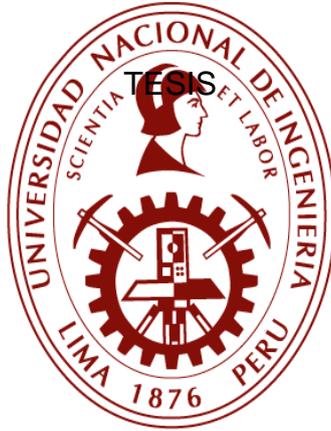


Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

**“Estudio Comparativo de las Propiedades Mecánicas de los
Cordones y las Juntas Soldadas Multipase con Electrodo (SMAW)
de Diferente Aplicación”**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Leonor María Zegarra Ramírez

 [0000-0002-1999-686X](https://orcid.org/0000-0002-1999-686X)

Asesor

M.Sc. Enrique Sarmiento Sarmiento

 [0000-0001-8406-579X](https://orcid.org/0000-0001-8406-579X)

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	(Zegarra, 2023)
Referencia/Reference	Zegarra, L. (2023). <i>Estudio Comparativo de las Propiedades Mecánicas de los Cordones y las Juntas Soldadas Multipase con Electrodo (Smaw) de Diferente Aplicación</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mis hijos por ser mi inspiración y mi fuerza en la vida
y en memoria de mis padres que siempre me
apoyaron en mis metas*

Agradecimiento

A las autoridades de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería por su apoyo para la realización de este trabajo, al personal del laboratorio 4 por su apoyo en la realización de los ensayos que sirvieron para el desarrollo de este trabajo, al personal administrativo por todo el apoyo y el estímulo permanente. Un agradecimiento muy especial a mi asesor MSc. Ingeniero Enrique Sarmiento Sarmiento por su paciencia e incentivo y la asesoría para la realización de este trabajo.

Prologo

Cuando me propuse realizar este trabajo de investigación, creía que podía encontrar abundante información debido que el utilizar diferentes materiales de aporte en una junta soldada es un procedimiento muy utilizado en nuestro medio, sin embargo, la realidad es que no existe un estudio experimental, que demuestre los valores reales de las propiedades mecánicas de las juntas soldadas multipase con materiales de aporte de diferente aplicación, lo cual me impulso a ejecutar esta investigación.

La cual realice con el apoyo del laboratorio # 4 de la Facultad de Ingeniería Mecánica y consta de seis capítulos

El primer capítulo explica los objetivos del trabajo de investigación, el segundo capítulo se ha desarrollado toda la teoría y las normas que se ha utilizado para el desarrollo de la experiencia; el tercer capítulo se ha desarrollado la hipótesis de trabajo ; en el cuarto capítulo se describe el tipo de investigación a realizar, así como la matriz de consistencia; en el quinto capítulo se describe todo el proceso de la ejecución del trabajo, tal como la fabricación de cupones y la probetas de ensayo, para realizar los ensayos respectivos que me permitieron realizar los análisis respectivos los cuales se pueden apreciar en el sexto capítulo donde se han tabulado los datos obtenidos , analizarlos y obtener los valores que me permitieron demostrar la hipótesis.

Espero que este estudio sirva para ser consultado, por los usuarios de este procedimiento y de base para realizar algunos estudios más profundos.

Resumen

La investigación que se explica a continuación se realizó con el propósito de comparar si los valores de las propiedades mecánicas, de los cordones de soldadura obtenidos al soldar utilizando combinaciones de materiales de aporte (electrodos), son iguales a los valores con las que se diseña o califica los WPS que generalmente es el valor promedio de las propiedades que indica la norma.

La experiencia se realizó bajo un enfoque cuantitativo de nivel explicativo con un diseño experimental basado en ensayo de laboratorio y alcance correlacional, para los ensayos se procedió a preparar 8 cupones los cuales fueron elaborados utilizando electrodos determinados antes de la fabricación de cupones, teniendo como variable independiente los cordones y juntas soldadas de cada cupón, y como variables dependientes las propiedades mecánicas y químicas

Luego de la tabulación de datos obtenidos de las normas utilizadas, con los cuales se obtuvieron los valores que usualmente se utilizan, se procedió a realizar los ensayos de acuerdo a las normas establecidas AWS D 1.1 y AWS A 5.1 AWS 5.5, obteniéndose los datos experimentales para luego ser comparados con los obtenidos con la norma, y luego de ser analizadas estadísticamente con la prueba de Pearson el cual me permitió afirmar que los valores de las propiedades mecánicas, obtenidas en los cordones experimentalmente no son iguales a los usados generalmente.

PALABRAS CLAVE: Electrodos, cupones, propiedades mecánicas, ensayos destructivos.

Abstract

The research explained below was carried out with the purpose of comparing whether the values of the mechanical properties of the weld beads obtained when welding using combinations of filler materials (electrodes) are equal to the values with which they are designed. or qualifies the WPS, which is generally the average value of the properties indicated by the standard,

The experience was carried out under a quantitative approach at an explanatory level with an experimental design based on laboratory testing and correlational scope. For the tests, 8 coupons were prepared, which were prepared using electrodes determined before the coupon manufacturing, taking as a variable independently the beads and welded joints of each coupon, and as dependent variables the mechanical and chemical properties

After the tabulation of data obtained from the standards used, with which the values that are usually used were obtained, the tests were carried out according to the established standards AWS D 1.1 and AWS A 5.1 AWS 5.5, obtaining the experimental data to then be compared with those obtained with the standard, and after being statistically analyzed with the Pearson test which allowed me to affirm that the values of the mechanical properties, obtained in the cords experimentally, are not equal to those generally used.

KEYWORDS: electrodes, coupons, mechanical properties, destructive tests

Tabla de Contenido

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	2
1.2.1 Problema General	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos del estudio	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Antecedentes investigativos	4
CAPITULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.....	14
2.1 Marco Teórico	14
2.1.1 Soldadura	14
2.1.2 Arco eléctrico	15
2.1.3 Proceso.....	16
2.1.4 Propiedades mecánicas.....	18
2.1.5 Ensayo de Materiales	18
2.1.6 Norma AWS D 1.1. (2020)	19
2.1.7 Norma AWS A 5.1 (2012) ASME BPVCJLC (2021)	19
2.1.8 Norma ASTM A370.....	20
2.1.9 Norma ASTM E23	20
2.1.10 Norma ASTM 415	20
2.1.11. Metal base (material base)	21
2.1.12 Material de aporte - electrodo.....	21
2.1.13 Cordón de soldadura	23
2.1.14 Junta soldada.....	24
2.1.15 Fuente de poder.....	26
2.1.16 Corriente Alterna (AC).....	26
2.1.17 Corriente Continua (DC .CC).....	27
2.1.18 Polaridad en soldadura	27
2.1.19 Ensayó de tracción	28
2.1.20 Ensayo de Impacto	32
2.2 Marco Conceptual	33

2.2.1 Cupones en soldadura	33
2.2.2 Resiliencia de un material	33
2.2.3 Dureza	34
2.2.4 Temperatura de Inter pase	34
2.2.5 Zona afectada por el calor (ZAC)	34
2.2.6 Penetración	35
CAPITULO III: HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	36
3.1 Hipótesis general.....	36
3.1.1 Hipótesis específicas	36
3.2 Matriz de operacionalización de las variables dependientes	37
CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	38
4.1 Tipo y diseño de la investigación	38
4.2 Unidad de análisis	38
4.3 Matriz de consistencia.....	39
CAPITULO V: DESARROLLO DE LA TESIS	40
5.1. Elaboración de cupones de soldadura	40
5.1.1 Características del material base	40
5.1.2 Equipamiento de soldadura	41
5.1.3 Consumibles	42
5.1.4 Elaboración de cupones	44
5.1.5 Ejecución de cupones.....	46
5.2 Técnicas de caracterización.....	52
5.2.1 Caracterización Mecánica	52
CAPITULO VI: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	61
6.1 Ensayo de tracción	61
6.1.1 Cupón de soldadura 1 -1A.....	61
6.1.2 Cupones de soldadura 2 - 2A.....	64
6.1.3 Cupones de soldadura 3 - 3A.....	67
6.1.4 Cupón de soldadura 4 -4 A	70
6.1.5 Resumen del estudio de la resistencia a la tracción	73
6.2 Ensayo de impacto	74
6.2.1 Cupón 1 y 1 A.....	74
6.2.2 Cupón 2 y 2 A.....	76
6.2.3 Cupón 3 y 3 A.....	79
6.2.4 Cupón 4 y 4 A.....	82

6.2.5 Resumen del estudio de la Energía Absorbida (ensayo Charpy).....	85
6.3 Dureza	86
6.3.1 Cupones 1 y 1 A.....	86
6.3.2 Cupones 2 y 2 A.....	89
6.3.3 Cupones 3 y 3 A.....	91
6.3.4 Cupones 4 y 4 A.....	94
6.4 Ensayo de Dobleza	97
6.5 Elongación	98
6.5.1 Análisis de resultados.....	99
6.6 Análisis Químico	99
6.6.1 Análisis de los resultados	100
6.7 Verificación de la Hipótesis	102
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS.....	109
ANEXOS	112

Lista de Tablas

Tabla 1	Datos Técnicos.....	41
Tabla 2	Característica de los electrodos a utilizar	42
Tabla 3	Propiedades Mecánicas de los electrodos revestidos	43
Tabla 4	Composición química según AWS 5.1	43
Tabla 5	Disposición del material de aporte en plancha de 3/8" (9.4mm) según Norma AWS D1.1	44
Tabla 6	Disposición del material de aporte en plancha de 1/2" (12.7mm) según Norma AWS A5.1	45
Tabla 7	Procedimiento para elaboración de cupones para ensayos de junta soldada según norma AWS D1.1.....	48
Tabla 8	Procedimiento para elaboración de cupones para ensayos de cordón de soldadura según norma AWS 5.1 y AWS 5.5.....	50
Tabla 9	Dimensiones de las probetas de tracción del cupón 1	53
Tabla 10	Dimensiones de las probetas de tracción del cupón 2	54
Tabla 11	Dimensiones de las probetas de tracción del cupón 3	54
Tabla 12	Dimensiones de las probetas de tracción del cupón 4	54
Tabla 13	Dimensiones para las probetas de tracción de los cupones para ensayos de cordón de soldadura	55
Tabla 14	Resultados de ensayo de tracción del cupón 1 junta soldada	62
Tabla 15	Resultados del ensayo de tracción del cupón 1A del cordón de soldadura.....	62
Tabla 16	Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 1 y 1A.	63
Tabla 17	Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 1 y 1A.....	63
Tabla 18	Resultados de ensayo de tracción del cupón 2 junta soldada	65
Tabla 19	Resultados del ensayo de tracción del cupón 2A del cordón de soldadura.....	65
Tabla 20	Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 2 y 2A.	66
Tabla 21	Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 2 y 2A.....	66
Tabla 22	Resultados de ensayo de tracción del cupón 3 junta soldada	68
Tabla 23	Resultados del ensayo de tracción del cupón 3A del cordón de soldadura.....	68
Tabla 24	Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 3 y 3A.	69
Tabla 25	Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 3 y 3A.....	69
Tabla 26	Resultados de ensayo de tracción del cupón 4 de la junta soldada.....	71
Tabla 27	Resultados del ensayo de tracción del cupón 4 A del cordón de soldadura.....	71
Tabla 28	Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 4 y 4 A	72
Tabla 29	Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 4 y 4 A.....	72
Tabla 30	Resumen de valores de resistencia a la tracción.....	73
Tabla 31	Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 1 (junta soldada)	74
Tabla 32	Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 1 A (cordón de soldadura).....	75
Tabla 33	Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 1 y 1 A..	75

Tabla 34 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 1 y 1 A.....	76
Tabla 35 Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 2 (junta soldada)	77
Tabla 36 Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 1 A (cordón de soldadura).....	77
Tabla 37 Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 2 y 2 A ..	78
Tabla 38 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 2 y 2 A.....	78
Tabla 39 Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 3 (junta soldada)	80
Tabla 40 Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 3 A (cordón de soldadura).....	80
Tabla 41 Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 3 y 3 A ..	81
Tabla 42 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 3 y 3 A.....	81
Tabla 43 Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 4 (junta soldada)	83
Tabla 44 Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 4 A (cordón de soldadura).....	83
Tabla 45 Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 4 y 4 A ..	84
Tabla 46 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 4 y 4 A.....	84
Tabla 47 Resumen de valores	86
Tabla 48 Resultados de dureza probeta del cupón 1	87
Tabla 49 Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 1 A.....	87
Tabla 50 Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 1 Y 1 A	88
Tabla 51 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 1 y 1 A.....	88
Tabla 52 Resultados de dureza probeta del cupon2.....	89
Tabla 53 Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 2 A.....	90
Tabla 54 Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 2 y 2 A	90
Tabla 55 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 2 y 2 A.....	91
Tabla 56 Resultados de dureza probeta del cupón 3.....	92
Tabla 57 Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 3 A.....	92
Tabla 58 Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 3 y 3 A	93
Tabla 59 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 3 y 3 A.....	93
Tabla 60 Resultados de dureza probeta del cupón 4.....	94
Tabla 61 Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 4 A.....	94
Tabla 62 Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 4 y 4 A	95
Tabla 63 Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 4 y 4 A.....	95
Tabla 64 Resumen de valores de la Dureza.....	97
Tabla 65 Resultados de doblez de probetas de cupón 1.....	97
Tabla 66 Resultados el porcentaje de elongación	99
Tabla 67 Resultados de análisis químico	101

Tabla 68	Cálculo de frecuencia esperada para fuerza de tracción	103
Tabla 69	Evaluación del χ^2 para fuerza de tracción	104
Tabla 70	Cálculo de frecuencia esperada ensayo de impacto	105
Tabla 71	Cálculo del χ^2 para ensayo de impacto	106

Lista de Figuras

Figura 1 Arco Eléctrico	15
Figura 2 Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura SMAW	17
Figura 3 Esquema básico del arco eléctrico en el proceso SMAW.....	17
Figura 4 Partes de un cordón de soldadura.....	24
Figura 5 Parte de una junta a tope con bisel	25
Figura 6 Junta soldada	26
Figura 7 Onda Sinusoidal corriente alterna.....	27
Figura 8 Tipos de polaridad.....	28
Figura 9 Probeta redonda estándar para tracción	29
Figura 10 Probeta rectangular estándar para tracción.....	29
Figura 11 Máquina Soldadora portátil Miller XMT359CC/CV	42
Figura 12 Cupón para análisis de junta soldada	46
Figura 13 Cupón para análisis de cordón de soldadura	47
Figura 14 Cupón N° 1 6011, 6012, 6013.....	48
Figura 15 Cupón N° 2 7010, 7018, 7024.....	48
Figura 16 Cupón N° 3 6011, 6013, 7024.....	49
Figura 17 Cupón N° 4 6011, 7018, 7024.....	49
Figura 18 Cupón N° 1A 6011, 6012, 6013	50
Figura 19 Cupón N° 2A 7010, 7018, 7024.....	51
Figura 20 Cupón 3A 6011, 6013, 7024.....	51
Figura 21 Cupón N° 4A 6011, 7018, 7024	52
Figura 22 Máquina de ensayo de Tracción marca LG	53
Figura 23 Probetas del cupón 2.....	55
Figura 24 Probetas del cupón 3.....	55
Figura 25 Probetas de tracción para el cordón de soldadura	56
Figura 26 Máquina de Impacto ZWICK/ROEL.....	56
Figura 27 Probetas de la junta soldada para ensayo Charpy	57
Figura 28 Probetas de cordón de soldadura para ensayo Charpy.....	57
Figura 29 Durómetro Laboratorio N° 4.....	58
Figura 30 Distribución de zonas de indentación	59
Figura 31 Probetas para ensayo de Dobleces.....	59
Figura 32 Equipo de emisión óptica	60
Figura 33 Comparación de resultados de resistencia cupones 1 y 1A.....	64
Figura 34 Comparación de resultados de resistencia cupones 2 y 2A.....	67
Figura 35 Comparación de resultados de resistencia cupones 3 y 3A.....	70
Figura 36 Comparación de resultados de resistencia cupones 4 y 4 A.....	73
Figura 37 Comparación de resultados de Energía Absorbida Cupones 1 - 1 A	76
Figura 38 Comparación de resultados de Energía Absorbida en cupones 2 y 2 A.....	79
Figura 39 Comparación de resultados de Energía Absorbida cupones 3 y 3 A.....	82
Figura 40 Comparación de resultados de Energía Absorbida cupones 4 y 4 A.....	85
Figura 41 Comparación de dureza cupones 1 y 1 a.....	89
Figura 42 Comparación de dureza cupones 2 y 2 A	91
Figura 43 Comparación de dureza cupones 3 y 3 A	93

Figura 44 Comparación de dureza cupones 4 y 4 A 96

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Generalidades

Uno de los campos de investigación en la última década, es la soldadura, el cual es un proceso en el que se unen dos piezas del mismo o de distintos materiales, a través de la fusión de los mismos, mediante una micro fundición, del material de aporte, que al fundirse forma el llamado charco de soldadura que al enfriarse y solidificarse se convierte en el cordón de soldadura, y la unión con el metal base nos da la junta soldada

Para realizar esta unión de metales, se utiliza el arco eléctrico, el cual nace cuando Sir Humphry Davy en 1801 (fundador de la electroquímica) descubre que se puede conducir electricidad en el aire entre dos metales (electrodos). Produciendo el arco eléctrico, siendo los primeros materiales de aporte electrodos desnudos, sin ninguna protección, lo que ocasionaba arcos eléctricos inestables, produciendo que la soldadura sea muy frágil por la contaminación, salpicaduras etc.

Siendo necesario tener un equipo de soldadura en el año 1885 N Bernardos patenta el primer equipo de soldadura en Inglaterra al generar un charco metálico entre un cátodo de carbón y un ánodo de metal para unir metales.

Posteriormente en 1892 Slavianoff crea el electrodo metálico consumible; en 1907 Oscar Kjellberg patenta el primer electrodo con revestimiento y funda la compañía ESAB, en 1912 los Sres. Strohmeneger y Slaughter patentan en Estados Unidos el primer electrodo con recubrimiento grueso para uso industrial., recién entre los años 1930-1935 se construyen los primeros barcos totalmente soldados, con el proceso SMAW,

A partir de esa época se comienzan a desarrollar estudios y posterior fabricación de diferentes recubrimientos de acuerdo con el material.

En nuestro país el uso del proceso SMAW sigue siendo uno de los procesos más conocidos y utilizados debido a la facilidad de manejo, al costo de implementación, adaptabilidad en diferentes zonas de trabajo, por lo cual el consumo de electrodos revestidos es alto.

En el mercado nacional podemos encontrar diferente tipo de electrodos de acuerdo a sus aplicaciones, y a sus características especiales, asimismo el uso de los diferentes tipos de aplicación en una misma junta soldada.

Este proyecto tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas que se obtienen al realizar la soldadura para la unión de dos metales con electrodos revestidos de diferente aplicación, ya que los usuarios (diseñadores, jefes de mantenimiento y otros); usan los valores promedios de las propiedades mecánicas, de los diferentes electrodos, utilizados o el valor de las propiedades mecánicas del electrodo de raíz o el valor más alto de los electrodos utilizados.

El conocimiento correcto de las propiedades mecánicas de esa combinación es importante para la seguridad del proyecto y la calidad de la soldadura la cual depende de los electrodos.

1.2 Descripción del problema de investigación

En la actualidad el uso de soldadura SMAW en nuestro país es una de las más utilizadas para unir piezas metálicas, ya que los costos de equipo son menores en comparación con otros procesos, asimismo el uso de diferentes materiales de aporte (electrodos), en una misma junta soldada son utilizadas cotidianamente, y se toma como referencia las propiedades mecánicas de las fichas técnicas o de las normas de un solo tipo de material de aporte utilizado.

En el medio hay pocos estudios donde se analice las propiedades mecánicas de las juntas soldadas variando y combinando los tipos de materiales de aporte, en un material base del mismo espesor, ya que generalmente se utilizan diferentes electrodos en base al tipo de penetración de los electrodos, utilizando para la raíz el de mayor penetración, y no evaluando las propiedades mecánicas reales.

En la actualidad existen 3 formas de considerar las propiedades mecánicas al utilizar diferentes electrodos en una junta soldada estas son:

- Promedio de los valores dados por las normas o en las fichas técnicas de los fabricantes
- Los valores dados por las normas del electrodo usado en la raíz
- Los valores dados por las normas del electrodo de mayor valor de la propiedad usado en la junta soldada

Pero no existe un estudio experimental que demuestre y compruebe esos valores estimados.

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el valor real de las propiedades mecánicas en la junta soldada y en el cordón de soldadura al utilizar electrodos de diferentes tipos y aplicaciones en la misma unión?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo varían las propiedades mecánicas en el cordón de soldadura al utilizar electrodos de diferente aplicación?

¿Cómo varían las propiedades mecánicas en la junta soldada al utilizar electrodos diferentes de diferente aplicación?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas del cordón de soldadura y de las juntas soldadas a tope con diferentes electrodos bajo el proceso SMAW con el fin de obtener los valores reales, y compararlos con los utilizados actualmente.

1.3.2 Objetivos específicos

Evaluar las propiedades mecánicas del cordón de soldadura obtenido con electrodos combinados de diferente aplicación

Analizar las diferencias de las propiedades mecánicas entre el cordón de soldadura y la junta soldada obtenida con electrodos combinados

1.4 Antecedentes investigativos

1.4.1 ANTECEDENTE 1:

Alban,D (2022) en su tesis “ Evaluación de las propiedades mecánicas y caracterización metalográfica de juntas soldadas a tope de acero ASTM A36 con material de aporte ER 70S-6 bajo proceso GMAW” (1) tuvo como objetivo el análisis de tres espesores de placa, soldados con variación de parámetros entre ellos, obteniendo 4 combinaciones por cada espesor, realizándose el proceso de soldadura según norma AWS D1.1 y para cada una de ellas se realizaron ensayos de dobléz, tracción de cara y raíz, así como ensayos metalográficos en las zona ZAC, en la zona de fusión, después de realizar el análisis de los resultados, logro identificar que cinco combinaciones presentaban buenas propiedades mecánicas,

lo cual determinan que esas combinaciones se pueden replicar ya que implican una buena soldabilidad.

1.4.2 ANTECEDENTE 2:

Villarreal, W; Vera J; Panta, D (2021) en su artículo “Evaluación de la resistencia a la tracción y dureza de cordones de soldadura con proceso SMAW y MIG MAG” el objetivo de esta investigación era demostrar que según su hipótesis la resistencia a la tracción y la dureza eran mayores en el proceso SMAW, luego de realizar la elaboración de 12 probetas hechas con material ASTM A 36, normalizadas de las cuales 6 eran de acuerdo al proceso SMAW y 6 al proceso GMAW y someterlos a ensayos de tracción determinando que las variable independiente el % elongación y como variable dependiente el esfuerzo de tracción ; en lo referente a la dureza se tomó como referencia la rigidez en la zona afectada por el calor, considerando se usaron como referencia 2 probetas del material base, con los resultados obtenidos se demostró que la resistencia a la tracción y la dureza eran superiores en el proceso GMAW

1.4.3 ANTECEDENTE 3:

Corrales J; Chica J (2020) en su tesis “Efecto de los procesos de soldadura al arco en las propiedades mecánicas y la microestructura en aceros de alta resistencia y baja aleación” el objetivo de esta investigación era analizar el efecto de las propiedades mecánicas y la microestructura de las juntas soldadas que producen los diferentes procesos de soldadura, y ver su influencia en la soldabilidad, este estudio se hizo en aceros de alta resistencia y baja aleación (ARBA), variando los parámetros de soldadura y por ende el aporte de calor, obteniéndose los siguientes resultados

- En los procesos de soldadura existen a lo largo del proceso cambios de temperatura llegando a una temperatura pico lo cual afecta la microestructura y

el tamaño de grano, cabe mencionar que influyen en estas características la velocidad de enfriamiento, la cual puede generar fases frágiles, otros factores a tener en consideración son el espesor de la plancha, el precalentamiento en el análisis realizado en los aceros en estudio

- Las propiedades mecánicas en los aceros (ABRA) la resistencia a la tracción mejora con las combinaciones de parámetros adecuados
- Se demostró que un enfriamiento de la junta muy rápido la resistencia a la tracción y la dureza aumenta lo que resulta perjudicial para la junta y viceversa si el enfriamiento es lento la dureza y la resistencia a la tracción disminuyen

El autor concluye indicando que “Según el análisis realizado se encontró que existe una correlación entre el tipo de microestructura y las propiedades mecánicas y estas dependen directamente del aporte de calor al cual se ve sometido el material durante el proceso de soldadura. También se logró determinar que la poca variación de las propiedades mecánicas y la microestructura son un claro indicador de la buena soldabilidad de estos aceros.”

1.4.4 ANTECEDENTE 4:

Reyes, D; Fernández, T; Alcántara, D; Rodríguez, I (2018) en el artículo “Soldadura con los electrodos revestidos E6010 y E7018 en acero AISI 1025” realizaron un estudio con el fin de establecer el comportamiento microestructural y la dureza del acero AISI 1025, al ser soldado la raíz y el relleno de la junta soldada con material de aporte E6010 y el acabado con material de aporte E 7018, obteniendo diferentes microestructuras , en la zona del E6010 del tipo ferrita Widmanstätten ferrita columnar y perlita intergranular y en la zona del E7018 ferrita Widmanstätten austenita y martensita; las cuales garantizaban la continuidad metalúrgica en el cordón de soldadura , y no son propensas a agrietamiento.

En el estudio de la dureza, se obtuvo para la zona del electrodo E6010 una dureza de 332 HV, y para el 7018 una dureza de 332 HV, esta disminución de la dureza indica los autores que se debe que a medida que se realiza la soldadura multipasadas, estas actúan como un tratamiento térmico de recocido aliviando las tensiones en los cordones

1.4.5 ANTECEDENTE 5:

Pinto et al., (2015) Los autores de la publicación de la investigación, Efecto del Enfriamiento Provocado por el Fluido Durante la Operación de Soldadura en Tuberías con Espesores de Pared de 6 y 11 mm, trata de investigar el efecto del enfriamiento interno por el fluido en una tubería durante el proceso de soldadura y el resultado de la influencia de las propiedades mecánicas de la unión soldada.

Las propiedades del acero se ven afectadas cuando el enfriamiento no es controlado desde la temperatura de soldado hasta la temperatura de transformación de fases del acero y es necesario evaluarse dichos cambios para tomar acciones metalúrgicas con los resultados del proceso.

Los experimentos de soldadura se realizaron en uniones de tubos de acero ASTM A105 a un tubo API 5L Gr X60 con espesores de 11 mm y 6 mm, aplicando los procesos TIG (GTAW) y electrodo revestido (SMAW). El fluido agua potable se hizo circular en dos rangos de temperatura, de 6 a 10 °C y de 18 a 36 °C. Durante el proceso de soldadura, se controló la temperatura interna del tubo y la velocidad de enfriamiento. Se prepararon cuatro uniones soldadas, evaluadas mediante ensayos no destructivos (inspección visual, líquido penetrante, partículas magnéticas y ultrasonido), ensayos destructivos (tracción, flexión, impacto, fractura y dureza) y análisis metalográfico.

Los resultados del proceso demostraron que la posibilidad de perforación por calor no son significativos, menos en el tubo de mayor espesor, El efecto de cambios con la menor temperatura es mayor que el espesor del tubo, el efecto del enfriamiento provoca cambios en las propiedades mecánicas como el aumento de la dureza por consiguiente un aumento de la resistencia y también se comprobó una disminución de alargamiento unitario, pero en conclusión estos cambios se podría considerar dentro de lo aceptable o como valores adecuados.

1.4.6 ANTECEDENTE 6

Velastegui Zurita Juan Eduardo (2014) en su tesis “Estudio de los procesos de soldadura SMAW y GMAW sobre los aceros ASTM A 36, A-500 y su incidencia en las propiedades mecánicas en las juntas soldadas de la estructura de buses”

Presenta

La investigación en la cual compara las propiedades mecánicas de las juntas soldadas realizadas al Acero ASTM A36 y A500 con dos procesos de soldadura diferentes, uno es el proceso SMAW con electrodo AWS E6011 el otro proceso es el proceso GMAW con alambre ER70S6 con CO₂ como gas de protección

Los ensayos que se efectuaron fueron los de dobléz guiado, tracción y análisis metalográfico en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, así como también en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato para determinar la resistencia de las juntas soldadas de los procesos de soldadura SMAW y GMAW del acero ASTM A 36 y A- 500. Llegando a las siguientes conclusiones

- Las propiedades mecánicas son mejores cuando el acero ASTM A36 es soldado por el proceso GMAW, a diferencia del acero ASTM A500 las mejores propiedades se obtienen con el proceso SMAW
- El porcentaje de Perlita en el metal base para ambos aceros es mayor que el de la zona ZAC, la que se determinó que la resistencia del material se reduce al

reducir el % de perlita

Con los datos obtenidos se determinó el mejor proceso a utilizar en la fabricación de los buses, el cual se detalló en el WPS de acuerdo al acero utilizado

1.4.7 ANTECEDENTE 7

Souza, A; Meneses, J; Guimarães, F; Ferreira, Carlos (2014) en el artículo sobre el estudio “Propiedades mecánicas y microestructuras de juntas soldadas del acero HY80 por los procesos de SMAW y GMAW” realiza un análisis comparativo de las propiedades mecánicas y la microestructura de las juntas soldadas con 2 procesos distintos; proceso SMAW y GMAW, teniendo como material base el acero HY80 de uso naval;

Para poder realizar los ensayos, se realizó la soldadura de los 2 cupones según norma, considerando la temperatura de precalentamiento de 90° C y las temperaturas de interfase entre 50° -150° multi pases en posición plana (1G); posteriormente se procedió a realizar el tratamiento térmico posterior, preparándose las probetas para los ensayos de tracción, impacto, dureza y metalografía, también se realizó el análisis químico.

