbolo De Soldadura [7, 85 y 86].

En conjunto con la simbología, la flecha es uno de los símbolos primordiales ya que indica el lado donde debe realizarse la soldadura en caso de que sea una soldadura unilateral o no se muestre el “símbolo para soldar todo el contorno”.

Para soldaduras en juntas con metales base a noventa grados entre si (junta en te y en esquina), que comúnmente es donde se realizan soldaduras de filete simples o en conjunto con una preparación en alguno de los metales base, se muestra en la siguiente imagen el lugar para realizar la soldadura según la flecha con base a lo establecido por AWS.

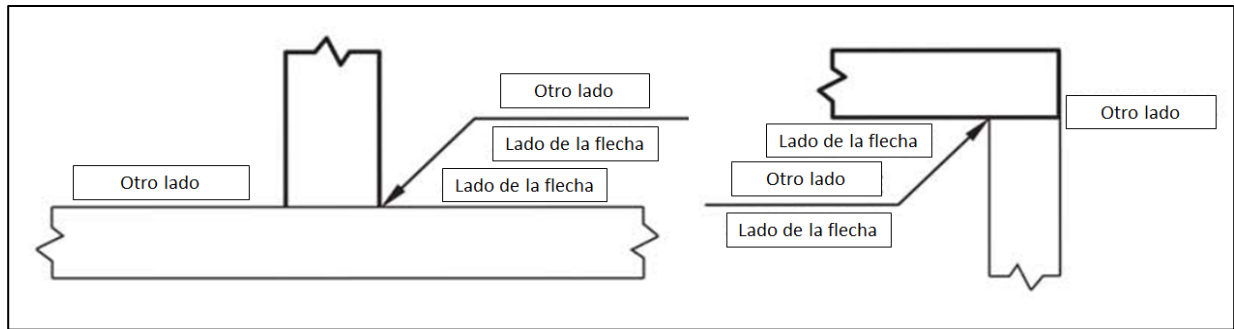


Fig. 4.18 Lados De La Flecha Para Indicar El Lado Donde Debe Realizarse Una Soldadura [85].

En conjunto con lo anterior y ya que se pretende inspeccionar las soldaduras resultantes mediante una ensayos no destructivos, AWS indica que el END por realizar se enuncie dentro de la simbología con una abreviatura. Para el caso de este trabajo la cual se centra en la inspección visual y el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes las siglas respectivamente son VT (Visual Testing) y PT (Penetrant Testing), lo cuales van acompañados de un símbolo de suma (+) (VT + PT).

Dependiendo de la extensión de la soldadura y si existe un interés particular en una determinada sección, se especifica el porcentaje a inspeccionar. Para este trabajo al estar enfocada en toda la extensión de la soldadura se indicará un 100% [85].

#### 4.4.1 Simbología Para El Plan De Soldadura De Este Trabajo

Una vez expuesto el “plan general de soldadura” y la simbología para soldadura designada por AWS, se presenta la simbología para el procedimiento por realizar para este trabajo con base en el plan de soldadura mostrado en la Tabla 4.2.

Dicha simbología, en términos generales, es un documento preparado por una persona con conocimientos teóricos y prácticos en soldadura (ingeniero o inspector de soldaduras), el cual, comúnmente se entrega a un soldador previamente a que ejecute sus actividades.

En el mencionado documento, la simbología resume de manera específica: metal base, preparación del metal base, clasificación de la junta, dimensiones y tipo de soldadura, proceso y acabado de la soldadura, ensayos no destructivos, entre otros que se tornan más específicos con base a requerimientos establecidos.

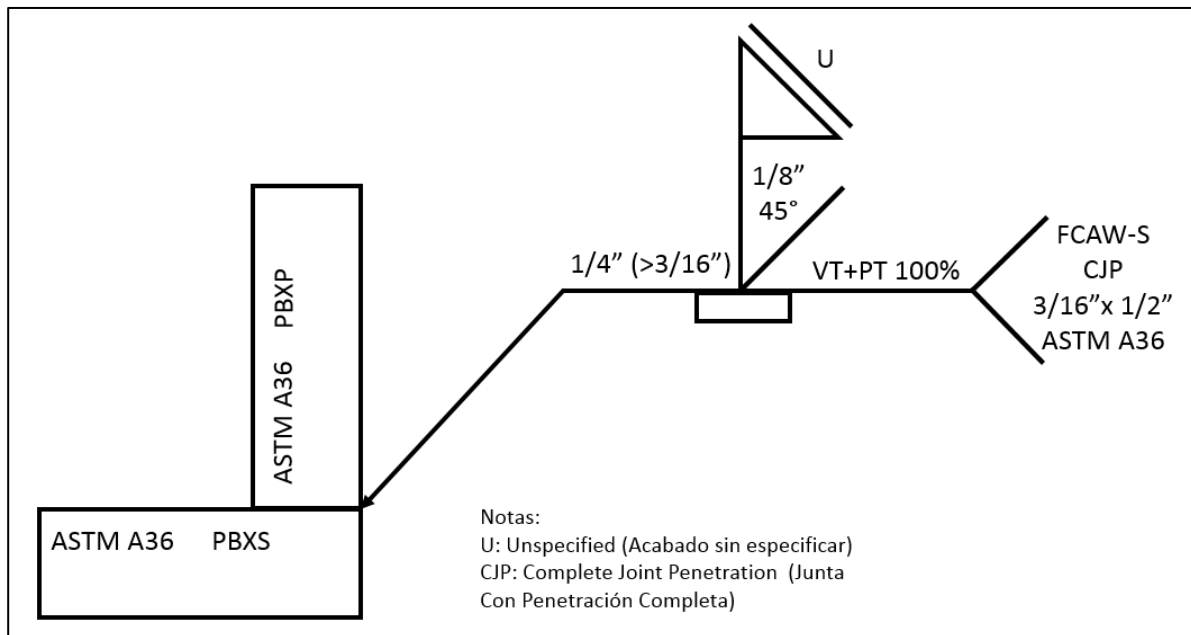


Fig. 4.19 Simbología Para El Proceso De Soldadura De Este Trabajo [64].

La interpretación y lectura de dicha simbología se haría de la siguiente forma: “Se requiere desarrollar por el lado contrario de la flecha una soldadura de ranura combinada con soldadura de filete con acabado sin especificar, el bisel será preparado con un ángulo de 45°, una profundidad de preparación de 1/4 de pulgada (aproximadamente 6.3 milímetros), dimensión que se obtuvo con ayuda del software SolveSpace, como se menciona en punto 4.1.2), una abertura de raíz de 1/8 de pulgada (3.17 milímetros), la garganta efectiva de la soldadura de filete debe ser mayor a 3/16 de pulgada (4.74 milímetros) como se propone en el punto 3.4.5, es una junta con penetración completa que será soldada con el proceso FCAW-S y se deberá realizar una inspección visual y por líquidos penetrantes en toda la junta. Por el lado de la flecha debe agregarse un respaldo (tapón o ranura) de acero A36 de 3/16 de pulgada de espesor por 1/2 pulgada de ancho”.

La primera situación que puede ocurrir es que al soldador se le entregue la junta preparada y lista para proceder a soldar (como sucede en este trabajo). Para posteriormente desarrollar la deposición de los cordones de soldadura con base a parámetros indicados por el personal a cargo de la prueba o determinados por el soldador con base en su experiencia. Para que posteriormente dichas juntas sean inspeccionadas y mediante los END que se indican en la simbología.

La segunda situación es que al soldador se le entregue el metal base sin ninguna preparación y deba realizarla con las herramientas o equipo que se le proporcione (equipo de oxicorte, esmeril angular y discos de desbaste o cortadora de plasma, por mencionar algunos) para lo cual deberá tener conocimiento en interpretación de planos y simbología de soldadura para proceder de manera correcta con la preparación de su probeta y posteriormente con su soldadura, ya sea con parámetros preestablecidos por el personal a cargo de la prueba o con una calibración de la maquina ejecutada por el soldador. Aunque también puede ser incluida en la simbología para una correcta elaboración de la probeta. En cualquier situación se deberá exponer u obtener una probeta como la siguiente.

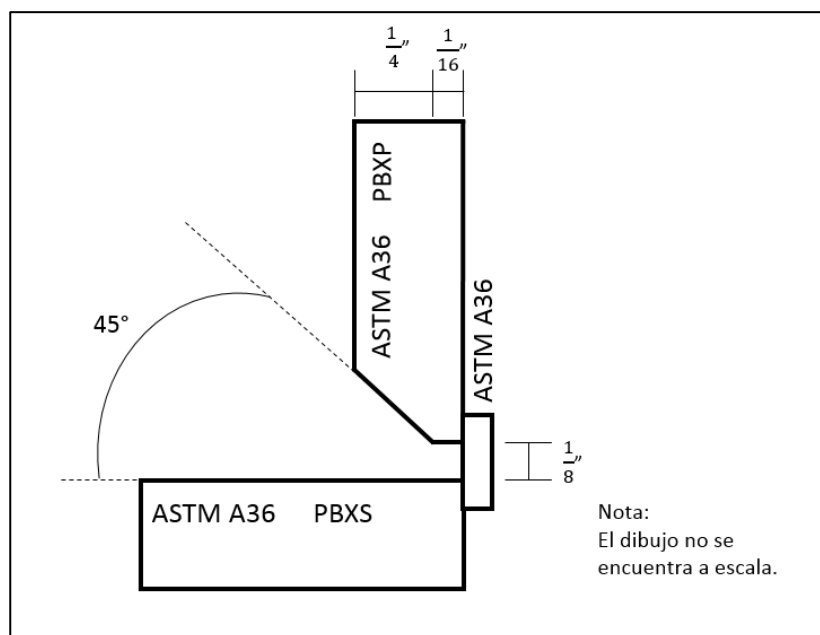


Fig. 4.20 Preparación Aproximada De La Probeta O Con Fines Informativos En El Plano [64].

Opcionalmente se presenta un un dibujo de la soldadura resultante con las medidas previamente propuestas. Para este trabajo bajo la premisa de ser experimental, la única dimensión propuesta para los cordones de soldadura fue la garganta efectiva que como se indica en el punto 3.4.5 debe ser mayor a 3/16 de pulgada (4.74 milímetros).

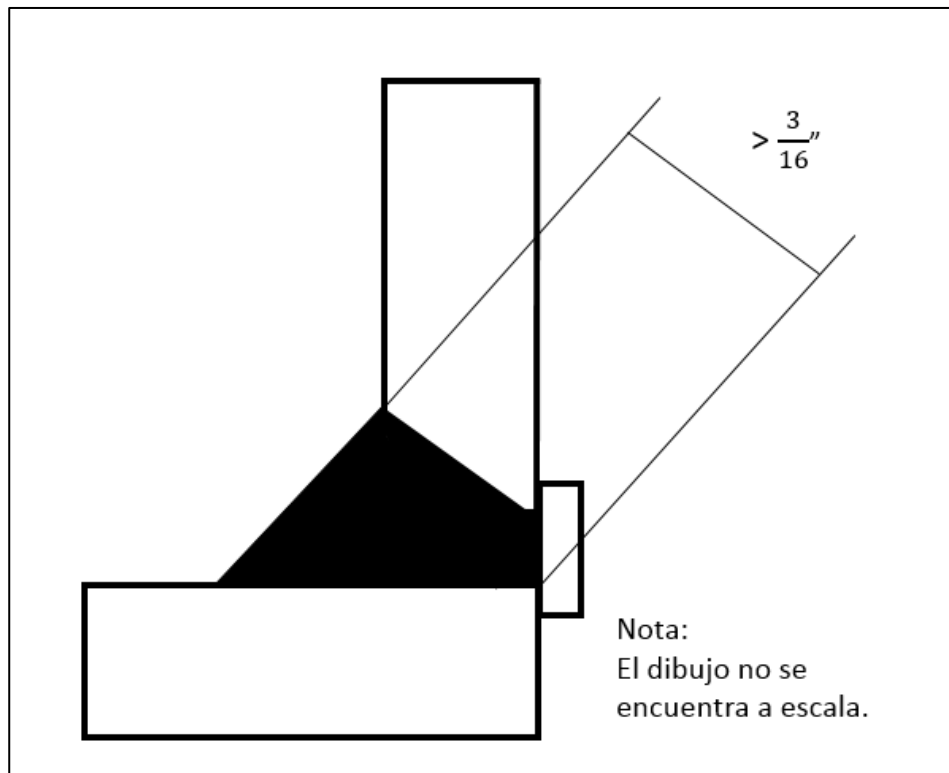


Fig. 4.21 Garganta Efectiva Expresada En La Simbología [64].

Con la simbología propuesta, ya sea totalmente explicada en el plano de soldadura, o a modo de evaluar el conocimiento teórico de los soldadores, el siguiente paso, es realizar el desarrollo de la soldadura en las probetas con base en el plan de soldadura y la simbología propuesta.

## 4.5 Equipo Y Parámetros Para Desarrollar Los Pases De Soldadura

### 4.5.1 Máquina Soldadora Y Alimentador De Alambre

Para desarrollar los pases de soldadura propuestos para este trabajo, se hará uso de una maquina soldadora INFRA-MILLER CP-302 en conjunto con su dispositivo alimentador de alambre INFRA S302.



Fig. 4.22 Máquina Soldadora Con Su Alimentador De Alambre [64].

Las especificaciones eléctricas de la máquina se presentan en la siguiente tabla con base en la tabla impresa en la máquina soldadora.

Tabla 4.3. Especificaciones De La Soldadora INFRA-MILLER CP-302 [78].

<b>Soldadora CP-302</b>			
<b>Primario De La Soldadora</b>		<b>Secundario De La Soldadora</b>	
Tensión Nominal	220/440 Volts a 3~	Tensión Máxima A Circuito Abierto	44 Volts
Corriente Nominal	36/18 Amperes	Tensión Nominal	36/32 Volts
Potencia Real	12.3 kW	Corriente Nominal	400/300 Amperes
Potencia Aparente	13.7 KVA	Ciclo De Trabajo	60/100%
Tres Fases	60 Hz	Aislamiento Clase	155

Por otro lado, el alimentador de alambre, el cual, como su nombre lo indica, se encarga de suministrar el alambre de soldadura, ya sea solido o tubular y el gas que forma la atmosfera protectora de soldadura (si aplica) cuenta con determinadas especificaciones, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4.4. Especificaciones Del Alimentador De Alambre [87].

<b>Alimentador De Alambre S302</b>	
<b>Especificaciones</b>	<b>Descripción</b>
Tipo de entrada desde la fuente de poder	1 fase, 24 VCA, 4 A y 50/60 Hz.
Corriente máxima en el circuito de soldadura	100 V, 500 A con 100% de ciclo de trabajo
Fuente de poder	Voltaje constante (CV), CD
Rango de velocidad del alimentador de alambre	1.9 a 23 metros/minuto (75 a 900 pulgadas/minuto)
Rango de diámetro del alambre	0.6 a 3.1 milímetros (0.023 a 1/8 de pulgada)
Proceso de soldadura	Alambre solido (GMAW) y con núcleo de fundente (FCAW)

Ya que el electrodo con núcleo fundente usado para este trabajo (E71T-11) se debe soldar con polaridad directa (CDEN) se presenta la conexión típica del alimentador de alambre S604 según se presenta por el fabricante.

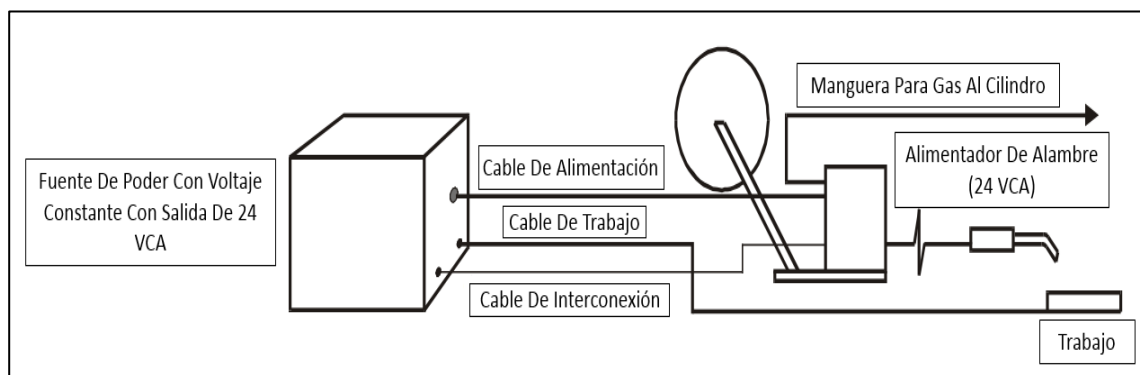


Fig. 4.23 Conexión Típica Del Alimentador De Alambre En Polaridad Directa [87].

Como se indica en la Tabla 4.4 el alimentador de alambre cumple la función de regular la velocidad de salida del alambre de soldadura. Pero también permite la purga del gas protector (si aplica) y las demás configuraciones que de acuerdo con las necesidades de soldadura puedan requerirse, como recortar el alambre después de una determinada distancia de soldadura, entre otras, en la siguiente imagen se presenta el significado de cada botón del alimentador de alambre.

