



Universidad
del Cauca

DAVID FERNANDO PANTOJA PACHAJOA
MARCELA PANTOJA PACHAJOA

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE
BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO
EN CONCRETO REFORZADO**

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO
EN CONCRETO REFORZADO



MARCELA PANTOJA PACHAJOA

DAVID FERNANDO PANTOJA PACHAJOA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
POPAYÁN
2014

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO
EN CONCRETO REFORZADO



MARCELA PANTOJA PACHAJOA

DAVID FERNANDO PANTOJA PACHAJOA

Trabajo de grado en modalidad investigación, para optar al título de Ingeniero Civil.

Directores:

Ing. Juan Manuel Mosquera Rivera

Ing. Carlos Ariel Hurtado Astaiza

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
POPAYÁN

2014

Nota de aceptación

Firma Director Investigación

Firma Jurado

Esta investigación la dedicamos con mucho cariño:

A Dios por acompañarnos y guiarnos en cada obstáculo, entregándonos verdadera paciencia y perseverancia para cumplir nuestro propósito.

A la familia Pantoja Pachajoa y en especial a nuestros padres Marcela y Arcesio, quienes con su cariño nos han brindado la mejor educación.

A Diana, Andrés, Hernando y Maye incondicionales.

A cada uno de los profesores que a lo largo de la carrera participaron en este proceso de aprendizaje,

A todas las personas que sin nombrar, dedicamos este esfuerzo de corazón

A todas mil gracias por hacer de una idea, hoy una realidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación realizado en la Universidad del Cauca es un esfuerzo en el cual directa o indirectamente participaron distintas personas. Este trabajo nos ha permitido aprovechar la competencia y experiencia de muchas personas a quienes queremos agradecer.

A los Ingenieros Carlos Ariel Hurtado y Juan Manuel Mosquera, por su apoyo, tolerancia y confianza en nuestro trabajo; gracias por contribuir con su conocimiento guía y experiencia.

A la empresa ECOTEC SAS, por facilitarnos equipos e insumos indispensables en el desarrollo de este proyecto.

A los talleres y personal de soldadura participes en este trabajo, gracias por su tiempo, amabilidad y respeto.

A todos y a cada uno

¡MIL GRACIAS!

RESUMEN

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

El objetivo principal de esta investigación es plantear un procedimiento de soldadura en base al personal existente en la ciudad, para barras de acero PDR60, el cual cumplan con un factor de seguridad óptimo además de ser práctico y económico en obra.

El proyecto se realizó en 3 etapas, las cuales abarcaron:

- ✓ Reconocimiento del personal de soldadura existente en la ciudad.
- ✓ Determinación de equipo, material de aporte y procedimiento a utilizar.
- ✓ Determinación de defectos visuales presentes en las muestras y estudio del tipo de junta a emplear.

Los tipos de junta estudiada son:

- ✓ Junta a tope directo.
- ✓ Junta a tope indirecto.
- ✓ Junta traslapada.

Las muestras se realizaron en posición 1G. El diámetro de la barra objeto de estudio es de 5/8".

Se realizaron un total de 98 probetas, de las cuales 10 se usaron para determinar el equipo a emplear, 21 para detectar los defectos visuales presentes, 51 para la determinación del diseño a emplear, 10 para la aplicación del diseño en campo y 6 para la comprobación del diseño en campo.

Las muestras se ensayaron en la maquina universal obteniendo así los resultados de carga de tracción, los cuales fueron comparados con el especificado en la NTC 2289, el cual debe estar por encima de 1,25 veces la fluencia teórica.

Como resultado de la investigación se determinó una longitud de apoyo de 20cm y una separación entre barras unidas a tope de 1/8", con lo cual se presentó buena penetración, mostrando buenos resultados tanto en ejecución como en servicio. Se constató que las muestras realizadas del diseño planteado se encuentran dentro del límite establecido por la NTC 2289, el cual permite un valor de resistencia a la tracción por encima de 1,25 veces el valor de fluencia teórico.

ABSTRACT

WELDING PROCEDURE OF STEEL BARS PDR60 FOR USE IN REINFORCED CONCRETE

The main objective of the project was to propose a welding's method rods PDR60 steel based on the existing staff in the city, which met a factor of optimum security as well as being practical and economical work.

The project was executed in 3 steps:

- ✓ Recognition of existing welding personnel in the city.
- ✓ Fixing equipment, supplies, filler Material and procedure to be used.
- ✓ Determinations of visual defects present in the samples also study the type of joint to be used.

The types of board studied are:

- ✓ Butt – welding direct
- ✓ Butt – Welding indirect
- ✓ Overlapping join

Samples were made in 1G position. The diameter of the bar under consideration is 5/8".

A total of 98 specimens, of which 10 were used to determine the equipment to be used, 21 to detect visual defects present, 51 for determining the design to use 10 design application, and 6 field testing were performed design field.

The samples were tested in the universal machine and getting the results of tensile load, which were compared with the specified in ISO 2289, which should be above 1,25 times the theoretical minimum flow.

As a result of research supporting a length of 20 cm and a separation between bars butted 1/8 "with good penetration which was presented, showing good resulted both execution and service was determined.

It was found that samples taken from the proposed design are within the limit set by the NTC 2289, which allows a value of tensile strength above 1,25 times the theoretical minimum yield.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	20
JUSTIFICACIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. SOLDADURA.....	24
1.1 ANTECEDENTES.....	24
1.2 RESEÑA HISTÓRICA	25
1.3 SOLDADURA COMO SISTEMA DE UNIÓN.....	26
1.4 PROCESOS DE SOLDADURA Y CORTE	29
1.4.1 Oxicorte:.....	30
1.4.2 Soldadura por Arco sumergido SAW	32
1.4.3 Soldadura por arco con núcleo de fundente FCAW.....	33
1.4.4 Soldadura de punto.....	34
1.4.5 Soldadura por arco de gas – tungsteno TIG.....	35
1.4.6 Soldadura por arco de gas – metal GMAW	36
1.4.7 Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido SMAW	37
1.5 MATERIAL DE APORTE “ELECTRODO”	38
1.5.1 Tipos de electrodos	39
1.5.2 Condiciones que deben tenerse en cuenta para el manejo de los electrodos	43
1.5.3 Clasificación de electrodos según AWS	47
1.6 EQUIPOS DE SOLDADURA	50
1.6.1 Corriente eléctrica.....	50
1.6.2 Tipos de rectificación.	53
1.6.3 Equipos.....	58
1.7 MÉTODO DE APLICACIÓN DE LA SOLDADURA	62
1.8 TIPOS DE UNIONES.....	62
1.8.1 Unión a Tope.	63
1.8.2 Unión en esquina.	63
1.8.3 Unión a traslape.	64

1.8.4	Unión a borde.	64
1.8.5	Unión en T.	64
1.9	FORMAS EN QUE SE REALIZA LA SOLDADURA	65
1.9.1	Soldadura de filete.	65
1.9.2	Soldadura de relleno.	65
1.9.3	Soldadura de Tapón o de ranura	66
1.9.4	Soldadura en juntas biseladas.	66
1.10	POSICIONES DE SOLDADURA.....	67
1.10.1	Uniones en filete (F).	67
1.10.2	Uniones Biseladas (G).....	68
1.10.3	Uniones biseladas para tubería.	69
1.11	SUB PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DE SOLDADURA.	69
1.11.1	Pase de raíz.	69
1.11.2	Pase limpieza con disco de tungsteno.....	69
1.11.3	Pase en caliente.....	69
1.11.4	Pases de relleno.	70
1.11.5	Pase de presentación.	70
1.12	SIMBOLOGÍA.....	70
1.13	DEFECTOS EN LA SOLDADURA Y CAUSAS POSIBLES.....	73
1.13.1	Defectos superficiales de la soldadura (Inspección Visual).	73
1.14	FACTORES IMPORTANTES EN EL PROCESO DE LA SOLDADURA	82
1.15	PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA.....	85
1.15.2	Ensayos destructivos	88
1.16	NORMAS APLICADAS A LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....	90
1.16.1	AWS.....	90
1.16.2	ASME.....	92
1.16.3	API.....	92
2.	EL ACERO	94
2.1	ACERO ESTRUCTURAL	94
2.1.1	Clasificación del acero	94

2.1.2	Acero de refuerzo para concreto reforzado	96
2.1.3	Soldabilidad del acero de corrugado PDR 60.....	103
2.1.4	Elementos de aleación en el acero e Influencia sobre la soldabilidad.....	105
3.	ELECCIÓN DE EQUIPO, PERSONAL DE SOLDADURA, MATERIAL BASE Y MATERIAL DE APORTE	110
3.1	ELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE, PROCEDIMIENTO Y MATERIAL BASE.....	110
3.1.1	Material de aporte (Electrodo.).....	110
3.1.2	Procedimiento.....	112
3.1.3	Material base.	113
3.2	ELECCIÓN DEL EQUIPO DE SOLDADURA.....	113
3.3	ELABORACIÓN Y ENSAYO DE LAS MUESTRAS.	115
3.4	ELECCIÓN DE LA MUESTRA DE PERSONAL DE SOLDADURA PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS.	118
4.	ETAPA 1. MUESTRA ANTE-PRELIMINAR	120
4.1	PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS.....	120
4.2	REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON EL PERSONAL DE SOLDADURA.	122
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	128
4.3.1	Resumen de los resultados.....	128
4.3.2	Representación Gráfica de los resultados	128
5.	ETAPA 2: DISEÑO MUESTRAS PRELIMINAR	132
5.1	EQUIPO, INSUMOS Y PROCEDIMIENTO.....	133
5.2	DISEÑO MUESTRA PRELIMINAR	133
5.2.1	Criterios según la normatividad Colombiana	133
5.2.2	Análisis matemático para el diseño.....	138
5.3	REALIZACIÓN DE MUESTRAS DISEÑO PRELIMINARES ETAPA 2.....	143
5.4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	153
6.	ETAPA 3. DISEÑO DEFINITIVO, APLICACIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR EN CAMPO.....	157
6.1	EQUIPO, INSUMOS Y PROCEDIMIENTO.....	157

6.2	ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	157
6.2.1	Preparación de las muestras	157
6.2.2	Elaboración de las probetas	158
6.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	162
7.	COMPROBACIÓN DISEÑO DEFINITIVO	164
7.1	EQUIPO, INSUMOS Y PROCEDIMIENTO.....	164
7.2	ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.....	164
8.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO	170
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	171
	BIBLIOGRAFÍA	173
	ANEXOS.....	174

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio general de la soldadura	27
Figura 2. Esquema demostrativo de la estructura granular y cristalina de una superficie metálica.....	28
Figura 3. Equipo Oxicorte.....	31
Figura 4. Soldadura de Arco sumergido	32
Figura 5. Soldadura por Arco con núcleo de fundente.....	33
Figura 6. Esquema soldadura de punto.....	34
Figura 7. Soldadura por Arco de gas-tungsteno	35
Figura 8. Soldadura por Arco de gas-metal.....	36
Figura 9. Soldadura de Arco eléctrico con electrodo revestido.....	37
Figura 10. Vista microscópica de micro fisuras en el acero.....	42
Figura 11. Ruta de electrones libres.....	50
Figura 12. Corriente alterna.....	52
Figura 13. Corriente continúa	53
Figura 14. Esquema de un diodo.....	54
Figura 15. Diagrama de las etapas de rectificación de onda completa.....	55
Figura 16. Rectificación de onda completa trifásica tetra filiar	56
Figura 17. Señal rectificada con diodos y condensadores.....	57
Figura 18. Diferentes tipos de señal rectificada.....	57
Figura 19. Equipo tipo transformador	58
Figura 20. Máquina de soldar tipo transformador con salida rectificada	59
Figura 21. Equipos que se encuentran en el mercado	61
Figura 22. Máquina de soldar tipo inversor (Modelo fimer T207).....	61
Figura 23. Tipos de uniones	64
Figura 24. Soldadura a filete	65
Figura 25. Soldadura de relleno	66
Figura 26. Soldadura a tapón o ranura.....	66
Figura 27. Soldadura en junta biselada	66
Figura 28. Tipos de bisel	67
Figura 29. Partes que conforman un bisel.....	67
Figura 30. Posición de soldadura uniones en filete (F).....	68

Figura 31. Posición de soldadura Uniones biseladas (G)	68
Figura 32. Posición de soldadura Uniones para tubería	69
Figura 33. Presentación del cordón de soldadura	70
Figura 34. Forma básica del símbolo de soldadura	71
Figura 35. Representación de juntas o chaflanes.....	72
Figura 36. Símbolos de soldadura de Arco y gas	72
Figura 37. Presentación defectuosos del cordón o cordones	74
Figura 38. Salpicadura debido al soplo magnético	74
Figura 39. Socavamiento o mordeduras internas	75
Figura 40. Concavidad externa y concavidad interna	76
Figura 41. Penetración deficiente del material de aporte.....	77
Figura 42. Penetración excesiva del material de aporte en la raíz de la soldadura	77
Figura 43. Falta de fusión.....	78
Figura 44. Zona de afectación térmica ZAC	79
Figura 45. Fisuras o grietas.....	80
Figura 46. Incrustaciones de escoria y porosidad.....	81
Figura 47. Tipos de oscilaciones laterales.....	84
Figura 48. Tipos de costura (The lincoln electric co.)	84
Figura 49. Inspección visual de soldadura.....	86
Figura 50. Inspección por procedimientos de tinta penetrantes.....	87
Figura 51. Inspección por radiografía	87
Figura 52. Inspección por ultrasonido.....	88
Figura 53. Máquina Universal (Universidad del Cauca).....	88
Figura 54. Diagrama de esfuerzo VS deformación	89
Figura 55. Código de soldadura estructural AWS.....	91
Figura 56. Diagrama esfuerzo deformación unitaria del acero	97
Figura 57. Acero de refuerzo.....	98
Figura 58. Presentación e identificación de las barras de acero corrugada para refuerzo	99
Figura 59. Biselado de las barras	116
Figura 60. Preparación barras a soldar	116
Figura 61. Unión de barras.....	117
Figura 62. Muestras PT Y PI	117
Figura 63. Esquema diseño ante preliminar “cordón de presentación”	120

Figura 64. Muestras diseño ante preliminar.....	122
Figura 65. Socavación.....	123
Figura 66. Porosidad	123
Figura 67. Presentación del cordón.....	124
Figura 68. Principio y final del cordón.....	125
Figura 69. Salpicaduras.....	126
Figura 70. Unión a tope directo con separación de 1/8”	134
Figura 71. Unión a tope indirecto con dos barras de empalme.....	135
Figura 72. Unión Soldada traslapada directa con barras en contacto.....	136
Figura 73. Tamaño efectivo de la soldadura en junta acampanada	138
Figura 74. Cálculo longitud de soldadura	139
Figura 75. Diagrama de cuerpo Libre	141
Figura 76. Posición de soldadura plana 1G.....	143
Figura 77. Muestras diseño Preliminar	145
Figura 78. Corte de muestras preliminares y Muestras PSS	145
Figura 79. Elaboración de las muestras (a).....	146
Figura 80. Elaboración de las muestras (b).....	147
Figura 81. Ensayo de las muestras	148
Figura 82. Muestras Código PA.....	149
Figura 83. Muestras Código PB.....	149
Figura 84. Muestras Código PC	150
Figura 85. Muestras Código PD	150
Figura 86. Muestras Código PDD.....	151
Figura 87. Gráfico Esfuerzo Vs deformación Probetas sin soldar.....	153
Figura 88. Problemas de penetración y porosidades.....	154
Figura 89. Esquema Diseño planteado.....	156
Figura 90. Preparación de las partes a soldar	157
Figura 91. Elaboración de las muestras	158
Figura 92 Muestras diseño definitivo	158
Figura 93. Elaboración de las muestras (a).....	159
Figura 94. Elaboración de las muestras (b).....	160
Figura 95. Ensayo de las muestras	161
Figura 96. Elaboración Muestras comprobación del diseño (a).....	165

Figura 97. Elaboración de Muestras comprobación del diseño (b)	166
Figura 98. Muestras Comprobación Diseño	167

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones antes de su aplicación.....	44
Tabla 2. Condiciones de almacenamiento y mantención de electrodos	45
Tabla 3.Recomendaciones para el resecado de electrodos	45
Tabla 4. Recomendaciones para el uso de electrodos de bajo hidrogeno.....	46
Tabla 5. Sistema AWS para clasificación de electrodos	47
Tabla 6. Interpretación de la última cifra en la clasificación AWS de electrodos.....	49
Tabla 7. Características Técnicas	60
Tabla 8. Características técnicas.....	62
Tabla 9. Unidades ensayo de tracción	90
Tabla 10. Número de designación de las barras corrugadas y rollos, peso (masa) nominal, dimensiones nominales y requisitos de los resaltes	101
Tabla 11. Propiedades mecánicas del acero corrugado PDR 60	103
Tabla 12. Composición química (análisis de colada %)......	104
Tabla 13. Análisis de verificación para productos terminados	105
Tabla 14. Características Electrodo E6013	110
Tabla 15. Características electrodo E6011	111
Tabla 16. Comparación entre el uso de corriente continua y alterna	113
Tabla 17.Características de los equipos para soldar	115
Tabla 18. Resultados Elección de equipo.....	118
Tabla 19. Talleres de soldadura Colaboradores	119
Tabla 20. Identificación y Peso de las muestras.....	120
Tabla 21. Resultados Muestras Ante preliminares (Inspección Visual)	127
Tabla 22. Resumen resultados.....	128
Tabla 23. Esfuerzos permisibles en soldaduras	136
Tabla 24.Resumen de datos.....	142
Tabla 25.Muestras Realizadas Etapa 2	143
Tabla 26. Resultados muestras diseño preliminar	151
Tabla 27.Resumen resultados y observaciones	155
Tabla 28. Resultados muestras diseño definitivo.....	162
Tabla 29. Resumen resultados y observaciones	163

Tabla 30. Resultados muestras Comprobación diseño	164
Tabla 31. Resumen Procedimiento de soldadura establecido	168
Tabla 33. Cálculo del valor unitario del acero de refuerzo.....	170
Tabla 34. Cálculo del valor parcial del traslapo.	170
Tabla 35. Calculo de valores unitarios para el procedimiento de soldadura.	170
Tabla 36. Cálculo del valor parcial de procedimiento de soldadura.....	170

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Formato 1: Encuesta a soldadores (Personal de soldadura) Etapa 1 ..	176
Anexo B. Resultados inspección Visual.....	196
Anexo C. Datos ensayo de tracción Muestras PSS	217
Anexo D. Gráficos Carga Vs Alargamiento Muestras soldadas	219
Anexo E. Carta de préstamo equipo de soldar	228
Anexo F. Resoluciones de aprobación ante proyecto de investigación	229
Anexo G. Carta solicitud de apoyo para la investigación “SENA”	231
Anexo H. Carta solicitud de apoyo para la investigación “INSTITUTO TÉCNICO INDUSTRIAL”	232

INTRODUCCIÓN

En la práctica de la construcción es común que para lograr continuidad en las barras de refuerzo de acero para concreto, sea necesario realizar traslape; cuando el traslape no es una solución eficaz y de fácil manejo o no es permitida por los diferentes reglamentos de construcción de nuestro país; se debe recurrir a técnicas tales como son los conectores mecánicos y la soldadura. En nuestro medio la práctica de unir barras por medio de soldadura hoy en día esta siendo muy utilizada con mano de obra no calificada y en condiciones poco favorables.

En este proyecto se tomó como tema principal de investigación el análisis de un procedimiento el cual abarque aspectos de selección de soldadores (personal de soldadura), selección del equipo apropiado, electrodo y diseño de la junta; para llevar a cabo la soldadura de barras de acero utilizado como refuerzo principal en concreto reforzado en condiciones locales. Con costos de procedimiento, insumos y equipos económicos, asequibles y de fácil comprensión ; el cual cumple con un factor de seguridad aceptable.

JUSTIFICACIÓN

En Colombia es muy frecuente la utilización de códigos, especificaciones y procedimientos desarrollados en países que cuentan con tecnología y personal debidamente calificado, acorde a las necesidades requeridas para su aplicación. Por otro lado, estas tecnologías y personal con la habilidad y capacidad técnica, tienen un costo económico elevado, lo cual presenta una clara desventaja a la hora de aplicarlos en la construcción.

Al forzar la aplicación de estos procedimientos sin la debida interpretación y manejo de los diferentes códigos, normas y especificaciones por parte del personal responsable de la ejecución, se entregan obras en las cuales el manejo de la soldadura en sus etapas de mantenimiento, aplicación y pos aplicación ha sido deficiente, dando como resultado obras de baja calidad e incrementos en costos de construcción. Por eso surge como una necesidad el desarrollo de nuevos procedimientos a través de la investigación que sean de fácil interpretación y que tenga un manejo apropiado del personal de soldadura acorde a las necesidades y al personal básico existente en la región, sin descuidar aspectos técnicos de calidad y de seguridad.

El motivo de llevar a cabo este proyecto de investigación **“Procedimiento de soldadura de barras de acero PDR60 para el uso en concreto reforzado”**, es llegar a un procedimiento, el cual esté acorde a la habilidad promedio de los soldadores (personal de soldadura) que se encuentra en este medio, sin descuidar aspectos técnicos y de seguridad, lo cual se refleja en el factor de seguridad que ofrezca la junta. Al plantearlo teniendo como constante la habilidad promedio de soldadura que se puede encontrar en la ciudad, se permite ajustar a un personal más económico que cumpla con las especificaciones y normas, con unos costos de aplicación más bajos priorizando en la seguridad y funcionalidad de el mismo.

La realización de este proyecto se encuentra fundamentada en conocimientos teóricos obtenidos en el programa de ingeniería civil, además de conocimientos propios del área de soldadura de acuerdo a los códigos ASME, AWS Y API, que al fusionarse dan como resultado un procedimiento óptimo y de fácil manejo en la práctica.

OBJETIVOS

Objetivo general

Plantear un procedimiento de soldadura para barras de acero PDR60 usadas como refuerzo principal del concreto reforzado que cumplan con un factor de seguridad óptimo además de ser práctico y económico en obra.

Objetivos específicos

- ✓ Fijar un electrodo el cual resulte de fácil manejo en la obra.
- ✓ Fijar las características mínimas para el equipo de soldadura que se deberá emplear en este procedimiento.
- ✓ Fijar el procedimiento con el cual se deberá seleccionar a los soldadores (personal de soldadura) para poder determinar si tienen la habilidad necesaria para aplicar este procedimiento en una obra.
- ✓ Fijar las características dimensionales para lograr soldar de manera óptima de acuerdo a nuestro entorno (bolsa de personal de soldadura) para varillas de acero PDR60 N° 5.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1. SOLDADURA

1.1 ANTECEDENTES

Existen diferentes investigaciones, monografías entre otros que tratan el tema de la soldadura, los cuales arrojan resultados variados. En estos trabajos se realizaron estudios con variables similares a las abordadas pero con un tratamiento diferente a las de esta investigación, varios de estos trabajos son de origen extranjero. A continuación se mencionan algunos de ellos.

En la Institución Pontificia Universidad Católica del Perú, se llevó a cabo el trabajo titulado “Estudio de la soldabilidad de barras corrugadas de acero para concreto reforzado Belgo 60”, investigación que fue realizada por el señor Raúl Carlos Hurtado Espejo en el año 2011; esta investigación tuvo como objetivo establecer procedimientos de soldadura de barras corrugadas de acero para concreto reforzado Belgo 60 de fabricación Brasileira bajo la norma ASTM A 615 Y ASTM A 706 , siguiendo las recomendaciones del código ANSI/AWS D.1.4 – 2005. Para este trabajo se llevaron a cabo varias muestras, la cuales fueron soldadas a tope y en canal en v simple en la posición 1G y usando el procedimiento SMAW. Los diámetros usados fueron 3/8”, 5/8”, 3/4” y 1”. A estas muestras se le realizaron inspección visual y ensayo de tracción entre otros. El investigador concluyó que las barras corrugadas de acero para concreto reforzado cumplen con los requerimientos de la norma ASTM A 615 Y ASTM A 706, y estas pueden ser unidas a tope por medio de soldadura siguiendo los procedimientos e indicaciones en el código ANSI/AWS D.1.4 – 2005; además también se concluyó que las barras de acero corrugado estudiadas presentan muy buena soldabilidad, ya que se obtuvieron uniones soldadas sanas y con excelentes propiedades mecánicas. Los resultados de este estudio muestran una evidencia clara para el proyecto realizado en la Universidad del Cauca, ya que arrojan resultados favorables con respecto a la soldabilidad de barras para concreto reforzado.

En la Universidad Peruana Los Andes, se realizó el trabajo titulado “Estudio de la fluencia mecánica del acero corrugado sometido a soldadura”, trabajo que fue realizado por el señor Marco Antonio Quispe Coz en el año 2011 para optar el grado de Ingeniero Civil. Esta investigación tuvo como objeto principal determinar la factibilidad de uso del acero corrugado en elementos soldados. Para este trabajo se llevaron a cabo varias muestras de acero corrugado bajo la norma ASTM A 706 de 3/4”, las cuales fueron soldadas a tope directo en la posición 1G Y

3G empleando el proceso de arco eléctrico manual con electrodo revestido (SMAW). A estas muestras se le realizaron los diferentes ensayos destructivos y no destructivos como son: ensayo de tracción, inspección visual entre otros. Esta investigación arroja como conclusión que en el acero corrugado es factible la soldabilidad siempre que esta sea bajo la norma ASTM A 706. Además que las uniones realizadas en las posiciones 1G Y 3G cumplen con los requerimientos establecidos en el código ANSI/AWS D1.4 – 98, Structural Welding Code – Reinforcing Steel correspondiente a ensayo de tracción, inspección visual, entre otros. Los resultados de esta investigación, igual a los presentados en la investigación anterior arrojan una buena evidencia de la posibilidad que tiene el acero bajo la norma ASTM A 706 de ser soldado.

Estas investigaciones tiene como antecedente una investigación llevada a cabo en la Universidad de Chile por el señor Ariel Felipe Quezada Rivera, trabajo titulado “Efectos de la soldadura en empalmes de acero de refuerzo, para hormigón armado”. En esta investigación se llevaron a cabo 21 muestras de acero ASTM A 630 - 20H Y ASTM A440 – 280H (acero que se comercializa en Chile), las cuales fueron soldadas en junta a tope directo y solapo, teniendo en cuenta las recomendaciones y procedimientos del código AWS D1.4 DE 2005. Estas muestras fueron ensayadas en la maquina universal. Los resultados arrojados indican que no hay gran diferencia ente uniones soldadas y sin soldar, en términos de ductilidad y resistencia, además de las conclusiones mencionadas anteriormente en los otros trabajos.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA

La historia de la unión de metales se remonta a varios milenios, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y el Oriente Medio. La soldadura fue transformada durante el siglo XIX donde se descubrió el arco eléctrico (Sir Humphry Davy - 1800), dándose así los avances en la soldadura por arco con las invenciones de los electrodos de metal (Nikolai Slavyanov y C. L. Coffin - 1800). Alrededor de 1900 se lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable (A. P. Strohmenger), y en 1919 aparece la soldadura de corriente alterna (C. J. Holslag) la cual no llegó a ser popular por otra década. La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, además de la soldadura de termita en 1893, y la soldadura a gas. Durante los años 1920, importantes avances fueron hechos en la tecnología de la soldadura, incluyendo la introducción de la soldadura automática. El gas de protección se convirtió en un

tema recibiendo mucha atención, mientras que los científicos procuraban proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno en la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas primarios, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, argón, y helio como atmósferas de soldadura. A mediados del siglo XX, después de las guerras fueron desarrolladas varias técnicas modernas de soldadura, incluyendo métodos manuales como la soldadura de metal por arco el cual es uno de los métodos más populares de soldadura, así como procesos semiautomáticos y automáticos tales como soldadura GMAW, soldadura de arco sumergido, soldadura de arco con núcleo de fundente, soldadura por electro escorias y soldadura por electro gas.

Otros desarrollos recientes en la soldadura incluyen la soldadura con rayo de electrones, siguiendo la invención de la soldadura por rayo láser.

Este progreso ha sido posible luego de años de entendimiento y aplicación en los diferentes procesos físicos que se involucran durante la soldadura, que hoy en día hace de esta práctica algo de gran utilidad e importancia tanto en el desarrollo y desempeño en la ingeniería civil, la ingeniería mecánica, la automotriz y muchas disciplinas más.

1.3 SOLDADURA COMO SISTEMA DE UNIÓN¹

Este sistema está siendo cada vez más empleado en la fabricación y reparación de productos metálicos, pues la industria ha encontrado en la soldadura un procedimiento eficiente, seguro y económico para la unión de metales en, prácticamente, todas las operaciones de fabricación y en la mayoría de las construcciones.

La soldadura se define como un proceso el cual consiste en unir dos o más piezas metálicas por medio de la aplicación de calor, presión o una combinación de ambas, puede ser con y sin aporte de material a las piezas unidas, donde el material de aporte es de igual o diferente tipo a las partes a unir.

¹SOLDEXA, 2008. Manual de soldadura y catálogo de productos. Lima. Soldexa, Orlikon. Pag 17

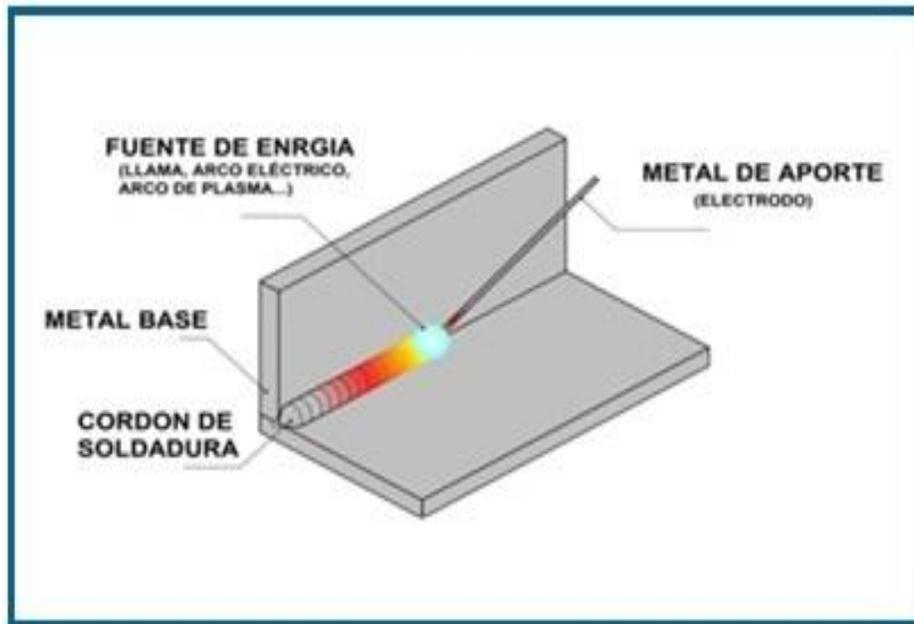


Figura 1. Principio general de la soldadura

Es importante tener en cuenta que la soldadura cambia la estructura física de los materiales que se sueldan, debido a que cambian algunas de las propiedades de los materiales que se están uniendo.

Para entender los procesos de soldadura es importante comprender y analizar los diferentes fenómenos que actúan cuando se produce el contacto entre dos superficies metálicas. Para esto es importante entender, que los metales están formados por granos los cuales están constituidos en un arreglo periódico especial de átomos (retícula cristalina). El tamaño de cada grano es variable y están separados de otros por una zona llamada límite de grano (zona de transición). Esta zona es importante en la determinación de las propiedades mecánicas de un metal.

Si se considera un átomo cualquiera en el interior de un grano, este mismo se halla ligado a otros por fuerzas de enlace, que caracterizan a estos sólidos. Sin embargo, resulta evidente que los átomos metálicos, que se encuentran en la superficie libre, no podrían completar sus enlaces. Si en estas condiciones ponemos en adecuado contacto dos superficies de este tipo, se establecerán dichos enlaces, constituyendo la superficie así formada algo equivalente a un límite de grano. Es la posibilidad de reproducir este fenómeno en forma controlada, lo que da origen a los procesos de soldadura.

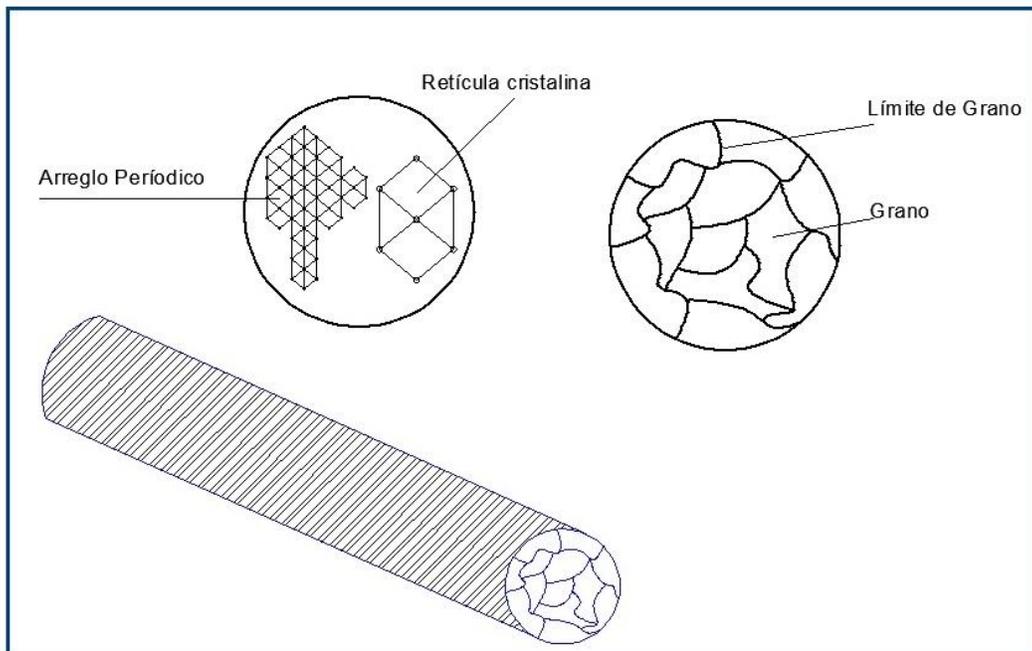


Figura 2. Esquema demostrativo de la estructura granular y cristalina de una superficie metálica

En la explicación anterior se ha considerado la unión de dos superficies ideales (superficies planas), pero es de notar que esto raramente ocurre y siempre nos encontramos frente a superficies con irregularidades. Las superficies metálicas no son planas ni limpias, está compuesta de valles y crestas con una altura promedio de 200 mil capas atómicas.

Los átomos superficiales son capaces de atraer otros átomos debido a que no están rodeados completamente. Esto hace que atraigan moléculas del aire, principalmente agua que luego reaccionan con los átomos del metal para formar óxidos. La capa de óxido es de naturaleza cristalina, al igual que el metal pero sus moléculas superficiales ejercen una atracción débil sobre las moléculas de oxígeno y nitrógeno.

Para lograr la soldadura de dos piezas metálicas, es necesario remover cualquier capa no metálica de las superficies que entraran en contacto. Esto se puede hacer de dos maneras: combinando las capas no metálicas con alguna sustancia que haga que la mezcla sea de menor densidad que el metal fundido y por lo tanto haga que la capa no metálica flote y se aleje de la zona de la soldadura; la otra manera es la destrucción de estas capas no metálicas mediante deformación, lo que lleva a los diferentes procesos de soldadura utilizados para tal fin.

1.4 PROCESOS DE SOLDADURA Y CORTE

En la mayoría de los procesos de soldadura, se requiere la generación de altas temperaturas, para así poder fundir los metales a unir. El tipo de fuente calorífica se utiliza habitualmente como descripción básica del tipo de procedimiento, por ejemplo: soldadura por gas, soldadura al arco.

Uno de los problemas más importantes en soldadura, es que los metales reaccionan muy rápidamente con la atmósfera cuando sus temperaturas aumentan. El método de proteger el metal fundido del ataque de la atmósfera es la segunda característica más importante que diferencia un proceso de otro. Las diferentes técnicas comportan desde fluxes de recubrimiento, los cuales forman una escoria protectora, hasta una protección de gas inerte. En algunas ocasiones se elimina la atmósfera mediante vacío.

Algunos procedimientos han sido desarrollados para aplicaciones muy específicas, mientras que otros permanecen flexibles y cubren una amplia gama de actividades de soldadura. A pesar de que la soldadura básicamente se utiliza para unir metales similares e incluso diferentes, se utiliza cada vez más para reparar y reconstruir componentes desgastados o deteriorados.

Cada día aumenta el número de aplicaciones para “recargue duro” de piezas nuevas, el cual aporta una superficie resistente a la corrosión, abrasión, impacto y al desgaste. En estas aplicaciones, el proceso de soldadura se utiliza para depositar una capa de material apropiado sobre una base de material más barato o más resistente.

Introducido por primera vez a finales del siglo XIX, el proceso de soldadura al arco aún permanece como el más ampliamente conocido y utilizado en las técnicas de soldaduras. Como su propio nombre indica, la fuente de calor es un arco eléctrico establecido entre las partes a soldar y un electrodo metálico. La energía eléctrica, transformada en calor, genera una temperatura en el arco de unos 7000° C (10000° F), haciendo que los metales se fundan y se unan.

El equipamiento puede variar en tamaño y complejidad, distinguiéndose entre los distintos tipos de protección del arco y los tipos de consumibles o materiales de aportación utilizados. Los procedimientos de soldadura al arco incluyen: Soldadura manual con electrodo –MMA -, Soldadura semiautomática con gas de protección –

GMAW -, Soldadura TIG con gas de protección –GTAW -, Soldadura por arco sumergido – SAW

1.4.1 Oxicorte

El oxicorte es una técnica auxiliar a la soldadura, se utiliza para preparar los bordes de las piezas a soldar y para realizar el corte de chapas (laminas delgadas de metales entre 1 y 12 milímetros), tuberías, barras de acero al carbono y otros elementos ferrosos. El oxicorte consta de dos etapas: en la primera, el acero se calienta a alta temperatura (900 °C) con la llama producida por el oxígeno y un gas combustible; en la segunda, una corriente de oxígeno corta el metal y elimina los óxidos de hierro producidos.

En este proceso se utiliza un gas **combustible** cualquiera (acetileno, hidrógeno, propano, hulla, tetreno o crileno), cuyo efecto es producir una llama para calentar el material, mientras que como gas comburente siempre ha de utilizarse oxígeno a fin de causar la oxidación necesaria para el proceso de corte.

Bien sea en una única cabeza o por separado, todo soplete cortador requiere de dos conductos: uno por el que circule el gas de la llama calefactora (acetileno u otro) y uno para el corte (oxígeno). El soplete de oxicorte calienta el acero con su llama carburante, y a la apertura de la válvula de oxígeno provoca una reacción con el hierro de la zona afectada que lo transforma en óxido férrico (Fe_2O_3), que se derrite en forma de chispas al ser su temperatura de fusión inferior a la del acero.

Combustible: Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor poco a poco. Supone la liberación de una energía de su forma potencial (poder calorífico) a una forma utilizable sea directamente (energía térmica) o energía mecánica (motores térmicos), dejando como residuo calor (energía térmica), dióxido de carbono y algún otro compuesto químico. En general se trata de sustancias susceptibles de quemarse, pero hay excepciones que se explican a continuación pero también para mover cosas u objetos muy pesados.

Comburente: Se denomina comburente a la sustancia que participa en la combustión oxidando al combustible (y por lo tanto siendo reducido por este último). El comburente es cualquier sustancia que en ciertas condiciones de temperatura y presión puede combinarse con un combustible, provocando la

combustión. Se encuentra normalmente en el aire con una concentración porcentual en volumen aproximada del 21%. Todos los comburentes tienen en su composición oxígeno disponible, ya sea en forma de oxígeno molecular, como se ha dicho, o bien como oxígeno que ceden el oxígeno al momento de la combustión.

Para que se produzca la combustión es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno, que por regla general va de un 15% hasta en casos extremos de un 5%.

En situaciones donde no existe oxígeno atmosférico, o en donde se desea una combustión fuerte y muy energética, se puede usar oxígeno gaseoso o líquido, como es en el caso de los cohetes usados en los transbordadores espaciales, o bien diversos tipos de comburentes compuestos. Por ejemplo en la combustión de la pólvora dentro de un cartucho, el oxígeno es aportado por una sal de un oxácido, tal como el nitrato de potasio, o el clorato potasio. Y al entrar en contacto con otros originan una reacción fuertemente exotérmica (con gran desprendimiento de calor).

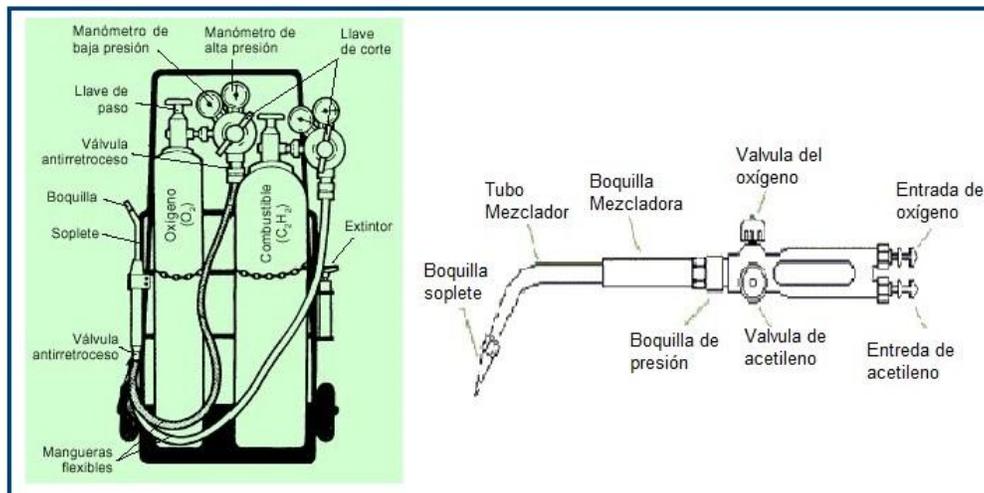


Figura 3. Equipo Oxicorte

El equipo de oxicorte está conformado por:

- ✓ Bala de gas comburente (oxígeno) color verde.
- ✓ Bala de gas combustible (acetileno, hidrógeno, propano, hulla, tetreno o crileno) color roja.
- ✓ Mangueras de conducción.

- ✓ Manómetros.
- ✓ Reguladores.
- ✓ Válvulas.
- ✓ Capucha de protección
- ✓ Soplete.

1.4.2 Soldadura por Arco sumergido SAW.

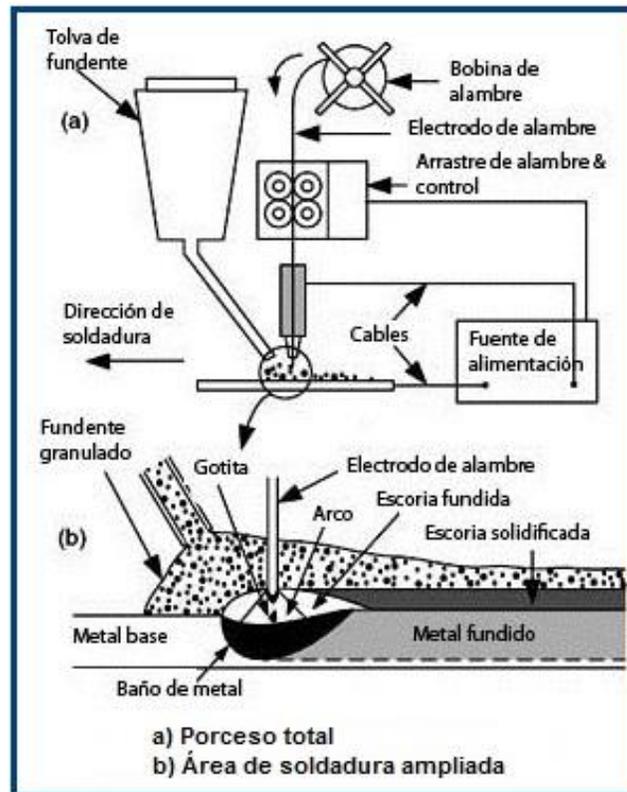


Figura 4. Soldadura de Arco sumergido

La soldadura por arco sumergido (SAW), es un proceso que funde y une los metales calentándolos con un arco establecido entre un alambre consumible de electrodo y metales, con el arco siendo protegido por una escoria fundida y fundente granulado.

El sistema de soldadura automática por Arco Sumergido permite la máxima velocidad de deposición de metal, entre los sistemas utilizados en la industria, para producción de piezas de acero de mediano y alto espesor (desde 5 mm. aproximadamente) que puedan ser posicionadas para soldar en posición plana u horizontal: vigas y perfiles estructurales, estanques, cilindros de gas, bases de

máquinas, fabricación de barcos, etc. También puede ser aplicado con grandes ventajas de relleno de ejes, ruedas de ferrocarriles y polines.

En el sistema de soldadura por Arco Sumergido, se utiliza un alambre sólido recubierto por una fina capa de cobrizado para evitar su oxidación y mejorar el contacto eléctrico.

Generalmente contiene elementos desoxidantes, que junto a los que aporta el fundente, limpian las impurezas provenientes del metal base o de la atmósfera y aportan elementos de aleación seleccionados según sean las características químicas y mecánicas del cordón de soldadura que se desee.