Los resultados obtenidos le permiten concluir

- El carbono equivalente es menor en el proceso SMAW
- Los valores de límite de fluencia y reducción de área son superiores a los límites exigidos según norma
- El porcentaje de elongación son inferior, pero estos valores fueron obtenidos en probetas transversales

- Con el proceso GMAW los valores de tenacidad (impacto) es mayor en el proceso GMAW
- La productividad en el proceso GMAW es superior al proceso SMAW

Por lo que los autores concluyen que el proceso GMAW es una alternativa interesante y puede sustituir al proceso SMAW en la industria naval

1.4.8 ANTECEDENTE 8

Chacón, F; Pardo, F(2014) en su trabajo de tesis “Estudio de las propiedades mecánicas de una junta soldada en Aluminio Al5083-H1116 mediante el proceso GMAW pulsado” los autores, realizan un estudio comparativo entre las unión soldada de una junta con aluminio envejecido y otra junta con aluminio nuevo, utilizando como material de aporte ER5356 con gas de protección Argón al 100%, para los materiales en estudio, para el proceso utilizaron dos proceso de soldadura GMAW pulsado automático y semi automático con el fin de establecer el comportamiento de las uniones realizadas, para lo cual se realizó ensayos de micro dureza, de dobléz guiado y de tensión, para lo cual se soldaron los cupones según norma AWS D1.2/1.2M

Realizados los ensayos en las probetas de control dos para cada proceso se pudo apreciar

- En los pases de acabado una alta densidad de porosidades, y en los pases de raíz mayor cantidad de grietas el autor atribuye estas discontinuidades al fenómeno de Licuefacción
- En la zona ZAC en el proceso GMAW-P automático el tamaño de grano es más pequeño que el obtenido en el GMAW-P semiautomático

- La zona ZAC es menor en el aluminio envejecido que en el aluminio nuevo, según el autor esto se debe a la disminución de Mg debido al envejecimiento y la corrosión lo cual la conductividad térmica disminuye
- El tamaño de grano es mayor en las juntas del aluminio envejecido que en las juntas nuevas
- La licuación es menor en las juntas con aluminio envejecido que en las juntas con aluminio nuevo
- En los ensayos de tracción se pudo observar que la fractura fue de tipo dúctil para ambos tipos de aluminio
- Asimismo, los ensayos de dobléz y los análisis de dureza metalográfico y de dureza coinciden con la falla ocurrida en el ensayo de tracción para el aluminio envejecido en la zona ZAC
- Se concluyó que en el aluminio envejecido naturalmente las propiedades mecánicas disminuyen

1.4.9 ANTECEDENTE 9

Naula W (2013) en su tesis "Análisis de la variación de electrodos en un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico y su incidencia en las propiedades mecánicas" donde determino la relación microestructura/ propiedades para soldar para el acero AISI 304 el cual fue soldado con múltiples pasadas usando diferentes materiales de aporte para cada junta soldada (AWS E308L-16, AWS E309L-16, AWSE316H-16) con proceso SMAW, realizando 5 probetas por cada junta soldada haciendo un total de 15 probetas para los ensayos respectivos, donde los resultados microestructurales en juntas mostraron que en la zona afectada por el calor el tamaño de grano es grueso es la zona donde el riesgo de rotura es mayor, en los ensayos de dureza la zona de fusión incrementa la dureza y disminuye cuando más se acerca al material base, los ensayos de tracción

tuvieron resistencias aceptables, mientras que las de impacto eran inferiores al material base. De acuerdo a los datos obtenidos se determinó que el electrodo AWS E308L-16 es el que tiene las mejores propiedades mecánicas ya que núcleo es austenítico, lo que hace que la microestructura del cordón, en la zona ZAC y en el material base, en la zona ZAC y en el material base sea mayor el porcentaje de austenita en valores de 90% a 86% mientras que la ferrita varía de 10% a 24 %

1.4.10 ANTECEDENTE 10

Zalazar et al., (2009) Los autores de la investigación, “Efecto del procedimiento de soldadura sobre las propiedades de uniones soldadas de aceros micro aleados (aceros de baja aleación y alta resistencia)” para tubos, tienen como fin comparar las propiedades mecánicas y microestructura del acero HIC resistente a la corrosión aleado con Nb-Ti-Cu-Ni con los aceros de baja aleación y alta resistencia con Nb-V-Ti. Los dos tipos de acero caracterizados mediante análisis químico, mediciones de dureza, estudios metalográficos y ensayos de tracción e impacto, y determinar la temperatura de precalentamiento óptima pre-soldadura.

Los aceros HSLA (high strength low alloy) generalmente deben ser de bajo carbono y la adición de microaleantes que le dan características de mayor resistencia, resiliencia, es de esperar, entonces que estos aceros tengan buena soldabilidad y baja susceptibilidad a la fisuración por hidrógeno. Por lo tanto, la soldabilidad de estos aceros es motivo de investigación permanente.

En este estudio se observó los comportamientos de las soldaduras de dos aceros HSLA denominados aquí como a) normal, (acero NOR) y b) resistente a la fisuración por hidrógeno-HIC, (acero HIC), ambos soldados con distintos procesos y consumibles. Se contempló el análisis desde el punto de vista microestructural y las

propiedades mecánicas resultantes, de soldaduras realizadas mediante los procesos de soldadura con electrodos manuales revestidos (SMAW: shielded metal arc welding) y alambre tubular auto protegido (FCAW- S: self shielding flux cored arc welding).

Las conclusiones de los resultados de los estudios metalográficos y los ensayos mecánicos de tracción, dureza e impacto de las juntas soldadas mostraron la influencia de los electrodos de soldadura y del metal base en las propiedades de las uniones. Se observaron diferencias en las propiedades de las uniones soldadas con consumibles de igual especificación y distintos proveedores. De las diferentes combinaciones ensayadas se definieron valores óptimos para la soldadura de estos aceros.

CAPITULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Soldadura

Existen diversos autores que definen la soldadura entre los que se encuentran

La American Welding Society (AWS), define a “la soldadura como una coalescencia localizada de los metales o no metales creada mediante el calentamiento de los materiales a las temperaturas adecuadas de soldadura, con o sin la aplicación de presión, o mediante la aplicación de presión sola y con o sin la aplicación del material de aporte para la realización de la unión localizada través de fusión o recristalización a lo largo de la intercara” Pastor (2004)

PACHECO, P. (2015) en su libro. *Procesos en soldadura* define que La soldadura es un proceso de unión de materiales, los cuales se funden parcialmente, mediante la aplicación de calor y/o presión, en este proceso se produce una energía calorífica la cual funde los bordes de los metales para conformar una sola pieza con una estructura cristalina nueva.

NIETO, V. (2012) en su libro *Soldadura* indica que definiendo el material base y el material de aporte que se va a utilizar, se puede especificar el proceso de soldadura que se utilizara.

Siendo los más utilizados

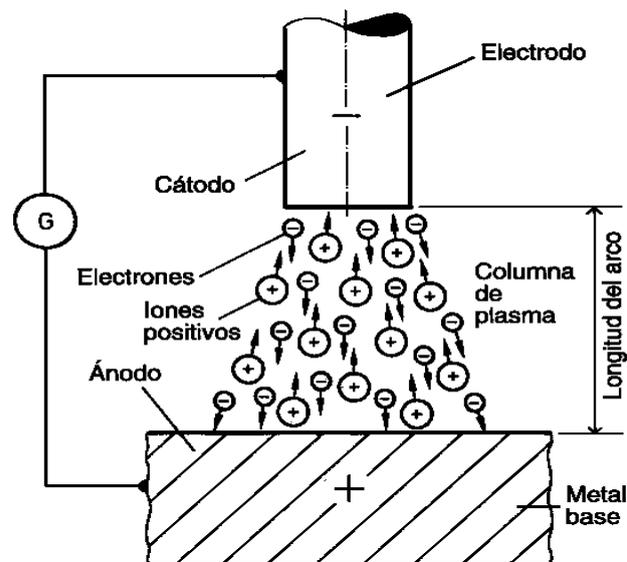
- Por arco eléctrico
- Oxiacetilénica
- Resistencia
- Electro escoria
- Forja
- Fricción

El proceso de soldadura consiste en unir dos o más piezas de metal, (material base) aplicando calor de tal manera que los materiales se calienten hasta la temperatura de fusión, con o sin aplicar presión, con o sin material de aporte, hasta que se forme una sola pieza, llamada junta soldada

2.1.2 Arco eléctrico

Varios autores definen el arco eléctrico una descarga eléctrica continua entre dos conductores a través d una columna de plasma, generando una transferencia de electrones hacia el ánodo i iones positivos hacia el cátodo debido a un corto circuito Figura 1

Figura 1
Arco Eléctrico



Nota: Fuente Icaza (2019)

“En los procesos de soldadura el circuito que se establece entre el polo positivo y el negativo del equipo de soldadura el cual se cierra al hacer contacto la punta del electrodo con la pieza de trabajo y retirándolo inmediatamente a una altura igual a dos veces el diámetro del electrodo o menos, formándose el Arco Eléctrico.

La energía eléctrica del arco eléctrico así formado produce temperatura de 5500 C

o mayores, que son lo suficientemente calientes para fundir cualquier metal
“(Masabanda, 2009, p.8).

El calor generado por las temperaturas que alcanzan funde una determinada área del material base y la parte extrema del material de aporte, el cual al fundirse forma pequeñas gotas metálicas, las cuales son transferidas al material base por la fuerza electromagnética, resultando la fusión de los dos materiales los cuales se solidifican formando el cordón de soldadura.

Entre los procesos de soldadura por arco eléctrico están SMAW, GTAW, GMAW, SAW, FCAW, y otros

2.1.3 Proceso

SMAW (Shielded Metal Arc Welding – Soldadura de Arco con electrodo revestido),

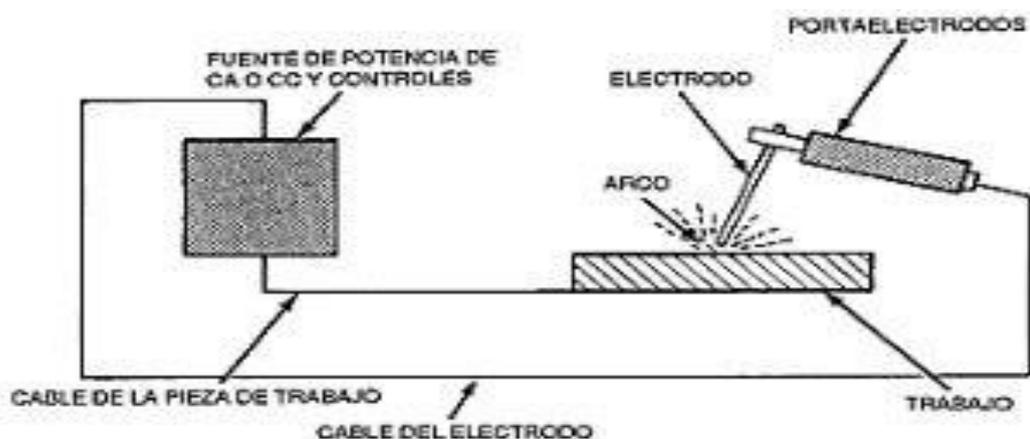
Ese define como el proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo recubierto y el metal base que se desea unir.

Esta unión se realiza mediante el cordón de soldadura para obtener la junta soldada

2.1.3.1 Principio de funcionamiento

Su funcionamiento se basa, en aprovechar el calor generado por el arco eléctrico y funde el material base y la punta del electrodo, ya que se forma un circuito eléctrico entre el electrodo y el material y la zona de trabajo tal como se puede apreciar en la Figura 2, en el cual se puede apreciar la fuente de poder, del cual consta de 2 cables (polo positivo y polo negativo) que dependiendo de la polaridad a utilizar uno se conecta con la porta electrodo y el otro a la zona de trabajo, la corriente utilizada puede ser corriente alterna o corriente continua

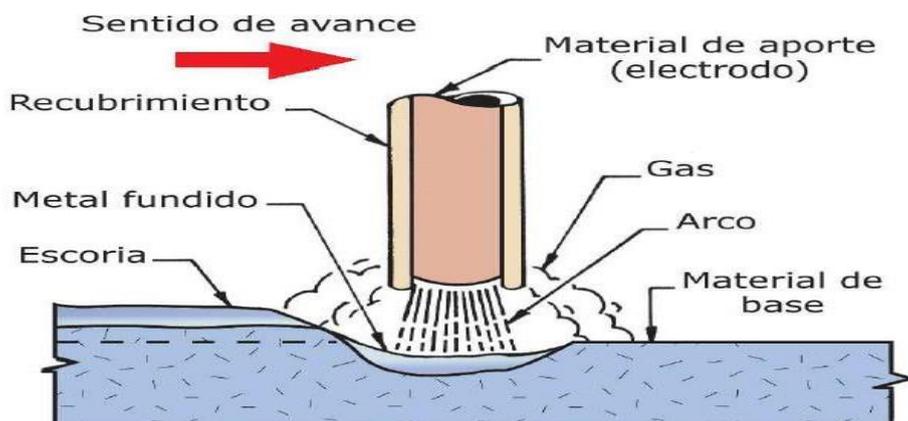
Figura 2
Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura SMAW



Nota: Fuente manual de Indura

Al encender el arco se inicia el proceso de soldadura, ya que el calor generado funde el electrodo el cual va formando el llamado charco de soldadura que al solidificarse forma el cordón de soldadura tal como se puede apreciar en la Figura 3

Figura 3
Esquema básico del arco eléctrico en el proceso SMAW



Nota: Fuente <http://bibdigital.epn.edu.ec> pdf.

2.1.4 Propiedades mecánicas

W. Callister en su libro Introducción a las ciencias de Ingeniería (2003) indica que las propiedades mecánicas sirven como base para determinar el comportamiento mecánico el cual refleja la relación entre la fuerza aplicada y la deformación.

Las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, dureza, ductilidad, dureza e impacto

Otra definición es la que indica que son aquellas que cuando se les aplica una fuerza afectan a la resistencia mecánica, es decir las propiedades mecánicas que tiene un material la cual se relaciona la posibilidad de transmitir y resistir deformaciones

Las propiedades mecánicas se determinan mediante ensayos mecánicos, los cuales deben de realizarse de acuerdo con las condiciones de trabajo, considerando la carga aplicada y el tiempo de aplicación de la misma,

Las propiedades de los materiales sirven para definir el tipo de material a utilizar en los diferentes proyectos, de acuerdo con el cálculo de diseño.

2.1.5 Ensayo de Materiales

Varios autores definen los ensayos de materiales como una prueba que tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas de un material, o para verificar los valores de las fichas técnicas y si están dentro de lo requerido por la norma utilizada, y en lo posible se debe de realizar bajo las mismas condiciones de trabajo o de acuerdo a la norma

Los ensayos de materiales nos permiten comprobar si las propiedades de un material van a ser capaz de soportar los esfuerzos y cargas a las que va ser sometidas, así mismo nos indica la característica del material, si es dúctil, frágil, maleable,

Existen los ensayos destructivos y no destructivos

Los no destructivos analizan las discontinuidades que existen en un producto, pero si ejercer ningún esfuerzo que destruya la pieza, los ensayos utilizados en la industria son

Rayos X, tintas Penetrantes, ultrasonido, gammagrafía, inspección visual etc.

Los ensayos destructivos, se caracterizan por someter la probeta a diferentes esfuerzos, hasta que se rompa determinando así el esfuerzo máximo, de la probeta

Askeland en su libro Ciencia e Ingeniería de los materiales(2005) indica que al seleccionar un material se debe considerar adecuar las propiedades mecánicas del material seleccionado a las que requiere el producto a fabricar por lo cual se debe determinar si el material debe ser dúctil, frágil, rígido, a que temperaturas de trabajo va a ser sometido, las fuerzas a las que va a ser sometido el material es cíclica o puntuales, el ambiente es corrosivo, una vez establecidas la propiedades necesarias, y seleccionado el material se procederá a la verificación de las mismas mediante los ensayos correspondientes,

2.1.6 Norma AWS D 1.1. (2020)

Esta norma indica los requisitos necesarios para la soldadura, en todo tipo de estructuras fabricadas con aceros de baja aleación, así mismo indica como evaluar las juntas soldadas indicando los ensayos a realizar, para evaluar la calidad de las juntas soldadas y la calificación de los procedimientos de soldadura

Los capítulos del 1 al 11 indican un conjunto de reglas que regulan la soldadura, y ocho anexos normativos y once informativos

2.1.7 Norma AWS A 5.1 (2012) ASME BPVCJLC (2021)

Norma AWS 5.1 (2012) esta norma cubre los requisitos que deben de tener los materiales de aporte (electrodos) revestidos para proceso SMAW, asimismo indica los procedimientos a seguir para la evaluación y calificación de los mismos indicando los valores de todas las propiedades mecánicas mínimas, y los porcentajes máximos de los componentes químicos

2.1.8 Norma ASTM A370

Esta norma define los procedimientos para los ensayos de tensión, dureza, para diferentes aceros y aleaciones y determinar y verificar las propiedades requeridas en la especificación del producto, así mismo establece la relación entre la fuerza de tensión y la dureza para los diferentes tipos de acero y aleaciones y consta de 29 secciones

Las secciones del 1 al 13 tensión

La sección 14 Doblez

Las secciones del 15 al 18 Dureza

Las secciones del 19 al 28 Impacto

La sección 29 Palabras claves

2.1.9 Norma ASTM E23

Esta norma explica todos los requisitos para realizar los ensayos Charpy, e Izod donde indica las especificaciones para el maquinado de las muestras, procedimiento de las pruebas, informe de pruebas, adicionalmente proporciona el alcance de las pruebas de impacto con muescas y métodos de evaluación del centro de ataque

2.1.10 Norma ASTM 415

Esta norma analizar los metales y aleaciones para verificar los porcentajes requeridos de acuerdo a las especificaciones de los materiales.

La metodología que da la norma permite la detección simultánea de 21 elementos en aceros al carbono por el sistema de espectrometría al vacío y emisión de chispa, en porcentajes y rangos de fracción de masa en relación al estándar

2.1.11. Metal base (material base)

ARRIAGA, L & y ZARATE, L. (2008) en su libro *Procesos de soldadura* define como material base “a cualquier material que ya sea metálico o no metálico que se va a someter a un proceso de soldadura además este material base puede tener cualquier forma: cubicas, cilíndricas, hasta formas únicas, todo esto dependiendo de la aplicación que se le pueda dar “(pág. 25)

2.1.12 Material de aporte - electrodo

Según la revista de la Federación de la enseñanza (2010) la define como “todo aquel material que se utiliza para la realización de un cordón de soldadura de buena calidad y donde distinguimos, por un lado, el núcleo del electrodo y el revestimiento, y por otro lado, la varilla de aporte y los fundentes, estos los usaremos en función del tipo de proceso de soldadura “

Según Horwitz, (2016) en su libro *Soldadura aplicaciones prácticas* dice que los electrodos llamados también consumibles o materiales de aporte, se funden para formar el cordón de soldadura y sus propiedades físicas deben ser igual o mayor a las del material base para conseguir la unión de los metales y una soldadura homogénea

Para García “Los electrodos son aquellos encargados de llenar espacios importantes para lograr la unión de las piezas, existen dos tipos de electrodos, de carbón y metálico” (2020, p. 12).

Entre los metálicos tenemos a los desnudos y a los con recubrimiento (electrodo revestido)

Así mismo tenemos a los que aportan y los que no aportan

La utilización de los mismos depende del proceso de soldadura, por ejemplo

- Electrodo revestido proceso SMAW
- Electrodo desnudo que aporte (hilos) proceso GMAW

- Electrodo metálico, sin recubrimiento que no aporta proceso GTAW
- Electrodo metálico desnudo (varillas) proceso OFW, GTAW
- ❖ Electrodo revestido

Este electrodo conocido también como consumible o material de aporte son aquellos que están conformados por un núcleo metálico el cual se funde para conformar el cordón de soldadura; y por un revestimiento compuesto por diferentes elementos químicos, las cuales se encargaran de la protección del metal fundido de la atmosfera, durante la soldadura, estabilizan el arco eléctrico, ayudando a mejorar las propiedades de la unión soldada.

El núcleo del electrodo revestido debe de tener la composición semejante al material base.

El revestimiento de acuerdo a su composición química se clasifica en

- Ácidos contienen óxido de hierro y manganeso
- Básicos contienen Carbonatos de calcio y magnesio
- Celulósicos contienen Celulosa con aleaciones ferrosas
- Rutílicos contienen óxidos de Titanio

Así mismo para cada tipo de electrodo se indica el tipo de corriente las cuales son corriente alterna (CA), corriente continua (CC) y la polaridad que debe de usarse polaridad directa (PD) y polaridad inversa (PI). Lo cual está definido en la nomenclatura de acuerdo a un código internacional, que identifica cada electrodo, que consiste en:

E XXYZ

Donde cada cifra tiene un significado

- **E** Electrodo de soldadura
- **XX** Resistencia del metal depositado (cordón de soldadura) si es 60 indica 60,000 libra/pul²
- **Y** Las posiciones de soldeo

- **1** todas las posiciones
- **2** solo horizontal
- **3** solo vertical descendiente
- **Z** indica el tipo de revestimiento: el tipo de corriente y la polaridad
 - El “0” indica que el Revestimiento es de tipo Celulósico P.I. CC.
 - El “1” indica que es Celulósico P.I. CA. / CC.
 - El “2” indica que es de Rutilo P.D. CC.
 - El “3” indica que es de Rutilo PD. CA / CC.
 - El “4” indica que es de Rutilo Polvo de Hierro P.I. CA /CC.
 - El “5” indica que es de Bajo Hidrógeno P.I. CC.
 - El “6” indica que es Bajo Hidrógeno P.I CA / CC.
 - El “7” indica que es Oxido Polvo de Hierro P.I. CA / CC.
 - El “8” indica que es Bajo Hidrógeno Polvo de Hierro P.I. C

2.1.13 Cordón de soldadura

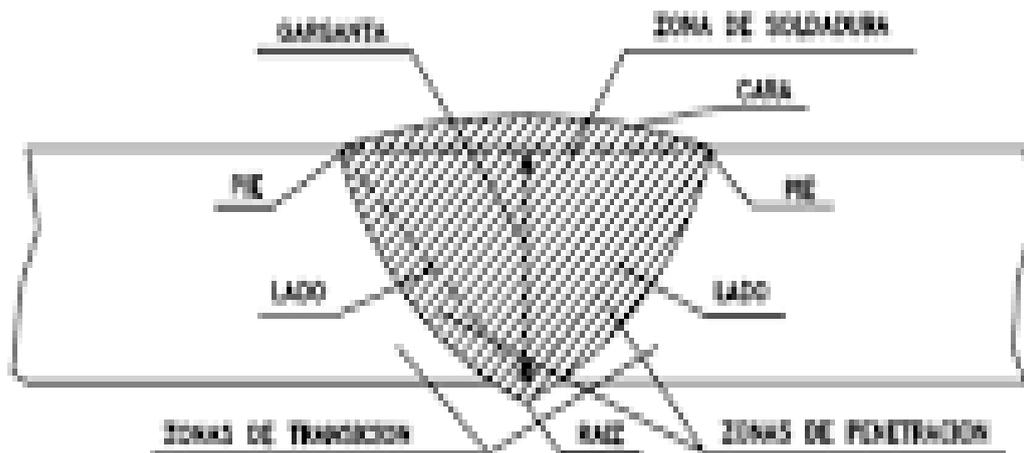
Mayanza y Tuquinga (2018) en su tesis “Análisis del comportamiento termo mecánico de la junta soldada tipo k, aplicada en la fabricación de carrocería de autobuses interprovinciales” indica que el cordón de soldadura se produce al momento de solidificarse el material de aporte y las características del cordón depende de procedo de soldadura que se empleó, en el momento que se produce la solidificación del cordón se desprenden gases al ambiente, si no se tiene un correcto avance del electrodo.

Es importante que el cordón de soldadura es evitar las discontinuidades y en caso la hubiera estén dentro rango que indica la norma que se esté utilizando, cabe mencionar que la geometría, la sobre monta, la penetración es establecidos en las normas y depende del metal base y el proceso que se utiliza (Icaza, 2019).

- ❖ Partes del cordón de soldadura las cuales lo puede apreciar en la Figura 4, el cordón de soldadura tiene tres zonas

- Zona de soldadura la cual está constituida fundamentalmente por el electrodo (metal de aportación)
- Zona de penetración es la parte en que el metal base se ha fundido con el material de aporte, la profundidad de esta zona define la penetración
- Zona de transición. – es la zona del material base que no se ha fundido y es la más cercana a la zona de penetración, pero ha soportado altas temperaturas

Figura 4
Partes de un cordón de soldadura



Nota: Fuente urbpedia.org

2.1.14 Junta soldada

La junta soldada se forma cuando dos metales bases iguales, similares o diferentes se unen por un procedimiento de soldadura con o sin material de aporte, el tipo de junta depende de la aplicación y la resistencia que se necesite,

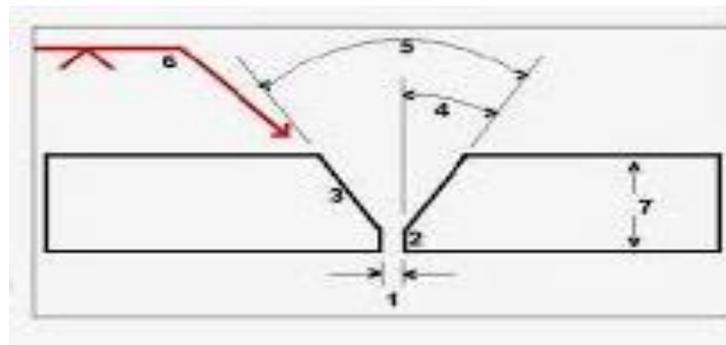
Existen 5 tipos de junta básicos que son

- Juntan a tope

- Junta en T
- Junta de borde
- Junta en esquina
- Junta a solape

Dependiendo el diseño de la junta se determina el tipo de soldadura puede ser de ranura o de filete, en cada tipo de junta se determinan sus partes tal como en el caso de junta a tope que se muestra en la Figura 5

Figura 5
Parte de una junta a tope con bisel

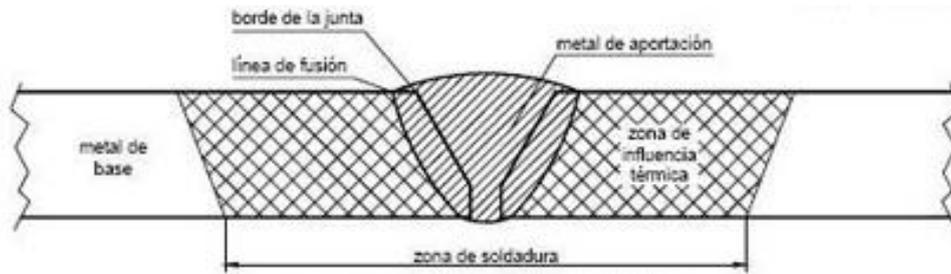


Nota: Donde 1 apertura de raíz; 2 Cara de Raíz; 3 Cara de la ranura; 4 Angulo de bisel; 5 Angulo de ranura; 6 Tamaño (longitud) de la soldadura de ranura indicado en el símbolo; 7 Espesor de la plancha
Fuente urbpedia.org

Las partes indicadas son de la junta antes de soldar,

Una vez realizada el proceso de soldadura, se puede observar las partes de la junta ya soldada en la Figura 6

Figura 6
Junta soldada



Nota: Fuente urbpedia.org

2.1.15 Fuente de poder

Es una fuente de energía que se usa para iniciar y mantener el arco entre el material base y el material de aporte, y dentro de sus características

- Transforma el alto voltaje de la línea de alimentación en bajo voltaje, ej. De 220 V. a 80 V. y el bajo amperaje en alto amperaje adecuado para soldar ej. 30 A. a 400 A. Se prefieren del tipo de corriente constante y la característica más importante es la capacidad
- Rectifica la Corriente alterna a corriente continua
- Se prefieren del tipo de corriente continua y la característica más importante es la capacidad
- Consta de dos salidas un polo positivo y el otro polo negativo, donde se conectan los cables porta electrodo y el cable de masa

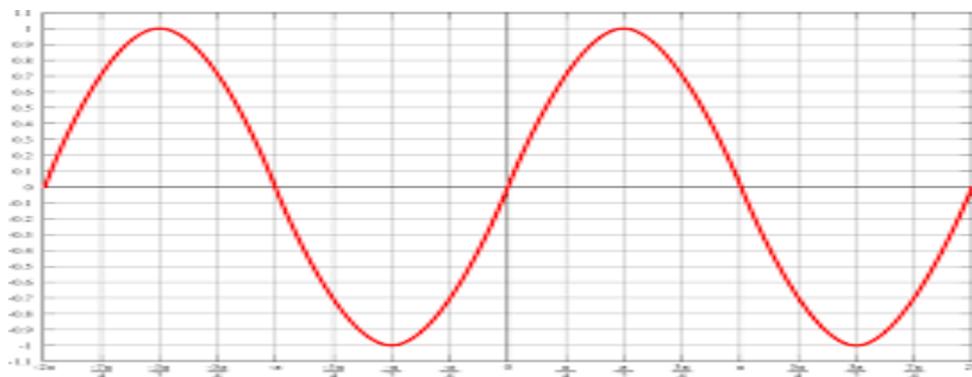
2.1.16 Corriente Alterna (AC)

Es una corriente de flujo variable en las cargas eléctricas cambian de sentido de manera periódica 120 veces por segundo Este cambio de dirección se efectúa 120 veces por segundo, el cual se le denomina ciclos o periodos, es decir cambia la

polaridad y magnitud en forma regular

Produciéndose una onda sinusoidal la cual se origina desde cero hasta llegar a un máximo, a partir de entonces disminuye a cero y va a un punto máximo en dirección opuesta, conformando los ciclos positivo y negativo de tal manera que se transforma de el voltaje más alto al voltaje más bajo, debido a las tensiones, como se puede apreciar en la Figura 7

Figura 7
Onda Sinusoidal corriente alterna



Nota: Fuente Icaza 2019

2.1.17 Corriente Continua (DC .CC).

EL flujo de corriente conserva siempre una misma dirección; del polo negativo al polo positivo (Masabanda, 2009, p.10)

En este caso las cargas eléctricas circulan en el mismo sentido, lo cual da una corriente constante y siempre la misma polaridad

Su grafica es una recta

2.1.18 Polaridad en soldadura

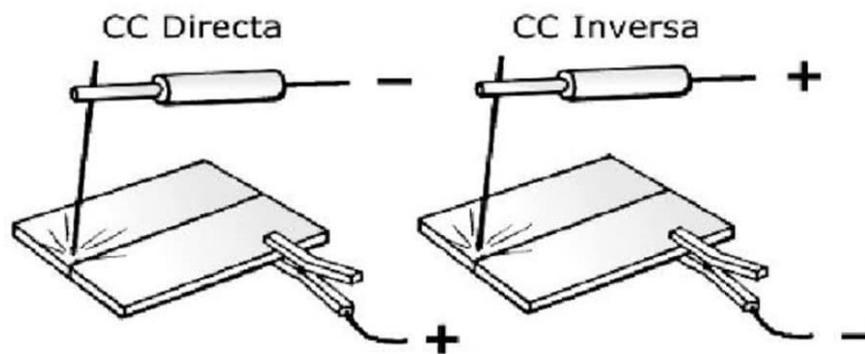
La polaridad en soldadura se presenta cuando se utiliza corriente continua (CC o DC), este circuito se presenta cuando se activa la fuente de poder y consta de un polo positivo y uno

negativo, a esa cualidad se denomina polaridad y en soldadura se presentan 2 tipos de polaridad las cuales se explican de la siguiente manera

Polaridad directa. Se denomina así, si el cable de la porta electrodo es conectado al polo negativo (-) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo positivo (+). (Masabanda 2009, p 10) Tal como se puede apreciar en la figura 8

Polaridad indirecta. Se denomina así, si el cable de la porta electrodos es conectado al polo (+) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo negativo (Masabanda, 2009, p. 11) tal como se puede apreciar en la Figura 8

Figura 8
Tipos de polaridad



Nota: Fuente WELDING FROM PERU.ORG

2.1.19 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es un ensayo fundamental, para la evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales, con los resultados obtenidos se puede determinar si el material está en a la capacidad de soportar los esfuerzos y cargas a los que va a trabajar, pudiéndose determinar resistencia mecánica, rigidez, ductilidad, tenacidad módulo de resiliencia

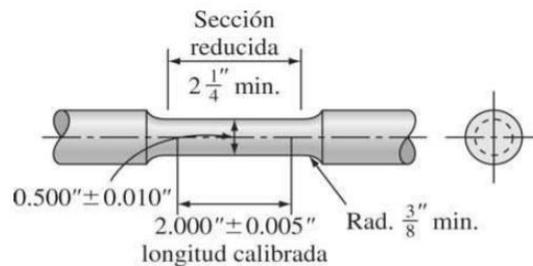
El ensayo de tracción es considerado un ensayo estático, ya que la velocidad aplicar la fuerza de tracción no influye en el resultado del ensayo ya que se aplica en forma lenta y

la fuerza crece con el tiempo hasta la fractura de la probeta la cual está normalizada
 Los datos que se obtienen es el % alargamiento de la probeta, al estar sometida a la fuerza de tracción, lo que nos permite obtener el diagrama esfuerzo deformación, donde se puede apreciar la zona plástica, la zona elástica, la elástica plástica, el esfuerzo de fluencia y la rotura.