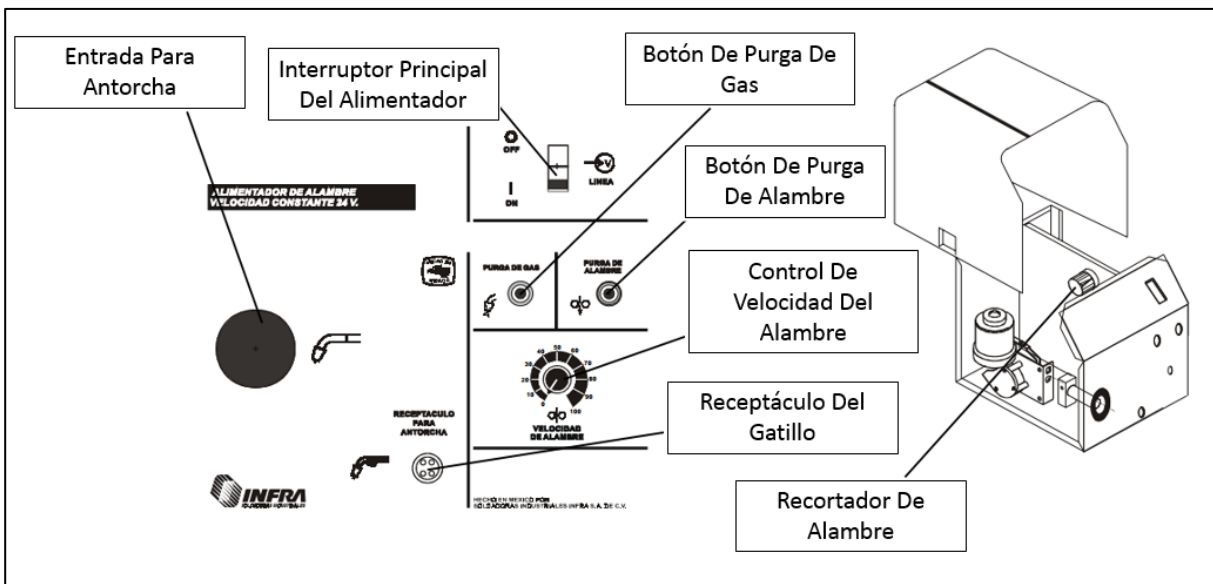


Fig. 4.24 Controles Del Alimentador De Alambre [87].

#### 4.5.2 Parámetros De Operación Sugeridos Por El Fabricante Del Electrodo FCAW-S

Como la mayoría de los fabricantes de consumibles para soldadura, Lincoln Electric cuenta con una tabla donde presenta los parámetros de operación recomendados con base a prueba realizadas en laboratorio. Considerando que no se cuenta con el mismo equipo, ni similares condiciones para realizar soldaduras (temperatura, calidad del suministro eléctrico, humedad, metal base, entre otras que pudiesen influir en la calidad del cordón de soldadura resultante) los parámetros recomendados serán tomados como punto de referencia solamente.

Una buena práctica que la mayoría de los soldadores y personal encargado de realizar o verificar soldaduras desarrolla, es calibrar sus parámetros de operación soldando un metal base

con similares características al de la soldadura real a desarrollar, hasta que el cordón obtenido sea de la calidad esperada ya sea con base en la experiencia del soldador o de los requerimientos propuestos.

Para el caso del electrodo con núcleo de fundente autoprotegido E71T-11, en la siguiente tabla se presentan los parámetros recomendados por el fabricante.

Tabla 4.5. Parámetros Operaciones Recomendados Para El Electrodo E71T-11 [65].

<b>Parámetros Del Electrodo E71T-11</b>					
<b>Diámetro</b>	<b>CTWD</b>	<b>Velocidad De Alimentador De Alambre</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente Aproximada</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
0.035 pulgadas (0.9 milímetros)  Polaridad Directa (CDEN)	1/2-5/8 de pulgada (13-16 milímetros)	1.3 m/min (50 pulg/min)	14-15 Volts	30 Amperes	81
		1.8 m/min (70 pulg/min)	15-16 Volts	60 Amperes	83
		2.8 m/min (110 pulg/min)	16-17 Volts	115 Amperes	78
		3.8 m/min (150 pulg/min)	17-18 Volts	130 Amperes	78
		5.1 m/min (200 pulg/min)	18-19 Volts	155 Amperes	84
		7 m/min (275 pulg/min)	20-21 Volts	155 Amperes	78

Por CTWD (Contact Tip To Work Distance) o distancia entre la punta de contacto y el trabajo, se hace referencia a la distancia que existe entre la punta de contacto y el metal base

(trabajo) durante las soldaduras semiautomáticas GMAW o FCAW. En la siguiente imagen se ilustra de mejor manera [88].

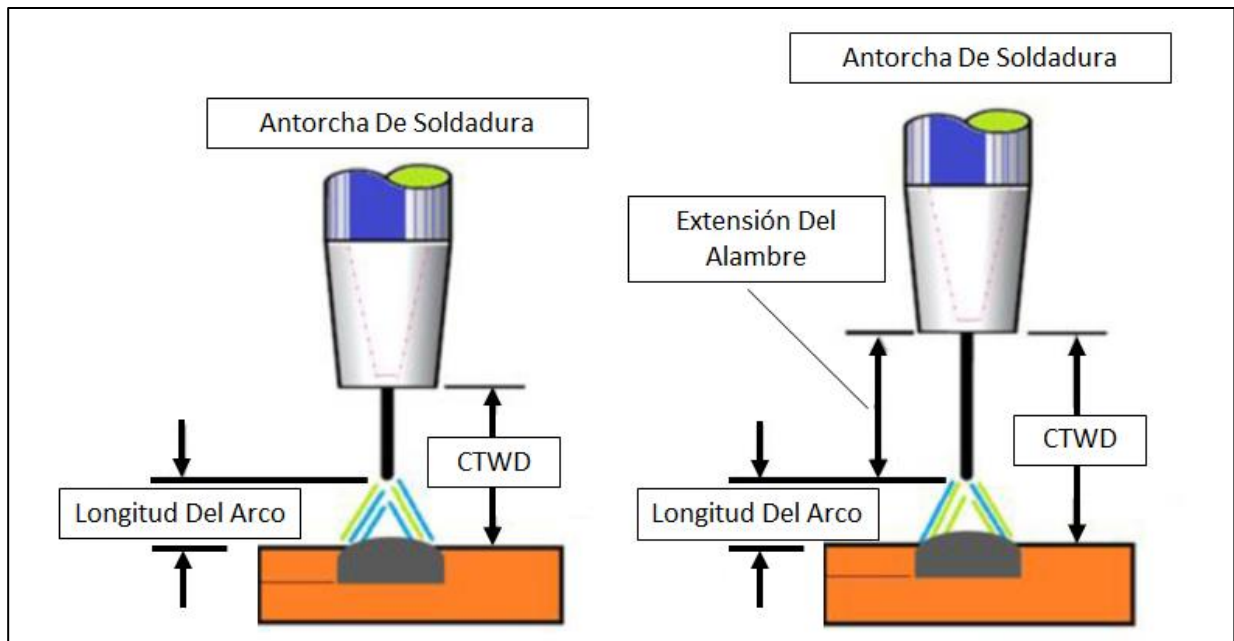


Fig. 4.25 Ejemplos De Distancia Entre La Punta De Contacto Y El Trabajo (CTWD) [89].

Expuestos las principales características del equipo para soldar y los parámetros recomendados por el fabricante de la soldadura, se puede proceder con la parte fundamental de este trabajo, los pases de soldadura.

## 4.6 Desarrollo De Los Pases De Soldadura

### 4.6.1 Pase De Raíz

Una vez realizado el montaje del carrete de soldadura en el alimentador de alambre S302, como previamente se mencionó y tomando como referencia los parámetros presentados en la Tabla 4.5, se calibró la máquina hasta obtener cordones de soldadura con características visuales aceptables con base en la experiencia y pericia de los soldadores, en conjunto con una observación de estos, una vez retirada la escoria protectora.

Encontrado el rango adecuado de calibración voltaje-velocidad de alambre, el cual se localizó en el rango de los 24 a 26 Volts y 390 a 410 pulgadas/minuto de velocidad, se procedió con los pases de raíz.



Fig. 4.26 Carrete De Soldadura Montado En El Alimentado De La Máquina Soldadora [64].

Como se ha mencionado, una vez encontrado el rango de parámetros en que las soldaduras resultantes son de calidad, para el pase de raíz en cada probeta, se muestran en la siguiente tabla los parámetros usados para cada probeta y los valores de voltaje y amperaje desplegados por la máquina soldadora.

Tabla 4.6. Parámetros Utilizados Para Los Pases De Raíz [78].

<b>Parámetros Para Los Pases De Raíz</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Voltaje De Circuito Abierto (V)</b>	<b>Velocidad De Alambre (pulg/min)</b>	<b>Voltaje Durante La Soldadura (V)</b>	<b>Amperaje Durante La Soldadura (A)</b>
PB1	26	400	19.3	130
PB2	25	400	18.7	124

PB3	25.5	410	18.8	124
PB4	24	410	18.4	126
PB5	26	400	19.5	120
PB6	25	400	18.7	121
PB7	25	410	19.2	122
PB8	25.5	400	18.6	147
PB9	25	410	19.1	123
PB10	25	410	18.9	123
PB11	25	400	18.8	114
PB12	25	410	18.9	124
PB13	25	400	18.6	125
PB14	26	400	19.2	122
PB15	25	400	18.9	115
PB16	26	390	20.1	118
PB17	24.5	400	18.4	118
PB18	25	400	18.8	124
PB19	25	410	19.1	120
PB20	25	400	18.7	133

Los pases de raíz se realizaron sin que se presentaran problemas en el electrodo, metal base o máquina soldadora.

Una vez realizados el pase de raíz, como se indica en plan de soldadura, se procedió con una limpieza con ayuda de una esmeriladora angular marca DeWALT en conjunto con una carda circular de alambre trenzado marca CINASA clave 742486 fabricada en acero al carbón.



Fig. 4.27 Pase De Raíz Antes Y Después De La Limpieza Con Carda [64].

#### 4.6.2 Primer Pase De Relleno

Una vez que las probetas fueron limpiadas apropiadamente de la escoria del pase anterior, se procedió con el primer pase de relleno, para el cual se utilizan los parámetros que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4.7. Parámetros Utilizados Para El Primer Pase De Relleno [78].

<b>Parámetros Para El Primer Pase De Relleno</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Voltaje De Circuito Abierto (V)</b>	<b>Velocidad De Alambre (pulg/min)</b>	<b>Voltaje Durante La Soldadura (V)</b>	<b>Amperaje Durante La Soldadura (A)</b>
PB1	25	400	18.6	121
PB2	25.5	400	18.9	125

PB3	25	400	19.0	110
PB4	26	410	19.6	114
PB5	25	410	18.9	116
PB6	25	400	18.6	126
PB7	26	400	18.9	129
PB8	25	400	18.2	132
PB9	25	400	18.8	130
PB10	24.5	410	18.4	114
PB11	25	410	18.9	115
PB12	24.5	400	18.5	116
PB13	25	400	18.7	124
PB14	26	400	18.8	129
PB15	25	410	18.9	115
PB16	25	400	18.9	113
PB17	24.5	400	18.3	117
PB18	25	400	18.9	114
PB19	24.5	400	18.2	115
PB20	25	410	18.8	116

De igual manera, el primer pase de relleno fue depositado en las probetas sin prácticamente ninguna complicación salvo la calibración de los parámetros por parte de los soldadores, lo cual demoró un poco el avance de las soldaduras posteriores.

Como en los pases anteriores y según lo indicado en el plan de soldadura, una vez terminado el primer pase de relleno, se realizó una limpieza con esmeriladora angular y carda de acero al carbón a todas las probetas para poder proseguir con el segundo pase de relleno.



Fig. 4.28 Primer Pase De Relleno Antes Y Después De La Limpieza Con Carda [64].

#### 4.6.3 Segundo Pase De Relleno

Verificando que se encontrará limpio el primer pase de relleno y dejando pasar tiempo para un correcto enfriamiento a temperatura ambiente de las probetas, se procedió con el segundo pase de relleno, en condiciones similares a los pases anteriores. En la siguiente tabla se muestran los parámetros usados para cada probeta.

Tabla 4.8. Parámetros Utilizados Para El Segundo Pase De Relleno [78].

<b>Parámetros Para El Segundo Pase De Relleno</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Voltaje De Circuito Abierto (V)</b>	<b>Velocidad De Alambre (pulg/min)</b>	<b>Voltaje Durante La Soldadura (V)</b>	<b>Amperaje Durante La Soldadura (A)</b>
PB1	25	400	18.6	128
PB2	25.5	400	19.0	128

PB3	25	400	18.9	117
PB4	24	410	18.9	113
PB5	25.5	410	19.0	120
PB6	24.5	400	18.5	144
PB7	24.5	400	18.6	134
PB8	24.5	410	18.5	133
PB9	24.5	400	18.3	132
PB10	24.5	410	18.2	119
PB11	24.5	400	17.9	133
PB12	25	410	18.6	127
PB13	24.5	400	17.4	125
PB14	25.5	400	18.7	128
PB15	24.5	400	17.9	130
PB16	25	400	18.6	124
PB17	25	400	18.0	124
PB18	25	400	18.6	129
PB19	25.5	400	18.6	127
PB20	24.5	40	17.8	134

El segundo pase de relleno fue depositado sin mayores contratiempos en las probetas, solo fue indicado por los soldadores que en ocasiones percibían que la antorcha suministraba una mayor cantidad de electrodo del requerido, lo cual fue corregido apretando los tornillos que ajustan la antorcha al alimentador de alambre S302.

Como en los pases anteriores, una vez concluidos los pases de soldadura en las probetas, estas fueron limpiadas con ayuda del esmeril angular y la carda de acero al carbón.



Fig. 4.29 Segundo Pase De Relleno Antes Y Después De La Limpieza Con Carda [64].

#### 4.6.4 Pase De Vista

Realizada una limpieza exhaustiva del segundo pase de relleno, se prosiguió con el pase más importante para este trabajo, el pase de vista, el cual, también es una soldadura de filete, para dicho pase, en la siguiente tabla se muestran los parámetros utilizados por los soldadores.

Tabla 4.9. Parámetros Utilizados Para Pase De Vista [78].

<b>Parámetros Para El Pase De Vista</b>				
<b>Probeta</b>	<b>Voltaje De Circuito Abierto (V)</b>	<b>Velocidad De Alambre (pulg/min)</b>	<b>Voltaje Durante La Soldadura (V)</b>	<b>Amperaje Durante La Soldadura (A)</b>
PB1	25.5	410	18.3	134
PB2	25.5	410	19.1	115

PB3	24	40	18.8	119
PB4	25	400	18.9	113
PB5	25	400	18.7	126
PB6	24.5	400	18.6	148
PB7	24.5	400	18.4	131
PB8	24.5	400	17.7	135
PB9	24.5	410	18.7	121
PB10	25	410	18.5	133
PB11	25	400	17.7	128
PB12	25	410	18.5	132
PB13	25	400	18.6	120
PB14	24	400	17.3	133
PB15	25	400	19.1	115
PB16	25	400	18.7	118
PB17	24.5	400	18.5	124
PB18	25	400	18.7	122
PB19	25	400	18.4	137
PB20	24.5	400	18.4	126

El pase de vista se depositó sin mayores contratiempos en las probetas, ya que los problemas técnicos sucedieron en los pases previos.

De igual manera, como en los pases anteriores, se realizó una limpieza con esmeril y carda de acero al carbón una vez concluido el pase de vista. Posterior a su enfriamiento se efectuó otra limpieza con la misma carda, un cepillo de alambre marca INFRA y una piqueta especial para soldadura.



Fig. 4.30 Pase De Vista Antes Y Después De La Limpieza Con Carda [64].



Fig. 4.31 Limpieza De Las Probetas Previo A La Inspección Visual [64].

Para el presente trabajo, se contó con la participación de 3 soldadores con experiencia en soldaduras semiautomáticas (GMAW y FCAW).



Fig. 4.32 Soldadores Durante Los Diferentes Pases De Soldadura [64].

La técnica utilizada para los diferentes pases, una vez que el soldador calibra la máquina con base en su criterio y pericia, se basó en las técnicas de soldadura por microalambre, debido a la similitud de deposición de los cordones de soldadura y en el diámetro de los electrodos usados en cada proceso de soldadura.

Como puede observarse en las Tablas 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 los parámetros son diferentes para cada soldador acorde a su técnica, por otro lado, a pesar de existir similitudes en algunos parámetros, puede notarse que el voltaje y amperaje durante la soldadura difieren, en algunas ocasiones significativamente, a pesar de que se pudiera pensar que deberían ser sino iguales, similares.

Esto se debe a que durante el desarrollo de las soldaduras, en ocasiones la calidad de suministro eléctrico se veía disminuida debido a que se encontraban en uso otras máquinas soldadoras, lo cual a pesar de no repercutir directamente en las soldaduras, si puede verse reflejado en los datos presentados en dichas tablas.

Una vez desarrollados los 80 pases de soldadura requeridos para este trabajo (4 por probeta) y realizada la limpieza exhaustiva de cada probeta, se procedió con la inspección visual de las soldaduras.

#### 4.7 Inspección Visual De Las Soldaduras Terminadas

La inspección visual, a pesar de no ser considerada un ensayo no destructivo, en la mayoría de los casos aporta información muy relevante sobre el estado físico de una soldadura.

Con ella puede observarse la calidad de un cordón de soldadura superficial y en ocasiones, si la junta lo permite observar la penetración y la calidad de una soldadura de raíz (cuando se trabaja en juntas con penetración completa).