1.4.3 Soldadura por arco con núcleo de fundente FCAW

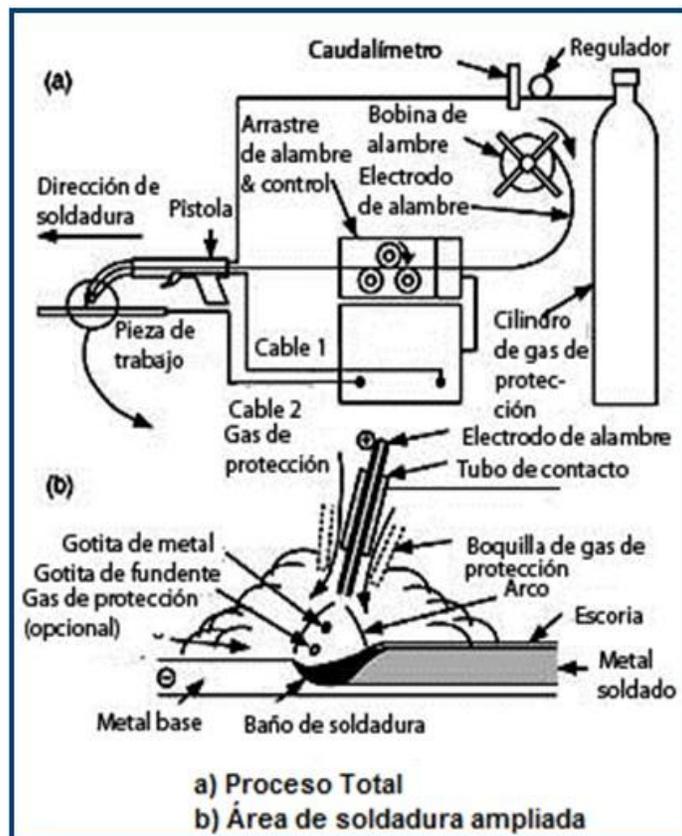


Figura 5. Soldadura por Arco con núcleo de fundente

La soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW) es similar a la GMAW, sin embargo el electrodo de alambre es con núcleo de fundente en vez de ser sólido; o sea, el electrodo es un tubo de metal con fundente envuelto en su interior. Las funciones del fundente son similares a aquellas del electrodo cubierto en el

proceso SMAW, incluyendo la protección de metal fundido del aire. Es un proceso de soldadura semiautomático o automático en el cual el material de aporte se hace de manera continua (alambre), este procedimiento puede emplear gas o solo alambre fluxcored (es un alambre tubular el cual tiene en el núcleo el flux) como protección.

1.4.4 Soldadura de punto

La soldadura por puntos es un método de soldadura por resistencia, útil en láminas metálicas, aplicable normalmente entre 0,5 y 3 mm de espesor, que se logra mediante el calentamiento de una pequeña zona al hacer circular una corriente eléctrica.

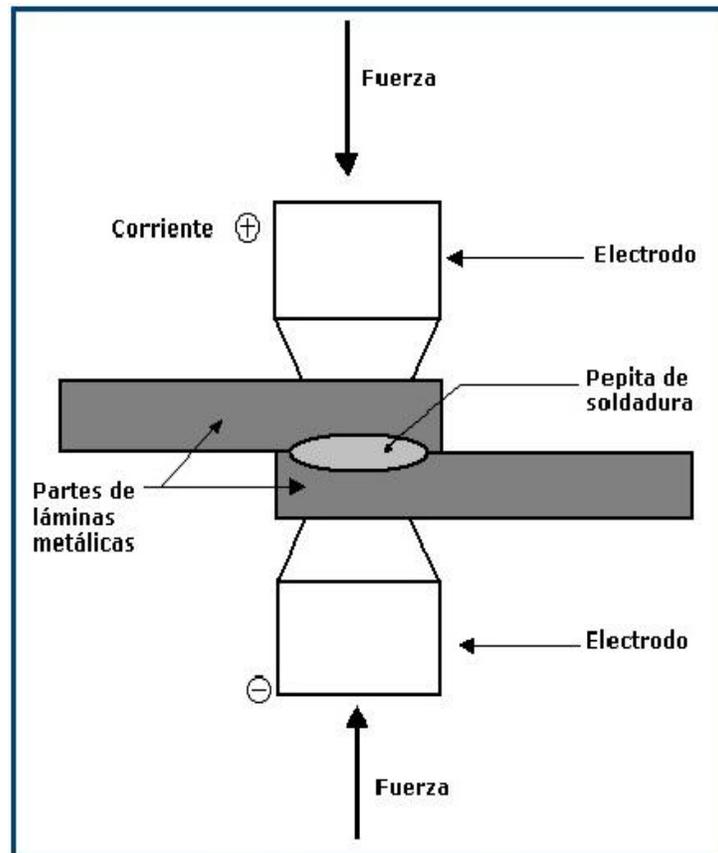


Figura 6. Esquema soldadura de punto

El principio del funcionamiento de este proceso consiste en hacer pasar una corriente eléctrica de gran intensidad a través de los metales que se van a unir. Como en la unión de los mismos la resistencia es mayor que en el resto de sus cuerpos, se generará el aumento de temperatura en la junta (efecto Joule). Aprovechando esta energía y con un poco de presión se logra la unión. La

alimentación eléctrica pasa por un transformador en el que se reduce la tensión y se eleva considerablemente la intensidad para aumentar la temperatura. La soldadura por resistencia es aplicable a casi todos los metales, excepto el estaño, zinc y plomo.

1.4.5 Soldadura por arco de gas – tungsteno TIG

La soldadura TIG, es un proceso que funde y une metales calentándolos con un arco establecido en el que se utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y los metales.

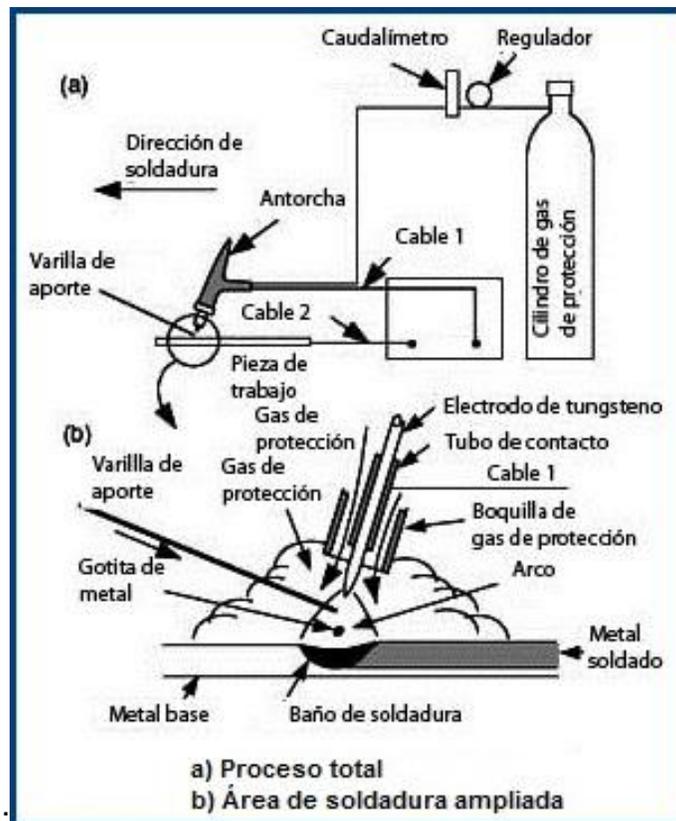


Figura 7. Soldadura por Arco de gas-tungsteno

La antorcha donde está insertado el electrodo de tungsteno, está conectado a un cilindro de gas de protección, así como a un terminal de la fuente de alimentación. El electrodo de tungsteno está usualmente en contacto con un tubo de cobre refrigerado por agua, llamado el tubo de contacto, que está conectado al cable de soldadura desde el terminal.

El electrodo, el arco y el área que rodea al baño de fusión, están protegidos de la atmósfera por un gas inerte. Si es necesario aportar material de relleno, debe de hacerse desde un lado del baño de fusión.

La soldadura TIG, proporciona unas soldaduras excepcionalmente limpias y de gran calidad, debido a que no produce escoria. De este modo, se elimina la posibilidad de inclusiones en el metal depositado y no necesita limpieza final. La soldadura TIG puede ser utilizada para soldar casi todo tipo de metales y puede hacerse tanto de forma manual como automática. La soldadura TIG, se utiliza principalmente para soldar aluminio, y aceros inoxidables, donde lo más importante es una buena calidad de soldadura. Principalmente, es utilizada en unión de juntas de alta calidad en centrales nucleares, químicas, construcción aeronáutica e industrias de alimentación.

1.4.6 Soldadura por arco de gas – metal GMAW

La soldadura por arco de gas-metal o de arco protegido por gas (GMAW), es un proceso que funde y une metales mediante el calentamiento de los mismos, con un arco establecido entre un electrodo de alambre de aporte alimentado continuamente. La protección del arco y el baño de fusión de la soldadura fundida es con frecuencia obtenida usando gases inertes tales como el argón y helio.

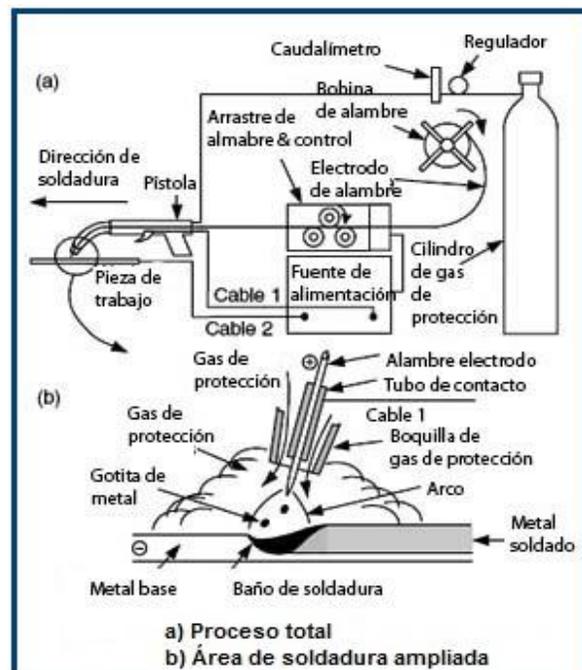


Figura 8. Soldadura por Arco de gas-metal

Es el proceso de soldadura que puede ser automático y semiautomático, es muy utilizado a nivel industrial, ya que por su facilidad y velocidad de depósito del material de aporte, la fuente de alimentación de este debe ser totalmente del 100% de trabajo, pues el aporte se encuentra en presentación de rollos de alambre; este proceso por su facilidad de aplicación permite soldar espesores pequeños al igual que espesores grandes en metales ferrosos y no ferrosos. Su gran desventaja se encuentra en su campana de protección, ya que esta es dada por los gases a presión lo cual hace necesario tener un óptimo control del lugar de trabajo.

1.4.7 Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido SMAW

Es un proceso que funde y une metales calentándolos con un arco establecido entre un electrodo tipo varilla cubierto y los metales. El soporte electrodo está conectado a través de un cable de soldadura a un terminal de la fuente de alimentación y la pieza de trabajo está conectada mediante un segundo cable al otro terminal de la fuente de alimentación.

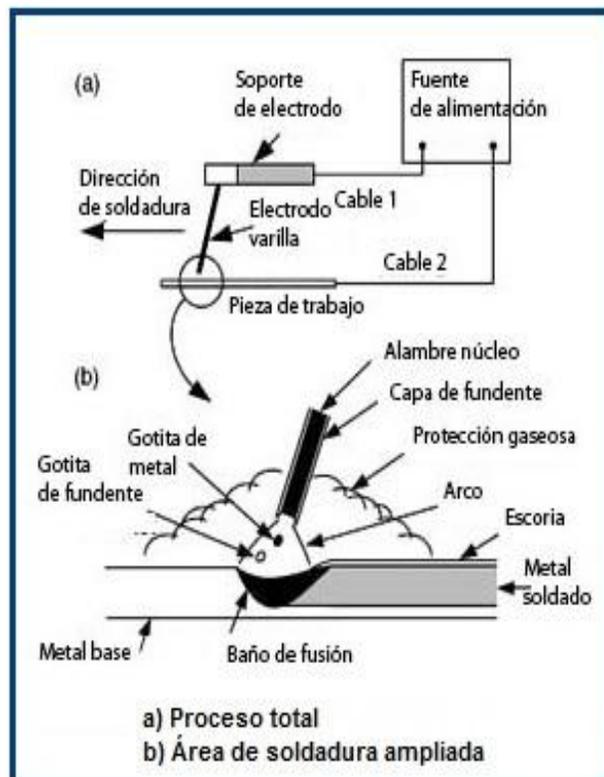


Figura 9. Soldadura de Arco eléctrico con electrodo revestido

El núcleo del electrodo recubierto, conduce la corriente eléctrica al arco y proporciona el metal de aporte para la unión. Para formar el contacto eléctrico, la

parte superior de 1,5 cm del alambre de núcleo del electrodo está desnudo y mantenido al soporte del electrodo. El soporte de electrodo es esencialmente una mordaza tipo tenaza con una cobertura como aislación eléctrica para que el soldador la manipule con seguridad.

El calor del arco produce que tanto el alambre de núcleo como el fundente que recubre la punta del electrodo se funde como pequeñas gotas. El metal fundido se acumula en el baño de fusión de la soldadura y se solidifica en el metal soldado. El fundente derretido más liviano, por otra parte, flota sobre la superficie de la cubeta y se solidifica en una capa de escoria en la parte del metal fundido.

El equipamiento de soldadura es relativamente más simple, portátil y económico al ser comparado con otros procesos de soldadura por arco. Por esta razón, el proceso es con frecuencia usado para mantenimiento, reparación y construcción en campo. Sin embargo, el gas de cobertura en el proceso no es lo suficientemente limpio para metales reactivos tales como aluminio y el titanio. El régimen de depósito está limitado por el hecho de que la cubierta del electrodo tiende a sobre calentarse y desprenderse con corrientes de soldadura excesivamente altas. La limitada longitud del electrodo aproximadamente de 35 cm, requiere repetidos cambios del mismo, y esto reduce aún más el régimen de producción total.

1.5 MATERIAL DE APORTE “ELECTRODO”

El electrodo es llamado el elemento que en la soldadura eléctrica aporta material de características iguales o similares a las del material base. El electrodo para el procedimiento de soldadura SMAW, está conformando básicamente de dos elementos, alma y recubrimiento.

El alma o núcleo del electrodo es el elemento en forma de varilla, el cual aporta material a la junta. Tiene dimensiones y composición química definida de acuerdo al material base.

El recubrimiento es el material constituido de diferentes minerales y sustancias orgánicas, el cual tiene como funciones: primero facilitar y mantener estable el arco eléctrico, segundo mejorar las propiedades mecánicas del material de aporte y tercero proteger de los gases perjudiciales presentes en la atmósfera generando la campana de protección y la escoria.

1.5.1 Tipos de electrodos

- ✓ Los electrodos se pueden clasificar en dos tipos: Desnudos y recubiertos.
- ✓ Los desnudos Consiste en un alambre metálico sin recubrimiento.
- ✓ Electrodo recubierto, es un electrodo para soldadura eléctrica, consiste en una varilla metálica, con recubrimiento relativamente grueso, que protege el metal fundido de la atmósfera; mejora las propiedades del metal de soldadura y estabiliza el arco eléctrico.

Los electrodos por su revestimiento conservan o aumentan las propiedades del depósito a realizar. Esto se debe al tipo de componentes que tiene el revestimiento y el porcentaje de estos, sin embargo todos poseen elementos en común.

Características que aporta el revestimiento a la soldadura:

- ✓ Penetración.
- ✓ Presentación.
- ✓ Tipo de corriente a utilizar.
- ✓ Polaridad.
- ✓ Aumento de amperaje sin socavar.
- ✓ Mayor velocidad de depósito.
- ✓ Mayor estabilidad del arco.
- ✓ Evita porosidades.
- ✓ Evita el chisporroteo.
- ✓ Escorias alcalinas.
- ✓ Aporte de aleantes.
- ✓ Evita la oxidación inmediata.
- ✓ Elimina ácidos existentes en el metal base,

Existen 4 grandes grupos definidos por el revestimiento del electrodo según AWS. Estos son:

- ✓ Electrodos celulósicos.
- ✓ Electrodos rutilicos.
- ✓ Electrodos con recubrimiento mineral.
- ✓ Electrodos bajo hidrógeno

1.5.1.1 Electroodos Celulósicos

Este electrodo contiene en su revestimiento 45% de celulosa. El arco eléctrico del electrodo calienta el recubrimiento descomponiendo la celulosa en (CO, CO₂ y vapor de agua). Poseen otros elementos como: bióxido de titanio, que es formador de escorias; ferro manganeso como desoxidante o reductor; asbesto como formador de arco y escoria; Silicato de potasio como liga de compuesto y purificador y Silicato de sodio como liga de compuesto.

Este tipo de electrodo forma poca escoria siendo principalmente usado en soldadura vertical descendente y altas penetraciones, efecto causado por la capa gaseosa del recubrimiento, el electrodo presenta un cordón poco vistoso por su tipo irregular y alto chisporroteo.

Su uso se debe a cordones donde es necesario obtener doble acabado, es decir en piezas que no se pueden soldar por ambos lados. Son excelentes para soldar aceros con más del 0,25% de carbono y aceros efervescentes.

Ventajas:

- ✓ Máxima penetración.
- ✓ Solidificación rápida.
- ✓ Buenas características de resistencia.
- ✓ Elasticidad y ductilidad.
- ✓ Es un electrodo muy fluido.
- ✓ Al quemarse producen una alta cantidad de gases que impiden el contacto del oxígeno y nitrógeno presentes en el aire (campana de protección).
- ✓ Buena velocidad de depósito.
- ✓ Permite un manejo de electrodos de diámetros grandes.
- ✓ Fácil remoción de escoria.

Desventaja:

- ✓ Presentación regular.

Debido a estas características este electrodo es comúnmente utilizado en sub procedimientos de fondeo y relleno de juntas, para juntas donde no se requiere una presentación óptima, también se puede aplicar como pase de presentación y son reconocidos como electrodos de alta penetración.

Según la AWS podemos encontrar las siguientes categorías de este grupo.

- ✓ Alta celulosa y sodio.
- ✓ Alta celulosa y potasio.

1.5.1.2 Electroodos rutílicos

Es el electrodo que básicamente su recubrimiento está conformado de rutilo (óxido de titanio), Se destacan por su tipo de acabado y facilidad de manejo, su escoria se remueve fácilmente. Su contenido de hidrógeno es alto y no requiere un proceso de exactitud. Por este tipo de revestimiento presta el electrodo para corregir fallas en el tipo de preparación. Este electrodo se utiliza en trabajos de serie y de pocos requerimientos. Sus principales características son.

- ✓ Penetración mediana a baja.
- ✓ Arco suave.
- ✓ Buena presentación.
- ✓ Buena resistencia.
- ✓ Presenta escoria gruesa que no afecta su aplicación.
- ✓ Es un electrodo de un manejo relativamente fácil.
- ✓ Debido a su característica de fácil manejo es comúnmente utilizado por ornamentadores.

Según la AWS podemos encontrar las siguientes categorías de este grupo.

- ✓ Alto óxido de titanio y potasio.
- ✓ Alto óxido de titanio y sodio.

1.5.1.3 Electroodos con recubrimiento mineral

Electrodo con contenido de óxido de hierro y/o polvo de hierro. Sus Principales características son:

- ✓ Buena apariencia del depósito.
- ✓ Buenas propiedades mecánicas.
- ✓ Alta velocidad de deposición.
- ✓ Buena penetración.
- ✓ Debido a su contenido de hierro limita las posiciones de soldar.

Según la AWS podemos encontrar las siguientes categorías de este grupo.

- ✓ Alto óxido de hierro.
- ✓ Polvo de hierro y óxido de hierro.
- ✓ Polvo de hierro y óxido de titanio.

1.5.1.4 Electrodo Bajo hidrógeno

Este electrodo lleva el nombre de bajo hidrógeno debido a que su recubrimiento, busca eliminar todas las sustancias que durante su aplicación pudieran generar hidrógeno, lo cual aporta características muy sobresalientes con respecto a los anteriores grupos, pero para llegar a cumplir su función deben tenerse en cuenta algunas actividades previas durante su aplicación.



Figura 10. Vista microscópica de micro fisuras en el acero

El hidrógeno en estado natural (temperatura y presión ambiente), se encuentra en estado molecular el cual tiene dos átomos. Cuando elevamos la temperatura por medio del arco eléctrico (5000C° - 30000C° dependiendo de la naturaleza del plasma, temperatura del arco SMAW 6000°), los átomos de hidrógeno se disocian (hidrógeno atómico), lo cual hace que estos átomos muy pequeños sean capaces de moverse entre la estructura cristalina del acero. Pero a medida que el acero se enfría, estos pierden movilidad quedando atrapados entre la estructura cristalina; al acercarse a la temperatura ambiente estos átomos buscan asociarse, lo cual genera un aumento de volumen obteniendo como resultado micro fisuras en el acero.

Para evitar el fenómeno de la figura 10 se debe seguir lo siguiente:

- ✓ Utilizar electrodos bajo hidrógeno los cuales buscan eliminar toda condición que genere hidrógeno.
- ✓ Precalentamiento y pos enfriamiento gradual de la junta, con esto se busca mantener el hidrógeno en estado atómico el cual por su volumen puede moverse más fácilmente por la estructura cristalina de acero hasta que la gran mayoría de estos salgan.

Según la AWS podemos encontrar las siguientes categorías de este grupo.

- ✓ Bajo hidrógeno sódico.
- ✓ Bajo hidrógeno potásico.
- ✓ Bajo hidrógeno con polvo de hierro.

1.5.2 Condiciones que deben tenerse en cuenta para el manejo de los electrodos

Uno de los aspectos que más puede afectar al electrodo es la humedad, la cual altera características de soldabilidad, estabilidad de arco y resistencia; que se ve claramente en los electrodos bajo hidrógeno; por lo que es necesario tener gran cuidado en el almacenaje, resecado y preparación del electrodo antes de su aplicación.

1.5.2.1 Condiciones de Almacenaje

Es la actividad que se realiza con el fin de arrumar las cajas de soldadura de tal manera que no genere deterioro en los electrodos, en esta etapa los electrodos se encuentran en sus respectivos contenedores (cajas y paquetes).

- ✓ Las cajas no deben almacenarse en un lugar expuesto a la humedad.
- ✓ No deben colocarse en contacto directo al piso, deben colocarse sobre estivas de madera o similares.
- ✓ No debe hacer arrumes de más de ocho cajas.
- ✓ No colocar cargas sobre las cajas.
- ✓ No se deben almacenar cerca de cemento, ácidos u otras sustancias.
- ✓ Mantener las cajas en un lugar por encima de 15°C y una humedad relativa inferior al 50%.
- ✓ Atender las recomendaciones del fabricante.

1.5.2.2 Condiciones de recuperación de electrodos (Resecado)

Es la actividad que se realiza a los electrodos, con el fin de recuperar estos consumibles que se presumen han ganado humedad.

Se aplica para electrodos celulósicos (E6010-E6011-etc) que han ganado humedad, si durante la inspección se determina que estos han sido sometidos a humedad ambiente superior a 70% durante 24 horas o algún tipo de filtración de agua.

Para electrodos bajo hidrógeno se asume ganancia de humedad con un 70% por encima de la ambiente durante 3 a 4 Horas, expuestos a estas condiciones. El resecado de este electrodo se debe hacer a 80°C durante una hora antes de empezar la actividad de resecado.

Para aquellos casos donde el humedecimiento ha sido excesivo los electrodos deben ser sometidos a pruebas de soldabilidad y de falla con el fin de certificar su resistencia después de ser aplicados.

1.5.2.3 Condiciones Antes de su aplicación (mantención)

La forma en que deben ser manejados los electrodos que han sido retirados de sus cajas para un una posterior aplicación. A continuación se muestran las condiciones de manejo de los electrodos.

Tabla 1. Condiciones antes de su aplicación

Tipo de electrodos	Electrodos desempacados	Reacondicionamiento o resecado
XL 610 Zip 10T ACP611 SS Zip 710 A1	Cuarto seco con temperatura no mayor a 40°C	NO
WS 613 M SUPER SW 613 FP 612 ZIP 12 ,14,24,27 DUROWELD 250,350,450,550,650	40-60°C	120-140°C 1h
ZIP 28 WIZ 18 WIZ1 8 S WIZ 16 WIZ 818 C3 DEMÁS BAJO HIDROGENO	120-200°C	260-340°C 2-3 h
Fuente: Tomado del manual de soldadura de la West Arco		

1.5.2.4 Condiciones de almacenamiento y mantención de electrodos

Las condiciones de almacenamiento son aquellas que se deben observar al almacenar cajas cerradas, y las condiciones de mantención son aquellas que deben observar una vez los electrodos estén fuera de sus cajas.

Tabla 2. Condiciones de almacenamiento y mantención de electrodos

Electrodo		Acondicionamiento del depósito (en caja cerrada)	Mantención electrodos (en caja abiertas)
Clase	Tipo		
EXX10 EXX11	Celulósico Celulósico	Temperatura ambiente	No recomendado
EXX12 EXX13 EXX14 EXX24	De rutilo (Fe) De rutilo (Fe) De rutilo (Fe) De rutilo (Fe)	Temperatura 15°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 50°C, o humedad relativa ambiente menor a 50%.	10°C a 20°C sobre la Temperatura ambiente.
EXX15 EXX16 EXX18 EXX48 Inox. E70/E 120	Básico Básico Básico Básico De Rutilo o básico Básico	Temperatura 20°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 60°C o humedad relativa ambiente menor 50%.	30°C a 104°C sobre la Temperatura ambiente.

Fuente: Tomado del manual de soldadura INDURA página 21

Tabla 3. Recomendaciones para el resecado de electrodos

Electrodo tipo y clase	Aplicación	Resecado
Celulósico (EXX10 - EXX11)	Todas	No requiere si han estado bien acondicionados. Por lo general no pueden resecarse sin deteriorar sus características operativas.
De Rutilo (EXX12 – EXX13) (EXX14 – EXX24) Inoxidables Sustenticos	Todas	No requieren si han estado bien acondicionados. Caso contrario resecar 30 a 120 minutos a 100 – 150°C. Asociar la menor Temperatura con el mayor tiempo. Durante el resecado ensayar en soldadura para comprobar características y evitar sobre secado.
Básicos de bajo contenido		Cuando el electrodo permaneció más

Tabla 3. (Continuación)

Electrodo tipo y clase	Aplicación	Resecado
De hidrógeno (EXX15 – EXX16) (EXX18 – EXX28) (EXX48). Incluye baja aleación (AWS A5.5). Inoxidables martensíticos y ferríticos (E4XX)	Donde se requiere bajo contenido de hidrógeno en el metal depositado.	de 2 horas, sin protección, especial, resecar 60 a 120 minutos a 250 - 400°C. No exceder los 400°C y si se seca a 250°C hacerlo durante 120 minutos
	Aplicación crítica (aceros de alto contenido de carbono, aceros de baja aleación, aceros de más de 60kg/mm ² de resistencia)	Siempre antes de usar se resecan 6 a 120 minutos a 300 – 400°C. No exceder los 400°C y si se seca a 300°C hacerlo durante 120 minutos. Luego conservar en estufa hasta el momento de soldar
Fuente: Tomado del manual de soldadura INDURA página 21		

Tabla 4. Recomendaciones para el uso de electrodos de bajo hidrogeno

Para soldadura normal de bajo contenido de hidrógeno, con control razonable de nivel de hidrógeno y precauciones rutinarias de calor aportado y precalentamiento.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Electrodos en envases no herméticos o dañados y electrodos que han sido expuestos a atmósfera normal por más de 2 horas, deben ser resecados antes de usarlos. 2. Electrodos en envases no herméticos pueden usarse sin resecar para la soldadura de arcos de menos de 50 kg/mm² de resistencia en situaciones de bajo embriamiento cuando la experiencia muestra que no ocurre fisuras. 3. Los electrodos deben mantenerse en termos de 30°C a 140°C sobre la temperatura ambiente
Para soldadura crítica de bajo contenido de hidrógeno, con extremo control de nivel de hidrógeno, en estructuras importantes y materiales de alto carbono o baja aleación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siempre deben resecarse los electrodos antes de usar. 2. Los electrodos deben mantenerse en termos de 30°C a 140°C sobre temperatura ambiente

Tabla 4. (Continuación)

Con resistencia mínima mayor de 50 kg/mm ² .	3. Los electrodos resecados expuestos por más de 1 hora a atmósfera normal deben volver a resecarse.
Para soldadura general, donde se usan los electrodos por sus buenas propiedades mecánicas o calidad radiográfica, pero no se requiere un nivel bajo de hidrógeno en el metal depositado.	1. Los electrodos pueden utilizarse directamente a partir de cualquier tipo de envase, siempre que hayan permanecido almacenados en buenas condiciones.
Fuente: Tomado del manual de soldadura INDURA página 21	

1.5.3 Clasificación de electrodos según AWS

En la especificación tentativa de electrodos para soldar hierro dulce, la A.W.S. ha adoptado una serie de 4 ó 5 números siguiendo a la letra E.

- ✓ La letra E significa que el electrodo es para soldadura por arco (electrodo revestido).
- ✓ Los 2 dígitos en un número de 4 dígitos o 3 dígitos en un número de 5 dígitos señalan la resistencia mínima a la tracción, sin tratamiento térmico pos soldadura, por ejemplo: E 60XX 60000Lbs. /pulg² mínimo.
- ✓ La penúltima cifra significa la posición en que se debe aplicar ya sea plana, horizontal, vertical y sobre cabeza. Por ejemplo el número uno en el electrodo E6011 significa que el electrodo es apto para soldar en toda posición.
- ✓ El último dígito, íntimamente relacionado con el penúltimo, es indicativo del tipo de corriente eléctrica (alterna o corriente continua) en la que mejor trabaja el electrodo, e identifica a su vez tipo de escoria, tipo de arco, penetración y presencia de elementos químicos.

A continuación se presenta una tabla de resumen de esta clasificación:

Tabla 5. Sistema AWS para clasificación de electrodos

Cifra	Significado	Ejemplo
Las 2 ó 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción (Esfuerzos relevados)	E 60XX = 60000 lbs./pulg ²
Penúltima	Posición de soldadura	EXX1X = Toda posición EXX2X = Plana Horizontal EXX3X = Plana

Tabla 5. (Continuación)

Cifra	Significado	Ejemplo
Última	Tipo de corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de elementos químicos en el revestimiento	Ver Tabla 6
Nota: Para la posición vertical y sobre cabeza exige una limitación de diámetros hasta 3/16" comúnmente, y de 5/32" para electrodos de bajo hidrógeno. El prefijo "E" significa electrodo para soldadura por arco.		
Fuente: Tomado del manual del soldador OXGASA, Página 18		

Tabla 6. Interpretación de la última cifra en la clasificación AWS de electrodos

Ultima cifra	E-XXX0	E-XXX1	E-XXX2	E-XXX3	E-XXX4	E-XXX5	E-XXX6	E-XXX7	E-XXX8
Tipo de corriente	a	CA o CD + Polaridad invertida	CA o CD -- Polaridad directa preferente	CA o CD -- Polaridad directa preferente	CA o CD + Polaridad invertida	CD + Polaridad invertida	CA o CD + Polaridad invertida	CD + Polaridad invertida	CA o CD + Polaridad invertida
Revestimiento escoria	b	Celulosa-Potasio orgánico	Titanio sodio rutilo	Titanio Potasio rutilo	Titanio polvo de hierro rutilo	Titanio sodio BH rutilo	Titanio potasio BH rutilo	Polvo de hierro mineral	Titanio potasio polvo de hierro BH rutilo
Tipo de arco	Penetrante	Penetrante	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	C	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
Polvo de hierro en el revestimiento	0 – 10%	No	0 – 10%	0 – 10%	30 – 50%	No	No	50%	30 – 50%
<p>Notas: a) E-6010 – Corriente directa Polaridad invertida E-6020 – AC o DC b) E-6010 – Orgánica (Celulosa sodio); E-6020 – mineral (Óxido de hierro) c) E-6010 – Penetración Profunda, E-6020 – Mediana penetración BH – Bajo Hidrógeno Rutilo – Oxido natural de Titanio</p>									
Fuente: Tomado del manual del soldador OXGASA, Página 19									

1.6 EQUIPOS DE SOLDADURA

La elección del equipo de soldadura a emplear es muy importante, ya que para esto se requiere conocer el proceso de soldadura y las opciones disponibles, hay muchos factores que participan en la creación de soldaduras aceptables. El tipo de material, su espesor, su uso y otras especificaciones llevan a la decisión sobre el equipo de soldar que se debe utilizar.

1.6.1 Corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el movimiento ordenado de electrones a través de un material conductor.

Un átomo ionizado está eléctricamente cargado sin que haya sufrido cambios químicos.

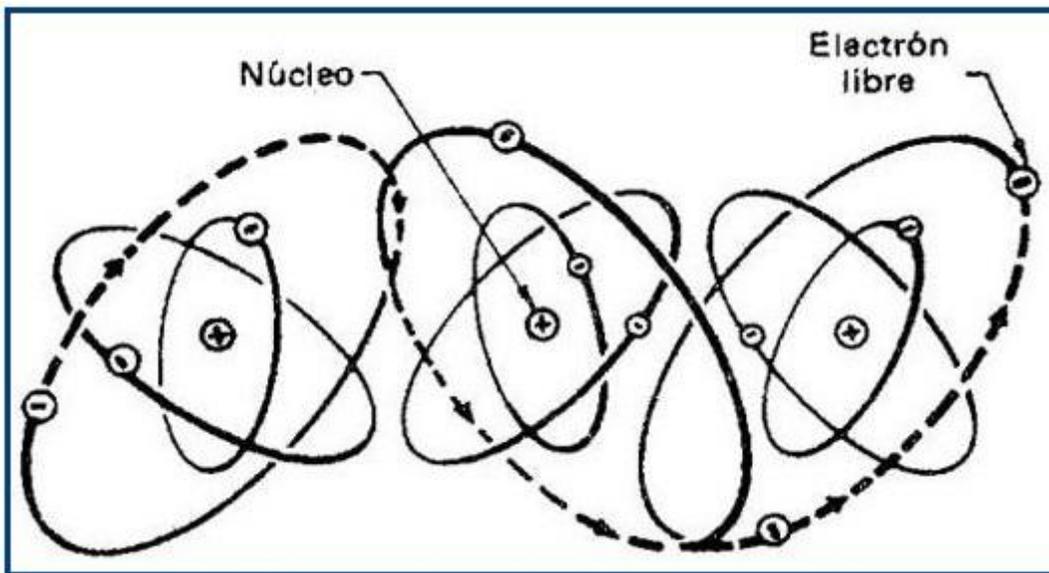


Figura 11. Ruta de electrones libres

En síntesis, la ionización no produce cambios en las propiedades químicas del átomo pero sí un cambio eléctrico, y puede producirse de varios modos; los electrones de la última capa están sujetos en forma bastante ligera y pueden ser desalojados completamente por colisión con otros electrones ó mediante la acción de fuerzas capaces de excitarlos y producir el desplazamiento de dichos electrones, a los que se les conoce como electrones libres, Estos electrones pueden existir en forma independiente en el exterior del átomo constituyendo una clase de electricidad.

1.6.1.1 Voltaje, Tensión o diferencia de potencia

El voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

A mayor diferencia de potencial o presión que ejerza una fuente de FEM sobre las cargas eléctricas o electrones contenidos en un conductor, mayor será el voltaje o tensión existente en el circuito al que corresponda ese conductor.

1.6.1.2 Intensidad de corriente eléctrica

Definimos por tanto la intensidad de corriente eléctrica como la cantidad de carga eléctrica que atraviesa una sección de un conductor en la unidad de tiempo.

1.6.1.3 Resistencia eléctrica

Resistencia eléctrica es la propiedad que tienen los cuerpos de oponerse al paso de la corriente eléctrica. En función del valor de esta propiedad, los materiales se clasifican en conductores, semiconductores o aislantes:

Conductores eléctricos: Son los elementos que presentan una oposición muy pequeña al paso de los electrones a través de ellos; es decir, presentan una resistencia eléctrica muy baja. Como ejemplo de buenos conductores eléctricos se pueden nombrar a los metales.

Semiconductores: Son un grupo de elementos, o compuestos, que tienen la particularidad de que bajo ciertas condiciones, se comportan como conductores. Cuando estas condiciones no se dan, se comportan como aislantes. Como ejemplo se pueden nombrar al germanio, al silicio y al arseniuro de galio.

Aislantes: Son los materiales o elementos que no permiten el paso de los electrones a través de ellos. Como ejemplo se pueden nombrar a los plásticos, madera y etc.

1.6.1.4 Corriente AC

Llamamos corriente alterna a la corriente que cambia constantemente de polaridad, es decir, es la corriente que alcanza un valor pico en su polaridad positiva, después desciende a cero y por último, alcanza otro valor pico en su polaridad negativa o viceversa, es decir, primero alcanza el valor pico en su polaridad negativa y luego en su polaridad positiva.

Así que es importante tener claro que la corriente alterna cambia de polaridad, independientemente de la forma o apariencia que tenga su señal, lo cual se puede observar en un osciloscopio.

Las ventajas del uso de la corriente alterna.

- ✓ Principalmente existen dos ventajas muy significativas que están relacionadas entre sí. Una de ellas es su transporte y distribución. Aquí solamente se dirá que su transporte y distribución en líneas trifásicas lo hacen más económico y seguro que si fuera corriente continua.
- ✓ La otra ventaja, es su transformación. La corriente alterna se puede transformar y variar con un transformador, en cambio la corriente continua no se puede transformar con un transformador. Es cierto que se puede reducir la corriente continua, pero no se puede aumentar.
- ✓ Existe otra ventaja del uso de la corriente alterna. Las máquinas eléctricas como los motores están mejor diseñados para el uso de la corriente alterna que para la corriente continua. De hecho, los motores de corriente alterna son más sencillos de fabricar y más robustos que los motores de corriente continua.

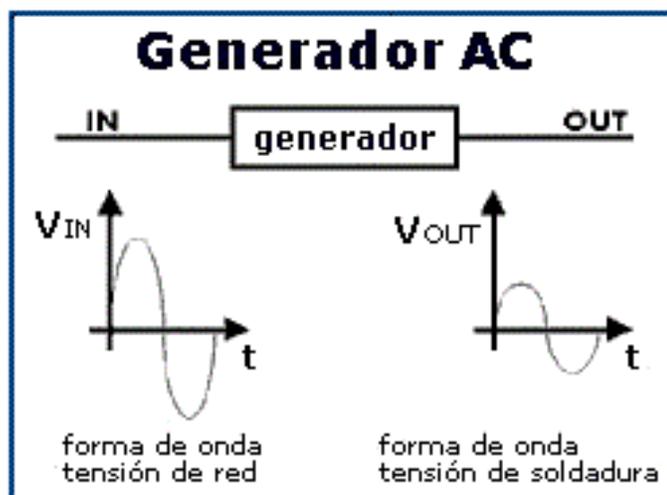


Figura 12. Corriente alterna

Al cambio de polaridad que sufre la corriente con respecto al tiempo se llama frecuencia y su unidad es el hertz (Hz).

En los países de Europa la corriente alterna posee 50 ciclos por segundo de frecuencia (Hz), mientras que en los países de América la frecuencia es de 60 hertz (Hz).

1.6.1.5 Corriente CD O CC

En la Corriente continua (CC) o corriente directa (CD) los electrones o cargas siempre fluyen en el mismo sentido. Los electrones se trasladan del polo negativo al positivo de la fuente de la FEM.

Incluso cuando ninguna corriente está atravesando el conductor, los electrones en el alambre se están moviendo a velocidades de hasta 600 millas (1000 kilómetros) por segundo, en direcciones al azar. Puesto que un electrón se está moviendo hacia atrás en el conductor al mismo tiempo que otro se está moviendo hacia adelante, ninguna carga neta se transporta a lo largo del circuito. Si se conecta una batería a los extremos del alambre, los electrones son forzados a lo largo del conductor en la misma dirección. La velocidad de los electrones a lo largo del conductor es menor a una pulgada (pocos milímetros) por segundo. De manera que un electrón en específico tarda un largo tiempo en ir alrededor del circuito. Hay tantos electrones que todos están continuamente chocando entre sí, como fichas de dominó, y hay un cambio neto de cargas eléctricas alrededor del circuito que pueden llegar a alcanzar la velocidad de la luz.

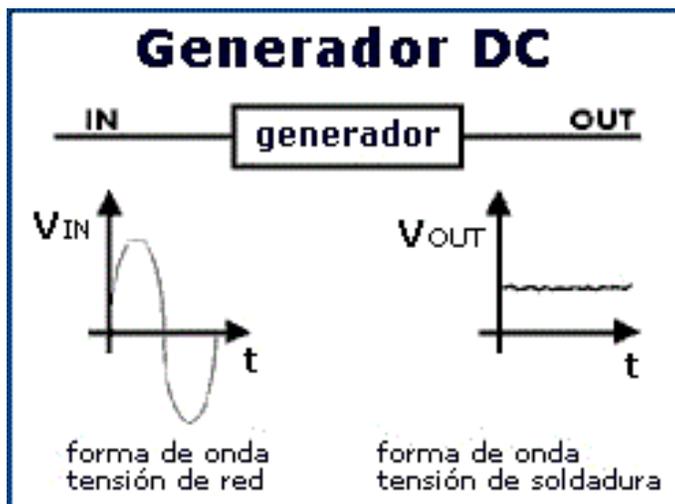


Figura 13. Corriente continúa

1.6.2 Tipos de rectificación

El diodo: Es el dispositivo semiconductor más sencillo y se puede encontrar prácticamente en cualquier circuito electrónico. Constan de la unión de dos tipos de material semiconductor, uno tipo N y otro tipo P separados por un material neutro llamado barrera o unión.

- ✓ Material tipo N: es un material en cuya estructura le sobran electrones lo cual le permite ceder electrones.
- ✓ Material tipo P: es un material en cuya estructura le faltan electrones lo cual le permite recibir electrones

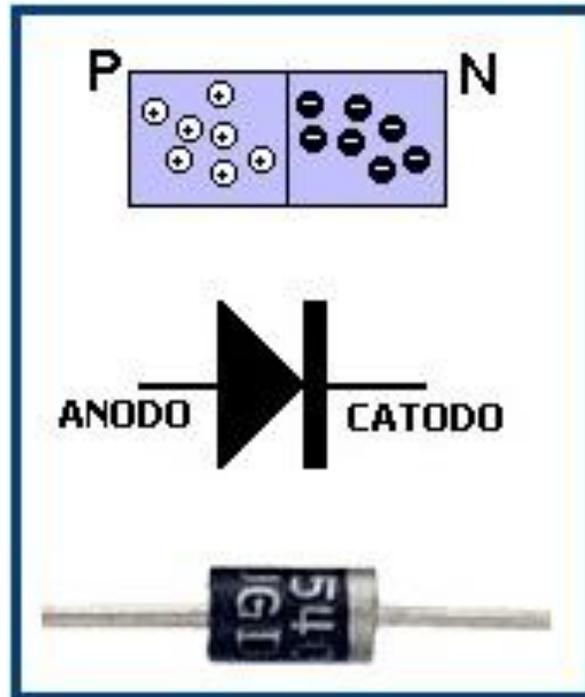


Figura 14. Esquema de un diodo

El diodo como elemento rectificador es de vital importancia en los circuitos empleados para la rectificación de la corriente eléctrica, de lo contrario gran parte de la tecnología que hoy conocemos no existiría.

1.6.2.1 Rectificador de onda completa

La rectificación de onda completa en palabras sencillas de entender es el proceso mediante el cual tomamos corriente eléctrica alterna AC, la cual varía cíclicamente de positivo a negativo senoidalmente y la recortamos de tal forma que solo varía de positivo a cero, además tomamos la señal que varía de cero a negativo y la colocamos en el espacio vacío que queda entre las señales que varían de positivo a cero, quedando ondas continuas que varían de positivo a cero la cual se llama corriente continua CC.