Las probetas de sección transversal gruesa según norma son de $\frac{1}{2}$ " de diámetro.

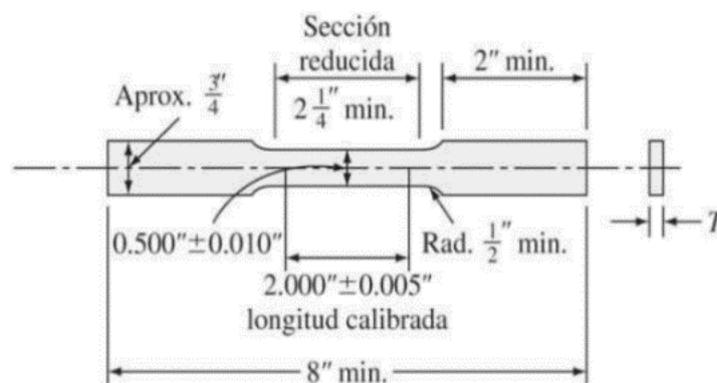
En metales de sección transversal delgada la probeta más utilizada tiene una longitud entre marcas de 2" tal como se muestran en las Figura 9 y Figura 10

Figura 9
Probeta redonda estándar para tracción



Nota: Fuente norma ASTM 370

Figura 10
Probeta rectangular estándar para tracción



Nota: Fuente Norma ASTM 370

Las propiedades mecánicas que se pueden obtener al realizar el ensayo de tracción son

- Módulo de elasticidad o módulo de Young, que es el que se obtiene de la zona plástica, y se obtiene de acuerdo a la Ley de Hooke que se encuentra al dividir la tensión realizada entre la deformación producida en la zona elástica, y la unidad en N/mm² o Mpa. Como se puede apreciar en la fórmula 1

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

Donde

E= módulo de elasticidad N/mm

σ = tensión de tracción N/mm²

ε = deformación nominal

- Limite elástico convencional

Este valor es significativo en el cálculo de diseño, ya que está definido en la curva esfuerzo deformación, donde termina la deformación en zona plástica y empieza deformación en la zona elástica

- Resistencia a la tracción

Se determina a partir de la fuerza o carga aplicada F entre el área de la sección transversal original de la probeta. (Fórmula 2)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2)$$

Donde

σ = esfuerzo o tensión (N/mm²)

F = fuerza aplicada (N)

A₀ = Área inicial (mm²)

- Porcentaje de alargamiento a la fractura

Este valor está definido por el alargamiento que sufre la probeta a lo largo del ensayo, dando una idea de la ductilidad del material, a menor porcentaje de alargamiento menor

ductilidad (fórmula 3)

$$\% \text{Elongación} = \frac{L_f - L_i}{L_i} = \frac{\Delta L}{L_i} \quad (3)$$

Donde

L_i = Longitud inicial (mm)

L_f = Longitud final (mm)

El % de elongación para W. Smith en su libro Fundamentos de ciencia e ingeniería de materiales dice *“El porcentaje de alargamiento tiene importancia no solo como medida de la ductilidad, sino también como índice de calidad del metal, debido a que, si existe porosidad o inclusiones en el metal, o si existe un deterioro debido a un sobrecalentamiento del mismo, el porcentaje de alargamiento decrecerá por debajo del valor normal”*

- Porcentaje de estricción a la fractura

La propiedad de ductilidad se obtiene cuantitativamente por la reducción de área (fórmula 4)

$$\% \text{ reducción de área} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\% \quad (4)$$

Donde:

A_o = Área inicial (mm²)

A_f = Área final (mm²)

El % de reducción de área, es un indicativo de ductilidad, y del índice de calidad, ya que este porcentaje puede ser menor si existiesen defectos en soldadura

2.1.20 Ensayo de Impacto

El ensayo de impacto evalúa la fragilidad de un material, a diferencia del ensayo de tracción que es estático el ensayo de impacto es dinámico, que permite medir la tenacidad debido a la aplicación de la carga de forma instantánea

Según Askeland en su libro "Ciencias e Ingeniería de los materiales (2002) pág. 5 indica que *"si el material es sometido a un golpe súbito e intenso, en el cual su velocidad de aplicación del esfuerzo es extremadamente grande, el material puede cambiar su comportamiento y tener un comportamiento más frágil comparado con el que se observa en el ensayo de tensión. El ensayo de impacto a menudo se utiliza para evaluar la fragilidad de un material bajo estas condiciones. Se lo puede realizar mediante los procedimientos de Charpy e Izad.*

Los ensayos se realizan en una maquina denominada péndulo de Charpy, donde se utilizan probetas normalizadas y entalladas y tiene una disminución en el centro de la probeta que puede ser en V o U

El péndulo cae sobre la probeta y lo rompe, determinando la tenacidad, así mismo el péndulo tiene un dispositivo que permite medir la altura inicial del péndulo y la altura final después del impacto, lo cual permite medir la energía absorbida (tenacidad) y se pueda calcular por la siguiente fórmula (5)

$$E \text{ absorbida} = M \cdot G (h_o - h_f) \text{ Joules} \quad (5)$$

Donde

M = masa

G = gravedad

h_o = Altura inicial del péndulo

h_f = altura final

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Cupones en soldadura

Los cupones de soldadura son dos elementos, en forma de tubería o placa, que se utilizan para calificar los procedimientos de soldadura, evaluar a los soldadores

El tamaño de los cupones depende de lo que indique la norma de acuerdo al número de ensayos y las probetas que se necesita para la calificación

Dicha calificación se realiza tanto por ensayos no destructivos y destructivos

2.2.2 Resiliencia de un material

Es la cantidad de energía que puede absorber el material antes de que empiece la deformación plástica y termine la deformación plástica como se puede apreciar en la fórmula 6

Es la cantidad de energía que puede absorber un material, antes de que comience la deformación irreversible, esto es, la deformación plástica. El ensayo de resiliencia sirve para determinar la fragilidad que opone un material.

$$R = E \text{ absorbida} / S. \quad (6)$$

Donde

R= Resiliencia

Eabs. = energía absorbida

S = superficie de la sección de la muestra

N Muñoz (2016) Si las probetas que se rompen en dos mitades fallan de forma frágil, en cambio aquellas con mayor ductilidad se doblan sin romperse. Esto depende de la

temperatura tanto como la composición química, por lo cual esto obliga a realizar probetas a diferentes temperaturas para ser evaluadas

2.2.3 Dureza

La dureza es la propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada. Es decir, la resistencia que opone un cuerpo a ser rayado o penetrado por un cuerpo más duro.

En el caso de la soldadura que se mide en el cordón de soldadura, en la zona de interfase y en el metal base la dureza se relaciona con la oposición que presentan a ser penetrados por un indentador (de carburo de tungsteno, con forma de esfera o de cono, o de diamante con forma de pirámide) bajo una carga controlada y durante un tiempo determinado, dependiendo de las escalas sea Rockwell, Vickers o Brinell

2.2.4 Temperatura de Inter pase

La temperatura de Inter pase en una soldadura de pase múltiple, es la temperatura de la soldadura entre los pases del trabajo soldado.

2.2.5 Zona afectada por el calor (ZAC)

La zona afectada por el calor (ZAC) es una área del metal base, la cual es afectada por el calor de la soldadura tanto que sus propiedades mecánicas difieren de aquellas que están en una área no afectada del metal base

2.2.6 Penetración

AWS define la penetración, o bien denominada profundidad de fusión, como “La distancia que se extiende la fusión hacia el metal base o el paso anterior desde la superficie fundida durante la soldadura” .

CAPITULO III: HIPOTESIS Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.1 Hipótesis general

Los valores de las propiedades mecánicas y la composición química al realizar cordones y juntas soldadas con diferentes electrodos no son igual al promedio de los valores de los electrodos utilizados,

3.1.1 Hipótesis específicas

H 1 Las propiedades mecánicas del cordón de soldadura realizado con diferentes electrodos es diferente al promedio de los valores según norma

H 2 Las propiedades mecánicas de la junta soldada realizada con diferentes electrodos difiere del promedio de los valores según norma

3.2 Matriz de operacionalización de las variables dependientes

Proyecto: Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de las uniones soldadas con electrodos (SMAW) de diferente aplicación

Variable independiente: Cordón de soldadura y juntas soldadas con diferentes electrodos proceso SMAW junta a tope en acero ASTM A 36 posición 1G

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	CATEGORIA	INDICADORES	INDICE	INSTRUMENTOS
PROPIEDADES MECANICAS	Las propiedades mecánicas, son aquellas que describen el comportamiento de un material, ante las fuerzas aplicadas sobre el que afectan a la resistencia mecánica y su capacidad	Transformaciones de componentes estructurales mediante esfuerzos aplicados en elementos de prueba para determinar resistencia del material.	Ensayo de tracción	Resistencia a la tracción	Mpa	Normas
				Resistencia a la fluencia	Mpa	
				Modulo elástico	N/m2	
				elongación	%	
			Ensayo de impacto	Resistencia al impacto	Joules	
			Ensayo de Dureza	Dureza Rockwell	HRB	
PROPIEDADES QUIMICAS	Las propiedades químicas, la capacidad de las sustancias de variar químicamente	Reacciones químicas de los elementos	Análisis químico	componente	%	Normas

CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1 Tipo y diseño de la investigación

Se realizó bajo el enfoque cuantitativo, diseño experimental y alcance correlacional ya que los electrodos utilizados en la junta soldada y en el cordón de soldadura no han sido aleatorios, sino que se han determinado antes de la fabricación de los cupones; para probar la hipótesis y de nivel explicativo en la que se van a explicar las condiciones y procedimientos

4.2 Unidad de análisis

La investigación utilizo como unidad de análisis las uniones soldadas a tope con preparación de junta mediante la experimentación de los cupones elaborados de acuerdo a normas

Para el análisis de la junta soldada, se usó la norma AWS D1.1

Para el análisis del cordón de soldadura se utilizó la norma y AWS A5.1y A5.5

4.3 Matriz de consistencia

TEMA: Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de las uniones soldadas con electrodos (SMAW) de diferente aplicación

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES
Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de las uniones soldadas con electrodos (SMAW) de diferente aplicación	GENERAL ¿Cuál es el valor real de las propiedades mecánicas en la junta soldada y en el cordón de soldadura al utilizar electrodos de diferentes aplicaciones en la misma unión?	GENERAL Evaluar las propiedades mecánicas del cordón de soldadura y de las juntas soldadas a tope con diferentes electrodos bajo el proceso SMAW con el fin de obtener los valores reales, y compararlos con los utilizados actualmente.	GENERAL Los valores de las propiedades mecánicas al realizar cordones y juntas soldadas con diferentes electrodos son diferentes al promedio de los valores de los diferentes electrodos,	INDPENDIENTE Cordón de soldadura y juntas soldadas con diferentes electrodos proceso SMAW junta a tope en acero ASTM A 36 posición 1G
	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLES DEPENDIENTES
	¿Cómo varían las propiedades mecánicas en el cordón de soldadura al utilizar diferentes electrodos?	Evaluar las propiedades mecánicas del cordón de soldadura obtenido con diferentes electrodos	Las propiedades mecánicas del cordón de soldadura realizado con diferentes electrodos son diferentes al promedio de los valores según norma	PROPIEDADES MECANICAS
	¿Cómo varían las propiedades mecánicas en la junta soldada al utilizar diferentes electrodos?	Evaluar las propiedades mecánicas de la junta soldada, realizada con diferentes electrodos	Las propiedades mecánicas de la junta soldada realizada con diferentes electrodos difieren del promedio de los valores según norma	

CAPITULO V: DESARROLLO DE LA TESIS

En el presente capítulo se detallará el procedimiento realizado para la elaboración de los cupones y probetas (segmento del cupón de soldadura extraído para realizar ensayos) de ensayo, así como los procesos que se utilizaron para la caracterización y determinación de las propiedades de la unión soldada del material base (acero ASTM A36) y la evaluación de los cordones de soldadura

Los ensayos empleados fueron los de tracción, impacto, dureza Rockwell, doblado y análisis químico

5.1. Elaboración de cupones de soldadura

5.1.1 Características del material base

Para la ejecución de este trabajo se utilizaron planchas de acero ASTM A 36 de 3/8" (9.4mm) para los cupones según norma AWS D.1.1 y de 1/2" (12.7mm) para los cupones según norma AWS A5.1.

Se tomaron pequeñas muestras de metales bases para realizar un análisis químico, con el método de espectrometría, el cual fue realizado por un especialista, con la finalidad de verificar la soldabilidad del material calculando el porcentaje de carbono equivalente (%CE) según fórmula del Instituto Internacional de Soldadura (IIW) fórmula 7

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} (\%) \quad (7)$$

De acuerdo a los valores obtenidos en el Laboratorio 4 de la FIM según:

- Informe Técnico Lb 4 0458- 2023 para la plancha de 3/8" (anexo A)

$$\%CE = 0.120 + \frac{0.699}{6} + \frac{0.0534+0.075}{5} + \frac{0.0559+0.0015}{15}$$

$$\%CE = 0.266006$$

Valor menor a 0.35 por lo cual no es necesario precalentamiento, buena soldabilidad según cuadro Nro. 1 (IIW)

- Informe Técnico Lb4 0459 – 2023 (anexo B)

$$\%CE = 0.103 + \frac{0.482}{6} + \frac{0.0587+0.0073}{5} + \frac{0.1040+0.150}{15}$$

$$\%CE = 0.213463$$

Valor menor a 0.35 por lo cual no es necesario precalentamiento

Con los valores obtenidos, se procede a especificar el procedimiento para la ejecución de los cupones, donde no va a ser necesario precalentamiento

5.1.2 Equipamiento de soldadura

5.1.2.1 Máquina de soldadura SMAW

El equipo utilizado fue una máquina de soldar portátil marca Miller EXMT 350 CC/CV, se muestra dicho equipo en la Figura 11. Los datos técnicos de la máquina se muestran en la Tabla 1

Tabla 1
Datos Técnicos

MILLER XMT 350 CC/CV	
Voltaje de suministro	3 ~ 230V ±15%, 50 / 60 Hz
Fusible	40 A
Cable de conexión (AWG)	3x6 mm ² (10)
Peso (con cables de suministro)	7.8 kg (8,4 kg)
Rango de soldadura	5A / 10,2V – 180A / 17,2V
Eficiencia a máxima corriente	0,75
Corriente nominal 60%	350A / 34 VCD
Clase de protección	IP 23
Dimensiones externas (L x W xH)	400 x 180 x 340 mm

Nota: Fuente Ficha técnica de Miller

Figura 11
Maquina Soldadora portátil Miller XMT359CC/CV



5.1.3 Consumibles

Para la elaboración de los cupones se utilizó seis materiales de aportación (electrodos revestidos) se consideró los seis electrodos más utilizados en la industria,

Tabla 2
Característica de los electrodos a utilizar

ELECTRODO	PENETRACION	APLICACION
E 6010	Alta	tuberías estructuras, tanques calderos, cascos de buques
E6012	De mediana a baja	Aceros de bajo carbono, trabajos de cerrajería, muebles metálicos, estructuras ligeras, etc.
E6013	De mediana a baja	carpintería metálica, carrocerías, espesores delgados en general y todas las aplicaciones en donde se deba cuidar el acabado
E7010	Alta	Para juntas de alta resistencia, tuberías
E7018	De mediana a alta	Aceros dulces, incluidos recipientes a presión, estructuras de aleaciones bajas, tuberías, calentadores de agua, equipos de trabajo pesado, construcción naval, mantenimiento general y fabricación.
E7024	De mediana a baja	soldaduras de elevada calidad mecánica, incluso con materiales que contengan impurezas

Nota Elaboración propia

En la Tabla 3, se muestran las propiedades mecánicas de los diferentes electrodos de acuerdo a la norma AWS 5.1

*Tabla 3
Propiedades Mecánicas de los electrodos revestidos*

ELECTRODO	RESISTENCIA A LA TRACCION (min) MPa	LIMITE DE FLUENCIA (min) Mpa	ENERGIA ABSORVIDA Joules; *	DUREZA HRB** min	% ELOGACION Mínimo *
E6011	430	330	27 (-30)	68	22
E6012	430	330	No especifica	68	17
E 6013	430	330	No especifica	68	17
E7010	483	414	27(-30)	77	22
E 7018	490	400	27 (-45)	77	22
E7024	490	400	27 (-20)	77	17

Fuente Datos obtenidos de las tablas 2 y 3 de la norma AWS 5.1 (ver anexo C)

Energía determinada mínimo 3 especímenes (*)

Dureza de acuerdo a equivalencia en función a la resistencia a la tracción anexo D (**)

En la Tabla 4, se muestran la composición química, de los diferentes electrodos de acuerdo a la norma AWS 5.1

*Tabla 4
Composición química según AWS 5.1*

Electrodos	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Limite Max de Mn+Mo+ Ni+V+Cr
E6011	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
E6012	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
E 6013	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
E7010	0.20	1.20	0.60	0.018	0.011	1.00	0.50	0.50	0.10	N.S
E 7018	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75
E7024	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50

Nota: Fuente datos obtenidos de la TABLA 7 Norma AWS 5.1 (2020) anexo E

5.1.4 Elaboración de cupones

5.1.4.1 Se elaboraron 8 cupones con los electrodos elegidos para este proyecto

- 4 cupones de acuerdo a la norma AWS D1.1. para analizar las juntas soldadas, en la Tabla 5 se muestra las combinaciones elegidas, estos cupones se fabricaron en la plancha de 3/8" (9,4mm) de espeso

*Tabla 5
Disposición del material de aporte en plancha de 3/8" (9.4mm) según Norma AWS D1.1*

CUPON	ELECTRODOS	TIPO	PENETRACIÓN	APLICACIÓN
1	6011	celulósico potásico	alta penetración	raíz
	6012	rutilico sódico	mediana penetración	relleno
	6013	rutilico	baja penetración	acabado
2	7010	celulósico	alta penetración	raíz
	7018	básico bajo contenido de h	mediana penetración	relleno
	7024	rutilico con polvo de hierro	mediana penetración	acabado
3	6011	celulósico potásico	alta penetración	raíz
	6013	rutilico	baja penetración	relleno
	7024	rutilico con polvo de hierro	mediana penetración	acabado
4	6011	celulósico potásico	alta penetración	raíz
	7018	básico bajo contenido de h	mediana penetración	relleno
	7024	rutilico con polvo de hierro	mediana penetración	acabado

Nota: Fuente elaboración propia

- 4 cupones de acuerdo a la norma AWS A5.1 con el fin de realizar los ensayos para las propiedades del cordón de soldadura en la tabla 6 se muestran las combinaciones elegidas, estos cupones se fabricaron en la plancha de 1/2"(12.7mm) de espesor

Tabla 6
Disposición del material de aporte en plancha de ½" (12.7mm) según Norma AWS A5.1

CUPON	ELECTRODOS	TIPO	CARACTERISTICA	USO
1 A	6011	CELULOSICO	ALTA PENETRACION	RAIZ
		POTASICO		
	6012	RUTILICO SODICO	MEDIANA PENETRACION	RELLENO
	6013	RUTILICO	BAJA PENETRACION	ACABADO
2ª	7010	CELULOSICO	ALTA PENETRACION	RAIZ
	7018	BASICO BAJO CONTENIDO DE H	MEDIANA PENETRACION	RELLENO
	7024	RUTILICO CON POLVO DE HIERRO	MEDIANA PENETRACION	ACABADO
3ª	6011	CELULOSICO POTASICO	ALTA PENETRACION	RAIZ
	6013	RUTILICO	BAJA PENETRACION	RELLENO
	7024	RUTILICO CON POLVO DE HIERRO	MEDIANA PENETRACION	ACABADO
4 A	6011	CELULOSICO POTASICO	ALTA PENETRACION	RAIZ
	7018	BASICO BAJO CONTENIDO DE H	MEDIANA PENETRACION	RELLENO
	7024	RUTILICO CON POLVO DE HIERRO	MEDIANA PENETRACION	ACABADO

Nota: Fuente elaboración propia

5.1.4.2 Determinación de la temperatura de interface

Para calificación de la junta soldada la norma AWS D1.1 y las recomendaciones de los fabricantes la temperatura de interface es de 120°C

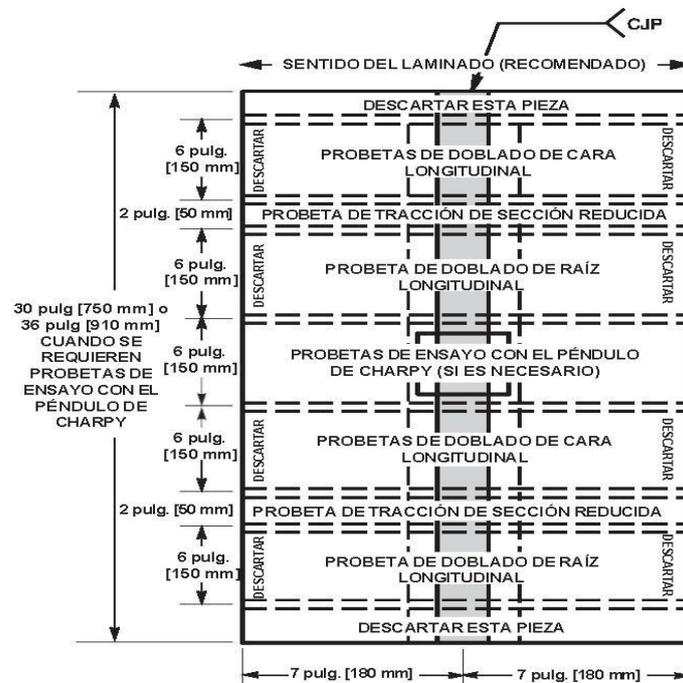
Para la evaluación del cordón según la norma AWS A.5.1 y las especificaciones de los fabricantes la temperatura de interface es de 240°C,

5.1.5 Ejecución de cupones

5.1.5.1 Elaboración de juntas para ensayos en junta soldada (AWS D1.1)

Los cupones para ensayar las juntas soldadas se elaboraron con 2 planchas de acero ASTM A36 de 3/8" (9.4mm) de espesor, 36" (910mm) de largo y 7" (180mm) de ancho según la Figura 12 adjunta

Figura 12
Cupón para análisis de junta soldada



(1) PROBETAS PARA PRUEBA DE DOBLADO DE SOLDADURA LONGITUDINAL

Nota: Fuente Figura 6.6 pág. 165 AWS D1.1 (2020) (anexo F)

5.1.5.2 Tipo de Junta

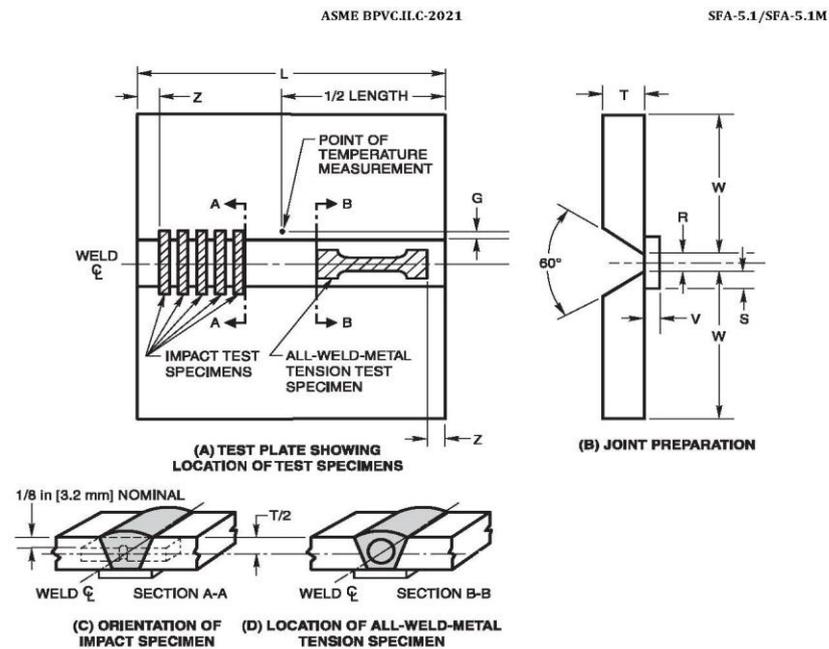
Teniendo en consideración el espesor del material el tipo de junta es junta a tope en V con

Angulo de ranura	60°	Angulo de bisel	30°
Apertura de Raíz	1/8" (3.1mm)	Talón	1/8" (3.1mm)

5.1.5.3 Elaboración de juntas para ensayos en cordón de soldadura (AWS A5.1)

Los cupones para ensayar las juntas soldadas se elaboraron con 2 planchas de acero ASTM A36 de 1/2" (12.7mm) de espesor, 10" (254mm) de largo y 5" (90 mm) de ancho según la Figura 13 adjunta

Figura 13
Cupón para análisis de cordón de soldadura



Nota: Fuente Figura 5 pág. 47 Norma AWS 2012/ ASME BPV C/JLC2021) (anexo G)

5.1.5.4 Limpieza de bordes

Con la finalidad de que la unión del material base con el material de aporte, se fusionen correctamente debe estar libre la superficie de óxidos, grasa, y cualquier otra impureza, para lo cual se utilizó una amoladora.