Para este trabajo la inspección visual se basó en 4 puntos:

1. Medir la garganta real de la soldadura de filete.
2. Medir la altura (tamaño o pierna) de la soldadura de filete.
3. Observar la junta y detectar las discontinuidades presentes a lo largo de esta.
4. Medir las dimensiones de las discontinuidades presentes a lo largo de la junta.

##### 4.7.1 Medición De La Garganta Real De La Soldadura De Filete

Como fue mencionado en la Tabla 3.12 y en el plan de soldadura presentado en la Tabla 4.2, la garganta efectiva mínima propuesta fue de  $3/16$  de pulgada, tomando como base el espesor del metal base usado en este trabajo ( $5/16$  de pulgada).

Para realizar dicha medición, se usó el medidor de soldadura “6 posiciones”, el cual está diseñado para medir la garganta real de una soldadura de filete. Para medir las gargantas reales de las 20 probetas se tomó como referencia paralela a una superficie plana y horizontal la placa que no fue biselada.

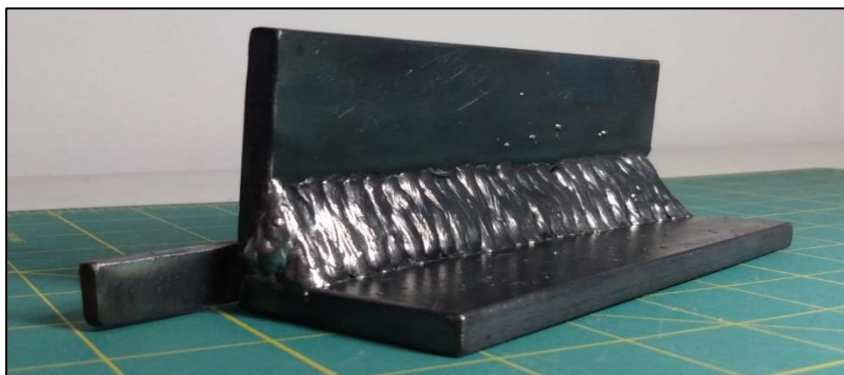


Fig.4.33 Orientación De La Probeta Para Medir La Garganta Real Del Filete [64].

Una vez posicionada la probeta se procedió con la medición de la garganta real de la soldadura. Dicha medición se efectuó de manera similar en las 20 probetas, usando el centro de estas (7.5 centímetros) como referencia para la toma de medidas.

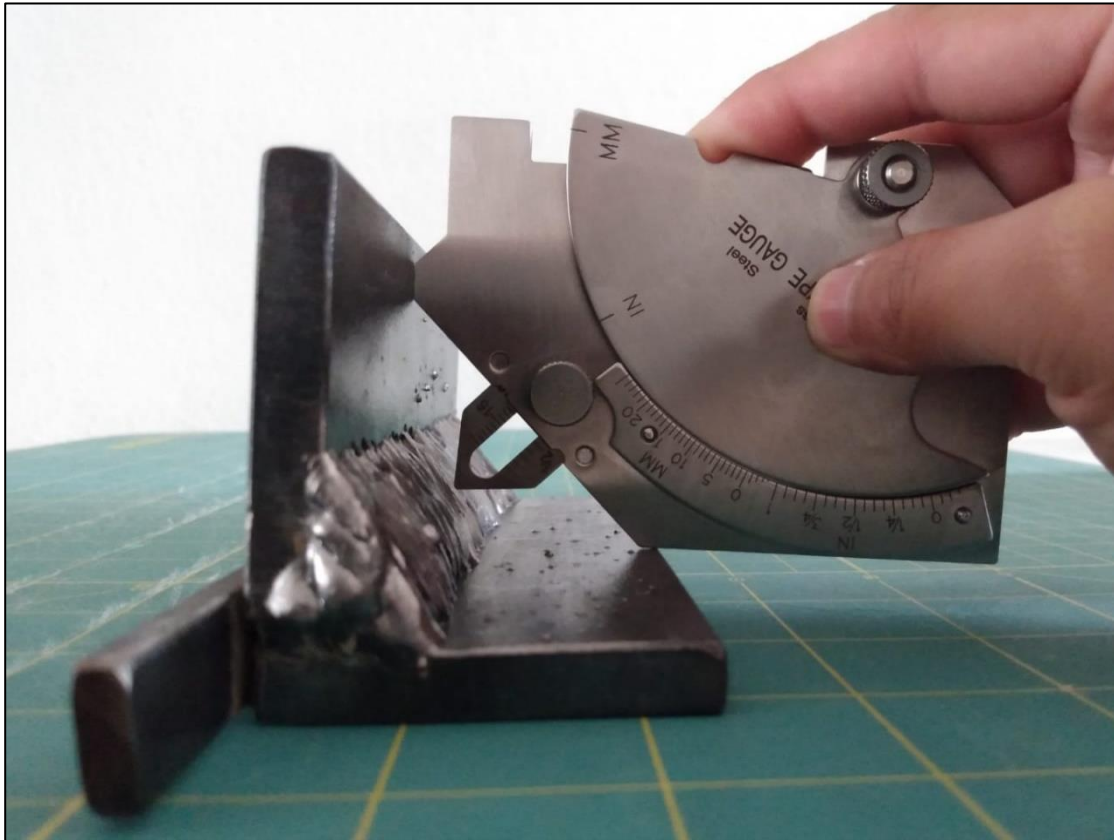


Fig. 4.34 Medición De La Garganta Real De La Soldadura De Filete [64].

#### 4.7.2 Medición De La Altura De La Soldadura De Filete

La altura, pierna o tamaño de la soldadura de filete, no fue propuesta en el plan de soldadura ni en la simbología presentada en este trabajo debido al desconocimiento del comportamiento del electrodo E71T-11 durante la soldadura y al ser este un proceso de soldadura que involucra la formación de escoria protectora las dimensiones pudiesen variar debido a la necesidad de limpiar la junta entre pases de soldadura.

Para efectuar dicha medición se usó la misma orientación de las probetas que en el caso anterior. La medición se realizó de igual manera en el centro de la probeta haciendo uso del medidor de soldadura en la posición para medir altura de soldaduras de filete.

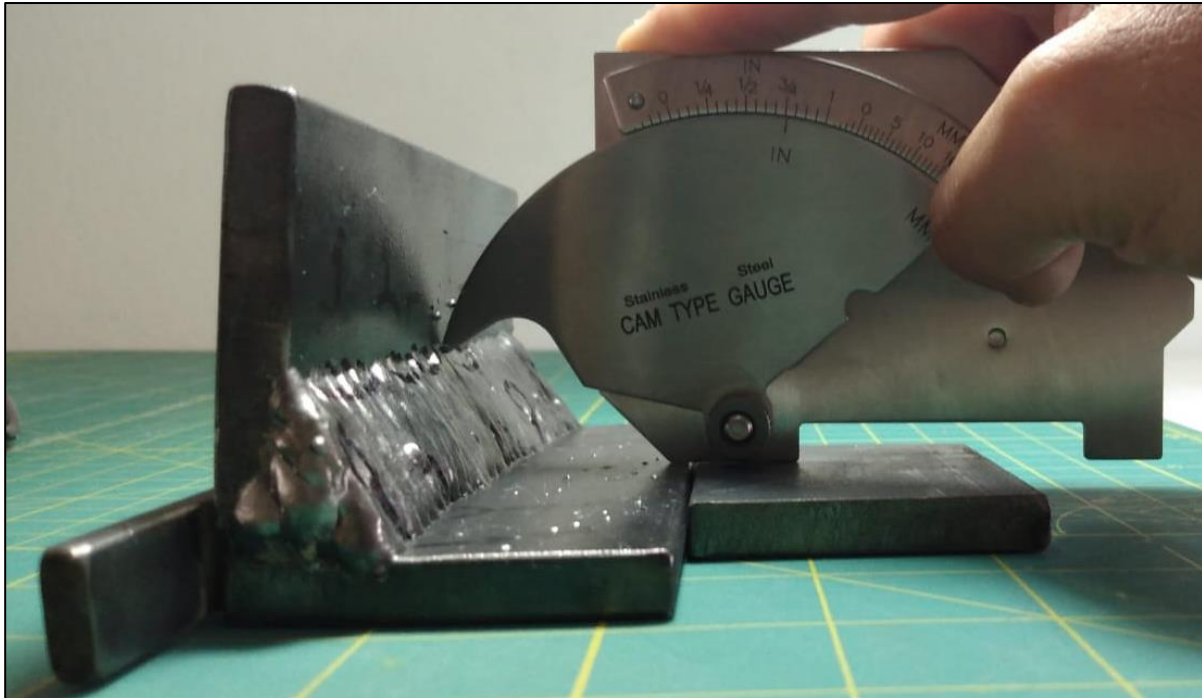


Fig. 4.35 Medición De La Altura De La Soldadura De Filete [64].

#### 4.7.3 Observación Y Detección De Discontinuidades En La Soldadura

Para este trabajo, la inspección visual y posterior detección de discontinuidades se realizó con ayuda de una lámpara LED de taller marca TRUPER modelo LAT-280. Al no contar con el equipo especializado para medir la intensidad lumínica aportada por dicha lámpara se hizo uso de una aplicación del sistema Android denominada “Luxómetro”, con la cual se obtuvieron los valores que se presentan en la siguiente imagen.



Fig. 4.36 Intensidad Lumínica De La Lámpara Según La Aplicación Luxómetro [64].

Dado que AWS no indica un valor de intensidad lumínica para la inspección visual, se tomará como referencia el punto 7.1.8.1 de la norma ASTM E-1220 que recomienda como mínimo una intensidad de 1000 luxes y ya que la lampara sobrepasa dicho valor será de vital utilidad para inspeccionar soldaduras. Para los fines de este trabajo, y ya que se hará uso de dicha norma en el posterior desarrollo del ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, se considera que no repercutirá de manera considerable en la inspección visual el uso de la lampara.

La inspección se efectuó de dicha manera, ya que se observó que al inspeccionar las probetas con iluminación artificial aportada por lámparas domesticas instaladas en el techo, gran parte de las discontinuidades pasaban desapercibidas debido a la geometría del tejido de los cordones de soldadura.



Fig. 4.37 Inspección Visual Y Búsqueda De Discontinuidades Con Lampara [64].

Durante la inspección visual y una vez que se detectaba una discontinuidad, esta era encerrada en un círculo con ayuda de un plumón para su posterior toma de medidas.

Todas las probetas fueron inspeccionadas de este modo. Una vez localizada una discontinuidad se le asignaba un número partiendo del 1, en caso de detectar diferentes discontinuidades igualmente se le asignaba un numero partiendo del 1, tomando plena conciencia de la existencia de varios tipos de discontinuidades por probeta. Las discontinuidades se enumeraron de izquierda a derecha como se muestra en la siguiente imagen.



Fig. 4.38 Detección Y Enumerado De Discontinuidades En Las Probetas [64].

#### 4.7.4 Medición De Discontinuidades Localizadas En La Soldadura

Una vez detectadas y enumeradas las discontinuidades presentes en las probetas, el último paso en la inspección visual para este trabajo consistió en la toma de medidas de cada discontinuidad localizada. Para ello nuevamente se hizo uso del medidor de soldadura “6 posiciones” el cual cuenta con una regla graduada en fracciones de pulgada y milímetros en conjunto con un calibrador vernier.



Fig. 4.39 Medición Del Largo De Una Discontinuidad [64].

La toma de medidas de cada discontinuidad se hizo usando el sentido de orientación que se usó en las dos mediciones anteriores, es decir el largo de la discontinuidad corresponde al eje horizontal y el ancho correspondo su largo.



Fig. 4.40 Medición Del Ancho De Una Discontinuidad [64].

El mismo proceso se realizó para las 20 probetas haciendo uso de ambos equipos de medición y la lampara LED para una correcta detección de discontinuidades. La inspección visual de las probetas se llevó a cabo sin contratiempos por lo que el paso siguiente es el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes.

#### **4.8 Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes Removibles Con Solvente**

Una de las partes esenciales de este trabajo es el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, el cual se basa en el procedimiento presentado en la Figura 3.25 y que está acorde a lo designado en la norma ASTM E1220. Los pasos del ensayo se desarrollan a continuación.

#### 4.8.1 Pre-Limpieza Mecánica Y Con Solvente

Para la limpieza mecánica de las probetas, posterior a la limpieza hecha con la carda de alambre trenzado de acero al carbón marca CINASA y con el objetivo de obtener una probeta con la mayor calidad y limpieza posible, se hizo uso de una carda de copa para taladro marca Truper fabricada en acero al alto carbón latonado en conjunto con un talado eléctrico marca SKIL.

El uso de esta carda, al no tener trenzados los alambres con que cuenta, permite desplazarse y limpiar de mejor manera a lo largo de todo el cordón de soldadura.

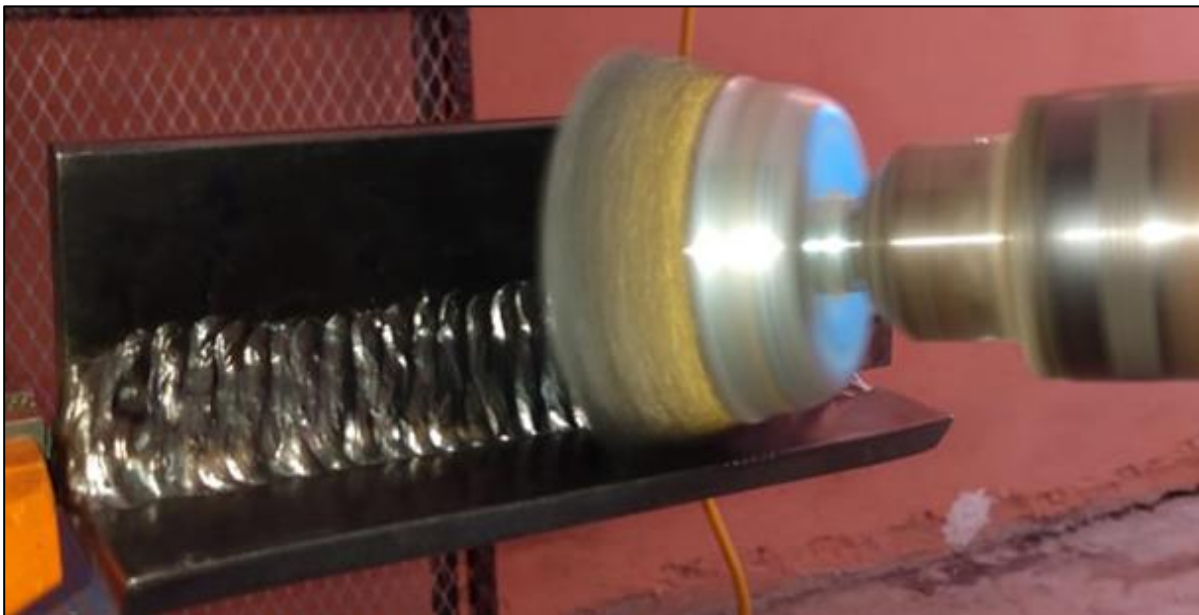


Fig. 4.41 Pre-Limpieza Mecánica De La Probeta [64].

Posterior a dicha limpieza se procedió con el uso de un solvente para limpiar acorde a lo planteado en el procedimiento de la Figura 3.25. Para este trabajo se hizo uso de thinner estándar clave D-0002 marca Sayer con numero de lote 7038246060622, en conjunto con un cepillo de cerdas de plástico para azulejos marca “Reynera”. La limpieza se efectuó rociando el solvente sobre la probeta para después cepillar el cordón de soldadura, verificando limpiar todo el cordón de soldadura y sus áreas circundantes de la mejor manera posible.



Fig. 4.42 Limpieza De La Probeta Con Solvente [64].

Adicionalmente, se efectuó una limpieza con limpiador base solvente CANTESCO, el cual, fue fabricado en noviembre de 2021 y cuenta con un número de lote 0003 21336, por lo tanto se encuentra dentro de un tiempo razonable para su uso, acorde con lo indicado por el fabricante.



Fig. 4.43 Limpieza De La Probeta Con Limpiador Base Solvente [64].

Tal y como se indica en la Fig. 3.23, posterior a la pre-limpieza mecánica y con solvente se dejó un periodo de tiempo de 15 minutos para que el solvente que pudiera aún no evaporarse lo hiciera, y el siguiente paso del ensayo se hiciera de la mejor manera.

#### 4.8.2 Aplicación Del Líquido Penetrante

Como se indicó, el siguiente paso fue la aplicación del tinte penetrante sobre la probeta, el tinte penetrante fue elaborado en noviembre de 2021 y cuenta con un número de lote 0002 21335, con lo cual, su uso se encuentra dentro de un periodo pertinente. Dicho proceso, al ser similar con la aplicación de pintura pulverizada (en lata), se efectuó con relativa facilidad. La aplicación del tinte se realizó posicionando la probeta a modo de que el cordón de soldadura quedara paralelo a la vista y se efectuó aplicando el tinte del extremo contrario hacia el más cercano al aplicador (de adelante hacia atrás), procurando no aplicar tinte donde ya se había aplicado, para evitar indicaciones falsas.



Fig. 4.44 Aplicación Del Tinte Penetrante En Las Probetas [64].

#### 4.8.3 Tiempo De Permanencia Del Tinte En La Probeta

Una vez aplicado el tinte en las probetas, y siguiendo la secuencia de la Fig. 3.25, se respetó el tiempo de permanencia del penetrante (10 minutos).