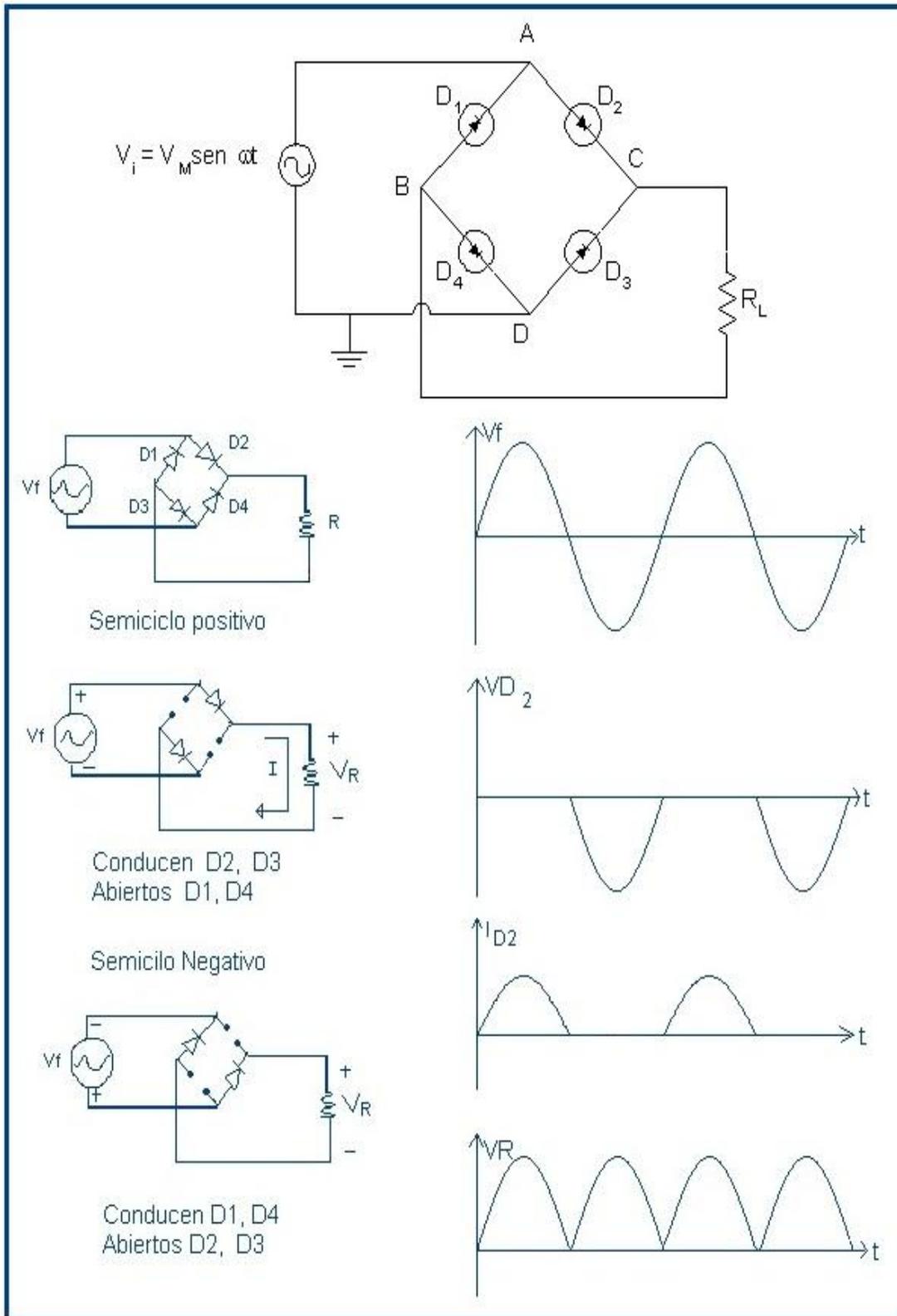


Figura 15. Diagrama de las etapas de rectificación de onda completa

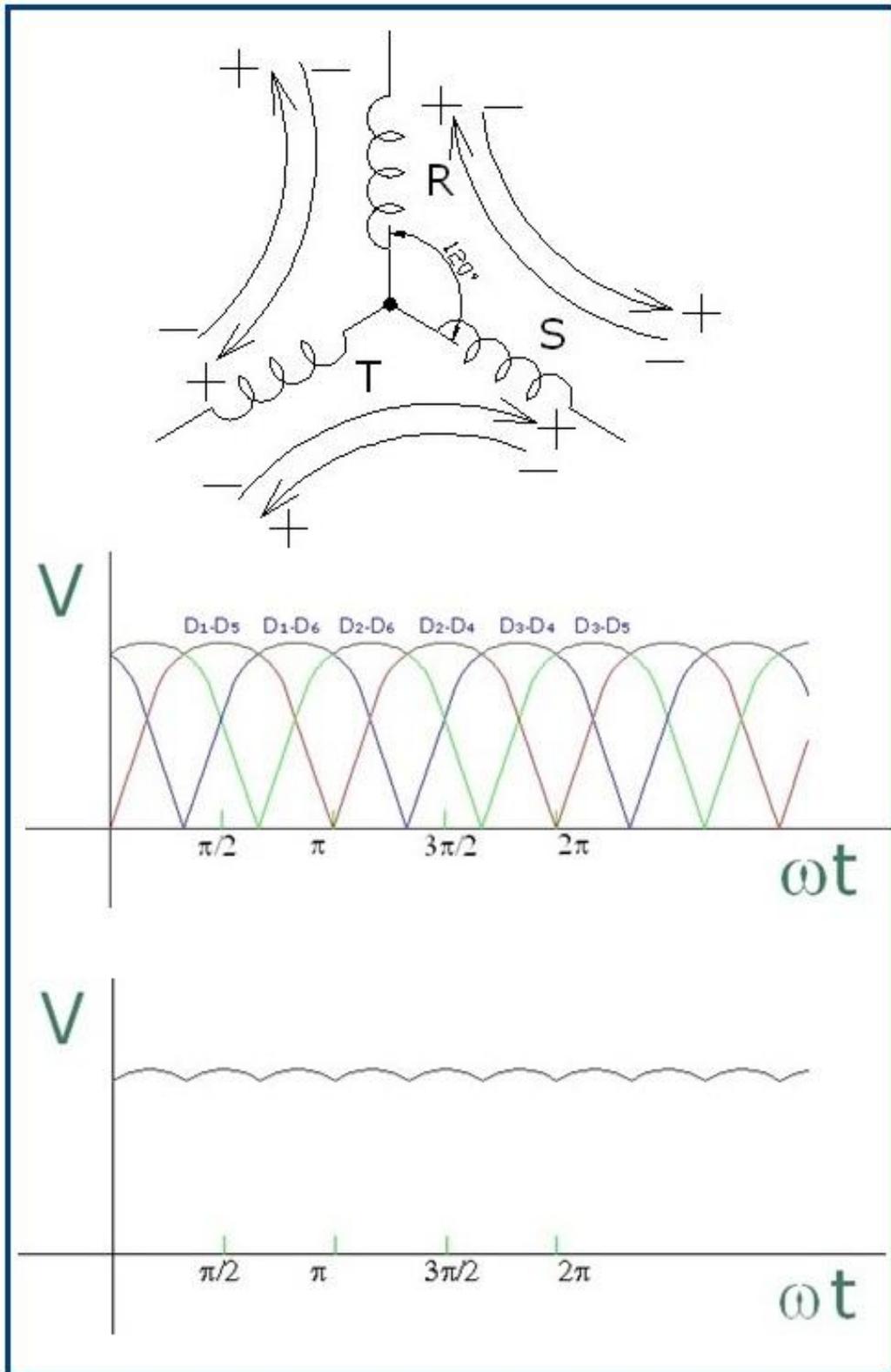


Figura 16. Rectificación de onda completa trifásica tetra filiar

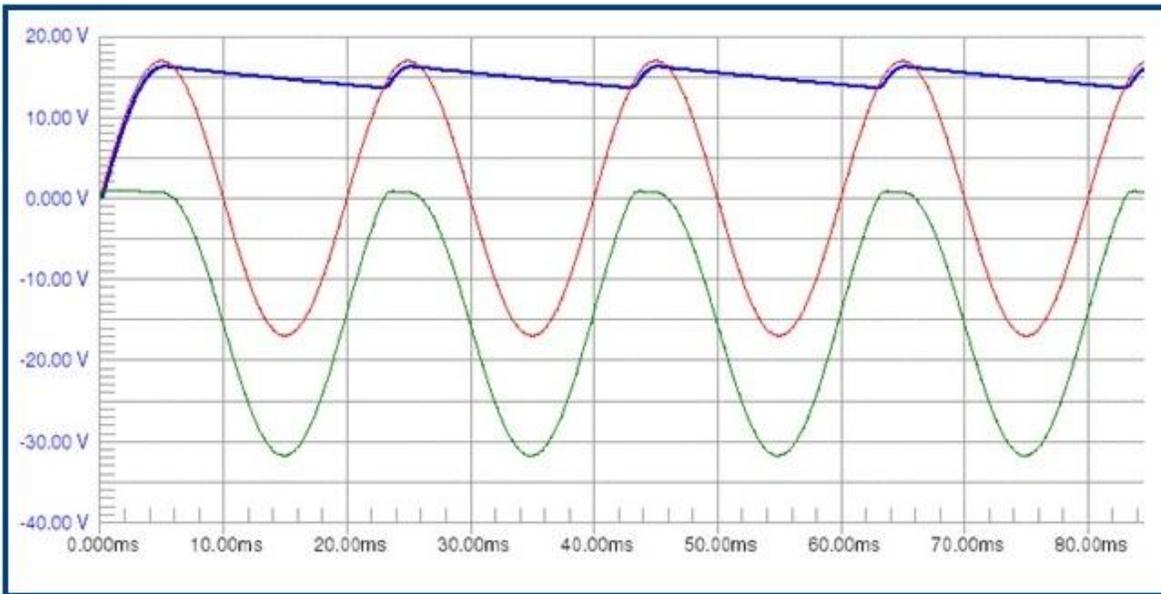


Figura 17. Señal rectificada con diodos y condensadores

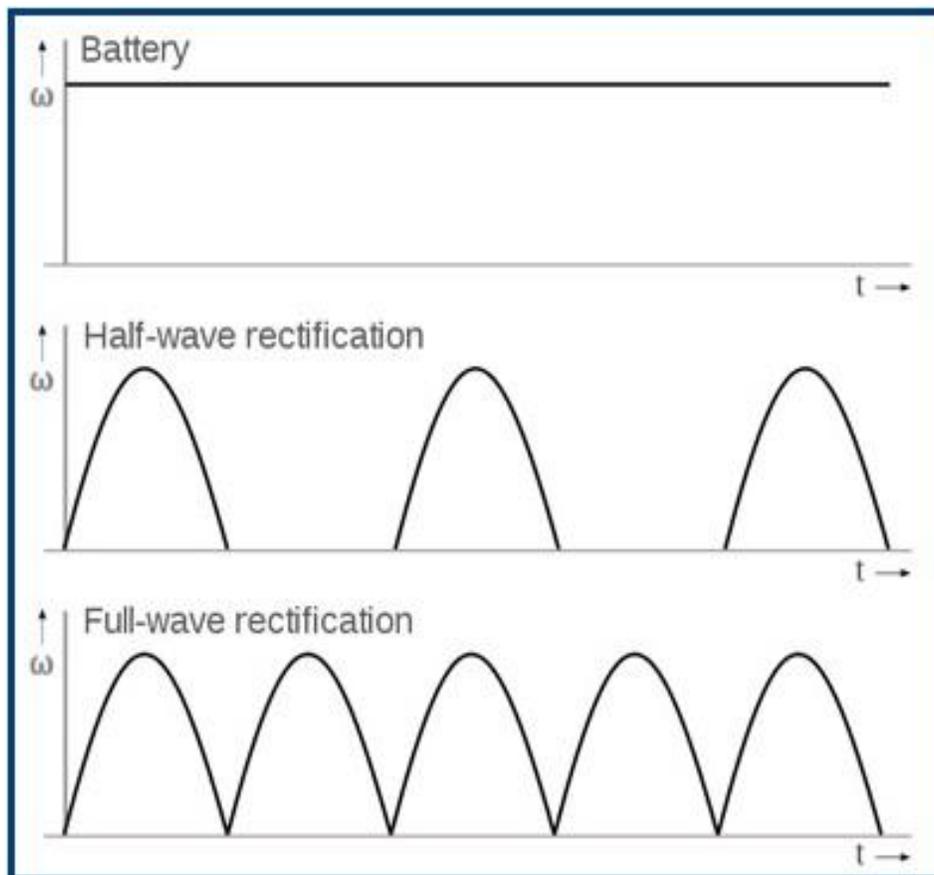


Figura 18. Diferentes tipos de señal rectificada

1.6.3 Equipos

Un equipo de soldar se define como la fuente que suministra la fuerza electro motriz para obtener corriente eléctrica.

1.6.3.1 Máquina de soldar tipo Transformador

Un equipo de soldar tipo transformador consta de un devanado primario de baja corriente, induce un campo electromagnético el cual corta e induce corriente a un devanado secundario de alta corriente, lo que se traduce como una característica en su peso (a mayor peso mayor potencia de salida).

$$\frac{V_i}{N_1} = \frac{V_f}{N_2}$$

V_i: Voltaje de entrada

V_f: Voltaje de salida

N₁: Número espiras de alambre (Bobina A)

N₂: Número espiras de alambre (Bobina B)

Este equipo tipo transformador utiliza como fuente de energía la red eléctrica que puede ser: Monofásica, bifásica o trifásica (110, 220,360 a 60Hz, etc.).

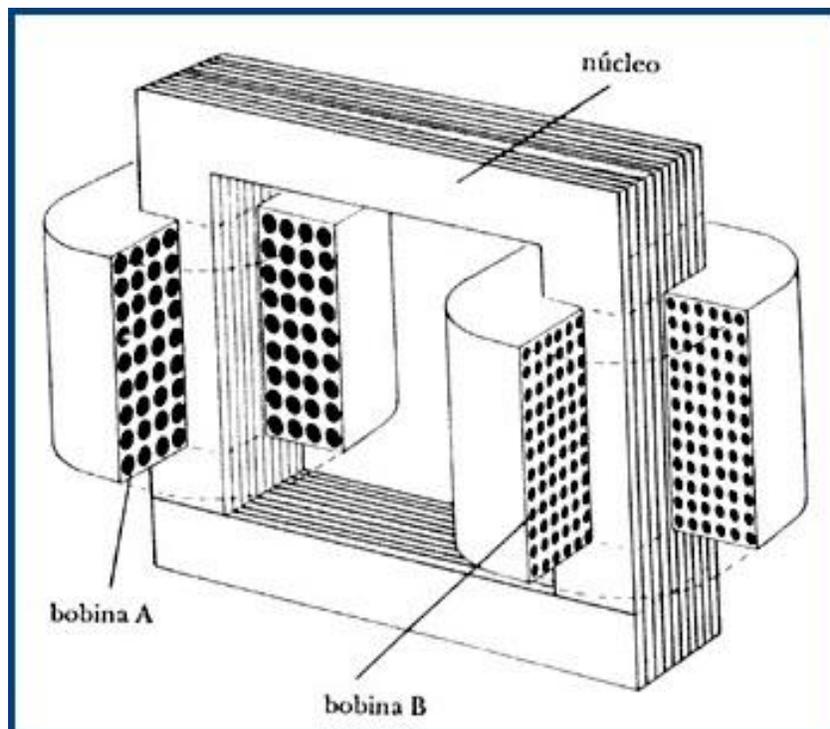


Figura 19. Equipo tipo transformador

Los equipos de soldar tipo transformador los podemos encontrar en el mercado con las siguientes características, AC, DC y AC-DC.

Aspectos importantes en la selección de un equipo de soldar tipo transformador:

- ✓ Voltaje de entrada, monofásica, bifásica o trifásica (110, 220, 360, 440 a 60Hz).
- ✓ Potencia de entrada KW, MW o rara vez en caballos (HP).
- ✓ Corriente de entrada en amperios (A).
- ✓ Tiempo de trabajo: es la corriente que la maquina puede suministrar durante un periodo de 10 minutos sin tener pausa, ejemplo 400(A) -60%.
- ✓ OCV voltaje de circuito abierto ejemplo 78 V.
- ✓ Rango de amperaje de salida.
- ✓ En algunos equipos nuevos rango de voltaje de salida.



Figura 20. Máquina de soldar tipo transformador con salida rectificada (Modelo Klaben MMA-4400)

Máquina de soldar tipo Transformador rectificado con regulación de la corriente de soldar por medio de la modificación de la posición del núcleo.

Maquina trifásica con transformador de cobre, de servicio pesado, ideal para aplicaciones en construcción y trabajos industriales. Su robusto diseño la convierte en la alternativa ideal cuando las condiciones de operación son severas. Suelda

todo tipo de electrodos, incluidos los convencionales tales como E.6011, E6010, E6013, E7018 etc. y También electrodos especiales, dado su arco suave y estable. Máquina para trabajo pesado.

Tabla 7. Características Técnicas

Voltaje de entrada	380 Volt
Frecuencia de entrada	50 Hz
Fases	3
Potencia	21.3 KVA
Ciclo de trabajo	400 Amp. – 35% 236 Amp. – 100%
Luz piloto	Si
Sistema de transporte de arrastre y levante	Si
Sistema de auto ventilación	Si
Protección térmica de sobrecarga	Si
Peso	170 kg
Fuente: Tomado de la Ficha técnica Equipo Kleben Modelo MMA-4400	

1.6.3.2 Máquina de soldar tipo generador

Un equipo de soldar tipo generador es una máquina cuya fuerza electromotriz proviene de un motor. En este equipo se tiene un motor el cual gira a grandes revoluciones, un devanado en forma de rotor que se encuentra polarizado, de esta forma el campo magnético del rotor corta al estator (devanado secundario), logrando inducir un voltaje con alta corriente AC, la cual es rectificadora para su salida.

El motor que hace girar al generador puede ser eléctrico o de explosión interna, ya sea a gasolina, diésel o gas.

Aspectos importantes en la selección de un equipo de soldar tipo generador (moto soldador):

- ✓ Potencia de entrada en caballos (HP)
- ✓ En el caso de los moto soldadores rendimiento por galón.
- ✓ Tiempo de trabajo.

- ✓ OCV voltaje de circuito abierto.
- ✓ Rango de amperaje de salida.
- ✓ rango de voltaje de salida.
- ✓ Número de estaciones.
- ✓ Modelo (año de fabricación).
- ✓ Certificación del equipo.



Figura 21. Equipos que se encuentran en el mercado

1.6.3.3 Máquina de soldar tipo inversor

Básicamente un inversor es un equipo de alta potencia que funciona con circuitos electrónicos, el cual toma una corriente alterna o directa e internamente manipula el amperaje, voltaje y/o frecuencia o combinaciones de esta.

Ventajas:

- ✓ El gran control que tiene para suministrar un arco eléctrico estable.
- ✓ El peso y el tamaño.



Figura 22. Máquina de soldar tipo inversor (Modelo fimer T207)

Tabla 8. Características técnicas

Potencia Absorbida	5,1 KVA
Alimentación V.	80 V
Tensión en vacío	5 – 200 A
Campo de reglaje	35% : 195 A 60%: 170 A 100%: 145 A
Peso	7,5 Kg
Dimensiones	160 – 440 – 280 mm (WxLxH)
Grosor de electrodos	1.5 – 4.0 mm
Fuente: Tomado de la Ficha técnica Equipo Fimer Modelo T207	

1.7 MÉTODO DE APLICACIÓN DE LA SOLDADURA

Los cuatro métodos de aplicación son los siguientes:

MA (SA) soldadura manual: operación de soldadura ejecutada y controlada de manera enteramente manual.

SA (SA) soldadura semiautomática: soldadura por arco con equipo que controla solo la alimentación del metal de aporte. El avance de la soldadura se controla manualmente.

ME (SDM) soldadura de máquina: soldadura con equipo que ejecuta la operación de soldadura bajo la observación y control constantes de un operario. El equipo puede o no cargar o descargar las piezas del trabajo.

AU (SA) soldadura automática: soldadura con equipo que ejecuta la totalidad de la operación de soldadura sin ajuste de los controles por parte de un operario. El equipo puede o no cargar o descargar las piezas de trabajo.

1.8 TIPOS DE UNIONES

Las soldaduras se ejecutan en la unión de las distintas piezas que constituyen la construcción soldada. Estas uniones de partes se llaman juntas o uniones, y se

definen como “la unión de miembros o de orillas de miembros que se han de juntar o que se han unido”.

Las partes que se unen para producir la construcción soldada pueden estar en forma de placa rolada, lámina, forma estructural, tubo, o pueden ser fundiciones, forjas o lingotes. Es la colocación de estos miembros lo que define las uniones.

En general se pueden citar cinco consideraciones básicas para la selección de cualquier junta soldada:

- ✓ Tener en cuenta si el esfuerzo es de tracción, compresión, fatiga, flexión o choque.
- ✓ Considerar si la carga es estática de impacto o variable.
- ✓ Dirección de la carga con dirección a la junta.
- ✓ Espesor de las piezas a unir.
- ✓ Costo de preparación de las juntas.

Se encuentran cinco tipos básicos de uniones que se usan para juntar dos miembros entre sí para soldarlos las cuales son:

1.8.1 Unión a Tope

La unión a tope se ejecuta entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano, la soldadura se realiza entre los bordes de las piezas a soldar: La junta entre los dos objetos puede consistir en dos bordes cuadrados, en forma de “V” o de “U”. Son las más ampliamente usadas en todos los métodos de soldadura, puesto que cuando se sueldan producen un bajo índice de tensiones y deformaciones. Esas uniones implican un gasto menor de metal base y de metal de aportación, así como también un tiempo más corto en la terminación de los trabajos de soldadura. Puede no ser ejecutadas con una resistencia igual a la del metal base. No obstante para la elaboración de las uniones a tope se exige una preparación más adecuada de las piezas.

1.8.2 Unión en esquina

La soldadura de esquinas se usa para unir dos objetos en un ángulo de 90 grados. Los objetos se colocan de manera tal de que sólo se toquen sobre un borde. Esto deja un surco en forma de “V” que debe ser rellenado con material de soldadura. Utilizar esta soldadura en “V” permite una unión mucho más fuerte, y también permite al soldador unir los objetos en un solo paso. Si los objetos fueron

acomodados de una manera distinta, la unión puede requerir de dos soldaduras separadas (en la parte superior e inferior) y podría no resultar tan fuerte.

1.8.3 Unión a traslape

Las juntas traslapadas se usan para superponer dos objetos que no reposan directamente uno sobre el otro. Como sólo una pequeña porción de los objetos se superpone, una junta de bordes no es suficiente. En su lugar, se sueldan las juntas donde el borde de uno de los objetos toca al otro. Una junta traslapada se colocaría en la intersección de cada objeto vertical con el escalón horizontal.

1.8.4 Unión a borde

Una junta de borde es similar a una junta a tope, pero se usa sobre los bordes de dos objetos de distribución vertical. Por ejemplo, esta junta se utiliza comúnmente para crear una chapa doble de acero. Las chapas se apilan una sobre la otra, y al menos un borde se suelda mediante este método. Para añadir fuerza a la unión, deben soldarse dos o más bordes.

1.8.5 Unión en T

En este tipo de uniones las piezas se disponen formando un ángulo de aproximadamente de 90° , descansando el borde de una pieza sobre la superficie de la otra, es aplicable a cualquier espesor de las piezas.

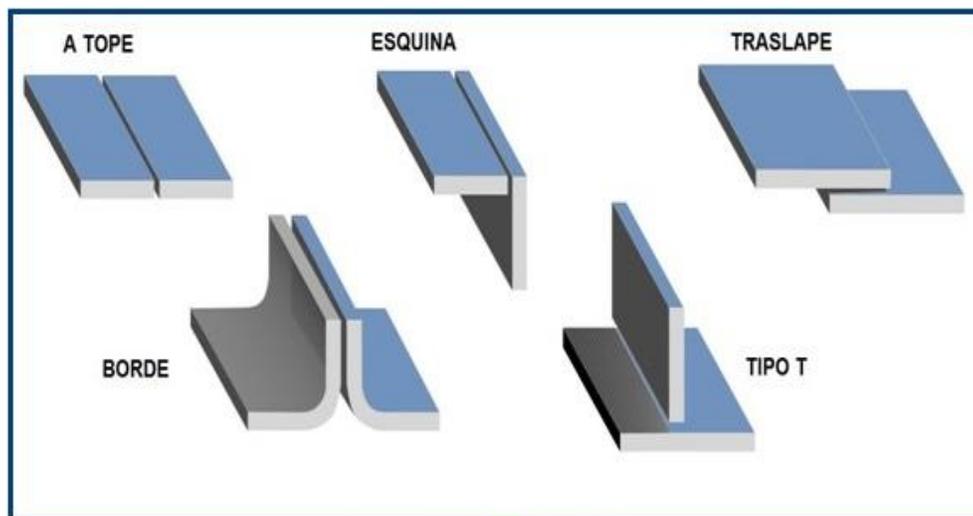


Figura 23. Tipos de uniones

1.9 FORMAS EN QUE SE REALIZA LA SOLDADURA

Existen distintas formas básicas de realizar las soldaduras, las cuales poseen muchas variantes, algunas de estas formas se pueden combinar entre sí. Entre ellas está la soldadura de filete y la de bisel, se usan en construcciones soldadas en placas. Las formas de realizar la soldadura son las siguientes:

1.9.1 Soldadura de filete

Es la forma de realizar la soldadura más común en el proceso soldadura por arco eléctrico y en la de oxígeno y gas combustible, ya que esta requiere una preparación mínima de los bordes, se usan los bordes cuadrados básicos de las partes. Recibe este nombre de filete debido a la forma de su sección transversal.

El filete se considera sobre la unión y se define como una soldadura de sección transversal aproximadamente triangular uniendo dos superficies aproximadamente en ángulos rectos en una junta traslapada, en T o en L (esquina).

Se usa un metal de relleno para proporcionar dicha sección transversal. Las soldaduras de filete pueden ser sencillas o dobles (esto es, soldarse en uno o ambos lados) y continuas o intermitentes (esto es, soldadas a lo largo de toda la longitud de la unión o con espacio sin soldar a lo largo de una orilla).

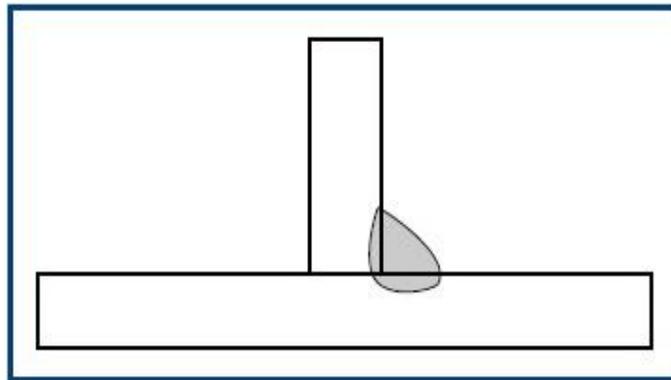


Figura 24. Soldadura a filete

1.9.2 Soldadura de relleno

Este tipo de soldadura es muy empleada en procesos de reparación en superficies que por su uso ha sufrido desgaste.

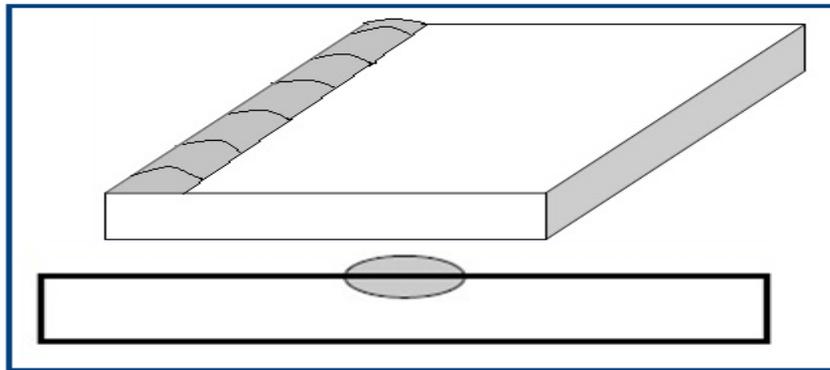


Figura 25. Soldadura de relleno

1.9.3 Soldadura de Tapón o de ranura

Una soldadura de tapón o de ranura es una soldadura circular o alargada que en una de las piezas que no se requiera gran resistencia, se hacen la o las perforaciones necesarias para soldar, que después se rellenan con metal para fundir las dos partes. Se busca que la soldadura no sea apreciable a la vista.

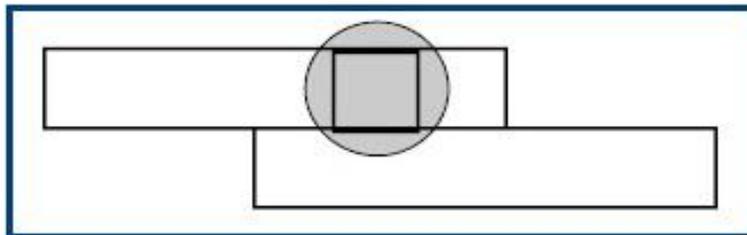


Figura 26. Soldadura a tapón o ranura

1.9.4 Soldadura en juntas biseladas

Es el segundo tipo más utilizado en la soldadura. Se define como una soldadura ejecutada en el bisel entre dos miembros que se han de unir. La soldadura de bisel se considera dentro de la unión.

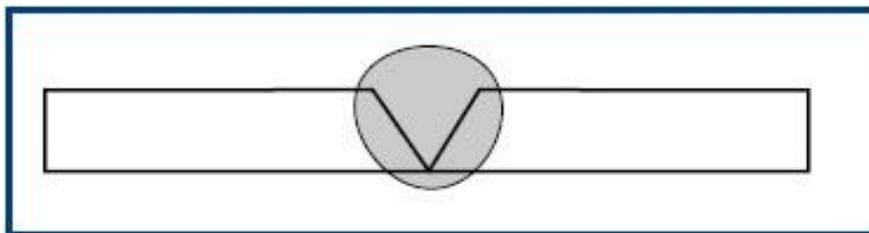


Figura 27. Soldadura en junta biselada

Las juntas biseladas son de gran importancia ya que estas buscan unir completamente las piezas por medio de la soldadura, lo cual aporta material que une por completo los elementos. El dimensionamiento del bisel debe hacerse de forma tal que no descuide aspectos como: la dimensión del electrodo, la cara de la soldadura, el alto de raíz y el ángulo del bisel, con el fin de optimizar la cantidad de aporte que será empleado y la disposición de los electrodos al momento de su aplicación.

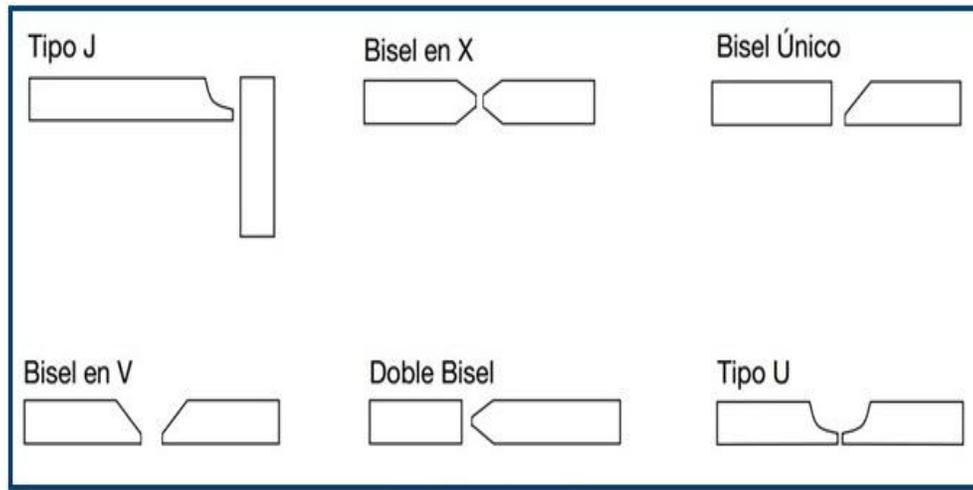


Figura 28. Tipos de bisel

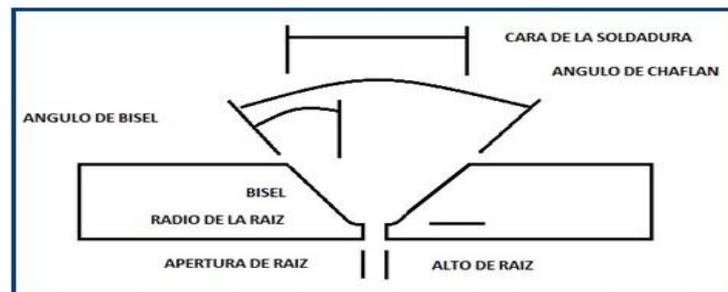


Figura 29. Partes que conforman un bisel

1.10 POSICIONES DE SOLDADURA.

Es la posición en que se encuentra la junta, la cual presenta diferentes retos al soldador, equipo y a la soldadura, las cuales se pueden representar en dos grupos G y F de acuerdo con ANSI/AWS.

1.10.1 Uniones en filete (F)

En las uniones en filete se pueden encontrar 4 posiciones básicas las cuales son:

- ✓ **1F.** unión en donde el depósito de soldadura se realiza de arriba hacia abajo.
- ✓ **2F.** la unión en que el depósito se realiza arriba hacia abajo con el electrodo inclinado aproximadamente a 45°.
- ✓ **3F.** posición vertical en la cual el depósito se realiza de abajo hacia arriba con una inclinación aproximada de menor 45°- 60° para una soldadura descendente y casi horizontal para una soldadura ascendente.
- ✓ **4F.** posición en que se califica al soldador de filete ya que es la que ofrece mayor dificultad para el soldador en la cual el depósito se realiza de abajo hacia arriba con el electrodo inclinado aproximadamente 45° y 60°.

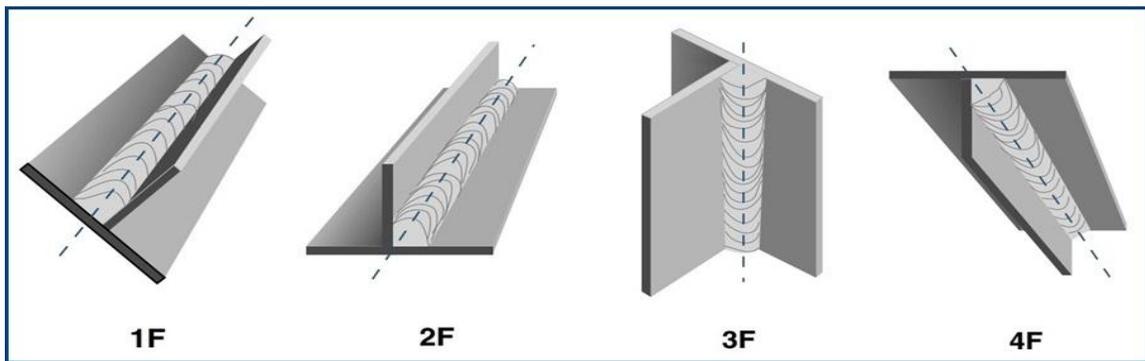


Figura 30. Posición de soldadura uniones en filete (F)

1.10.2 Uniones Biseladas (G)

En las uniones biseladas se pueden encontrar 4 posiciones básicas las cuales son:

- ✓ **1G.** Posición plana.
- ✓ **2G.** Posición horizontal.
- ✓ **3G.** Posición vertical.
- ✓ **4G.** Posición sobre cabeza.

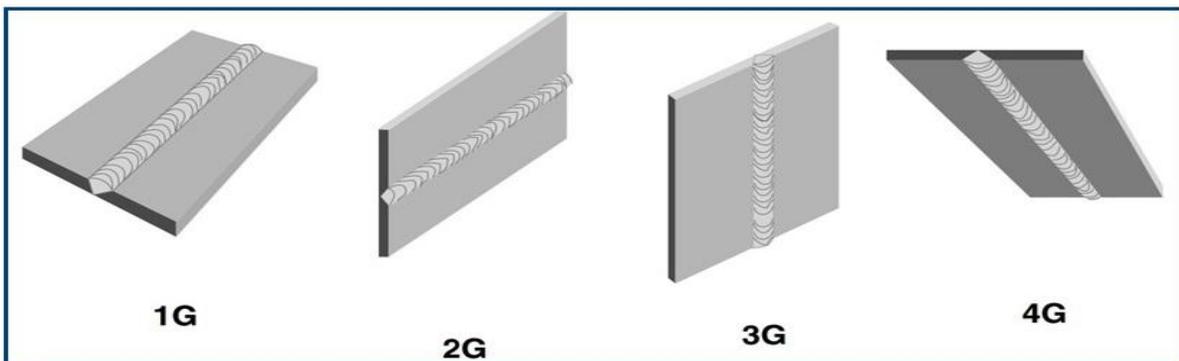


Figura 31. Posición de soldadura Uniones biseladas (G)

1.10.3 Uniones biseladas para tubería

En las uniones biseladas para tubería se pueden encontrar 4 posiciones básicas las cuales son:

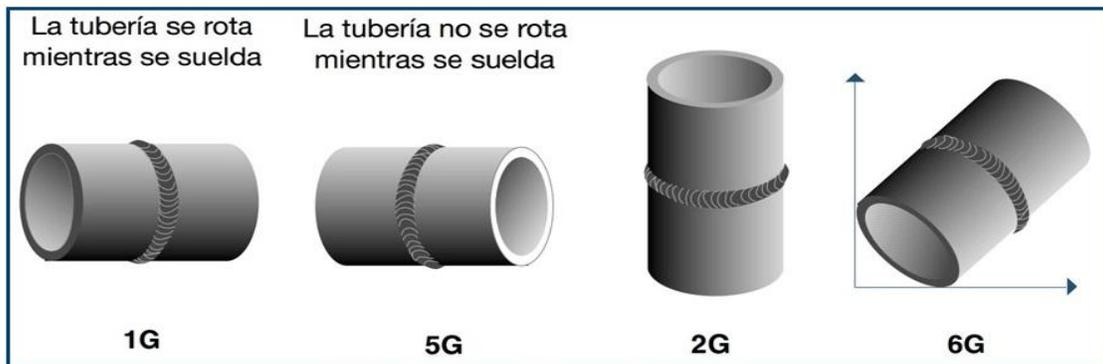


Figura 32. Posición de soldadura Uniones para tubería

1.11 SUB PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN DE SOLDADURA

1.11.1 Pase de raíz

Es el primer cordón que se realiza en una junta biselada con el fin de unir preliminarmente las piezas, este se hace con un electrodo penetrante (celulósico) y debe ser ejecutado por soldadores calificados para este procedimiento.

1.11.2 Pase limpieza con disco de tungsteno

Debido a las características del electrodo utilizado en el pase de raíz cuando se ha empleado SMAW se hace necesario retirar toda la escoria con pulidora manual y disco de tungsteno, este es el único pase en el cual se puede utilizar este disco ya que este por sus características abrasivas no solo arrastra la escoria si no también el material de aporte depositado en la unión.

Si un soldador se ve en la necesidad de repetir esta operación en los siguientes pases de manera continua, con el fin de retirar incrustaciones de escoria, se puede asumir sin lugar a duda que el soldador no se encuentra calificado para este procedimiento.

1.11.3 Pase en caliente

Este pase se realiza con un electrodo con el cual se piensa llenar el bisel, este debe hacerse con un amperaje que permita al electrodo ser bastante fluido, con el

fin de retirar toda escoria que no pueda ser observada a simple vista y aumentar el espesor de la capa anterior.

1.11.4 Pases de relleno

Es la serie de cordones que se hacen, con el fin de llenar el bisel con el material de aporte. Estos pases no deben presentar incrustaciones ni otro tipo de defectos.

1.11.5 Pase de presentación

Es el cordón o grupo de cordones que se realizan por encima de la rasante de la pieza soldada, la cual debe presentar un aspecto visual aceptable, además de cumplir con todas las especificaciones empleadas para esta junta.



Figura 33. Presentación del cordón de soldadura

1.12 SIMBOLOGÍA²

La soldadura por ser un procedimiento de fabricación mecánica requiere de medios para comunicar al soldador, por parte del diseñador el tipo de junta a emplear. The American Welding Society AWS ha preparado un sistema de símbolos de los tipos de uniones soldadas, los cuales sirven para indicar en los gráficos o planos las soldaduras que se requieran. En este trabajo se mostraran los símbolos e información que son aplicables directamente para la soldadura eléctrica por arco. A través de estos símbolos es posible determinar:

- ✓ La ubicación de la soldadura.
- ✓ El tamaño de la soldadura como es longitud del cordón, espesor útil y separaciones.

² AMERICAN WELDING SOCIETY. Standard Symbols for welding, brazing and nondestructive examination, Miami, 1993. (ANSI/AWS A2.4); INDURA S.A. Manual de sistemas y materiales de soldadura, Chile, 2013; SOLDEXA. Manual del soldador y catálogo de productos, Lima, 2008.

- ✓ Forma de la soldaduras y preparación de las piezas
- ✓ Información específico referente a las especificaciones individuales de cada soldadura.

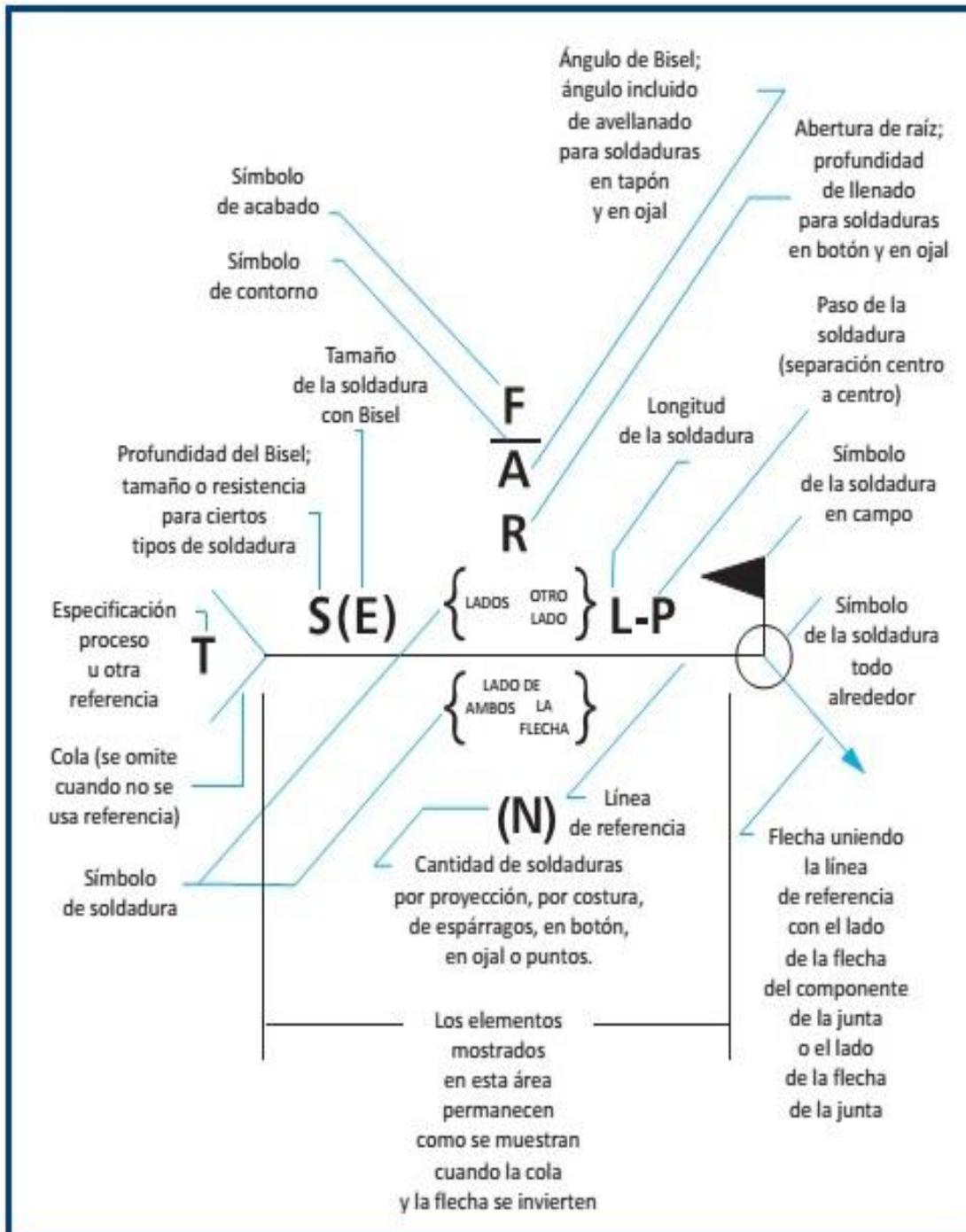


Figura 34. Forma básica del símbolo de soldadura

Notas.

- ✓ la flecha es una representación simbólica de eje de la soldadura en perfil.
- ✓ La cola de flecha es omitida en el caso de no tener especificaciones.

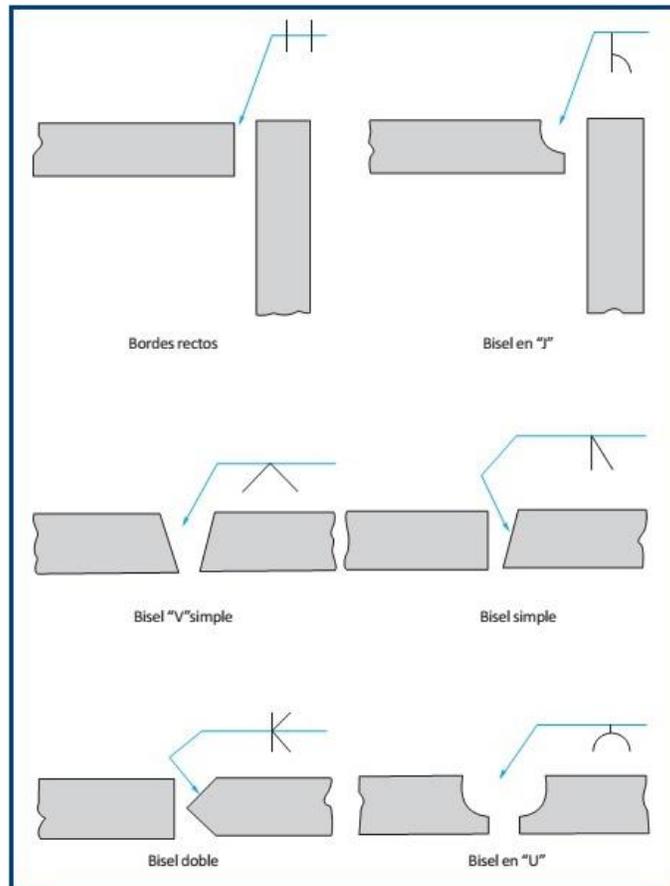


Figura 35. Representación de juntas o chaflanes

Tipos de soldadura							
RECTO	INCLINADO	V	1/2V	U	J	V ENSANCHADO	1/2V ENSANCHADO

Figura 36. Símbolos de soldadura de Arco y gas

1.13 DEFECTOS EN LA SOLDADURA Y CAUSAS POSIBLES

Las uniones soldadas, en las cuales no se ha tenido control de todas las variables implicadas en los procedimientos de soldadura (para este caso SWAM), están expuestas a uno o varios de los defectos que contribuyen a la baja calidad estructural de la junta soldada.

Se analizarán los defectos desde el punto de vista de la responsabilidad de cada variable dentro de un procedimiento de soldadura.

1.13.1 Defectos superficiales de la soldadura (*Inspección Visual*)

1.13.1.1 *Presentación defectuosa del cordón o cordones*

Este defecto es uno de los más comunes en soldaduras, en donde no se ha tenido en cuenta los procedimientos correctos para hacer una soldadura óptima, el cual presenta distorsiones de tamaño, forma y presentación del cordón de soldadura.

Causas:

Básicamente se puede afirmar que este defecto puede ser responsabilidad de la habilidad del soldador (personal de soldadura), ya que un soldador de buen nivel acorde al procedimiento que se lleva a cabo, está en la capacidad de advertir deficiencias en las características del equipo y electrodo.

- ✓ Deficiencia en la habilidad del soldador (personal de soldadura): incorrecta manipulación del electrodo durante su aplicación.
- ✓ Deficiencias en el equipo de soldar: se puede dar por un equipo de cuya capacidad de potencia y características no son acordes a la solicitada, conexiones defectuosas, amperaje, polaridad y tipo de corriente incorrectas.
- ✓ En el electrodo: electrodo defectuoso, dimensión excesiva comparada con el material base, húmedo y tipo de electrodo incorrecto.