5.1.5.5 Procedimiento de Soldadura

Para la experimentación de este trabajo se elaboraron 8 cupones todos soldados con el proceso SMAW, según las Tabla 7 y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Tabla 7

Procedimiento para elaboración de cupones para ensayos de junta soldada según norma AWS D1.1

CUPON	ELECTRODOS	Nro. DE PASES	TEMPERATURA DE INTER PASE	ESPESOR DE PLANCHA	USO
1	6011	1	120	3/8	raíz
	6012	3			relleno
	6013	2			acabado
2	7010	1	120	3/8	raíz
	7018	3			relleno
	7024	2			acabado
3	6011	1	120	3/8	raíz
	6013	3			relleno
	7024	2			acabado
4	6011	1	120	3/8	raíz
	7018	3			relleno
	7024	2			acabado

Nota: Fuente elaboración propia

Obteniéndose los siguientes cupones

Figura 14

Cupón N° 1 6011, 6012, 6013



Figura 15

Cupón N° 2 7010, 7018, 7024

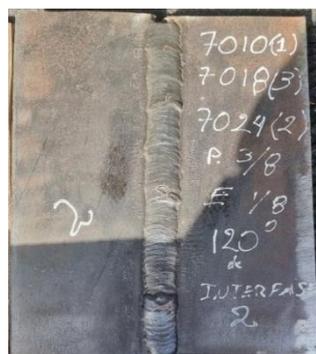


Figura 16
Cupón N° 3 6011, 6013, 7024



Figura 17
Cupón N° 4 6011, 7018, 7024

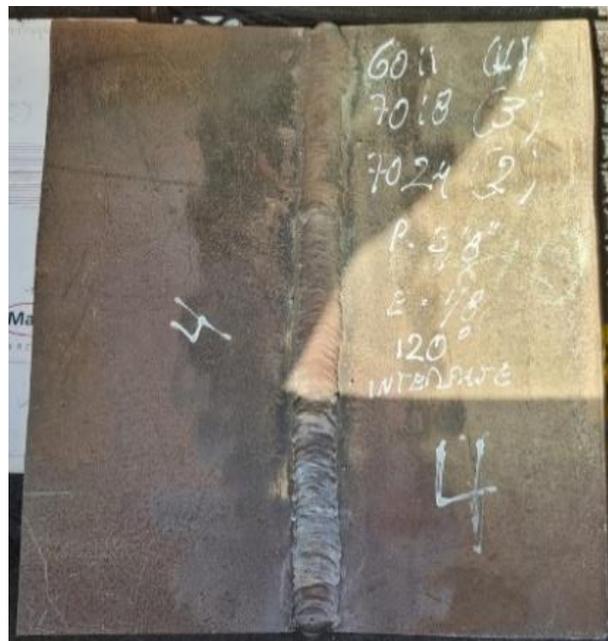


Tabla 8

Procedimiento para elaboración de cupones para ensayos de cordón de soldadura según norma AWS 5.1 y AWS 5.5

CUPON	ELECTRODO	Nro. DE PASES	TEMPERATURA DE INTER PASE	ESPESOR DE PLANCHA	USO
1 A	6011	1	240	½	RAIZ
	6012	3			RELLENO
	6013	3			ACABADO
2 A	7010	1	240	½	RAIZ
	7018	3			RELLENO
	7024	3			ACABADO
3 A	6011	1	240	½	RAIZ
	6013	3			RELLENO
	7024	3			ACABADO
4 A	6011	1	240	½	raíz
	7018	3			RELLENO
	7024	3			ACABADO

Nota: Elaboracion propia

Obteniéndose los siguientes cupones

Figura 18
Cupón N° 1A 6011, 6012, 6013

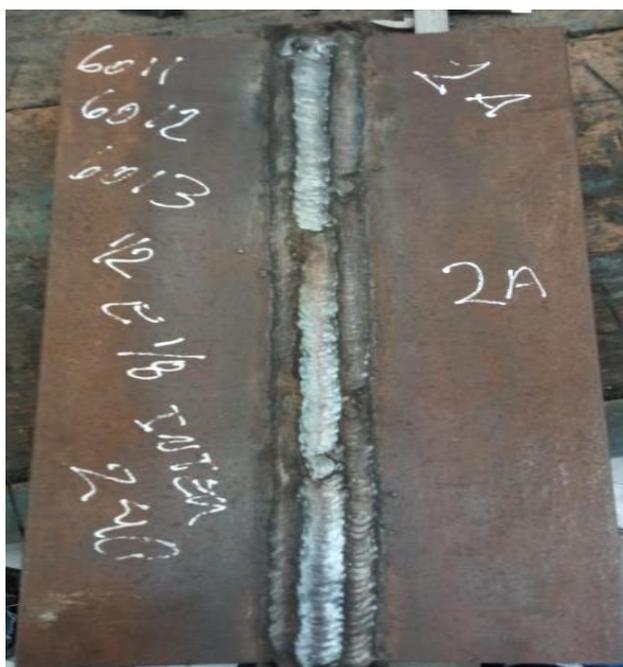


Figura 19
Cupón N° 2A 7010, 7018, 7024

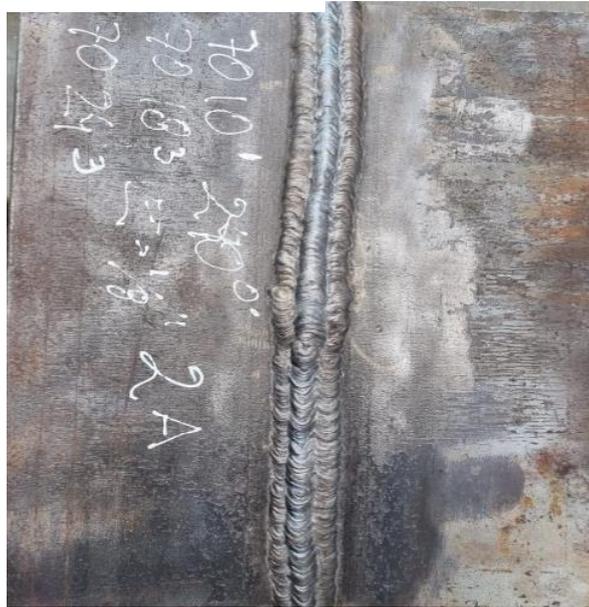
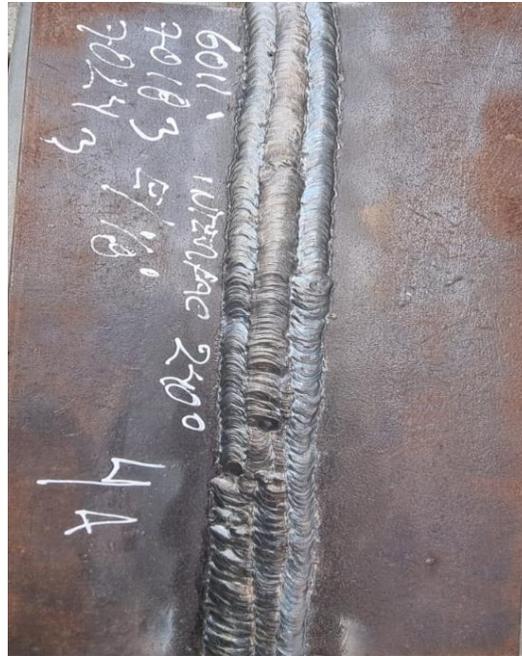


Figura 20
Cupón 3A 6011, 6013, 7024



Figura 21
Cupón N° 4A 6011, 7018, 7024



5.2 Técnicas de caracterización

Luego de la fabricación de los cupones, se realizó una inspección visual con el fin de determinar si existían discontinuidades, pasado esta inspección se procedió a la obtención de las probetas para los diferentes ensayos

5.2.1 Caracterización Mecánica

5.2.1.1 Ensayo de tracción

1.- Equipo y materiales utilizados

Maquina de tracción.- el ensayo se ejecuto en las instalaciones del laboratorio 4 de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería se utilizo la maquina de ensayos universales marca LG de 60 toneladas.

Figura 22
Máquina de ensayo de Tracción marca LG



- Probetas de cupones de junta soldada. con la finalidad de hallar el valor de las diferentes resistencias en las juntas soldadas de acuerdo a norma AWS D 1.1 se elaboraron los cupones, de cada cupon se fabricaron 2 probetas de acuerdo a la norma ASTM 370 las dimensiones de cada probeta se muestran en la Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12

Tabla 9
Dimensiones de las probetas de tracción del cupón 1

PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	AREA (mm ²)
1-1	8.00	19.10	152.8
1-2	8.10	19.05	154.31

Nota: Fuente Informe de lab 4 556- 2023 (anexo H)

Tabla 10
Dimensiones de las probetas de tracción del cupón 2

PROBETA	ESPEJOR (mm)	ANCHO (mm)	AREA (mm²)
2-1	8.07	19.04	153.65
2-2	8.10	19.00	152.38

Nota: Fuente Informe de lab 4 557- 2023 (anexo I)

Tabla 11
Dimensiones de las probetas de tracción del cupón 3

PROBETA	ESPEJOR (mm)	ANCHO (mm)	AREA (mm²)
3-1	8.11	19.18	155.55
3-2	8.05	19.00	153.95

Nota: Fuente Informe de lab 4 558- 2023 (anexo J)

Tabla 12
Dimensiones de las palabras de tracción del cupón 4

PROBETA	ESPEJOR (mm)	ANCHO (mm)	AREA (mm²)
4-1	8.02	19.00	152.38
4-2	8.14	19.16	159.96

Nota: Fuente Informe de lab 4 559- 2023 (anexo K)

En las Figura 23 y Figura 24 se puede apreciar las probetas de traccion para la junta soldada

Figura 23
 Probetas del cupón 2



Figura 24
 Probetas del cupón 3



- Probetas de cupones de cordón de soldadura con la finalidad de hallar el valor de las diferentes resistencias de los cordones se elaboraron el cupón soldadura acuerdo a norma AWS A 5.1 se elaboraron 1, las probetas se fabricaron bajo la norma ASTM 370 y las dimensiones de las probetas se muestran en la Tabla 13

Tabla 13
 Dimensiones para las probetas de tracción de los cupones para ensayos de cordón de soldadura

PROBETA- CUPON	ESPESOR (mm)	LONGITUD INICIAL (mm)
1 A	12.09	50.00
2 A	12.46	50.00
3 A	12,63	50.00
4 A	12,53	50.00

Nota: Elaboración en base a inf de laboratorio Lab 4 00560, 561, 562 y 563 8 2023 (ver anexos L,M ,N y O)

En la Figura 25 se puede apreciar las probetas de tracción para el cordón de soldadura

Figura 25
Probetas de tracción para el cordón de soldadura



5.2.1.2 Ensayo de Impacto (charpy)

1.- Equipo y materiales utilizados

Maquina de Impacto.- el ensayo se ejecuto en las instalaciones del laboratorio 4 de la Facultad de Ingenieria Mecánica de la Universidad Nacional de Ingenieria se utilizo la maquina de Impacto marca ZWICK/ROELL CON CAPACIDAD DE 450 J toneladas

Figura 26
Maquina de Impacto ZWICK/ROEL



- Probetas de ensayo de impacto
- para determinacion la energia absorbida en la junta soldada y em el cordon de soldadura, se maquinaron la probeta estandar de 10mm de espesor 10mm de ancho y 55 mm de largo con una entalla de en el centro de 45° con profundidad de 2mm, por cada cupon se maquino 5 probetas estandar por cada cupon. De acuerdo a las normas ASTM E 23, AWS D1.1 AWS A 5.1
- Tal como indica la norma el ensayo se realizo a -30°C
- En las Figura 27 y Figura 28 se pueden apreciar los especimenes de la junta soldada y del cordon de soldadura

Figura 27
Probetas de la junta soldada para ensayo Charpy



Figura 28
Probetas de cordón de soldadura para ensayo Charpy



5.2.1.3 Ensayo de Dureza

1. Equipos y Materiales

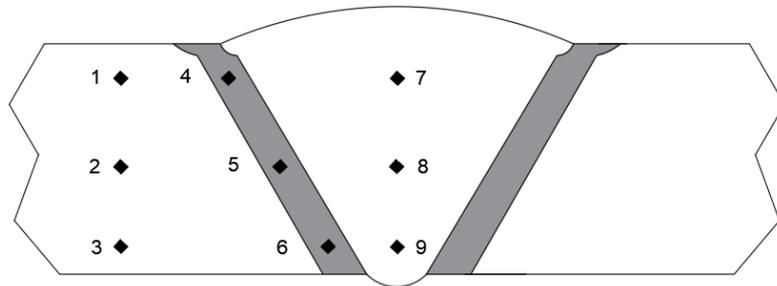
Equipo el ensayo se realizo con el durometro digital marca Mitutoyo modelo ATK F 1000 el cual se encuentra en el laboratorio 4 de la Facultad de Ingenieria Mecanica de la Universidad Nacional de Ingenieria

Figura 29
Durómetro Laboratorio N° 4



Para la medicion de la dureza se realizo cortando transversalmente el cupon, se identifico 3 zonas, la del material base,interfase y cordon de soldadura en cada una se tomo 3 indentaciones tal como se muestra en la Figura 30

Figura 30
Distribución de zonas de indentación



5.2.1.4 Ensayo de doblez

1. Equipo se utilizó la misma máquina de ensayos de tracción universal Marca LG, que se utilizó para el ensayo de tracción, la cual tiene como accesorio un punzón de 38 mm de diámetro
2. Se fabricaron las probetas de los cupones de soldadura con los que se evalúa la junta soldada, de acuerdo a la norma AWS D 1.1 tal como se indica la Figura 31 donde el espesor fue de 3/8" (9.4mm), ancho 6" (150mm) y largo 14" (360mm), se elaboraron un total de 4 probetas por cupon, con el fin de verificar que los parámetros utilizados, no hayan producido fragilidad a la junta soldada, adicionalmente se mide la ductilidad del material

Figura 31
Probetas para ensayo de Dobleza



Metodología:

De acuerdo a la norma se realizo 4 ensayos por cupon dos de doblez de cara y dos de doblez de raiz; para cada probeta se procedio de la siguiente manera

Para las probetas en las cuales se evaluo la raíz, el punzon se aplico fuerza de traccion en la cara en un solo sentido con el fin de realizar la deformación plástica (doblez)

5.2.1.5 Analisis quimico

El analisis que se realizo fue de tipo cuantitativo con la finalidad de obtener los % de cada componente en las diferentes muestras, y se realizo con el equipo de emision optica computarizado marca SPECTRO y la norma ASTM E415 el cual se puede apreciar en la Figura 32

*Figura 32
Equipo de emision óptica*



CAPITULO VI: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

En este capítulo se evaluará los ensayos destructivos que determinan las propiedades mecánicas, inicialmente se analizarán los ensayos que se obtienen en las dos normas tales como el Tracción y el de Impacto y dureza, en el caso del ensayo de dobléz la cual se obtiene en la norma AWS D.1.1; el % de elongación en la norma y la composición química del cordón de soldadura según la norma AWS 5.1

Cabe mencionar que para este estudio experimental

- Los cupones 1,2,3, y 4, corresponden a la Junta soldada norma AWS D1,1
- Los cupones 1 A, 2 A, 3 A y 4 A corresponden al cordón de soldadura Norma AWS 5.1

6.1 Ensayo de tracción

Los ensayos se realizaron bajo la norma ASTM 370 en Laboratorio 4 de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de ingeniería los cuales figuran en los anexos

6.1.1 Cupón de soldadura 1 -1A

Los cupones 1 (ensayo a la junta soldada) y 1 A (ensayo al cordón de soldadura) están conformados por los electrodos revestidos E6011, E6012 Y E6013

En la Tabla 14 muestra los resultados del ensayo de tracción transversal del cupón 1 el cual nos da un esfuerzo máximo promedio de 475.94 Mpa, de la junta soldada y la fractura fue en el material base y no en a la soldadura

Tabla 14
Resultados de ensayo de tracción del cupón 1 junta soldada

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza Máxima Kn (kgf)	Esfuerzo Máximo Mpa (kg/mm ²)	Observación
1	8.00	19.10	152.80	75.02 (7,649.91)	490.97 (50.06)	Fractura en material base.
2	8.10	19.05	154.31	71.12 (7,252.22)	460.91 (47.00)	Fractura en material base.
<i>PROMEDIO</i>				73.07 (7,451.065)	475.94 (48.53)	

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0556 – 2023 FIM anexo H

En la Tabla 15 muestra los resultados del ensayo de tracción longitudinal del cupón 1 A nos da una elongación de 16.92% y esfuerzo máximo de 621.78 Mpa, del cordón de soldadura

Tabla 15
Resultados del ensayo de tracción del cupón 1A del cordón de soldadura

Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia Kn (kgf)	Fuerza Máxima Kn (kgf)	Esfuerzo de Fluencia Mpa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo Mpa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.09	50.00	58.46	61.64 (6,285.53)	71.38 (7,278.73)	536.93 (54.75)	621.78 (63.40)	16.92

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0560– 2023 FIM anexo L

En la Tabla 16 se puede ver para los valores de la resistencia a la tracción con los criterios que se consideran para los cálculos de diseño y los procesos de soldadura.

En este caso como los 3 electrodos son de la serie E60 el valor es el mismo para los tres supuestos

Tabla 16

Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 1 y 1A

Electrodos utilizados cupones 1 y 1 A	Valor de la resistencia según norma (min) Mpa	Valor promedio (min) Mpa	valor de la resistencia electrodo de raíz (min) Mpa	Valor del electrodo de mayor resistencia (min) Mpa
6011	430			
6012	430	430	430	430
6013	430			

Nota: Elaboración propia

6.1.1.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 17 se puede apreciar que los valores del ensayo de tracción en la junta soldada y en el cordón de soldadura de las probetas obtenidas de los cupones 1 y 1 A sobrepasan los valores supuestos en la Tabla 16

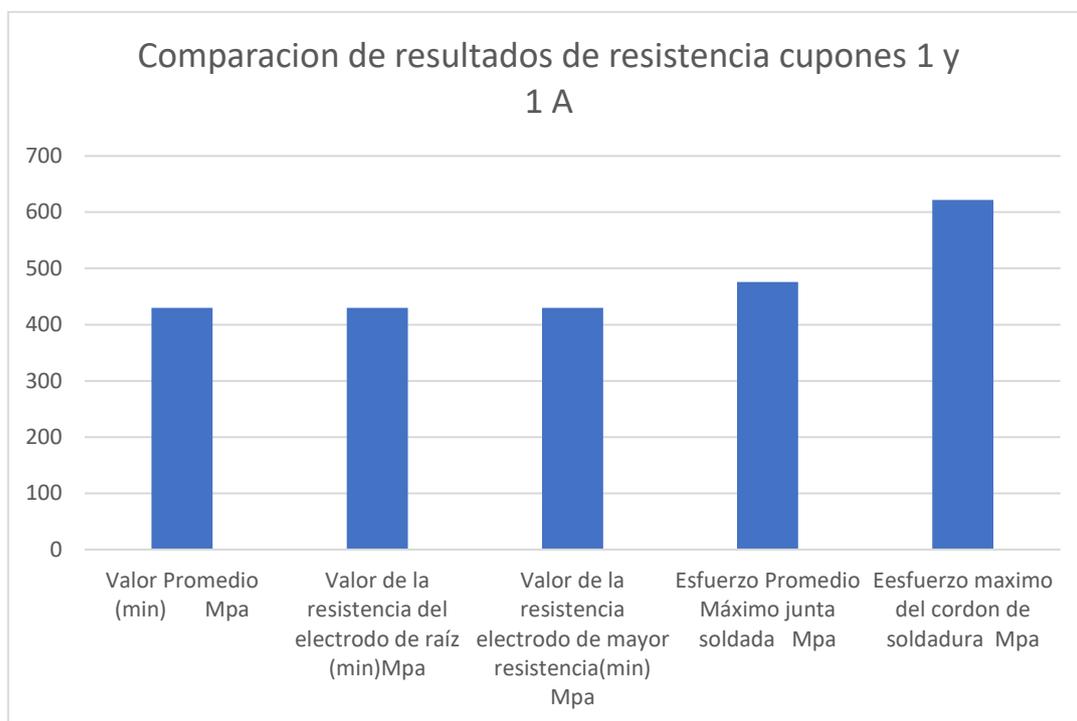
Tabla 17

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 1 y 1A

Valor Promedio (min) Mpa	Valor de la resistencia del electrodo de raíz (min) Mpa	Valor de la resistencia electrodo de mayor resistencia (min) Mpa	Esfuerzo Promedio Máximo junta soldada Mpa	Esfuerzo Máximo De cordón de soldadura Mpa
430	430	430	475.94	621.78

Nota: Elaboración propia

Figura 33
Comparación de resultados de resistencia cupones 1 y 1A



6.1.2 Cupones de soldadura 2 - 2A

Los cupones 2 (ensayo a la junta soldada) y 2 A (ensayo al cordón de soldadura) están conformados por los electrodos revestidos E7010, E7018 Y E7024

En la tabla 18 se muestra los resultados del ensayo de tracción del cupón 2 el cual nos da un esfuerzo máximo promedio de 478.41 Mpa, de la junta soldada y la fractura fue en el material base y no en a la soldadura

Tabla 18
Resultados de ensayo de tracción del cupón 2 junta soldada

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza Máxima Kn (kgf)	Esfuerzo Máximo Mpa (kg/mm ²)	Observación
1	8.07	19.04	153.65	73.14 (7,458.20)	476.01 (48.54)	Fractura en material base.
2	8.02	19.00	152.38	74.18 (7,564.25)	486.81 (49.64)	Fractura en material base.
PROMEDIO				73.66 (7,451.065)	478.41 (48.53)	

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0557 – 2023 FIM (anexo I)

En la Tabla 19 muestra los resultados del ensayo de tracción longitudinal del cupón 2^a nos da una elongación de 24.90% y esfuerzo máximo de 622.47 Mpa, del cordón de soldadura

Tabla 19
Resultados del ensayo de tracción del cupón 2A del cordón de soldadura

Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia Kn (kgf)	Fuerza Máxima Kn (kgf)	Esfuerzo de Fluencia Mpa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo Mpa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.46	50.00	62.45	66.94 (6,825.98)	75.90 (7,739.65)	548.98 (55.98)	622.47 (63.47)	24.90

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0561 – 2023 FIM (anexo M)

En la Tabla 20 se puede ver para los valores de la resistencia a la tracción con los criterios que se consideran para los cálculos de diseño y los procesos de soldadura.

En este caso a pesar que los 3 electrodos son de la serie E70XX, los valores son diferentes

Tabla 20

Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 2 y 2A

Electrodos utilizados cupones 2 2 A	Valor de la resistencia según norma (min) Mpa	Valor promedio (min) Mpa	valor de la resistencia electrodo de raíz (min) Mpa	Valor del electrodo de mayor resistencia (min) Mpa
7010	483			
7018	490	487	483	490
7024	490			

Nota: Elaboración propia

6.1.2.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 21 se puede apreciar que los valores del ensayo de tracción en la junta soldada cupón 2 es menor que los tres valores supuestos, y en el cordón de soldadura la probeta 2 A sobrepasa los valores supuestos en la Tabla 20, cabe recordar que la probeta para tracción en el cordón de soldadura se fabrica de la zona central del cordón de soldadura

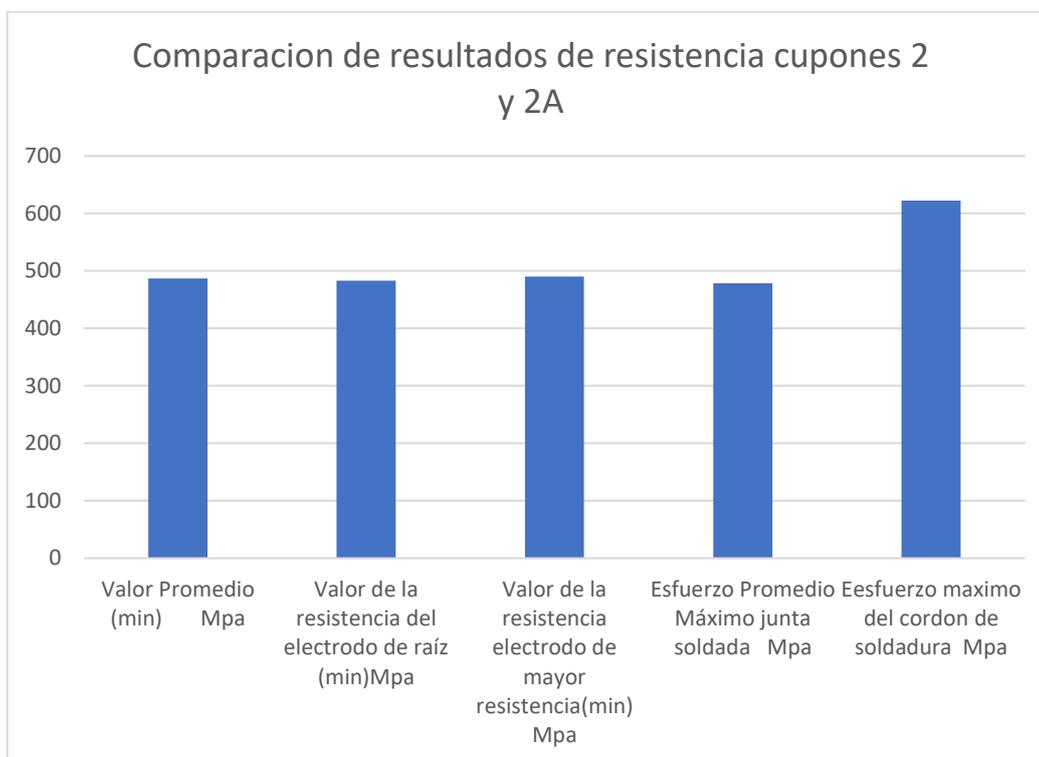
Tabla 21

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 2 y 2A

Valor Promedio (min) Mpa	Valor de la resistencia del electrodo de raíz (min) Mpa	Valor de la resistencia electrodo de mayor resistencia (min) Mpa	Esfuerzo Promedio Máximo junta soldada Mpa	Esfuerzo Máximo De cordón de soldadura Mpa
487	483	490	478.41	622.47

Nota: Elaboración propia

Figura 34
Comparación de resultados de resistencia cupones 2 y 2A



6.1.3 Cupones de soldadura 3 - 3A

Los cupones 3 (ensayo a la junta soldada) y 3 A (ensayo al cordón de soldadura) están conformados por los electrodos revestidos E6011, E6013 Y E7024

En la Tabla 22 muestra los resultados del ensayo de tracción del cupón 1 el cual nos da un esfuerzo máximo promedio de 475.94 Mpa, de la junta soldada y la fractura fue uno en el material base y otro en el material de aporte, considerando que está por encima del valor mínimo promedio (450 Mpa.) se consideró el valor para la evaluación

Tabla 22
Resultados de ensayo de tracción del cupón 3 junta soldada

probeta	espesor (mm)	ancho (mm)	área (mm ²)	fuerza máxima kn (kgf)	esfuerzo máximo mpa (kg/mm ²)	observación
1	8.11	19.18	155.55	73.00 (7,443.93)	469.30 (47.86)	Fractura en la soldadura.
2	8.05	19.00	152.95	73.90 (7,535.70)	483.16 (49.27)	Fractura en material base.
promedio				73.07 (7,451.065)	475.94 (48.53)	

Nota: fuente informe técnico lb, 4- 0558 – 2023 fim (anexo j)

En la Tabla 23 se muestra los resultados del ensayo de tracción longitudinal del cupón 3 A nos da una elongación de 13.94% y esfuerzo máximo de 493.44 Mpa, del cordón de soldadura

Tabla 23
Resultados del ensayo de tracción del cupón 3A del cordón de soldadura

Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia Kn (kgf)	Fuerza Máxima Kn (kgf)	Esfuerzo de Fluencia Mpa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo Mpa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.63	50.00	56.97	52.78 (5,382.06)	61.82 (6,303.89)	421.28 (42.96)	493.44 (50.32)	13.94

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0562 – 2023 FIM (anexo N)

En la tabla 24 se puede ver para los valores de la resistencia a la tracción con los criterios que se consideran para los cálculos de diseño y los procesos de soldadura.

Tabla 24

Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 3 y 3A

Electrodos utilizados cupones 3 y 3 A	Valor de la resistencia según norma (min) Mpa	Valor promedio (min) Mpa	valor de la resistencia electrodo de raíz (min) Mpa	Valor del electrodo de mayor resistencia (min) Mpa
6011	430			
6013	430	450	430	490
7024	490			

Nota: Elaboración propia

6.1.3.1 Análisis de resultados

En la Tabla 25 se puede apreciar que los valores del ensayo de tracción en la junta soldada son mayores a los valores promedio y del electrodo de raíz pero menor y en el cordón de soldadura son de las probetas obtenidas de los cupones 3 y 3 A sobrepasan los valores supuestos en la Tabla 24

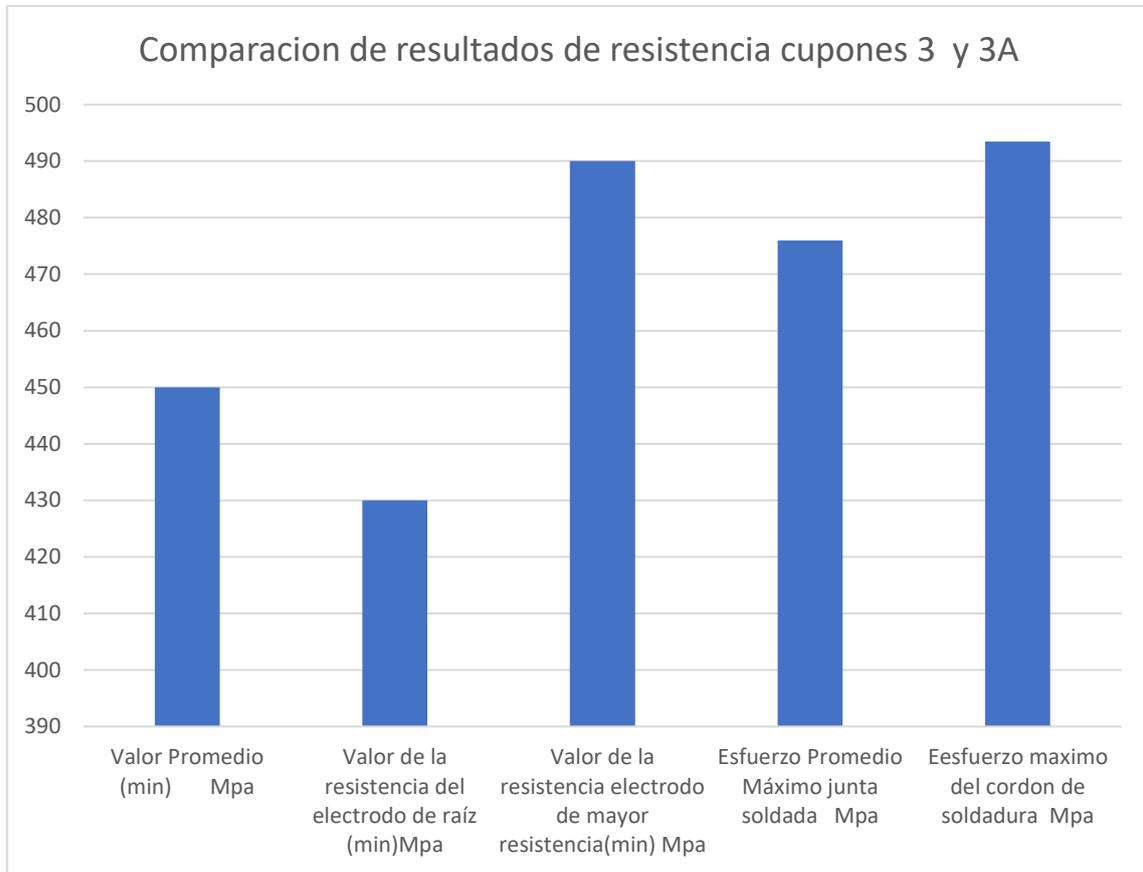
Tabla 25

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 3 y 3A

Valor Promedio (min) Mpa	Valor de la resistencia del electrodo de raíz (min) Mpa	Valor de la resistencia electrodo de mayor resistencia (min) Mpa	Esfuerzo Promedio Máximo junta soldada Mpa	Esfuerzo Máximo De cordón de soldadura Mpa
450	430	490	475.94	493.44

Nota: Elaboración propia

Figura 35
Comparación de resultados de resistencia cupones 3 y 3A



6.1.4 Cupón de soldadura 4 -4 A

Los cupones 4 (ensayo a la junta soldada) y 4 A (ensayo al cordón de soldadura) están conformados por los electrodos revestidos E6011, E7018 Y E7024

En la Tabla 26 muestra los resultados del ensayo de tracción del cupón 4 el cual nos da un esfuerzo máximo promedio de 472.125. Mpa, de la junta soldada y la fractura fue en el material base y no en a la soldadura

Tabla 26
Resultados de ensayo de tracción del cupón 4 de la junta soldada

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza Máxima Kn (kgf)	Esfuerzo Máximo Mpa (kg/mm ²)	Observación
1	8.02	19.00	152.38	71.82 (7,323.60)	471.32 (48.06)	Fractura en material base.
2	8.14	19.16	155.96	73.76 (7,521.43)	472.93 (48.23)	Fractura en material base.
<i>PROMEDIO</i>				72.79 (7,422.515)	472.125 (48.295)	

Nota: Fuente Informe Técnico LB, 4- 0559 – 2023 FIM (anexo K)

En la Tabla 27 muestra los resultados del ensayo de tracción longitudinal del cupón 4 A nos da una elongación de 25.30% y esfuerzo máximo de 620.72 Mpa, del cordón de soldadura

Tabla 27
Resultados del ensayo de tracción del cupón 4 A del cordón de soldadura

Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia Kn (kgf)	Fuerza Máxima Kn (kgf)	Esfuerzo de Fluencia Mpa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo Mpa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.53	50.00	62.55	65.36 (6,664.87)	76.54 (7,804.91)	530.05 (54.05)	620.72 (63.30)	25.30

Nota: Fuente Informe Técnico LB, 4- 05563– 2023 FIM (anexo O)

En la Tabla 28 se puede ver para los valores de la resistencia a la tracción con los criterios que se consideran para los cálculos de diseño y los procesos de soldadura.