Fig. 4.45 Probeta Con Tinte Durante El Tiempo De Permanencia [64].

#### 4.8.4 Remoción Del Exceso De Penetrante

Posteriormente con ayuda de un paño seco, en el caso de este trabajo haciendo uso de toallas marca Scott se retiró el exceso de tinte penetrante. Se hizo uso de ese tipo de toallas debido al poco desprendimiento de partículas y pelusa que pudieran repercutir en los pasos siguientes del ensayo no destructivo.

Una vez retirado el exceso de tinte con la toalla seca, con ayuda de una toalla limpia rociada con limpiador base solvente marca CANTESCO se realizó la limpieza de la probeta con toalla húmeda. Ambos paso se hicieron siguiendo la orientación en que se aplicó el penetrante, es decir “de adelante hacia atrás”.

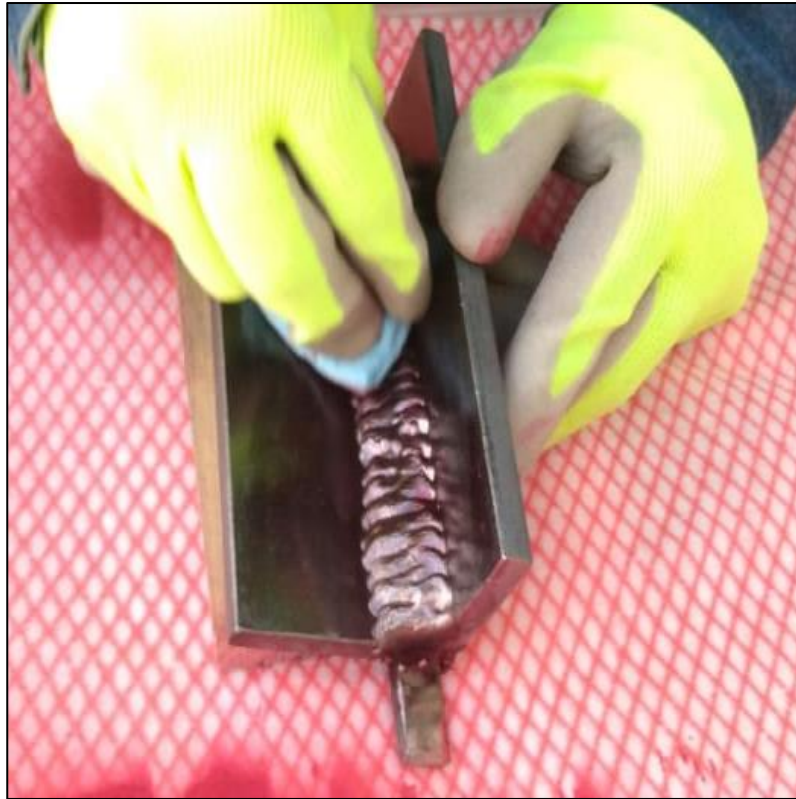


Fig. 4.46 Remoción Del Exceso De Penetrante Con Paño Seco [64]



Fig. 4.47 Remoción Del Exceso De Penetrante Con Paño Húmedo [64].

Una vez realizada la limpieza de las probetas, y para evitar que algún residuo que aún no se hubiera evaporado del todo repercutiera en los resultados, se asignó un periodo de tiempo de 15 minutos para el secado de las probetas posterior al uso del paño con removedor.

#### 4.8.5 Aplicación Del Revelador No Acuoso

Nuevamente, una vez cumplidos los pasos anteriores del ensayo, se realizó una revisión a los datos de fabricación del líquido revelador, el cual fue fabricado en diciembre de 2021 y cuenta con un numero de lote 0008 21336, por lo tanto se encuentra en tiempo razonable para su uso en los ensayos no destructivos.

La aplicación del revelador se efectuó de manera similar que el tinte penetrante, con las probetas posicionadas de igual manera y procurando aplicar revelador en toda la probeta y sus áreas circundantes, evitando una excesiva aplicación que pudiera tornarse en indicaciones falsas o alteradas.



Fig. 4.48 Aplicación Del Líquido Revelador En La Probeta [64].

#### 4.8.6 Tiempo De Revelado Del Líquido En Las Probetas

Tal como se indica en la Fig. 3.25 el líquido revelador cuenta con un tiempo para revelar todas la indicaciones que pudieran existir en la soldadura examinada. Para el caso de este trabajo, dicho periodo consistió en 15 minutos de “tiempo de revelado”.

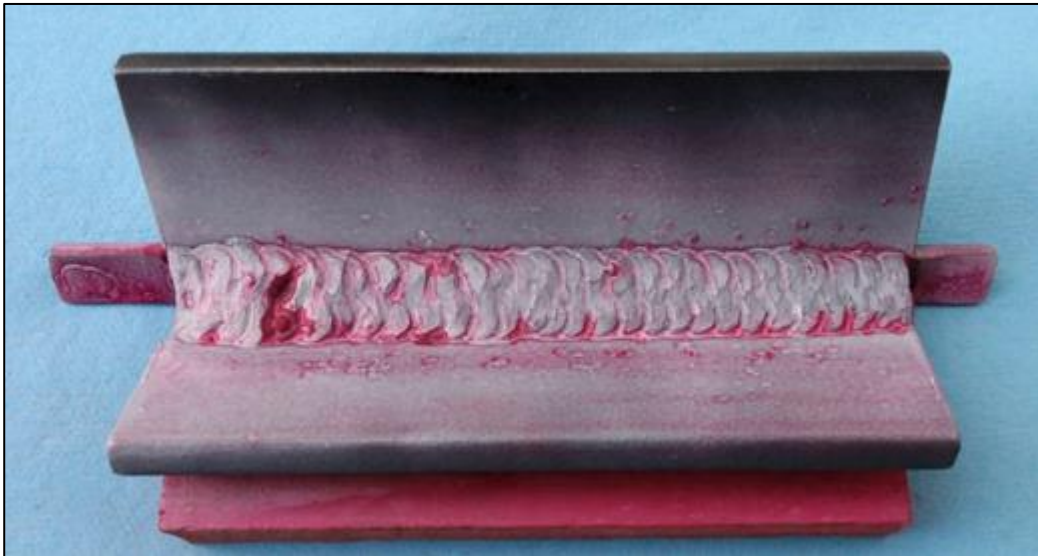


Fig. 4.49 Probeta Durante El Tiempo De Revelado [64].

Una particularidad de este punto del ensayo que se resalta es que a los pocos segundos de aplicar el revelador comienza su proceso de secado sobre la probeta y las indicaciones producto del tinte que es absorbido por el revelador comienzan a mostrarse a la brevedad, más deben ser examinadas hasta concluido el tiempo de revelado, para que las mismas sean indicaciones certeras y se encuentren completamente secas.

#### 4.8.7 Examinación De Las Probetas Ensayadas

Este paso, a pesar de no ser una inspección definitiva de los resultados arrojados por el ensayo no destructivo, da un amplio preámbulo sobre lo que probablemente será detectado, es decir, se puede considerar a este paso una “inspección visual ligera de los resultados”, debido a que con ella, el inspector de soldadura contará con una idea previa de los resultados a obtener cuando proceda a tomar medición de las indicaciones e incluso en un caso práctico puede ir descartando soldaduras desde ese instante.

En esta examinación no se toma nota de ninguna dimensión de lo que pudiera ser localizado, y es realizada durante el intervalo que dura el tiempo de revelado.

#### **4.8.8 Secado Del Revelador En Las Probetas**

Posterior a la examinación durante el tiempo de revelado, se dejó que el revelador aplicado secase completamente, lo cual ocurrió en un periodo aproximado de 30 minutos. Con lo que técnicamente, el ensayo no destructivo se encontraba totalmente realizado.

Una vez completado el ensayo en todas las probetas, se procedió a la toma de medidas en mesa de las indicaciones relevantes que pudieran aportar información sobre la relación entre la posición en que se aplicó la soldadura y las discontinuidades.

#### **4.8.9 Limpieza Posterior Al Ensayo En Solvente**

Una vez que todas las probetas fueron inspeccionadas minuciosamente y las dimensiones de las indicaciones relevantes fueron anotadas, el último paso consistió en limpiar las probetas con solvente. El proceso consistió en sumergir las probetas en un recipiente donde estuvieran totalmente cubiertas por el solvente.

De igual manera que en la pre-limpieza se hizo uso de thinner marca Sayer en conjunto con el cepillo para azulejo marca Reynera. Las probetas fueron cepilladas hasta que se pudiera apreciar que estuvieran libres de tinte penetrante o líquido revelador y posterior a ello fueron puestas a secar al aire libre.

#### **4.9 Medición De Las Indicaciones Localizadas Con El Ensayo No Destructivo**

Una vez seco el revelador sobre las probetas, estas fueron examinadas de manera similar que en la inspección visual. Para este caso, la “inspección” solo consistió en la toma de medidas de largo por ancho de cada indicación relevante sobre el cordón de soldadura.

Para las 20 probetas la toma de medidas de cada indicación se hizo usando el sentido de orientación aplicado a la inspección visual, es decir el largo de la indicación corresponde al eje horizontal y el ancho corresponde su largo.

En este caso, solo se hizo uso del calibrador vernier para la toma de medidas de las indicaciones, como se muestra en las siguientes imágenes.

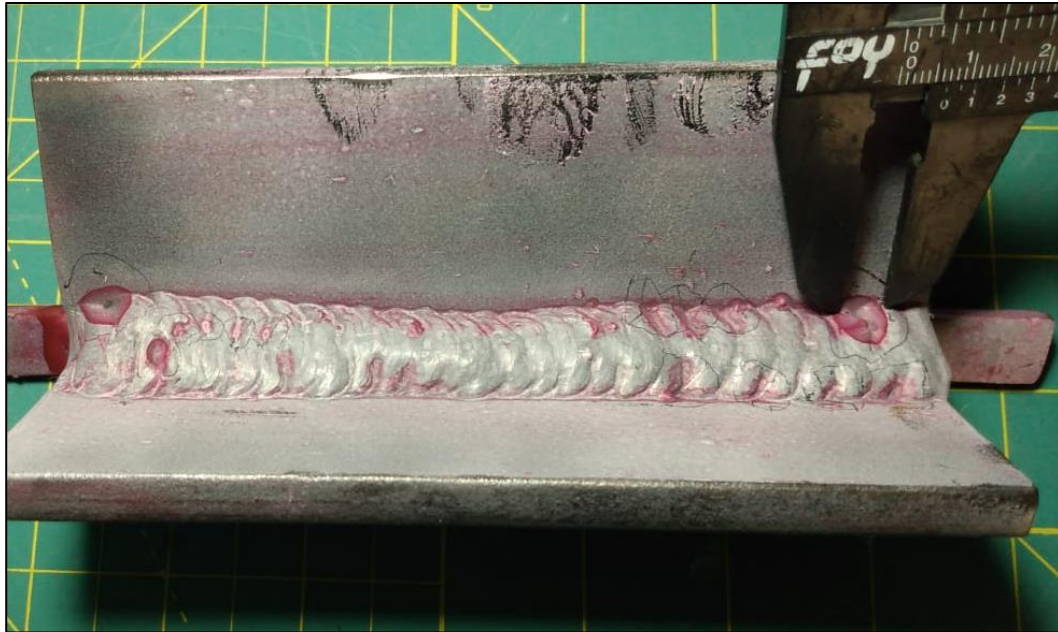


Fig. 4.50 Medición Del Largo De La Indicación [64].



Fig. 4.51 Medición Del Ancho De La Indicación [64].

# Capítulo 5

# Resultados

*Cada solución da pie a una nueva pregunta.*

David Hume

## 5.1 Resultados De La Inspección Visual

### 5.1.1 Dimensiones De La Garganta Real De Las Probetas

Todos los datos obtenidos durante la inspección visual son de vital importancia, ya que nos han proporcionado datos relevantes sobre el comportamiento del electrodo E71T-11 aplicado en una junta con penetración completa en posición 3F. En la siguiente tabla se muestran las dimensiones obtenidas con el medidor “6 posiciones” al realizar la medición de la garganta real de la soldadura de filete.

Tabla 5.1 Dimensiones De Las Gargantas Reales Medidas En Las Soldaduras De Filete [78].

<b>Dimensiones De Las Gargantas Reales Obtenidas</b>		
<b>Probeta</b>	<b>Dimensiones</b>	
	<b>Fracciones De Pulgada</b>	<b>Milímetros</b>
Pb1	5/16	8
Pb2	7/16	11
Pb3	3/8	10
Pb4	3/8	10
Pb5	3/8	10
Pb6	7/16	11
Pb7	7/16	11
Pb8	7/16	11
Pb9	7/16	11
Pb10	5/16	8
Pb11	7/16	11
Pb12	3/8	10
Pb13	7/16	11
Pb14	5/16	8

Pb15	3/8	10
Pb16	5/16	8
Pb17	7/16	11
Pb18	7/16	11
Pb19	5/16	8
Pb20	7/16	11

### 5.1.2 Dimensiones De La Atura De La Soldadura De Filete

Al igual que con la medición de la garganta real, con el medidor “6 posiciones” se tomó nota de las dimensiones obtenidas al medir la altura de las soldaduras de filete resultantes. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos.

Tabla 5.2 Dimensiones De Las Alturas De Las Soldaduras De Filete [78].

<b>Dimensiones De La Altura De Los Filetes</b>		
<b>Probeta</b>	<b>Dimensiones</b>	
	<b>Fracciones De Pulgada</b>	<b>Milímetros</b>
Pb1	7/16	11
Pb2	7/8	22
Pb3	5/8	16
Pb4	11/16	17
Pb5	1/2	13
Pb6	3/4	19
Pb7	5/8	16
Pb8	3/4	19
Pb9	5/8	16
Pb10	9/16	14

Pb11	3/4	19
Pb12	7/16	11
Pb13	3/4	19
Pb14	7/16	11
Pb15	7/8	22
Pb16	1/2	13
Pb17	3/4	19
Pb18	13/16	21
Pb19	7/16	11
Pb20	7/8	22

Como puede observarse en la Tablas 5.1 y 5.2 las mediciones resultantes son variadas, esto se debe a que cada soldador a pesar de tener experiencia en los procesos de soldadura semiautomática (GMAW y FCAW) cuenta con una técnica de soldadura particular, lo cual influyó de manera directa en la forma y dimensiones de los cordones de soldadura terminados.

### 5.1.3 Observación, Detección Y Medición De Las Discontinuidades En Las Soldaduras

Dado que la inspección visual también consto en observar, detectar y medir las discontinuidades, así como el tipo de soldadura de filete resultante (cóncava o convexa), en las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos en cada probeta. Como se ha mencionado, las dimensiones de las discontinuidades localizadas fueron medidas con ayuda de un calibrador vernier. Para las mediciones referentes a la socavación, se hizo uso del medidor “6 posiciones” en su apartado para la dimensionar la profundidad de una socavación.

#### 5.1.3.1 Probeta 1

Tabla 5.3. Resultados En La Probeta 1 [78]

<b>Resultados De La Probeta 1</b>
-----------------------------------

<b>Observaciones:</b> Buen acabado y terminación de calidad en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 2

### 5.1.3.2 Probeta 2

Tabla 5.4. Resultados En La Probeta 2 [78].

<b>Resultados De La Probeta 2</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad regular en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 2
2	Inclusión De Escoria	1 x 2
3	Inclusión De Escoria	1 x 3
4	Inclusión De Escoria	1 x 2
5	Inclusión De Escoria	1 x 3
6	Inclusión De Escoria	2 x 3
7	Inclusión De Escoria	2 x 2
8	Inclusión De Escoria	1 x 1
9	Inclusión De Escoria	1 x 2
10	Inclusión De Escoria	1 x 1
11	Inclusión De Escoria	1 x 2

12	Inclusión De Escoria	1 x 2
13	Socavaciones	Se localizaron en 4 secciones de la probeta. Todas las socavaciones se encontraban por debajo de 1 mm de profundidad.

### 5.1.3.3 Probeta 3

Tabla 5.5. Resultados En La Probeta 3 [78].

<b>Resultados De La Probeta 3</b>		
<b>Observaciones:</b> Buen acabado y terminación de calidad en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 5
2	Inclusión De Escoria	1 x 3
3	Inclusión De Escoria	1 x 2

### 5.1.3.4 Probeta 4

Tabla 5.6. Resultados En La Probeta 4 [78].

<b>Resultados De La Probeta 4</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad media baja en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 2
2	Inclusión De Escoria	1 x 3

3	Inclusión De Escoria	2 x 2
4	Inclusión De Escoria	4 x 1
5	Inclusión De Escoria	2 x 3
6	Inclusión De Escoria	4 x 3
7	Porosidad	1 x 2
8	Porosidad	2 x 2
9	Traslape	4 x 3
10	Traslape	6 x 4
11	Traslape	6 x 2
12	Traslape	5 x 4
13	Traslape	5 x 3
14	Traslape	7 x 3
15	Socavaciones	Se localizaron en 6 secciones de la probeta.  Todas las socavaciones se encuentran por debajo de 1 mm de profundidad.

### 5.1.3.5 Probeta 5

Tabla 5.7. Resultados En La Probeta 5 [78].

<b>Resultados De La Probeta 5</b>		
<b>Observaciones:</b> Buen acabado y terminación de calidad en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 2
2	Inclusión De Escoria	1 x 2

3	Inclusión De Escoria	1 x 2
4	Inclusión De Escoria	2 x 2

### 5.1.3.6 Probeta 6

Tabla 5.8. Resultados En La Probeta 6 [78].