Nota: Cuando se ha llevado un adecuado manejo durante todas las etapas pre, durante y pos aplicación de la soldadura como lo son: control de calidad de los electrodos, condiciones de almacenaje y mantención, de acuerdo a las especificaciones, cae la responsabilidad en la etapa de selección o calificación del soldador (personal de soldadura), ya que sus habilidades no están acorde al procedimiento solicitado.

Este defecto se puede encontrar tanto en la cara de la soldadura como en la raíz de la soldadura para juntas biselada.



Figura 37. Presentación defectuosos del cordón o cordones

1.13.1.2 Salpicaduras

Las salpicaduras son pequeñas gotas que caen a lo largo de la soldadura y franja de metal base adyacente al cordón, este defecto genera mala presentación y aumento en el costo de producción de la soldadura.

Causas:

Aplica 1.13.1.1 presentación defectuosa del cordón o cordones.

Nota: Para este caso no aplica la nota 1.13.1.1. Ya que una de las causas de la salpicadura en soldadura se debe al fenómeno conocido como soplo magnético.



Figura 38. Salpicadura debido al soplo magnético

El sopleo magnético es un fenómeno físico, que se origina en la soldadura cuando se utiliza corriente directa; consiste en el cambio de dirección incontrolada del arco de soldadura, el cual hace prácticamente imposible la correcta manipulación del arco para la aplicación de la soldadura. Este fenómeno puede ser corregido con la utilización de corriente alterna AC y/o la bifurcación de la masa.

Este defecto solo se presenta en la cara de la soldadura.

1.13.1.3 Socavamiento o mordeduras de borde

Este defecto de soldadura, consiste en pequeños canales que se encuentran entre el cordón de soldadura y el material base, el cual contribuye a la disminución de la resistencia a tracción de las piezas soldadas.

Causa:

- ✓ Deficiencia en la habilidad del soldador (personal de soldadura): incorrecta manipulación del electrodo durante su aplicación.
- ✓ En el electrodo: electrodo defectuoso, dimensión excesiva comparada con el material base y tipo de electrodo inadecuado.

Nota: Para este defecto, no se encuentra la capacidad del equipo como responsable de la falla; ya que unas de las variables que contribuye al socavamiento son: el alto amperaje, velocidad muy alta en la manipulación del electrodo y demasiado calor de fusión durante la aplicación de la soldadura, las cuales son variables que deben ser controladas por el soldador (personal de soldadura).

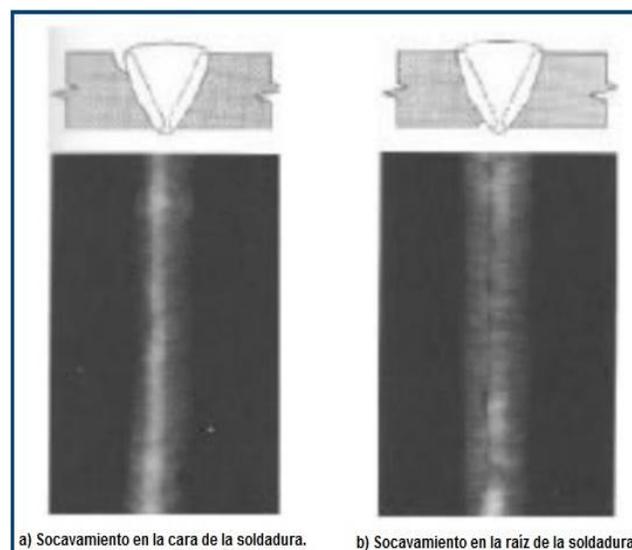


Figura 39. Socavamiento o mordeduras internas

De acuerdo con las normas ASME y API, si el socavamiento excede en 1/16 de la longitud del cordón y en el interior para una junta biselada a 2 pulgadas, o 1/16 del cordón interno, estas pegas debe ser rechazada.

1.13.1.4 Concavidad externa y concavidad interna

Este defecto puede encontrarse en la cara de la soldadura, en la raíz de la soldadura o en las dos. Este defecto contribuye a la reducción de la resistencia a tensión y al aumento de esfuerzos residuales, debido a que los materiales cuando se enfrían pierden volumen, lo cual genera tensiones residuales en la junta.

Causas:

- ✓ Deficiencia en la habilidad del soldador (personal de soldadura): incorrecta manipulación del electrodo durante su aplicación.
- ✓ En el electrodo: electrodo defectuoso, dimensión excesiva comparada con el material base y tipo de electrodo inadecuado.

Nota: Para este defecto, no se encuentra la capacidad del equipo como responsable de la falla; ya que unas de las variables que contribuye al socavamiento son: el alto amperaje, velocidad muy alta en la manipulación del electrodo y demasiado calor de fusión durante la aplicación de la soldadura, las cuales son variables que deben ser controladas por el soldador (personal de soldadura).

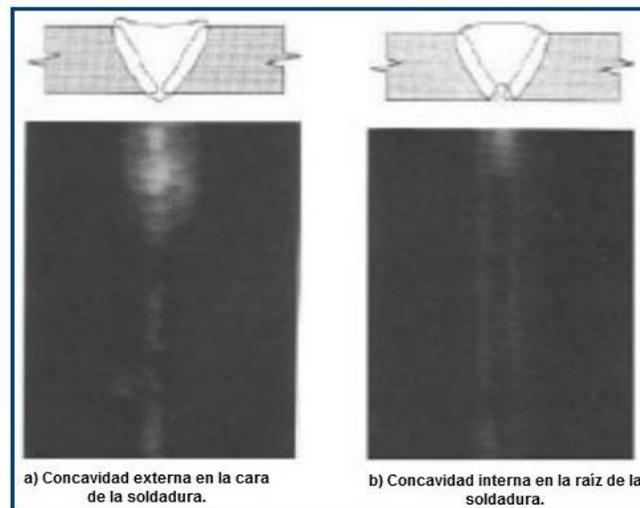


Figura 40. Concavidad externa y concavidad interna

1.13.1.5 Penetración deficiente del material de aporte

Este es un defecto, en el cual la junta no adquiere la resistencia esperada, ya que presenta vacíos en el cordón.

Causas:

Aplica: 1.13.1.1, más una variable que no se ha considerado anteriormente, como es el diseño de la junta, en la cual puede haber un ángulo de chaflán (ángulo de bisel), muy pequeños y/o un alto de raíz muy grande. Este defecto se puede considerar como responsabilidad de la experiencia del supervisor, el cual tiene como responsabilidad, llevar control de la preparación de la junta.

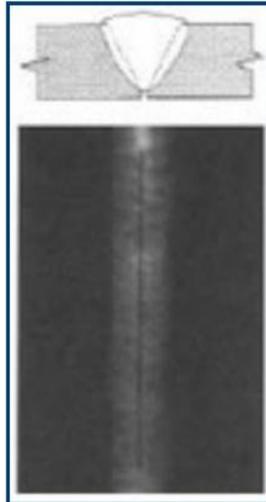


Figura 41. Penetración deficiente del material de aporte

1.13.1.6 Penetración excesiva del material de aporte en la raíz de la soldadura

Este defecto, es producto de gotas de gran tamaño de material de aporte, las cuales en algunos casos, pueden atrapar escoria, la cual en línea de conducción de gas o petróleo, pueden producir desgaste por erosión.

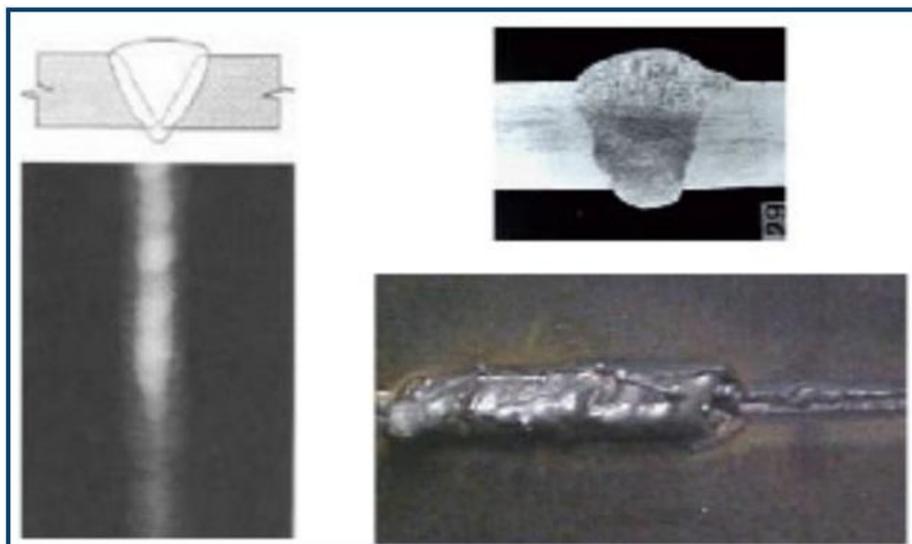


Figura 42. Penetración excesiva del material de aporte en la raíz de la soldadura

Causas:

- ✓ Mal manejo del electrodo durante su aplicación.
- ✓ Corriente eléctrica excesiva.
- ✓ Mal diseño de la junta.

1.13.1.7 Falta de fusión

Es uno de los defectos más graves, donde el material de aporte, no ha logrado una fusión completa con el material base, lo que afecta la resistencia de la soldadura; lo cual es difícil de observar en una inspección visual y claramente se muestra en el ensayo destructivo de dobles, en donde se realiza un doblado de la probeta, teniendo como eje de doblado el eje de la soldadura, cuando esta se dobla muestra un desgarramiento en límites del cordón extremo y el material de aporte.

Causas:

- ✓ Amperaje muy bajo.
- ✓ Orden de operación entre cordones inadecuado.
- ✓ Calentamiento desigual del material de aporte y el material base.
- ✓ Tipo de electrodo inadecuado.

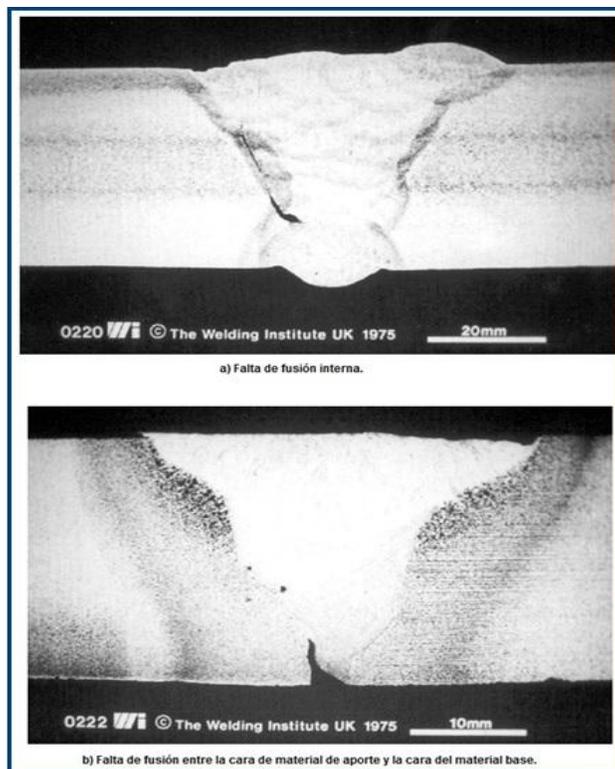


Figura 43. Falta de fusión

Nota: Este defecto es una discontinuidad que puede presentarse superficialmente e internamente.

1.13.1.8 Fisuras o grietas

Las fisuras o grietas pueden presentarse en la zona en el material aportado por la soldadura (fisuras o grietas de enfriamiento) y o en la ZAC (fisuras o grietas de licuación).

Es uno de los defectos más graves, porque claramente se puede observar, como la integridad de la soldadura ha sido afectada, lo cual se refleja en una considerable pérdida de resistencia en la soldadura.

ZAC: *Zona de afectación térmica.*

Al aplicar el arco de soldadura sobre una superficie, este aumenta la temperatura de forma elevada y a una velocidad muy corta; al enfriarse lo hace de manera rápida, lo cual genera un material cuyas características son diferentes, siendo necesario tener en cuenta durante el diseño, estas cargas producidas por el calor para la junta, selección del electrodo y procedimiento de aplicación.



Figura 44. Zona de afectación térmica ZAC

Causas:

- ✓ Mal diseño de la junta.
- ✓ Electrodo inadecuado.
- ✓ Falta de precalentamiento del material base.
- ✓ Procedimiento inadecuado de la soldadura.
- ✓ Mal manejo de los electrodos durante las etapas de almacenaje y mantención.

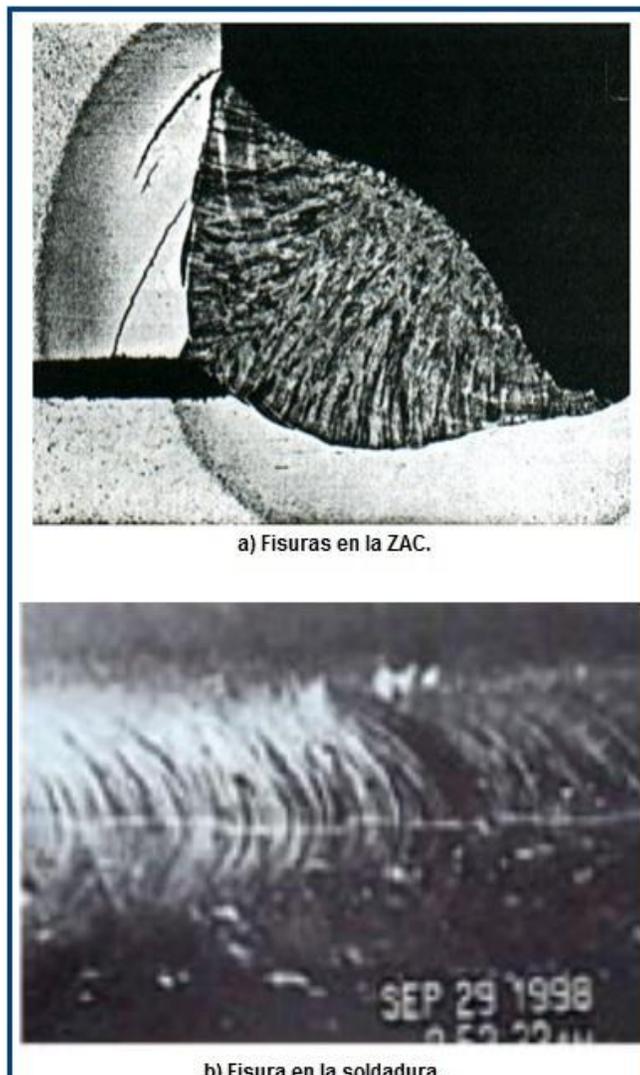


Figura 45. Fisuras o grietas

Nota: En esta falla no se puede considerar la habilidad del soldador (personal de soldadura), como el responsable de este resultado, ya que las variables que están relacionadas con este defecto son todas preliminares a la aplicación de la soldadura, como son: la mantención de los electrodos, el diseño de la junta y el proceso adecuado para realizar la junta.

1.13.1.9 Incrustaciones de escoria y porosidad

Las incrustaciones de escoria, son el defecto en el cual, queda atrapada escoria entre el material de aporte depositado en la soldadura.

La porosidad, es producida por sustancias que quedan atrapadas dentro de la soldadura, que pueden ser generadas por gases o sólidos.

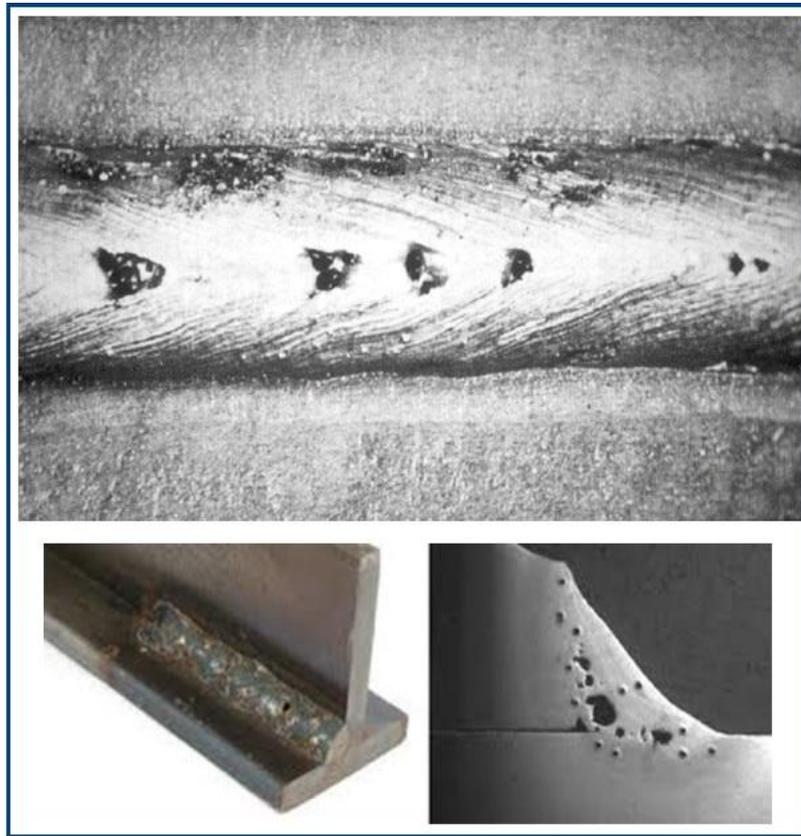


Figura 46. Incrustaciones de escoria y porosidad

Causas:

- ✓ Equipo de soldadura con potencia inferior a la solicitada.
- ✓ Electrodo inadecuado.
- ✓ Falla en el control de las etapas de almacenaje y mantención.
- ✓ Deficiencias en manejo del electrodo durante la aplicación.
- ✓ Falta de limpieza de la junta.

1.13.1.10 Defectos internos en la soldadura

En la soldadura también se presentan defectos, los cuales no son fáciles de detectar a simple vista, estos son:

- ✓ Falta de fusión.
- ✓ Fisuras o grietas.
- ✓ Incrustaciones de escoria.
- ✓ Falta de penetración.

1.13.1.11 Discrepancias dimensionales y de apariencia en la junta

Existen defectos en los cuales, la resistencia de la soldadura no ha sido afectada, pero afectan la funcionalidad de la junta como único elemento (una sola pieza).

Distorsión: Los metales al elevarse la temperatura, sufren cambios de volumen, los cuales al no haberse tenido en cuenta en el diseño del procedimiento, pueden generar deformaciones en las piezas

Desajuste: Es la falla que presenta la pieza terminada, cuando no se ha tenido un debido alineamiento y aseguramiento antes de ser soldadas.

Tamaño de las soldaduras: Esta se presenta, cuando en una junta se tienen diferentes tipos de unión.

Perfil de la soldadura: Cuando la soldadura no presenta defectos estructurales, pero las especificaciones con las que ha sido diseñada la junta, como son: concavidad, convexidad, longitud, ancho de cara, inclinación del filete, etc., no las cumple.

Nota: La salpicadura entra en este grupo ya que no es afectada su resistencia pero la misma puede ser indicadora de otros defectos ya que una de sus causas es el estado del electrodo.

1.14 FACTORES IMPORTANTES EN EL PROCESO DE LA SOLDADURA

Los factores importantes en el proceso de soldadura son los siguientes:

- ✓ **Longitud del arco eléctrico:** se define como la distancia entre la punta del electrodo y la pieza de metal a soldar. Se debe mantener una distancia correcta y lo más constante posible.
- ✓ **Ángulo del electrodo respecto a la pieza:** El electrodo debe mantenerse en un ángulo determinado respecto al plano de la soldadura. Este ángulo quedará definido según el tipo de costura a realizar, por las características del electrodo y por el tipo de material a soldar.
- ✓ **Velocidad de avance:** Se debe procurar una velocidad de avance constante y correcto, con el fin de obtener una pasada pareja. Con velocidad excesiva, la costura quedará muy débil, y si es muy lenta, se cargará demasiado material de aporte.
- ✓ **Corriente eléctrica:** Este es un indicador directo de la temperatura que se producirá en el arco eléctrico. A mayor corriente, mayor temperatura. Si no es aplicada la corriente apropiada, se trabajará fuera de temperatura. Si no se alcanza la temperatura ideal (por debajo), el aspecto de la costura puede ser bueno pero con falta de penetración. Por el contrario, si se trabaja con una

corriente demasiado elevada, provocará una temperatura superior a la óptima de trabajo, produciendo una costura deficiente con porosidad, grietas y salpicaduras de metal fundido.

Para formar el arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza, se utilizan dos métodos, el de raspado o rayado y el de golpeado. El de rayado consiste en raspar el electrodo contra la pieza metálica ya conectada al potencial eléctrico del equipo de soldadura (pinza de tierra conectada). El método de golpeado es, como lo indica su denominación, dar golpes suaves con la punta del electrodo sobre la pieza en sentido vertical. En ambos casos, se formará el arco cuando al bajar el electrodo contra la pieza, se produzca un destello lumínico. Una vez conseguido el arco, deberá alejarse el electrodo de la pieza unos 6 mm para así poder mantenerlo. Luego disminuir la distancia a 3 mm (distancia correcta para soldar) y realizar la soldadura. Si el electrodo no se aleja lo suficiente, se fundirá con la pieza, quedando pegado a ella. Ahora se explicará cómo realizar costuras, ya que resultan básicas e imprescindibles en la mayor parte de las operaciones de soldadura. Los pasos a seguir son los siguientes:

- ✓ Ubicar firmemente las piezas a soldar en la posición correcta.
- ✓ Tener a mano varios electrodos para soldar. Colocar uno en el porta electrodo.
- ✓ Colocarse la ropa y el equipo de protección.
- ✓ Regular el amperaje correcto en el equipo de soldadura y encenderlo.
- ✓ Ubicarse en la posición de soldadura correcta e inicie el arco.
- ✓ Mover el electrodo en una dirección manteniendo el ángulo y la distancia a la pieza.
- ✓ Se notará que conforme avance la soldadura, el electrodo se irá consumiendo, acortándose su longitud. Para compensarlo, se deberá ir bajando en forma paulatina la mano que sostenga el porta electrodo, manteniendo la distancia a la pieza.
- ✓ Tratar de mantener una velocidad de traslación uniforme. Si se avanza muy rápido, se tendrá una soldadura estrecha. Si se avanza muy lento, se depositará demasiado material.

Resulta necesario realizar la máxima práctica posible sobre las técnicas de costuras o cordones. Una forma de autoevaluar si se consiguió tener un dominio del sistema de soldadura es realizar costuras paralelas sobre una chapa metálica. Si se obtienen costuras rectas que conserven el paralelismo sin realizar trazados previos sobre la chapa, se puede

decir que ya se ha conseguido un avance apreciable sobre este tema. Se debe tener un total dominio de las costuras paralelas para poder realizar trabajos de relleno, reconstrucción etc.

Cuando se aporta metal aplicando el sistema de arco protegido, resulta común querer realizar una soldadura más ancha que un simple cordón (sólo movimiento de traslación del electrodo). Para ello, se le agrega al movimiento de avance del electrodo (movimiento de traslación) un movimiento lateral (movimiento oscilatorio).

Existen varios tipos de oscilaciones laterales. Cualquiera que sea el movimiento elegido o aplicado, deberá ser uniforme para conseguir con ello una costura cerrada, y así facilitar el desprendimiento de la escoria una vez finalizada la soldadura.

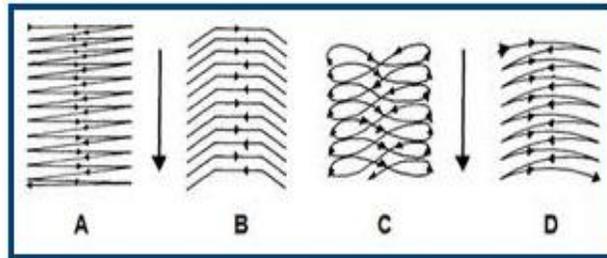


Figura 47. Tipos de oscilaciones laterales

En la figura a continuación se detallan los cuatro movimientos clásicos. De los movimientos ilustrados, el de aplicación más común es el mencionado con la letra A, aunque los movimientos C y D resultan más efectivos para realizar soldaduras en metales de mayor espesor. También se observan varias pruebas de soldadura realizadas con distintas corrientes y velocidades de avance. En ella, se puede clasificar a las soldaduras de la siguiente manera:

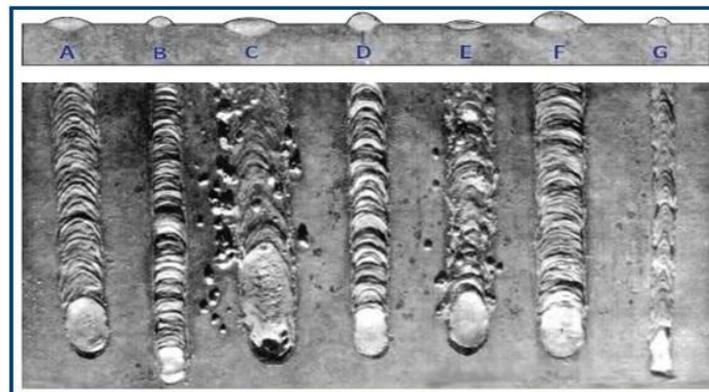


Figura 48. Tipos de costura (The lincoln electric co.)

- A.** Costura correcta con amperaje y velocidad adecuados.
- B.** Costura aceptable con amperaje muy bajo.
- C.** Costura deficiente por amperaje muy elevado.
- D.** Costura aceptable con amperaje muy bajo, ocasionando demasiado aporte metálico.
- E.** Costura deficiente con corriente inadecuada.
- F.** Costura correcta con muy poca velocidad de avance. Observar que la costura está muy ancha y muy alta.
- G.** Costura deficiente con corriente adecuada pero con velocidad de avance muy elevada.

1.15 PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA

En la fabricación de cualquier producto soldado, suelen utilizarse procedimientos de control para determinar la calidad de la soldadura. La naturaleza del procedimiento depende, en gran medida, de los requerimientos que deba satisfacer el producto terminado. Para esto, se han desarrollado diversos tipos de ensayos, estos pueden clasificarse en 2 grupos: ensayos destructivos y ensayos no destructivos.

1.15.1.1 Procedimientos no destructivos

Estos ensayos, son aquellos que buscan determinar la calidad de la soldadura aplicada, sin tener que recurrir a tomar muestras (probetas) para su ensayo. Entre estos ensayos se encuentran los siguientes:

Inspección visual: La inspección visual consiste en examinar la soldadura, bien sea directamente o ayudándose de una lupa. Este procedimiento se aplica con el fin de determinar que la integridad mecánica en la soldadura cumpla con sus especificaciones, este procedimiento no puede ser la última barrera de control para aprobar o rechazar soldaduras, ya que en este procedimiento solo podemos encontrar defectos tales como:

- ✓ Mala presentación del cordón o cordones.
- ✓ Salpicaduras.
- ✓ Socavamiento o mordeduras de borde.
- ✓ Concavidad externa y si es posible concavidad interna.
- ✓ Penetración excesiva del material de aporte en la raíz de la soldadura si se permite.

- ✓ Grietas superficiales y de tamaño apreciable.
- ✓ Incrustaciones de escoria superficiales.

El método de inspección visual es el ensayo no destructivo más ampliamente utilizado, el más fácil de aplicar, dando resultados rápidos y normalmente tiene un costo económico.

Las normas más comúnmente utilizadas para este procedimiento son: ASME Secc. V, AWS D1.5, AWS D1.1.



Figura 49. Inspección visual de soldadura

Inspección por procedimientos de tintas penetrantes: Es la que se realiza con líquidos; los cuales penetran por las fisuras y poros, discontinuidades que por lo general se pueden encontrar en las soldaduras de adentro así afuera; lo que permite una mayor valoración de la integridad de la soldadura.

Es un método relativamente barato ya que no requiere mayor equipo.

Este procedimiento es muy simple, ya que es solo la aplicación de un líquido penetrante, el cual por la propiedad de capilaridad entra entre las fisuras y queda atrapado entre ellas; después se procede a limpiar la superficie de la soldadura hasta su total limpieza y por último se aplica un líquido revelador, el cual tiene como propósito absorber el líquido penetrante, dejando a la vista las fallas que pueden tener las soldaduras.

Estos líquidos se pueden encontrar en dos clases: líquidos penetrantes fluorescentes y líquidos penetrantes visibles.



Figura 50. Inspección por procedimientos de tinta penetrantes

Algunas normas utilizadas para este procedimiento son ASME Sección V, ASME E-165, AWS D1.1.

Inspección por radiografía: Este es uno de los procedimientos más completos a la hora de tener resultados, ya que permite encontrar defectos en las soldaduras, convirtiéndolo en uno de los mejores métodos, al cual no se le escapa nada. Con este método se puede detectar discontinuidades en las uniones soldadas tales como: grietas, falta de fusión, porosidades, inclusiones de escorias, entre otras; las cuales se califican de acuerdo a las especificaciones del código correspondiente.

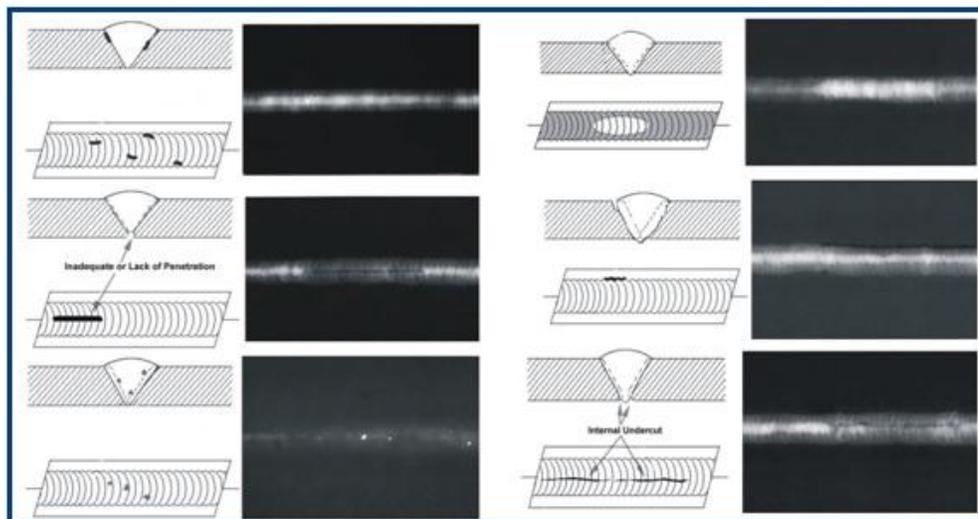


Figura 51. Inspección por radiografía

Normas más utilizadas para este procedimiento. ASME Sección V, AWS D1.1, AWS D1.5 y API 1104.

Costo aproximado de una radiografía es de \$50000 pesos para una pega de 6”.

Inspección por ultrasonido: Consiste en emitir sonido a alta frecuencia en la pieza que se desea analizar. Se aplica con la finalidad de detectar discontinuidades internas y superficiales de la pieza. Es utilizado en materiales ferrosos y no ferrosos; tiene la ventaja de ser un ensayo de alto poder de penetración, el cual permite detección de discontinuidades en grandes espesores y discontinuidades sumamente pequeñas. La portabilidad del equipo permite una mayor capacidad para trabajar en diferentes piezas soldadas.



Figura 52. Inspección por ultrasonido

1.15.2 Ensayos destructivos

Para los ensayos destructivos, se utilizan pequeñas muestras de la estructura soldada las cuales son llamadas probetas, que se someten a cargas crecientes hasta producir la rotura. Los ensayos más frecuentes son:

Ensayo mecánico de tracción



Figura 53. Máquina Universal (Universidad del Cauca)

Uno de los ensayos mecánicos tensión-deformación más común es el realizado a tracción. El ensayo de tracción puede ser utilizado para determinar varias propiedades de los materiales.

Mediante una máquina se deforma una muestra o probeta del material a estudiar, aplicando la fuerza axial en el sentido del eje de la muestra, a medida que se está deformando la muestra, se va registrando la fuerza (carga), llegando generalmente hasta la fractura de la pieza, así pues, el resultado inmediato es una curva de carga frente a alargamiento, que transformados en tensión y deformación, en función de la geometría de la probeta ensayada, aportan una información más general del comportamiento estructural de esta.

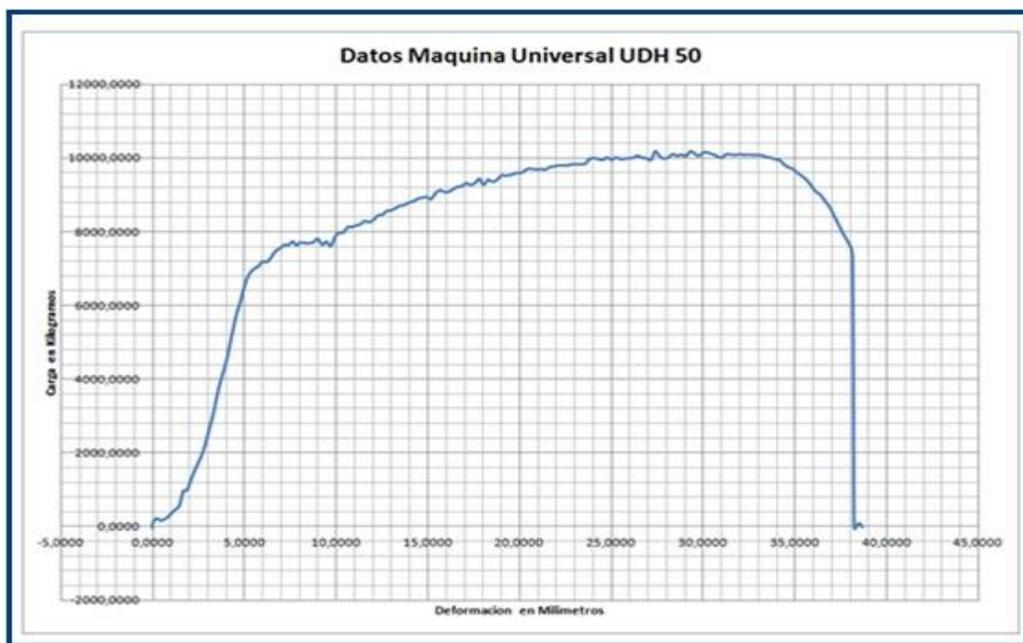


Figura 54. Diagrama de esfuerzo VS deformación

En la calificación de procedimientos de soldadura, el objeto de este procedimiento es el de verificar el comportamiento de la unión soldada con respecto al material base, teniendo que ser este comportamiento igual o mejor que el metal base.

En cuanto al equipo de ensayo, este deberá estar debidamente calibrado, de lo contrario, obviamente, los resultados obtenidos no tienen ninguna validez.

Este ensayo es realmente importante en la evaluación de materiales, ya que se determina su resistencia a la tensión. El ensayo se efectúa en probetas preparadas de acuerdo a la especificación (ASTM).

Las unidades en que se expresa los valores obtenidos en este ensayo son las siguientes:

Tabla 9. Unidades ensayo de tracción

Característica	Unidad
Resistencia máxima a la tensión (Esfuerzo máximo)	Kg/mm ² , N/mm ² , Lb/pulg ²
Esfuerzo de cadencia	Kg/mm ² , N/mm ² , Lb/pulg ²
Elongación	%
Reducción en área	%
Fuente: Elaboración Propia	

Ensayo de dureza: El ensayo de dureza determina la resistencia que oponen los materiales a ser penetrados o rayados por cuerpos más duros. En las uniones soldadas, se determina la dureza en la mayoría de los casos en la zona afectada por el calor (ZAC), para evitar riesgos de fisuraciones generadas por las altas temperaturas que se dan y por los enfriamientos rápidos que puedan ocurrir; es por esto que se realizan los ensayos de dureza en la zona más frágil o crítica, con el fin de poder programar los correspondientes controles teniendo como uno de los más usados el precalentamiento de las piezas.

Impacto charpy: El Impacto Charpy, consiste en determinar el comportamiento de los materiales bajo impacto, al golpear con una masa de valor conocido y una probeta previamente preparada y ubicada en el soporte de la máquina de ensayo. Este ensayo permite conocer cuál podría ser el comportamiento de los materiales, cuando están sometidos a condiciones extremas de servicio.

Ensayo de rotura Nick: El ensayo de ruptura Nick es utilizado y definido por el standard API 1104, permite verificar la sanidad de una unión soldada. En este ensayo la probeta se debe someter a una carga, de tal manera que se fracture y el área expuesta a examinar no deberá ser inferior a 19 mm. Las superficies expuestas de cada testigo de ensayo de ruptura de Nick deben mostrar penetración completa y completa fusión.

1.16 NORMAS APLICADAS A LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA³

1.16.1 AWS

La Sociedad Americana de Soldadura, ofrece más de 200 normas de soldadura que se utilizan en todo el mundo en incontables industrias. Las normas de la AWS

³INDURA S.A. Manual de sistemas y materiales de soldadura, Santiago de Chile, 2013

son seguras y obligatorias, debido a que son creadas por comités de profesionales en soldadura voluntarios, bajo la autoridad de la American National Standards Institute o Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI, por sus siglas en inglés).



Figura 55. Código de soldadura estructural AWS.

El proceso de consenso para escribir y revisar las normas de la AWS, requiere que los comités de normas tengan una membresía balanceada que represente a los fabricantes de equipos, usuarios finales, consultores e investigadores. El resultado ha sido una amplia biblioteca de normas, que se ha probado, proveen resultados de alta calidad, con requisitos que tienen sentido en el mundo real.

Código ANSI/AWS D1.1 de Soldadura Estructural -Acero

Este Código cubre los requisitos aplicables a estructuras de acero al carbono y de baja aleación. Está previsto para ser empleado conjuntamente con cualquier código o especificación que complemente el diseño y construcción de estructuras de acero. Quedan fuera de su alcance los recipientes y tuberías a presión, metales base de espesores menores a 1/8" (3.2 mm), metales base diferentes a los aceros al carbono y de baja aleación y los aceros con un límite de fluencia mínimo mayor a 100,000 lb/pulg² (690 MPa).

Código para Soldadura de Puentes ANSI/ASHTO/AWS D1.5

Esta norma cubre los requisitos de fabricación por medio de soldadura aplicables a los puentes de carreteras, y debe ser usado conjuntamente con la especificación

estándar para puentes de carreteras AASHTO o la especificación AASHTO para el diseño de puentes.

1.16.2 ASME

ASME son las siglas reconocidas internacionalmente para la soldadura “American Society of Mechanical Engineers”.

ASME Internacional, es una asociación que fue fundada en 1880 por un grupo de ingenieros mecánicos. Desde 1909 ASME estableció sus actividades de investigación en áreas como tablas de vapor, propiedades de los gases, el efecto de la temperatura en la resistencia de materiales, medidores de flujo, etc.

El código aplicable a la construcción de tanques y recipientes de presión es él: “ASME Boiler and Pressure Vessel – Code Reference”. Este código está dividido en 11 secciones identificadas con números romanos. De interés es la sección IX llamada “Welding and Brazing Qualification” donde se describen los requerimientos para la calificación de los procedimientos de soldadura y soldadores que se utilizarán en la construcción de tanque y recipientes de presión.

la Sección B31.4, “Sistemas de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas Líquido de Petróleo, Amoniaco Anhidro y Alcoholes “ Esta sección prescribe requisitos para tubería que transporta líquidos tales como petróleo crudo, condensados, gasolina natural, líquidos de gas natural, gas licuado de petróleo, alcohol líquido, amoniaco anhidro líquido y productos líquidos de petróleo, entre las instalaciones de contratación de los productores, conjuntos de tanques, plantas de procesamiento de gas natural, refinerías, estaciones, plantas de amoniaco, terminales (marinas, de ferrocarril y de autocamiones) y otros puntos de entrega y recepción.

1.16.3 API

El American Petroleum Institute, conocido comúnmente como API, en español Instituto Americano del Petróleo, es la principal asociación comercial de los EE. UU, representando cerca de 400 corporaciones implicadas en la producción, el refinamiento, la distribución, y muchos otros aspectos de la industria del petróleo y del gas natural. Esta asociación se refiere a menudo como AOI (en inglés, The American Oil Industry) o industria de petróleo americana. Las principales funciones de la asociación a nombre de la industria incluyen la defensa, negociación con las

agencias gubernamentales, asuntos legales, y negociación con organismos reguladores; investigación de efectos económicos, toxicológicos, y ambientales; establecimiento y certificación de los estándares de la industria, y programas de acercamiento a la comunidad a través de la educación.

La Norma API 1104 para Líneas de tubería e Instalaciones Relacionadas.

Esta norma aplica a la soldadura por arco y por oxígeno de tubería empleada en la compresión, bombeo y transmisión de petróleo crudo, productos del, petróleo y gases combustibles, y también para los sistemas de distribución cuando esto es aplicable. Presenta métodos para la producción de soldaduras aceptables realizadas por soldadores calificados que usan procedimientos y equipo de soldadura y materiales aprobados. También presenta métodos para la producción de radiografías adecuadas, realizadas por técnicos que empleen procedimientos y equipos aprobados, a fin de asegurar un análisis adecuado de la calidad de la soldadura. También incluye los estándares de aceptabilidad y reparación para defectos de soldadura.

2. EL ACERO

El acero es uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, adaptable y ampliamente usado; a un precio relativamente bajo, el acero combina la resistencia y la posibilidad de ser trabajado, lo que se presta para fabricaciones mediante muchos métodos. Además, sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas, mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico, o mediante aleaciones.

2.1 ACERO ESTRUCTURAL

Desarrollado especialmente para la construcción gracias a sus propiedades mecánicas y químicas, el acero estructural es el resultado de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos como: silicio, fósforo, azufre y oxígeno; que le contribuyen características específicas, las cuales dependen de la cantidad de carbono (alrededor de 0,05% hasta no menos de un 2%) y otros elementos utilizados en el proceso de producción; como níquel, titanio, wolframio⁴, cromo, o vanadio⁵, entre otros.

2.1.1 Clasificación del acero

La composición química del acero es de suma importancia en sus efectos sobre sus propiedades tales como la soldabilidad, la resistencia a la corrosión, la resistencia a la fractura, etc.

Los aceros se clasifican en cinco grupos principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistente y aceros inoxidables.

2.1.1.1 Aceros al carbono

El 90% de los aceros son aceros al carbono. Estos aceros tienen como principal elemento de resistencia al carbono y al manganeso en cantidades cuidadosamente dosificadas. Estos aceros contienen los siguientes elementos con cantidades máximas de: 1,7% de carbono; 1,65% de manganeso; un 0,6% de

⁴ El wolframio o wolframio (W), también llamado tungsteno, es un elemento químico de número atómico 74, se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de óxido y de sales en ciertos minerales. Es de color gris, muy duro y denso.

⁵ El vanadio (V) es un elemento químico de número atómico 23 situado en el grupo 5 de la tabla periódica de los elementos. Es un metal dúctil, blando y poco abundante. Se encuentra en distintos minerales y se emplea principalmente en algunas aleaciones.

silicio y un 0,6% de cobre. Con este tipo de acero se fabrican máquinas, carrocerías de automóviles, estructuras de construcción, etc.

Estos aceros se dividen en cuatro categorías dependiendo del porcentaje de carbono, las cuales son:

- ✓ Acero de bajo contenido de carbono < 0,15%
- ✓ Acero dulce al carbono 0,15 a 0,29% (El acero estructural al carbono queda dentro de esta categoría)
- ✓ Acero medio al carbono 0,30 a 0,59%
- ✓ Acero con alto contenido de carbono 0,60 a 1,70%

2.1.1.2 Aceros de baja aleación ultra resistentes

Es la familia de aceros más reciente de las cinco. Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales, debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono.

Estos aceros obtienen sus altas resistencias y otras propiedades por la adición, aparte del carbono y manganeso, de uno o más agentes aleantes como columbio⁶, vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros. Se incluye aceros con esfuerzo de fluencia comprendidos entre 40Ksi y 70Ksi. Estos aceros generalmente tienen mucha mayor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros al carbono.

La palabra baja aleación se usa para describir arbitrariamente aceros en los que el total de elementos aleantes no excede el 5% de la composición total.

Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios.

2.1.1.3 Aceros aleados

Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio, molibdeno⁷ y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso,

⁶ El niobio o columbio (Nb) es un elemento químico de número atómico 41 situado en el grupo 5 de la tabla periódica de los elementos. Es un metal de transición dúctil, gris, blando y poco abundante. Se encuentra en el mineral niobita, también llamado columbita, y se utiliza en aleaciones.

⁷ El Molibdeno (Mo) es un elemento químico de número atómico 42. Es un elemento esencial desde el punto de vista biológico y se utiliza sobre todo en aceros aleados. No se produce como el metal libre en la naturaleza, sino en varios estados de oxidación en los minerales.

silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc.

2.1.1.4 Aceros inoxidables

Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidables son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se usa para la fabricación de útiles de cocina.

2.1.2 Acero de refuerzo para concreto reforzado

El acero de refuerzo es el alma de cualquier elemento estructural, absorbe todos los esfuerzos de tensión provocados por las cargas, también se utiliza para recibir la compresión en vigas y columnas y permitir el uso de elementos más pequeños; así mismo sirve para otros fines. Controla las deformaciones debidas a la temperatura y a la contracción y distribuye la carga al concreto y al resto del acero de refuerzo. Puede utilizarse para pre-esforzar el concreto y sirve para amarrar entre sí a otros refuerzos para facilitar el colado o resistir esfuerzos laterales.

- ✓ En tracción resiste(100-150) veces más lo que resiste el concreto
- ✓ En compresión resiste (10-12) veces más lo que resiste el concreto

2.1.2.1 Etapas del comportamiento del acero

El ensayo de tracción como se explicó anteriormente, consiste en aplicar una carga axial estática monotónica con crecimiento gradual, a una varilla de acero hasta que se logre la rotura de la misma, la cual no se produce en el punto de carga máxima, sino cuando la sección de estas se reduce hasta un punto débil de rotura.