Tabla 28

Valores de resistencia utilizados según criterio y norma para cupones 4 y 4 A

Electrodos utilizados cupones 1 y 1 A	Valor de la resistencia según norma (min) Mpa	Valor promedio (min) Mpa	valor de la resistencia electrodo de raíz (min) Mpa	Valor del electrodo de mayor resistencia (min) Mpa
6011	430			
7018	490	470	430	490
7024	490			

6.1.4.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 29 se puede apreciar que los valores del ensayo de tracción en la junta soldada están ligeramente por encima del valor promedio pero menor al electrodo de máxima resistencia que es el de relleno y acabado y en el cordón de soldadura el valor supera ampliamente a los valores supuestos.

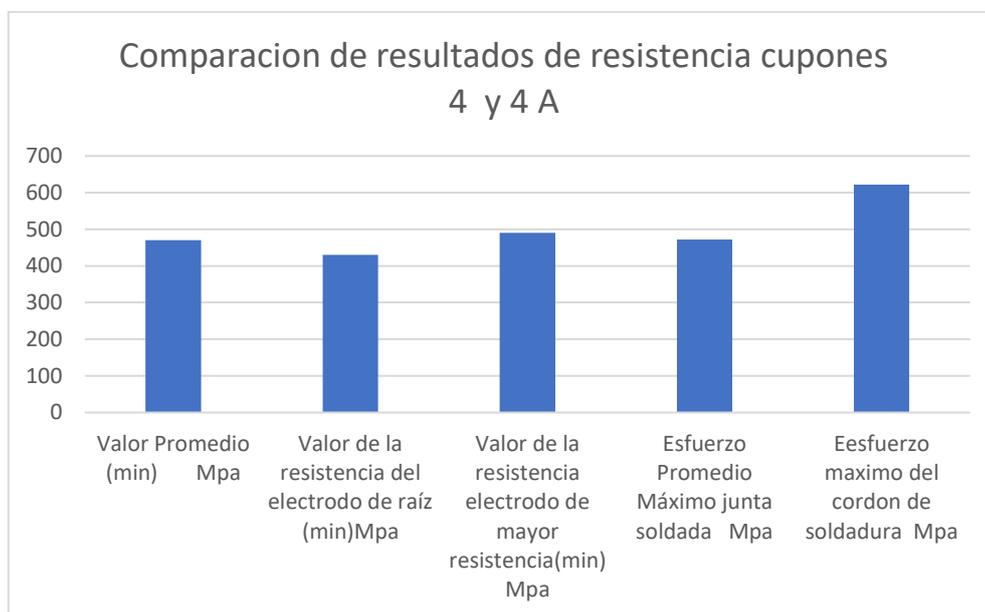
Tabla 29

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 4 y 4 A

Valor Promedio (min) Mpa	Valor de la resistencia del electrodo de raíz (min) Mpa	Valor de la resistencia electrodo de mayor resistencia (min) Mpa	Esfuerzo Promedio Máximo junta soldada Mpa	Esfuerzo Máximo De cordón de soldadura Mpa
470	430	490	472.125	621.78

Elaboración propia

Figura 36
Comparación de resultados de resistencia cupones 4 y 4 A



6.1.5 Resumen del estudio de la resistencia a la tracción

En la tabla 30 se puede apreciar que los valores obtenidos tanto en la junta soldada como en el cordón de soldadura, son mayores a los que generalmente consideran para el diseño y la calificación de procedimiento (PQR)

Tabla 30
Resumen de valores de resistencia a la tracción

PROBETAS	Valor Promedio (min) Mpa	Valor de la resistencia del electrodo de raíz (min) Mpa	Valor de la resistencia electrodo de mayor resistencia (min) Mpa	Esfuerzo Promedio Máximo junta soldada Mpa	Esfuerzo Máximo De cordón de soldadura Mpa
1 – 1 A	430	430	430	475.94	621.78
2 – 2 A	487	483	490	478.41	622.47
3 – 3 A	450	430	490	475.94	493.44
4 - 4 A	470	430	490	472.125	621.78

6.2 Ensayo de impacto

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio 4 de la FIM, las 2 norma ASTM E 23 y AWS D 1.1 y AWS A 5.1 que se están utilizando en este indica que pueden ser de 3 a 5 especímenes, en este caso se elaboraron 4, por tratarse de un estudio experimental, cabe mencionar que los ensayos para los especímenes se realizaron a -30°C

6.2.1 Cupón 1 y 1 A

En el cupón 1 y 1 A solo el electrodo E6011 es el único que en la norma considera la Energía absorbida la cual es 27 Joules a -30°C y para los electrodos E6012 y E6013 la norma no indica valores,

En la Tabla 31 se aprecian los valores obtenidos en el laboratorio obteniéndose un valor promedio de 12. Joules

*Tabla 31
Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 1 (junta soldada)*

Probeta	TABLA	Energía (Joules)	Observación
7	-30	12	Fractura completa.
8	-30	14	Fractura completa.
9	-30	10	Fractura completa.
10	-30	12	Fractura completa.
PROMEDIO		12.	

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0556 – 2023 FIM (anexo H)

En la Tabla 32 se puede apreciar los valores obtenidos en el laboratorio 4 de los especímenes obtenidos del cupón 1 A (cordón de soldadura) en este caso el promedio obtenido es de 24 Joules

Tabla 32

Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 1 A (cordón de soldadura)

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	28	Fractura completa.
3	-30	22	Fractura completa.
4	-30	24	Fractura completa.
5	-30	22	Fractura completa.
PROMEDIO		24	

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0560– 2023 FIM (anexo L)

En la Tabla 33 se indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores

Tabla 33

Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 1 y 1 A

electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Valor energía absorbida (min) Joules	Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule
6011	27 (-30°C)			
6012	N.E	9	27	27
6013	N.E			

6.2.1.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 34 se puede apreciar que los valores obtenidos son mayores al valor promedio pero menores a los otros supuestos lo que afectaría la resiliencia del material

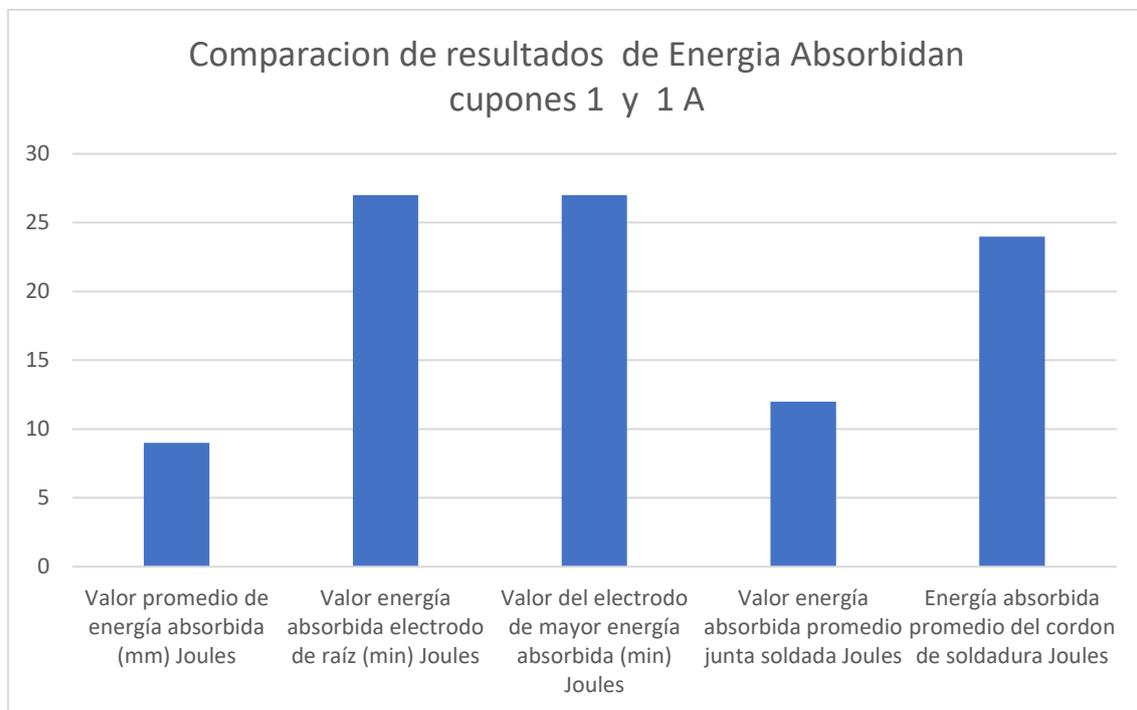
Tabla 34

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 1 y 1 A

Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule	Valor energía absorbida promedio junta soldada Joules	Energía absorbida promedio de cordón de soldadura Joules
9	27	27	12	24

Figura 37

Comparación de resultados de Energía Absorbida Cupones 1 - 1 A



6.2.2 Cupón 2 y 2 A

En el cupón 2 y 2 A de acuerdo a la tabla 5.2 las temperaturas según la norma AWS 5,1 para los ensayos varían en el caso del E 7018 es a -45°C y E 7024 ES DE -20°C, con el fin de estandarizar todos los ensayos se realizaron a -30°C

En la Tabla 35 se aprecian los valores obtenidos en el laboratorio obteniéndose un valor promedio de 18. Joules

*Tabla 35
Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 2 (junta soldada)*

Probeta	TABLA	Energía (Joules)	Observación
7	-30	20	Fractura completa
8	-30	18	Fractura completa
9	-30	16	Fractura completa
10	-30	18	Fractura completa
PROMEDIO		18.	

Nota :fuente informe tecnico lb, 4- 0557 – 2023 fim (anexo I)

En la Tabla 36 se puede apreciar los valores obtenidos en el laboratorio 4 de los especímenes obtenidos del cupón 2 A (cordón de soldadura) en este caso el promedio obtenido es de 49 Joules,

*Tabla 36
Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 1 A (cordón de soldadura)*

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	52	Fractura completa.
3	-30	46	Fractura completa.
4	-30	48	Fractura completa.
5	-30	50	Fractura completa.
PROMEDIO		49	

Nota: Fuente informe técnico lb, 4- 0561– 2023 (anexo K)

En la Tabla 37 se indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores

Tabla 37

Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 2 y 2 A

electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Valor energía absorbida (min) Joules	Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule
7010	27(-30°C)			
7018	27 (-45°C)	27	27	27
7024	27 (-20°C)			

6.2.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 38 se puede apreciar que el valor obtenido para la junta soldada es menor al del supuesto afectando le resiliencia de la junta soldada, en cambio el valor obtenido para el cordón de soldadura es superior

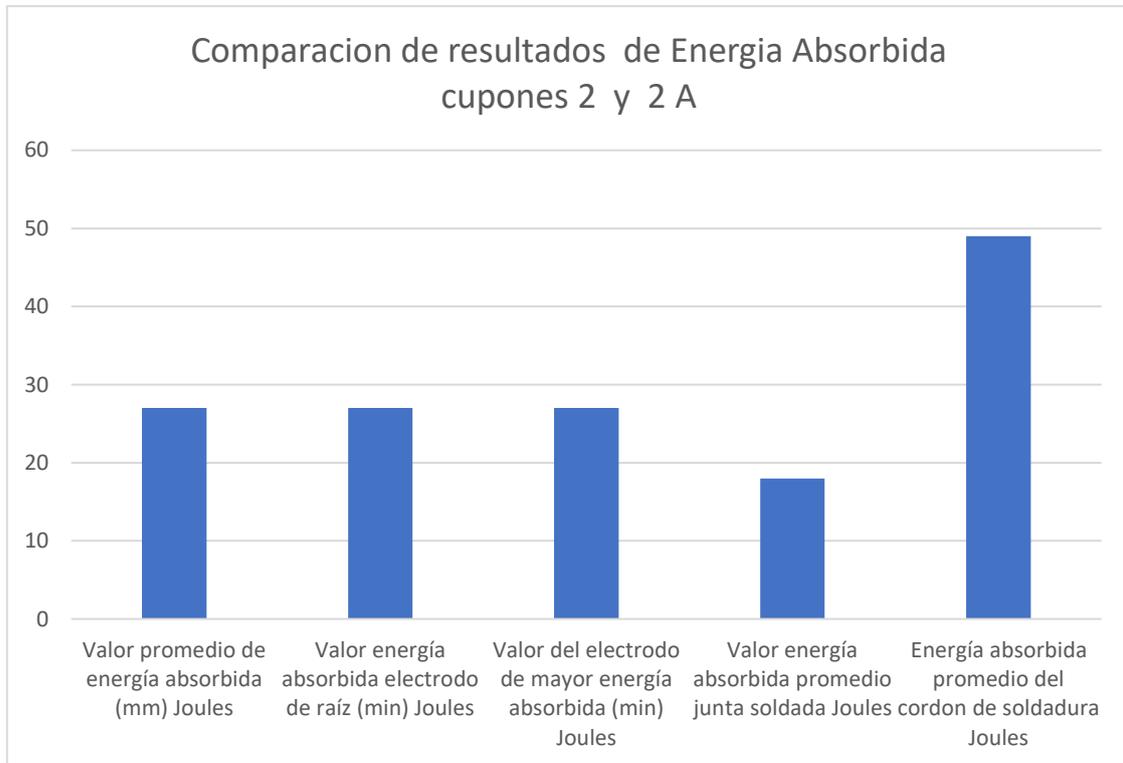
Tabla 38

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 2 y 2 A

Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule	Valor energía absorbida promedio junta soldada Joules	Energía absorbida promedio de cordón de soldadura Joules
27	27	27	18	49

Figura 38

Comparación de resultados de Energía Absorbida en cupones 2 y 2 A



6.2.3 Cupón 3 y 3 A

En el cupón 3 y 3 A solo el electrodo E6013 no especifica en la norma la Energía Absorbida, en este caso se ha mezclado la serie 60 con solo el acabado con la serie 70

En la Tabla 38 se aprecian los valores obtenidos en el laboratorio para la junta soldada obteniéndose un valor promedio de 20.5 Joules

Tabla 39
Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 3 (junta soldada)

Probeta	TABLA	Energía (Joules)	Observación
7	-30	26	Fractura completa
8	-30	20	Fractura completa
9	-30	18	Fractura completa
10	-30	18	Fractura completa
PROMEDIO		20.5	

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0558 – 2023 FIM (anexo J)

En la Tabla 40 se puede apreciar los valores obtenidos en el laboratorio 4 de los especímenes obtenidos del cupón 3 A (cordón de soldadura) en este caso el promedio obtenido es de 19.5 Joules

Tabla 40
Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 3 A (cordón de soldadura)

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	20	Fractura completa.
3	-30	22	Fractura completa.
4	-30	18	Fractura completa.
5	-30	18	Fractura completa.
PROMEDIO		19.5	

Nota: Fuente informe técnico Lb, 4- 0562– 2023 FIM (anexo N)

En la Tabla 41 indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores

Tabla 41

Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 3 y 3 A

electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Valor energía absorbida (min) Joules	Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule
6011	27	18	27	27
6013	N. E			
7024	27			

6.2.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 42 se puede apreciar que los valores obtenidos son mayores al valor promedio pero menores a los otros supuestos lo que afectaría la residencia del material

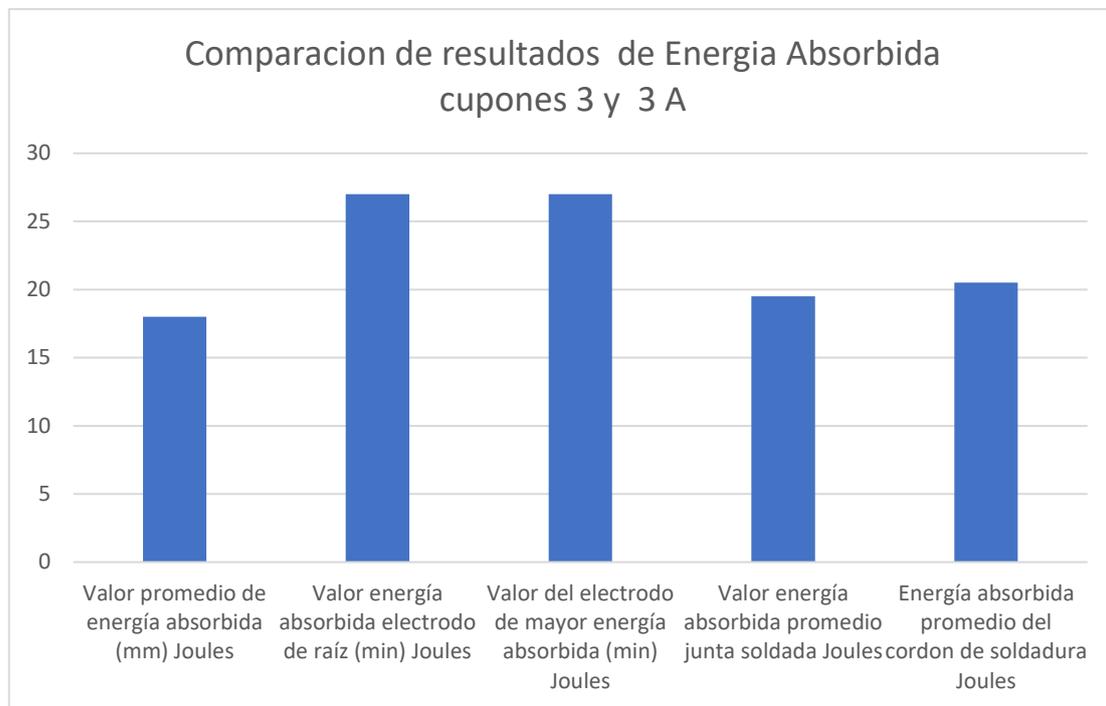
Tabla 42

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 3 y 3 A

Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule	Valor energía absorbida promedio junta soldada Joules	Energía absorbida promedio de cordón de soldadura Joules
18	27	27	20.5	19.5

Figura 39

Comparación de resultados de Energía Absorbida cupones 3 y 3 A



6.2.4 Cupón 4 y 4 A

En el cupón 4 y 4 A este fabricado con el electrodo de raíz de la serie 60 y para acabado y relleno de la serie 70

En la Tabla 43 se aprecian los valores obtenidos en el laboratorio obteniéndose un valor promedio de 15. Joules

Tabla 43

Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 4 (junta soldada)

Probeta	TABLA	Energía (Joules)	Observación
7	-30	16	Fractura completa
8	-30	18	Fractura completa
9	-30	14	Fractura completa
10	-30	12	Fractura completa
PROMEDIO		15	

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0559 – 2023 FIM (anexo K)

En la Tabla 44 se puede apreciar los valores obtenidos en el laboratorio 4 de los especímenes obtenidos del cupón 4 A (cordón de soldadura) en este caso el promedio obtenido es de 47.5 Joules

Tabla 44

Resultados del ensayo de impacto de los especímenes obtenidos del cupón 4 A (cordón de soldadura)

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	44	Fractura completa.
3	-30	48	Fractura completa.
4	-30	48	Fractura completa.
5	-30	50	Fractura completa.
PROMEDIO		47.5	

Nota: Fuente informe técnico Lb, 4- 0560– 2023 (anexo O)

En la Tabla 45 indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores

Tabla 45

Valores de energía absorbida utilizados según criterio para cupones 4 y 4 A

Electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Valor energía absorbida (min) Joules	Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule
6011	27 (-30°C)			
7018	27 (-45°C)	27	27	27
7024	27 (-20°C)			

6.2.4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 46 se puede apreciar que el valor obtenido para la junta soldada es 15 Joules muy por debajo de los esperado, pero el valor obtenido de 47.5 Joules en los ensayos del cordón de soldadura supera los valores indicados ,

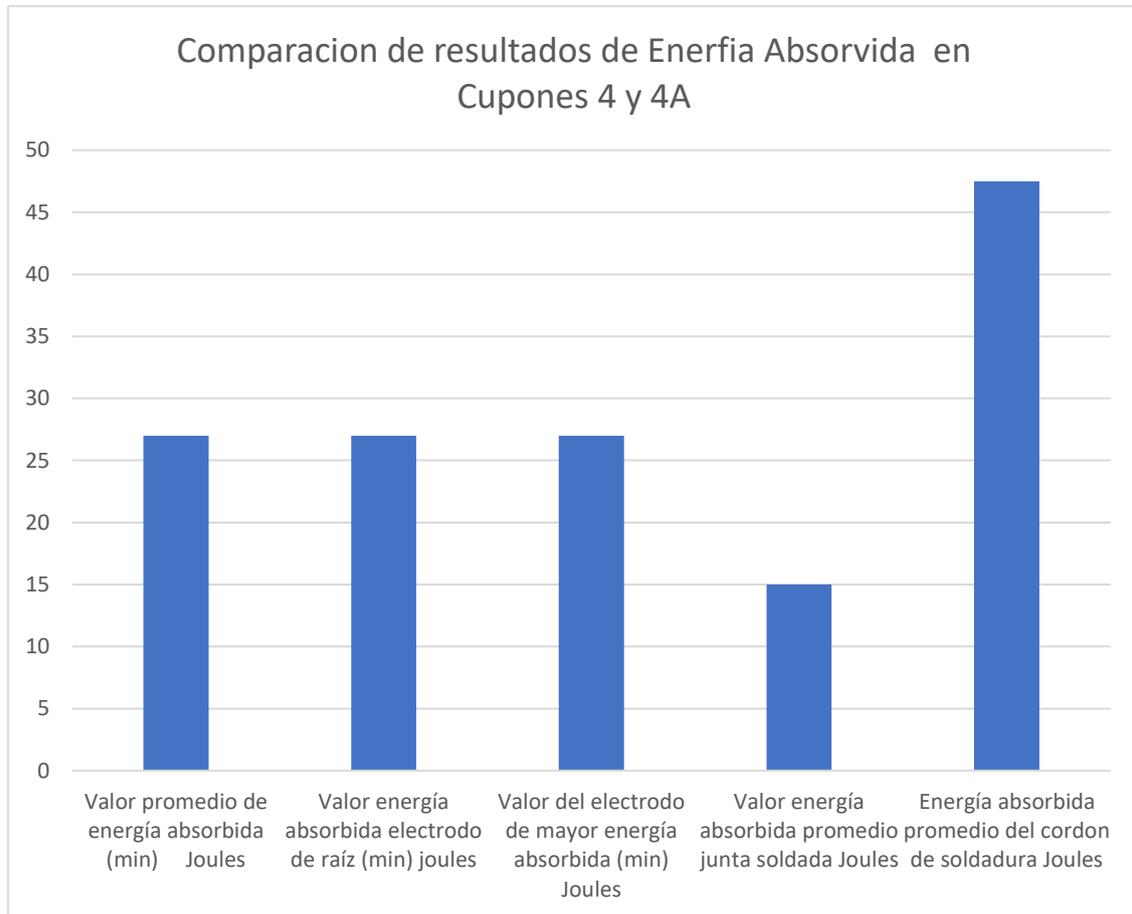
Tabla 46

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 4 y 4 A

Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule	Valor energía absorbida promedio junta soldada Joules	Energía absorbida promedio de cordón de soldadura Joules
27	27	27	15	47.5

Figura 40

Comparación de resultados de Energía Absorbida cupones 4 y 4 A



6.2.5 Resumen del estudio de la Energía Absorbida (ensayo Charpy)

En la Tabla 47 se puede apreciar que los valores obtenidos en el cordón de soldadura, superan el valor promedio utilizado a diferencia de los valores de la junta soldada que es menor que los valores promedio, lo que implica un endurecimiento de la junta soldada, la variación de la resiliencia, se puede apreciar que en los cordones que tienen la presencia de un electrodo básico la energía absorbida es mayor;

Tabla 47
Resumen de valores

PROBETAS	Valor promedio de energía absorbida (min) Joules	Valor energía absorbida electrodo de raíz (min) Joules	Valor del electrodo de mayor energía absorbida (min) joule	Valor energía absorbida promedio junta soldada Joules	Energía absorbida promedio de cordón de soldadura Joules
1 – 1 A	9	27	27	12	24
2 – 2 A	27	27	27	18	49
3 – 3 A	18	27	27	20.5	19.5
4 - 4 A	27	27	27	15	47.5

6.3 Dureza

En el Laboratorio 4 de la FIM se tomó la dureza en 3 sectores Metal base, Interface, y Metal de aportación tanto para el análisis de la junta como el del cordón de soldadura, para el estudio que se realizó, se va a considerar los datos tomados en la zona del metal de aportación,

La dureza considerada en el cuadro base se ha obtenido de la tabla del anexo D considerando el esfuerzo de tracción

6.3.1 Cupones 1 y 1 A

En la Tabla 48 muestra los resultados, de la dureza para la junta soldada cupón fabricado bajo la norma AWS D.1.1 siendo el objeto de este estudio el cordón de soldadura, se ha obtenido el valor promedio de dureza para este cupón igual a 84.2 HRB

Tabla 48
Resultados de dureza probeta del cupón 1

Material base	HRB	Interface	HRB	Soldadura	HRB
1	74.7	4	83.1	7	83.9
2	75.0	5	80.4	8	84.1
3	74.7	6	79.7	9	84.6
<i>promedio</i>					84.2

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0556 – 2023 FIM (anexo H)

En la Tabla 49 se puede apreciar los valores obtenidos al medir la dureza en el cupón preparado según la Norma AWS 5.1 siendo el valor promedio 87.56 HRB

Tabla 49
Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 1 A

Material base	HRB	Interface	HRB	Soldadura	HRB
1	74.7	4	85.5	7	88.1
2	75.0	5	87.5	8	86.2
3	74.7	6	86.0	9	88.4
<i>PROMEDIO</i>					87.56

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0560– 2023 FIM (anexo L)

En la Tabla 50 indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores,

Tabla 50

Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 1 Y 1 A

electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Dureza según norma HRB	Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB
6011	68			
6012	68	68	68	68
6013	68			

6.3.1.1 ANALISIS DE RESULTADOS

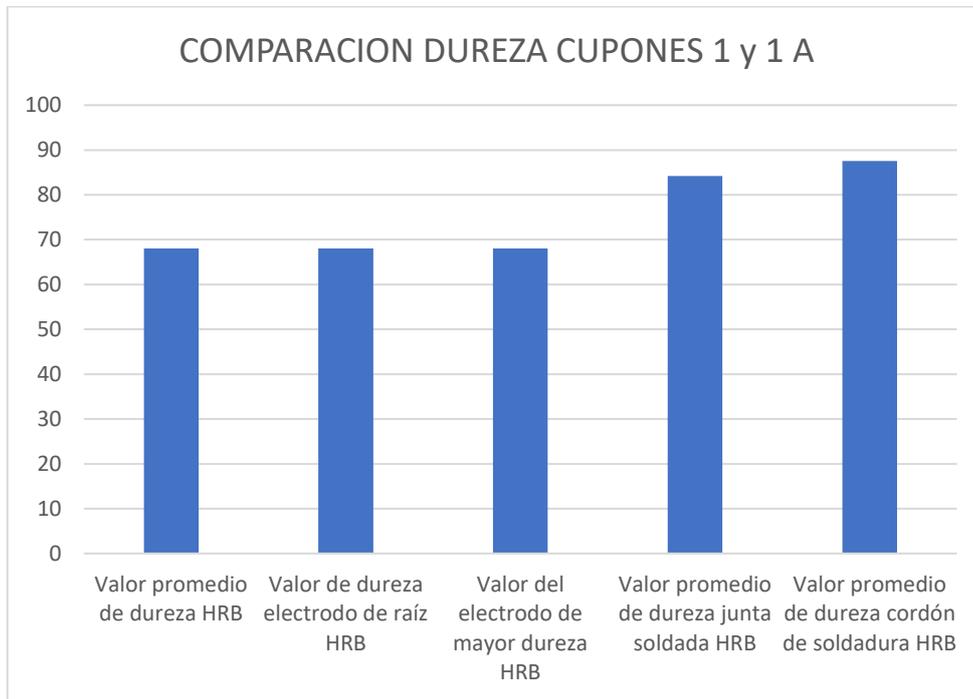
En la Tabla 51 se puede apreciar que los valores obtenidos son mayores los valores que consideran los diseñadores

Tabla 51

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 1 y 1 A

Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB	Valor promedio de dureza junta soldada HRB	Valor promedio de dureza cordón de soldadura HRB
68	68	68	84.2	87.56

Figura 41
Comparación de dureza cupones 1 y 1 a



6.3.2 Cupones 2 y 2 A

En la Tabla 52 muestra los resultados, de la dureza para la junta soldada cupón fabricado bajo la norma AWS D.1.1 siendo el objeto de este estudio el cordón de soldadura, se ha obtenido el valor promedio de dureza para este cupón igual a 88.73 HRB

Tabla 52
Resultados de dureza probeta del cupon2

Material base	HRB	Interface	HRB	Soldadura	HRB
1	78.5	4	80.8	7	91.7
2	79.9	5	81.5	8	87.5
3	79.0	6	80.0	9	87.0
<i>promedio</i>					88.73

Nota: Fuente Informe Técnico LB, 4- 0557 – 2023 FIM (anexo 9)

En la Tabla 53 se puede apreciar los valores obtenidos al medir la dureza en el cupón preparado según la Norma AWS 5.1 siendo el valor promedio 90.7 HRB