<b>Resultados De La Probeta 6</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad regular en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Porosidad	Se localizo una porosidad agrupada, formada por 3 porosidades en un área de 2 x 2.
2	Inclusión De Escoria	2 x 3
3	Inclusión De Escoria	1 x 2
4	Inclusión De Escoria	1 x 1
5	Inclusión De Escoria	3 x 2
6	Inclusión De Escoria	2 x 3
7	Inclusión De Escoria	1 x 3
8	Inclusión De Escoria	4 x 6
9	Inclusión De Escoria	6 x 2
10	Inclusión De Escoria	2 x 1
11	Inclusión De Escoria	1 x 1
12	Socavaciones	Las socavaciones 1, 2 y 4 se encuentran por debajo de 1 mm de profundidad.
13	Socavación	La socavación 3 tiene 1 mm de profundidad.

## 5.1.3.7 Probeta 7

Tabla 5.9. Resultados En La Probeta 7 [78].

<b>Resultados De La Probeta 7</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación regular en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 3
2	Inclusión De Escoria	2 x 3
3	Inclusión De Escoria	1 x 2
4	Inclusión De Escoria	2 x 2
5	Inclusión De Escoria	2 x 2
6	Inclusión De Escoria	5 x 2
7	Inclusión De Escoria	2 x 2
8	Inclusión De Escoria	2 x 1
9	Socavación	Se encuentra por debajo de 1 mm de profundidad.
10	Traslape	5 x 1
11	Traslape	4 x 2
12	Traslape	4 x 2
13	Traslape	3 x 1

## 5.1.3.8 Probeta 8

Tabla 5.10. Resultados En La Probeta 8 [78].

<b>Resultados De La Probeta 8</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Ligeramente cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 2
2	Inclusión De Escoria	3 x 2
3	Inclusión De Escoria	1 x 3
4	Inclusión De Escoria	2 x 3
5	Inclusión De Escoria	1 x 3
6	Inclusión De Escoria	2 x 4
7	Socavaciones	Se localizaron 3 socavaciones en la probeta. Todas se encuentran por debajo de 1 mm de profundidad

## 5.1.3.9 Probeta 9

Tabla 5.11. Resultados En La Probeta 9 [78].

<b>Resultados De La Probeta 9</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad media baja en el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Ligeramente convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 2

2	Inclusión De Escoria	2 x 2
3	Inclusión De Escoria	1 x 1
4	Inclusión De Escoria	3 x 2
5	Inclusión De Escoria	2 x 1
6	Inclusión De Escoria	2 x 1
7	Inclusión De Escoria	1 x 5
8	Inclusión De Escoria	4 x 3
9	Inclusión De Escoria	2 x 1
10	Falta De Fusión	Se presenta entre cordón de soldadura y metal base con dimensiones de 6 x 1 mm.
11	Falta De Fusión	Se presenta entre cordón de soldadura y metal base con dimensiones de 5 x 1 mm.
12	Falta De Fusión	Se presenta entre cordones de soldadura con dimensiones de 3 x 5 mm.
13	Falta De Fusión	Se presenta entre cordones de soldadura con dimensiones de 3 x 6 mm.

### 5.1.3.10 Probeta 10

Tabla 5.12. Resultados En La Probeta 10 [78].

<b>Resultados De La Probeta 10</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación uniforme y de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>

1	Inclusión De Escoria	1 x 1
2	Inclusión De Escoria	1 x 2
3	Inclusión De Escoria	2 x 2
4	Inclusión De Escoria	1 x 1
5	Inclusión De Escoria	2 x 1
6	Inclusión De Escoria	2 x 1

### 5.1.3.11 Probeta 11

Tabla 5.13. Resultados En La Probeta 11 [78].

<b>Resultados De La Probeta 11</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación uniforme y de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 2
2	Inclusión De Escoria	2 x 2
3	Inclusión De Escoria	2 x 2
4	Inclusión De Escoria	2 x 2
5	Inclusión De Escoria	1 x 2
6	Inclusión De Escoria	1 x 4
7	Inclusión De Escoria	1 x 5
8	Socavaciones	Se localizaron 4 socavaciones. Las 4 se encuentran por debajo de 1 mm de profundidad.

## 5.1.3.12 Probeta 12

Tabla 5.14. Resultados En La Probeta 12 [78].

<b>Resultados De La Probeta 12</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 1
2	Inclusión De Escoria	2 x 3
3	Inclusión De Escoria	2 x 2
4	Inclusión De Escoria	2 x 2
5	Porosidad	1 x 1
6	Porosidad	1 x 2
7	Porosidad	1 x 1

## 5.1.3.13 Probeta 13

Tabla 5.15. Resultados En La Probeta 13 [78].

<b>Resultados De La Probeta 13</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación uniforme y de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Ligeramente cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 2
2	Inclusión De Escoria	2 x 7

3	Inclusión De Escoria	2 x 2
4	Inclusión De Escoria	1 x 1
5	Inclusión De Escoria	2 x 3
6	Inclusión De Escoria	1 x 1
7	Socavaciones	Las socavaciones 1 a 4 se encuentran por debajo de 1 mm de profundidad.
8	Socavación	La socavación 5 cuenta con 1 mm de profundidad.

#### 5.1.3.14 Probeta 14

Tabla 5.16. Resultados En La Probeta 14 [78].

<b>Resultados De La Probeta 14</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad regular alta en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Ligeramente convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 2
2	Inclusión De Escoria	2 x 1
3	Inclusión De Escoria	1 x 4
4	Inclusión De Escoria	2 x 4
5	Porosidad	1 x 1

## 5.1.3.15 Probeta 15

Tabla 5.17. Resultados En La Probeta 15 [78].

<b>Resultados De La Probeta 15</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad regular en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 1
2	Inclusión De Escoria	2 x 3
3	Inclusión De Escoria	2 x 6
4	Inclusión De Escoria	1 x 1
5	Inclusión De Escoria	2 x 2
6	Inclusión De Escoria	2 x 3
7	Inclusión De Escoria	1 x 1
8	Inclusión De Escoria	1 x 2
9	Inclusión De Escoria	1 x 2
10	Inclusión De Escoria	1 x 1
11	Inclusión De Escoria	3 x 9
12	Inclusión De Escoria	2 x 2
13	Socavación	La socavación que se aprecia tiene una profundidad menor a 1 mm.
14	Traslape	7 x 3
15	Traslape	5 x 2

**5.1.3.16 Probeta 16**

Tabla 5.18. Resultados En La Probeta 16 [78].

<b>Resultados De La Probeta 16</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Ligeramente cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 1

**5.1.3.17 Probeta 17**

Tabla 5.19. Resultados En La Probeta 17 [78].

<b>Resultados De La Probeta 17</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación uniforme y de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 1
2	Inclusión De Escoria	2 x 2
3	Inclusión De Escoria	4 x 2
4	Inclusión De Escoria	2 x 2
5	Inclusión De Escoria	1 x 1
6	Inclusión De Escoria	1 x 3
7	Inclusión De Escoria	1 x 2
8	Inclusión De Escoria	1 x 2

9	Inclusión De Escoria	1 x 1
10	Inclusión De Escoria	2 x 1
11	Inclusión De Escoria	2 x 1
12	Inclusión De Escoria	2 x 1
13	Inclusión De Escoria	1 x 2
14	Porosidad	1 x 2
15	Porosidad	1 x 1

### 5.1.3.18 Probeta 18

Tabla 5.20. Resultados En La Probeta 18 [78].

<b>Resultados De La Probeta 18</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación uniforme y de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Cóncava
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	1 x 1
2	Inclusión De Escoria	2 x 3
3	Inclusión De Escoria	3 x 2
4	Inclusión De Escoria	3 x 1
5	Inclusión De Escoria	3 x 2
6	Socavaciones	Las socavaciones 1, 2, 4 y 5 se encuentran por debajo de 1 mm de profundidad.
7	Socavación	La socavación 3 cuenta con 1 mm de profundidad

8	Traslape	6 x 3
---	----------	-------

### 5.1.3.19 Probeta 19

Tabla 5.21. Resultados En La Probeta 19 [78].

<b>Resultados De La Probeta 19</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación uniforme y de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	3 x 1
2	Traslape	5 x 2
3	Traslape	3 x 2

### 5.1.3.20 Probeta 20

Tabla 5.22. Resultados En La Probeta 20 [78].

<b>Resultados De La Probeta 20</b>		
<b>Observaciones:</b> Acabado y terminación uniforme y de calidad en todo el cordón de soldadura.		
<b>Tipo De Soldadura De Filete Resultante:</b>		Ligeramente convexa
<b>Número De Discontinuidad</b>	<b>Tipo De Discontinuidad</b>	<b>Dimensiones De La Discontinuidad (milímetros)</b>
1	Inclusión De Escoria	2 x 3
2	Inclusión De Escoria	2 x 2
3	Inclusión De Escoria	1 x 5

4	Inclusión De Escoria	1 x 3
5	Inclusión De Escoria	2 x 7
6	Inclusión De Escoria	1 x 1
7	Inclusión De Escoria	1 x 2
8	Inclusión De Escoria	1 x 3
9	Traslape	7 x 1
10	Socavaciones	Las socavaciones 1, 2 y 3 se encuentran por debajo de 1 mm de profundidad.
11	Socavación	La socavación 4 cuenta con 1 mm de profundidad.

## 5.2 Resultados Del Ensayo No Destructivo Por Líquidos Penetrantes

Una de las partes fundamentales de este trabajo consistió en desarrollar el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes apegados a las normas ASTM.

En la siguiente tabla se presentan las indicaciones localizadas por probeta, las cuales fueron divididas según su lugar de aparición.

Tabla 5.23 Indicaciones Localizadas Con El END En Cada Probeta [78]

<b>Indicaciones Localizadas Con El Ensayo No Destructivo</b>			
<b>Probeta</b>	<b>Indicaciones Totales</b>	<b>Cantidad De Indicaciones Localizadas</b>	
		<b>Sobre El Cordón De Soldadura</b>	<b>Zona De Transición Del Metal Base Con Soldadura</b>
Pb1	5	1	4
Pb2	21	14	7
Pb3	21	10	11
Pb4	22	8	14

Pb5	12	8	4
Pb6	43	17	26
Pb7	23	8	15
Pb8	21	13	8
Pb9	25	12	13
Pb10	15	11	4
Pb11	20	10	10
Pb12	14	7	7
Pb13	23	10	13
Pb14	19	10	9
Pb15	24	21	3
Pb16	21	9	12
Pb17	25	13	12
Pb18	28	14	14
Pb19	20	8	12
Pb20	22	13	9

Ya que la pregunta de investigación planteada al inicio de este trabajo hace referencia a si existe una relación entre la posición en que se aplica soldadura y las discontinuidades posiblemente localizables, el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes se efectuó a modo de reconfirmar las indicaciones previamente localizadas mediante la inspección visual.

Es decir, para fines de este trabajo se buscó evaluar las discontinuidades mediante el END con el objetivo de observar el comportamiento de una discontinuidad previamente localizada con la inspección visual y con ello visualizar los resultados que puede arrojar dicho ensayo.

Es decir, para los fines de este trabajo la inspección visual nos da el panorama real del estado de las soldaduras y sus discontinuidades, particularmente de sus dimensiones.

En contraparte el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes nos da un panorama respecto a la profundidad de una indicación, pero debido a que las dimensiones de las “manchas” que presenta no coinciden e inclusive muestran dimensiones que pudieran causar confusión a los lectores, se optó por solo presentar la cantidad de indicaciones localizadas con el ensayo y no sus dimensiones.

### 5.3 Uso De Los Criterios De Aceptación AWS Y ASME Para Las Probetas Realizadas

Para los fines de este trabajo, la inspección visual y la respectiva toma de las dimensiones de las discontinuidades arroja un resultado certero con el cual responder a la pregunta de investigación planteada. Por lo tanto los datos efectivos para este trabajo serán tomados con base a los resultados de la inspección visual.

Para fines prácticos, en la siguiente tabla se presenta la cantidad de discontinuidades por probeta que fueron localizadas.

Tabla. 5.24 Compendio De Las Discontinuidades Localizadas [78].

Probeta	Discontinuidades				
	Inclusión De Escoria	Falta De Fusión	Socavación	Porosidad	Traslape
Pb1	1	0	0	0	0
Pb2	12	0	4	0	0
Pb3	3	0	0	0	0
Pb4	6	0	6	2	6
Pb5	4	0	0	0	0

Pb6	10	0	4	1	0
Pb7	8	0	1	0	4
Pb8	6	0	3	0	0
Pb9	9	4	0	0	0
Pb10	6	0	0	0	0
Pb11	7	0	4	0	0
Pb12	4	0	0	3	0
Pb13	6	0	5	0	0
Pb14	4	0	0	1	0
Pb15	12	0	1	0	2
Pb16	1	0	0	0	0
Pb17	13	0	0	2	0
Pb18	5	0	5	1	0
Pb19	1	0	0	0	2
Pb20	8	0	4	0	1
<b>Total</b>	<b>126</b>	<b>4</b>	<b>37</b>	<b>10</b>	<b>15</b>

Existen diversas causas para la aparición de discontinuidades según AWS, una vez analizadas las probetas mediante la inspección visual y el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, se hará énfasis en las causas mayormente probables para la aparición de cada una.

Todo lo anterior con base en la experiencia del autor, dado que el mismo estuvo presente durante el desarrollo de los pases de soldadura .

Tabla 5.25. Discontinuidades Localizadas En Las Probetas [78].

<b>Discontinuidades Existentes En Las Probetas</b>		
<b>Discontinuidad</b>	<b>Cantidad Total</b>	<b>Causa Raíz Según AWS</b>
Inclusión De Escoria	126	Técnica de soldadura inadecuada. Rango de voltaje/corriente bajo.
Falta De Fusión	4	Baja aportación de calor por el electrodo (en CDEN el calor se concentra en el electrodo), lo que es resultante de un rango de voltaje/corriente bajo.
Socavación	37	Técnica de soldadura inadecuada. Rango de voltaje/corriente alto.
Porosidad	10	Calibración inadecuada de la máquina soldadora (velocidad de alambre y voltaje/amperaje) Técnica de soldadura inadecuada.
Traslape	15	Técnica de soldadura inadecuada. Calibración inadecuada de la máquina soldadora (velocidad de alambre /amperaje). Gravedad.

Durante la inspección visual en las 20 probetas se localizaron diversas discontinuidades propias del proceso FCAW, una vez detectadas, como se ha mencionado previamente, estas fueron medidas. Como se observa en la Tabla 5.25, se localizaron 5 de las 6 discontinuidades propias del proceso. Estas 5 discontinuidades con base en sus dimensiones están sujetas a los criterios de aceptación, por el contrario de las grietas, que desde el momento de su detección están sujetas al rechazo.

### 5.3.1 Resultados De Los Criterios De Aceptación

Dado que el uso de los criterios de aceptación ASME y AWS se usaron para aceptar o rechazar las probetas de manera “simbólica”, simulando el ambiente del inspector de soldadura y con el objetivo de compendiar la información resultante, evitando el exceso de tablas, usando los datos presentados en la Tabla 3.18 y Tabla 3.20, en la siguiente tabla se presenta la aceptación o rechazo de las probetas sin ahondar nuevamente en la dimensiones de estas, solo indicando si fueron aceptadas o no por uno o ambos criterios.

Todo lo anterior tomando conciencia de que una soldadura puede ser rechazada por la cantidad de discontinuidades presentes o por una sola que exceda las dimensiones máximas de aceptación.

Tabla 5.26. Aplicación De Los Criterios De Aceptación A Las Probetas [78].

<b>Uso De Los Criterios De Aceptación En Las Probetas</b>		
<b>Probeta</b>	<b>Criterio De Aceptación</b>	
	<b>AWS</b>	<b>ASME</b>
Pb1	Aprobada	Aprobada
Pb2	No Aprobada	No Aprobada
Pb3	No Aprobada	Aprobada
Pb4	No Aprobada	No Aprobada
Pb5	No Aprobada	No Aprobada
Pb6	No Aprobada	No Aprobada
Pb7	No Aprobada	No Aprobada
Pb8	No Aprobada	No Aprobada
Pb9	No Aprobada	No Aprobada
Pb10	No Aprobada	No Aprobada
Pb11	No Aprobada	No Aprobada

Pb12	No Aprobada	No Aprobada
Pb13	No Aprobada	No Aprobada
Pb14	No Aprobada	No Aprobada
Pb15	No Aprobada	No Aprobada
Pb16	Aprobada	Aprobada
Pb17	No Aprobada	No Aprobada
Pb18	No Aprobada	No Aprobada
Pb19	No Aprobada	Aprobada
Pb20	No Aprobada	No Aprobada

El que las probetas se encuentren fuera de los criterios de aceptación planteados por AWS y ASME no significa que las soldaduras realizadas sean de mala calidad. En el caso de la mayoría de las probetas estuvieron sujetas a rechazo por la cantidad de discontinuidades por probeta y no por las dimensiones de cada una, sin dejar de considerar los casos donde las discontinuidades excedían las dimensiones máximas de aceptación.

Es decir, si hubiéramos sometido cada discontinuidad por separado a los criterios de aceptación, la cantidad de probetas o en este caso de discontinuidades aprobadas aumentaría considerablemente, pero dado que se busca cumplir dentro de lo posible con las normativas vigentes, ello deriva en los rechazos presentados en la Tabla 5.26.