A continuación se muestra la curva representativa de esfuerzo – deformación que se obtiene al someter una barra de acero al ensayo de tracción, donde f_y , f_{su} , f_{suu} son los esfuerzos de fluencia, máximos y el asociado a la fractura respectivamente. ϵ_y , ϵ_{sh} , ϵ_{su} y ϵ_{suu} son las deformaciones de fluencia, la del inicio de la zona de endurecimiento por deformación, la última y la asociada a la fractura de la barra, respectivamente.

Módulo de elasticidad (E_s) Corresponde a la relación entre el esfuerzo de tracción o de compresión y a la deformación unitaria que este produce. Según el reglamento NSR – 10, el modulo de elasticidad, E_s , para acero de refuerzo no pre-esforzado se puede tomar como: $E_s = 200000 \text{ Mpa}$

Etapas de comportamiento plástico Tramo B-C: El punto B fue el último punto al campo elástico pero a su vez es el punto en cual el acero inicia su fluencia (Incremento en la deformación sin incrementar la carga).

A mayor resistencia del concreto (mayor f_y), la zona de fluencia disminuye; aceros de grado superior la zona de fluencia se reduce.

Etapas de endurecimiento Tramo C-D-E: Inicia una recuperación por alargamiento, hasta llegar al punto máximo, luego sufre deterioro y desciende hasta llegar a la rotura.

La máxima resistencia utilizables del acero en estructuras de concreto reforzado es su f_y .

2.1.2.2 Presentación del acero de refuerzo

La mayoría de los refuerzos son en forma de varillas o de alambres. Sus superficies pueden ser lisas o corrugadas. Este último tipo es de empleo más general, porque produce mejor adherencia con el concreto debido a las rugosidades y salientes de la varilla.



Figura 57. Acero de refuerzo

2.1.2.3 Barras de acero estructural corrugado

Las barras de acero para uso como parte del concreto reforzado dentro de la industria de la construcción, provienen del proceso de laminado en caliente. Poseen corrugas o resaltes que mejoran considerablemente la adherencia al concreto cuya configuración se encuentra normalizada. Su ductilidad permite la disipación de la energía de deformación, con lo cual se consigue que el reforzamiento de las edificaciones resulte más económico y sobre todo más seguro.

En Colombia el acero de refuerzo se comercializa en barras corrugadas, particularmente para las barras de acero corrugado existen unas especificaciones establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, el cual formula las características y propiedades que ha de tener este material estructural para uso en Colombia. La NTC 2289 se aplica a las barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, rectas o en rollos. Esta norma es homologable con la Norma internacional Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement ASTM A 706.

Según la norma colombiana, las barras corrugadas para refuerzo están comercializadas en longitudes de 6 , 9 y 12 metros; las cuales deben estar bien marcadas e identificadas con grabas de laminación en alto relieve, que indica el fabricante, el diámetro, el grado del acero y la soldabilidad.

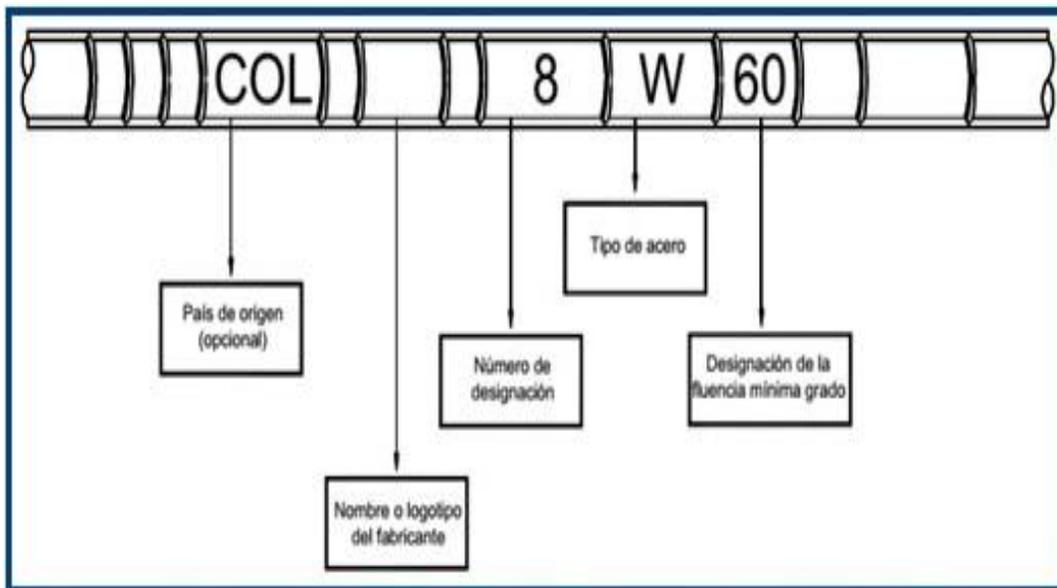


Figura 58. Presentación e identificación de las barras de acero corrugada para refuerzo

Grado: internacionalmente los aceros se reconocen por su f_y (Esfuerzo de fluencia), el grado indica el numero de $\frac{\text{Klb}}{\text{Pulg}^2}$ de f_y .

- ✓ Grado 90 dice que su $f_y = 90000 \text{ Psi} = 630 \text{ Mpa}$
- ✓ Grado 75 dice que su $f_y = 75000 \text{ Psi} = 525 \text{ Mpa}$
- ✓ Grado 60 dice que su $f_y = 60000 \text{ Psi} = 420 \text{ Mpa}$
- ✓ Grado 40 dice que su $f_y = 40000 \text{ Psi} = 280 \text{ Mpa}$

En Colombia los aceros mas utilizados el de Grado 60 corrugado.

El acero de refuerzo viene en barras circulares, se identifican por el numero de octavos de pulgada que tenga su diámetro , a continuación se presenta los diferentes diámetros:

Tabla 10. Número de designación de las barras corrugadas y rollos, peso (masa) nominal, dimensiones nominales y requisitos de los resaltes

Número de designación de la barra	Peso (masa) nominal lb/pie (kg/m)	Dimensiones nominales ^B			Requisitos de los resaltes, pulgadas (mm)		
		Diámetro pulgada (mm)	Área de la sección transversal pulgadas ² (mm ²)	Perímetro pulgadas (mm)	Promedio máximo del espaciamiento	Promedio mínimo de altura	Separación entre los extremos de los resaltes (máximo 12,5 % del perímetro nominal)
2	0,167 (0,249)	0,250 (6,35)	0,049 (31,67)	0,785 (19,95)	0,175 (4,45)	0,010 (0,25)	0,098 (2,49)
3	0,376 (0,560)	0,375 (9,5)	0,11 (71)	1,178 (29,9)	0,262 (6,7)	0,015 (0,38)	0,143 (3,6)
4	0,668 (0,994)	0,500 (12,7)	0,20 (129)	1,571 (39,9)	0,350 (8,9)	0,020 (0,51)	0,191 (4,9)
5	1,043 (1,552)	0,625 (15,9)	0,31 (199)	1,963 (49,9)	0,437 (11,1)	0,028 (0,71)	0,239 (6,1)
6	1,502 (2,235)	0,750 (19,1)	0,44 (284)	2,356 (59,8)	0,525 (13,3)	0,038 (0,97)	0,286 (7,3)
7	2,044 (3,042)	0,875 (22,2)	0,60 (387)	2,749 (69,8)	0,612 (15,5)	0,044 (1,12)	0,334 (8,5)
8	2,670 (3,973)	1,000 (25,4)	0,79 (510)	3,142 (79,8)	0,700 (17,8)	0,050 (1,27)	0,383 (9,7)
9	3,400 (5,060)	1,128 (28,7)	1,00 (645)	3,544 (90,0)	0,790 (20,1)	0,056 (1,42)	0,431 (10,9)
10	4,303 (6,404)	1,270 (32,3)	1,27 (819)	3,990 (101,3)	0,889 (22,6)	0,064 (1,63)	0,487 (12,4)
11	5,313 (7,907)	1,410 (35,8)	1,56 (1006)	4,430 (112,5)	0,987 (25,1)	0,071 (1,80)	0,540 (13,7)
14	7,65 (11,38)	1,693 (43,0)	2,25 (1452)	5,32 (135,1)	1,185 (30,1)	0,085 (2,16)	0,648 (16,5)
18	13,60 (20,24)	2,257 (57,3)	4,00 (2581)	7,09 (180,1)	1,58 (40,1)	0,102 (2,59)	0,864 (21,9)

^A Los números de las barras están basados en octavos de pulgada y corresponden al diámetro nominal de las barras.

^B Las dimensiones nominales de las barras corrugadas son equivalentes a las de las barras lisas que tengan el mismo peso (masa) nominal por pie (metro) de longitud.

NOTA 1 Para otros diámetros véase la Tabla A.1.

NOTA 2 La barra número 9 tiene un área de sección transversal equivalente al área de la sección transversal de un

Tabla 10. (Continuación)

cuadrado de 1 pulgada; número 10, al área de la sección transversal de un cuadrado de $1 \frac{1}{8}$ de pulgada; número 11, al área de la sección transversal de un cuadrado de $1 \frac{1}{4}$ de pulgada; número 14, al área de la sección transversal de un cuadrado de $1 \frac{1}{2}$ de pulgada y la número 18, al área de la sección transversal de un cuadrado de 2 pulgadas.

Fuente: Tomado de la Norma técnica colombiana NTC 2289 pag. 4

Para este estudio se utilizaron barras corrugadas PDR 60, ya que estas son de uso más frecuente en el país como refuerzo en concreto reforzado.

2.1.2.4 Propiedades mecánicas “Barras de acero corrugado PDR 60”

La especificación de las barras según la Norma Colombiana NTC 2289 (ATM A706), determina las propiedades mecánicas y proporciona la relación tracción-fluencia deseada en la aplicación de propiedades de tracción controlada.

A continuación se presentan las propiedades mecánicas establecidas:

Tabla 11. Propiedades mecánicas del acero corrugado PDR 60

Resistencia a la tracción mínima psi (Mpa)	80000(550) ^A
Resistencia a la fluencia mínima psi (Mpa)	60000 (420)
Resistencia a la fluencia máxima psi (Mpa)	78000 (540)
Alargamiento mínimo de 8 pulgadas para el sistema inglés ó 200 mm para sistema internacional (SI)	
Numero de designación de las barras	%
2, 3, 4, 5, 6	14
7, 8, 9, 10, 11	12
14, 18	10
^A La resistencia a la tracción debe ser igual o mayor a 1,25 veces la resistencia mínima a la fluencia	
Fuente: Tomado de la norma colombiana NTC 2289 pág. 4	

2.1.3 Soldabilidad del acero de corrugado PDR 60

El contenido de carbono es relevante para lograr que la región soldada sea más resistente que el metal base. En los aceros con menos del 0,25% de carbono, esta condición se logra por el bajo contenido de carbono.

Durante el proceso de soldadura, el metal base adyacente a la soldadura se calienta, provocando cambios en la micro estructura del acero, que al enfriarse puede llevar a la creación de nuevas estructuras con propiedades mecánicas diferentes del metal base. Como los aceros de bajo carbono tienen una baja templeabilidad, rara vez aumentan su dureza en el proceso de soldadura.

Los problemas de poca soldabilidad generalmente aparecen en los aceros con un contenido de carbono mayor a 0,45%, ya que en este caso se requiere

generalmente un precalentamiento para reducir los efectos provocados por el calor en las propiedades mecánicas del acero.

La norma NTC 2289 determina la composición química y el carbono equivalente, para garantizar la soldabilidad del material, el análisis químico de cada colada se debe realizar de acuerdo a la norma ASTM A751; se debe efectuar un análisis a partir de muestras, determinando así el porcentajes de carbono, manganeso, fósforo, azufre, silicio, cobre, níquel, cromo, molibdeno, niobio y vanadio, que se encuentra en la muestra.

La composición química para el respectivo análisis debe limitarse a los siguientes valores:

Tabla 12. Composición química (análisis de colada %)

Elemento	%Máximo
Carbono	0,30
Manganeso	1,50
Fósforo	0,035
Azufre	0,045
Silicio	0,50
Fuente: Tomado de la norma Colombiana NTC 2289 pág. 4	

Las fabricas encargadas de la producción del material, deben efectuar la selección y el uso de los elementos aleantes, combinados con carbono, fósforo y azufre, para obtener las propiedades mecánicas indicadas en la Tabla 11 y Tabla 12.

Los elementos que comúnmente se agregan son: manganeso, silicio, cobre, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, niobio (columbio), titanio y circonio.

El análisis debe garantizar que el carbono equivalente sea máximo 0,55%, el cual se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\%CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} + \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10}$$

Un análisis de chequeo realizado por un comprador no debe exceder de los siguientes valores:

Tabla 13. Análisis de verificación para productos terminados

Elemento	%Máximo
Carbono	0,36
Manganeso	1,56
Fósforo	0,043
Azufre	0,053
Silicio	0,55

Fuente: Tomado de la norma Colombiana NTC 2289 pág. 4

2.1.4 Elementos de aleación en el acero e Influencia sobre la soldabilidad

Los elementos que componen al acero ordinario como son: carbono, manganeso y silicio, tiene papeles muy diferentes según sus reacciones en el metal fundido o en el metal de base.

2.1.4.1 Azufre y Fósforo

La presencia de fósforo y azufre, salvo en muy pocas ocasiones, es perjudicial para la calidad de los aceros, procurándose eliminar esos elementos en los procesos de fabricación. En general se recomienda que en los aceros ordinarios el contenido de cada uno de esos elementos no pase del 0,06%, y en los aceros de calidad se suelen exigir porcentajes de fósforo y azufre inferiores a 0,03%.

El fósforo se encuentra siempre disuelto en los granos de ferrita a los que comunica gran fragilidad. Durante el proceso de soldadura el fósforo en el momento de la solidificación forma el fosfuro de hierro FeP₃, que proporciona fragilidad al metal y además aumenta el tamaño del grano del metal fundido, reduce la soldabilidad cuando está presente en cantidades superiores a 0,04% especialmente en presencia de azufre.

El azufre cuando se presenta como sulfuro de hierro, provoca durante los procesos de forja o laminación del acero poca resistencia y a veces se agrieta por iniciarse la fusión de éste, que se encuentra en el acero en forma de retícula en la micro estructura del acero. Por el contrario cuando aparece como sulfuro de manganeso, tiene una temperatura de fusión muy elevada, y no da paso a la fragilidad en caliente; en ambos casos el alargamiento y la resistencia del acero quedan muy disminuidos.

2.1.4.2 Carbono

Es el elemento base para fijar la soldabilidad, generalmente es considerado como un elemento eficiente y de bajo costo más importante en los aceros. A medida que aumenta la cantidad de carbono, sus propiedades mecánicas como son: la dureza, la resistencia a la tracción y la respuesta a los tratamientos térmicos de endurecimiento incrementan.

No obstante, si se incrementa el porcentaje de carbono, se reduce la soldabilidad, además interviene aumentando la capacidad de templabilidad proporcionando una unión frágil o para formar precipitados de carburos complejos con los elementos aleantes de metal base.

2.1.4.3 Manganeso

El manganeso es un elemento que favorece el temple; en general su contenido rara vez sobrepasa el 2% en los aceros soldables. Es un desoxidante energético y constituyen un elemento importante en los electrodos y de las varillas de aporte por sus reacciones favorables con el metal líquido. Hay que limitar su contenido excepto en algunos casos particulares en que se busca la dureza o la resistencia al desgaste.

En los aceros que contiene por lo menos de 0,3 a 1,5% de manganeso (Mn), contribuye al favorecimiento en la desoxidación del acero, también previene las inclusiones de sulfuro de hierro y aumenta la capacidad de endurecimiento. La presencia de este componente incrementa la solubilidad del carbono en la austenita (Acero Gamma) facilitando la formación de carburos.

El manganeso disminuye la velocidad crítica de enfriamiento del acero, aumenta la sensibilidad al sobrecalentamiento, contribuye a la fragilidad en el revenido, anula los efectos perjudiciales del silicio en lo que se refiere a la soldadura, y un aumento de este elemento en el acero produce aumento en la resistencia, en el límite plástico y en el alargamiento.

En los aceros tratados térmicamente el manganeso incrementa:

- ✓ La resistencia a la tracción
- ✓ El límite elástico
- ✓ La resistencia a la fatiga
- ✓ La fluencia lenta
- ✓ La forjabilidad
- ✓ La resistencia al revenido
- ✓ La fragilidad en el revenido
- ✓ La tendencia al crecimiento del grano

- ✓ La formación de carburos

La dilatación térmica disminuye:

- ✓ La embutibilidad
- ✓ La maquinabilidad
- ✓ La conductividad térmica y eléctrica
- ✓ La sensibilidad a la fractura frágil.

2.1.4.4 Silicio

El silicio hace el papel de gran reductor como el manganeso pero, en elevada proporción, actúa sobre la fragilidad de la unión por lo que su contenido debe estar limitado.

La soldadura con contenido de silicio tiende a aumentar su resistencia mecánica pero su ductilidad disminuye, ocasionando problemas de fisuras.

2.1.4.5 Níquel

El níquel es un elemento que favorece el temple; pero sólo en contenidos pequeños (3 al 5%) aumenta la resistencia de la unión sin aumentar demasiado la fragilidad. Interviene sobre todo en los metales de aportación y los aceros de cementación con contenidos bajos en carbono.

2.1.4.6 Cromo

El cromo asociado con otros elementos como el níquel y el molibdeno, aumenta la templabilidad del acero.

El cromo presenta también el inconveniente de formar óxido de cromo el cual dificulta la soldabilidad. La soldadura oxiacetilénica de los aceros al cromo, exige el empleo de un flujo decapante capaz de disolver el óxido de cromo. En los aceros inoxidable el cromo entrega, con el carbono, un precipitado de carburo de cromo en la unión de los granos disminuyendo su resistencia química a los ácidos.

El cromo actúa sobre la templabilidad de la zona de transformación durante el proceso de soldadura; interviene como elemento de aleación formando carburo de cromo, en varios aceros especiales soldables, como son: aceros refractarios, aceros resistentes a la fluencia (Cr-Mo), aceros (Cr-Ni), entre otros.

2.1.4.7 Aluminio

El aluminio provoca, en el momento de la fusión, la formación de alúmina que reduce la soldabilidad operatoria. La intervención de un flujo disolvente de la alúmina resulta indispensable para la realización de la unión.

2.1.4.8 Molibdeno

Es un elemento habitual, ya que aumenta mucho la capacidad de endurecimiento del acero, así como su resistencia al impacto. El Molibdeno es el elemento más efectivo para mejorar la resistencia del acero a las bajas temperaturas, reduciendo, además, la pérdida de resistencia por templado.

El molibdeno aumenta el poder templante del acero en el momento de la soldadura, pero su contenido debe estar limitado a bajas concentraciones: entre 0,25-0,35%, ya que tiende a reducir la capacidad de soldabilidad.

2.1.4.9 Cobre

El cobre es soluble en el acero hasta 0,40%; se recomienda no sobrepasar ese límite. Se le atribuye la propiedad de conferir a los aceros de construcción, una mayor resistencia a la corrosión del agua.

2.1.4.10 Vanadio

Es un formador de carburos, sirve para mejorar el grano de los aceros, la velocidad crítica de enfriamiento disminuye considerablemente por la presencia de este elemento.

La adición del vanadio genera un aumento en la resistencia a la tracción, límite de fluencia y en la dureza en el acero. Con valores superiores a 0,05% puede haber tendencias a que el acero se fragilice durante el tratamiento de alivio de tensiones.

FUNDAMENTO INVESTIGATIVO

3. ELECCIÓN DE EQUIPO, PROCEDIMIENTO, PERSONAL DE SOLDADURA, MATERIAL BASE Y MATERIAL DE APORTE

3.1 ELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE, PROCEDIMIENTO Y MATERIAL BASE

Para el desarrollo de las etapas correspondientes a muestra ante preliminar, muestra preliminar y diseño definitivo, se establecieron además del equipo de soldar tres parámetros importantes los cuales son: el tipo de electrodo (Material de aporte), Material base (Barras de acero de refuerzo para concreto reforzado) y procedimiento de soldadura.

3.1.1 Material de aporte (Electrodo)

Etapa 1: Muestra Ante preliminar: Para la etapa 1, se escogió un electrodo E6013; ya que este es un electrodo de presentación de fácil manipulación, desarrollado para toda clase de soldaduras que requieran poca penetración. El metal que se deposita produce una capa uniforme, lisa, sin entalladuras ni socavaciones en los costados, que deja cordones de muy buena presentación con cualquier tipo de equipo soldador incluyendo los de bajo voltaje de circuito abierto. Además es un electrodo muy conocido, económico y utilizado en el campo de la soldadura.

Se determinó este tipo de electrodo, ya que en la primera etapa se pretende caracterizar los posibles defectos visuales antes mencionados que se pueden presentar en las muestras de soldadura. A continuación se presenta una ficha técnica del electrodo E6013 de fabricación colombiana de la casa West Arco.

Tabla 14. Características Electrodo E6013

Identificación:	WEST ARCO 6013
Clasificación:	AWS E6013
Especificación:	AWS A5.1, NTC 2191, ASME SF A5.1
Características:	
✓ Revestimiento de base de rutilo y potasio	
✓ Tiene buena estabilidad.	
✓ Electrodo de presentación	
✓ Se puede utilizar en corriente alterna o continua, polaridad + o –	

Tabla 14. (Continuación)

Propiedades mecánicas	
Resistencia a la tracción	42 – 52 Kg/mm ² (60-74Ksi)
Límite de fluencia	34 - 45 Kg/mm ² (48-65 Ksi)
Elongación:	22 – 29%
Resistencia al impacto Charpy en Va 20°C: 50 – 110Joules.	
Dimensión	Amperaje Recomendado
3,2 x 350 mm (1/8")	80 – 120 A
Empaque: Caja de 20Kg Peso neta, 5 bolsas de 5 kg C/U	
Fuente: Catálogo de Productos West Arco	

Etapa 2: Muestras diseño preliminar; Etapa 3: Diseño definitivo, Aplicación del diseño preliminar en campo y Comprobación diseño definitivo: Para la etapa 2, etapa 3 y comprobación del diseño definitivo, se escogió un electrodo E6011, puesto que este electrodo se caracteriza por su operación suave, manteniendo muy buena penetración debido a su revestimiento celulósico, este insumo presenta bajas pérdidas por chisporroteo. Además es económico, muy utilizado por personal de soldadura promedio y de fácil adquisición.

A continuación se presenta una ficha técnica del electrodo E6011 de fabricación colombiana de la casa West Arco

Tabla 15. Características electrodo E6011

Identificación:	WEST ARCO ACP 6011 SS E6011
Clasificación:	AWS E6011
Especificación:	AWS A5.1, NTC 2191, ASME SF A5.1
Identificación:	WEST ARCO 6013
Características: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene una operación suave ✓ Mantiene muy buena penetración debido a su revestimiento celulósico. ✓ Presenta bajas pérdidas por chisporroteo. ✓ Trabajo con corriente alterna continua, electrodo positivo (+). ✓ Opera en todas las posiciones. 	

Tabla 15. (Continuación)

Propiedades Mecánicas	
Resistencia a la tracción	44.3 – 52 Kg/mm ² (63-74Ksi)
Límite de fluencia	36.6 - 42 Kg/mm ² (50-60 Ksi)
Elongación:	27– 35%
Resistencia al impacto Charpy en Va 29°C: 27 – 110Joules.	
Dimensión	Amperaje Recomendado
3.2 x 350 mm (1/8")	70 – 115 A
Empaque: Caja de 20Kg Peso neta, 5 bolsas de 5 kg C/U	
Fuente: Catálogo de Productos West Arco	

3.1.2 Procedimiento

Para esta investigación, se decidió utilizar el procedimiento de Soldadura manual con arco revestido SMAW; ya que este es un método muy utilizado, simple, y de bajo costo. Pese a la gran variedad de procesos de soldadura que hay, el proceso SMAW no ha sido desplazado del mercado.

La simplicidad hace de este un procedimiento práctico; todo lo que requiere un personal de soldadura para trabajar es una fuente de alimentación, cables, un porta electrodo y electrodos. El trabajador no tiene que estar junto a la fuente y no hay necesidad de utilizar gases comprimidos como protección. El procedimiento es excelente para trabajos, reparación, fabricación y construcción. Igualmente, la soldadura SMAW es muy versátil.

Su campo de aplicaciones es enorme: casi todos los trabajos de pequeña y mediana soldadura de taller, se efectúan con electrodo revestido; se puede soldar metal de casi cualquier espesor y se pueden hacer uniones de cualquier tipo.

Este procedimiento presenta las siguientes características importantes:

- ✓ Disposición de aplicación en situ como en prefabricado.
- ✓ Facilidad de manipulación en todas las posiciones.
- ✓ Gran velocidad de depósito de material de aporte.
- ✓ Presenta iguales resultados tanto como en prefabricado como en situ.

- ✓ Es el proceso más común en nuestro medio.
- ✓ Requiere solo de la fuente de soldadura.
- ✓ Genera su propia campana de protección.
- ✓ Produce una escoria que protege la soldadura durante su enfriamiento.
- ✓ No requiere de gas.

3.1.3 Material base

Se estableció realizar el presente trabajo usando varillas de acero corrugado PDR 60, bajo la norma colombiana NTC 2289, ya que este es el material más utilizado como refuerzo en concreto reforzado en el país.

3.2 ELECCIÓN DEL EQUIPO DE SOLDADURA

La elección del equipo de soldadura es importante, ya que se requiere conocer el proceso de soldadura y las opciones disponibles, hay muchos factores que participan en la creación de soldaduras aceptables: el tipo de material, su espesor, su uso y otras especificaciones.

El objetivo fundamental que debe cumplir una fuente de poder de soldadura, es entregar una corriente controlada a la tensión que demanda el proceso que se trata.

La clase de corriente depende especialmente del tipo de electrodo a utilizar. Pese a que la corriente continua es la más común, la extensa gama de electrodos actualmente en el mercado, pueden ser utilizados con corriente alterna y otros solo con corriente continua.

El costo de la energía con corriente alterna es menor que con continua, no obstante representa una parte poco notable del costo total de soldadura, no siendo un factor decisivo la selección del tipo de corriente en el costo pero si en el proceso como tal.

Tabla 16. Comparación entre el uso de corriente continua y alterna

Características	Corriente continua	Corriente alterna
Pérdida de tensión en cables	Grande Los cables han de ser tan cortos como sea posible	Pequeña Preferible para soldar a gran distancia de la fuente.
Electrodos	Son válidos todos los tipos	El revestimiento debe

Tabla 16. (Continuación)

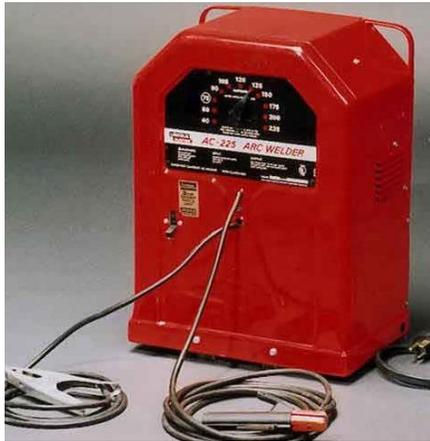
Características	Corriente continua	Corriente alterna
	de electrodos.	contener sustancias que restablezcan el arco.
Encendido del arco	Fácil.	Más difícil sobre todo en electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Fácil.	Más difícil, excepto cuando se utilizan electrodos de gran rendimiento
Mantenimiento del arco	Fácil.	Más difícil, excepto cuando se utilizan electrodos de gran rendimiento.
Efecto de sople	Muy sensible, sobre todo cuando la soldadura está cerca de extremos de la pieza.	Es raro que se produzca. La alternancia de ciclos neutraliza los campos magnéticos.
Salpicaduras	Poco frecuentes.	Más frecuentes, debidas a la pulsación.
Posiciones de soldeo	Más fácil de usar en posición para soldaduras de secciones gruesas.	Fácil de usar en cualquier posición si se dispone del electrodo adecuado.
Soldadura de hojas metálicas	Preferible.	Si no se actúa con gran precaución, se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido del arco.
Soldaduras de secciones gruesas	Rendimiento bajo.	Preferible pues al poder utilizar un mayor diámetro del electrodo y más intensidad de corriente, se logran altas tasas de rendimiento
Fuente: http://soldaduracursos.blogspot.com/2013/10/seleccion-del-tipo-de-corriente.html		

Hay varias clases de máquinas que aportan estas clases de corrientes, como se mencionó en el sub-capítulo 1,6; en el mercado se pueden encontrar diferentes equipos, ya sean de tipo transformador, generador y tipo inversor. Para la selección del equipo a emplear en esta investigación se realizaron un total de 10 probetas

soldadas, las cuales fueron ensayadas en la maquina universal de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.

Se probaron dos equipos para soldar, uno tipo transformador y otro tipo inversor, estos equipos fueron suministrados gracias a la colaboración de la Empresa ECOTEC de la ciudad de Pasto, por un periodo de 5 meses. A continuación se presentan las características Técnicas de los equipos.

Tabla 17. Características de los equipos para soldar

Características	Equipo Tipo Transformador	Equipo Tipo Inversor
		
Referencia	LIM-STI-K1170	DC INVERTER MMA WELDER
Fabricante	Lincoln - USA	BP – Ecuador
Tipo de corriente	Corriente AC	Corriente AC-DC
Alimentación	110V/ 220V 1 Fase 60Hz	220V Bifásico 60 Hz
Ciclo de trabajo	20% - 225Amp, 18% - 140Amp	60% 250Amp, 100% - 194Amp
Consumo AMP	50 Amp	56,5 Amp
Rango de salida	40Amp – 225Amp	20Amp – 250Amp
Peso	49,5 kg	14 kg
Fuente: Elaboración Propia		

3.3 ELABORACIÓN Y ENSAYO DE LAS MUESTRAS

Se ensayaron un total de 10 probetas de barras de acero soldadas a tope directo con bisel en v. Las barras se soldaron en condiciones habituales por un personal de soldadura calificado, de las cuales 5 se realizaron con un equipo de soldar tipo transformador y las 5 restantes con un tipo inversor. Para esto se llevó a cabo lo siguiente:

- ✓ Medición y corte de las barras de acero a una longitud de 25 cm, (obteniendo un total de 20 barras y un total de 10 probetas) ya que la longitud recomendada para la máquina Universal es ± 50 cm.
- ✓ Biselado de las barras, usando disco devastador.



Figura 59. Biselado de las barras

- ✓ Alineación de las barras (Preparación de las probetas a soldar)



Figura 60. Preparación barras a soldar

- ✓ Unión de barras con procedimiento de soldadura SMAW, las probetas se sitúan perfectamente alineadas y se procede el depósito de los cordones, entre cada paso es preferible esperar un periodo de tiempo para que enfríe el material depositado, con el fin de no originar un calentamiento excesivo que pueda producir pérdida de resistencia en la unión.



Figura 61. Unión de barras

- ✓ Realización de ensayos de tracción en la máquina universal.



Figura 62. Muestras PT Y PI

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18. Resultados Elección de equipo

Equipo Tipo Transformador		Equipo Tipo Inversor	
Código Probeta	Carga de Rotura (Ton)	Código Pobreta	Carga de Rotura (Ton)
PT - 1	7,8	PI - 1	9,96
PT - 2	8,5	PI - 2	8,91
PT - 3	8,1	PI - 3	8,13
PT - 4	8,12	PI - 4	8,92
PT - 5	8,15	PI - 5	8,56

Fuente: Elaboración Propia

En los resultados obtenidos se lograron las siguientes observaciones:

- ✓ Las probetas realizadas con el equipo tipo inversor presentan un mejor comportamiento que las realizadas con el tipo transformador AC.
- ✓ Se presentaron mayores defectos en la soldadura con el equipo tipo transformador, ya que el equipo presenta inestabilidad del arco, debido a la potencia del equipo.
- ✓ El equipo Tipo transformador no es recomendado, ya que por ser un equipo de corriente AC con amperaje de 225 Amp, un OCV de 22 voltios y tiempo de trabajo de 20%; presenta problemas en la estabilidad del arco, a diferencia del equipo tipo inversor que mantiene un arco estable.

Por lo anterior se seleccionó el equipo tipo inversor, por ser un equipo que proporciona buenas características a la hora de soldar; otra ventaja es su capacidad de amperaje frente a un excelente ciclo de trabajo y su reducido consumo de corriente. Es un equipo liviano de fácil transporte, permite producir cualquier tipo de corriente deseada. Es un equipo de costo medio y de excelente desempeño.

3.4 ELECCIÓN DE LA MUESTRA DE PERSONAL DE SOLDADURA PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

Para la selección de la muestra necesaria del personal de soldadura que se requirió, se recolectó información de los diferentes talleres de soldadura que se encuentran en la ciudad de Popayán, obteniendo así una identificación de la mano de obra existente en la región; como dirección, teléfono, nombre de

propietario, etc.; en los cuales se solicitó la contribución para el desarrollo de la investigación.

Se contó con la colaboración de 20 soldadores, de 8 talleres, quienes cuentan con experiencia mayor a 3 años en este campo, parte de ellos poseen sus conocimientos gracias a la experiencia adquirida a lo largo de su vida laboral y otros en base a estudios realizados en EL Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

A continuación se muestra el listado de los talleres colaboradores.

Tabla 19. Talleres de soldadura Colaboradores

Taller	Dirección	No de soldadores
Metálicas Pacheco	Carrera 31 No 14 - 12	3
Independiente	Calle 15 No 19 - 10 Santa Fe	1
Metálicas La Ladera	Carrera 17 con calle 15 esq. La Ladera	2
Industrias Metálicas Ferry	Calle 15 No 20 - 95 La Ladera	4
Fermetálicas	Carrera 9 No 14 - 24	2
Metálicas Gómez	Carrera 9 No 19 - 24	1
Sermetálicas del cauca la Sombrilla	Calle 4 No 64 - 35	6
Taller De soldadura 5 abril	En el 5 de abril	1
Fuente: Elaboración Propia		

4. ETAPA 1. MUESTRA ANTE-PRELIMINAR

4.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS

Para la primera etapa se estableció un diseño sencillo, el cual consiste en unir 2 barras de acero corrugado de 5/8" de 15 cm de largo, con junta acampanada simple, en posición 1G. Como se muestra en la siguiente figura:

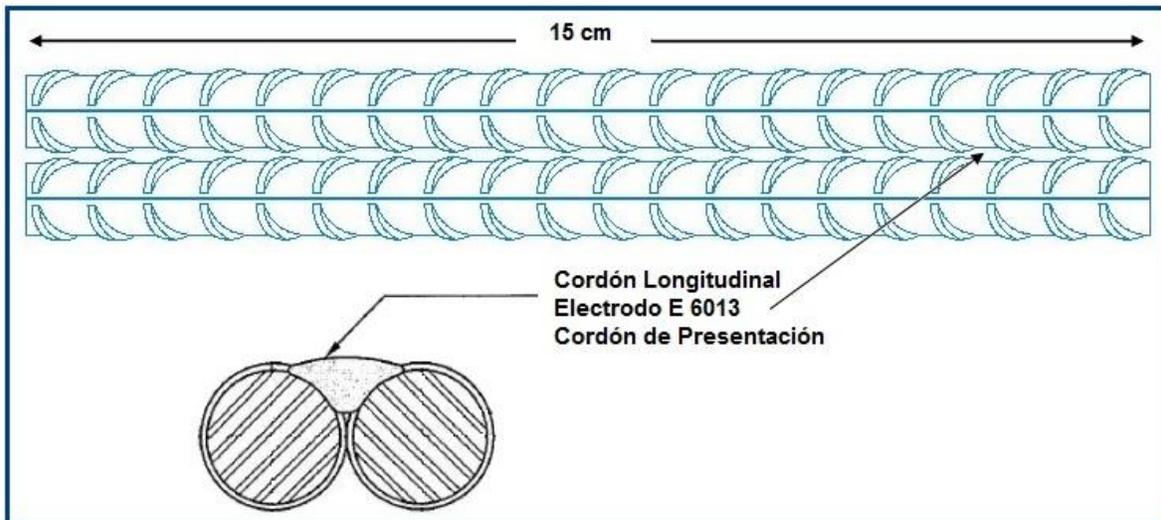


Figura 63. Esquema diseño ante preliminar "cordón de presentación"

Se determinó este diseño ya que presenta una fácil manipulación y transporte.

Se cortaron 42 barras, las cuales fueron pesadas y seleccionadas en parejas según el tamaño, obteniendo así 21 probetas; Se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 20. Identificación y Peso de las muestras

Probeta	Barras	Peso (gr)
P1	39	228,34
	21	224,02
P2	3	229,29
	10	228,28
P3	20	225,69
	30	226,11
P4	17	227,51
	24	225,05
P5	38	226,60

Tabla 20. (Continuación)

Probeta	Barras	Peso (gr)
	16	228,01
P6	37	226,39
	27	227,93
P7	29	225,31
	31	204,93
P8	5	224,99
	13	222,75
P9	1	227,51
	26	229,61
P10	8	225,46
	34	218,25
P11	35	220,25
	36	226,73
P12	25	227,58
	6	225,59
P13	18	232,12
	12	228,14
P14	22	225,80
	4	228,57
P15	15	226,14
	28	224,63
P16	32	223,96
	7	227,65
P17	19	231,86
	23	230,32
P18	40	226,85
	11	226,99
P19	9	231,09
	14	228,84
P20	2	225,41
	33	226,31
P21	41	222,41
	42	226,31
Fuente: Elaboración Propia		

4.2 REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON EL PERSONAL DE SOLDADURA.

Se realizaron las pruebas de soldadura correspondientes a la etapa ante preliminar con el personal colaborador, se transportó a cada taller el equipo, insumos y probetas respectivamente numeradas.

Además de las muestras, se tomó la respectiva información a cada soldador, en donde se consignó, procedimientos conocidos, experiencia en el campo de la soldadura, conocimiento técnicos de soldadura entre otros (Ver Anexo A Formato 1. Encuesta a soldadores).



Figura 64. Muestras diseño ante preliminar

Se realizó la inspección visual a cada probeta, para así determinar los defectos en la soldadura realizadas por cada soldador.

Se caracterizaron los parámetros visuales de mayor importancia, vistos en el sub-capítulo 1.13 como fueron:

Socavación:



Figura 65. Socavación

Porosidad:

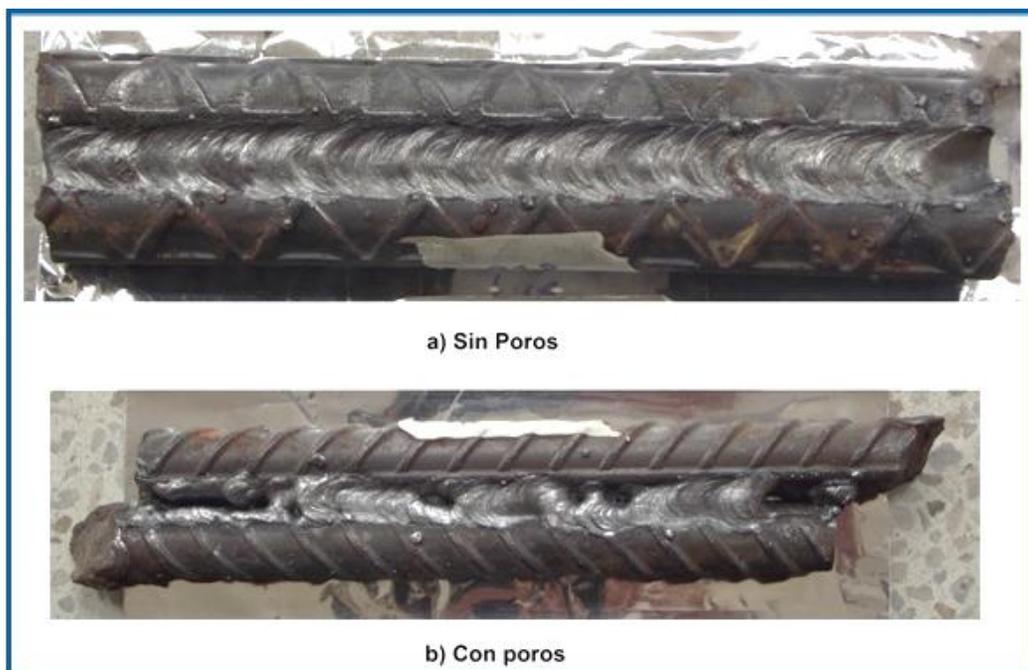


Figura 66. Porosidad

Presentación del cordón:



a) Buena



b) Regular



c) Deficiente

Figura 67. Presentación del cordón

Principio y final del cordón

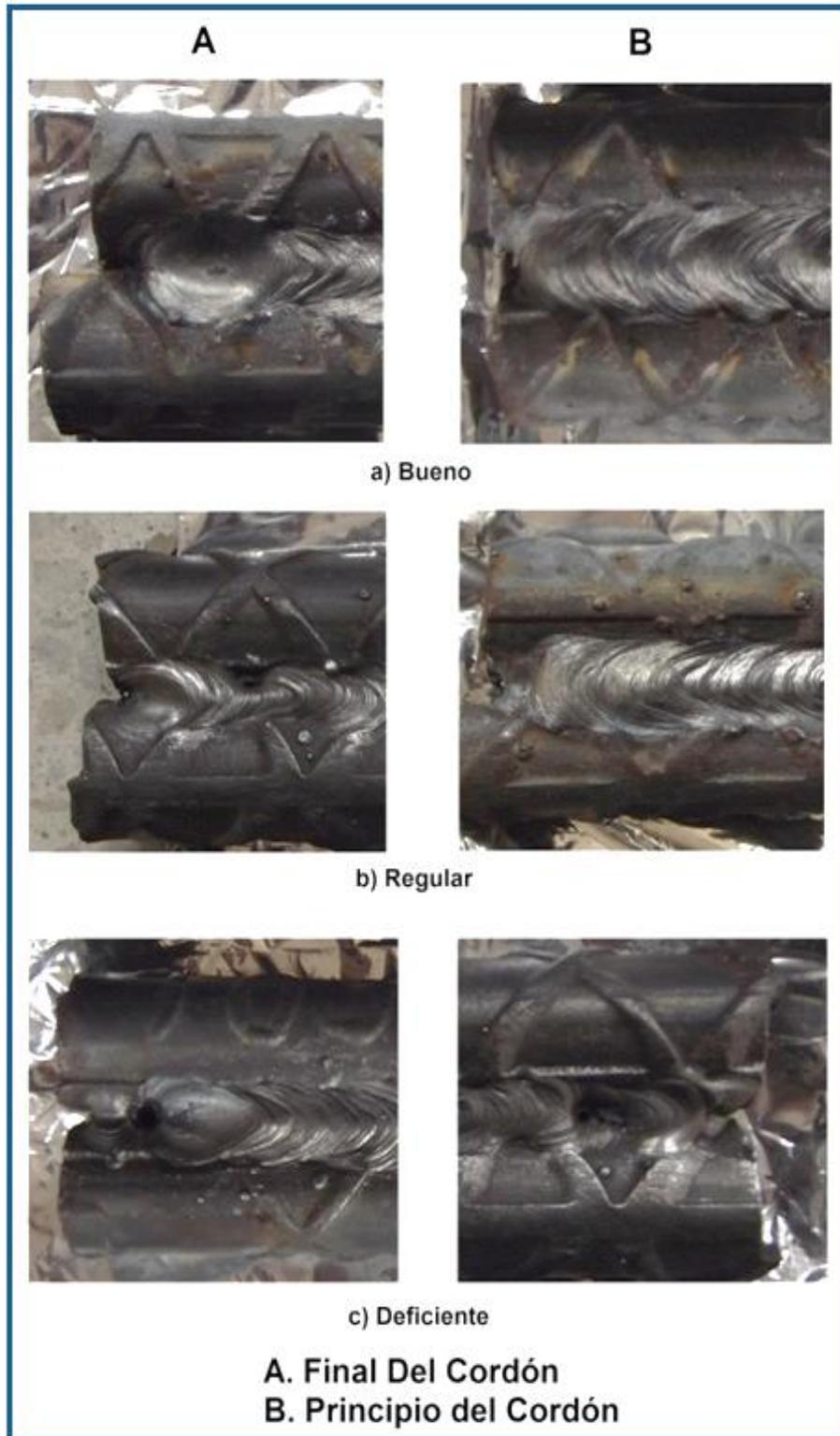


Figura 68. Principio y final del cordón

Salpicadura



Figura 69. Salpicaduras

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la primera etapa.

Tabla 21. Resultados Muestras Ante preliminares (Inspección Visual)

Probeta	Amperaje	Parámetros de observación						Conocimiento adquirido en
		Presentación del cordón	Socavación	Porosidad	Salpicaduras	Principio del cordón	Final de cordón	
P1	103	Deficiente	Si	Si	Poca	Deficiente	Regular	Empírico
P2	111	Regular	Si	Si	Poca	Deficiente	Deficiente	Sena
P3	111	Deficiente	Si	Si	Poca	Deficiente	Regular	Empírico
P4	137	Regular	Si	No	Poca	Bueno	Regular	Empírico, Sena
P5	145	Deficiente	No	No	Poca	Bueno	Regular	Empírico
P6	245	Deficiente	Si	No	Poca	Regular	Regular	Empírico, Sena
P7	174	Deficiente	Si	No	Mucha	Regular	Bueno	Empírico
P8	205	Regular	Si	No	Mucha	Bueno	Regular	Empírico, Sena
P9	174	Regular	Si	No	Mucha	Regular	Bueno	Sena
P10	171	Regular	No	Si	Poca	Regular	Deficiente	Empírico
P11	145	Regular	Si	No	Mucha	Regular	Regular	Empírico
P12	145	Regular	Si	Si	Poca	Regular	Deficiente	Empírico
P13	143	Regular	Si	No	Poca	Bueno	Regular	Empírico
P14	121	Regular	Si	No	Mucha	Deficiente	Regular	Sena
P15	121	Regular	No	Si	Mucha	Deficiente	Regular	Empírico
P16	136	Deficiente	No	No	Poca	Regular	Regular	Sena
P17	130	Regular	No	No	Poca	Bueno	Bueno	Empírico
P18	130	Buena	No	No	Poca	Bueno	Regular	Empírico
P19	127	Deficiente	Si	Si	Mucha	Deficiente	Regular	Empírico
P20	123	Buena	No	Si	Poca	Deficiente	Regular	Empírico
P21	85	Deficiente	No	Si	Poca	Deficiente	Deficiente	Sena

Fuente: Elaboración Propia

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.3.1 Resumen de los resultados

Se realizó el conteo de los diferentes defectos visuales que se tuvieron en cuenta en la revisión de las muestras de presentación; a continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 22. Resumen resultados

Parámetros de observación							
	Presentación del cordón	Principio del cordón	Final del cordón	Socavación	Porosidad	Salpicadura	Conocimiento
Deficiente	8	8	4				
Bueno	2	6	3				
Regular	11	7	14				
Si				13	9		
No				8	12		
Poco						14	
Mucho						7	
Externa							
Interna							
Sena							5
Empírico							13
Ambos							3
Fuente: Elaboración Propia							

4.3.2 Representación Gráfica de los resultados

En base a la información y a los resultados obtenidos, se realizaron gráficos los cuales muestran de una forma más sencilla, como se encuentra el personal de soldadura respecto a cada parámetro de observación analizado.