*Tabla 53
Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 2 A*

Material base	HRB	Interface	HRB	Soldadura	HRB
1	78.5	4	84.2	7	91.6
2	79.9	5	86.5	8	89.8
3	79.0	6	86.1	9	90.9
PROMEDIO					90.7

Nota: fuente informe técnico lb, 4- 0561– 2023 fin (anexo 13)

En la Tabla 54 indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores,

*Tabla 54
Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 2 y 2 A*

electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Dureza según norma HRB	Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB
7010	77	77	77	77
7018	77			
7024	77			

6.3.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 55 se puede apreciar que los valores obtenidos son mayores los valores que consideran los diseñadores

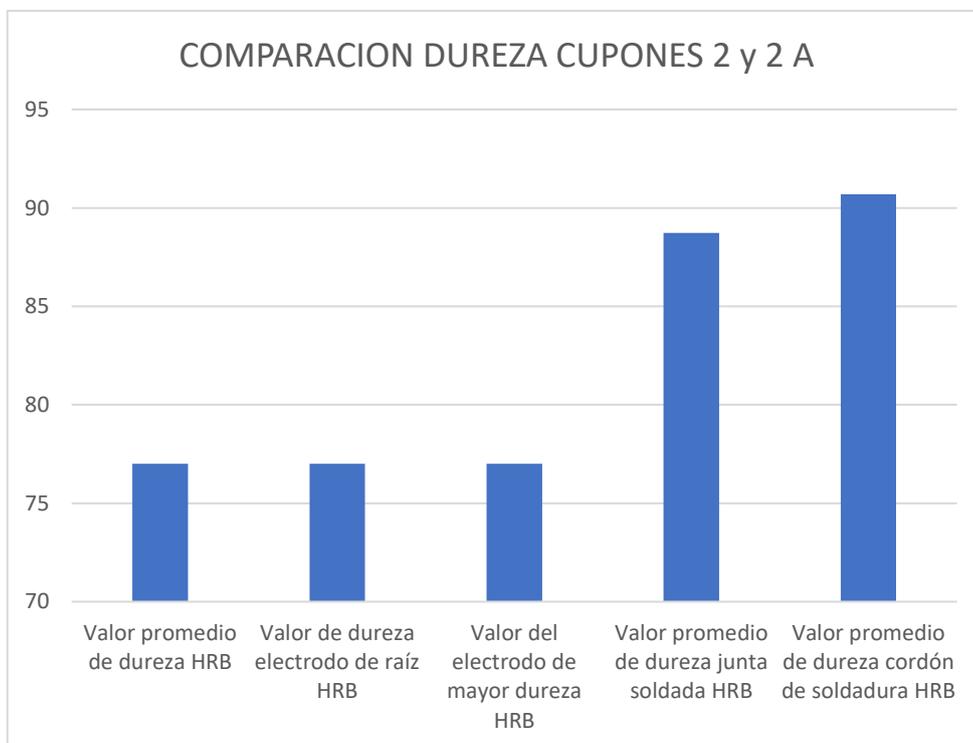
Tabla 55

Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 2 y 2 A

Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB	Valor promedio de dureza junta soldada HRB	Valor promedio de dureza cordón de soldadura HRB
77	77	77	88.73	90.7

Figura 42

Comparación de dureza cupones 2 y 2 A



6.3.3 Cupones 3 y 3 A

En la Tabla 56 muestra los resultados, de la dureza para la junta soldada cupón fabricado bajo la norma AWS D.1.1 siendo el objeto de este estudio el cordón de soldadura se ha obtenido el valor promedio de dureza para este cupón igual a 89.76 HRB

Tabla 56
Resultados de dureza probeta del cupón 3

Material base	HRB	Interface	HRB	Soldadura	HRB
1	81.2	4	83.4	7	89.7
2	79.5	5	80.5	8	88.5
3	79.1	6	77.5	9	91.1
promedio					89.76

Nota: fuente informe técnico LB, 4- 0558 – 2023 FIM (anexo J)

En la Tabla 57 se puede apreciar los valores obtenidos al medir la dureza en el cupón preparado según la Norma AWS 5.1 siendo el valor promedio 87.56 HRB

Tabla 57
Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 3 A

Material base	HRB	Interface	HRB	Soldadura	HRB
1	81.2	4	82.8	7	90.2
2	79.5	5	83.1	8	89.4
3	79.1	6	83.1	9	89.5
PROMEDIO					89.7

Nota Fuente informe técnico LB, 4- 0562– 2023 FIM (anexo N)

En la Tabla 58 indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores,

Tabla 58
Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 3 y 3 A

electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Dureza según norma HRB	Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB
6011	68	71	68	77
6013	68			
7024	77			

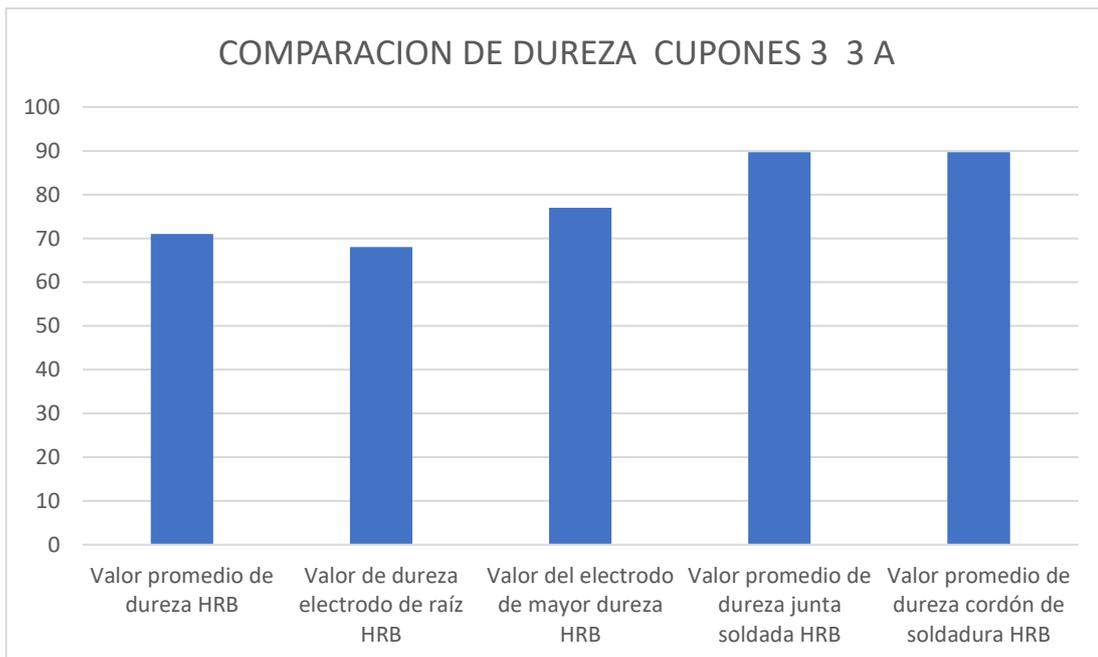
6.3.3.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 59 se puede apreciar que los valores obtenidos son mayores los valores que consideran los diseñadores

Tabla 59
Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 3 y 3 A

Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB	Valor promedio de dureza junta soldada HRB	Valor promedio de dureza cordón de soldadura HRB
71	68	77	89.7	89.7

Figura 43
Comparación de dureza cupones 3 y 3 A



6.3.4 Cupones 4 y 4 A

En la Tabla 60 muestra los resultados, de la dureza para la junta soldada cupón fabricado bajo la norma AWS D.1.1 siendo el objeto de este estudio el cordón de soldadura, se ha obtenido el valor promedio de dureza para este cupón igual a 84.16 HRB

Tabla 60
Resultados de dureza probeta del cupón 4

Material base	HRB	Interface	HRB	Soldadura	HRB
1	79.5	4	78.6	7	85.1
2	78.1	5	81.5	8	84.1
3	79.8	6	83.0	9	83.3
promedio					84.16

Nota Fuente informe técnico LB, 4- 0559 – 2023 FIM (anexo K)

En la Tabla 61 se puede apreciar los valores obtenidos al medir la dureza en el cupón preparado según la Norma AWS 5.1 siendo el valor promedio 92.63 HRB

Tabla 61
Resultados del ensayo de dureza probeta de cupón 4 A

Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	79.5	4	85.7	7	91.9
2	78.1	5	83.6	8	92.2
3	79.8	6	84.8	9	93.8
PROMEDIO					92.63

Nota: Fuente informe técnico LB, 4- 0563– 2023 FIM (anexo O)

En la Tabla 62 indica los valores que se utilizan según el criterio de los diseñadores,

Tabla 62
Valores de dureza utilizados según criterio para cupones 4 y 4 A

electrodos utilizados cupones 1 y 1 a	Dureza según norma HRB	Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB
6011	68			
7018	77	74	68	77
7024	77			

6.3.4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

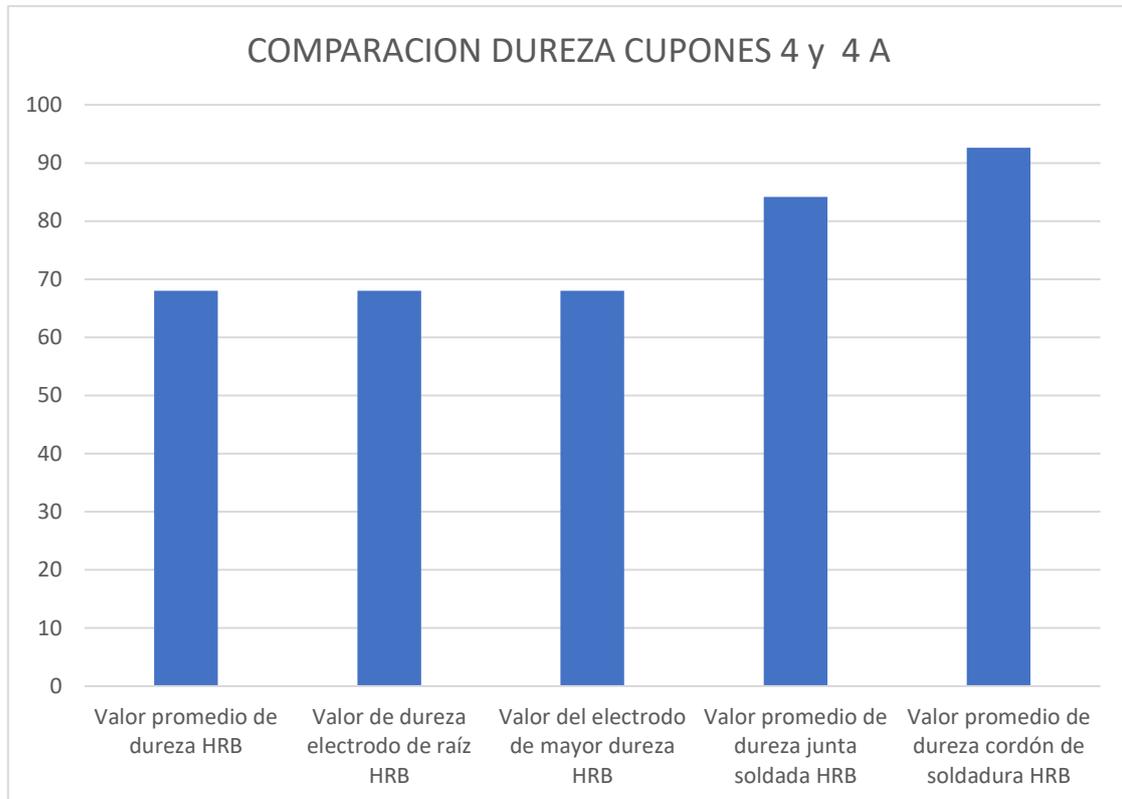
En la Tabla 63 se puede apreciar que los valores obtenidos son mayores los valores que consideran utilitariamente

Tabla 63
Comparación de resultados con supuestos valores de ensayos de las probetas obtenidas de los cupones 4 y 4 A

Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB	Valor promedio de dureza junta soldada HRB	Valor promedio de dureza cordón de soldadura HRB
68	68	68	84.16	92.63

Nota: Elaboración propia

Figura 44
Comparación de dureza cupones 4 y 4 A



Resumen del estudio de la Dureza

En la Tabla 64 se puede apreciar que los valores de dureza son mayores en el cordón de soldadura y la junta soldada, lo que está en concordancia con lo obtenido en el ensayo charpy

*Tabla 64
Resumen de valores de la Dureza*

PROBETAS	Valor promedio de dureza HRB	Valor de dureza electrodo de raíz HRB	Valor del electrodo de mayor dureza HRB	Valor promedio de dureza junta soldada HRB	Valor promedio de dureza cordón de soldadura HRB
1 – 1 A	68	68	68	84.2	87.56
2 – 2 A	77	77	77	88.73	90.7
3 – 3 A	71	68	77	89.7	89.7
4 - 4 A	68	68	68	84.16	92.63

6.4 Ensayo de Doble

El ensayo de doblez se realizó a la junta soldada según la norma AWS D 1.1 a las probetas obtenidas de los cupones 1,2,3 y 4, realizándose por cada uno 2 ensayos de doblez de cara y 2 ensayos de doblez de raíz.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Laboratorio 4 de la FIM, de los informes 556, 557, 558 y 559 solo fallo en el doblez de raíz de la junta del cupón 1 tal como se aprecia en la Tabla 65.

*Tabla 65
Resultados de doblez de probetas de cupón 1*

Probeta	Tipo	Observación
3	Doble de cara	<i>Conforme.</i>
4	Doble de raíz	<i>Conforme.</i>
5	Doble de cara	<i>Conforme.</i>
6	Doble de raíz	<i>No conforme (2mm, 2mm, 1mm)</i>

Nota Fuente Informe Lab. 4 – 0056 -2023 (anexo H)

De acuerdo a los criterios de aceptación de las pruebas de doblado según la norma AWS D 1.1. Indica que *“se debe examinar visualmente la superficie convexa de la probeta de ensayo para su aceptación no debe tener discontinuidades no podrán exceder las siguientes dimensiones*

- *Ninguna discontinuidad deberá exceder los 3mm (1/8”)*
- *La suma de las dimensiones más grandes que excedan de 1 mm (1/32”) y menores a 3mm (1/8”) no debe de ser mayor a 10mm (3/8”)*

Norma AWS D1.1 (2020). Pág. 129 (ANEXO P)

Como se puede apreciar la suma de las discontinuidades suman 5 mm por lo cual es considerada una discontinuidad y no un defecto, lo que implica la aceptación de la probeta

Con lo cual todos los ensayos de doblado se consideran aceptables, lo que valida los valores de los ensayos de dureza propiedades en los cupones

6.5 Elongación

El porcentaje de elongación se analizó en el cordón de soldadura según norma AWS A5.1 y los datos se obtuvieron de los informes de laboratorio 4 Nro. 560, 561, 562, 563, con los cuales se elaboró la Tabla 66

Tabla 66
Resultados el porcentaje de elongación

PROBETA De los cupones	electrodos utilizados en cada probeta	Valor de porcentaje de elongación según norma (min)	Valor promedio (min) %	Valor de electrodo de raíz (min) %	valor del electrodo de mayor %	valor obtenido en los ensayos %
1 A	6011	22	18.66	22	22	16.92
	6012	17				
	6013	17				
2 A	7010	22	20.33	22	22	24.90
	7018	22				
	7024	17				
3 A	6011	22	18.66	22	22	13.94
	6013	17				
	7024	17				
4 A	6011	22	20.33	22	22	25.30
	7018	22				
	7024	17				

6.5.1 Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos las probetas obtenidas de los cupones 1 A y 3 A la elongación es menor a lo mínimo requerido, afectando a ductilidad del cordón de soldadura a diferencia de los cupones 2 A y 4 A, con estos resultados se puede apreciar que soldar solo con electrodos celulósicos y rutilicos caso de los cupones 1 A y 3 A afecta a la ductilidad

6.6 Análisis Químico

Para el estudio de este análisis, se han tomado los datos del cordón de soldadura, de los informes Lab.4 560, 561, 562, 563 y los datos de la tabla Nro. 7 De la norma AWS A.5.1 (2012) ASME BPVC JLC 2021 donde indican los porcentaje máximos de los componentes, también se ha considerado los valores que consideran los diseñadores tal como el promedio de los porcentajes que da la norma, los porcentajes del electrodo de raíz y los

mayores porcentajes de cada electrodo de la junta, con esos datos se ha elaborado la tabla 67

6.6.1 Análisis de los resultados

Tal como se puede apreciar en la Tabla 67 los valores obtenidos, en todos los cupones están por debajo del valor máximo permitido.

Tabla 67
Resultados de análisis químico

		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Limite Max de Mn+Mo+Ni+V+Cr
1 A	E6011	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
	E6012	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
	E 6013	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
	PROMEDIO	0.20	1.20	1.00			0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
	RAIZ	0.20	1.20	1.00			0.30	0.20	0.30	0.08	
	MAYOR	0.20	1.20	1.00			0.30	0.20	0.30	0.08	
	ENSAYO	0.115	0.737	0.266	0.01	0.02	0.0619	0.0573	0.085	0	
2ª	7010	0.20	1.20	0.60	0.018	0.011	1.00	0.50	0.50	0.10	N.S
	7018	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75
	7024	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50
	PROMEDIO	0.16	1.35	0.75	0.029	0.027	0.53	0.4	0.36	0.086	1.625
	RAIZ	0.20	1.20	0.60	0.018	0.011	1.00	0.5	0.5	0.1	N.S
	MAYOR	0.20	1.60	0.90	0.035	0.035	1.00	0.5	0.5	0.1	1.75
	ENSAYO	0.140	0.488	0.149	0.011°	0.0139	0.146	0.563	0.082	0	1.279
3 A	6011	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
	6013	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
	7024	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50
	PROMEDIO	0.183	1.216	0.96	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	
	RAIZ	0.20	1.20	1.00			0.30	0.20	0.30	0.08	
	MAYOR	0.20	1.20	1.00	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50
	ENSAYO	0.120	0.699	0.319	0.0120	0.0152	0.0559	0.0534	0.0075		0.8158
4 A	E6011	0.20	1.20	1.00	N.S	N.S	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S
	E 7018	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75
	E7024	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50
	PROMEDIO	0.166	1.35	0.88	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.625
	RAIZ	0.20	1.20	1.00			0.30	0.20	0.30	0.08	
	MAYOR	0.20	1.60	1.00	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75
	ENSAYO	0.120	0.770	0.284	0.0132	0.0254	0.0627	0.0602	0.0087		0.9016

6.7 Verificación de la Hipótesis

Habiéndose realizado los ensayos de Tracción, Impacto, y dureza, en la junta soldada y el cordón de soldadura, los resultados obtenidos, se obtuvo las tablas necesarias para comprobar estadísticamente la hipótesis

Teniendo en consideración que los valores utilizados por los diseñadores es generalmente el promedio de los valores de las propiedades mecánicas se verificara la hipótesis considerando el valor promedio

6.7.1 Fuerza de tracción

H_0 (Hipótesis Nula) = El valor de la Fuerza de tracción es igual al promedio de los valores dados en la norma

H_1 (Hipótesis Alternativa) El valor de la fuerza de tracción es diferente al promedio se los valores dados en la norma,

6.7.1.1. Cálculo de la frecuencia esperada o teórica

En la tabla 6.51 pueden apreciar, los valores obtenidos, los cuales se denominarán frecuencias obtenidas (por promedio o por ensayos)

- Frecuencia 1 obtenida de los ensayos realizados con la norma AWS D 1.1
- Frecuencia 2 obtenida de los ensayos realizados con la norma AWS A 5.1

Se obtendrá la Frecuencia esperada con la siguiente formula

$$F_e = (\text{suma de la fila} * \text{suma de la columna}) / \text{suma total}$$

Donde

F_o Frecuencia observada

F_e Frecuencia esperada

Tabla 68
Cálculo de frecuencia esperada para fuerza de tracción

PROBETAS	FRECUENCIA OBSERVADA 1	FRECUENCIA OBSERVADA 2	
1	490.97	631.78	1122.75
2	486.01	622	1108.01
3	472.93	493.44	966.37
4	471.32	620.72	1092.04
	1921.23	2367.94	4289.17
FRECUENCIA ESPERADA			
1	502.908717	619.841283	
2	496.306291	611.703709	
3	432.862077	533.507923	
4	489.152915	602.887085	

6.7.1.2 Calculo del grado de Libertad

Para calcular el grado de libertad se resta en menos 1 el número de filas y al número de columnas y luego se multiplican ambos valores

Nro. De Columnas 2

Nro. De Filas 4

Grado de Libertad = (2-1) * (4-1) = 3

6.7.1.3 Calculo del Chi cuadrado

Se utilizó la siguiente Formula (8)

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (8)$$

Donde f_o = Frecuencia obtenida f_e = Frecuencia esperada o teórica

Con los valores obtenidos en los ensayos y la frecuencia teórica o esperada se procede a calcular el Chi cuadrado = χ^2 la cual se puede apreciar en la Tabla 69

Tabla 69
Evaluación del χ^2 para fuerza de tracción

f_o	f_e	$f_o - f_e$	$(f_o - f_e)^2$	$(f_o - f_e)^2 / f_e$
490.97	502.9087172	-11.9387172	142.532968	0.28341718
486.01	496.3062906	-10.2962906	106.013599	0.21360519
472.93	432.8620771	40.0679229	1605.43845	3.70889143
471.32	489.1529152	-17.8329152	318.012864	0.65012975
631.78	619.8412828	11.9387172	142.532968	0.22995075
622	611.7037094	10.2962906	106.013599	0.17330874
493.44	533.5079229	-40.0679229	1605.43845	3.00921201
620.72	602.8870848	17.8329152	318.012864	0.52748329
				8.79599834
χ^2				

Según Pearson

“Si χ^2 calculado es \leq a χ^2 teórico (de tablas), no se rechaza la hipótesis nula H_0 ”

Si χ^2 calculado es $>$ a χ^2 teórico (de tablas, anexo Q) se rechaza la hipótesis nula H_0 ”

6.7.1.4 Comparación con la tabla de significado con el grado de libertad Anexo Q

Como se ha propuesto una probabilidad de $P = 0.05$ y con grado de libertad 3 en la tabla de Pearson nos da un valor de $\chi^2 = 7.815$ (teórico)

Siendo el valor del Chi $8.79 > 7.815$ por lo cual se rechaza la hipótesis nula

6.7.2 Impacto - Energía absorbida

H_0 (Hipótesis Nula) = El valor de la Energía absorbida es igual al promedio de los valores dados en la norma

H_1 (Hipótesis Alternativa) El valor de la energía absorbida es diferente al promedio se los valores dados en la norma,

6.7.2.1. Cálculo de la frecuencia esperada o teórica

En la Tabla 67 pueden apreciar, los valores obtenidos, los cuales se denominarán frecuencias obtenidas

- Frecuencia 1 obtenida de los ensayos realizados con la norma AWS D 1.1
- Frecuencia 2 obtenida de los ensayos realizados con la norma AWS A 5.1

Se procedió a realizar los cálculos de igual manera que para la fuerza de tracción

Tabla 70
Cálculo de frecuencia esperada ensayo de impacto

PROBETAS	FRECUENCIA OBSERVADA 1	FRECUENCIA OBSERVADA 2	
1	12.6	24.6	37.2
2	18.6	48	66.6
3	21.3	20	41.3
4	16	48.6	64.6
	68.5	141.2	209.7
FRECUENCIA ESPERADA			
1	12.15164521	25.04835479	
2	21.75536481	44.84463519	
3	13.49093944	27.80906056	
4	21.10205055	43.49794945	

Tabla 71
Cálculo del χ^2 para ensayo de impacto

f_o	f_e	$f_o - f_e$	$(f_o - f_e)^2$	$(f_o - f_e)^2 / f_e$
12.6	12.15164521	0.44835479	0.20102202	0.01654278
18.6	21.75536481	-3.15536481	9.95632706	0.45764928
21.3	13.49093944	7.80906056	60.9814269	4.52017646
16	21.10205055	-5.10205055	26.0309198	1.233573
24.6	25.04835479	-0.44835479	0.20102202	0.00802536
48	44.84463519	3.15536481	9.95632706	0.22201824
20	27.80906056	-7.80906056	60.9814269	2.19286181
48.6	43.49794945	5.10205055	26.0309198	0.59844016
			χ^2	9.24928709

Considerando los mismos criterios $9.2492 > 7.815$ se descarta la hipótesis nula H_0

CONCLUSIONES

Habiéndose realizado el estudio, y analizado los resultados obtenidos en el laboratorio, de los ensayos de tracción, Impacto, dureza y análisis químico, y considerando la fundamentación teórica, así como los datos obtenidos de las normas, se puede concluir

- Se comprobó que los resultados obtenidos en el laboratorio tanto en la junta soldada como en el cordón de soldadura, ninguna coincide con los valores que comúnmente, consideran los diseñadores, en la mayoría de los casos han sido superados con los valores obtenidos
- Se puede observar por los gráficos y valores que los resultados obtenidos, en el cordón de soldadura (Norma AWS 5.1) son más altos que los obtenidos en la junta soldada (Norma AWS D1.1) en todas las propiedades
- En el análisis de los resultados de la prueba de impacto de la junta soldada todos los valores disminuyeron, lo que indica que la junta es más frágil perdió ductilidad
- Todos los resultados de dureza están por encima de los valores de la norma, lo cual se relaciona directamente con los resultados de la prueba de impacto donde se pudo apreciar que eran menos dúctil y la mayor dureza implica menos ductilidad

RECOMENDACIONES

En el desarrollo de la investigación

- Para obtener resultados fiables el proceso debe ser realizado por un soldador calificado.
- Las probetas deben de ser maquinadas, con el adecuado refrigerante, para evitar el recalentamiento y variar las propiedades mecánicas en estudio
- Los equipos a utilizar deben de estar calibrados correctamente

De acuerdo a los resultados obtenidos

- Considerando que en los diferentes cuadros y encontrar que los valores más altos están vinculados a la presencia del electrodo 7018 que es un electrodo básico se recomienda hacer un estudio más profundo, para evaluar la injerencia del electrodo básico en las propiedades mecánicas.
- En la combinación de los electrodos E 6011 E6013 y E 7024 en el porcentaje de elongación se ha obtenido el valor más bajo, lo que implicaría que sería más dúctil, pero el valor de la dureza obtenido está dentro del rango de los valores con las otras combinaciones por lo que se recomienda hacer un análisis más profundo

REFERENCIAS

- Albán Naranjo, David Andrés. (2022) *“Evaluación de las propiedades mecánicas y caracterización metalográfica de juntas soldadas a tope de acero ASTM A36, con material de aporte ER70 S-6 bajo proceso GMAW”* [TESIS DE GRADO] Escuela Superior técnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18379>
- ARRIAGA, L & y ZARATE, L. (2008). *“Procesos de soldadura”*. Instituto Politécnico Nacional - España
- Askeland (¿?). *“Ciencia e Ingeniería de los Materiales”*. International Thomson 2002 – México.
- Chacón, F., Pardo, F. (¿?). *“Estudio de las propiedades mecánicas de una junta soldada en Aluminio Al5083-H116 mediante el proceso GMAW pulsado”*
<https://hdl.handle.net/10901/7830>
- Callister, W. (2003), *“Introducción a las ciencias de Ingeniería”*. Editorial Reverte
- Corrales J; Chica J (2020). *“Efecto de los procesos de soldadura al arco en las propiedades mecánicas y la microestructura en aceros de alta resistencia y baja aleación”* [TESIS DE GRADO] Universidad de Córdoba.
- Horwittz H (2002). *“Soldadura aplicaciones y practica”*. (Primera edición.) Alfaomega
- Icaza A. (2009). *“Análisis de la junta de soldadura GMAW aplicado en la construcción de carrocerías para buses”*. <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i1.99>
- INDURA (2008). *“Manual de Soldadura Electroodos Comunes especiales y gases para corte y soldadura Obtenido”*.
<http://www.indura.net+manual+de+aceros+inoxidables+indura>
- MAYANZA & TUQUINGA SAGÑAY, (2018). *“Análisis del comportamiento termo mecánico de la junta soldada tipo k, aplicada en la fabricación de carrocería de*

autobuses interprovinciales” [TESIS DE GRADO] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9930>

Masabanda, S; Yauripoma, M (2009) “*Elaboración de un manual para prácticas de la materia teoría de procesos de Soldadura*” Escuela Politécnica Nacional (España)

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1492>

Naula W (2013) “*Análisis de la variación de electrodos en un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico y su incidencia en las propiedades mecánicas*” [TESIS DE GRADO] Universidad De Ambato

Norma ASTM 370 (2020)

Norma ASTM 415 (2021)

Norma ASTM E 23 (2023)

Norma AWS D1.1 (2020)

Norma AWS A 5.1 (2012)

ASME BPVCJLC (2021)

Nieto, V (2012). “*Soldadura en Línea*”. D.F – México, Grupo Editorial Exodo

Pacheco P (2015). “*Procesos en soldadura*”. D.F – México, Grupo editorial Éxodo

Pastor, M (2018). “*Introducción a la metalurgia de la soldadura*”. Riobamba: ESA Escuela Superior técnica de Chimborazo

Pastor M. (¿?). “*Curso – Taller de inspección de soldadura en estructura de buses*”. Escuela superior técnica de Chimborazo

Reyes, D; Fernández, T; Alcántara, D; Rodríguez, I. (2018) en el artículo “*Soldadura con los electrodos revestidos E6010 y E7018 en acero AISI 1025*”

https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art8_No1_2018/855 (pdf)

Souza, A; Meneses, J; Guimarães, F; Ferreira, Carlos (2014). “*Propiedades mecánicas y microestructuras de juntas soldadas del acero HY80 por los procesos de SMAW y GMAW*”

https://www.researchgate.net/publication/288721882_Mechanical_and_microstructural_properties_of_SMAW_and_GMAW_welded_joints_of_HY-80_steel

Velastegui Zurita Juan Eduardo (2014). “*Estudio de los procesos de soldadura SMAW y GMAW sobre los aceros ASTM A 36, A-500 y su incidencia en las propiedades mecánicas en las juntas soldadas de la estructura de buses*” [TESIS DE GRADO].
Universidad de Ambato

Villarreal Albitres, W. F, Vera Pacherre, J., & Panta Carranza, D. O. (2021). “*Evaluación de resistencia a tracción y dureza de cordones de soldadura por proceso Smaw y Mig-Mag*”. [TESIS DE GRADO]; Universidad Cesar Vallejo

<https://doi.org/10.18050/RevUCVHACER.v10n2a6>

Zalazar, Ramini (2009). “*Efecto del procedimiento de soldadura sobre las propiedades de uniones soldadas de aceros micro aleados aceros de baja aleación y alta resistencia*”.