#### **5.4 Costo De La Soldadura**

Para este trabajo, se presenta un cálculo del costo de la soldadura, tomando como referencia el método planteado por Larry Jeffus en su libro "Soldadura Principios Y Aplicaciones". Con fines prácticos, tomando como premisa que se conocen salarios ofertados a los soldadores, pero debido a la inexistente estandarización de ellos, se tomara como referencia el salario mínimo

que por ley debe percibir un soldador con soplete o arco eléctrico, el cual es de \$197.34 por jornada de trabajo [90].

Ya que para elaborar y limpiar las probetas previo y durante los pases de soldadura se hizo uso de discos de desbaste, laminados y cardas para la limpieza, en conjunto con el electrodo usado para conformarlas, estos se incluirán en los gastos generales que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.27. Gastos Necesarios Para Este Trabajo [78].

<b>Gastos Generales En La Soldadura</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Costo</b>
Disco De Desbaste Austromex	\$55.00
Disco Laminado Austromex	\$60.00
Soldadura E6013 Lincoln	\$85.00
Cardas CINASA De Acero Al Carbón	\$138.00
<b>Total</b>	<b>\$235.00</b>

Se obtiene el costo de la “mano de obra y gastos generales” por hora de trabajo, sumando el salario diario que percibe un soldador más los gastos generales y posteriormente dividiendo el resultado obtenido entre las 8 horas diarias que por ley corresponden a una jornada laboral.

$$\text{Mano De Obra Y Gastos Generales} = \$197.34/\text{dia} + \$235.00 = \$432.34/\text{dia}$$

$$\text{Costo De Mano De Obra Y Gastos Generales} = \frac{\$432.34/\text{dia}}{8 \text{ horas/dia}} = \$54.04/\text{hora}$$

Para obtener el costo por kg de electrodo, considerando un costo de \$1857.00 por 4.5 kg, se aplica una regla de 3:

$$\frac{\$1857.00}{4.5 \text{ kg}} = \frac{\$x}{1 \text{ kg}} \rightarrow \frac{\$1857.00 \times 1 \text{ kg}}{4.5 \text{ kg}} = \$412.66/\text{kg}$$

Para calcular el costo total de una soldadura se requieren diversos datos, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5.28 Datos Requeridos Para El Cálculo Del Costo De Una Soldadura [73].

<b>Costo De Una Soldadura</b>	
<b>Dato</b>	<b>Fórmula</b>
Mano De Obra Y Generales	$\frac{\text{Costo De Mano De Obra Y Generales /hora}}{\text{Velocidad De Depósito (kg/hora) } \times \text{ factor de operación}}$
Electrodo	$\frac{\text{Costo Del Electrodo (\$/kg)}}{\text{Eficiencia De Depósito}}$
Gas	Para este trabajo no fue utilizado ningún gas debido al uso de una soldadura autoprotegida.
Fundente	Solo aplica para proceso de soldadura SAW
Energía	$\frac{\text{Costo (kW/h) } \times \text{ Volts } \times \text{ Amperes}}{1000 \times \text{Velocidad De Depósito (kg/h)}}$
Costo Total Por Kg De Soldadura Depositada	Suma De Todo Lo Anterior

Por lo tanto, considerando:

Costo de mano de obra y gastos generales: \$54.04/hora.

Velocidad de depósito del electrodo E71T-11: 1.5 kg/hora [65].

Costo del electrodo: \$412.66/kg.

Eficiencia de depósito: 85% o 0.85 [91].

Costo del kilowatt hora tomando como referencia el costo en Gran Demanda En Media Tensión Ordinaria (GDMTO) establecido por Comisión Federal De Electricidad: \$1.15 kW/h [92].

Volts: Se tomo como valor el promedio de los 80 valores anotados durante los pases de raíz, rellenos y vista: 18.64 volts.

Amperes: De igual manera fueron el valor promedio de los 80 valores anotados durante los pases de soldadura: 124.28 A.

Sustituyendo en las fórmulas de la tabla anterior:

Tabla 5.29. Costos De Soldadura [65, 91 y 92].

<b>Datos Para Calcular El Costo De Una Soldadura</b>	
<b>Dato</b>	<b>Sustitución</b>
Mano De Obra Y Generales	$\frac{\$54.04/hora}{1.5kg/hora \times 0.40} = \$90.06/kg$
Electrodo	$\frac{\$412.66/kg}{0.85} = \$485.48/kg$
Gas	\$0.00/kg
Fundente	\$0.00/kg
Energía	$\frac{\$1.15/kWh \times 18.64 V \times 124.28 A}{1000 \times 1.5kg/hora} = \$1.77/kg$
Costo Total Por Kg De Soldadura Depositada	<b>\$577.31/kg</b>

Como se ha mencionado, el costo real de una soldadura puede variar respecto a los datos con que se cuente, el caso que se presenta fue elaborado con datos planteados por autores para el proceso FCAW en general, en conjunto con datos obtenidos por el autor y datos proporcionados por instancias gubernamentales.

Debido a que este cálculo fue realizado con los datos mencionados anteriormente y al no tener un marco de referencia de los costos de soldadura para el proceso FCAW-S no se tiene forma de determinar si el costo de soldadura obtenido es competitivo.

# Capítulo 6

# Conclusiones

*Las nuevas opiniones siempre son sospechosas, y normalmente se rechazan, sin más razón que el hecho de no ser comunes.*

John Locke

Estudiar la relación que existe entre una posición para soldar y las discontinuidades que existen en un determinado proceso de soldadura es un tema interesante y fundamental para el ingeniero mecánico electricista inmerso en el amplio campo de la soldadura.

Con este trabajo se buscó independientemente de resolver la pregunta de investigación planteada, mostrar de manera experimental como se desarrolla un proceso de soldadura partiendo de cero, es decir, desde proponer un metal base hasta evaluar una soldadura mediante los criterios de aceptación planteados, haciendo uso de las normativas vigentes para seleccionar los puntos que componen a lo que fue denominado el “plan de soldadura”.

Una vez observados, estudiados y comparados los resultados obtenidos mediante la inspección visual y el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- Realizar soldaduras en la posición 3F vertical ascendente está relacionado con la aparición de inclusiones de escoria principalmente en la zona del cordón de soldadura.
- Los cordones de soldadura más estrechos no alojan tantas inclusiones de escoria en comparación con los cordones anchos, es decir a mayor recorrido de la soldadura sobre la probeta hay una mayor tendencia a la aparición de inclusiones de escoria.
- Las diversas discontinuidades restantes muestran que la técnica de soldadura por microalambre (cordones anchos) no puede ser utilizada para el proceso con electrodo de núcleo fundente autoprotegido y como en la mayoría de las aplicaciones de soldadura debe desarrollarse una técnica acorde a los requerimientos por el método de prueba y error.
- Se pudo observar que los parámetros planteados por el fabricante de la soldadura tienden a ser idealistas por lo que el ingeniero a cargo de los procesos de soldadura deber hacer uso del método de prueba y error.

- Se debe desarrollar una técnica de soldadura con cordones estrechos en una probeta, es decir en lugar de depositar un solo cordón ancho, deber ser aplicados los cordones necesarios pero de manera estrecha.
- La inspección visual de soldaduras contando con el equipo necesario puede ser suficiente para localizar discontinuidades superficiales.
- El ensayo no destructivo por líquidos penetrantes aporta información relevante sobre la profundidad de una discontinuidad superficial, lo que en conjunto con una previa inspección visual puede dar un panorama amplio previo al uso de los criterios de aceptación.
- El ensayo no destructivo tiene la desventaja de poder resultar confuso ya que los resultados que arroja no corresponden con las dimensiones reales de la discontinuidad localizada si no con su profundidad.
- El uso y aplicación de los criterios de aceptación se puede tornar complejo, particularmente si se utilizan dos o más criterios, ya que se pudo observar al menos para este trabajo que hay ciertas condiciones que pueden generar aceptación por un criterio y rechazo por otro.

A modo de conclusión, mediante este trabajo fue posible responder de manera certera a la pregunta de investigación planteada.

Se puede responder afirmativamente que la discontinuidad denominada inclusión de escoria, está directamente relacionada con la posición de soldadura 3F vertical ascendente, ya que en todas las probetas, inclusive las realizadas con cordones estrechos fue localizada dicha discontinuidad.

Las demás discontinuidades por su aparición no pueden ser relacionadas de manera efectiva con la posición ya que aparecieron en probetas específicas, como el caso de la socavación, que apareció en probetas con alto valor de voltaje/amperaje, o la falta de fusión en la zona de

transición del metal base con el metal de soldadura, que fue producto de un bajo voltaje amperaje. Por otro lado, la porosidad solo apareció en pocas probetas, no fue localizada porosidad vermicular y sus dimensiones se localizaban dentro de los criterios de aceptación.

Los traslapes localizados están relacionados con una técnica de soldadura inadecuada, es decir, esta discontinuidad es causada por el soldador y la técnica de soldadura propuesta.

# Trabajos A Futuro

*Lo que distingue las mentes verdaderamente originales no es que sean las primeras en ver algo nuevo, sino que son capaces de ver como nuevo lo que es viejo, conocido, visto y menospreciado por todos.*

Friedrich Nietzsche

- Este trabajo puede ser un punto de partida para estudiar las discontinuidades que pueden presentarse por posición de soldadura cuando se hace uso del electrodo E71T-11, enfocándose ahora en todas las posiciones faltantes (1G, 2G, 3G, 4G, 1F, 2F, 4F, 5G y 6G) haciendo uso de juntas con penetración completa. E inclusive replicar el plan de soldadura planteado considerando la aplicación de cordones estrechos en lugar los usados en este trabajo.
- Puede servir como una referencia para el desarrollo de los restantes ensayos no destructivos para evaluar las soldaduras en todas posiciones y con ello conocer su comportamiento y discontinuidades internas que no pueden ser evaluadas mediante líquidos penetrantes (pase de raíz y de relleno).
- A futuro el estudio, validación y posible capitulación de que discontinuidades existen por posición de soldadura en todos los procesos de soldadura por arco eléctrico puede dar un gran panorama a todo el personal dedicado al estudio de la soldadura que permita colaborar en la actualización de los criterios de aceptación existentes e incluso desarrollar bibliografía referente al tema “posición-discontinuidad” en soldadura.
- Como un comentario personal por parte del autor, se invita a la comunidad enfocada en el estudio de la soldadura a replicar los resultados y ahondar más en su estudio.

### Referencias Bibliográficas

- [1] IEEE, IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2018.
- [2] ARCO ELÉCTRICO *Consecuencias, Normas Y Protección*. 2014. Accessed: Jan. 03, 2022. [Online Image]. Available: <https://e-management.mx/2014/10/01/arco-electrico-consecuencias-normas-y-proteccion/>
- [3] American Welding Society, *AWS A3.0 Standard Welding Terms and Definitions*. 2020.
- [4] E. Asta, *Fundamentos De La Soldadura Por Arco Eléctrico*. Buenos Aires: Fundación Latinoamericana De Soldadura, 2006. Accessed: Jan. 04, 2022. [Online]. Available: <https://denygonzalez.files.wordpress.com/2014/09/guia-de-soldadura.pdf>
- [5] OERLIKON, *Manual De Soldadura & Catálogo De Productos*. Perú: EXSA. S.A., 2015. [Online]. Available: <https://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/Manual-de-Soldadura-OERLIKON.pdf>
- [6] G. Hernandez Riesco, *Manual Del Soldador*, 17th ed. Madrid: Cesol, DI, 2012.
- [7] L. Koellhoffer, A. F. Manz, and E. G. Hornberger, *Manual De Soldadura*. México: LIMUSA, 2007.
- [8] J. Norrish, "Filler Materials For Arc Welding," *Advanced Welding Processes*, pp. 44–57, 2006, doi: 10.1533/9781845691707.44.
- [9] J. F. Calderón Concha, "Estudio Comparativo De La Soldabilidad En Aceros (ASTM A36, A588 Y A572) Mediante El Proceso FCAW," Tesis De Licenciatura, Escuela Politécnica Nacional, 2014. Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7332>
- [10] American Welding Society, *Welding Handbook WELDING AND CUTTING SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 10th ed., vol. 1. Miami: American Welding Society, 2018.
- [11] American Welding Society, *AWS B1.10 Guide For The Nondestructive Examination Of Welds*. 2016.
- [12] K. Ashok Reddy, "Non-Destructive Testing, Evaluation Of Stainless Steel Materials," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 8, pp. 7302–7312, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.07.060.
- [13] E. F. Peralta Cruz, "Aplicación Y Evaluación De Las Principales Discontinuidades En Las Uniones Soldadas Con END (Líquidos Penetrantes) En Los Tanques De Envejecimiento En El Proyecto De "Reforzamiento De Los Anillos Superiores En La Planta Concentradora Cuajone-SPCC," Tesis De Licenciatura, Universidad Nacional De San Agustín, 2018. Accessed: Mar. 10, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8390>
- [14] E. A. Avallone and T. Baumeister III, *Marks Manual Del Ingeniero Mecánico*, 9th ed., vol. 1. México: McGraw-Hill, 2016.

- [15] American Welding Society, *Tecnología De Inspección De Soldadura*, 4th ed. Miami: American Welding Society, 2000.
- [16] J. R. Deepak, V. K. Bupesh Raja, D. Srikanth, H. Surendran, and M. M. Nickolas, “Non-destructive Testing (NDT) Techniques for Low Carbon Steel Welded joints: a Review and Experimental Study,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, pp. 3732–3737, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.578.
- [17] S. K. Dwivedi, M. Vishwakarma, and Prof. Akhilesh. Soni, “Advances and Researches on Non Destructive Testing: A Review,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 3690–3698, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.620.
- [18] P. Moore and G. Booth, “Detecting Weld Defects,” *The Welding Engineers Guide to Fracture and Fatigue*, pp. 143–158, 2015, doi: 10.1533/9781782423911.2.143.
- [19] G. V. Crowe and American Society For Nondestructive Testing, *An Introduction To Nondestructive Testing*, 2nd ed. American Society For Nondestructive Testing, 2009.
- [20] R. Singh, “Penetrant Testing,” *Applied Welding Engineering*, pp. 339–345, 2020, doi: 10.1016/b978-0-12-821348-3.00026-4.
- [21] C. Meola, S. Boccardi, and G. M. Carlomagno, “Nondestructive Evaluation,” *Infrared Thermography in the Evaluation of Aerospace Composite Materials*, pp. 25–56, 2017, doi: 10.1016/b978-1-78242-171-9.00002-4.
- [22] American Welding Society, *AWS A5.20 Specification For Carbon Steel Electrodes For Flux Cored Arc Welding*. 2005.
- [23] HEMA PARA SOLDAR, *CILINDRO (TANQUE) GAS CARBÓNICO CO2*. 2022. Accessed: Jan. 18, 2022. [Online Image]. Available: <http://www.hema.com.mx/articulo/231471>
- [24] NATIONAL STANDART, *Table of Contents Welding Wire*. 2017. Accessed: Jan. 19, 2022. [Online]. Available: <https://www.nationalstandard.com/wp-content/uploads/2017/10/NS-Welding-Wire-Catalog-2017-09-14.pdf>
- [25] SELECT ARC INC, *Select-Arc Premium Welding Products*. 2018. Accessed: Jan. 20, 2022. [Online]. Available: [http://www.select-arc.com/products/pdf/master\\_select-arc\\_catalog\\_2.17-updated.pdf](http://www.select-arc.com/products/pdf/master_select-arc_catalog_2.17-updated.pdf)
- [26] GRAINGER México, *Soldadura FCAW*. 2022. Accessed: Jan. 28, 2022. [Online Image]. Available: <https://www.grainger.com.mx/producto/HOBART-Alambre-de-Soldadura-FCAW-de-Acero-Suave-con-0-035%22-de-Di%C3%A1metro,-Clasificaci%C3%B3n-AWS:-E71T-GS,-2-Lb-/p/6ETN1>
- [27] M. A. Wahab, “Manual Metal Arc Welding and Gas Metal Arc Welding,” *Comprehensive Materials Processing*, vol. 6, pp. 49–76, 2014, doi: 10.1016/b978-0-08-096532-1.00610-5.
- [28] R. Singh, “Welding And Joining Processes,” *Applied Welding Engineering*, pp. 157–186, 2020, doi: 10.1016/b978-0-12-821348-3.00015-x.