Presentación del cordón:



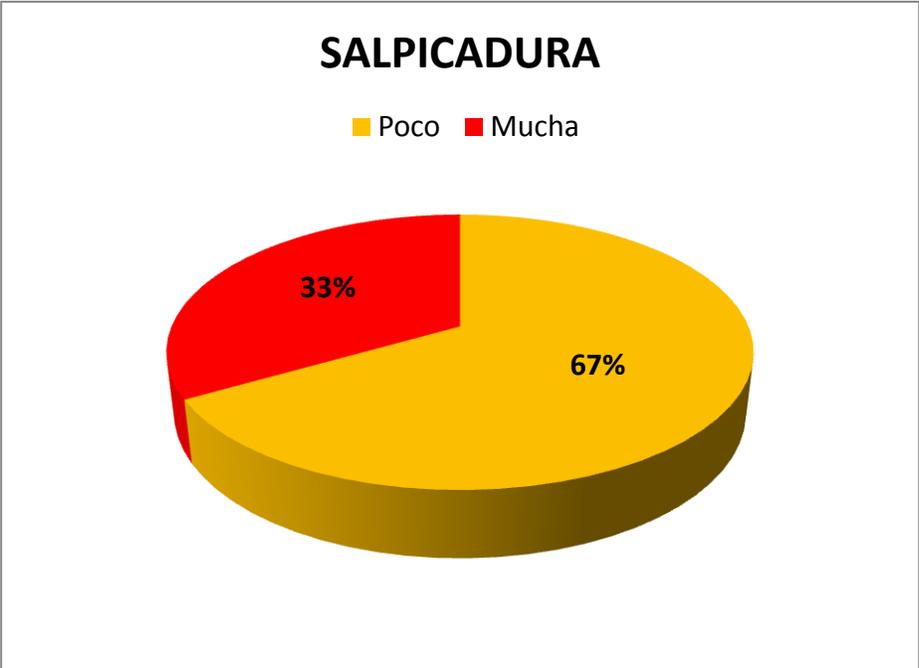
Socavación:



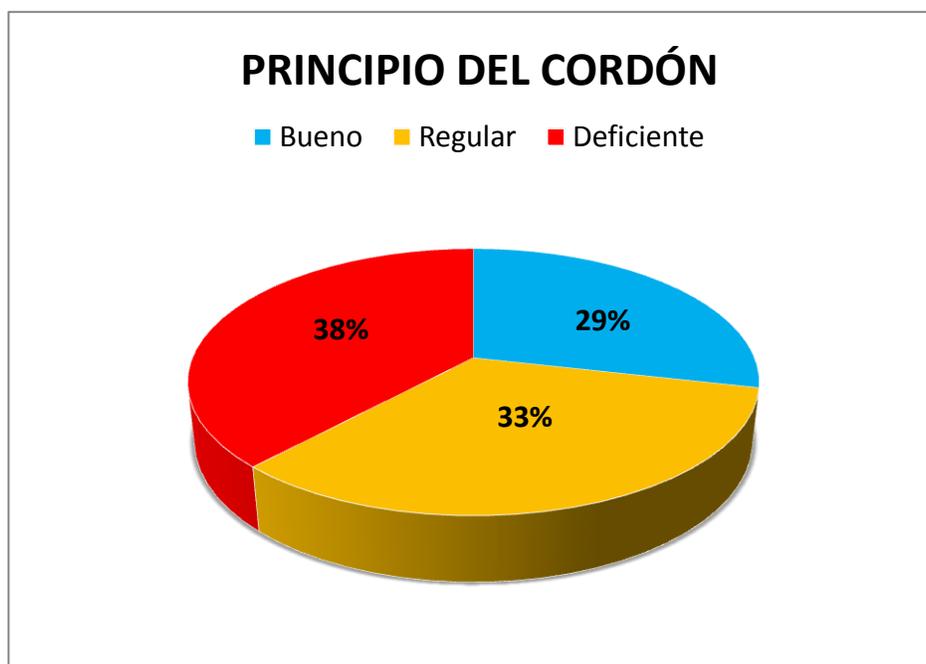
Poros:



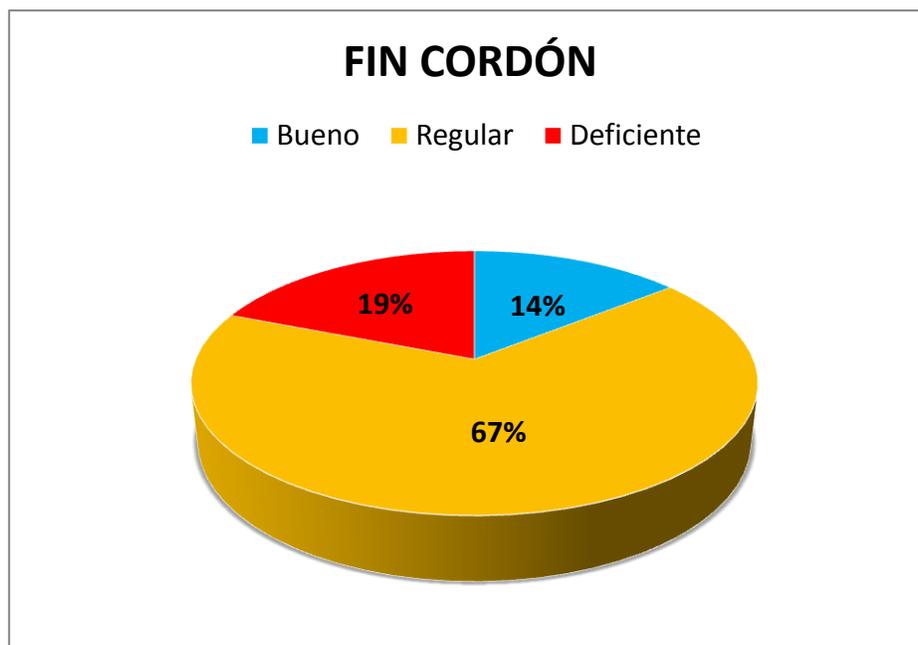
Salpicadura:



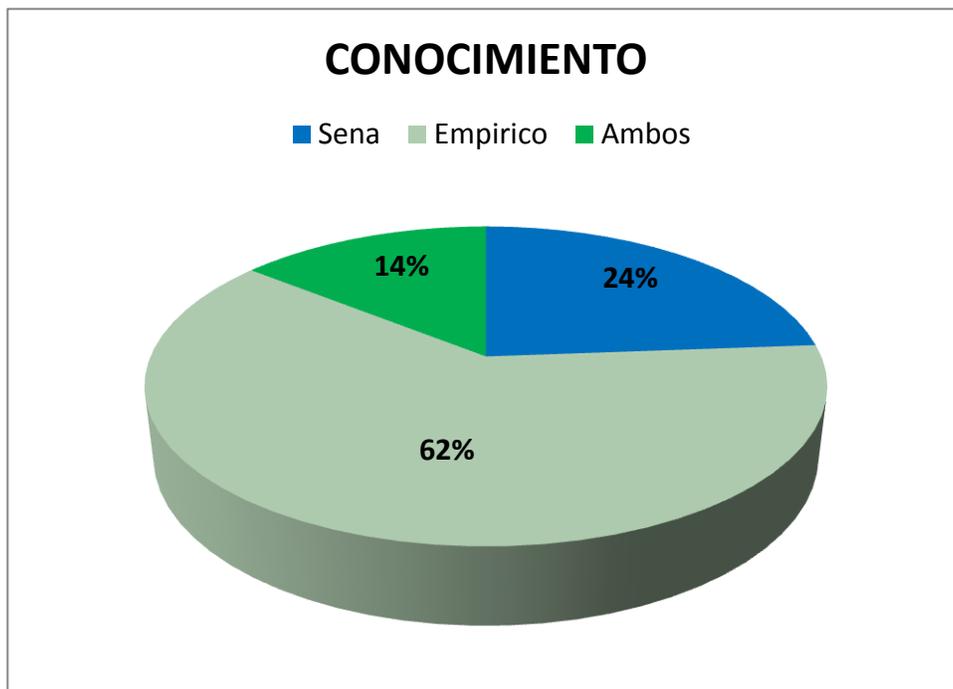
Principio del Cordón:



Fin del cordón:



Conocimiento adquirido en:



En los resultados obtenidos se lograron las siguientes observaciones:

- ✓ En los gráficos anteriores se pudo comprobar que el personal de soldadura se encuentra en un 45% con respecto a la muestra patrón lo que indica un desempeño básico.
- ✓ Se constató el fácil manejo y transporte del equipo seleccionado para la investigación.

5. ETAPA 2: DISEÑO MUESTRA PRELIMINAR

Para la segunda etapa en base a la información y los resultados obtenidos en la primera etapa, se realizaron diferentes propuestas para el diseño preliminar, tomando diferentes longitudes de apoyo y también diferentes tipos de unión.

5.1 EQUIPO, INSUMOS Y PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de la segunda etapa se utilizaron los insumos, equipo y procedimiento antes mencionados en el capítulo 3, estos son:

- ✓ **Material de aporte (Electrodo):** E6011 de la casa WEST ARCO
- ✓ **Equipo:** Equipo de soldadura tipo inversor BP de 250 Amp.
- ✓ **Proceso:** Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).

5.2 DISEÑO MUESTRA PRELIMINAR

5.2.1 *Criterios según la normatividad Colombiana*

Para la selección de la junta y el diseño de la misma se tuvieron en cuenta los criterios citados en el Código Colombiano de sismo resistencia NSR 10 TITULO C: CONCRETO ESTRUCTURAL, los cuales son:

C.3.5 Acero estructural

C.3.5.1: El refuerzo debe ser corrugado.

C.3.5.2: La soldadura de barras de refuerzo debe realizarse de acuerdo a la norma colombiana NTC 4040.

Nota: Cuando sea necesario soldar el refuerzo, se requiere considerar la soldabilidad del acero. Las disposiciones de la NTC 4040 cubren aspectos de la soldadura de barras de refuerzo, incluyendo criterios para calificar los procedimientos de soldadura.

C.3.5.3: *Refuerzo Corrugado*

Las barras de refuerzo corrugado deben ser de acero de baja aleación que cumpla con la norma colombiana NTC 2289 (ASTM 706M).

Nota: La norma NTC 2289 (ASTM 706M) Cubre barras corrugadas de acero de baja aleación destinadas a la aplicación, donde se requieren propiedades controladas de tracción, de soldabilidad, o de ambas.

NORMA COLOMBIANA NTC 4040 “SOLDADURA. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA EL ACERO DE REFUERZO”, la cual es basada en *THE STRUCTURAL WELDING CODE - REINFORCING STEEL. (AWS/AWS D1.4-92)*.

5.2.1.1 Tipos de uniones utilizados

Se pueden soldar barras de refuerzo con uniones a tope directas o indirectas, uniones soldadas traslapadas, sin embargo, para barras de mayor diámetro que el No. 6 son preferibles las uniones a tope directo.

Uniones a tope directo: Se define como la unión entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente colineales, esta unión debe ser de soldadura sencilla o de soldadura doble y debe tener penetración completa en la unión y fusión completa. Una unión a tope directa con ambos ejes horizontales, se debe hacer como una soldadura en ranura en V sencilla o doble.

Para la investigación, no se realizaron los biseles en las partes donde se unen las barras, esto se estableció, ya que en el campo (sitio de la obra), en muchos casos estos biseles no se realizan, debido a que en la mayor parte de las obras no se tiene un control riguroso de los procesos y criterios establecidos para la soldadura, no obstante se determinó una separación mínima de 1/8 de pulgada con el fin de dar mayor cantidad de material de aporte.

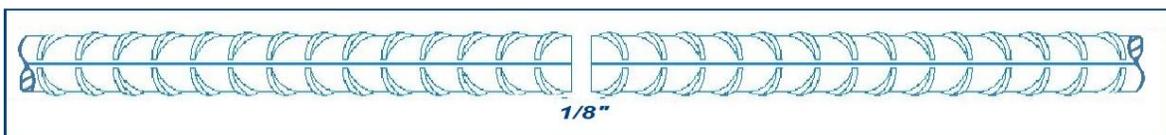


Figura 70. Unión a tope directo con separación de 1/8"

Unión a tope indirecto: Se define un empalme a tope indirecto como la unión entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente colineales, y soldadas con cordones longitudinales a un miembro de empalme común que pueden ser: platinas, ángulos, barras u otro perfil.

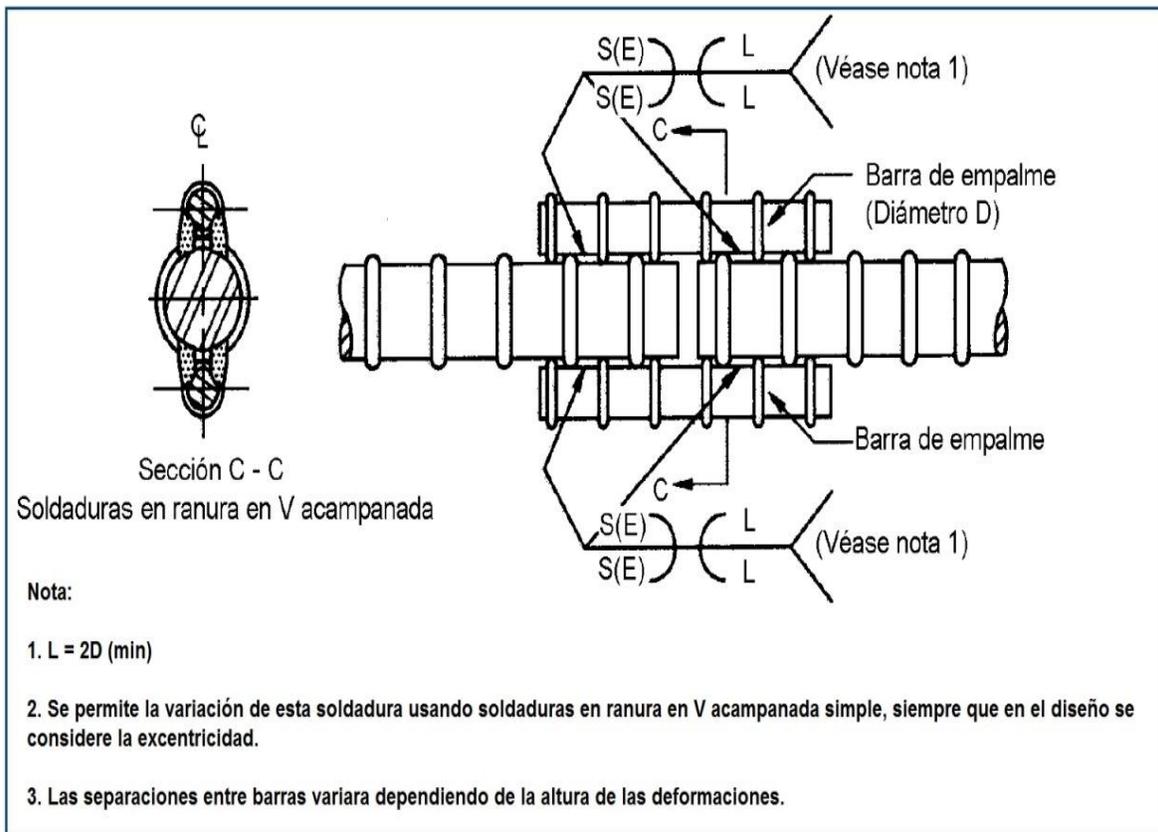


Figura 71. Unión a tope indirecto con dos barras de empalme

Una unión a tope indirecta se debe hacer con soldaduras en ranuras acampanadas bien sea sencilla o doble entre las barras y el elemento de empalme. Los miembros de empalme usados deberán tener un área transversal capaz de entregar a lo menos igual resistencia que las barras a empalmar.

Unión a solapo o traslapada: Se define un empalme traslapado como la unión entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente paralelos y aproximadamente en el mismo plano, estando las barras en contacto y soldadas por cordones longitudinales (Junta en ranura en v acampanada). A menos que la junta sea accesible por un solo lado, es preferible realizar la soldadura por ambos lados.

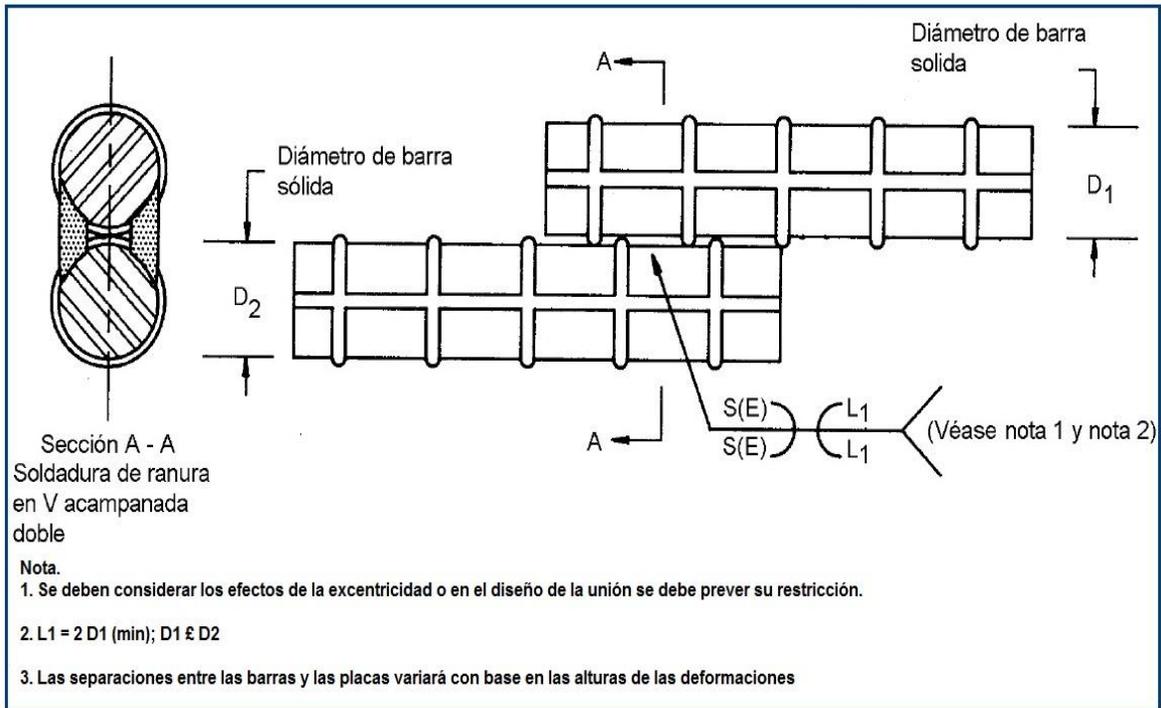


Figura 72. Unión Soldada traslapada directa con barras en contacto

5.2.1.2 Esfuerzos permisibles en la soldadura

La tensión admisible a tracción o compresión en los empalmes a tope directo con juntas de penetración completos y soldaduras acanaladas en V, deberá ser el mismo que la tensión admisible correspondiente al metal base, bajo la condición de que el metal de aporte usado tenga una resistencia a la tracción que a lo menos sea igual a la del material que se está soldando. Los esfuerzos permisibles para soldaduras con juntas acampanadas deben estar de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 23. Esfuerzos permisibles en soldaduras

Tipo de soldadura	Esfuerzo de soldadura		Esfuerzo permisible	Nivel de resistencia requerido en la soldadura
Soldadura con junta acampanada simple y en v	Compresión normal al área efectiva	Unión no diseñada para sostener	0,50 x resistencia de tracción nominal del metal de soldadura, excepto que el esfuerzo en el metal base no debe ser mayor de 0,60 x límite elástico del metal base	(Continuar en la siguiente pagina)

Tabla 23. (Continuación)

Tipo de soldadura	Esfuerzo de soldadura		Esfuerzo permisible	Nivel de resistencia requerido en la soldadura
Soldadura con junta acampanada simple y en v	Compresión normal al área efectiva	Unión diseñada para sostener	El mismo del metal base	Se puede usar metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el del metal de soldadura equiparable
	Corte en el área efectiva		0,30 x resistencia de tracción, nominal del metal de soldadura, excepto que el esfuerzo de tracción en el metal base no debe ser mayor de 0,40 x límite elástico del metal base	
	Tracción normal al área efectiva		0,30 x resistencia de tracción, nominal del metal de soldadura, excepto que el esfuerzo de tracción en el metal base no debe ser mayor de 0,60 x límite elástico del metal base.	
Fuente: Norma Colombiana NTC 4040 Pág. 6				

5.2.1.3 Áreas, longitudes, gargantas y tamaños efectivos de soldadura

Soldadura a tope directa: La norma recomienda que el área efectiva de la soldadura debe ser el área nominal de la sección transversal de la barra que se está soldando. Si se están soldando barras de tamaño diferente, el área de soldadura se debe basar en la barra de menor diámetro

Soldaduras con juntas acampanadas simples y acampanadas en V: El área efectiva o sección resistente de soldadura quedara definida como la longitud efectiva de soldadura multiplicada por el tamaño efectivo de soldadura, tal como se muestra en la figura.

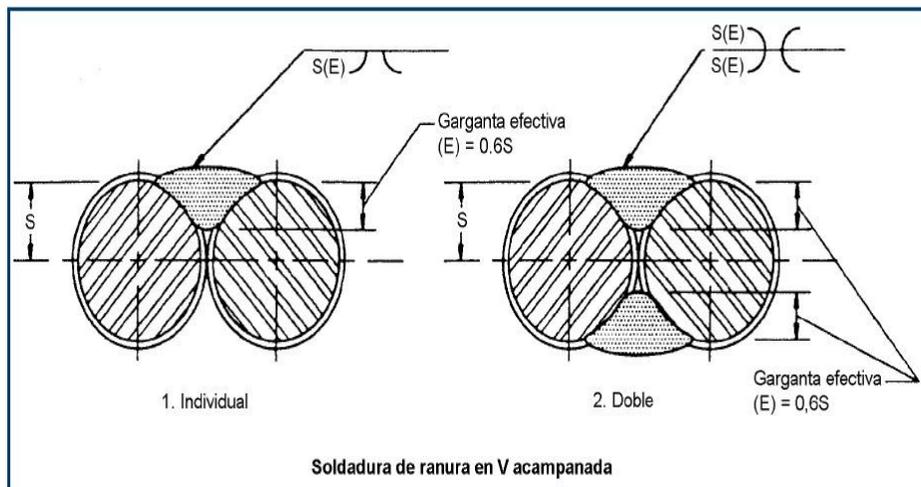


Figura 73. Tamaño efectivo de la soldadura en junta acampanada

El largo mínimo de la soldadura deberá ser igual o mayor que dos veces el diámetro de la barra de acero, para uniones de barras de igual diámetro, o dos veces el diámetro de la barra de menor diámetro, para uniones de barras con diámetros diferentes.

El tamaño efectivo de la soldadura (E), para juntas acampanadas en V, la norma recomienda un valor de $0,60S$ siendo S el radio de la barra de acero, no obstante para esta investigación se tomara un valor entre $0,2$ a $0,35S$, ya que el personal de soldadura no es calificado y este no está en capacidad de realizar el procedimiento con pase de raíz. En los casos de uniones con barras de diferentes diámetros, el radio a utilizar corresponderá a la barra de menor diámetro de la unión.

5.2.2 Análisis matemático para el diseño

Para unión traslapada:

Análisis matemático Teórico

La longitud del cordón traslapado se puede calcular igualando la transmisión a cortante de la soldadura a la rotura de las barras de empalme (JIMENEZ, GARCIA, & MORAN, 2000).

Este procedimiento de unión no se debe emplear con diámetros muy grandes, es recomendable que para barras mayores de la No 6, se realice uniones a tope directo.

A continuación se presenta una forma de cálculo para determinar la longitud del cordón:

- a. Resistencia al cortante del cordón de soldadura: $0,65 * a * L * \sigma_{Electrodo}$
- b. Resistencia a la tracción de la barra: $A * \sigma_{Barra}$

Donde:

L: Longitud del cordón

a Garganta efectiva del cordón, se adopta un valor de 0,6 D según la NTC 4040

A Área de la sección transversal de la barra

σ_E Resistencia a la tracción del electrodo

σ_B Tensión de rotura de la barra

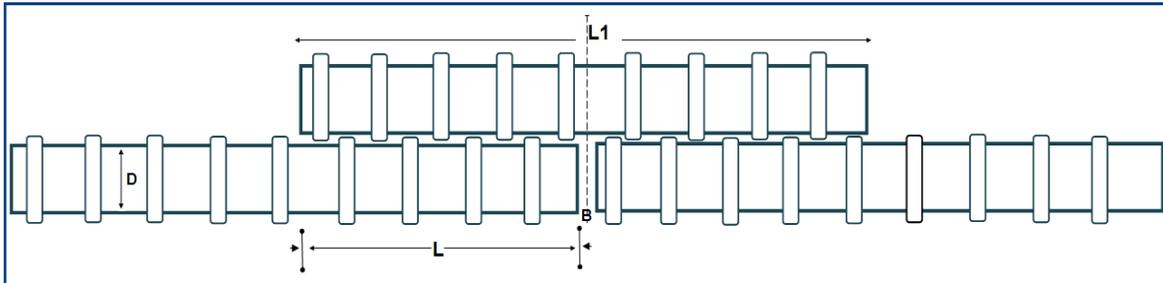


Figura 74. Cálculo longitud de soldadura

Igualando a y b se tiene:

$$0,65 * a * L * \sigma_{Electrodo} = A * \sigma_{Barra}$$

$$L = \frac{A * \sigma_{Barra}}{0,65 * a * \sigma_{Electrodo}}$$

Se tiene que el $A = \pi \frac{D^2}{4}$ y $a = 0,6 D$

$$L = \frac{\pi D^2}{4} * \frac{\sigma_{Barra}}{0,65 * 0,6 D * \sigma_{Electrodo}}$$

$$L = 2,01 D * \frac{\sigma_{Barra}}{\sigma_{Electrodo}}$$

Luego para una barra de PDR 60 se tiene:

$$\sigma_{\text{Barra}} = 550 \text{ Mpa} = 56 \text{ Kg/mm}^2$$

$\sigma_{\text{Electrodo E6011}} = 44.3 - 52 \text{ Kg/mm}^2$, Se Toma el menor valor

$$L = 2,01 * D \frac{56 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}}{44,3 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}}$$

$$L = 2,54 * D$$

Para barras 5/8

$$L = 4 \text{ cm}$$

Para mayor seguridad se adoptó un factor de seguridad de 1,5 se tiene

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

Luego $L1 = 2L + B = 12 \text{ cm}$

Nota: El factor de seguridad es tomado de (JIMENEZ, GARCIA, & MORAN, 2000).

El valor de B se desprecia ya que al ser un valor pequeño no se nota la diferencia.

La NTC 4040 establece la siguiente ecuación.

$$L = 2,4 * D \frac{\sigma_{\text{Barra}}}{\sigma_{\text{Electrodo}}}$$

Luego para 5/8 y reemplazando los valores σ_{Barra} y $\sigma_{\text{Electrodo E6011}}$ se tiene

$$L = 4,7 \text{ cm}$$

Y adoptando el mismo factor de seguridad de 1,5 se tiene que:

$L = 7,05 \text{ cm}$, Luego $L1 = 2L + B = 14 \text{ cm}$

Análisis matemático experimental

Se estableció otro cálculo con base a la experiencia “ensayo error”, para esto se realizaron muestras a tope (Código PB), donde se determinó la máxima carga a tracción del nudo, la cual se encuentra alrededor de 4 a 6 toneladas. También se realizaron muestras traslapadas (código PA), con el fin de determinar el esfuerzo a cortante de la soldadura con diferentes longitudes.

Con los resultados obtenidos a ensayo a tracción se estableció el siguiente análisis matemático:

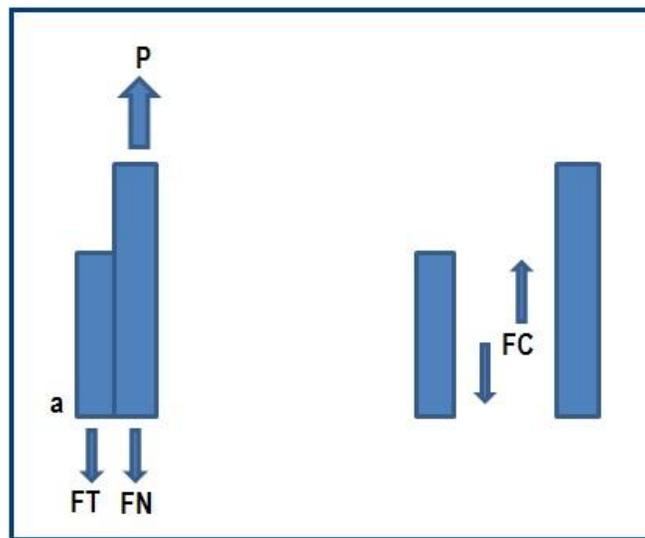


Figura 75. Diagrama de cuerpo Libre

P= Carga.

FT=Fuerza resistente a tracción de la barra.

FN=Fuerza resistente del nudo.

FC=Fuerza cortante.

D=Diámetro de la barra.

$$\sum M_a \rightarrow P \frac{3.D}{2} = FT \cdot \frac{D}{2} + FN \frac{3.D}{2}$$

$$FT = 3P - 3FN$$

$$\tau = \frac{FC * 1.2}{A}$$

$$FC = \frac{\tau * A}{1.2}$$

$$A = L * e$$

$$FC = \frac{\tau * L * e}{1.2}$$

1.2= Factor de forma.
 L=longitud del cordón.
 e=profundidad del cordón.

$$\tau_1 = 0.60 * Fy \text{ soldadura.}$$

$$\tau_2 = 0.60 * Fy \text{ barra.}$$

Se Escoge el menor entre τ_1 y τ_2

FC=FT debido a que la soldadura de la barra de apoyo no puede fallar antes de la barra de apoyo.

Entonces remplazando.

$$L = \frac{(3P - 3FN) * 1.2}{2 * \tau * e}$$

Dividimos por 2 debido a que se trabajara doble cordón.

Tabla 24.Resumen de datos.

DATOS		
Fy Soldadura	4200	Kg/cm ²
Fy Barra	4200	
τ	2520	
τ_1	2520	
τ_2	2520	
D	1.5875	cm
A	1.979326	m ²
P	8313	kg
FN	4000	kg
e	0.35	cm
L	8.8	cm

5.3 REALIZACIÓN DE MUESTRAS DISEÑO PRELIMINARES ETAPA 2

Las juntas analizadas en esta investigación son: juntas a tope directo, a tope indirecto acampanado simple y dobles y junta traslapada, las probetas se realizaron en posición 1G.

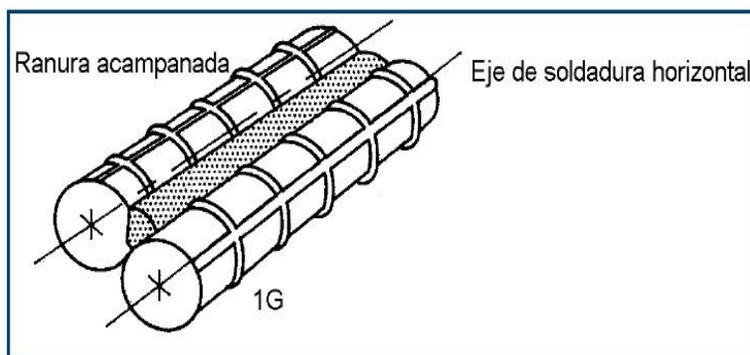
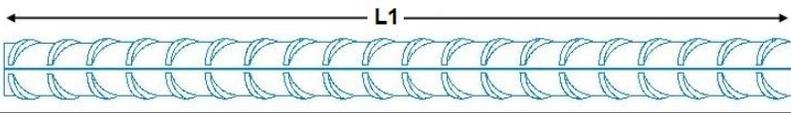


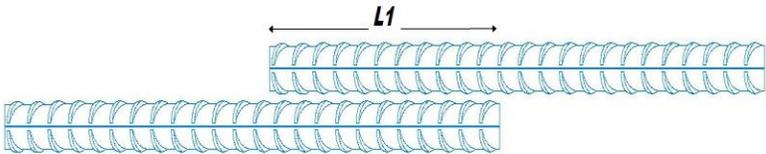
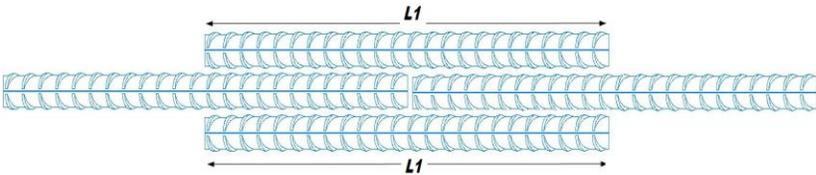
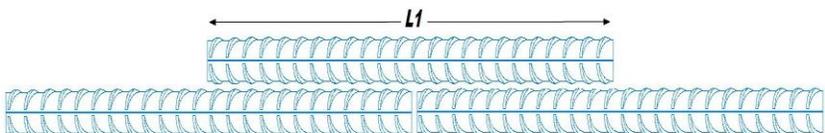
Figura 76. Posición de soldadura plana 1G

En base a los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, se realizaron un total de 49 probetas de acero corrugado PDR 60 de 5/8", usando diferentes longitudes y juntas de unión; las cuales fueron llevadas a cabo por personal de soldadura tanto por debajo del promedio establecido (personal con bajo desempeño, las muestras presentan defectos considerables), como por encima del promedio establecido (personal con buen desempeño, las muestras no presentan defectos considerables).

Las probetas se realizaron en el laboratorio y en campo, en condiciones normales, teniendo en cuenta la seguridad necesaria para el caso. A continuación se muestra el esquema representativo de las muestras y las cantidades respectivas realizadas.

Tabla 25. Muestras Realizadas Etapa 2

Esquema Muestras	Características muestras	
	Código muestra: PSS	
	Cantidad: 2 L1 = 50 cm	
	Código Muestra: PA	
	Longitud Apoyo L1 (cm)	Longitud Apoyo L1 (cm)
	0,84	1

	1,51	1
	2,16	1
	2,27	1
	3,08	1
	4,19	1
	5,80	1
	5,88	1
	6,36	1
	7,18	1
	7,49	1
	7,83	1
	9,55	1
	9,80	1
	11,53	1
11,75	1	
	Código Muestra: PB	
	Cantidad: 6	
	Código Muestra: PC	
	Longitud Apoyo L1 (cm)	Cantidad
	10	3
	15	2
	Código Muestra: PD	
	Longitud Apoyo L1	Cantidad
	5	3
	10	5
	15	5
	20	4
	Código muestra: PDD	
	Longitud apoyo L1	Cantidad
	20	5
	Fuente: Elaboración Propia	

A continuación se presenta una recopilación fotográfica de las muestras preliminares.



Figura 77. Muestras diseño Preliminar

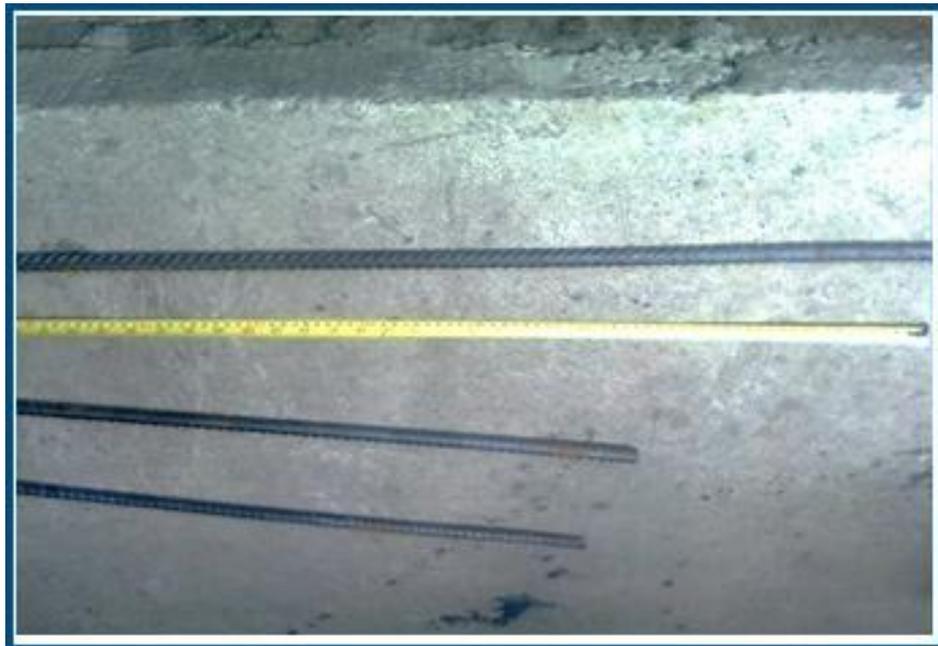


Figura 78. Corte de muestras preliminares y Muestras PSS



Figura 79. Elaboración de las muestras (a)



Figura 80. Elaboración de las muestras (b)



Figura 81. Ensayo de las muestras



Figura 82. Muestras Código PA



Figura 83. Muestras Código PB



Figura 84. Muestras Código PC



Figura 85. Muestras Código PD

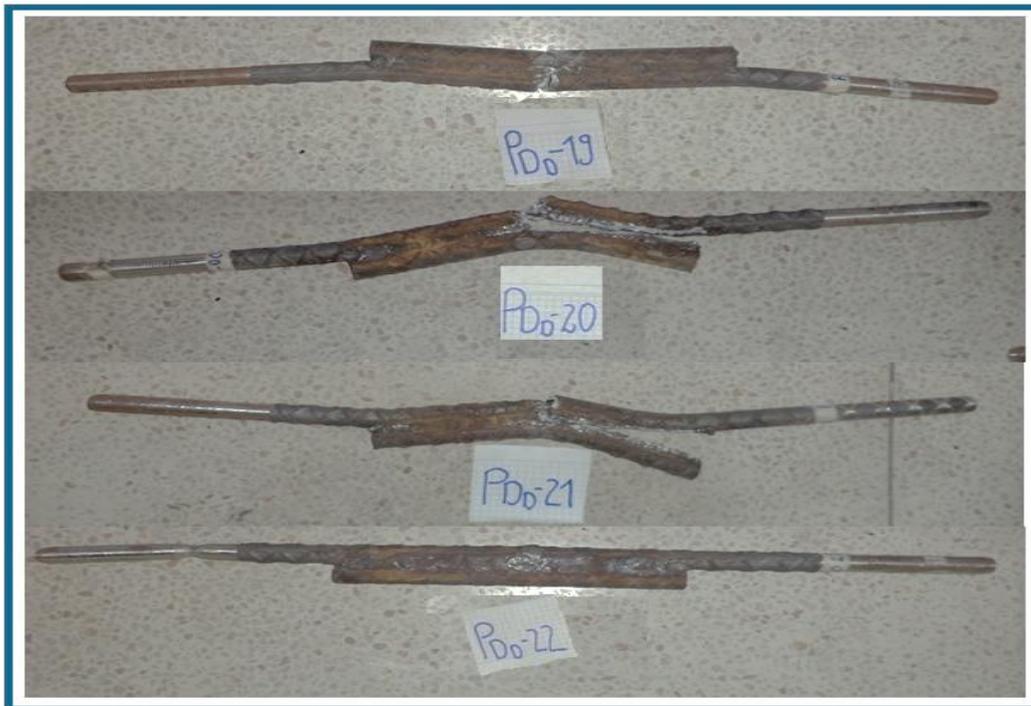


Figura 86. Muestras Código PDD

Las muestras son ensayadas a tracción en la máquina universal, obteniendo los resultados de carga de ruptura, lugar de ruptura entre otros.

Tabla 26. Resultados muestras diseño preliminar

Código Probeta	Long Apoyo (cm)	Cordón	Lugar de la ruptura	Desempeño de la unión	Carga de ruptura (Ton)
PA-1Lb	11,53	Simple	En la Soldadura	No satisfactorio	8,76
PA-2Lb	7,18	Simple	En la Soldadura	No satisfactorio	5,17
PA-3Dp	7,83	Simple	En la soldadura	No satisfactorio	10,07
PA-4Dp	9,80	Simple	En la soldadura	No satisfactorio	10,45
PA-5	5,80	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	11,46
PA-6	11,75	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	10,86
PA-7	2,16	Doble	En la soldadura	No satisfactorio	8,37
PA-8	4,19	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	11,20
PA-9	7,49	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	11,86
PA-10	9,55	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	11,26
PA-11	5,77	Simple	En la soldadura	No satisfactorio	5,97
PA-12	2,27	Simple	En la soldadura	No satisfactorio	4,63
PA-13	1,51	Simple	En la soldadura	No satisfactorio	2,96
PA-14	6,36	Simple	En la soldadura	No satisfactorio	8,04

Tabla 26. (Continuación)

Código Probeta	Long Apoyo (cm)	Cordón	Lugar de la ruptura	Desempeño de la unión	Carga de ruptura (Ton)
PA-15	3,08	Simple	En la Soldadura	No satisfactorio	5,03
PA-16	0.84	Simple	En la Soldadura	No satisfactorio	1,67
PB-1	Sin apoyo	A tope	En la soldadura	No satisfactorio	4,92
PB-2	Sin apoyo	A tope	En la soldadura	No satisfactorio	5,81
PB-3	Sin apoyo	A tope	En la soldadura	No satisfactorio	6,23
PB-4	Sin apoyo	A tope	En la soldadura	No satisfactorio	5,98
PB-5	Sin apoyo	A tope	En la soldadura	No satisfactorio	5,41
PB-6	Sin apoyo	A tope	En la soldadura	No satisfactorio	5,71
PC-1	15	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	10,08
PC-2	15	Simple	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,77
PC-3	10	Simple	Fuera de la soldadura	satisfactorio	10,0
PC-4	10	Simple	Fuera de la soldadura	satisfactorio	10.08
PC-5	10	Simple	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,87
PD-1	10	Simple	Apoyo	satisfactorio	9,27
PD-2	10	Simple	Nudo	No satisfactorio	8,30
PD-3	15	Simple	Apoyo y Nudo	No satisfactorio	8,04
PD-4	10	Simple	Nudo	No satisfactorio	8,85
PD-5	5	Doble	Nudo	No satisfactorio	8,30
PD-6	5	Doble	Nudo	No satisfactorio	8,75
PD-7	5	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,28
PD -8	10	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,77
PD-9	10	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,61
PD-10	15	Doble	En la soldadura	No satisfactorio	5,30
PD -11	15	Doble	Nudo	No satisfactorio	5,35
PD-12	15	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,40
PD-13	15	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,63
PD-14	20	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	9,18
PD-15	20	Doble	Apoyo	No satisfactorio	9,58
PD-16	20	Doble	Nudo	No satisfactorio	9,20
PD-17	20	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	8,89
PD-18	20	Doble	En el Apoyo	satisfactorio	10,47
PDD-19	20	Doble	En el Nudo	satisfactorio	11,18
PDD-20	20	Doble	Apoyo	satisfactorio	11,21
PDD21	20	Doble	Apoyo	satisfactorio	11,15
PDD22	20	Doble	Fuera de la soldadura	satisfactorio	11.0

Fuente: Elaboración Propia

Además de los resultados obtenidos de las muestras soldadas, se sometieron 2 probetas sin soldar de 50 cm de longitud de barras No 5, con el fin de tener una referencia de los valores de carga de fluencia y carga de tracción tanto experimental como teórica.

A continuación se presenta el gráfico Esfuerzo Vs deformación obtenido con los datos de laboratorio de las probetas sin soldar (Código PSS).