<http://www.Scielo.br/j/si/a/ytntbhsdnxw8nsxhwwfnjfg/?lang=pt>

ANEXOS

ANEXO A	Informe Lb. 4 0458- 2023	1
ANEXO B	Informe Lb.4 0459-2023	2
ANEXO C	Tablas de Resistencia a la Tracción e Impacto requeridos	3
ANEXO D	Cuadro para cálculo de Dureza en función de la resistencia	5
ANEXO E	Tabla de requerimientos de composición química Norma AWS 5.1.....	6
ANEXO F	Ubicación de Probetas en cupón para ensayos según Norma AWS D 1.1 ...	7
ANEXO G	Ubicación de Probetas para ensayos en cupón según Norma AWS 5.1.....	8
ANEXO H	Informe Lb.4 0556-2023	9
ANEXO I	Informe Lb. 0557 - 2023	13
ANEXO J	Informe Lb.4 0558-2023	17
ANEXO K	Informe Lb.4 0559-2023	21
ANEXO L	Informe de Lab4 0560 -2023	25
ANEXO M	Informe Lb.4 0561-2023	28
ANEXO N	Informe Lb.4 0562 – 2023	31
ANEXO O	Informe Lb.4 0563-2023	34
ANEXO P	Criterios de aceptación para probetas dobladas.....	37
ANEXO Q	Cuadro de Chi cuadrado de Pearson	38

ANEXO A

Informe Lb. 4 0458- 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

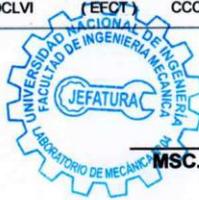
INFORME TÉCNICO

Lb4 - 0458 - 2023

ANÁLISIS QUÍMICO A PLANCHA DE ACERO

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108643
* FECHA : Lima, 05 de julio de 2023

1.	ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero, con la finalidad de realizar lo siguiente: * Análisis químico cuantitativo																						
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero, de características: * Espesor : 3/8" * Material : ASTM A36 * Uso : ELABORACIÓN DE CUPONES * Proyecto : TESIS																						
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	* Equipo de emisión óptica computarizado, marca SPECTRO A.I.																						
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	* T. : 21 °C * H.R. : 75 %																						
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Ensayo : ASTM E415																						
6.	RESULTADOS 6.1 Análisis químico cuantitativo <table border="1"><thead><tr><th>Muestra</th><th>C %</th><th>Si %</th><th>Mn %</th><th>P %</th><th>S %</th><th>Cr %</th><th>Mo %</th><th>Ni %</th><th>Al %</th><th>Cu %</th></tr></thead><tbody><tr><td>3/8"</td><td>0.120</td><td>0.319</td><td>0.699</td><td>0.0120</td><td>0.0152</td><td>0.0534</td><td>0.0075</td><td>0.0559</td><td>0.0015</td><td>0.0994</td></tr></tbody></table>		Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %	3/8"	0.120	0.319	0.699	0.0120	0.0152	0.0534	0.0075	0.0559	0.0015	0.0994
Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %														
3/8"	0.120	0.319	0.699	0.0120	0.0152	0.0534	0.0075	0.0559	0.0015	0.0994														
* Código de autenticación		DCLVI (EECT) CCCLXXIV CDLVIII QUIÑ QUIS																						



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP: 34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica - Lab. N° 4

ANEXO B

Informe Lb.4 0459-2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO

Lb4 - 0459 - 2023

ANÁLISIS QUÍMICO A PLANCHA DE ACERO

* SOLICITANTE : **LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ**

* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108642

* FECHA : Lima, 05 de julio de 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO	1.	ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero, con la finalidad de realizar lo siguiente: * Análisis químico cuantitativo																								
	2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero, de características: * Espesor : 1/2" * Material : ASTM A36 * Uso : ELABORACIÓN DE CUPONES * Proyecto : TESIS																								
	3.	EQUIPOS UTILIZADOS	* Equipo de emisión óptica computarizado, marca SPECTRO A.I.																								
	4.	CONDICIONES DE ENSAYO	* T. : 21 °C * H.R. : 75 %																								
	5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Ensayo : ASTM E415																								
RESULTADOS																											
6.1 Análisis químico cuantitativo																											
6.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>C %</th> <th>Si %</th> <th>Mn %</th> <th>P %</th> <th>S %</th> <th>Cr %</th> <th>Mo %</th> <th>Ni %</th> <th>Al %</th> <th>Cu %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>0.103</td> <td>0.149</td> <td>0.482</td> <td>0.0113</td> <td>0.0140</td> <td>0.0587</td> <td>0.0073</td> <td>0.1040</td> <td>0.0020</td> <td>0.150</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %	1/2"	0.103	0.149	0.482	0.0113	0.0140	0.0587	0.0073	0.1040	0.0020	0.150				
Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %																	
1/2"	0.103	0.149	0.482	0.0113	0.0140	0.0587	0.0073	0.1040	0.0020	0.150																	
* Código de autenticación : DCLVI (EECT) CCCLXXIV CDLIX QUIÑ QUIS																											



MSC. ING. WINSTON ACEJAS PAJARES
CIP: 34882

Jefe del Laboratorio de Mecánica - Lab. N° 4

ANEXO C

Tablas de Resistencia a la Tracción el Impacto requeridos

ASME BPVC.II.C-2021

SFA-5.1/SFA-5.1M

Table 2
Tension Test Requirements^{a, b, c}

AWS Classification		Tensile Strength		Yield Strength at 0.2% Offset		Elongation Percentage in 4x Diameter Length
A5.1	A5.1M	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	
E6010	E4310	60	430	48	330	22
E6011	E4311	60	430	48	330	22
E6012	E4312	60	430	48	330	17
E6013	E4313	60	430	48	330	17
E6018	E4318	60	430	48	330	22
E6019	E4319	60	430	48	330	22
E6020	E4320	60	430	48	330	22
E6022 ^d	E4322 ^d	60	430	Not Specified		Not Specified
E6027	E4327	60	430	48	330	22
E7014	E4914	70	490	58	400	17
E7015	E4915	70	490	58	400	22
E7016	E4916	70	490	58	400	22
E7018	E4918	70	490	58	400	22
E7024	E4924	70	490	58	400	17 ^e
E7027	E4927	70	490	58	400	22
E7028	E4928	70	490	58	400	22
E7048	E4948	70	490	58	400	22
E7018M	E4918M	Note f	Note f	53–72 ^g	370–500 ^g	24

^a See Table 4 for sizes to be tested.

^b Requirements are in the as-welded condition with aging as specified in 12.2.

^c Single values are minimum.

^d A transverse tension test, as specified in 12.5 and a longitudinal guided bend test, as specified in Clause 13 are required.

^e Weld metal from electrodes identified as E7024-1 [E4924-1] shall have elongation of 22% minimum.

^f Tensile strength of this weld metal is a nominal 70 ksi [490 MPa].

^g For 3/32 in [2.4 mm] electrodes, the maximum yield strength shall be 77 ksi [530 MPa].

Part B

Tests, Procedures, and Requirements

7. Summary of Tests

The tests required for each classification are specified in Table 4. The purpose of these tests is to determine the chemical composition, mechanical properties, and soundness of the weld metal, moisture content of the low-hydrogen electrode covering, and the usability of the electrode. The base metal for the weld test assemblies, the welding and testing procedures to be employed, and the results required are given in Clauses 9 through 18. The supplemental tests for absorbed moisture, in Clause 17, and diffusible hydrogen, in Clause 18, are not required for classification of the low-hydrogen electrodes, except for E7018M [E4918M], where these are required (see notes i and m of Table 4).

8. Retest

If the results of any test fail to meet the requirement, that test shall be repeated twice. The results of both retests shall meet the requirement. Specimens for retest may be taken from the original test assembly or from a new test assembly. For chemical analysis, retest need be only for those specific elements that failed to meet the test requirement. If the results of one or both retests fail to meet the requirement, the material under test shall be considered as not meeting the requirements of this specification for that classification.

Table 3
Charpy V-Notch Impact Requirements

AWS Classification		Limits for 3 out of 5 Specimens ^a	
A5.1	A5.1M	Average, Min.	Single Value, Min.
E6010, E6011, E6018 E6027, E7015, E7016 ^b , E7018 ^b , E7027, E7048	E4310, E4311, E4318 E4327, E4915, E4916 ^b , E4918 ^b , E4927, E4948	20 ft-lbf at -20°F [27 J at -30°C]	15 ft-lbf at -20°F [20 J at -30°C]
E6019 E7028	E4319 E4928	20 ft-lbf at 0°F [27 J at -20°C]	15 ft-lbf at 0°F [20 J at -20°C]
E6012, E6013, E6020, E6022, E7014, E7024 ^b	E4312, E4313 E4320, E4322 E4914, E4924 ^b	Not Specified	Not Specified
AWS Classification		Limits for 5 out of 5 Specimens ^c	
A5.1	A5.1M	Average, Min.	Single Value, Min.
E7018M	E4918M	50 ft-lbf at -20°F [67 J at -30°C]	40 ft-lbf at -20°F [54 J at -30°C]

^a Both the highest and lowest test values obtained shall be disregarded in computing the average. Two of these remaining three values shall equal or exceed 20 ft-lbf [27 J].

^b Electrodes with the following optional supplemental designations shall meet the lower temperature impact requirements specified below:

AWS Classification		Electrode Designation		Charpy V-Notch Impact Requirements, Limits for 3 out of 5 specimens (Refer to Note a above)	
A5.1	A5.1M	A5.1	A5.1M	Average, Min.	Single Value, Min.
E7016 E7018	E4916 E4918	E7016-1 E7018-1	E4916-1 E4918-1	20 ft-lbf at -50°F [27 J at -45°C]	15 ft-lbf at -50°F [20 J at -45°C]
E7024	E4924	E7024-1	E4924-1	20 ft-lbf at 0°F [27 J at -20°C]	15 ft-lbf at 0°F [20 J at -20°C]

^c All five values obtained shall be used in computing the average. Four of the five values shall equal, or exceed, 50 ft-lbf [67 J].

In the event that, during preparation or after completion of any test, it is clearly determined that prescribed or proper procedures were not followed in preparing the weld test assembly or test specimen(s) or in conducting the test, the test shall be considered invalid, without regard to whether the test was actually completed or whether test results met, or failed to meet, the requirement. That test shall be repeated, following proper prescribed procedures. In this case, the requirement for doubling the number of test specimens does not apply.

9. Weld Test Assemblies

9.1 One or more of the following five weld test assemblies are required:

- (1) The weld pad in Figure 1 for chemical analysis of the weld metal
- (2) The groove weld in Figure 2 for mechanical properties and soundness of weld metal made with all electrode classifications except E6022 [E4322] and E7018M [E4918M]
- (3) The fillet weld in Figure 3 for the usability of the electrode

ANEXO D

Cuadro para cálculo de Dureza en función de la resistencia

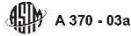


TABLA 3 Números de conversión de dureza aproximados de Non-austenitic Aceros

(ver Rockwell B a otros números de dureza)

Escala Rockwell B, carga 100 kgf (1/16 pulg. en (1.588) mm de bola)	Número de Dureza Vickers	Dureza Brinell, 3000 kgf de carga, de 10 mm Ball	Dureza Knoop, carga de 500 gf y Over	Un Rockwell Escala, carga de 80 kgf Diamante penetrador	Rockwell F Escala, 60-kgf carga, 1/16 pulg. en. Ball (1.588 mm)	Rockwell superficial Dureza			Aproximado Trazado del Resistencia (MPa)
						Escala 15T, Carga 15-kgf, 1/32 pulg. en. (1.588) mm de bola	Escala 30T, Carga 30-kgf, 1/16 pulg. en. (1.588) mm de bola	Escala 45T, Carga 45-kgf, 1/16 pulg. en. (1.588) mm de bola	
						93.1	92.8	92.5	
100	240	240	251	61.5	...	93.1	93.1	72.9	119 (800)
98	234	234	246	60.9	...	92.8	92.6	71.9	114 (785)
96	228	228	241	60.2	...	92.5	91.8	70.9	108 (753)
94	222	222	236	59.5	...	92.1	91.1	69.9	104 (715)
92	216	216	231	58.9	...	91.8	90.4	68.9	102 (705)
90	210	210	226	58.3	...	91.5	79.8	67.9	100 (690)
88	205	205	221	57.6	...	91.2	78.1	66.9	98 (675)
86	200	200	216	57.0	...	90.8	78.4	65.9	94 (650)
84	195	195	211	56.4	...	90.5	77.8	64.8	92 (635)
82	190	190	206	55.8	...	90.2	77.1	63.8	90 (620)
80	185	185	201	55.2	...	89.9	76.4	62.8	89 (615)
78	180	180	196	54.6	...	89.5	75.8	61.8	88 (605)
76	175	175	191	54.0	...	89.2	75.1	60.8	86 (590)
74	170	170	186	53.4	...	88.9	74.4	59.8	84 (580)
72	165	165	181	52.8	...	88.6	73.8	58.8	83 (570)
70	160	160	176	52.3	...	88.2	73.1	57.8	82 (565)
68	155	155	171	51.7	...	87.9	72.4	56.8	81 (560)
66	150	150	166	51.1	...	87.6	71.8	55.8	80 (550)
64	145	145	161	50.8	...	87.3	71.1	54.8	77 (530)
62	140	140	156	50.0	...	86.9	70.4	53.8	73 (505)
60	135	135	151	49.5	...	86.6	69.7	52.8	72 (495)
58	130	130	146	48.9	...	86.3	69.1	51.8	70 (485)
56	125	125	141	48.4	...	86.0	68.4	50.8	69 (475)
54	120	120	136	47.9	...	85.6	67.7	49.8	68 (470)
52	115	115	131	47.3	...	85.3	67.1	48.8	67 (460)
50	110	110	126	46.8	99.9	85.0	66.4	47.8	66 (455)
48	105	105	121	46.3	99.1	84.7	65.7	46.8	65 (450)
46	100	100	116	45.8	98.6	84.3	65.1	45.8	64 (440)
44	95	95	111	45.3	98.0	84.0	64.4	44.8	63 (435)
42	90	90	106	44.8	97.4	83.7	63.7	43.8	62 (425)
40	85	85	101	44.3	96.8	83.4	63.1	42.8	61 (420)
38	80	80	96	43.8	96.2	83.0	62.4	41.8	60 (415)
36	75	75	91	43.3	95.6	82.7	61.7	40.8	59 (405)
34	70	70	86	42.8	95.1	82.4	61.0	39.8	58 (400)
32	65	65	81	42.3	94.6	82.1	60.4	38.7	57 (395)
30	60	60	76	41.8	93.9	81.8	59.7	37.7	56 (385)
28	55	55	71	41.4	93.4	81.4	59.0	36.7	...
26	50	50	66	40.9	92.8	81.1	58.4	35.7	...
24	45	45	61	40.4	92.2	80.8	57.7	34.7	...
22	40	40	56	40.0	91.7	80.5	57.0	33.7	...
20	35	35	51	39.5	91.1	80.1	56.4	32.7	...
18	30	30	46	39.0	90.5	79.8	55.7	31.7	...
16	25	25	41	38.8	90.0	79.6	55.0	30.7	...
14	20	20	36	38.1	89.4	79.2	54.4	29.7	...
12	15	15	31	37.7	88.8	78.9	53.7	28.7	...
10	10	10	26	37.2	88.2	78.5	53.0	27.7	...
8	5	5	21	36.8	87.7	78.2	52.4	26.7	...
6	...	...	16	36.3	87.1	77.9	51.7	25.7	...
4	...	...	11	35.9	86.6	77.5	51.0	24.7	...
2	...	...	6	35.5	86.0	77.2	50.3	23.7	...
...	...	...	1	35.0	85.4	76.9	49.7	22.7	...
...	...	...	...	34.8	84.8	76.6	49.0	21.7	...
...	...	...	...	34.1	84.3	76.2	48.3	20.7	...
...	...	...	...	33.7	83.7	75.9	47.7	19.7	...
...	...	...	...	33.3	83.1	75.6	47.0	18.7	...
...	...	...	...	32.9	82.6	75.3	46.3	17.7	...
...	...	...	...	32.4	82.0	74.9	45.7	16.7	...
...	...	...	...	32.0	81.4	74.6	45.0	15.7	...
...	...	...	...	31.6	80.8	74.3	44.3	14.7	...
...	...	...	...	31.2	80.3	74.0	43.7	13.6	...
...	...	...	...	30.7	79.7	73.6	43.0	12.6	...
...	...	...	...	30.3	79.1	73.3	42.3	11.6	...
...	...	...	...	29.9	78.6	73.0	41.6	10.6	...
...	...	...	...	29.5	78.0	72.7	41.0	9.6	...
...	...	...	...	29.1	77.4	72.3	40.3	8.6	...
...	...	...	...	28.7	76.9	72.0	39.6	7.6	...
...	...	...	...	28.2	76.3	71.7	39.0	6.6	...
...	...	...	...	27.8	75.7	71.4	38.3	5.6	...

ANEXO E

Tabla de requerimientos de composición química Norma AWS 5.1

ASME BPVC.II.C-2021

SFA-5.1/SFA-5.1M

Table 7
Chemical Composition Requirements for Weld Metal

AWS Classification			Weight Percent ^b										Combined Limit for Mn + Ni + Cr + Mo + V
A5.1	A5.1M	UNS ^a Number	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V		
E6010	E4310	W06010	0.20	1.20	1.00	N.S.	N.S.	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S.	
E6011	E4311	W06011											
E6012	E4312	W06012											
E6013	E4313	W06013											
E6019	E4319	W06019											
E6020	E4320	W06020											
E6027	E4327	W06027											
E6018	E4318	W06018	0.03	0.60	0.40	0.025	0.015	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S.	
E7015	E4915	W07015	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50	
E7016	E4916	W07016	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7018	E4918	W07018	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7014	E4914	W07014	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50	
E7024	E4924	W07024	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50	
E7027	E4927	W07027	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7028	E4928	W07028	0.15	1.60	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7048	E4948	W07048											
E7018M	E4918M	W07018	0.12	0.40 to 1.60	0.80	0.030	0.020	0.25	0.15	0.35	0.05	N.S.	

^a SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.

^b Single values are maximum. N.S. means Not Specified.

^c Analysis for boron is required to be reported if intentionally added, or if it is known to be present at levels greater than 0.0010%.

11.2 The weld shall be radiographed in accordance with ASTM E1032. The quality level of inspection shall be 2-2T.

11.3 The soundness of the weld metal meets the requirements of this specification if the radiograph shows:

(1) No cracks, no incomplete fusion or incomplete joint penetration

(2) No slag inclusions longer than 1/4 in [6.0 mm] or 1/3 of the thickness of the weld, whichever is greater, or no groups of slag inclusions in line that have an aggregate length greater than the thickness of the weld in a length 12 times the thickness of the weld, except when the distance between the successive inclusions exceeds 6 times the length of the longest inclusions in the group

(3) No rounded indications in excess of those permitted by the radiographic standards in Figure 7 according to the grade specified in Table 8.

In evaluating the radiograph, 1 in [25 mm] of the weld measured from each end of the assembly shall be disregarded.

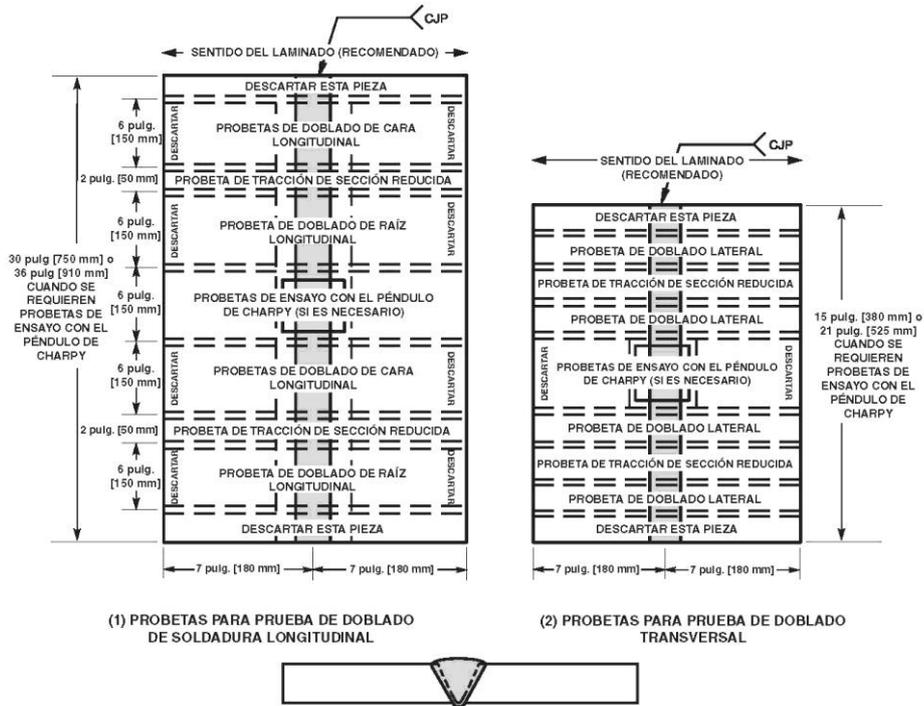
11.4 A rounded indication is an indication (on the radiograph) whose length is no more than three times its width. Rounded indications may be circular, elliptical, conical, or irregular in shape, and they may have tails. The size of a rounded indication is the largest dimension of the indication, including any tail that may be present. The indication may be porosity or slag. Indications whose largest dimension does not exceed 1/64 in [0.4 mm] shall be disregarded. Test assemblies with porosity indications larger than the largest rounded indications permitted in the radiographic standards do not meet the requirements of this specification.

ANEXO F

Ubicación de Probetas en cupón para ensayos según Norma AWS D 1.1

AWS D1.1/D1.1M:2020

SECCIÓN 6. CALIFICACIÓN



Notas:

1. La configuración de ranura que se muestra es solo para ilustración. La forma de la ranura ensayada debe cumplir con la forma de la ranura de producción que esté siendo calificada.
2. Cuando se requieran ensayos con el péndulo de Charpy (CVN), se deben retirar las probetas de sus ubicaciones como se muestra en la Figura 6.28.
3. Todas las dimensiones son mínimas.

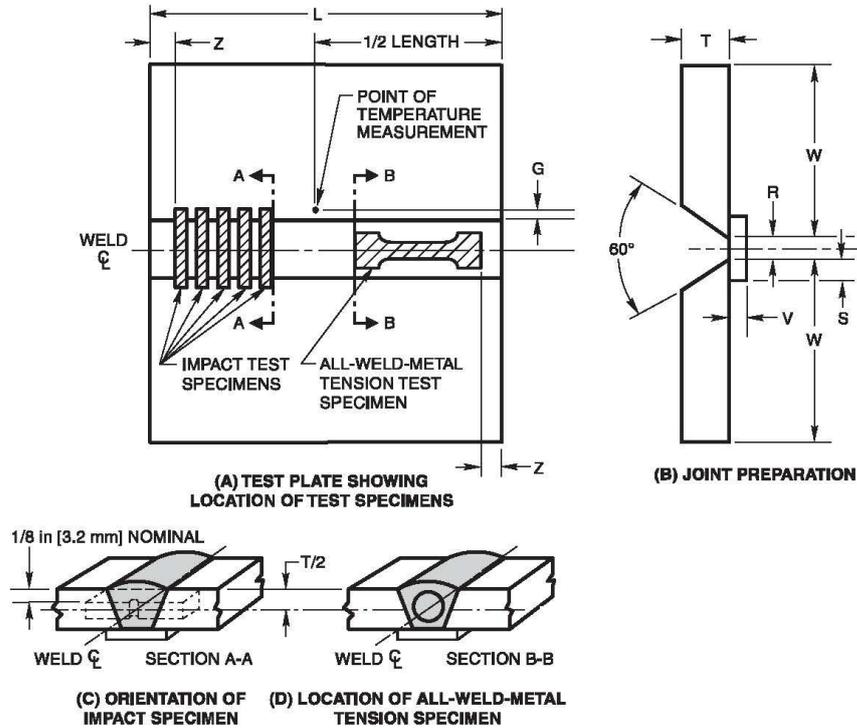
Figura 6.6—Ubicación de probetas en placas de ensayo soldadas de más de 3/8 pulgadas [10 mm] de espesor—Calificación de la WPS (ver 6.10)

ANEXO G

Ubicación de Probetas para ensayos en cupón según Norma AWS 5.1

ASME BPVC.II.C-2021

SFA-5.1/SFA-5.1M



Dimension	Description	A5.1 (in)	A5.1M (mm)
G	Offset from Groove Edge	1/4–1/2	6–15
L	Length, min.	10	250
R	Root Opening, min.	1/4	6
S	Strip Overlap, min.	1/4	6
T	Plate Thickness	3/4	20
V	Strip Thickness, min.	1/4	6
W	Width, min.	5	125
Z	Discard, min.	1	25

Notes:

1. Base metal shall be as specified in Table 5.
2. The surfaces to be welded shall be clean.
3. Prior to welding, the assembly may be preset to yield a welded joint sufficiently flat to facilitate removal of the test specimens. As an alternative, restraint or a combination of restraint and presetting may be used to keep the welded joint within 5° of plane. A welded test assembly that is more than 5° out of plane shall be discarded. Straightening of the test assembly is prohibited.
4. The assembly shall be welded in the vertical position with progression upward for electrodes 5/32 in [4.0 mm] and less in size, and in the flat position for electrodes 3/16 in [5.0 mm] and greater in size, using the type of current specified in Table 4 for the electrode and welding technique recommended by the electrode manufacturer.
5. The preheat temperature and the interpass temperature shall be 200°F to 250°F [90°C to 120°C].
6. The welding heat input shall be 30 kJ/in to 40 kJ/in [1.2 kJ/mm to 1.6 kJ/mm] for the 3/32 in [2.5 mm] size electrodes and 50 kJ/in to 60 kJ/in [2.0 kJ/mm to 2.4 kJ/mm] for the 1/8 in [3.2 mm] size and larger electrodes.
7. In addition to the stops and starts at the ends, each pass shall contain a stop and start in between the ends.
8. The completed weld shall be at least flush with the surface of the test plate. Maximum weld reinforcement shall be 3/16 in [5.0 mm]. Peening of weld beads is not permitted.

Figure 5—Groove Weld Test Assembly for Mechanical Properties and Soundness of Weld Metal Produced by Using E7018M [E4918M] Electrodes

ANEXO H

Informe Lb.4 0556-2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO

Lb4 - 0556 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ

* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108740

* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO	1. ANTECEDENTES	<p>Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción* Ensayo de doblez* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis macrográfico
	2. DE LA MUESTRA	<p>Se identificó según la empresa solicitante, como:</p> <p>Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características:</p> <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 1* Espesor : 3/8"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 3011, 6012, 6013* Norma : AWS D1.1* Proyecto : TESIS
	3. EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
	4. CONDICIONES DE ENSAYO	<p>T: 21 °C H.R.: 75 %</p>
	5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	<p>Norma de Procedimiento: AWS D1.1 Normas de Ensayo:</p> <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción: ASTM A370* Ensayo de impacto: ASTM E23





* Metalografía:

Normas Técnicas

- ASTM E3 "Preparación de Muestras Metalográficas"
- AWS "Evaluación de Uniones Soldadas"
- ASTM E407 "Macroataque de Metales"

Información Técnica

- ASM METALS HANDBOOK "Metalografía"
- ASM METALS HANDBOOK "Soldadura"

RESULTADOS

6.1 Ensayo de tracción

Table with 7 columns: Probeta, Espesor (mm), Ancho (mm), Área (mm²), Fuerza Máxima (kN), Esfuerzo Máximo (MPa), Observación. Rows 1 and 2.

6.2 Ensayo de doblez

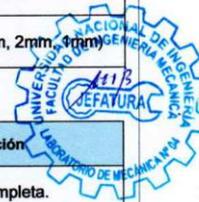
Table with 3 columns: Probeta, Tipo, Observación. Rows 3, 4, 5, 6.

6.3 Ensayo de impacto Charpy

Table with 4 columns: Probeta, Temperatura (°C), Energía (Joules), Observación. Rows 7, 8, 9, 10.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

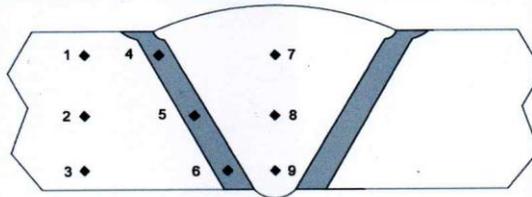
6.





6.4 Ensayo de dureza Rockwell

Perfil de unión soldada



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	74.7	4	83.1	7	83.9
2	75.0	5	80.4	8	84.1
3	74.7	6	79.7	9	84.6

6.5 Análisis macrográfico en unión soldada

6.5.1 El análisis macrográfico, se realizó en la sección transversal de la unión soldada, perpendicular a los cordones de soldadura, obteniéndose los siguientes resultados:

- Penetración completa en el acabado superficial.
- Falta de fusión en el paso de raíz.
- No presenta fisuramientos en el cordón y la zona zac.
- No presenta porosidades.
- No presenta inclusiones no metálicas.
- Ver foto macrografías N° 1 y 2 (Anexo)

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLVI CADE QUIS



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

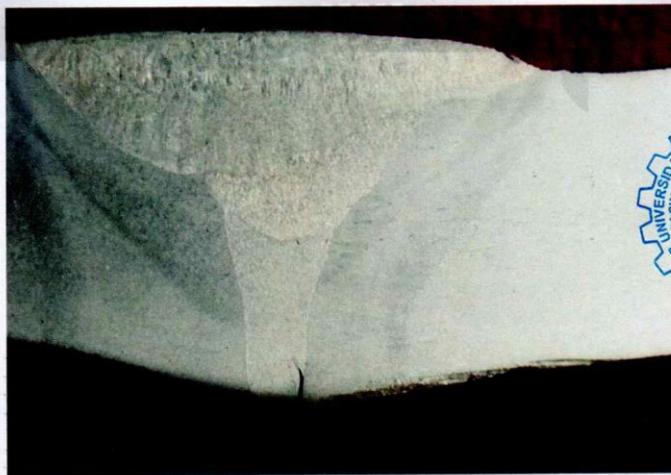
Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

ANEXO I

(Informe Lb4 – 0556 – 2023)



Fotomicrografía N° 1



Fotomicrografía N° 2



ANEXO I

Informe Lb. 0557 - 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO
Lb4 - 0557 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108741
* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

1. ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción* Ensayo de doblez* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis macrográfico
2. DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características: <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 2* Espesor : 3/8"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 7010, 7018, 7024* Norma : AWS D1.1* Proyecto : TESIS
3. EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4. CONDICIONES DE ENSAYO	T: 21 °C H.R.: 75 %
5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Procedimiento: AWS D1.1 Normas de Ensayo: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción: ASTM A370* Ensayo de impacto: ASTM E23





- * Metalografía:
Normas Técnicas
- ASTM E3 "Preparación de Muestras Metalográficas"
- AWS "Evaluación de Uniones Soldadas"
- ASTM E407 "Macroataque de Metales"
Información Técnica
- ASM METALS HANDBOOK "Metalografía"
- ASM METALS HANDBOOK "Soldadura"

RESULTADOS

6.1 Ensayo de tracción

Table with 7 columns: Probeta, Espesor (mm), Ancho (mm), Área (mm²), Fuerza Máxima kN (kgf), Esfuerzo Máximo MPa (kg/mm²), Observación. Rows 1 and 2.