- [29] X. Zhang, H. Gao, and G. Zhang, "Current-Independent Metal Transfer By Utilizing Droplet Resonance In Gas Metal Arc Welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 279, p. 116571, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116571>.
- [30] X. Cai, S. Lin, B. Wang, H. Dai, C. Fan, and C. Yang, "Droplet Transfer And Weld Formation Of MIG Welding With Ar-He Alternating Gas For Aluminum Alloy," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 49, pp. 94–101, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.11.012>.
- [31] L. H. Guilherme, A. V. Benedetti, C. S. Fugivara, R. Magnabosco, and M. F. Oliveira, "Effect of MAG welding transfer mode on sigma phase precipitation and corrosion performance of 316L stainless steel multi-pass welds," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 5, pp. 10537–10549, 2020, doi: [10.1016/j.jmrt.2020.07.039](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.039).
- [32] D.-W. Cho, J.-H. Park, and H.-S. Moon, "A Study On Molten Pool Behavior In The One Pulse One Drop GMAW Process Using Computational Fluid Dynamics," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 139, pp. 848–859, 2019, doi: [10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.038](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.038).
- [33] C. Cai, J. Feng, L. Li, and Y. Chen, "Influence Of Laser On The Droplet Behavior In Short-Circuiting, Globular, And Spray Modes Of Hybrid Fiber Laser-MIG Welding," *Optics & Laser Technology*, vol. 83, pp. 108–118, 2016, doi: [10.1016/j.optlastec.2016.03.029](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2016.03.029).
- [34] Y. Zhao, X. Shi, K. Yan, G. Wang, Z. Jia, and Y. He, "Effect of shielding gas on the metal transfer and weld morphology in pulsed current MAG welding of carbon steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 262, pp. 382–391, 2018, doi: [10.1016/j.jmatprotec.2018.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.07.003).
- [35] American Welding Society, *AWS B1.11 Guide For The Visual Examination Of Welds*. 2015.
- [36] L. E. Ramírez Luna, A. Q. Bracarense, E. C. P. Pessoa, P. S. Costa, G. Altamirano Guerrero, and A. E. Salas Reyes, "Effect Of The Welding Angle On The Porosity Of Underwater Wet Welds Performed In Overhead Position At Different Simulated Depths," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 294, p. 117114, 2021, doi: [10.1016/j.jmatprotec.2021.117114](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117114).
- [37] American Welding Society, *Linear Slag Inclusions*. 2009. Accessed: Feb. 22, 2022. [Online Image]. Available: [https://app.aws.org/forum/topic\\_show.pl?tid=22406](https://app.aws.org/forum/topic_show.pl?tid=22406)
- [38] O. R. Monsalve Martínez, "Caracterización Morfológica De Inclusión De Escoria En Juntas Soldadas De Tubería De Acero ASTM A36 Realizados Por Proceso Smaw, Mediante Ensayos No Destructivos Especificados," Tesis De Licenciatura, Universidad Santo Tomás, 2014. Accessed: Feb. 22, 2022. [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2777/Monsalveoscar2014.pdf?sequence=1>
- [39] T. Yang, J. Liu, Y. Zhuang, K. Sun, and W. Chen, "Studies On The Formation Mechanism Of Incomplete Fusion Defects In Ultra-Narrow Gap Laser Wire Filling Welding," *Optics & Laser Technology*, vol. 129, p. 106275, 2020, doi: [10.1016/j.optlastec.2020.106275](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106275).
- [40] R. Singh, "Weld Defects And Inspection," *Applied Welding Engineering*, pp. 285–301, 2020, doi: [10.1016/b978-0-12-821348-3.00027-6](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821348-3.00027-6).

[41] K.-Q. Lu, J.-Q. Lin, Z.-F. Chen, W. Wang, and H. Yang, "Safety Assessment Of Incomplete Penetration Defects At The Root Of Girth Welds In Pipelines," *Ocean Engineering*, vol. 230, p. 109003, 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109003.

[42] ESAB, *Penetración Incompleta*. 2022. Accessed: Feb. 27, 2022. [Online Image]. Available: [https://www.esabna.com/euweb/mig\\_handbook/592mig10\\_2.htm](https://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig10_2.htm)

[43] Y. Chang, J. Yue, R. Guo, W. Liu, and L. Li, "Penetration Quality Prediction Of Asymmetrical Fillet Root Welding Based On Optimized BP Neural Network," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 50, pp. 247–254, 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2019.12.022.

[44] D.-M. Lee, S.-J. Kim, H.-J. Lee, and Y.-J. Kim, "Fatigue Life Evaluation Of Socket Welded Pipe With Incomplete Penetration Defect: I-test and FE analysis," *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 53, no. 11, pp. 3852–3859, 2021, doi: 10.1016/j.net.2021.05.033.

[45] ARC HELMETS, *What Causes Undercut in Welding and Possible Remedies*. 2021. Accessed: Mar. 01, 2022. [Online Image]. Available: <https://archelmets.com/what-causes-undercut-in-welding-and-possible-remedies/>

[46] S. A. Hurtado Avella, "Análisis Morfológico En Uniones Soldadas Mediante El Uso De Ensayos No Destructivos Específicos Para La Identificación De Socavado Interno Y Falta De Penetración En Juntas De Tuberías De Acero ASTM A36," Tesis De Licenciatura, Universidad Santo Tomás, 2014. Accessed: Mar. 01, 2022. [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/623/2014sergiohurtado.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

[47] F. R. Mashiri, X. L. Zhao, and P. Grundy, "Effects Of Weld Profile And Undercut On Fatigue Crack Propagation Life Of Thin-Walled Cruciform Joint," *Thin-Walled Structures*, vol. 39, no. 3, pp. 261–285, 2001, doi: 10.1016/s0263-8231(00)00061-6.

[48] WELD GEARS, *What Is Overlap in Welding?* 2021. Accessed: Mar. 04, 2022. [Online Image]. Available: <https://weldgears.com/what-is-overlap-in-welding/>

[49] O. E. Castillo Vilela and J. A. Peralta Centurion, "Evaluación De La Calidad Mediante Inspección Visual De Discontinuidades En Uniones Soldadas En Base Al Código AWS," Tesis De Licenciatura, Universidad Nacional De Trujillo, 2019. Accessed: Mar. 04, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12047/CASTILLO%20VILELA%2c%20SCAR%20EMERSON%20%3b%20PERALTA%20CENTURION%2c%20JORDY%20ALBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[50] J. Cao *et al.*, "Failure Analysis On Girth Weld Cracking Of Underground Tee Pipe," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 191, p. 104371, 2021, doi: 10.1016/j.ijpvp.2021.104371.

[51] G. Rogalski, A. Świerczyńska, M. Landowski, and D. Fydrych, "Mechanical and Microstructural Characterization of TIG Welded Dissimilar Joints between 304L Austenitic Stainless Steel and Incoloy 800HT Nickel Alloy," *Metals*, vol. 10, no. 5, p. 559, 2020, doi: 10.3390/met10050559.

- [52] G. Wei, K. Hu, S. Chen, and M. Yan, "Experiment And Simulation Investigation Of Multiple Cracks Evolution At The Weld Toe," *International Journal of Fatigue*, vol. 144, p. 106037, 2021, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2020.106037.
- [54] A. Sedmak *et al.*, "Welded Joint Geometry Effect On Fatigue Crack Growth Resistance In Different Metallic Materials," *International Journal of Fatigue*, vol. 150, p. 106298, 2021, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2021.106298.
- [55] M. Stewart and O. T. Lewis, "In-Service Inspection by Nondestructive Examination (NDE)," *Pressure Vessels Field Manual*, pp. 347–424, 2013, doi: 10.1016/b978-0-12-397015-2.00006-8.
- [56] NDT SERVICES, *Liquid Penetrant Inspection For Detecting Surface-Breaking Flaws*. 2014. Accessed: Mar. 20, 2022. [Online Image]. Available: <http://ndtservices.blogspot.com/2014/09/liquid-penetrant-inspection-for.html>
- [57] RED CODE Quality, *LÍQUIDOS PENETRANTES VISIBLES Y FLUORESCENTES*. 2016. Accessed: Mar. 20, 2022. [Online Image]. Available: <http://www.redcodeperu.com/quality/>
- [58] American Welding Society, *AWS D1.1 Structural Welding Code-Steel*. 2020.
- [59] V. S. Benitha, K. Jeyasubramanian, and G. S. Hikku, "Investigation Of Anti-Corrosion Ability Of Nano Mixed Metal Oxide Pigment Dispersed Alkyd Coating And Its Optimization For A36 Steel," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 721, pp. 563–576, 2017, doi: 10.1016/j.jallcom.2017.05.329.
- [60] American Society for Testing and Materials, *Standard Specification For Carbon Structural Steel*. 2019.
- [61] METALIUM, *Solera De Acero*. 2014. Accessed: Apr. 01, 2022. [Online Image]. Available: <https://metalium.mx/solera-de-acero>
- [62] C. G. Salmon, J. E. Johnson, and F. A. Malhas, *Steel Structures Design and Behavior Emphasizing Load and Resistance Factor Design*, 5th ed. New Jersey: Pearson International Education, 2009.
- [63] J. A. Bejarano Ulloa, "Alrededor Del Aseguramiento Metrológico En Soldadura Parte 3/3. Metrología Dimensional," *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 2020. <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2020/06/Trabajo-No.-16.pdf> (Accessed Apr. 03, 2022).
- [64] O. U. Contreras Hernández, *Imagen De Elaboración Propia*. 2022.
- [65] Lincoln Electric, "ALAMBRE TUBULAR AUTO PROTEGIDO (FCAW-S) Innershield® NR® -211-MP," *Lincoln Electric*, 2014. [https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_Flux-CoredWires-Self-Shielded-Innershield-InnershieldNR-211-MP/c3200010\\_InnershieldNR-211-MP\\_ES-MX.pdf](https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_Flux-CoredWires-Self-Shielded-Innershield-InnershieldNR-211-MP/c3200010_InnershieldNR-211-MP_ES-MX.pdf) (accessed Apr. 19, 2022).
- [66] ESAB, "CORESHIELD 11," *ESAB*, 2022. <https://www.esab.com.ar/ar/sp/products/filler-metals/self-shielded-flux-cored-wires-fcaw/mild-steel-wires/coreshield-11.cfm> (accessed Apr. 21, 2022).

- [67] M. A. Sánchez Osorio and E. E. Rincón Reina, "Análisis De Soldabilidad Del Acero Estructural ASTM A572 Grado 50 Con El Proceso De Soldeo Al Arco Eléctrico Con Electrodo Tubular Autoprotegido (FCAW-S) Y Compararla Con El Proceso De Soldadura Al Arco Con Electrodo Metálico Revestido (SMAW)," Tesis De Licenciatura, FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES, 2017. Accessed: Apr. 21, 2022. [Online]. Available: <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1442/sanchezmanuel2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [68] The Lincoln Electric Company, *INNERSHIELD® NR®-221-MP*. 2022. Accessed: Apr. 19, 2022. [Online Image]. Available: [https://www.lincolnelectric.com/es-co/consumables/Pages/product.aspx?product=Products\\_Consumable\\_Flux-CoredWires-Self-Shielded-Innershield-InnershieldNR-211-MP\(LincolnElectric\)&detail=ED030584\(LincolnElectric\)](https://www.lincolnelectric.com/es-co/consumables/Pages/product.aspx?product=Products_Consumable_Flux-CoredWires-Self-Shielded-Innershield-InnershieldNR-211-MP(LincolnElectric)&detail=ED030584(LincolnElectric))
- [69] Á. R. Benítez Bohórquez and O. I. Duque Díaz, "Elaboración De Cupones En Acero De Bajo Carbono, Mediante Proceso De Soldadura Por Arco Eléctrico Con Electrodo Manual Revestido, Con Defectos Inducidos E Inspeccionados Por Métodos Visuales Y Tintas Penetrantes," Oct. 2017, Accessed: Apr. 26, 2022. [Online]. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10943>
- [70] V. I. Lopez Santamaria, "Revisión Del Estado Del Arte De Procesos De Soldadura Para Construcción De Líneas Submarinas En Colombia," Monografía, Universidad Libre, 2013. Accessed: Apr. 26, 2022. [Online]. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9831/MONOGRAFIA%20VIVIAN%20LOPEZ%20ESPECIALIZACION%20EN%20SOLDADURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [71] H. Horwitz, *Soldadura : Aplicaciones Y Práctica*. México: Alfaomega, 1993.
- [72] D. L. Singaravelu, G. Rajamurugan, and K. Devakumaran, "Modified Short Arc Gas Metal Arc Welding Process for Root Pass Welding Applications," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 7828–7835, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.463.
- [73] L. Jeffus, *Soldadura Principios Y Aplicaciones*, 5th ed. Madrid: Paraninfo, 2009.
- [74] WEILER, *Guía De Soldadura De Pases Múltiples*. 2021. Accessed: Apr. 27, 2022. [Online Image]. Available: [https://www.weilerabrasives.com/userfiles/images/homepage/resources/resource\\_library/flyers/gs0050\\_multi\\_pass\\_welding\\_guide\\_spanish\\_d.pdf](https://www.weilerabrasives.com/userfiles/images/homepage/resources/resource_library/flyers/gs0050_multi_pass_welding_guide_spanish_d.pdf)
- [75] H. Hidalgo Juárez, "Estudio Sobre El Tratamiento Térmico De Las Soldaduras De Tubería De Acero Al Carbono (Api 5l X52) Realizadas Mediante El Proceso Por Arco De Metal Y Electrodo Revestido (SMAW)," Monografía, CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES, 2010. Accessed: May 02, 2022. [Online]. Available: <https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/266/1/MONO-ETSI-HIDALGO.JUAREZ.pdf>
- [76] Blog PUCP, *La Importancia Del Pase De Raíz En Tuberías De Acero Inoxidable Super Duplex*. 2015. Accessed: May 02, 2022. [Online Image]. Available: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/uniondemateriales/2015/06/29/la-importancia-del-pase-de-raiz-en-tuberias-de-acero-inoxidable-super-duplex/>

- [77] T. Mazón Hernández, *Soldadura En 3G Con Cinco Pasadas*. 2016. Accessed: May 04, 2022. [Online Image]. Available: <http://soldaduracursos.blogspot.com/2016/11/>
- [78] O. U. Contreras Hernández, *Tabla De Elaboración Propia*. 2022.
- [79] American Society for Testing and Materials, *Standard Practice for Visible Penetrant Testing Using Solvent-Removable Process*. 2010.
- [80] EFC, *DETECTOR DE FISURAS 3 PZAS REVELADOR, PENETRANTE Y LIMPIADOR SPRAY CANTESCO*. 2022. Accessed: May 07, 2022. [Online Image]. Available: <https://www.efc.com.pe/detector-de-fisuras-3-pzas-revelador-penetrante-y-limpiador-spray-cantesco/p>
- [81] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, *2021 ASME Boiler And Pressure Vessel Code: VIII Rules For Construction Of Pressure Vessels Division 1*. ASME Boiler and Pressure Vessel Committee on Pressure Vessels, 2021.
- [82] Aceromafe, “¿Para Qué Sirve Una Solera De Acero?,” *Aceromafe*, Jan. 05, 2021. <https://www.aceromafe.com/solera-de-acero/> (Accessed May 17, 2022).
- [83] A. M. Marín Herrera, *Terminología De Juntas Soldadas*. 2016. Accessed: May 18, 2022. [Online Image]. Available: <http://soldadurayestructuras.com/terminologia-de-las-juntas-soldadas.html>
- [84] Lincoln Electric, “Lincoln Master AWS E6013,” 2019. [https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_StickElectrodes-MildandLowAlloySteels-Lincoln-LincolnMaster/LincolnMaster\\_6013\\_ES-MX.pdf](https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_StickElectrodes-MildandLowAlloySteels-Lincoln-LincolnMaster/LincolnMaster_6013_ES-MX.pdf) (Accessed May 23, 2022).
- [85] American Welding Society, *AWS A2.4 Standard Symbols For Welding Brazing, And Nondestructive Examination*. 2020.
- [86] INDURA, “Manual De Sistemas Y Materiales De Soldadura,” *INDURA*, 2007. <https://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Soldadura%20INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F00da6ac5e6754e428ecd94f1c78711cb.pdf> (Accessed Jun. 01, 2022).
- [87] INFRA SOLDADORAS INDUSTRIALES, “S604 Alimentador De Alambre Velocidad Constante 24Vca.,” *INFRA*, 2002. <http://www.ses-soldadoras.com/manuales/200312260289.pdf> (Accessed Jun. 11, 2022).
- [88] Material Welding, “What is Welding Electrode Stickout for GMAW & TIG?” *Material Welding*, 2022. <https://www.materialwelding.com/what-is-welding-electrode-stickout-for-gmaw-tig/#:~:text=Contact%20tip%20to%20work%20distance,replaced%20by%20the%20arc%20length>. (Accessed Jun. 12, 2022).
- [89] E. A. Gyasi, P. Kah, H. Wu, and M. A. Kesse, “Modeling of an Artificial Intelligence System to Predict Structural Integrity in Robotic GMAW of UHSS Fillet Welded Joints,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 93, no. 1–4, pp. 1139–1155, 2017, doi: 10.1007/s00170-017-0554-0.

[90] Secretaria Del Trabajo Y Previsión Social, “Salarios Mínimos 2022,” Gobierno De México, Dec. 08, 2021. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/686336/Tabla\\_de\\_Salarios\\_M\\_nimos\\_vigentes\\_a\\_partir\\_del\\_1\\_de\\_enero\\_de\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/686336/Tabla_de_Salarios_M_nimos_vigentes_a_partir_del_1_de_enero_de_2022.pdf) (accessed Aug. 26, 2022).

[91] [2]K. Weman, *Welding Processes Handbook*. England: Woodhead Publishing Ltd, 2003.

[92] GREENLUX, “Tarifas CFE: Para casa, comercio, industria y sus costos 2022,” *Paneles Solares en Monterrey*, Mar. 09, 2022. <https://www.greenlux.com.mx/paneles-solares-monterrey/tarifas-cfe-para-casa-negocio-y-sus-costos/> (accessed Aug. 26, 2022).

## Anexos

ALAMBRE TUBULAR AUTO PROTEGIDO (FCAW-S)

**Innershield<sup>®</sup> NR<sup>®</sup>-211-MP**

Acero Dulce, Todas Posiciones • AWS E71T-11

**Características principales**

- ▶ Capacidad de soldadura versátil en una variedad de materiales base.
- ▶ Gran desempeño para el operador y buena apariencia del cordón
- ▶ Fácil remoción de escoria.
- ▶ Las características de solidificación rápida compensan un pobre ajuste de placas.