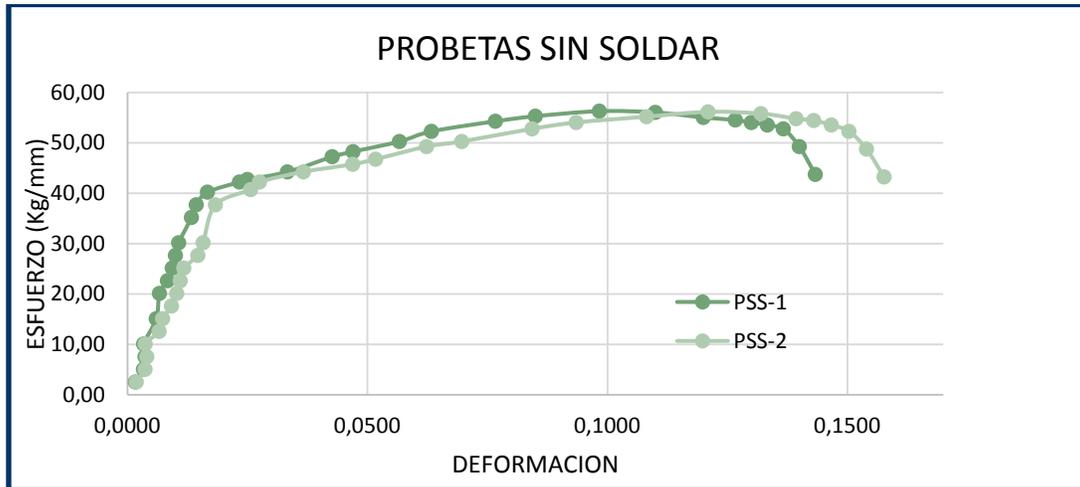


Figura 87. Gráfico Esfuerzo Vs deformación Probetas sin soldar

5.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Según la norma Colombiana NTC 2289 para una barra de acero corrugado se tiene que:

- ✓ Resistencia a la fluencia mínima = 42 Kg/mm²
- ✓ Resistencia a la fluencia máxima = 55 Kg/mm²
- ✓ Resistencia a la tracción = 56 Kg/mm²

Luego para una barra de 5/8" despejando la carga se tiene:

$$\text{Área sección transversal} = 199 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}}$$

$$42 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = \frac{\text{Carga}}{199 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Carga} = 199 \text{ mm}^2 * 42 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 8358 \text{ kg} * 0,001 = 8,358 \text{ ton}$$

- ✓ Carga de fluencia para una barra 5/8" = 8,358 ton
- ✓ Carga de tracción para una barra de 5/8" = 11,14 ton

Además la resistencia a la tracción no debe ser menor a 1,25 veces la resistencia de fluencia mínima especificada del tipo y grado de barra a ser unido.

Debido a que la resistencia de fluencia mínima especificada para las barras corrugadas PDR60 (ASTM A706) es de 42 Kg/mm², el esfuerzo de tracción no debe ser menor a 52,5 Kg/mm², luego la carga de tracción para una barra No 5 no debe ser menor de 10,4475 ton.

Para las muestras ensayadas en el laboratorio se tiene⁸:

- ✓ Carga de tracción PSS-1 = 11,20 ton
- ✓ Carga de tracción PSS-2= 11,17 ton

De los resultados anteriores se lograron las siguientes observaciones:

- ✓ Los resultados obtenidos en el laboratorio de las barras sin soldar se encuentran dentro de los valores establecidos por la norma.
- ✓ Se observó la falta de material de aporte en algunas muestras soldadas sin separación con código PD, con apoyo de 5, 10 y 15 cm; lo que ocasionó la ruptura de estas antes de llegar a la fluencia, por lo que se estableció una separación mínima entre las barras a soldar a tope de 1/8".
- ✓ En las muestras soldadas con cordón simple, se presentó también falta de material de aporte y problemas de porosidades, notándose esto en el desprendimiento del apoyo y en una ruptura antes de llegar a la fluencia.



Figura 88. Problemas de falta de material de aporte, penetración y porosidades

⁸Datos de laboratorio de las probetas sin soldar PSS-1 Y PSS-2 se encuentran en Anexos

- ✓ La mayoría de las muestras realizadas presentan resultados de resistencia a tracción por debajo del mínimo establecido por la NTC 2289.
- ✓ La longitud de apoyo hallado en el análisis matemático teórico, no arrojo resultados favorables en el estudio, debido a que para el cálculo se trabajó con un valor de garganta efectiva de 0,6S, pero esto es teniendo en cuenta que el personal de soldadura debe ser calificado; por lo que se considero en la investigación adoptar un valor de garganta efectiva de 0,35S; ya que el personal de soldadura con el que se está trabajando no es calificado y este no está en capacidad de realizar el procedimiento con pase de raíz.
- ✓ Al confrontar el resultado obtenido de las barras soldados con los resultados de las barras sin soldar, se verificó que las muestras con código PDD y longitud de apoyo de 20 cm, presentan resultados satisfactorios, tanto en ejecución como en el funcionamiento del sistema diseñado.
- ✓ Los resultados de carga de tracción de las muestras PDD con apoyo de 20 cm, se encuentran por encima del mínimo aceptado por la norma el cual es de 10,4475 Ton.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados y las observaciones mencionadas.

Tabla 27. Resumen resultados y observaciones

Muestra código PDD				
Área (mm²): 199				
Resultados obtenidos				
PDD	Carga Tracción (Ton)	Esfuerzo Tracción (Kg/mm²)	Requerimiento NTC 2289 (AST A706).	Observación
18	10,47	52.61	1,25 veces la resistencia de fluencia mínima: Carga: 10,45 Ton Esfuerzo: 52,5 Kg/mm ²	CONFORME
19	11,18	56,33		CONFORME
20	11,21	56,03		CONFORME
21	11,15	57,14		CONFORME
22	11,00	55.28		CONFORME
Fuente: Elaboración Propia				

Por lo anterior más la comprobación experimental se determinó que el diseño que mejor cumple tanto en ejecución como en servicio es el que se presenta a continuación:

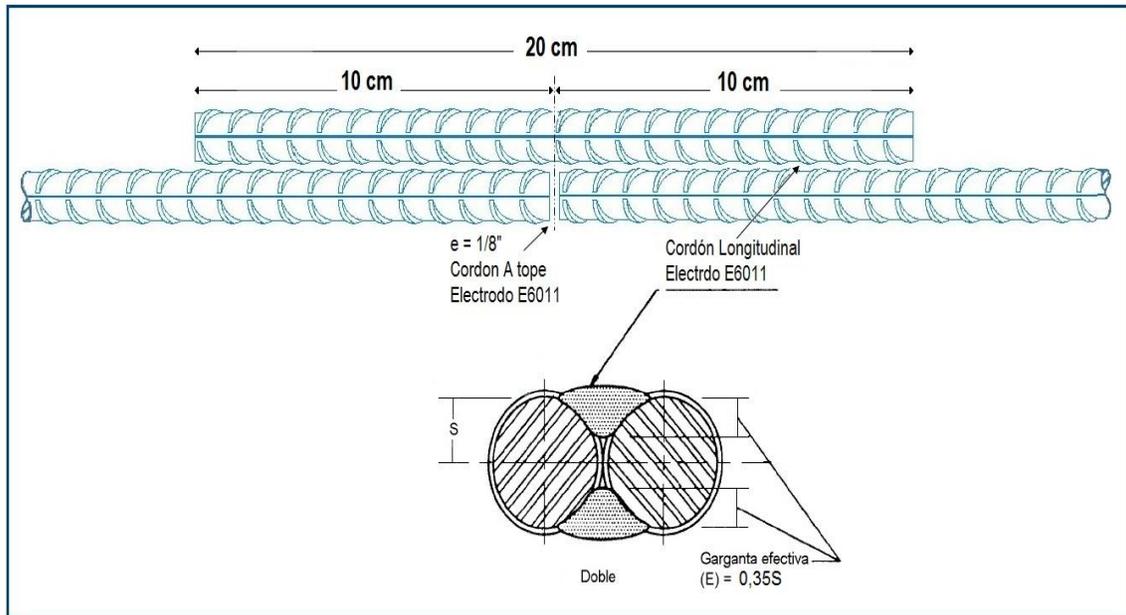


Figura 89. Esquema Diseño planteado

6. ETAPA 3. DISEÑO DEFINITIVO, APLICACIÓN DEL DISEÑO PRELIMINAR EN CAMPO

Se procedió a la realización de las muestras en campo, para esto se trasladó equipo, insumos y material base a cada taller presentes en la etapa 1. Para la elaboración de estas muestras se seleccionó el personal de soldadura, el cual en las pruebas ante preliminares no presento defectos considerables. Se contó con un total de 10 Probetas.

6.1 EQUIPO, INSUMOS Y PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de la tercera etapa se utilizaron los insumos, equipo y procedimiento antes mencionados en el capítulo 3, estos son:

- ✓ **Material de aporte (Electrodo):** E6011 de la casa WEST ARCO
- ✓ **Equipo:** Equipo de soldadura tipo inversor BP de 250 Amp.
- ✓ **Proceso:** Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).

6.2 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS

En la elaboración de la muestras se establecieron unas pautas a seguir en el procedimiento, con el fin de que las muestras presenten igualdad en el mismo, además de garantizar que el sistema diseñado cumpla con el objetivo deseado.

6.2.1 Preparación de las muestras

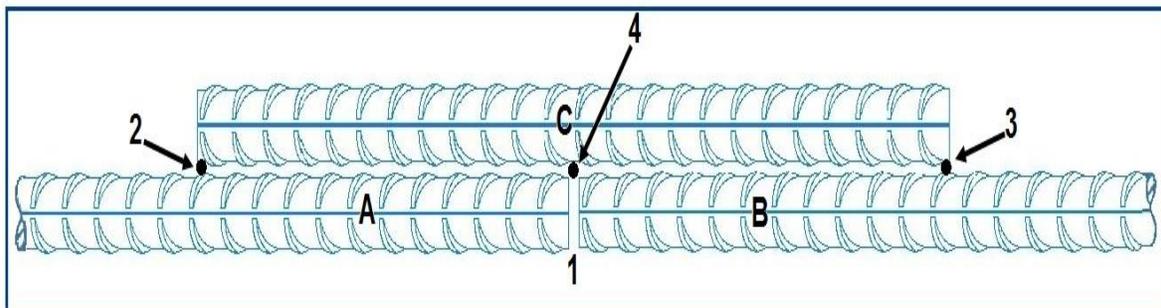


Figura 90. Preparación de las partes a soldar

- 1- Separación entre barras A y B a unir mínimo de 1/8"
- 2- Punto de soldadura uniendo las barras A y C
- 3- Punto de soldadura uniendo las barras B y C

4- Punto de soldadura uniendo las barras A, B y C

6.2.2 Elaboración de las probetas

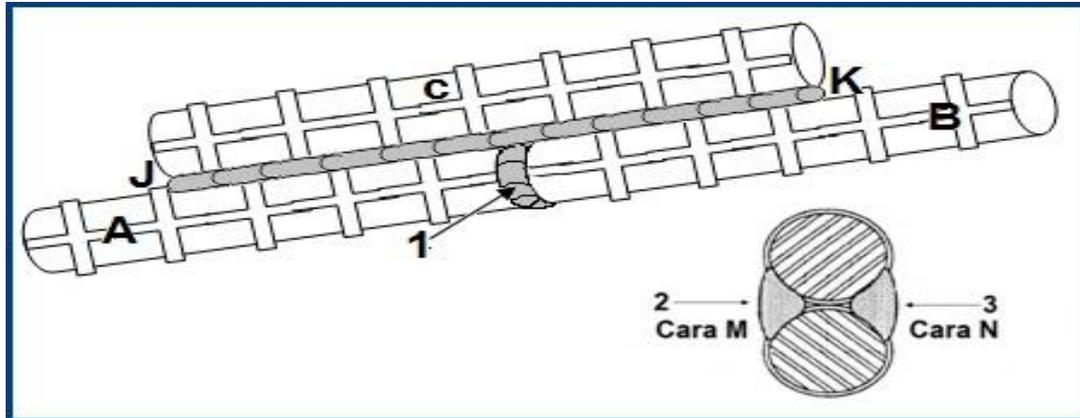


Figura 91. Elaboración de las muestras

- 1- Relleno separación de 1/8" de las barrar A Y B, con cantidad considerable de material de aporte, con el fin de proporcionar una buena penetración y unión de las partes.
- 2- Cordón longitudinal de soldadura continuo de J - K, uniendo A, B Y C (Cara M)
- 3- Cordón longitudinal de soldadura continuo de K - J, uniendo A, B Y C (Cara N)

A continuación se presenta una recopilación fotográfica de las muestras Diseño definitivo



Figura 92 Muestras diseño definitivo



Figura 93. Elaboración de las muestras (a)



Figura 94. Elaboración de las muestras (b)



Figura 95. Ensayo de las muestras

Las muestras son ensayadas a tracción en la máquina universal, obteniendo los resultados de carga de ruptura, lugar de ruptura entre otros.

Tabla 28. Resultados muestras diseño definitivo

Código Probeta	Long Apoyo (cm)	Cordón	Electrodos	Lugar de la ruptura	Desempeño de la unión	Carga de ruptura (Ton)
PDD-23	20	Doble	6	Nudo	Satisfactorio	11,91
PDD-24		Doble	4	Fuera de la soldadura	Satisfactorio	11,77
PDD-25		Doble	3	En todo el sistema	No satisfactorio	10,15
PDD-26		Doble	3	Fuera de la soldadura	Satisfactorio	11,48
PDD-27		Doble	5	Nudo	satisfactorio	11,96
PDD-28		Doble	4	Nudo	satisfactorio	12,02
PDD-29		Doble	5	En la soldadura	No satisfactorio	11,76
PDD-30		Doble	4	Apoyo	satisfactorio	11,37
PDD-31		Doble	5	Fuera de la soldadura	satisfactorio	11,68
PDD-32		Doble	5	Fuera de la soldadura	satisfactorio	11,57

Fuente: Elaboración Propia

6.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los resultados anteriores se lograron las siguientes observaciones:

- ✓ Se comprobó que el diseño planteado presenta buenos resultados tanto en el laboratorio como en campo.
- ✓ Los resultados de carga de tracción de las muestras realizadas se encuentran por encima de 1,25 veces la resistencia de fluencia mínima teórica.
- ✓ Se constató que el procedimiento planteado es de fácil entendimiento y aplicación en campo.
- ✓ El promedio de electrodos gastados en una muestra está entre 3 a 5 aproximadamente.

Tabla 29. Resumen resultados y observaciones

Muestra código PDD					
Área (mm²): 199					
Resultados obtenidos					
PDD	Carga Tracción (Ton)	Esfuerzo Tracción (Kg/mm²)	Amperaje	Requerimiento NTC 2289 (AST A706).	Observación
23	11,91	59,84	98	1,25 veces la resistencia de fluencia mínima: Carga: 10,45 Ton Esfuerzo: 52,5 Kg/mm ²	CONFORME
24	11,77	59,14	66		CONFORME
25	10,15	51,00	88		INCONFORME
26	11,48	57,69	60		CONFORME
27	11,96	60,10	97		CONFORME
28	12,02	60,40	80		CONFORME
29	11,76	59,10	60		CONFORME
30	11,37	57,14	80		CONFORME
31	11,68	58,70	61		CONFORME
32	11,57	58,14	95		CONFORME
Fuente: Elaboración Propia					

7. COMPROBACIÓN DISEÑO DEFINITIVO

Se realizaron un total de 6 muestras, las cuales fueron elaboradas por personal de soldadura tomado al azar del personal que participo en la etapa 3. Se trasladó a cada taller equipo, insumos y material base.

7.1 EQUIPO, INSUMOS Y PROCEDIMIENTO

Para la comprobación del diseño definitivo planteado se utilizaron los insumos, equipo y procedimiento antes utilizados en la etapa 3, estos son:

- ✓ **Material de aporte (Electrodo):** E6011 de la casa WEST ARCO
- ✓ **Equipo:** Equipo de soldadura tipo inversor BP de 250 Amp.
- ✓ **Proceso:** Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

7.2 ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Se llevaron a cabo las muestras teniendo en cuenta las pautas establecidas anteriormente mencionadas en la elaboración de las muestras de diseño definitivo.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 30. Resultados muestras Comprobación diseño

Muestra código PDD				
Área (mm ²): 199				
Resultados obtenidos				
PCD	Carga Tracción (Ton)	Esfuerzo Tracción (Kg/mm ²)	Requerimiento NTC 2289 (AST A706).	Observación
1	11,70	59,79	1,25 veces la resistencia de fluencia mínima: Carga: 10,45 Ton Esfuerzo: 52,5 Kg/mm ²	CONFORME
2	11,21	56,33		CONFORME
3	10,50	52,76		CONFORME
4	10,60	53,27		CONFORME
5	11,68	58,70		CONFORME
6	11,40	57,29		CONFORME
Fuente: Elaboración Propia				

A continuación se presentan una recopilación fotográfica de las muestras:



Figura 96. Elaboración Muestras comprobación del diseño (a)



Figura 97. Elaboración de Muestras comprobación del diseño (b)



Figura 98. Muestras Comprobación Diseño

Se constataron los resultados obtenidos en la etapa tres. Los resultados de carga de tracción en las muestras de comprobación también se encuentran dentro de lo establecido.

A continuación se presenta el procedimiento de soldadura establecido; en donde se puede encontrar:

- ✓ Recomendación del equipo a emplear
- ✓ insumos
- ✓ Técnica de soldadura
- ✓ Tipo de Junta, y longitud del apoyo
- ✓ Elección de personal de soldadura
- ✓ Preparación de la muestra
- ✓ Elaboración de la muestra.

Tabla 31. Procedimiento de soldadura establecido

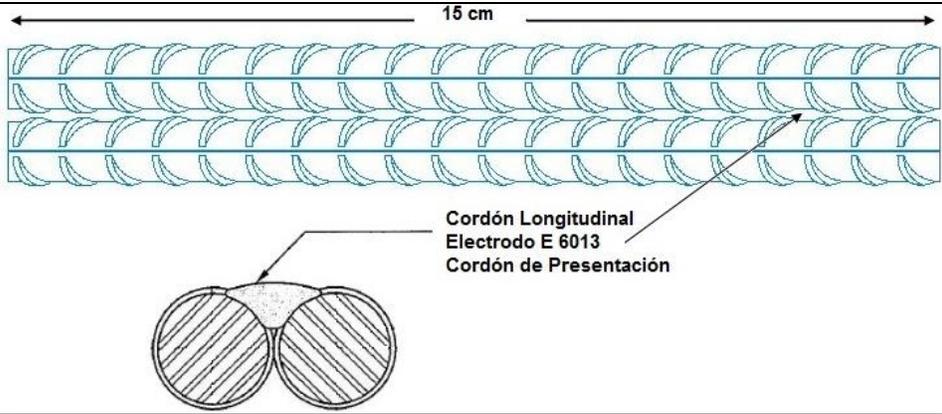
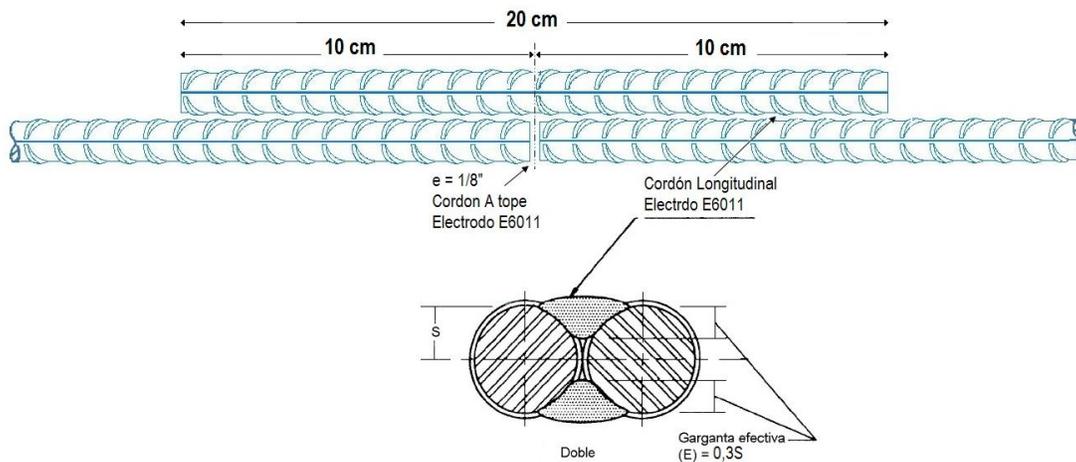
EQUIPO, ELECTRODO Y TECNICA DE SOLDADURA					
EQUIPO	Especificaciones mínimas				
	Tipo de corriente: AC - DC				
	Ciclo de trabajo: Mínimo 60% - 100 Amp.				
	Voltaje de salida (OCV) Mínimo de 30 Voltios				
ELECTRODO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Para elección del persona</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Para elaboración de las juntas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> Características E6013: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimiento de base Rutilio y potasio ✓ Electrodo de presentación ✓ Corriente Alterna o continua, polaridad (+ o -) ✓ Resistencia a la tracción de 60 - 74 Ksi ✓ Límite de fluencia de 48 - 65 Ksi </td> <td> Características E6011 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimiento Celulósico ✓ Electrodo de penetración ✓ Electrodo de baja presentación ✓ Corriente alterna o continua, polaridad (+) ✓ Resistencia a la tracción de 63 - 74 Ksi ✓ Límite de fluencia 50 - 60 Ksi. </td> </tr> </tbody> </table>	Para elección del persona	Para elaboración de las juntas	Características E6013: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimiento de base Rutilio y potasio ✓ Electrodo de presentación ✓ Corriente Alterna o continua, polaridad (+ o -) ✓ Resistencia a la tracción de 60 - 74 Ksi ✓ Límite de fluencia de 48 - 65 Ksi 	Características E6011 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimiento Celulósico ✓ Electrodo de penetración ✓ Electrodo de baja presentación ✓ Corriente alterna o continua, polaridad (+) ✓ Resistencia a la tracción de 63 - 74 Ksi ✓ Límite de fluencia 50 - 60 Ksi.
	Para elección del persona	Para elaboración de las juntas			
Características E6013: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimiento de base Rutilio y potasio ✓ Electrodo de presentación ✓ Corriente Alterna o continua, polaridad (+ o -) ✓ Resistencia a la tracción de 60 - 74 Ksi ✓ Límite de fluencia de 48 - 65 Ksi 	Características E6011 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revestimiento Celulósico ✓ Electrodo de penetración ✓ Electrodo de baja presentación ✓ Corriente alterna o continua, polaridad (+) ✓ Resistencia a la tracción de 63 - 74 Ksi ✓ Límite de fluencia 50 - 60 Ksi. 				
TÉCNICA DE SOLDADURA	SMAW				
ELECCIÓN DEL PERSONAL DE SOLDADURA					
PROBETA	 <p style="text-align: center;">15 cm</p> <p style="text-align: center;">Cordón Longitudinal Electrodo E 6013 Cordón de Presentación</p>				
ENSAYO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Inspección visual</td> <td> Parámetros visuales a determinar: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Socavación ✓ Porosidad ✓ Presentación del cordón ✓ Principio y fin del cordón ✓ Incrustación de escoria </td> </tr> </tbody> </table>	Inspección visual	Parámetros visuales a determinar: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Socavación ✓ Porosidad ✓ Presentación del cordón ✓ Principio y fin del cordón ✓ Incrustación de escoria 		
Inspección visual	Parámetros visuales a determinar: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Socavación ✓ Porosidad ✓ Presentación del cordón ✓ Principio y fin del cordón ✓ Incrustación de escoria 				
VALORACIÓN	Se escoge al personal de soldadura, quien en las muestras no presente defectos de socavación, porosidad e incrustación de escoria.				

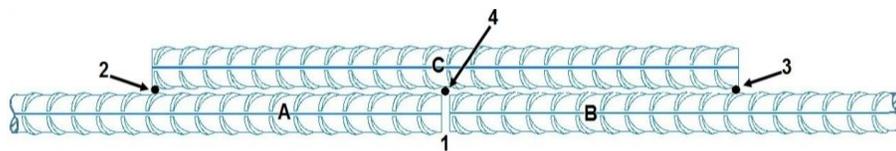
Tabla 31. (Continuación)

JUNTA Y LONGITUD DE APOYO ESTABLECIDAS



PREPARACION DE LA JUNTA

PREPARACION DE LAS PARTES A SOLDAR

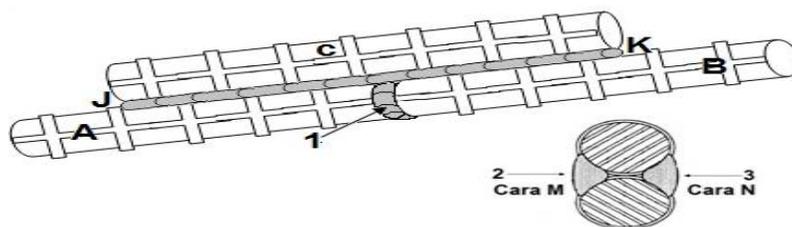


- (1) Separación entre barras A y B a unir mínimo de 1/8"
- (2) Punto de soldadura uniendo las barras A y C
- (3) Punto de soldadura uniendo las barras B y C
- (4) Punto de soldadura uniendo las barras A, B y C

Nota El material base debe estar limpio

ELABORACION DE LA JUNTA

EJECUCION



- (1) Relleno separación de 1/8" de las barrar A Y B, con cantidad considerable de material de aporte, para proporcionar una buena penetración en el nudo
- (2) Cordón longitudinal de soldadura continuo de J - K, uniendo A, B Y C (Cara M)
- (3) Cordón longitudinal de soldadura continuo de K - J, uniendo A, B Y C (Cara N)

Nota El empalme del cordón longitudinal no debe coincidir con el Nudo.

8. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO

Tabla 32. Cálculo del valor unitario del acero de refuerzo.

Acero de refuerzo				
Ítem	Unidad	Cantidad	V. comercial	V. unitario
acero de refuerzo 5/8	metros	6	17000	2833

Tabla 33. Cálculo del valor parcial del traslapo.

traslapo acero de refuerzo				
Ítem	Unidad	Cantidad	V. comercial	V. subtotal
traslapo	metros	1,8415	2833	5218

Tabla 34. Calculo de valores unitarios para el procedimiento de soldadura.

Materiales y mano de obra					
Ítem	Unidad	Cantidad	V. c	V. u	Unidad
Soldadura E6011	Electrodos	34	6000	176	pesos/electrodo
Disco de corte 7"x1/16"	Cortes x disco	60	3500	58	pesos/corte
Energía eléctrica	kw*h/ electrodo	0.088	350	31	pesos/electrodo
Operario	Pegas/hora	12	2567	214	pesos/pega

Tabla 35. Cálculo del valor parcial de procedimiento de soldadura.

Unión soldada				
Item	Unidad	Cantidad		
Soldadura E6011	pesos/electrodo	4	176	706
Disco de corte 7"x1/16"	pesos/corte	1	58	58
Energía eléctrica	pesos/electrodo	4	31	124
Acero de refuerzo 5/8	pesos/metro	0,2	2833	567
Operario	pesos/pega	1	214	214
			%5 rendimiento	83
			v. total	1752

De Acuerdo a los datos obtenidos anteriormente se puede observar que el costo en precio de la unión traslapada es aproximadamente 3 veces el costo en precio de la unión soldada.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Se alcanzaron todos los objetivos propuestos en esta investigación.
- ✓ Las probetas realizadas con el equipo tipo inversor presentan un mejor comportamiento que las realizadas con el tipo transformado AC.
- ✓ La ruptura en las probetas realizadas con el equipo tipo transformador, se presento en la unión en el material de aporte, lo cual indica una falla de tipo frágil, lo que lleva a una pobre capacidad de deformación de las probetas.
- ✓ Se presentaron mayores defectos en la soldadura con el equipo tipo transformador, ya que el equipo presenta inestabilidad del arco, debido a la potencia del equipo.
- ✓ El equipo Tipo transformador no es recomendado, ya que por ser un equipo de corriente AC con amperaje de 225 Amp, OCV de 22 voltios y tiempo de trabajo de 20%; presenta problemas en la estabilidad del arco, a diferencia del equipo tipo inversor que mantiene un arco estable.
- ✓ Se constató el fácil manejo y transporte del equipo seleccionado para la investigación.
- ✓ Los resultados obtenidos en el laboratorio de las barras sin soldar se encuentran dentro de los valores establecidos por la norma.
- ✓ Se observó en la Etapa 2, la falta de material de aporte en algunas muestras soldadas sin separación con código PD, con apoyo de 5, 10 y 15 cm; lo que ocasionó la ruptura de estas antes de llegar a la fluencia, por lo que se estableció una separación mínima entre las barras a soldar a tope de 1/8".
- ✓ En las muestras soldadas en la etapa 2 con cordón simple, se presentó también falta de materia de aporte y problemas de porosidades, notándose esto en el desprendimiento del apoyo y en una ruptura antes de llegar a la fluencia.
- ✓ La longitud de apoyo hallado en el análisis matemático teórico no arrojo resultados favorables en el estudio debido a que para el cálculo se trabajo con un valor de garganta efectiva de 0,6S pero esto es teniendo en cuenta que el personal de soldadura debe ser calificado, por lo que se considero en la investigación adoptar un valor de garganta efectiva de 0,35S, ya que el personal de soldadura con el que se está trabajando no es calificado y este no está en capacidad de realizar el procedimiento con pase de raíz.
- ✓ Al confrontar el resultado obtenidos de las barras soldados con los resultados de las barras sin soldar en la Etapa 2, se verificó que las muestras con código PDD y longitud de apoyo de 20 cm presentan resultados satisfactorios, tanto en ejecución como en el funcionamiento del sistema diseñado.

- ✓ Los resultados de carga de tracción de las muestras PDD con apoyo de 20 cm se encuentran por encima del mínimo aceptado por la norma el cual es de 10,4475 Ton.
- ✓ Se comprobó que el diseño planteado presenta buenos resultados tanto en el laboratorio como en campo.
- ✓ Los resultados de carga de tracción de las muestras diseño definitivo realizadas se encuentran por encima de 1,25 veces la resistencia de fluencia aplicada teórica.
- ✓ Se constató que el procedimiento planteado “Diseño definitivo” es de fácil entendimiento y aplicación en campo.
- ✓ Como resultado de la investigación se determinó una longitud de apoyo de 20cm y una separación entre barras unidas a tope de 1/8”, con lo cual se presentó buena penetración, mostrando buenos resultados tanto en ejecución como en servicio.
- ✓ El promedio de electrodos gastados en una muestra en la etapa 3 está en 3 a 5 aproximadamente.
- ✓ Se determino que el costo en pesos de la unión traslapada es aproximadamente 3 veces el costo en pesos de la unión soldada.
- ✓ En la ejecución de esta investigación se constató la falta de adecuación del laboratorio de estructuras de la facultad de ingeniería civil de la Universidad del Cauca, debido a que no cuenta con una buena ventilación y esta es necesaria a la hora de llevar a cabo procedimientos de soldadura.
- ✓ Se recomienda adecuar el laboratorio de estructuras de la facultad de ingeniería civil de la Universidad del Cauca con equipo de buenas características para la ejecución de futuros proyectos relacionados con soldadura.
- ✓ En la realización de este estudio no se pudo contar con las herramientas esenciales como son las mordazas, las cuales son necesarias para la realización del ensayo de tracción en barras corrugadas, por lo que es necesario la compra o la fabricación de estas para una futura investigación o para los debidos ensayos que se realizan en este laboratorio.
- ✓ En el desarrollo de este trabajo se llegó a la conclusión de que se debe fomentar la participación en más actividades de tipo investigativo sobre este tema, ya que es importante en el campo de la ingeniería civil.
- ✓ Es necesario realizar otros estudios teniendo en cuantos aspectos como la confinación que ejerce el concreto sobre el refuerzo estructural, lo cual es importante en la determinación del diseño de soldadura a emplear. Además de analizar las posibles longitudes de apoyó en otros tamaños de barras menores a la No 6.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN NATIONAL STANDARD/AMERICAN WELDING SOCIETY. (1991). Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding. Miami: (ANSI/AWS A5.1-9).
- AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIAL. (2006). Low-alloy steel deformed and plain bars for concrete reinforcement. Philadelphia: (AST A706/A-706M).
- AMERICAN WELDING SOCIETY . (2004). Structural Welding Code reinforcing steel. Miami: (ANSI/AWS D1.4).
- AMERICAN WELDING SOCIETY. (1993). Standard symbols for welding brazing and nondestructive examination. Miami: (ANSI/AWS A2.4).
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMICA (AIS). (2010). Reglamento Colombiano de Diseño y construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá.
- ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DEL ACERO. (2010). *Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcción en acero*. Santiago de Chile.
- COLDEREON, J. M. (2004). *Modelo ULIRAM para determinar nuevas composiciones químicas para material de aporte*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- GERDAU DIACO. (2012). Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismo resistentes. In M. H. MUÑOS. Bogotá: Zeta, IGC.
- GONZALES, V., BOTERO, J. C., & ROCHEL, R. (2005). Propiedades mecánicas del acero de refuerzo utilizado en Colombia. *Ingeniería y ciencia* , 1 (1), 67-76.
- HURTADO, R. C. (2011). *Estudio de la soldabilidad de barras corrugadas de acero para concreto reforzado Belgo 60*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- INDURA S.A. (2013). Manual de sistemas y materiales de soldadura. Cerrillos, Chile: Ograma.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y CERTIFICACION INCONTEC. (1997). Soldadura. Procedimientos de soldadura para el acero de refuerzo NTC 4040 . Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y CERTIFICACION INCONTEC. (2012). Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto NTC 2289.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS Y CERTIFICACION INCONTEC. (2008). Documentación presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación NTC 1486 . Bogotá.

- JIMENEZ, A. A. (2010, Agosto). Aceros estructurales y riesgo sismico. *Metal Actual* , 18-24.
- JIMENEZ, P. M., GARCIA, A. M., & MORAN, F. C. (2000). Hormigon Armado Basado en EHE, Ajustado al codigo modelo y al Eurocodigo. Barcelona, España: Gustavo Gili, SA.
- QUEZADA, A. F. (2010). *Efectos de la soldadura en empalme de acero de refuerzo, para hormigón armado*. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- QUISPE, M. A. (2011). *Estudio de la fluencia mecánica del acero corrugado sometido a soldadura*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.
- SOLDEXA. (2008). Manual del soldador y catalogo de productos. Lima, Perú: Soldexa, Oerlikon.
- WEST ARCO. (n.d.). Catalogo de productos . *Electrodos para soldar aceros al carbono* . Bogota, Colombia.

ANEXOS

Anexo A. Formato 1: Encuesta a soldadores (Personal de soldadura) Etapa 1
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO
EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Metálicas Pacheco **Dirección:** Carrera 31 No 14 -12
Teléfono: 311-3217116 8362448 **Amperaje:** 103

CÓDIGO DE PROBETA:	P1	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-1
EDAD:	28

EXPERIENCIA EN SOLDADURA					
Experiencia como soldador:	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:					

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Metálicas Pacheco **Dirección:** Carrera 31 No 14 -12
Teléfono: 311-3217116 8362448 **Amperaje:** 111

CÓDIGO DE PROBETA:	P2	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-2
EDAD:	38

EXPERIENCIA EN SOLDADURA					
Experiencia como soldador:	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:					

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8	1/8	1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Metálicas Pacheco **Dirección:** Carrera 31 No 14 -12
Teléfono: 311-3217116 8362448 **Amperaje:** 111

CÓDIGO DE PROBETA:	P3	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-3
EDAD:	36

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Independiente **Dirección:** Calle 15 No 19-10
Teléfono: 311-6269859 **Amperaje:** 115

CÓDIGO DE PROBETA:	P4	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-4
EDAD:	56

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/4	3/16	3/16	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Metálicas Taller de soldadura **Dirección:** Carrera 17 con calle 15 esquina

Teléfono: 320-8814801 **Amperaje:** 145

CÓDIGO DE PROBETA:	P5	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-5
EDAD:	37

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8	1/8	1/8	1/8

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Metálicas Taller de soldadura **Dirección:** Car 17 con calle 15 esquina
Teléfono: 320-8814801 **Amperaje:** 245

CÓDIGO DE PROBETA:	P6	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-6
EDAD:	41

EXPERIENCIA EN SOLDADURA					
Experiencia como soldador:	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:					

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8	1/8	1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Industrias metálicas ferry **Dirección:** calle 15 No 20-95
Teléfono: 312-8130546 **Amperaje:** 174

CÓDIGO DE PROBETA:	P7	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-7
EDAD:	23

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿Electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Industrias metálicas ferry **Dirección:** Calle 15 No 20-95
Teléfono: 312-8130546 **Amperaje:** 205

CÓDIGO DE PROBETA:	P8	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-8
EDAD:	38

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Industrias metálicas ferry **Dirección:** Calle 15 No 20-95
Teléfono: 311-3217116 8362448 **Amperaje:** 174

CÓDIGO DE PROBETA:	P9	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-9
EDAD:	41

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Industrias metálicas ferry **Dirección:** Calle 15 No 20-95
Teléfono: 312-8130546 **Amperaje:** 171

CÓDIGO DE PROBETA:	P10	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-10
EDAD:	21

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Fermetalicas **Dirección:** Carrera 9 No 19-24
Teléfono: 321-7294265 **Amperaje:** 145

CÓDIGO DE PROBETA:	P11	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-11
EDAD:	28

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Fermetalicas **Dirección:** carrera 9 No 14-24
Teléfono: 313-5654648 **Amperaje:** 103

CÓDIGO DE PROBETA:	P12	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-12
EDAD:	42

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Metálicas Gómez **Dirección:** Calle 4ª No 34-62
Teléfono: 313-7413683 **Amperaje:** 143

CÓDIGO DE PROBETA:	P13	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-13
EDAD:	38

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Sermetalicas del Cauca **Dirección:** Calle 4 No 64-35
Teléfono: 313-2641471 **Amperaje:** 121

CÓDIGO DE PROBETA:	P14	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-14
EDAD:	23

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Sermetalicas del Cauca **Dirección:** Calle 4 No 64-35
Teléfono: 311-3529689 **Amperaje:** 121

CÓDIGO DE PROBETA:	P15	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-15
EDAD:	20

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Sermetalicas del Cauca **Dirección:** Calle 4 No 64-35
Teléfono: 312-2838082 **Amperaje:** 136

CÓDIGO DE PROBETA:	P16	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-16
EDAD:	27

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Sermetalicas del Cauca **Dirección:** Calle 4 No 64-35
Teléfono: 314-7744355 **Amperaje:** 103

CÓDIGO DE PROBETA:	P17	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-17
EDAD:	27

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8	1/8	1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Sermetalicas del Cauca **Dirección:** Calle 4 No 64-35
Teléfono: 312-7870799 **Amperaje:** 130

CÓDIGO DE PROBETA:	P18	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-18
EDAD:	20

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Sermetalicas del Cauca **Dirección:** Calle 4 No 64-35
Teléfono: 320-6449412 **Amperaje:** 127

CÓDIGO DE PROBETA:	P19	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-19
EDAD:	35

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8	1/8	1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN CONCRETO REFORZADO

ENCUESTA A PERSONAL DE SOLDADURA.

Nombre Taller: Independiente **Dirección:** Calle 4ª No 32-51
Teléfono: 318-5472587 **Amperaje:** 123

CÓDIGO DE PROBETA:	P20	FECHA:	04 DE ENERO DE 2014
--------------------	-----	--------	---------------------

DATOS PERSONALES (OPCIONAL)	
CODIGO SOLDADOR	PS-20
EDAD:	20

EXPERIENCIA EN SOLDADURA						
Experiencia soldador:	como	Puentes	Ornamentación	Edificios	Carrocerías	Otras:
experiencia:						

Aplica procesos:	SMAW	GMAW	GTAW	OXICORTE
experiencia:				

Aplica electrodos:	E6013	E7018	E6011	E7010
Diámetros:	1/8		1/8	

POSICIONES EN QUE PUEDE SOLDAR:		
plana	SI	NO
horizontal	SI	NO
vertical ascendente	SI	NO
vertical descendente	SI	NO
Sobre cabeza	SI	NO

APRENDIÓ A SOLDAR EN:		
EMPÍRICO	SI	NO
SENA	SI	NO
OTRO	SI	NO

Preguntas. (No fueron respondidas)

¿El electrodo E7018 (wiz718) es? RUTILICO () BAJO HIDROGENO ()
 CELULÓSICO () OTRO ().