6.2 Ensayo de doblez

Table with 3 columns: Probeta, Tipo, Observación. Rows 3, 4, 5, 6.

6.3 Ensayo de impacto Charpy

Table with 4 columns: Probeta, Temperatura °C, Energía (Joules), Observación. Rows 7, 8, 9, 10.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

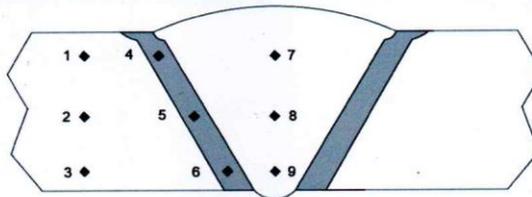
6.





6.4 Ensayo de dureza Rockwell

Perfil de unión soldada



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	78.5	4	80.8	7	91.7
2	79.9	5	81.5	8	87.5
3	79.0	6	80.0	9	87.0

6.5 Análisis macrográfico en unión soldada

6.5.1 El análisis macrográfico, se realizó en la sección transversal de la unión soldada, perpendicular a los cordones de soldadura, obteniéndose los siguientes resultados:

- Penetración completa en el acabado superficial.
- Falta de fusión en el paso de raíz.
- No presenta fisuramientos en el cordón y la zona zac.
- No presenta porosidades.
- No presenta inclusiones no metálicas.
- Ver foto macrografías N° 1 y 2 (Anexo)

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLVII CADE QUIS



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4

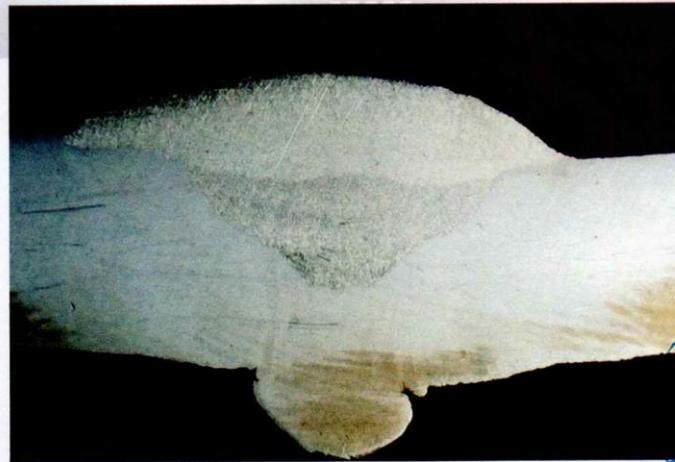


ANEXO I

(Informe Lb4 – 0557 – 2023)



Fotomicrografia N° 1



Fotomicrografia N° 2



ANEXO J

Informe Lb.4 0558-2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO

Lb4 - 0558 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ

* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108742

* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

1. ANTECEDENTES	<p>Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción* Ensayo de dobléz* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis macrográfico
2. DE LA MUESTRA	<p>Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características:</p> <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 3* Espesor : 3/8"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 6011, 6013, 7024* Norma : AWS D1.1* Proyecto : TESIS
3. EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4. CONDICIONES DE ENSAYO	<p>T: 21 °C H.R.: 75 %</p>
5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	<p>Norma de Procedimiento: AWS D1.1 Normas de Ensayo:</p> <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción: ASTM A370* Ensayo de impacto: ASTM E23





* Metalografía:

Normas Técnicas

- ASTM E3 "Preparación de Muestras Metalográficas"
- AWS "Evaluación de Uniones Soldadas"
- ASTM E407 "Macroataque de Metales"

Información Técnica

- ASM METALS HANDBOOK "Metalografía"
- ASM METALS HANDBOOK "Soldadura"

RESULTADOS

6.1 Ensayo de tracción

Table with 7 columns: Probeta, Espesor (mm), Ancho (mm), Área (mm²), Fuerza Máxima kN (kgf), Esfuerzo Máximo MPa (kg/mm²), Observación. Rows 1 and 2.

6.2 Ensayo de dobléz

Table with 3 columns: Probeta, Tipo, Observación. Rows 3, 4, 5, 6.

6.3 Ensayo de impacto Charpy

Table with 4 columns: Probeta, Temperatura °C, Energía (Joules), Observación. Rows 7, 8, 9, 10.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

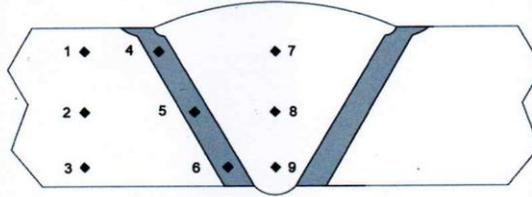
6.





6.4 Ensayo de dureza Rockwell

Perfil de unión soldada



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	81.2	4	83.4	7	89.7
2	79.5	5	80.5	8	88.5
3	79.1	6	77.5	9	91.1

6.5 Análisis macrográfico en unión soldada

6.5.1 El análisis macrográfico, se realizó en la sección transversal de la unión soldada, perpendicular a los cordones de soldadura, obteniéndose los siguientes resultados:

- Penetración completa en el acabado superficial.
- Falta de fusión en el paso de raíz.
- No presenta fisuramientos en el cordón y la zona zac.
- No presenta porosidades.
- No presenta inclusiones no metálicas.
- Ver foto macrografías N° 1 y 2 (Anexo)

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLVIII CADE QUIS

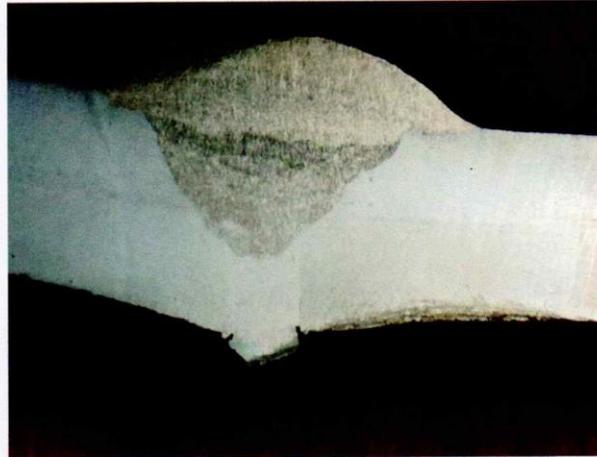


Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4

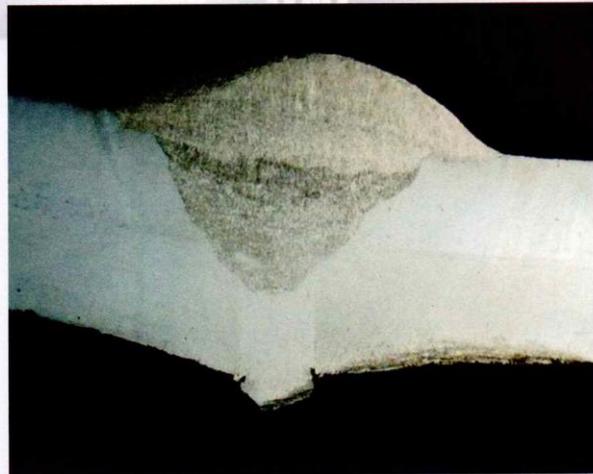


ANEXO I

(Informe Lb4 – 0558 – 2023)



Fotomicrografía N° 1



Fotomicrografía N° 2



ANEXO K

Informe Lb.4 0559-2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO
Lb4 - 0559 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108743
* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

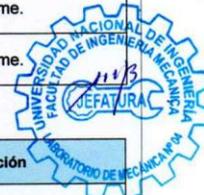
1.	ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción* Ensayo de dobléz* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis macrográfico
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características: <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 4* Espesor : 3/8"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 6011, 7018, 7024* Norma : AWS D1.1* Proyecto : TESIS
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T: 21 °C H.R.: 75 %
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Procedimiento: AWS D1.1 Normas de Ensayo: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción: ASTM A370* Ensayo de impacto: ASTM E23





5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	* Metalografía: Normas Técnicas - ASTM E3 "Preparación de Muestras Metalográficas" - AWS "Evaluación de Uniones Soldadas" - ASTM E407 "Macroataque de Metales" Información Técnica - ASM METALS HANDBOOK "Metalografía" - ASM METALS HANDBOOK "Soldadura"																								
		RESULTADOS 6.1 Ensayo de tracción <table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>Espesor (mm)</th> <th>Ancho (mm)</th> <th>Área (mm²)</th> <th>Fuerza Máxima (kN) (kgf)</th> <th>Esfuerzo Máximo (MPa) (kg/mm²)</th> <th>Observación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>8.02</td> <td>19.00</td> <td>152.38</td> <td>71.82 (7,323.60)</td> <td>471.32 (48.06)</td> <td>Fractura en material base.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>8.14</td> <td>19.16</td> <td>155.96</td> <td>73.76 (7,521.43)</td> <td>472.93 (48.23)</td> <td>Fractura en material base.</td> </tr> </tbody> </table>					Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza Máxima (kN) (kgf)	Esfuerzo Máximo (MPa) (kg/mm ²)	Observación	1	8.02	19.00	152.38	71.82 (7,323.60)	471.32 (48.06)	Fractura en material base.	2	8.14	19.16	155.96	73.76 (7,521.43)	472.93 (48.23)
Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	Fuerza Máxima (kN) (kgf)	Esfuerzo Máximo (MPa) (kg/mm ²)	Observación																				
1	8.02	19.00	152.38	71.82 (7,323.60)	471.32 (48.06)	Fractura en material base.																				
2	8.14	19.16	155.96	73.76 (7,521.43)	472.93 (48.23)	Fractura en material base.																				
6.		6.2 Ensayo de dobléz <table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>Tipo</th> <th>Observación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>Dobléz de cara</td> <td>Conforme.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Dobléz de raíz</td> <td>Conforme.</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Dobléz de cara</td> <td>Conforme.</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Dobléz de raíz</td> <td>Conforme.</td> </tr> </tbody> </table>					Probeta	Tipo	Observación	3	Dobléz de cara	Conforme.	4	Dobléz de raíz	Conforme.	5	Dobléz de cara	Conforme.	6	Dobléz de raíz	Conforme.					
		Probeta	Tipo	Observación																						
3	Dobléz de cara	Conforme.																								
4	Dobléz de raíz	Conforme.																								
5	Dobléz de cara	Conforme.																								
6	Dobléz de raíz	Conforme.																								
		6.3 Ensayo de impacto Charpy <table border="1"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>Temperatura °C</th> <th>Energía (Joules)</th> <th>Observación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>-30</td> <td>16</td> <td>Fractura completa.</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>-30</td> <td>18</td> <td>Fractura completa.</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>-30</td> <td>14</td> <td>Fractura completa.</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>-30</td> <td>12</td> <td>Fractura completa.</td> </tr> </tbody> </table>					Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación	7	-30	16	Fractura completa.	8	-30	18	Fractura completa.	9	-30	14	Fractura completa.	10	-30	12	Fractura completa.
Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación																							
7	-30	16	Fractura completa.																							
8	-30	18	Fractura completa.																							
9	-30	14	Fractura completa.																							
10	-30	12	Fractura completa.																							

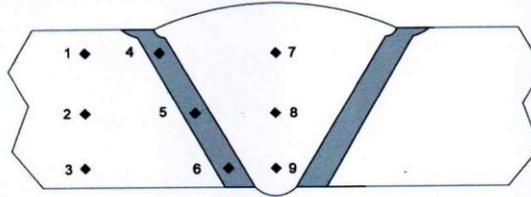
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO





6.4 Ensayo de dureza Rockwell

Perfil de unión soldada



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	79.5	4	78.6	7	85.1
2	78.1	5	81.5	8	84.1
3	79.8	6	83.0	9	83.3

6.4 Análisis macrográfico en unión soldada

- Penetración completa en el acabado superficial.
- Falta de fusión en el paso de raíz.
- No presenta fisuramientos en el cordón y la zona zac.
- No presenta porosidades.
- No presenta inclusiones no metálicas.
- Ver foto macrografías N° 1 y 2 (Anexo)

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLIX CADE QUIS



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4



ANEXO I

(Informe Lb4 – 0559 – 2023)



Fotomicrografía N° 1



Fotomicrografía N° 2



ANEXO L

Informe de Lab4 0560 -2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO

Lb4 - 0560 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108744
* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

1.	ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción longitudinal* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis químico cuantitativo
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características: <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 1A* Espesor : 1/2"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 3011, 6012 6013* Norma : AWS A5.1* Proyecto : TESIS
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Equipo de emisión óptica computarizado, marca SPECTRO A.I.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T: 21 °C H.R.: 75 %
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Procedimiento : AWS A5.1 Normas de Ensayo * Ensayo de tracción : ASTM A370





- * Ensayo de impacto : ASTM E23
- * Análisis químico cuantitativo : ASTM E415

RESULTADOS

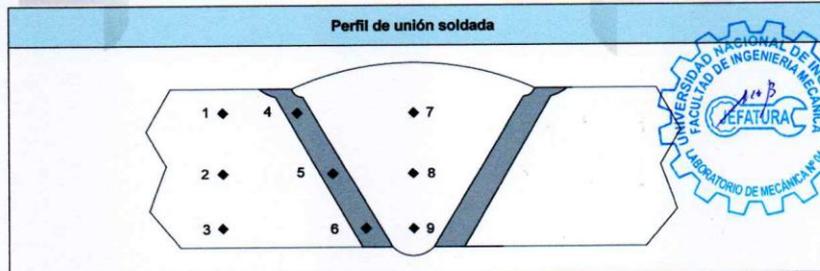
6.1 Ensayo de tracción longitudinal

Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia kN (kgf)	Fuerza Máxima kN (kgf)	Esfuerzo de Fluencia MPa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo MPa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.09	50.00	58.46	61.64 (6,285.53)	71.38 (7,278.73)	536.93 (54.75)	621.78 (63.40)	16.92

6.2 Ensayo de impacto Charpy

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	28	Fractura completa.
3	-30	22	Fractura completa.
4	-30	24	Fractura completa.
5	-30	22	Fractura completa.

6.3 Ensayo de dureza Rockwell



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	74.7	4	85.5	7	88.1
2	75.0	5	87.5	8	86.2
3	74.7	6	86.0	9	88.4

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

6.





Lb4-0560-2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN

6.5 Análisis químico cuantitativo

Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %
1	0.115	0.266	0.737	0.0100	0.0213	0.0573	0.0085	0.0619	0.0023	0.108

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLX CADE QUIS



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4

ANEXO M

Informe Lb.4 0561-2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO

Lb4 - 0561 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108745
* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

1.	ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción longitudinal* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis químico cuantitativo
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características: <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 2A* Espesor : 1/2"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 7010, 7018, 7024* Norma : AWS A5.1* Proyecto : TESIS
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Equipo de emisión óptica computarizado, marca SPECTRO A.I.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T: 21 °C H.R.: 75 %
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Procedimiento : AWS A5.1 Normas de Ensayo * Ensayo de tracción : ASTM A370





- * Ensayo de impacto : ASTM E23
- * Análisis químico cuantitativo : ASTM E415

RESULTADOS

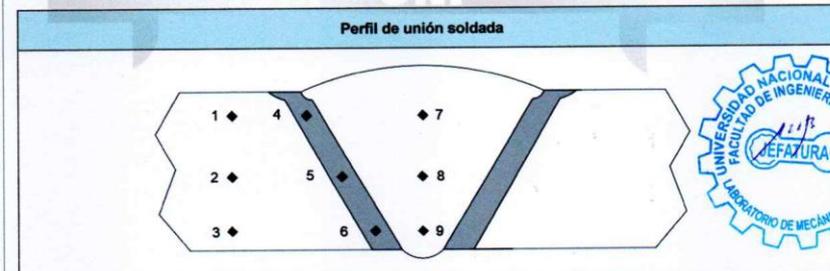
6.1 Ensayo de tracción longitudinal

Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia kN (kgf)	Fuerza Máxima kN (kgf)	Esfuerzo de Fluencia MPa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo MPa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.46	50.00	62.45	66.94 (6,825.98)	75.90 (7,739.65)	548.98 (55.98)	622.47 (63.47)	24.90

6.2 Ensayo de impacto Charpy

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	52	Fractura tipo bisagra.
3	-30	46	Fractura tipo bisagra.
4	-30	48	Fractura tipo bisagra.
5	-30	50	Fractura tipo bisagra.

6.3 Ensayo de dureza Rockwell



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	78.5	4	84.2	7	91.6
2	79.9	5	86.5	8	89.8
3	79.0	6	86.1	9	90.9



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

6.



Lb4-0561-2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN

6.5 Análisis químico cuantitativo

Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %
1	0.140	0.149	0.488	0.0110	0.0139	0.0563	0.0082	0.104	0.0023	0.146

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLXI CADE QUIS



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4

ANEXO N

Informe Lb.4 0562 – 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO
Lb4 - 0562 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108746
* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

1. ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción longitudinal* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis químico cuantitativo
2. DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características: <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 3A* Espesor : 1/2"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 6011, 6013, 7024* Norma : AWS A5.1* Proyecto : TESIS
3. EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Equipo de emisión óptica computarizado, marca SPECTRO A.I.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4. CONDICIONES DE ENSAYO	T: 21 °C H.R.: 75 %
5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Procedimiento : AWS A5.1 Normas de Ensayo * Ensayo de tracción : ASTM A370





- * Ensayo de impacto : ASTM E23
- * Análisis químico cuantitativo : ASTM E415

RESULTADOS

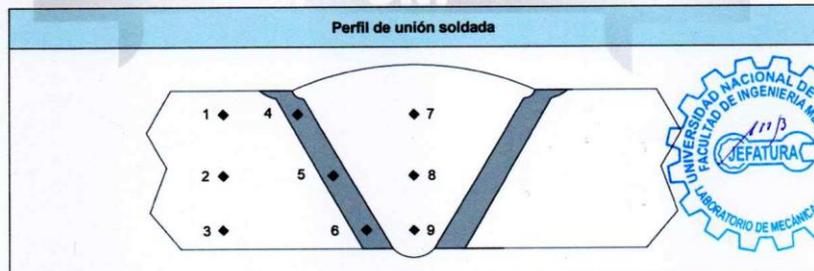
6.1 Ensayo de tracción longitudinal

Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia kN (kgf)	Fuerza Máxima kN (kgf)	Esfuerzo de Fluencia MPa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo MPa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.63	50.00	56.97	52.78 (5,382.06)	61.82 (6,303.89)	421.28 (42.96)	493.44 (50.32)	13.94

6.2 Ensayo de impacto Charpy

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	20	Fractura completa.
3	-30	22	Fractura completa.
4	-30	18	Fractura completa.
5	-30	18	Fractura completa.

6.3 Ensayo de dureza Rockwell



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	81.2	4	82.8	7	90.2
2	79.5	5	83.1	8	89.4
3	79.1	6	83.1	9	89.5



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

6.



Lb4-0562-2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN

6.5 Análisis químico cuantitativo

Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %
1	0.120	0.319	0.699	0.0120	0.0152	0.0534	0.0075	0.0559	0.0015	0.0994

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLXII CADE QUIS



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4



ANEXO O

Informe Lb.4 0563-2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO
Lb4 - 0563 - 2023

ENSAYOS MECÁNICOS EN PLANCHA DE ACERO SOLDADA

* SOLICITANTE : **ING LEONOR MARIA ZEGARRA RAMIREZ**
* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 108747
* FECHA : Lima, 17 de agosto del 2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

1. ANTECEDENTES	Se recibió del solicitante, una (01) muestra de plancha de acero soldada, con la finalidad de realizar lo siguiente: <ul style="list-style-type: none">* Ensayo de tracción longitudinal* Ensayo de impacto* Ensayo de dureza* Análisis químico cuantitativo
2. DE LA MUESTRA	Se identificó según la empresa solicitante, como: Una (01) muestra de plancha de acero soldada, de características: <ul style="list-style-type: none">* Muestra : 4A* Espesor : 1/2"* Posición : 1G PLANA* Proceso : SMAW* Material : CUPON DE CALIFICACIÓN A36* Electrodo/Aporte : 6011, 7018, 7024* Norma : AWS A5.1* Proyecto : TESIS
3. EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none">* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.* Máquina de impacto, marca ZWICK / ROELL, capacidad 450 J.* Durómetro, marca WILSON.* Equipo de emisión óptica computarizado, marca SPECTRO A.I.* Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4. CONDICIONES DE ENSAYO	T: 21 °C H.R.: 75 %
5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma de Procedimiento : AWS A5.1 Normas de Ensayo * Ensayo de tracción : ASTM A370





- * Ensayo de impacto : ASTM E23
- * Análisis químico cuantitativo : ASTM E415

RESULTADOS

6.1 Ensayo de tracción longitudinal

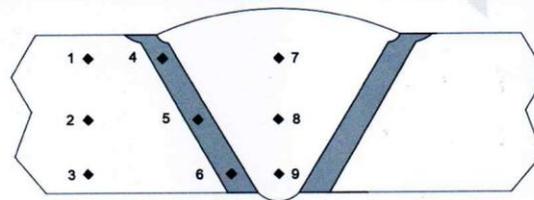
Probeta	Espesor (mm)	Long. Inicial (mm)	Long. Final (mm)	Fuerza de Fluencia kN (kgf)	Fuerza Máxima kN (kgf)	Esfuerzo de Fluencia MPa (kg/mm ²)	Esfuerzo Máximo MPa (kg/mm ²)	Elongación %
1	12.53	50.00	62.55	65.36 (6,664.87)	76.54 (7,804.91)	530.05 (54.05)	620.72 (63.30)	25.30

6.2 Ensayo de impacto Charpy

Probeta	Temperatura °C	Energía (Joules)	Observación
2	-30	44	Fractura tipo bisagra.
3	-30	48	Fractura tipo bisagra.
4	-30	48	Fractura tipo bisagra.
5	-30	50	Fractura tipo bisagra.

6.3 Ensayo de dureza Rockwell

Perfil de unión soldada



Material base	HRB	Interfase	HRB	Soldadura	HRB
1	79.5	4	85.7	7	91.9
2	78.1	5	83.6	8	92.2
3	79.8	6	84.8	9	93.8



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO

6.



Lb4-0563-2023

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, MODIFICACIÓN

6.5 Análisis químico cuantitativo

Muestra	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Al %	Cu %
1	0.120	0.284	0.770	0.0132	0.0254	0.0602	0.0087	0.0627	0.0011	0.109

* Código de autenticación : ACD (TSS) CCCXXIX DLXIII CADE QUIS



Winston Aceijas Pajares
MSC. ING. WINSTON ACEIJAS PAJARES
CIP.34882
Jefe del Laboratorio de Mecánica N° 4

ANEXO P

Crterios de aceptaci3n para probetas dobladas

AWS D1.1/D1.1M:2020

PARTE B

SECCI3N 6. CALIFICACI3N

El 3mbolo debe forzar la probeta hacia la matriz hasta que la probeta tome forma de U. La soldadura y las HAZ deben estar centradas y completamente dentro de la parte doblada de la probeta despu3s del ensayo. Cuando se utiliza la plantilla envolvente, la probeta debe estar firmemente sujeta en un extremo de manera que no se deslice durante la operaci3n de doblado. La soldadura y las HAZ deben estar completamente dentro de la parte doblada de la probeta despu3s del ensayo. Se deben retirar las probetas de ensayo de la plantilla gu3a cuando el rodillo externo se haya movido 180° desde el punto de partida.

6.10.3.2 Probetas para prueba de doblado de soldadura longitudinal. Cuando las combinaciones de materiales difieren marcadamente en las propiedades de doblado mec3nico, como entre dos materiales base o entre el metal de soldadura y el metal base, los ensayos de doblado longitudinal (cara y ra3z) pueden utilizarse en lugar de los ensayos de doblado transversal de cara y de ra3z. Los conjuntos de ensayo de soldadura seg3n 6.10.2 deben contar con probetas preparadas mediante el corte de la placa de ensayo como se muestra en las Figuras 6.6 o 6.7, la que sea aplicable. Las probetas para el ensayo de doblado longitudinal se deben preparar como se muestra en la Figura 6.8.

6.10.3.3 Criterios de aceptaci3n para las pruebas de doblado. Se debe examinar visualmente la superficie convexa de la probeta de ensayo de doblado en busca de las discontinuidades de la superficie. Para su aceptaci3n, la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:

- (1) 1/8 pulg. [3 mm] medidas en cualquier direcci3n sobre la superficie.
- (2) 3/8 pulg. [10 mm]—la suma de las dimensiones m3s grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1/32 pulg. [1 mm] pero inferiores o iguales a 1/8 pulg. [3 mm]
- (3) 1/4 pulg. [6 mm]—la grieta m3xima de esquina, excepto cuando la grieta de esquina resulta de una inclusi3n de escoria visible u otra discontinuidad de fusi3n, en cuyo caso se debe aplicar el m3ximo de 1/8 pulg. [3 mm]

Las probetas con grietas de esquina de excedan de 1/4 pulg. [6 mm] sin evidencia de inclusi3nes de escoria u otra discontinuidad de fusi3n deben descartarse y se debe ensayar una probeta de reemplazo de la soldadura original.

6.10.3.4 Probetas de tracci3n de secci3n reducida (ver Figura 6.10). Antes del ensayo se debe medir el ancho menor y el espesor correspondiente de la secci3n reducida. La probeta se debe romper bajo la carga de tracci3n y se debe determinar la carga m3xima. Se debe obtener el 3rea transversal multiplicando el ancho por el espesor. La resistencia a la tracci3n se debe obtener dividiendo la carga m3xima por el 3rea transversal.

6.10.3.5 Criterios de aceptaci3n para ensayos de tracci3n de secci3n reducida. La resistencia a la tracci3n no debe ser inferior al m3nimo del rango de tracci3n especificado del metal base utilizado.

6.10.3.6 Probetas de tracci3n de todos los metales de soldadura (ver Figura 6.14). La probeta de ensayo debe probarse seg3n ASTM A370, *Mechanical Testing of Steel Products (Ensayos mec3nicos de productos de acero)*.

6.10.4 Prueba de macroataque. Las probetas de ensayo se deben preparar con un acabado adecuado para la prueba de macroataque. Se debe utilizar una soluci3n adecuada para que el ataque proporcione una definici3n clara de la soldadura.

6.10.4.1 Criterios de aceptaci3n para la prueba de macroataque. Para que la calificaci3n sea aceptable, la probeta inspeccionada visualmente debe cumplir con los siguientes requisitos:

- (1) En las soldaduras en ranura con PJP, el tama3o real de la soldadura debe ser igual o mayor que el tama3o de soldadura especificado, (S).
- (2) Las soldaduras en filete deben tener fusi3n a la ra3z de la junta, pero no necesariamente m3s all3 de ella.
- (3) El tama3o m3nimo de la pierna debe cumplir con el tama3o de la soldadura en filete especificado.
- (4) Las soldaduras en ranura con PJP y las soldaduras en filete deben cumplir con lo siguiente:
 - (a) ninguna grieta
 - (b) fusi3n completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base
 - (c) perfiles de soldadura que cumplan con los detalles especificados, pero con ninguna de las variaciones prohibidas en 7.23
 - (d) ninguna socavaci3n que exceda de 1/32 pulg. [1 mm]

6.10.5 Repetic3n del ensayo. Si alguna de las probetas de ensayo, de todas las probadas, no cumple con los requisitos de ensayo de la Secci3n 6.10, la probeta de prueba se considerar3 como fallida. Las nuevas pruebas se pueden realizar en dos probetas de ensayo adicionales de acuerdo con una de las siguientes alternativas. Los resultados de ambas probetas de ensayo deben cumplir con los requisitos del ensayo.

ANEXO Q

Cuadro de Chi cuadrado de Pearson

TABLA 3-Distribución Chi Cuadrado χ^2

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887	19,5110	18,6330	17,8244	17,0646	16,3382
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049	20,6014	19,6993	18,8679	18,0860	17,3379
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178	21,6891	20,7638	19,9102	19,1069	18,3376
20	45,3142	42,3358	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	26,4976	25,0375	23,8277	22,7745	21,8265	20,9514	20,1272	19,3374
21	46,7963	43,7749	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	27,6620	26,1711	24,9348	23,8578	22,8876	21,9915	21,1470	20,3372
22	48,2676	45,2041	42,7957	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	28,8224	27,3015	26,0393	24,9390	23,9473	23,0307	22,1663	21,3370
23	49,7276	46,6231	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	29,9792	28,4288	27,1413	26,0184	25,0055	24,0689	23,1852	22,3369
24	51,1790	48,0336	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	31,1325	29,5533	28,2412	27,0960	26,0625	25,1064	24,2037	23,3367
25	52,6187	49,4351	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	32,2825	30,6752	29,3388	28,1719	27,1183	26,1430	25,2218	24,3366
26	54,0511	50,8291	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	33,4295	31,7946	30,4346	29,2463	28,1730	27,1789	26,2395	25,3365
27	55,4751	52,2152	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	34,5736	32,9117	31,5284	30,3193	29,2266	28,2141	27,2569	26,3363
28	56,8918	53,5939	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	35,7150	34,0266	32,6205	31,3909	30,2791	29,2486	28,2740	27,3362
29	58,3006	54,9662	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	36,8538	35,1394	33,7109	32,4612	31,3308	30,2825	29,2908	28,3361