**Aplicaciones típicas**

- ▶ Hoja de acero o de medida delgada
- ▶ Hoja de acero galvanizado
- ▶ Automatización rígida o robótica
- ▶ Fabricación general
- ▶ Grosor de placa máximo de 5/16 in para diámetros de 0.045 pulg. y diámetros más pequeños.
- ▶ Grosor de placa máximo de 1/2 pulg. Para diámetros de 0.068 - 3/32 pulg.

**Cumplimientos**

AWS A5.20/A5.20M:	E71T-11
ASME SFA-A5.20:	E71T-11
ABS:	E71T-11*
CWB/CSA W48-06:	E491T-11-H16
BD:	EN 758 T42 Z S N 1
TUV:	EN 758 T42 Z S N 1

\*Excepto diámetros de 0.030 pulg (0.8 mm) y 0.035 pulg (0.9 mm)

**Posiciones para soldar**

Todas, excepto 3/32 pulg. (2.4 mm) de diámetro

**Grosor máximo de placa**

Diámetro: in (mm)	Grosor máximo de placa: in (mm)
0.030 (0.8)	5/16 (7.9)
0.035 (0.9)	5/16 (7.9)
0.045 (1.1)	5/16 (7.9)
0.068 (1.7)	1/2 (12.7)
5/64 (2.0)	1/2 (12.7)
3/32 (2.4)	1/2 (12.7)

**DIÁMETROS/EMPAQUE**

Diámetro in (mm)	1 lb (0.5 kg) carrete de plástico 5 lb (2.3 kg) caja máster	1 lb (0.5 kg) carrete de plástico 10 lb (4.5 kg) caja máster	10 lb (4.5 kg) Carrete de plástico
0.030 (0.8) 0.035 (0.9) 0.045 (1.1) 0.068 (1.7) 5/64 (2.0) 3/32 (2.4)	ED031448	ED027641	ED033130 ED016354 ED016363
Diámetro in (mm)	14 lb (6.4 kg) Bobina Coil 56 lb (25.4 kg) caja máster	25 lb (11.3 kg) Carrete de acero	50 lb (22.7 kg) Bobina Coil
0.030 (0.8) 0.035 (0.9) 0.045 (1.1) 0.068 (1.7) 5/64 (2.0) 3/32 (2.4)	ED012506 ED012508	ED030637 ED030638 ED030641 ED030645	ED012507 ED012509 ED013869

CABLE TUBULAR AUTO PROTEGIDO (FCAW-S)

**Innershield® NR® -211-MP**

(AWS E71T-11)

**PROPIEDADES MECÁNICAS<sup>(1)</sup> : como se requiere de acuerdo con AWS A5.20/A5.20M**

	Resistencia a la Cedencia <sup>(2)</sup> MPa (ksi)	Resistencia a la Tensión MPa (ksi)	Elongación %	Dureza Rockwell B
Requerimientos - AWS E71T-11	400 (58) min.	480-655 (70-95)	20 min.	-
Resultados de prueba <sup>(3)</sup> : tal como se soldó	435-475 (63-69)	605-645 (88-94)	22-25	89-92

**COMPOSICIÓN DE ALAMBRE<sup>(1)</sup> : tal como se requiere de acuerdo con AWS A5.20/A5.20M**

	% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Al
Requerimientos - AWS E71T-11	0.30 máx.	1.75 máx.	0.60 máx.	0.03 máx.	0.03 máx.	1.8 máx.
Resultados de pruebas <sup>(3)</sup>	0.23-0.26	0.57-0.66	0.17-0.26	≤0.01	≤0.01	1.3-1.6

**PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES TÍPICOS**

Diámetro, polaridad, gas protector	CTWD mm (in)	Velocidad de alimentador de alambre m/min (in/min)	Voltaje (voltios)	Corriente aproximada (amperes)	Índice de Fusión kg/hr (lb/hr)	Tasa de depósito kg/hr (lb/hr)	Rendimiento (%) (%)
0.030 in (0.8 mm), DC-	13 (1/2)	1.3 (50)	13-14	30	0.2 (0.5)	0.2 (0.4)	81
		2.5 (100)	13-14	60	0.5 (1.1)	0.4 (0.8)	75
		3.8 (150)	14-15	80	0.7 (1.6)	0.6 (1.2)	78
		5.1 (200)	14-15	100	1.0 (2.1)	0.8 (1.7)	81
		6.4 (250)	15-16	130	1.2 (2.6)	1.0 (2.1)	80
		7.6 (300)	18-19	140	1.4 (3.2)	1.2 (2.6)	81
0.035 in (0.9 mm), DC-	13-16 (1/2-5/8)	1.3 (50)	14-15	30	0.4 (0.8)	0.3 (0.7)	81
		1.8 (70)	15-16	60	0.5 (1.2)	0.5 (1.0)	83
		2.8 (110)	16-17	115	0.7 (1.6)	0.6 (1.3)	78
		3.8 (150)	17-18	130	1.0 (2.2)	0.8 (1.7)	78
		5.1 (200)	18-19	155	1.4 (3.0)	1.1 (2.5)	84
		7.0 (275)	20-21	155	2.0 (4.4)	1.5 (3.4)	78
0.045 in (1.1 mm), DC-	16 (5/8)	1.8 (70)	15-16	120	0.7 (1.6)	0.5 (1.1)	69
		2.3 (90)	16-17	140	1.0 (2.2)	0.8 (1.7)	77
		2.8 (110)	17-18	160	1.2 (2.7)	1.0 (2.3)	85
		3.3 (130)	18-19	170	1.5 (3.2)	1.2 (2.7)	84
0.068 in (1.7 mm), DC-	19-32 (3/4-1 1/4)	1.0 (40)	15-16	125	1.0 (2.1)	0.8 (1.7)	81
		1.9 (75)	18-19	190	1.8 (4.0)	1.5 (3.4)	85
		3.3 (130)	20-21	270	3.2 (7.0)	2.8 (6.1)	88
		4.4 (175)	23-24	300	4.3 (9.4)	3.8 (8.4)	89
5/64 in (2.0 mm), DC-	19-32 (3/4-1 1/4)	1.3 (50)	16-17	180	1.6 (3.5)	1.3 (2.9)	83
		1.9 (75)	18-19	235	2.4 (5.3)	2.0 (4.5)	85
		3.0 (120)	20-21	290	3.8 (8.4)	3.4 (7.4)	88
		4.1 (160)	22-23	325	5.1 (11.2)	4.5 (10.0)	89
3/32 in (2.4 mm), DC-	19-32 (3/4-1 1/4)	1.3 (50)	16-17	245	2.3 (5.0)	1.9 (4.2)	84
		1.9 (75)	19-20	305	3.4 (7.5)	2.9 (6.4)	85
		2.5 (100)	20-21	365	4.5 (10.0)	3.9 (8.7)	87
		3.3 (130)	22-23	400	5.9 (12.9)	5.1 (11.3)	88

(1) Metal depositado en la soldadura. (2) Medido a un 0.2%. (3) Ver el descargo de responsabilidad de los resultados de prueba en la siguiente página.

## INFORMACIÓN TÉCNICA - ANÁLISIS TÍPICO

- PRODUCTO** INSPECCIÓN DE TINTURA PENETRANTE CANTESCO® – TINTURA PENETRANTE VISIBLE P101S-A – LAVABLE CON SOLVENTE
- APLICACIÓN** Tintura roja penetrante, lavable con solvente indica las fallas superficiales contra el fondo del polvillo blanco de revelado. Sin solventes clorinados, cumple con los requisitos de contenido de halógeno y cloruro de la sección V de la ASME. Se recomienda que tanto 40°F (4°C) como 125°F (52°C) para la inspección de colorantes penetrantes.
- COMPOSICIÓN** Tintura penetrante roja basada en solventes de hidrocarburos de petróleo. Los siguientes resultados son un análisis típico del P101S-A:

PRUEBA	RESULTADOS	MÉTODO
Azufre	<1% por peso	ASTM D-129 / D-516 (B)
Fluoruro	<1% por peso	ASTM D-808 / D-1179 (B)
Cloruro	<1% por peso	ASTM D-808 / D-512
Halógeno Total	<1% por peso	ASME T-641

- ENVASE** Formato listo para usar, disponible en tarros de aerosol

ITEM	CÓDIGO	TAMAÑO	CANTIDAD POR CAJA
P101S-A	699913-10020	Tarros de aerosol de 16 oz	12 tarros por caja

- DURACIÓN** La duración de este producto es actualmente tres años desde la fecha de fabricación. El número de lote está en forma legible (AAAAMM####) y los últimos cuatro dígitos representan el número de lote de un mes dado.

- SDS** Existe una Hoja de Datos de Seguridad del Material (SDS) disponible para este producto. Para recibir una copia, envíenos un e-mail a [msds@cantesco.com](mailto:msds@cantesco.com) y solicite una hoja SDS para P101S-A AEROSOL.

- P y R** Para respuestas sobre cómo usar los materiales de INSPECCIÓN POR TINTURA PENETRANTE CANTESCO® pida una copia de nuestro folleto INSTRUCCIONES PARA EL USO DE TINTURAS PENETRANTES. Para obtener una lista completa de productos solicite una copia de nuestro CATÁLOGO DE PRODUCTOS DE SOLDADURA. Para información adicional visítenos en [www.cantesco.com](http://www.cantesco.com). Para recibir una copia de los métodos de prueba ASTM para el contenido de halógeno y cloruro (azufre, fluoruro y cloruro) tome contacto con [www.astm.org](http://www.astm.org) de ASTM.

- CERTIFICACIONES** Kemper System es una empresa certificada bajo las denominaciones ISO 9001: 2015 y ISO 14001: 2015.

**CANTESCO®**  
welding chemical products



FORMULARIO:  
P101S-TECH.SPA

REV: 04/19

POR FAVOR TOMAR NOTA: El uso del producto y las condiciones de su uso están más allá del control de KEMPER SYSTEM AMERICA. La garantía de los materiales está limitada a los resultados de pruebas de desempeño del producto según se detalla en los certificados de cumplimiento. La interpretación de los resultados de pruebas es responsabilidad del usuario final. No se otorgan otras garantías, ni expresas ni implícitas. Para obtener detalles adicionales sobre nuestros términos y condiciones solicite una copia de nuestro formulario QSF 319 New Account Package.

KEMPER SYSTEM AMERICA, INC. • WELDING PRODUCTS DIVISION • [WWW.CANTESCO.COM](http://WWW.CANTESCO.COM)

**PENETRANT**

## INFORMACIÓN TÉCNICA - ANÁLISIS TÍPICO

**PRODUCTO** INSPECCIÓN POR TINTURA PENETRANTE CANTESCO® – POLVILLO DE REVELADO D101 – HÚMEDO NO ACUOSO

**APLICACIÓN** El aerosol D101-A es un polvillo de revelado húmedo, no acuoso, que se rocía en blanco para indicaciones de tinturas rojas. El producto cumple con las reglamentación sobre porcentajes de halógenos y cloruro del Artículo V del ASME. Se recomienda que tanto 40°F (4°C) como 125°F (52°C) para la inspección de colorantes penetrantes.

**COMPOSICIÓN** Polvillo de revelado blanco suspendido en base de solvente. Los siguientes resultados son un análisis típico del D101-A:

PRUEBA	RESULTADOS	MÉTODO
Azufre	<1% por peso	ASTM D-129 / D-516 (B)
Fluoruro	<1% por peso	ASTM D-808 / D-1179 (B)
Cloruro	<1% por peso	ASTM D-808 / D-512
Halógeno Total	<1% por peso	ASME T-641

**ENVASE** Formato listo para usar disponible en prácticos tarros en aerosol

ITEM	CÓDIGO	TAMAÑO	CANTIDAD POR CAJA
D101-A	699913-10370	Tarro de aerosol de 16 oz	12 tarros por caja

**DURACIÓN** La duración de este producto es actualmente tres años desde la fecha de fabricación. El número de lote está en forma legible (AAAAMM####) y los últimos cuatro dígitos es el número de lote de un mes dado.

**SDS** Existe una Hoja de Datos de Seguridad del Material (SDS) disponible para este producto. Para recibir una copia, envíenos un e-mail a [msds@cantesco.com](mailto:msds@cantesco.com) y solicite una hoja SDS para D101-A AEROSOL.

**P y R** Para respuestas sobre cómo usar los materiales de INSPECCIÓN POR TINTURA PENETRANTE CANTESCO® pida una copia de nuestro folleto INSTRUCCIONES PARA EL USO DE TINTURAS PENETRANTES. Para obtener una lista completa de productos solicite una copia de nuestro CATÁLOGO DE PRODUCTOS DE SOLDADURA. Para información adicional visítenos en [www.cantesco.com](http://www.cantesco.com). Para recibir una copia de los métodos de prueba ASTM para el contenido de halógeno y cloruro (azufre, fluoruro y cloruro) tome contacto con [www.astm.org](http://www.astm.org) de ASTM.

**CERTIFICACIONES** Kemper System es una empresa certificada bajo las denominaciones ISO 9001: 2015 y ISO 14001: 2015.

**CANTESCO®**  
welding chemical products



FORMULARIO:  
D101-TECH.SPA

REV: 04/19

POR FAVOR TOMAR NOTA: El uso del producto y las condiciones de su uso están más allá del control de KEMPER SYSTEM AMERICA. La garantía de los materiales está limitada a los resultados de pruebas de desempeño del producto según se detalla en los certificados de cumplimiento. La interpretación de los resultados de pruebas es responsabilidad del usuario final. No se otorgan otras garantías, ni expresas ni implícitas. Para obtener detalles adicionales sobre nuestros términos y condiciones solicite una copia de nuestro formulario GSF 319 New Account Package.

KEMPER SYSTEM AMERICA, INC. • WELDING PRODUCTS DIVISION • [WWW.CANTESCO.COM](http://WWW.CANTESCO.COM)

DEVELOPER

## INFORMACIÓN TÉCNICA - ANÁLISIS TÍPICO

**PRODUCTO** INSPECCIÓN POR TINTURA PENETRANTE CANTESCO® - LIMPIADOR AL SOLVENTE C101 - ESTÁNDAR

**APLICACIÓN** El aerosol C101-A es una mezcla de solventes de hidrocarburos del petróleo sin clorinados. El producto cumple con las reglamentación sobre porcentajes de alógenos y cloruro del Artículo V del ASME. Se trata de un limpiador de solventes que quita la tintura roja penetrante y los polvillos de revelado. Puede usarse para limpieza de piezas antes de aplicar la tintura roja penetrante, para quitar los penetrantes luego de pasado el tiempo de permanencia, y para limpieza final luego de dejar constancia de algún defecto y su análisis. Se recomienda que tanto 40°F (4°C) como 125°F (52°C) para la inspección de colorantes penetrantes.

### COMPOSICIÓN

PRUEBA	RESULTADOS	MÉTODO
Azufre	<1% por peso	ASTM D-129 / D-516 (B)
Fluoruro	<1% por peso	ASTM D-808 / D-1179 (B)
Cloruro	<1% por peso	ASTM D-808 / D-512
Halógeno Total	<1% por peso	ASME T-641

**ENVASE** Formato listo para usar disponible en tarros de aerosol.

ITEM	CÓDIGO	TAMAÑO	CANTIDAD POR CAJA
C101-A	699913-10385	Tarros de aerosol de 16 oz	12 tarros por caja

**DURACIÓN** La duración de este producto es actualmente tres años desde la fecha de fabricación. El número de lote es en formato legible (AAAAMM####) y los últimos cuatro dígitos representan el número de lote de un mes dado.

**SDS** Existe una Hoja de Datos de Seguridad del Material (SDS) disponible para este producto. Para recibir una copia, envíenos un e-mail a [msds@cantesco.com](mailto:msds@cantesco.com) y solicite una hoja SDS para C101-A AEROSOL.

**P y R** Para respuestas sobre cómo usar los materiales de INSPECCIÓN POR TINTURA PENETRANTE CANTESCO® pida una copia de nuestro folleto INSTRUCCIONES PARA EL USO DE TINTURAS PENETRANTES. Para obtener una lista completa de productos solicite una copia de nuestro CATÁLOGO DE PRODUCTOS DE SOLDADURA. Para información adicional visítenos en [www.cantesco.com](http://www.cantesco.com). Para recibir una copia de los métodos de prueba ASTM para el contenido de halógeno y cloruro (azufre, fluoruro y cloruro) tome contacto con [www.astm.org](http://www.astm.org) de ASTM.

**CERTIFICACIONES** Kemper System es una empresa certificada bajo las denominaciones ISO 9001: 2015 y ISO 14001: 2015.

**CANTESCO®**  
welding chemical products



FORMULARIO:  
C101-TECH.SPA  
REV: 04/19

POR FAVOR TOMAR NOTA: El uso del producto y las condiciones de su uso están más allá del control de KEMPER SYSTEM AMERICA. La garantía de los materiales está limitada a los resultados de pruebas de desempeño del producto según se detalla en los certificados de cumplimiento. La interpretación de los resultados de pruebas es responsabilidad del usuario final. No se otorgan otras garantías, ni expresas ni implícitas. Para obtener detalles adicionales sobre nuestros términos y condiciones solicite una copia de nuestro formulario QSF 319 New Account Package.

KEMPER SYSTEM AMERICA, INC. • WELDING PRODUCTS DIVISION • [WWW.CANTESCO.COM](http://WWW.CANTESCO.COM)

CLEANER