¿El electrodo E7018 puede soldarse con un equipo que suministra corriente de soldeo alterna? SI () NO () NO CONOCE LA RESPUESTA ()

Anexo B. Resultados inspección Visual

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Código

Soldador: PS - 1

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P1 (39-21) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 103

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL							
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración	
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	145.2	7.85				Deficiente	
SOCAVACIÓN			66.1		45.5	Si	
POROS			25.4	5	17.49	Si	
PRINCIPIO CORDÓN							Deficiente
FIN CORDÓN							Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Código

Soldador: PS -2

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P2 (3-10) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 111

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL							
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración	
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	148.9	7.8				Regular	
SOCAVACIÓN			135.85		91.3	Si	
POROS			9.65	2	6.48	Si	
PRINCIPIO CORDÓN							Deficiente
FIN CORDÓN							Deficiente

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Código

Soldador: PS-3

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P3 (20-30) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 111

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	145.4	7.85				Deficiente
SOCAVACIÓN			186		127.9	Si
POROS			40.92	7	28.14	Si
PRINCIPIO CORDÓN						Deficiente
FIN CORDÓN						Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-4

Taller: Calle 15 No 19-10

Código Probeta: P4 (17-24) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 115

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	117.55	13.6				Regular
SOCAVACIÓN			20.65		17.6	Si
POROS			0.00	0	0.00	No
PRINCIPIO CORDÓN						Bueno
FIN CORDÓN						Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-5

Taller: Metálicas taller de soldadura, Carrera 17 con calle 15 esquina

Código Probeta: P5 (38-16) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 145

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	149.2	11.4				Deficiente
SOCAVACIÓN			0,0		0,0	No
POROS			0.00	0	0.00	No
PRINCIPIO CORDÓN						Bueno
FIN CORDÓN						Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-6

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P6 (37-27) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 245

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	149.2	11.4				Deficiente
SOCAVACIÓN			5.4		3.61	Si
POROS			0.00	0	0.00	No
PRINCIPIO CORDÓN						Regular
FIN CORDÓN						Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
 DAVID FERNANDO PANTOJA
 Soldador: PS-7
 Taller: Carrera 17 con calle 15 esquina
 Código Probeta: P7 (29-31) Peso:

Modalidad de
 calificación: observación visual
 Proceso de soldadura: SMAW
 Norma aplicada: No aplica
 Equipo: Inversor
 Posición: 1G
 Electrodo: E6013
 Diámetro: 1/8
 Amperaje: 174

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	151.5	13.75			50	Deficiente
SOCAVACIÓN			11.1		7.32	Si
POROS			0	0	0.0	No
PRINCIPIO CORDÓN						Regular
FIN CORDÓN						Bueno

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-8

Taller: Calle 15 No 20-95

Código Probeta: P8 (5-13) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 205

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	104.75	9.2				Regular
SOCAVACIÓN			42.25		40.3	Si
POROS			0.00	0	0.00	No
PRINCIPIO CORDÓN						Bueno
FIN CORDÓN						Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-9

Taller: Calle 15 No 20-95

Código Probeta: P9 (1-26) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 174

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	110.5	14.2				Regular
SOCAVACIÓN			53.3		48.23	Si
POROS			0	0	0.00	No
PRINCIPIO CORDÓN						Regular
FIN CORDÓN						Bueno

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-10

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P10 (8-34) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 171

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	124.65	11.5				Regular
SOCAVACIÓN			0,0	0,0	0,0	No
POROS			4.1	1	3.71	Si
PRINCIPIO CORDÓN						Regular
FIN CORDÓN						Deficiente

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-11

Taller: Fermetalicas Calle 9 No 10-24

Código Probeta: P11 (35-36) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 145

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	136.75	10.7				Regular
SOCAVACIÓN			50.5		36.9	Si
POROS			0,0	0,0	0,0	No
PRINCIPIO CORDÓN						Regular
FIN CORDÓN						Deficiente

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-12

Taller: Fermat álicas Carrera 9 No 19-24

Código Probeta: P12 (25-6) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 145

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	123.95	10.8				Regular
SOCAVACIÓN			40.75		32.9	Si
POROS			25.4	5	17.49	Si
PRINCIPIO CORDÓN						Regular
FIN CORDÓN						Deficiente

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-13

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P13 (18-12) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 143

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	135.85	9.55				Regular
SOCAVACIÓN			48.4		35.62	Si
POROS			0	0	0	No
PRINCIPIO CORDÓN						Bueno
FIN CORDÓN						80

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-14

Taller: Sermetalicas del Cauca La sombrilla Calle 4 No 64 - 35

Código Probeta: P14 (22-4) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 121

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	144.7	10.55				Regular
SOCAVACIÓN			18.65		12.9	Si
POROS			0	0	0	No
PRINCIPIO CORDÓN					10	Deficiente
FIN CORDÓN					35	Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-15

Taller: Sermetalicas del Cauca La sombrilla Calle 4 No 64 - 35

Código Probeta: P15 (15-20) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 121

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	139.75	8.4				Regular
SOCAVACIÓN			0		0	No
POROS			1.8	1	1.2	Si
PRINCIPIO CORDÓN					50	Deficiente
FIN CORDÓN					90	Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-16

Taller: Sermetalicas del Cauca La sombrilla Calle 4 No 64 - 35

Código Probeta: P16 (32-7) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 136

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	144.5	8.85			40	Deficiente
SOCAVACIÓN			0		0	No
POROS			0	0	0	No
PRINCIPIO CORDÓN					50	Regular
FIN CORDÓN					50	Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-17

Taller: Sermetalicas del Cauca La sombrilla Calle 4 No 64 - 35

Código Probeta: P7 (18-12) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 130

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	154.5	12				Regular
SOCAVACIÓN			0		0	No
POROS			0	0	0	No
PRINCIPIO CORDÓN						Bueno
FIN CORDÓN						Bueno

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-18

Taller: Sermetalicas del Cauca La sombrilla Calle 4 No 64 - 35

Código Probeta: P18 (46-11) Peso:

Modalidad de
calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 130

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL							
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración	
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	149.95	12				Bueno	
SOCAVACIÓN			0		0	No	
POROS			0	0	0	No	
PRINCIPIO CORDÓN						10	Bueno
FIN CORDÓN						20	Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-19

Taller: Sermetalicas del Cauca La sombrilla Calle 4 No 64 - 35

Código Probeta: P19 (18-21) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 127

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	155	10.1			100	Deficiente
SOCAVACIÓN			42.55		27.45	Si
POROS			3.9	2	2.51	Si
PRINCIPIO CORDÓN					80	Deficiente
FIN CORDÓN					50	Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-20

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P20 (18-12) Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 123

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	142.7	11			40	Buena
SOCAVACIÓN			0		0	No
POROS			4.5	0	3	Si
PRINCIPIO CORDÓN					10	Deficiente
FIN CORDÓN					80	Regular

FORMATO No 2. INSPECCIÓN VISUAL

FECHA: 04 de enero de 2014

Observadores: MARCELA PANTOJA PACHAJOA
DAVID FERNANDO PANTOJA

Soldador: PS-21

Taller: Metálicas Pacheco Carrera 31 No 14-12

Código Probeta: P21 () Peso:

Modalidad de calificación: observación visual
Proceso de soldadura: SMAW
Norma aplicada: No aplica
Equipo: Inversor
Posición: 1G
Electrodo: E6013
Diámetro: 1/8
Amperaje: 95

MATERIAL BASE

2 barras de acero PDR60 número 5 de longitud 15 cm, las cuales se unirán con un cordón longitudinal de soldadura, aplicando proceso SMAW

INSPECCIÓN VISUAL						
DISCONTINUIDADES	L. cordón (mm)	A. cordón (mm)	L. defecto (mm)	Cantidad	%	Valoración
PRESENTACIÓN DEL CORDÓN	142.7	11			40	Deficiente
SOCAVACIÓN			0		0	No
POROS			4.5	1	3	Si
PRINCIPIO CORDÓN					10	Deficiente
FIN CORDÓN					80	Deficiente

Anexo C. Datos ensayo de tracción Muestras PSS



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURA

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN COCNRETO REFORZADO

FORMATO 3: PRUEBA DE TRACCION DE BARRAS DE ACERO

Código de la Muestra: PSS-1	Fecha: Noviembre de 2013
Diámetro Barra: 5/8	Tipo de Acero: PDR 60
Longitud Inicial (mm): 500	Longitud efectiva L_0 (mm): 300
Area Efectiva (mm ²): 199	Carga de Tracción:

Carga (Ton)	Deforor (mm)	Carga (Kgf)	$\bar{\sigma}$ (Kgf/mm ²)	ϵ
0,5	0,5	500	2,51	0,0017
1	1	1000	5,03	0,0033
1,5	1,1	1500	7,54	0,0037
2	1,01	2000	10,05	0,0034
3	1,8	3000	15,08	0,0060
4	2	4000	20,10	0,0067
4,5	2,5	4500	22,61	0,0083
5	2,8	5000	25,13	0,0093
5,5	3	5500	27,64	0,0100
6	3,2	6000	30,15	0,0107
7	4	7000	35,18	0,0133
7,5	4,3	7500	37,69	0,0143
8	5	8000	40,20	0,0167
8,4	7	8400	42,21	0,0233
8,5	7,5	8500	42,71	0,0250
8,8	10	8800	44,22	0,0333
9,4	12,8	9400	47,24	0,0427
9,6	14,1	9600	48,24	0,0470
10	17	10000	50,25	0,0567
10,4	19	10400	52,26	0,0633
10,8	23	10800	54,27	0,0767
11	25,5	11000	55,28	0,0850
11,2	29,5	11200	56,28	0,0983
11,15	33	11150	56,03	0,1100
10,95	36	10950	55,03	0,1200
10,85	38	10850	54,52	0,1267
10,75	39	10750	54,02	0,1300
10,65	40	10650	53,52	0,1333
10,5	41	10500	52,76	0,1367
9,8	42	9800	49,25	0,1400
8,7	43	8700	43,72	0,1433



PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS DE ACERO PDR60 PARA EL USO EN COCNETO REFORZADO

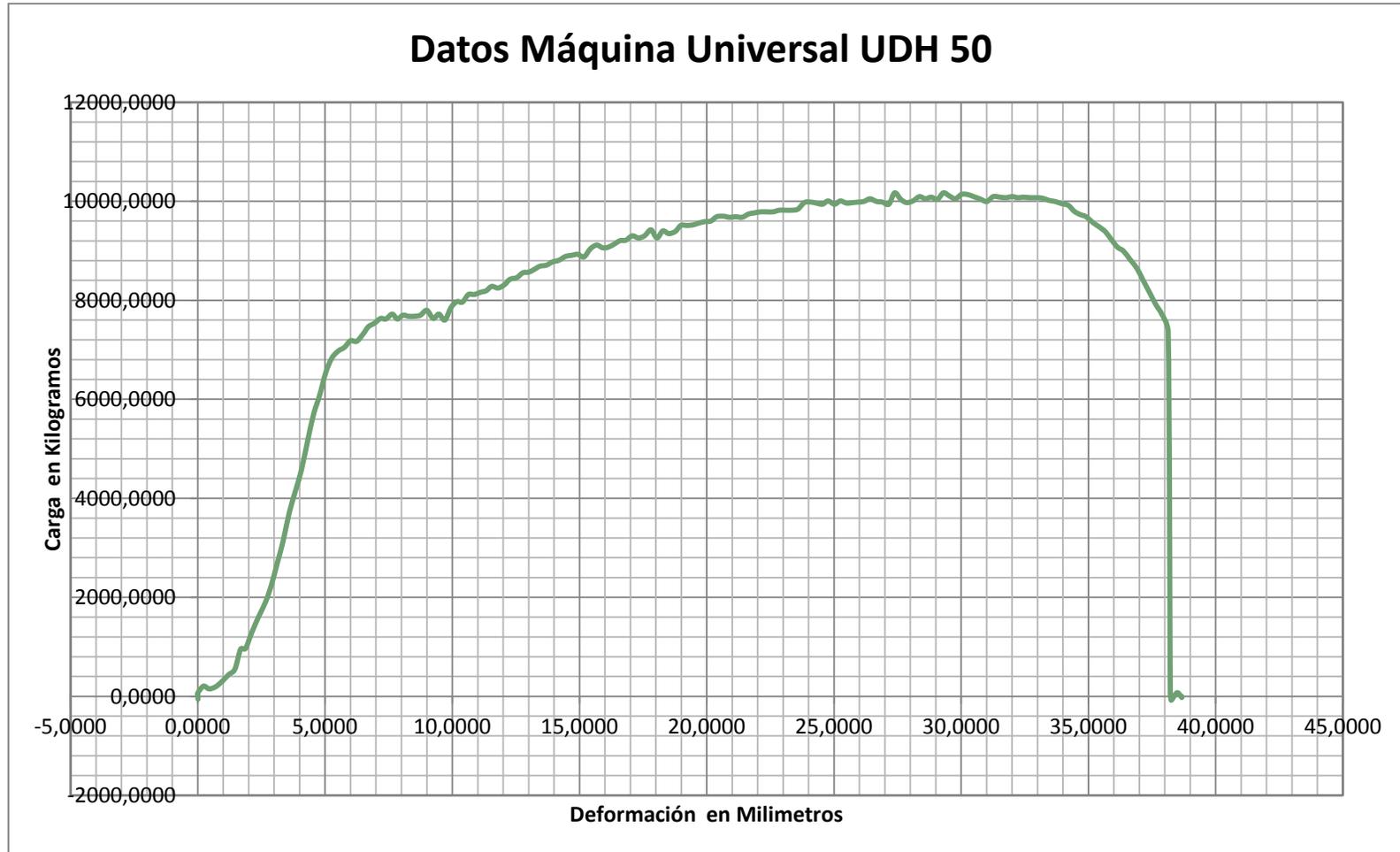
FORMATO 3: PRUEBA DE TRACCION DE BARRAS DE ACERO

Código de la Muestra: PSS-2	Fecha: Noviembre de 2013
Diámetro Barra: 5/8	Tipo de Acero: PDR 60
Longitud Inicial (mm): 500	Longitud efectiva L_0 (mm): 300
Área Efectiva (mm ²): 199	Carga de Tracción:

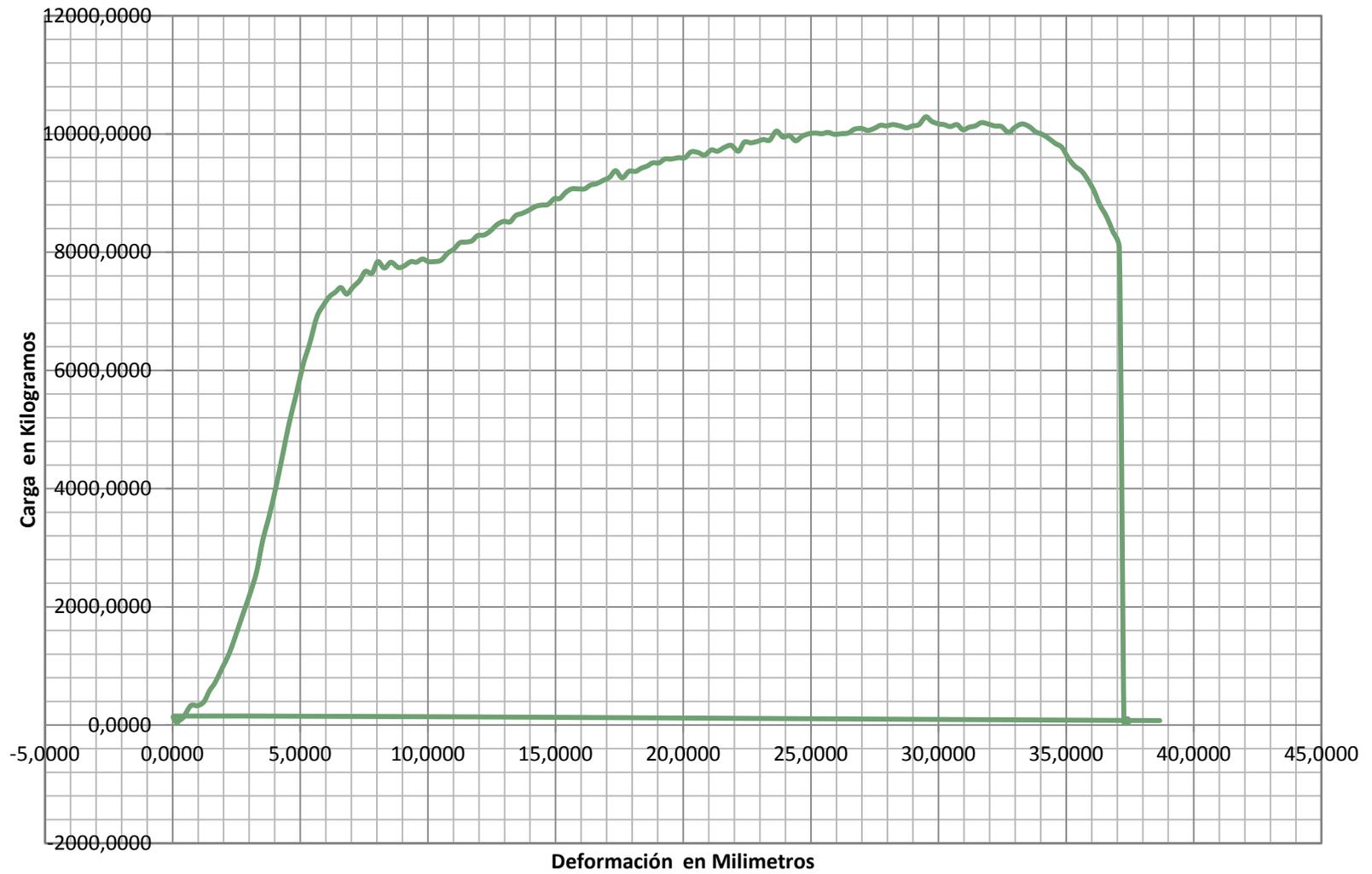
Carga (Ton)	Defor (mm)	Carga (Kgf)	δ (Kgf/mm)	ϵ
0,50	0,55	500,00	2,51	0,0018
1,00	1,10	1000,00	5,03	0,0037
1,50	1,21	1500,00	7,54	0,0040
2,00	1,11	2000,00	10,05	0,0037
2,50	1,98	2500,00	12,56	0,0066
3,00	2,20	3000,00	15,08	0,0073
3,50	2,75	3500,00	17,59	0,0092
4,00	3,08	4000,00	20,10	0,0103
4,50	3,30	4500,00	22,61	0,0110
5,00	3,52	5000,00	25,13	0,0117
5,50	4,40	5500,00	27,64	0,0147
6,00	4,73	6000,00	30,15	0,0158
7,50	5,50	7500,00	37,69	0,0183
8,10	7,70	8100,00	40,70	0,0257
8,40	8,25	8400,00	42,21	0,0275
8,80	11,00	8800,00	44,22	0,0367
9,10	14,08	9100,00	45,73	0,0469
9,30	15,51	9300,00	46,73	0,0517
9,80	18,70	9800,00	49,25	0,0623
10,00	20,90	10000,00	50,25	0,0697
10,50	25,30	10500,00	52,76	0,0843
10,75	28,05	10750,00	54,02	0,0935
10,98	32,45	10980,00	55,18	0,1082
11,17	36,30	11170,00	56,13	0,1210
11,10	39,60	11100,00	55,78	0,1320
10,90	41,80	10900,00	54,77	0,1393
10,83	42,90	10830,00	54,42	0,1430
10,65	44,00	10650,00	53,52	0,1467
10,40	45,10	10400,00	52,26	0,1503
9,70	46,20	9700,00	48,74	0,1540
8,60	47,30	8600,00	43,22	0,16

Anexo D. Gráficos Carga Vs Alargamiento Muestras soldadas

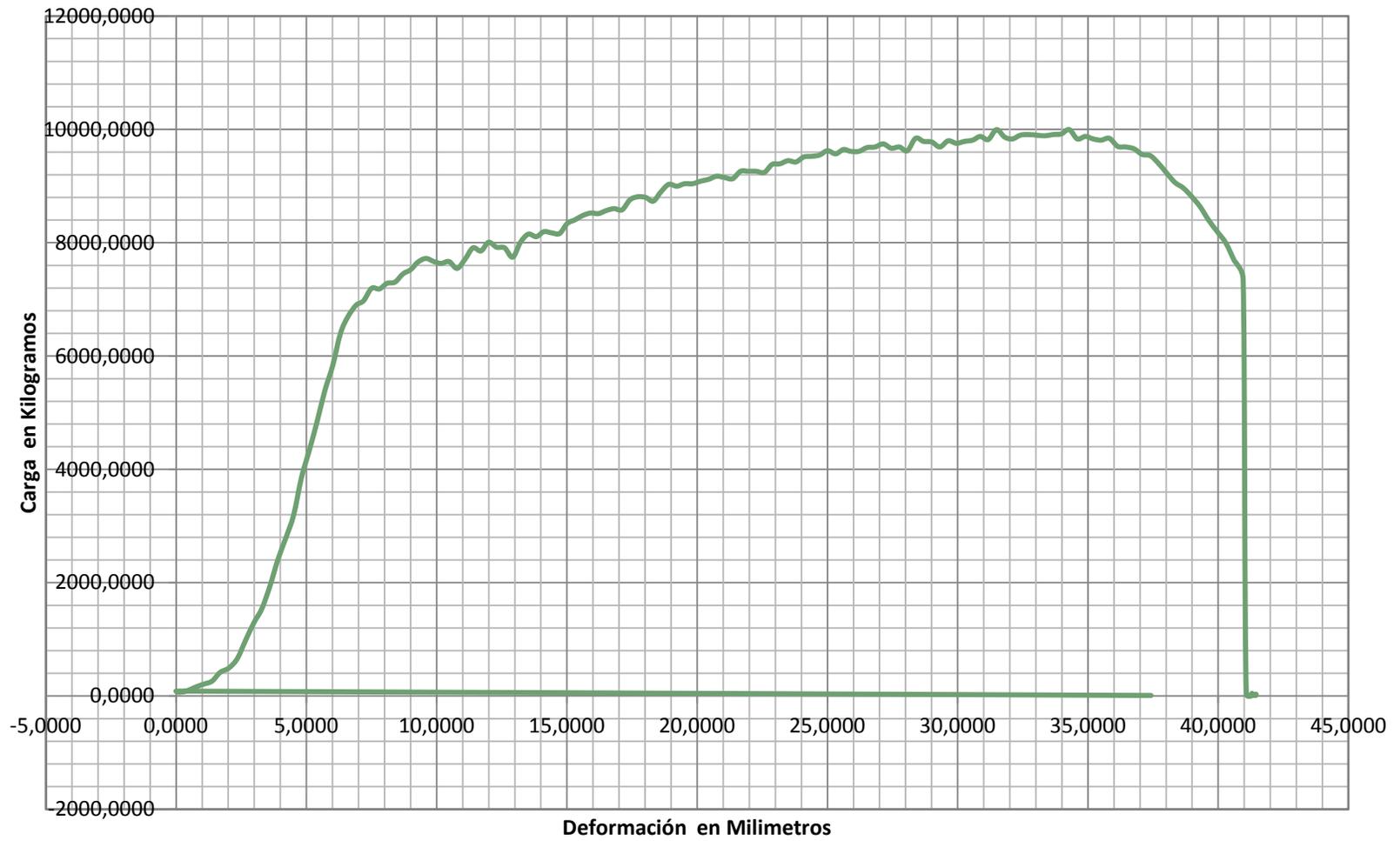
Nota: Por Adecuación del Equipo “Máquina Universal”; no se pudieron obtener gráficos para cada muestra analizada.



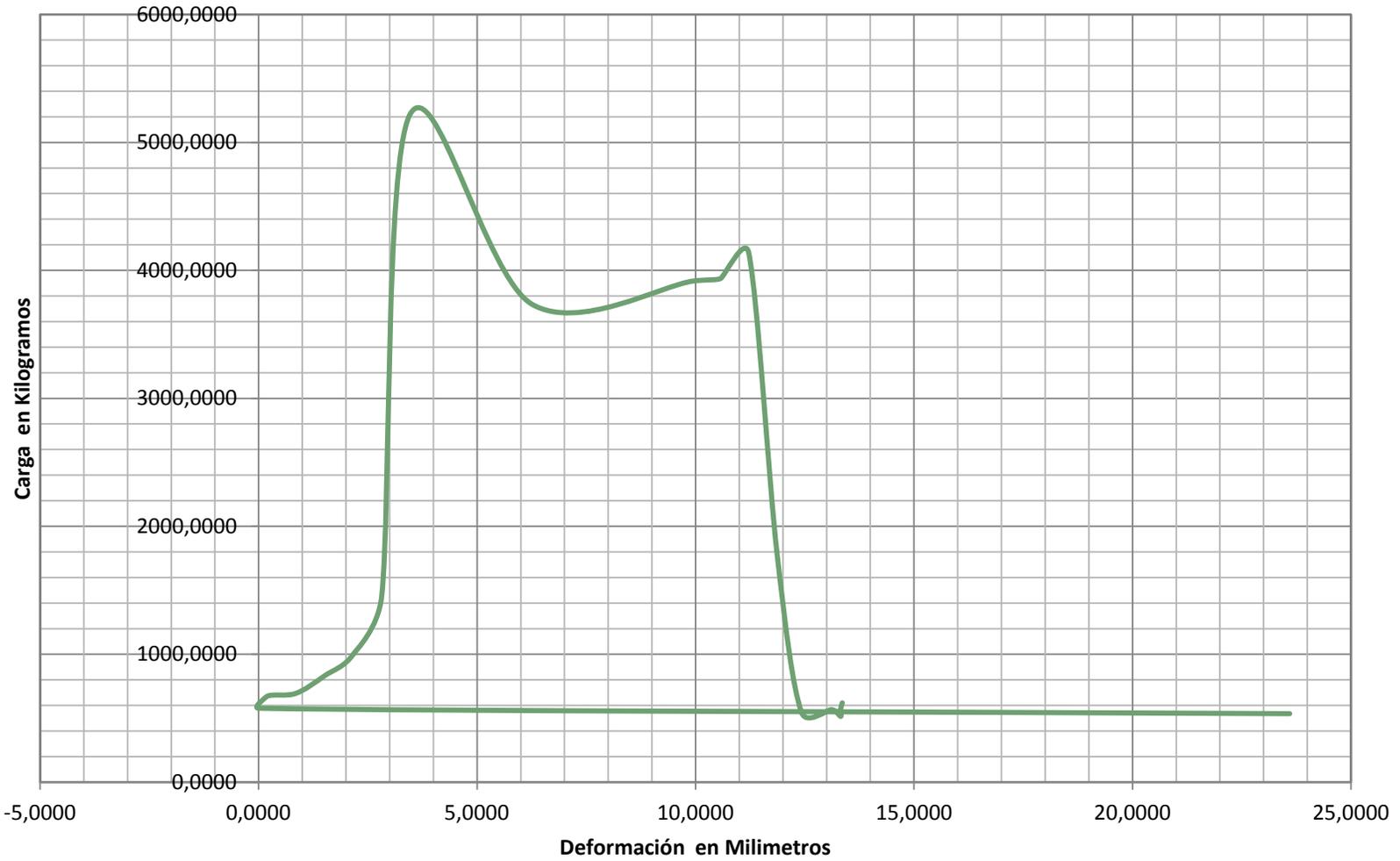
Datos Máquina Universal UDH 50



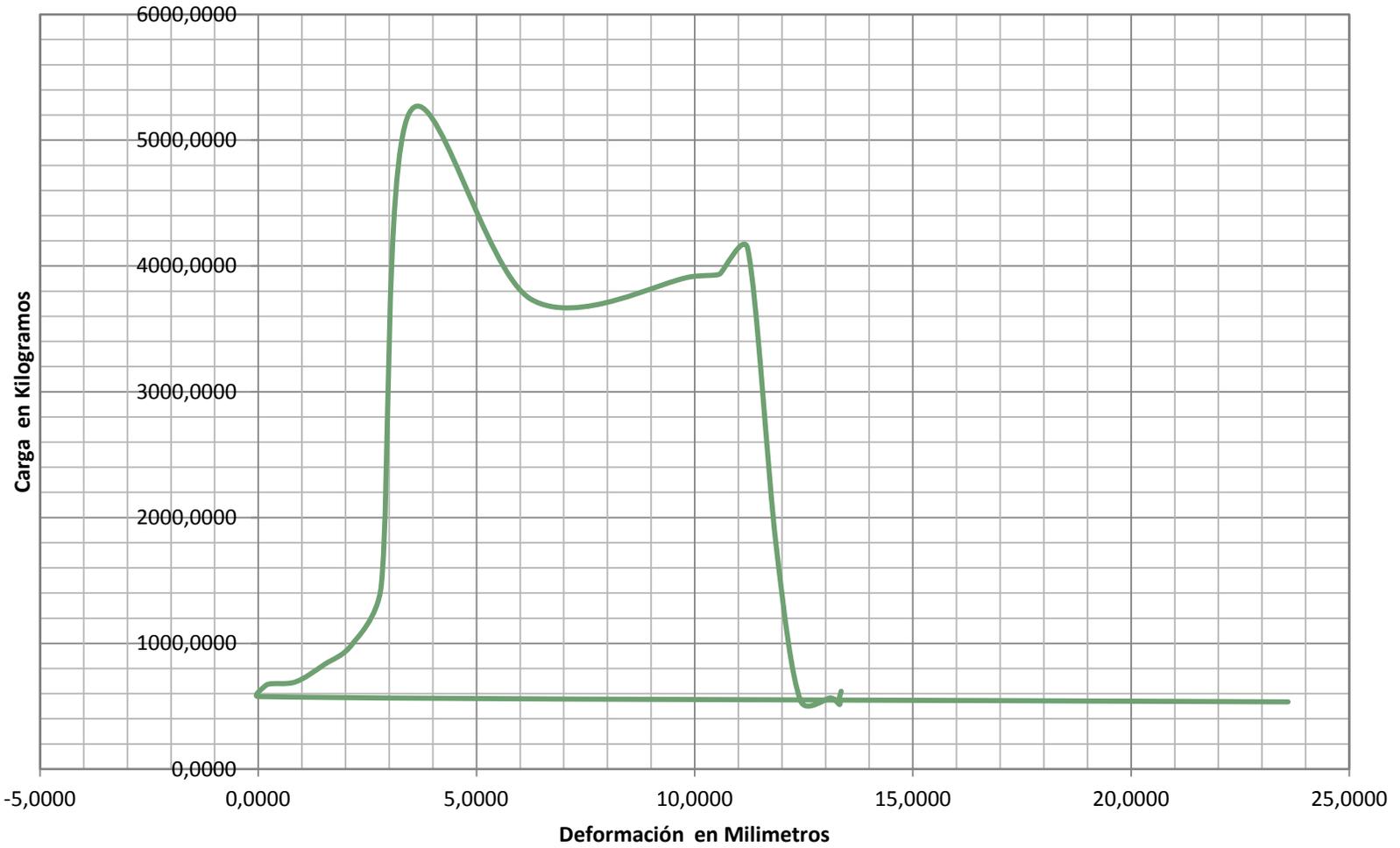
Datos Máquina Universal UDH 50



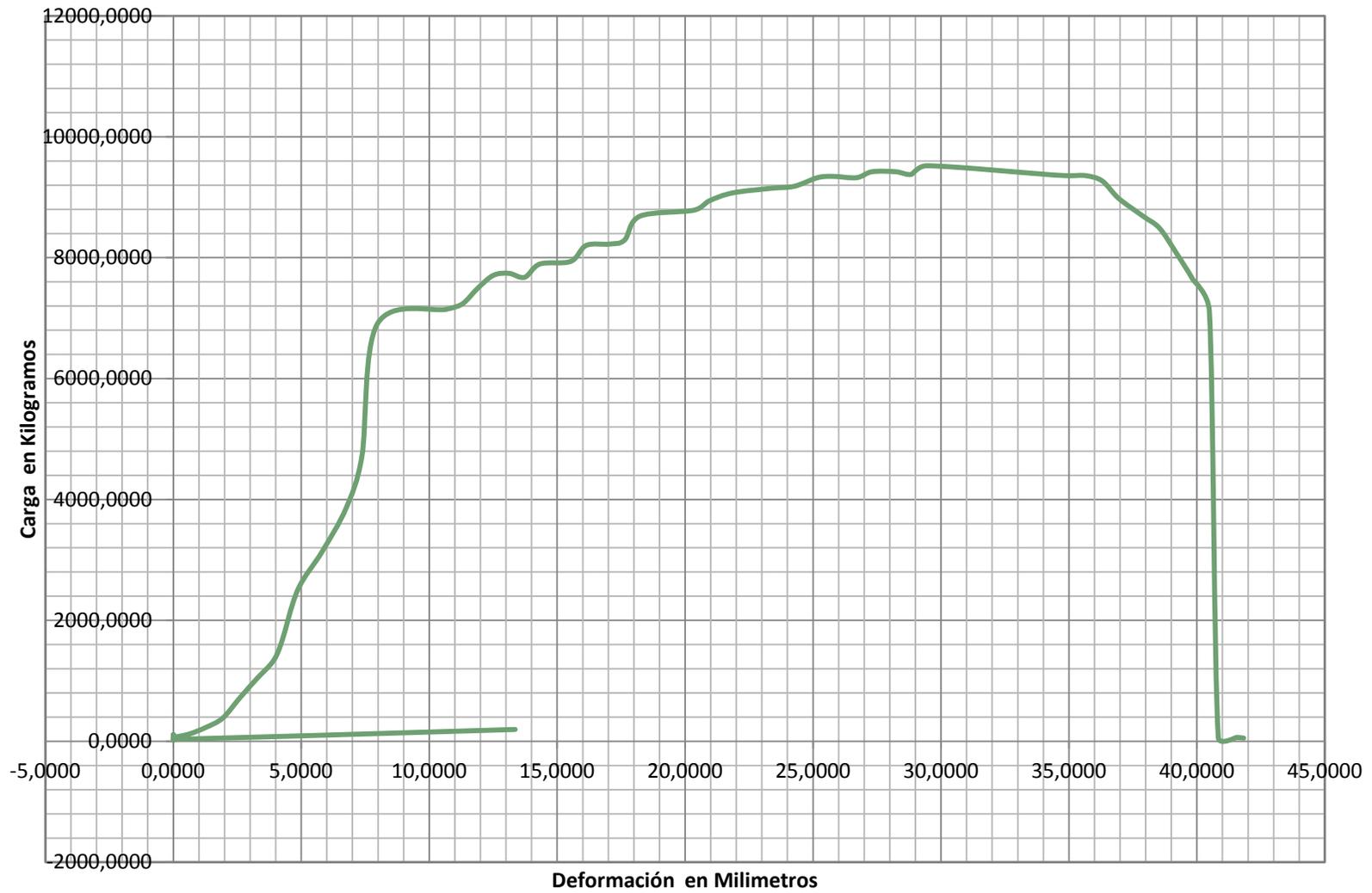
Datos Máquina Universal UDH 50



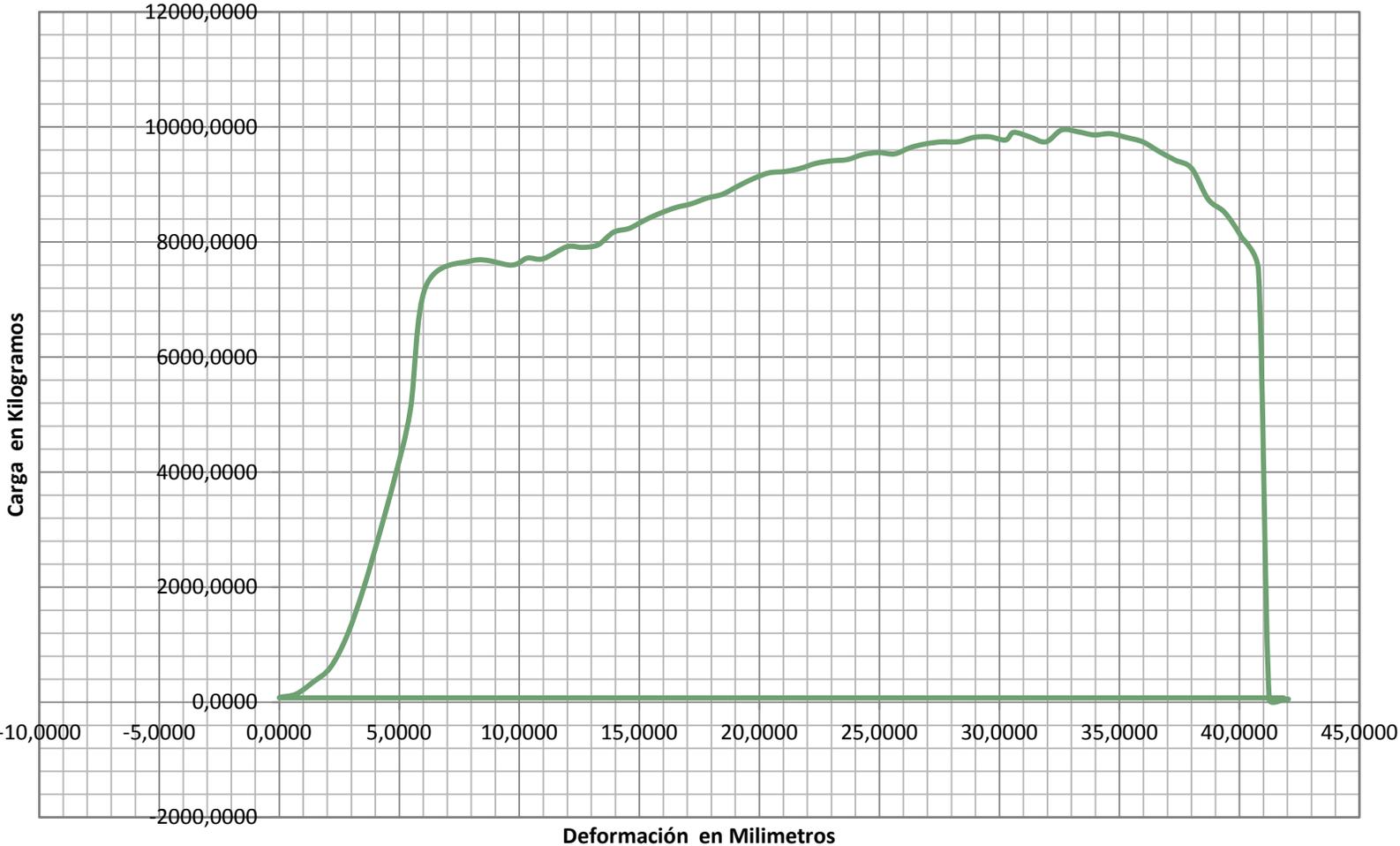
Datos Máquina Universal UDH 50



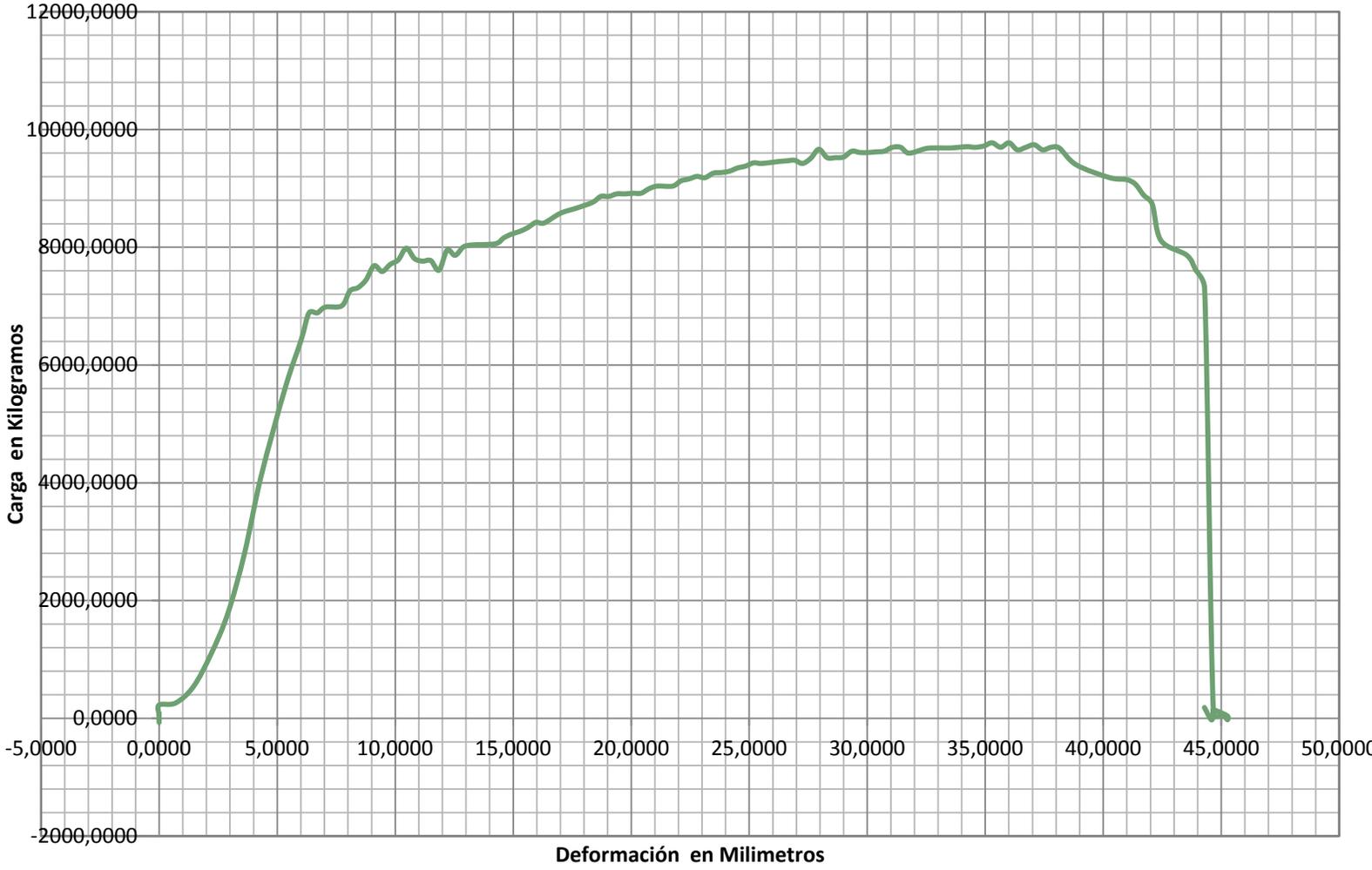
Datos Máquina Universal UDH 50



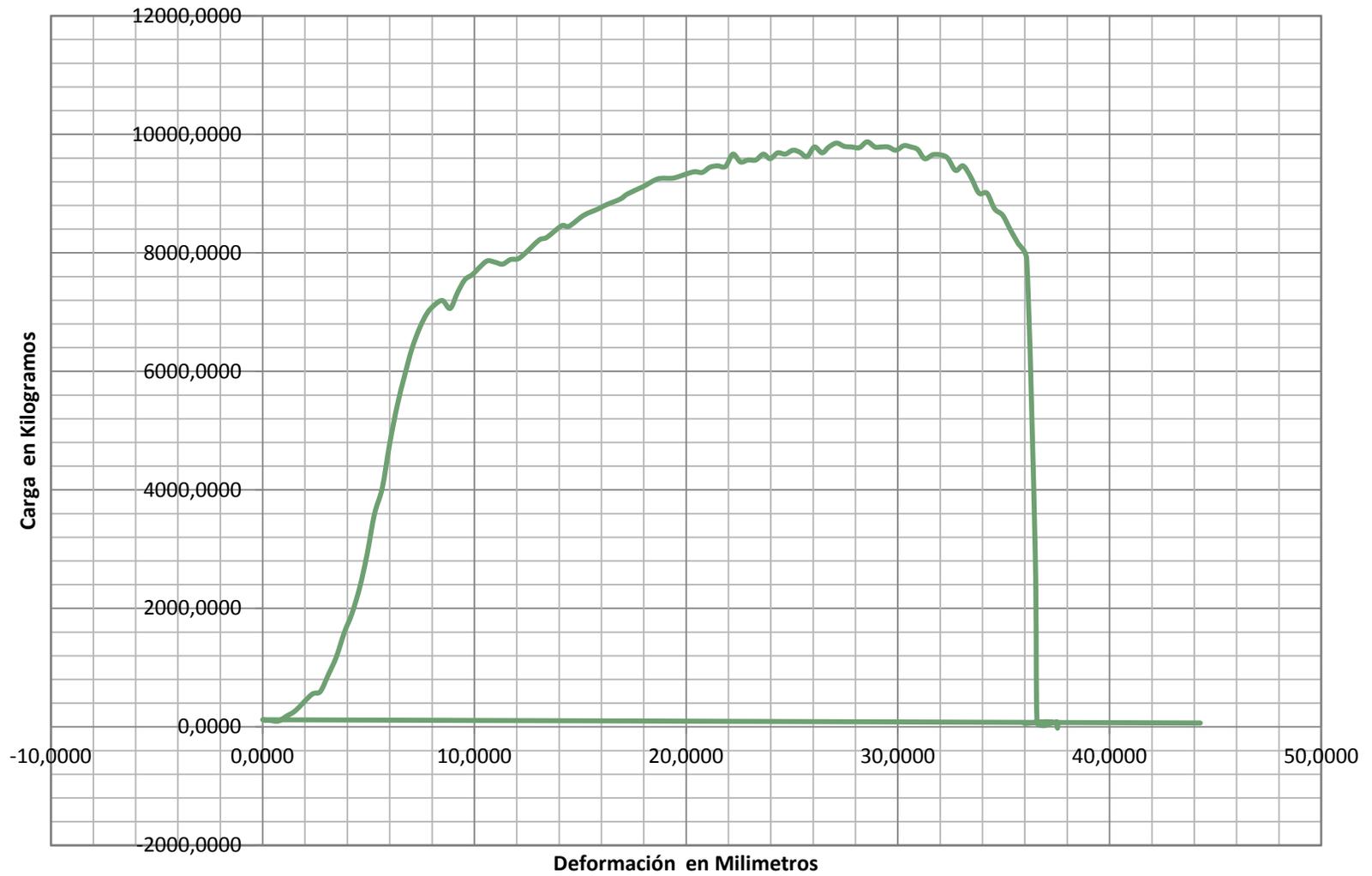
Datos Máquina Universal UDH 50



Datos Máquina Universal UDH 50



Datos Máquina Universal UDH 50



Anexo E. Carta de préstamo equipo de soldar



CONSTRUCTORA ECOTEC SAS
NIT 900.553.839-1

San Juan de Pasto, Noviembre 25 de 2013

La empresa CONSTRUCTORA ECOTEC SAS, hace el préstamo de un (1) soldador y siete (7) kilos de soldadura al señor DAVID FERNANDO PANTOJA PACHAJOA, identificado con C.C. No 76.329.649 de Popayán, con fecha de devolución el día veinticinco (25) de enero de 2014, fecha que puede ser modificable por acuerdo entre las partes.

El equipo se presta en buenas condiciones, esperando recibirlo en las mismas condiciones.

Entrega:

Recibe:


WILSON LIBARDO PEREZ
Gerente

X
DAVID FERNANDO PANTOJA
76.329.649 de Popayán

Carrera 35 No 12 - 35 - Tel: 7225210 - Cel. 316 402 0699

Anexo F. Resoluciones de aprobación ante proyecto de investigación

RESOLUCIÓN No. 397 DE 2013
15 DE MAYO
8.3.2-90.13

Por la cual se autoriza ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN se designa su Director.

EL CONSEJO DE FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, de la Universidad del Cauca, en uso de sus atribuciones funcionales y,

C O N S I D E R A N D O

Que los Acuerdos 002 de 1989, 003 y 004 de 1994, emanados del consejo Académicos de la Universidad del Cauca, se estableció el TRABAJO DE GRADO y por Resolución No. 281 de 2005 del consejo de Facultad de Ingeniería Civil, se reglamentó dicho Trabajo de Grado en las modalidades Investigación, Pasantía, y Práctica Social.

R E S U E L V E

ARTICULO ÚNICO: Autorizar al estudiante **David Fernando Pantoja Pachajoa** código 04021079, la ejecución y desarrollo del Trabajo de Investigación titulado: **"Procedimiento de Soldadura de Barras de Acero PDR60 para el uso en Concreto Reforzado."** Con un total de 700 horas, Avalado por el Consejo de Facultad, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil y designar a los Ing. Carlos Ariel Hurtado Astaiza y Juan Manuel Mosquera Rivera. Como Directores del mencionado Anteproyecto de Investigación.

COMUNIQUESE Y CUMPLASE

Se expide en Popayán, a los Quince (15) días del mes de Mayo de dos mil trece (2013)

El Presidente,


JULIO CESAR DIAGO FRANCO
Decano

El Secretario;


JOSE FERNANDO PÉREZ RESTREPO
Secretario General

RESOLUCIÓN No. 398 DE 2013
15 DE MAYO
8.3.2-90.13

Por la cual se autoriza ANTEPROYECTO DE INVESTIGACIÓN se designa su Director.

EL CONSEJO DE FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, de la Universidad del Cauca, en uso de sus atribuciones funcionales y,

C O N S I D E R A N D O

Que los Acuerdos 002 de 1989, 003 y 004 de 1994, emanados del consejo Académicos de la Universidad del Cauca, se estableció el TRABAJO DE GRADO y por Resolución No. 281 de 2005 del consejo de Facultad de Ingeniería Civil, se reglamentó dicho Trabajo de Grado en las modalidades Investigación, Pasantía, y Práctica Social.

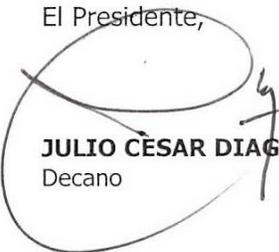
R E S U E L V E

ARTICULO ÚNICO: Autorizar al estudiante **Marcela Pantoja Pachajoa** código 04061065, la ejecución y desarrollo del Trabajo de Investigación titulado: **"Procedimiento de Soldadura de Barras de Acero PDR60 para el uso en Concreto Reforzado."** Con un total de 700 horas, Avalado por el Consejo de Facultad, como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Civil y designar a los Ing. Carlos Ariel Hurtado Astaiza y Juan Manuel Mosquera Rivera. Como Directores del mencionado Anteproyecto de Investigación.

COMUNIQUESE Y CUMPLASE

Se expide en Popayán, a los Quince (15) días del mes de Mayo de dos mil trece (2013)

El Presidente,


JULIO CÉSAR DIAGO FRANCO
Decano

El Secretario;


JOSE FERNANDO PÉREZ RESTREPO
Secretario General

Anexo G. Carta solicitud de apoyo para la investigación “SENA”

Popayán, 23 de enero de 2014

Ingeniero:

HUMBERTO POLANCO

COORDINADOR

CENTRO DE TELEINFORMÁTICA Y PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

SERVICIO NACIONAL DE APRENDISAJE SENA

L C

Cordial saludo

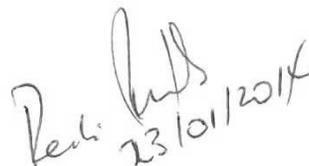
Por medio de la presente nos permitimos solicitar su valiosa colaboración, con el fin de continuar con la investigación “PROCEDIEMNTO DE SOLDADURA DE BARRAS CORRUGADAS PDR60 PARA REFUERZO EN CONCRETO REFORZADO” que se está llevando acabo como trabajo de requisito de grado de los estudiantes DAVID FERNANDO PANTOJA PACHAJOA y MARCELA PANTOJA PACHAJOA. Estudiantes de ingeniería civil de la Universidad del Cauca. Solicitamos su colaboración ya que sus instalaciones están bien adecuadas con herramientas que nuestra facultad no posee, las cuales son indispensables para el desarrollo de esta investigación.

Atentamente



DAVID FERNANDO PANTOJA PACHAJOA

Estudiante Universidad del cauca



Anexo H. Carta solicitud de apoyo para la investigación “INSTITUTO TÉCNICO INDUSTRIAL”

Popayán 23 de enero de 2014

Rector

ALIRIO VIDAL ORDOÑEZ
INSTITUTO TÉCNICO INDUSTRIAL
POPAYÁN

Cordial saludo

Por medio de la presente nos permitimos solicitar su valiosa colaboración, con el fin de continuar con la Investigación “PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE BARRAS CORRUGADAS PDR60 PARA REFUERZO EN COCNRETO REFORZADO” que se está llevando acabado como trabajo de requisitos de grado de los estudiantes DAVID FERNANDO PANTOJA APCHAJAOA y MARCELA PANTOJA PACHAJOA, estudiantes de ingeniera civil de la universidad del Cauca, solicitamos su colaboración ya que sus instalaciones están bien adecuados con herramientas que nuestra facultad no posee, las cuales son indispensables para el desarrollo de esta investigación.

Atentamente

Marcela Pantoja Pachajoa
MARCELA PANTOJA PACHAJOA
Estudiante Universidad del Cauca

Recibido
23/01/2014